

# ԿԱՆԱԶ ԼՈՒՍԱՎՈՐՈՒԹՅՈՒՆ

Տեսությունը և սկզբունքները ճարտարապետների և ճարտարագետների համար

## GREEN LIGHTING

Theory and Principles for Engineers and Architects

Համբարյան Արտակ, Ղազարյան Վարդան

Artak Hambarian, Vardan Ghazaryan



Empowered lives.  
Resilient nations.



ISBN 978-9939-1-0837-7 © UNDP Armenia, 2018

### CHAPTER 1

#### Lighting theory and principles for engineers and architects



#### ԳԼՈՒԽ 1

Լուսավորության տեսությունը և սկզբունքները  
ճարտարագետների և ճարտարապետների համար



**CHAPTER 1****Lighting Theory And Principles  
For Engineers And Architects****ԳԼՈՒԽ 1****Լուսավորության տեսությունը և  
սկզբունքները ճարտարագետների և  
ճարտարապետների համար**

| <b>Contents</b>                                                                   |    | <b>Բովանդակություն</b>                                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Light and color in nature and science                                             | 11 | Լույսը և գույնը բնության և տեսության մեջ                                                                                   |
| 1. Basic Physics                                                                  | 12 | 1. Ֆիզիկական հիմունքներ                                                                                                    |
| 1.1. Electromagnetic spectrum                                                     | 12 | 1.1. Էլեկտրամագնիսական սպեկտր                                                                                              |
| 1.2. Black body or thermal radiation                                              | 13 | 1.2. Սև մարմնի կամ ջերմային ճառագայթում                                                                                    |
| 1.3. Solar radiation                                                              | 15 | 1.3. Արեգակնային ճառագայթում                                                                                               |
| 1.4. Rutherford–Bohr model of atom                                                | 15 | 1.4. Ռեզերֆորդ-Բորի ատոմի մոդելը                                                                                           |
| 1.5. Quantum dualism                                                              | 18 | 1.5. Քվանտային դուալիզմ                                                                                                    |
| 1.6. Optics                                                                       | 20 | 1.6. Օպտիկա                                                                                                                |
| 2. Vision of humans and animals                                                   | 23 | 2. Մարդկանց և կենդանիների տեսողություն                                                                                     |
| 2.1. Human eye                                                                    | 23 | 2.1. Մարդու աչքը                                                                                                           |
| 2.2. Human eye luminosity function                                                | 24 | 2.2. Մարդու աչքի լուսազգայնության ֆունկցիան                                                                                |
| 2.3. Photographic Camera                                                          | 27 | 2.3. Լուսանկարչական խցիկ                                                                                                   |
| 2.4. Color and Color Reconstruction                                               | 28 | 2.4. Գույն և գույնի վերարտադրություն                                                                                       |
| 2.5. Asymmetry of cone sensitivity curves                                         | 31 | 2.5. Կոնների զգայնության կորերի ասիմետրիան                                                                                 |
| 2.6. Psychophysical Perception of Light and Color, Correlated Color Temperature   | 34 | 2.6. Լույսի և գույնի հոգեբանական ֆիզիկական ընկալում, կորելացված գունային ջերմաստիճան                                       |
| 2.7. Color Rendering Index vs. Color Quality Scale                                | 36 | 2.7. Գույնի վերարտադրության (գունափոխանցման) ցուցիչը համադրված գունային որակի սանդղակի հետ                                 |
| 3. Measurements of Lighting Parameters and Laboratory Testing                     | 39 | 3. Լուսային պարամետրեր և լաբորատոր չափումներ                                                                               |
| 3.1. Energy Flow Units: Radiometry                                                | 39 | 3.1. Էլեկտրամագնիսական էներգիայի հոսքի միավորներ. ռադիոմետրիա                                                              |
| 3.1.1. Source Radiant Emission Power, watt                                        | 39 | 3.1.1. Աղբյուրի էլեկտրամագնիսական էներգիայի ճառագայթման հզորություն, վատտ                                                  |
| 3.1.2. Radiant Intensity, watts per steradian                                     | 40 | 3.1.2. Ճառագայթման ինտենսիվություն (տարածական խտություն), Վտ/ստեր                                                          |
| 3.1.3. Irradiance, W/m <sup>2</sup>                                               | 40 | 3.1.3. Միավոր մակերեսին ընկնող էլեկտրամագնիսական ճառագայթման մակերևութային խտություն (ճառագայթման հոսք), Վտ/մ <sup>2</sup> |
| 3.2. Human Perception Perspective: Luminous units, Photometry                     | 41 | 3.2. Մարդու կողմից լույսի ընկալում, լուսային միավորներ. ֆոտոմետրիա/լուսաչափություն                                         |
| 3.2.1. Luminous intensity, candela                                                | 41 | 3.2.1. Լույսի ինտենսիվություն (լույսի ուժ), կանդելա                                                                        |
| 3.2.2. Luminous flux, lumen                                                       | 43 | 3.2.2. Լուսային հոսք, լյումեն                                                                                              |
| 3.2.3. Illumination, lux                                                          | 44 | 3.2.3. Լուսավորվածություն, լյուքս                                                                                          |
| 3.2.4. Luminance, cd/m <sup>2</sup>                                               | 44 | 3.2.4. Պայծառություն, կդ/մ <sup>2</sup>                                                                                    |
| 3.3. Performance parameters                                                       | 46 | 3.3. Արդյունավետության պարամետրեր                                                                                          |
| 3.3.1. Luminous efficacy, lm/W                                                    | 46 | 3.3.1. Լուսային արգասիք, լմ/Վտ                                                                                             |
| 3.3.2. Luminous efficiency                                                        | 46 | 3.3.2. Լուսային ՕԳԳ                                                                                                        |
| 3.3.3. Lighting Efficiency or Wall-Plug efficiency, lm/W, power supply efficiency | 47 | 3.3.3. Լուսավորության արդյունավետությունը կամ «ՕԳԳ վարդակից», լմ/Վտ, սնուցման աղբյուրի ՕԳԳ                                 |
| 3.4. Laboratory testing                                                           | 48 | 3.4. Լաբորատոր չափումներ                                                                                                   |
| 3.4.1. Spectrometer                                                               | 48 | 3.4.1. Սպեկտրոմետր                                                                                                         |
| 3.4.2. Luxmeter                                                                   | 51 | 3.4.2. Լյուքսմետր                                                                                                          |
| 3.4.3. Testing laboratory for lighting devices and photometry: Integrating Sphere | 52 | 3.4.3. Լուսավորման սարքերի և ֆոտոմետրիկ չափումների լաբորատորիա՝ ինտեգրող ֆոտոմետրիկ գունդ                                  |
| References                                                                        | 57 | Հղումներ                                                                                                                   |

## LIGHT AND COLOR IN NATURE AND SCIENCE

What is light? Light is the visible part of electromagnetic radiation, as detected by human eyes and interpreted by brain. For the most of living organisms light is:

- Means of vision: electrically and gravitationally neutral<sup>1</sup>, thus light rays propagate straight in the vacuum and transparent media, e.g. uniform air or water; but also absorbing and scattering in all media, reflecting and refracting from and through near ideal surfaces and interfaces, and deflecting, bending in non-uniform media;
- Means for energy transport: any electromagnetic radiation, and by definition this includes light, carries energy via propagation from the source to the object or media that absorbs it. That is how plants get energy for photosynthesis, and we feel the warmth of a fireplace or under solar rays. That is how our radios, cell phones, tablets, computers and TVs receive information – analog or digital data, messages, computer, audiovisual or any other data;
- For many beings, color vision is one vital and very precise source of information about shape and surface of the objects and for self-positioning in the surrounding space.

For human beings additionally light, color and associated perceived shapes are:

- Means of comfort and order through organizing urban surrounding.
- Means of self-expression through visual impact of architecture, design (including e.g. web design), fashion, landscaping, and media and in general through all arts.

The visual information, static (pictures) and dynamic (videos) with increasing fidelity can be registered, transferred and stored.

## ԼՈՒՅԱԸ ԵՎ ԳՈՒՅՆԸ ԲՆՈՒԹՅԱՆ ԵՎ ԳԻՏՈՒԹՅԱՆ ՄԵՋ

Ի՞նչ է լույսը: Լույսը էլեկտրամագնիսական ճառագայթման տեսանելի մասն է, որն ընկալվում է մարդու աչքի կողմից և վերծանվում ուղեղում: Կենդանի օրգանիզմների մեծամասնության համար լույսը՝

- տեսողության միջոց է. այն էլեկտրականության և ձգողականության առումով չեզոք է<sup>1</sup>, վակուումում և համասեռ միջավայրում, օր.՝ համասեռ օդում և ջրում, լուսային ճառագայթները տարածվում են ուղիղ գծով, կլանվում և ցրվում են բոլոր միջավայրերում՝ անդրադառնում մակերևույթներից և բեկվում, երբ դրանց տարածման ճանապարհին միջավայրի խտությունը փոխվում է, կամ, մի խտությամբ միջավայրից այլ խտությամբ միջավայր են անցնում,
- էներգիայի հաղորդման միջոց է. ցանկացած էլեկտրամագնիսական ճառագայթում, այդ թվում նաև լույսը, տարածման միջոցով աղբյուրից էներգիա է տեղափոխում դեպի առարկան կամ իրեն կլանող միջավայրը: Հենց այդպես են բույսերը էներգիա ստանում ֆոտոսինթեզի համար, և հենց այդպես ենք մենք զգում բուխարու կամ արեգակի ճառագայթների ջերմությունը: Հենց այդպես են մեր ռադիոընդունիչները, բջջային հեռախոսները, համակարգիչներն ու հեռուստացույցները անալոգային կամ թվային տվյալներ, հաղորդագրություններ, համակարգչային, տեսալսողական կամ որևէ այլ տվյալներ ստանում,
- Կենդանի էակներից շատերի համար գունային տեսողությունը առարկաների ձևի և մակերևույթի մասին պատկերացում կազմելու, ինչպես նաև շրջակա տարածության մեջ իրենց դիրքորոշման կենսականորեն անհրաժեշտ աղբյուր է:

Բացի այդ, մարդու համար լույսը, գույնը և դրանց շնորհիվ ընկալվող ձևերը՝

- բնակության միջավայրի կազմակերպման միջոցով ստեղծում են հարմարավետություն և կարգավորվածություն,
- ճարտարապետության, դիզայնի (այդ թվում, համակարգչային դիզայնի), նորաձևության, բնատեսարանի (լանդշաֆտի) կազմակերպման, շրջակա միջավայրի և ընդհանրապես՝ բոլոր արվեստների տեսողական ազդեցության շնորհիվ ինքնաարտահայտման միջոցներ են:

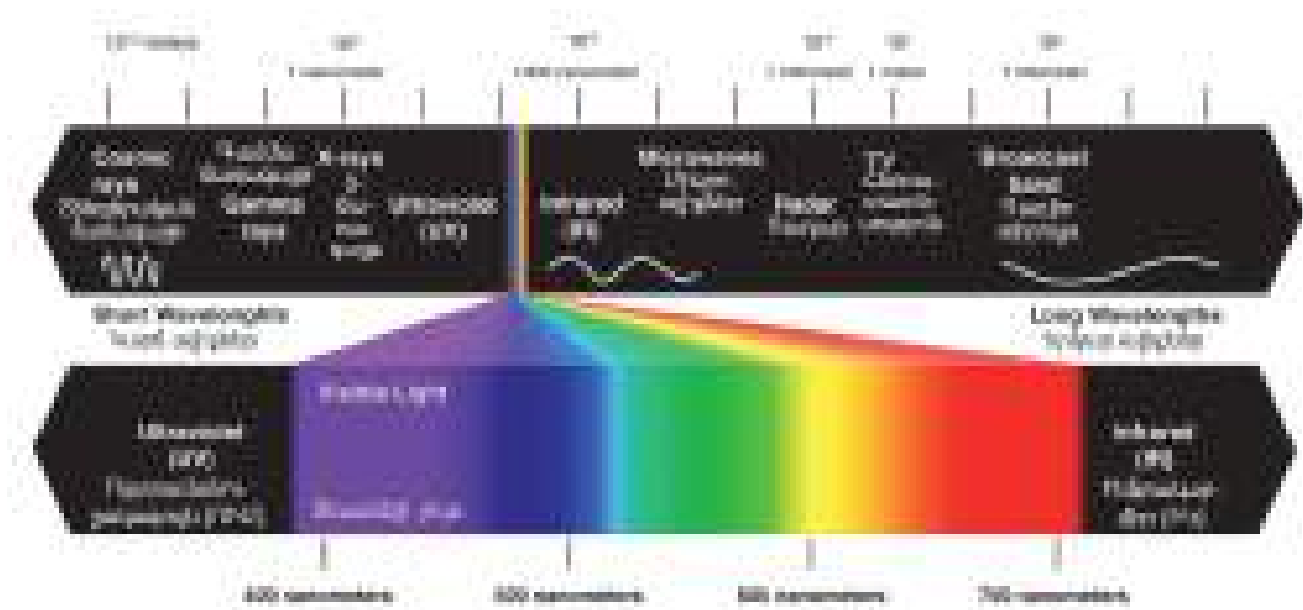
Տեսողական ստատիկ (նկարներ) և դինամիկ (տեսանյութեր) տվյալները կարող են գրանցվել, փոխանցվել և պահպանվել:

<sup>1</sup> For cosmic scale, involving many lightyears of distance and huge masses of black holes, there is however, gravitational deflection of light rays, which, in the most of the cases, could be totally neglected for any applications within Solar System and especially on Earth. Տիեզերական մասշտաբներում՝ բազմաթիվ լուսատարի հեռավորությունների և սև խոռոչների հսկա զանգվածների առկայության պայմաններում՝ այսուհանդերձ, ձգողականության հետևանքով լույսի ճառագայթները կարող են շեղվել, սակայն, Արեգակնային համակարգում և, հատկապես, Երկրի վրա կիրառությունների մեծ մասում այս երևույթը կարող է ամբողջությամբ անտեսվել:



**Figure 2.** The visible electromagnetic radiation spectrum - each basic color univalently related with a wavelength of EMR.

Source/Աղբյուր՝ <http://ecpaint.blogspot.am/2011/01/how-light-affects-color.html>



**Նկար 2.** Էլեկտրամագնիսական ճառագայթի տեսանելի սպեկտրը. յուրաքանչյուր գույն միարժեքորեն համապատասխանում է էՄԾ-ի որոշակի ալիքի երկարությանը:

Note that the center of lower bar of the picture shows the colors of the visible portion of the electromagnetic spectrum, which is usually accepted to be within only the  $0.38 \div 0.72$  micrometer range of the wavelengths. Figure 2 illustrates the visible portion in more detail.

## 1.2. Black body or thermal radiation

In general, all bodies that have temperature greater than absolute zero ( $T > 0$  K), emit radiation, since they constitute an ensemble of charged particles experiencing thermal motion. Since the number of the particles is huge and they move and oscillate in all different directions, frequencies and velocities, the *thermal or black body radiation (BBR)* has a very wide spectrum, including the whole axis of frequencies and wavelengths. The *intensity* and the *peak* of the BBR spectrum are uniquely defined by the temperature of the body, as illustrated in Figure 3. Note that higher is the temperature, higher is the intensity of the BBR, and shorter is the wavelength corresponding to the spectrum peak – thus the peak location is also called Color Temperature (CT).

If the bodies are in the equilibrium, e.g. the temperature of a closed system is uniform, the BBR in all directions is the same, means that each body emits exactly as much of radiation energy

Նշենք, որ նկարում բերված ստորին սանդղակի կենտրոնում ցույց են տրված էլեկտրամագնիսական սպեկտրի տեսանելի մասի գույները, որոնք ընկած են  $0.38 \div 0.72$  միկրոմետր միջակայքում: Նկար 2-ում այդ տեսանելի մասը պատկերված է ավելի մանրամասն:

## 1.2. Սև մարմնի կամ ջերմային ճառագայթում

Ընդհանուր առմամբ, բոլոր այն մարմինները, որոնց ջերմաստիճանը բարձր է բացարձակ զրոյից ( $T > 0$  K), ճառագայթում են ալիքներ, քանի որ դրանք կազմված են ջերմային շարժման մեջ գտնվող լիցքավորված մասնիկներից: Այդ հսկայական քանակությամբ մասնիկները շարժվում և տատանվում են տարբեր ուղղություններով, հաճախություններով և արագություններով, որի հետևանքով ջերմային կամ սև մարմնի ճառագայթումը (ՍՄԾ) շատ լայն սպեկտր ունի, ներառելով հաճախությունների և ալիքի երկարությունների ողջ առանցքը: ՍՄԾ սպեկտրի ինտենսիվությունը և մաքսիմումը (առավելագույն արժեքը) միարժեքորեն որոշվում են տվյալ մարմնի ջերմաստիճանով՝ ինչպես ցույց է տրվում նկար 3-ում: Նշենք, որ որքան բարձր է ջերմաստիճանը, այնքան ավելի բարձր է ՍՄԾ ինտենսիվությունը և ավելի կարճ է սպեկտրի մաքսիմումին համապատասխանող ալիքի երկարությունը, որի շնորհիվ այն նաև կոչվում է գունային ջերմաստիճան (ԳԾ):

Եթե մարմինները գտնվում են թերմոդինամիկական հավասարակշռության վիճակում, դա նշանակում է, որ մարմինը ճիշտ այնքան ճառագայթային էներգիա է արձակում, որքան ստանում է: Սակայն, եթե մարմ-

as it receives. However, if the temperature of a body increases, the BBR from it also increases, as illustrated in Figure 4.

BBR is the phenomenon that underlies the operation of incandescent light generating sources.

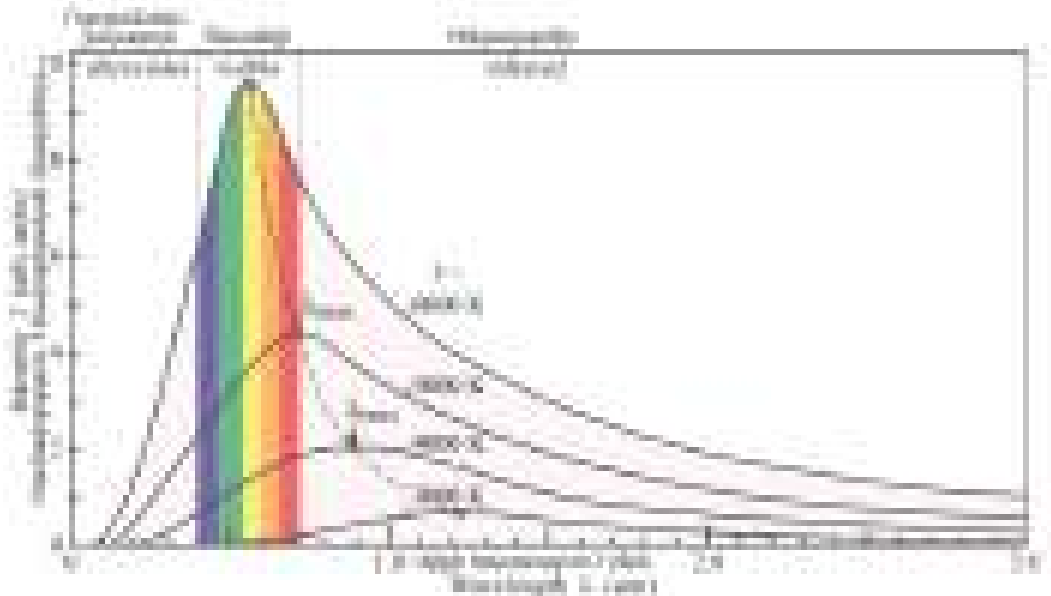
նի ջերմաստիճանը բարձրանում է, ապա նրա ՍՄՃ-ը նույնպես մեծանում է, ինչպես պատկերված է ստորև բերված նկար 4-ում:

ՍՄՃ-ն այն երևույթն է, որն ընկած է շիկացման լամպերի լույսարձակման տեխնոլոգիայի հիմքում:

**Figure 3.** Intensity and the peak of the BBR spectrum are defined by Plank's and Viens laws respectively and uniquely depend on the temperature of the body.

**Note.** At certain temperatures the peak of the BBR is in the visible region (0.39-0.72 micrometers).

**Source/Աղբյուրը՝** <http://quantumfreak.com/wp-content/uploads/2008/09/black-body-radiation-curves.png>

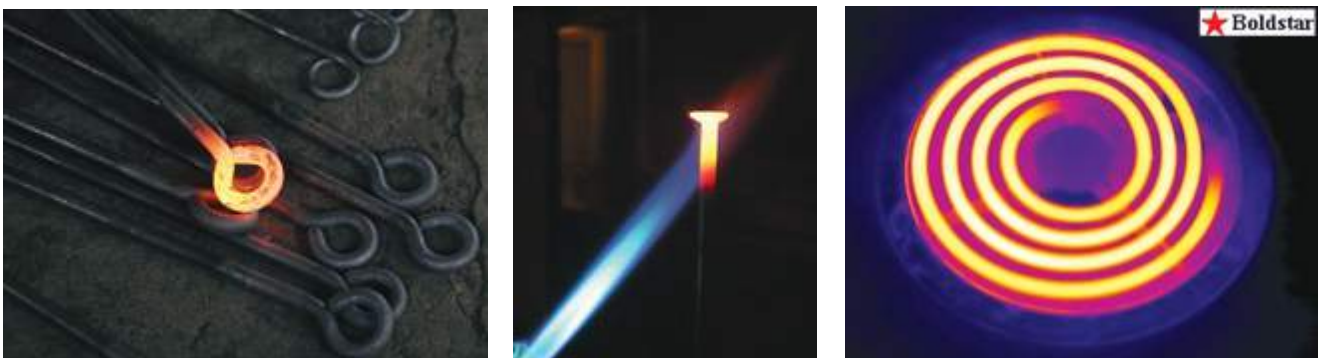


**Նշում.** Որոշակի ջերմաստիճանների դեպքում ՍՄՃ-ի մաքսիմումը գտնվում է տեսանելի տիրույթում (0.38-0.72 միկրոմետր):

**Նկար 3.** ՍՄՃ սպեկտրի ինտենսիվությունը և մաքսիմումը որոշվում են համապատասխանաբար Պլանկի և Վիենի օրենքներով ու միարժեքորեն կախված են մարմնի ջերմաստիճանից:

**Figure 4.** Cases of metal glowing, i.e. emitting visible electromagnetic radiation due to increased temperature and thus BBR.

**Source/Աղբյուրը՝** <http://feeps.as.arizona.edu/outreach/bbwein.html>



**Նկար 4.** Շիկացած մետաղի լուսարձակման օրինակներ, այսինքն՝ ջերմաստիճանի բարձրացման՝ հետևաբար ՍՄՃ-ի արդյունքում այն տեսանելի էլեկտրամագնիսական ճառագայթներ է արձակում:

### 1.3. Solar radiation

While the temperature inside the stars is defined by the fusion reaction taking place at temperatures of tens of millions degrees, the Sun's irradiation spectrum is stipulated by the much lower temperature of its chromosphere, the outer layer, which, on average is 5777 K. Figure 5 shows the spectrum of the electromagnetic radiation of the sun measured in the space, above Earth atmosphere as well as on the ground at sea level, with the corresponding black body radiation curve. Note that solar radiation peaks inside the visible for human eye region of 380-720 nm wavelengths of EMR spectrum. White light is the composition (superposition) of all the wavelengths in this range. For Newton's experiment, please see Figure 10, c.

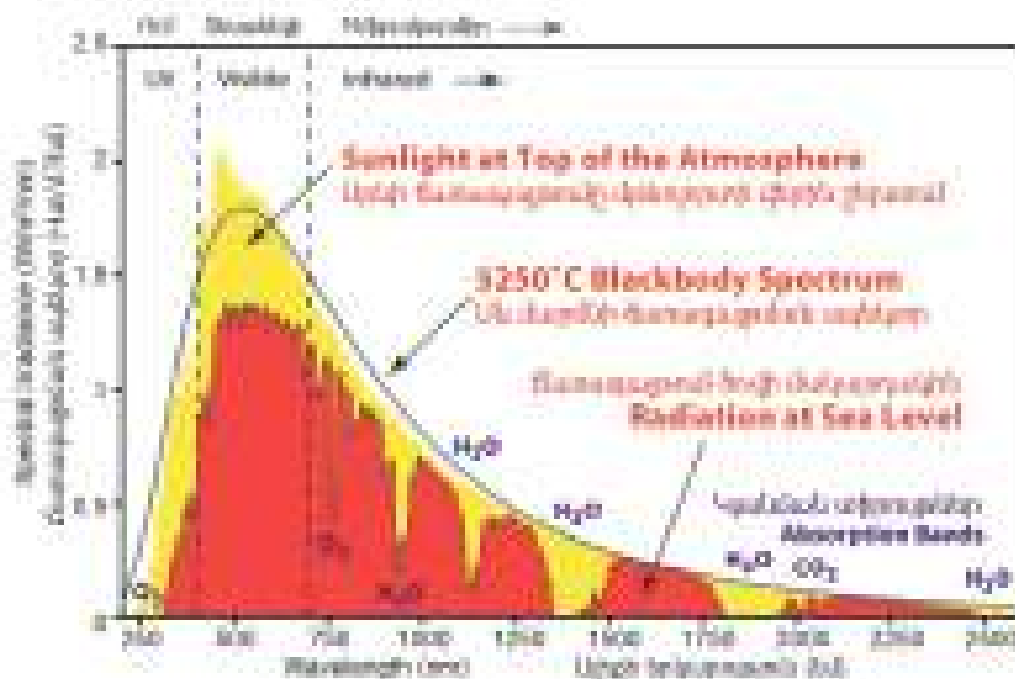
### 1.3. Արեգակնային ճառագայթում

Աստղերի ներսում ջերմությունն առաջանում է ջերմամիջուկային ռեակցիայի արդյունքում: Այն ընթանում է ջերմաստիճանի տասնյակ միլիոնավոր աստիճանի պայմաններում, սակայն արևի ճառագայթային սպեկտրը պայմանավորված է իր քրոմոսֆերայի՝ արտաքին շերտի շատ ավելի ցածր ջերմաստիճանով, որը, միջին հաշվով հասնում է 5777 K: Նկար 5-ում պատկերված են տիեզերքում, և ծովի մակարդակին՝ գետնի վրա չափված արևի և սև մարմնի ճառագայթման սպեկտրների կորերը: Նշենք, որ արեգակնային ճառագայթումը մարդու աչքի տեսանելի տիրույթում (380-720 նմ) մաքսիմում ունի: Սպիտակ լույսը այս տիրույթի բոլոր ալիքների խառնուրդն է (վերադրություն): Տես նաև Նյուտոնի փորձը նկար 10, գ-ում:

**Figure 5.** The spectrum of the electromagnetic radiation of the sun measured at the Earth outer space and on the ground at sea level.

**Note:** Solar radiation peaks inside the visible region of 380-720 nm wavelengths

**Source/Աղբյուրը՝** [https://en.wikipedia.org/wiki/Solar\\_irradiance](https://en.wikipedia.org/wiki/Solar_irradiance)



**Նշում.** Արեգակնային ճառագայթումը մարդու աչքին տեսանելի, ալիքի 380-720 նմ երկարության տիրույթի ներսում մաքսիմում ունի:

**Նկար 5.** Արեգակի էլեկտրամագնիսական ճառագայթման սպեկտրը՝ չափված երկրի մթնոլորտից վեր՝ տիեզերքում, ինչպես նաև ծովի մակարդակին՝ գետնի վրա:

### 1.4. Rutherford–Bohr model of atom

Figure 6 shows the Rutherford–Bohr model of the hydrogen atom. Similar to the solar system, according to this “planetary” model, electron orbits the nucleus of the atom, which in case of hydrogen is just a proton – a positively charged particle with mass, 1836 times exceeding that of the electron.

### 1.4. Ռեզերֆորդ-Բորի ատոմի մոդելը

Նկար 6-ում ցույց է տրված Ռեզերֆորդ-Բորի ջրածնի ատոմի մոդելը: Ըստ այս «մոլորակային» մոդելի, արեգակնային համակարգի նման, էլեկտրոնը ուղեծրով պտտվում է ջրածնի ատոմի միջուկի շուրջը: Ջրածնի դեպքում այն պարզապես պրոտոն է, էլեկտրոնի մասսան 1836 անգամ գերազանցող դրական լիցքավորված մի մասնիկ: Սակայն, էլեկտրոնը և պրոտոնը

However, the dominant force that attracts electron and proton to each other is not gravitational as in the case of the solar system, but electrostatic.

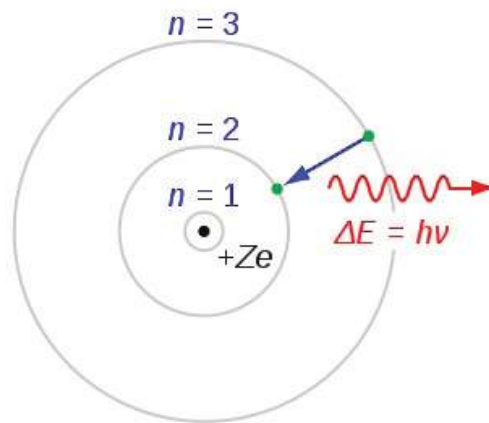
According to classical physics, the moving electron of the hydrogen atom, while orbiting the proton, as a charged particle should emit radiation, lose all of its energy and eventually drop onto the proton. Experimental evidence does not confirm this for hydrogen or any other atoms. It has been the Rutherford–Bohr model, which implemented a new approach paving the road to quantum-mechanical physics, explaining the EMR emission spectrum lines of the hydrogen atom.

միմյանց ձգող գերիշխող ուժը ոչ թե ձգողական ուժն է՝ ինչպես արեգակնային համակարգում, այլ էլեկտրաստատիկ ուժը:

Ըստ դասական ֆիզիկայի, ջրածնի միջուկի (պրոտոնի) շուրջը շարժվող (պտտվող) էլեկտրոնը՝ որպես լիցքավորված մասնիկ, պետք է ճառագայթի, կորցնի իր ամբողջ էներգիան և, վերջիվերջո, ընկնի պրոտոնի վրա: Ջրածնի կամ ցանկացած այլ ատոմի դեպքում դա չի համապատասխանում իրականությանը: Ռեզերֆորդ–Բորի մոդելը նոր մոտեցում կիրառելով ֆիզիկայում, ճանապարհի հարթեց քվանտային մեխանիկայի համար՝ բացատրելով ջրածնի ատոմի էՄՃ արձակման սպեկտրի գծերը:

**Figure 6.** The Rutherford–Bohr model of the hydrogen atom with an electron transition to a lower level and related emission of a quantum.

Source/Աղբյուրը՝ [https://en.wikipedia.org/wiki/Bohr\\_model](https://en.wikipedia.org/wiki/Bohr_model)



**Նկար 6.** Ռեզերֆորդ–Բորի ջրածնի ատոմի մոդելը՝ էլեկտրոնի դեպի ստորին մակարդակն անցումով և դրանով պայմանավորված՝ քվանտային ճառագայթումով:

The quantum-mechanical approach of the Rutherford–Bohr model suggests that while orbiting nuclei, electrons do not emit any energy when they are in a steady state – lowest possible orbital. Only when electron is *excited*, it can drop to a lower orbital, and release a portion of electromagnetic radiation, called quantum.

Per quantum physics, orbitals' radii inside any atom attain only certain strictly defined discrete values, connected to allowed energy levels or states of the atom. Thus, the amount of energy emitted, or the quantum energy is equal to the difference between two allowed energy levels  $\Delta E = E_2 - E_1$ .

Ռեզերֆորդ–Բորի մոդելի քվանտ-մեխանիկական մոտեցումը ենթադրում է, որ միջուկի շուրջ պտտվելիս էլեկտրոնները որևէ էներգիա չեն արձակում, երբ գտնվում են կայուն վիճակում՝ հնարավորինս ամենաստորին ուղեծրում: Միայն էլեկտրոնի գրգռված վիճակում լինելու դեպքում (այսինքն՝ երբ էլեկտրոնը կլանում է էներգիա և տեղափոխվում ավելի բարձր ուղեծիր), այն վերադառնալով դեպի նախկին ուղեծիր ճառագայթում է (վերադարձնում է) կլանված էներգիայի քանակը ջերմության կամ քվանտի տեսքով:

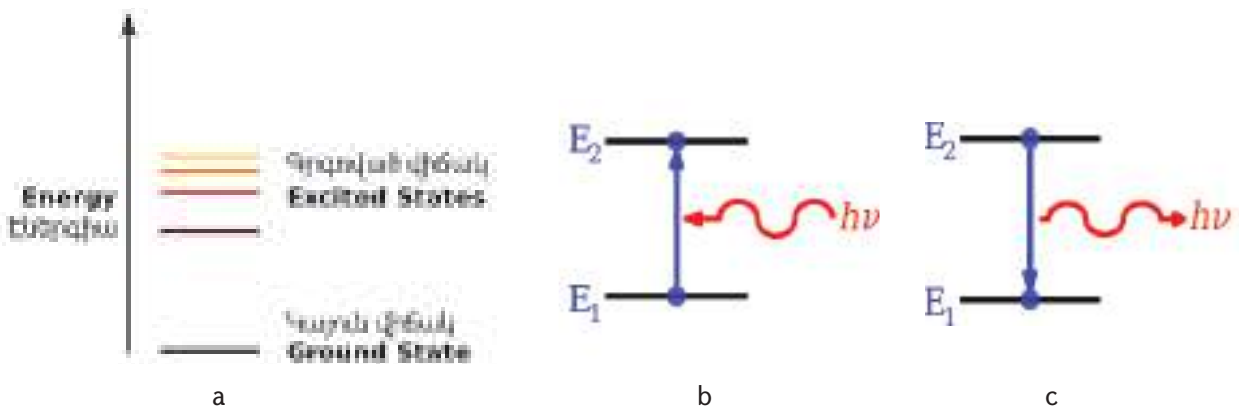
Ըստ քվանտային ֆիզիկայի, ցանկացած ատոմի ներսում ուղեծրային շառավիղները ընդունում են միայն խստորեն սահմանված դիսկրետ արժեքներ, որոնք կապված են թույլատրված էներգիայի մակարդակների կամ ատոմի վիճակների հետ: Հետևաբար, *կլանված կամ արձակված էներգիայի քանակը՝ քվանտային էներգիան, հավասար է թույլատրված երկու մակարդակների էներգիաների տարբերությանը՝*  $\Delta E = E_2 - E_1$ :

For an atom to move to an *excited* state, it needs e.g. to absorb a quantum, elevating the system to a higher energy state, which in the model corresponds to a higher orbital of the electron. The atom (electron) will absorb the quantum of energy only in the case, if energy of the quantum is exactly equal to a difference of values of energy states. In this case electron jumps to a higher energy level. Figure 7 schematically shows the discrete structure of energy states of an atom and the quantum absorption and emission processes.

Որպեսզի ատոմն անցնի գրգռված վիճակի, անհրաժեշտ է որ այն քվանտ կլանի, որը համակարգը կբարձրացնի ավելի բարձր էներգետիկ մակարդակ (մոդելում այն համապատասխանում է էլեկտրոնի ավելի բարձր ուղեծրին): Ատոմը էներգիայի քվանտ կկլանի միայն այն դեպքում, եթե քվանտի էներգիան ճշգրտորեն հավասար է էներգետիկ մակարդակների արժեքների տարբերությանը: Այս դեպքում էլեկտրոնը անցնում է դեպի ավելի բարձր էներգետիկ մակարդակ: Նկար 7-ը ցույց է տալիս ատոմի էներգետիկ մակարդակների դիսկրետ կառուցվածքը և քվանտների կլանման և արձակման երևույթների սխեմատիկ պատկերը:

Figure 7. a, b, c. The discrete structure of energy states of an atom (a), absorption (b), and emission (c) processes.  $\Delta E = E_2 - E_1 = h\nu$ .

Source/Աղբյուրը՝ [https://en.wikipedia.org/wiki/Energy\\_level](https://en.wikipedia.org/wiki/Energy_level).



Նկար 7. ա, բ, գ. Ատոմի էներգետիկական մակարդակների դիսկրետ կառուցվածքը՝ (ա), կլանման (բ), և արձակման (գ) գործընթացը:  $\Delta E = E_2 - E_1 = h\nu$ .

This discrete structure of possible energy levels in an atom is due to the quantum-mechanical behaviour of objects of this micro scale. In general, this corresponds to the fundamental behaviour of the micro-universe, which defines the existence of all atoms. It also rules the principles of modern electrical engineering and electronics, including most of the modern light generating sources.

Figure 8 shows the emission spectrum of a hydrogen atom in a logarithmic scale. Note the strong discrete character of the spectrum lines. Also note the region corresponding to the hydrogen emission in the visible range of EMR wavelengths. Any quantum in the visible range is called a “photon” from the Greek φῶς (phos), meaning “light”.

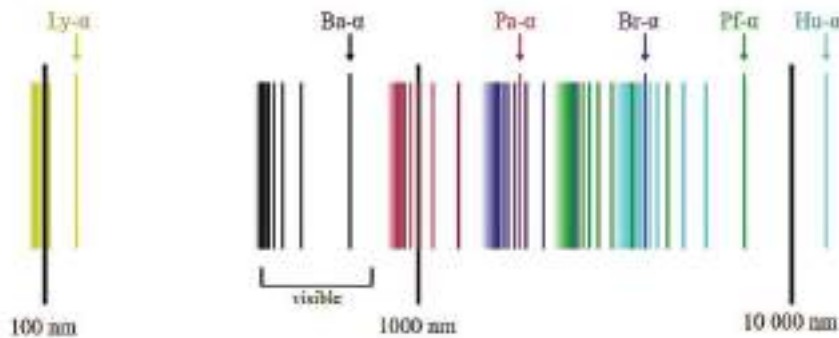
Ատոմի ներսում էներգետիկ հնարավոր (թույլատրելի) մակարդակների այս դիսկրետ կառուցվածքը պայմանավորված է միկրոտիեզերքի հիմնարար օրենքներով: Այս երևույթով է պայմանավորված, նաև, ժամանակակից էլեկտրատեխնիկայի և էլեկտրոնիկայի, այդ թվում՝ ժամանակակից լուսատեխնիկական աղբյուրներից մեծ մասի աշխատանքի հիմքում ընկած սկզբունքը:

Նկար 8-ը ցույց է տալիս ջրածնի ատոմի ճառագայթման սպեկտրը՝ լոգարիթմական մասշտաբով: Ուշադրություն դարձրեք սպեկտրի գծերի խիստ դիսկրետ բնույթին ինչպես նաև ջրածնի ճառագայթման գծերին ԷՄՇ տեսանելի տիրույթում: Տեսանելի միջակայքի ցանկացած քվանտ կոչվում է «ֆոտոն»: Անվանումն առաջացել է հունարեն φῶς (ֆոս) բառից, որը նշանակում է «լույս»:

**Figure 8.** The emission spectrum of a hydrogen atom.

*Note:* The spectrum extends from ultraviolet to far-infrared wavelengths of the EMR. The discrete values of emission wavelengths are stipulated by transitions between various discrete energy states of the hydrogen atom. Note the lines in the visible range.

Source/Աղբյուրը՝ [https://en.wikipedia.org/wiki/Hydrogen\\_spectral\\_series](https://en.wikipedia.org/wiki/Hydrogen_spectral_series)



**Նշում.** Սպեկտրը տարածվում է ԷՄԾ-ի ալիքի երկարությունների ուղիղամասնուղակագույնից մինչև հեռավոր ինֆրակարմիրը: Ճառագայթման ալիքի երկարությունների դիսկրետ արժեքները պայմանավորված են ջրածնի ատոմի դիսկրետ էներգետիկական վիճակների միջև անցումներով: Նկատել տեսանելի տիրույթում գտնվող գծերը:

**Նկար 8.** Զրածնի ատոմի ճառագայթման սպեկտրը:

### 1.5. Quantum dualism

It is interesting to note that any quantum or photon behaves like a particle with a discrete energy value, and at the same time as a wave with a particular wavelength defined by Equation 1-1. Since, as we have mentioned, the EMR always generated when an elementary electrical charge carrier moves or oscillates, the EMR has the characteristics of a wave. At the same time, the discrete nature of the energy states in the atoms forces to generate the EMR in portions, i.e. quanta (or simply quants) in general, or photons in the visible range.

The frequency of the EMR, i.e. also the color if it is in the visible region, is proportional to the quantum energy. The Plank-Einstein formula relates the frequency and wavelength of the quantum or a photon with its energy  $\Delta E$ :

*Equation 1-2 / Հավասարում 1-2*

$$\Delta E = h\nu,$$

where  $h$  is the Plank's constant,  $h = 6.626 \times 10^{-34}$  J·s (joules x seconds). Using Equation 1-1 it is easy to transform (Equation 1-2) into:

*Equation 1-3 / Հավասարում 1-3*

$$\Delta E = hc/\lambda$$

Instead of using joules, the Plank's constant can also be expressed through a smaller energy unit, called electron-volt or eV. 1 eV is the energy that electron obtains or loses when it passes a

### 1.5. Քվանտային դուալիզմ

Հետաքրքիր է նշել, որ ցանկացած քվանտ կամ ֆոտոն իրեն պահում է որպես դիսկրետ էներգիայի արժեք ունեցող մասնիկ և, միևնույն ժամանակ, 1-1 հավասարումով նկարագրվող որոշակի երկարության ալիք, քանի որ, ինչպես արդեն նշվել է, շարժվելիս կամ տատանվելիս տարրական էլեկտրական լիցքը միշտ էՄ դաշտ է առաջացնում, որը տարածվում է ԷՄ ալիքների միջոցով: Միևնույն ժամանակ, ատոմներում էներգետիկ մակարդակների դիսկրետ բնույթը ստիպում է ԷՄ ալիքները ճառագայթել չափաբաժիններով, այսինքն քվանտներով՝ ընդհանրապես, կամ ֆոտոններով՝ տեսանելի միջակայքում:

ԷՄԾ հաճախությունը, այսինքն՝ նաև գույնը, եթե այն գտնվում է սպեկտրի տեսանելի տիրույթում, ուղիղ համեմատական է քվանտային էներգիային: Պլանկ-Էյնշտեյնի բանաձևը ցույց է տալիս քվանտի կամ ֆոտոնի  $\nu$  հաճախության և իր  $\Delta E$  էներգիայի կապը:

որտեղ Պլանկի հաստատունը՝  $h = 6.626 \times 10^{-34}$  Զ·վ (ջոուլ x վայրկյան): Կիրառելով 1-1 հավասարումը, հեշտությամբ կարելի է հավասարում 1-2 ձևափոխել հետևյալ տեսքի՝

Զոուլի փոխարեն, Պլանկի հաստատունը կարող է արտահայտվել, նաև, էներգիայի ավելի փոքր միավորով, որը կոչվում է էլեկտրոն-վոլտ կամ ԷՎ: 1 ԷՎ-ն այն էներգիան է, որը էլեկտրոնը ստանում կամ կորցնում է, երբ այն անցնում է էլեկտրաստատիկ դաշտի

difference of electric potential equal to 1 volt (V). 1 eV is approximately equal to  $1.6 \times 10^{-19}$  joules. The unit of electron-volt is widely used to measure the photon energy. The Planck's constant hence is equal to  $4.1357 \times 10^{-15}$  eV·s.

There is an easy formula derived from Equation 1-3 to switch back and forth between wavelength of the light in microns and photon energy in electron-volts:

*Equation 1-4*

$$E(\text{eV}) = 1.24 / \lambda(\mu\text{m}),$$

or, naturally,

*Equation 1-5*

$$\lambda(\mu\text{m}) = 1.24 / E(\text{eV}).$$

Note the univalent reverse relationship between the energy of a photon and its wavelength. Figure 9 shows the graph of energy (eV) vs. wavelength (nm). Thus when talking about color of a photon, one can equivalently use either the wavelength or the frequency or the energy, knowing that all three are univalently connected with each other.

մի կետից մյուսը 1 վոլտի (Վ) հավասար էլեկտրական պոտենցիալների տարբերության միջով: 1 էՎ-ը մոտավորապես հավասար է  $1.6 \times 10^{-19}$  ջուլի, հետևաբար, Պլանկի հաստատունը հավասար է  $4.1357 \times 10^{-15}$  էլեկտրոն-վոլտ-վայրկյան:

Լույսի ալիքի երկարությունից (արտահայտված մկմ) ֆոտոնի էներգիային (արտահայտված էլեկտրոն-վոլտերով) անցնելու և հակառակ գործողությունը կատարելու համար 1-3 հավասարումից ստացվող պարզ բանաձև կա.

*Հավասարում 1-4*

$$E(\text{էՎ}) = 1.24 / \lambda(\text{մկմ}),$$

կամ, բնականաբար՝

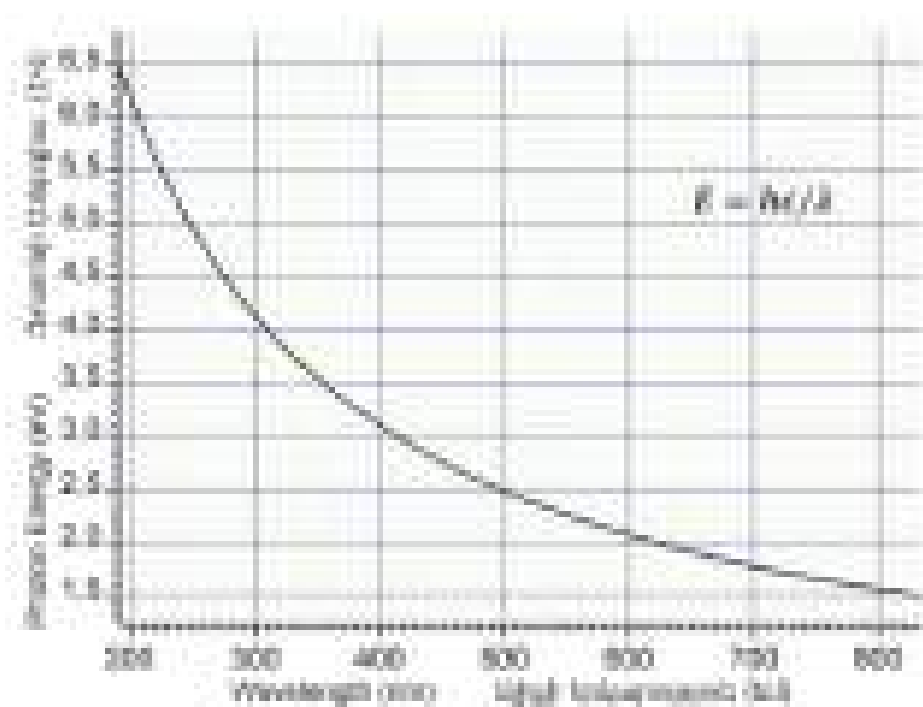
*Հավասարում 1-5*

$$\lambda(\text{մկմ}) = 1.24 / E(\text{էՎ}).$$

Ուշադրություն դարձրեք ֆոտոնի էներգիայի և համապատասխան ալիքի երկարության միարժեք հակադարձ համեմատական կապի առկայությանը: Նկար 9-ում պատկերված է էներգիայի (էՎ) և ալիքի երկարության (նմ,  $1\text{նմ}=10^{-9}$  մ, կարդացվում է - նանոմետր) կախվածության կորը: Հետևաբար, ֆոտոնի գույնի մասին խոսելիս կարելի է համարժեքորեն կիրառել կամ ալիքի երկարությունը, կամ հաճախությունը, կամ էներգիան՝ իմանալով, որ այս երեքն էլ միարժեքորեն կապված են միմյանց հետ:

*Figure 9. Graph of wavelength (nm) to energy (eV).*

Source/Աղբյուր՝ <https://en.wikipedia.org/wiki/Electronvolt>



*Նկար 9. Ալիքի երկարության (նմ) և էներգիայի (eV) կապը:*

## 1.6. Optics

Optics is the branch of physics that studies light radiation processes, dispersion of light in various environments and interaction of light with substances.

In 1666 to 1668, Isaac Newton, thanks to his experiments, became the first to reveal the true nature of natural light for the humanity. When he directed a narrow beam of natural light to a glass prism, an image of color stripes appeared on the white screen. Newton called that “specter” (in Latin “spectrum” means vision and “specto” – watch). This experiment showed that white light consists of components with various wavelengths, that is – various colors. Breakdown of natural light to color components emerges due to differences in refraction indices of beam shift angles in a prism, which in its turn depends on the length of the wave. Because of that, components of natural light with different wavelengths, passing through the prism, shift at different angles. The longer the wave the smaller the shift of a beam on a prism. Particularly, red light shifts the least, while magenta – the most. This phenomenon is named dispersion (from Latin “dispergo”). When Newton used lens to collect the color components streaming off his prism in a focus, he received the same white light (Figure 10, c). Humans perceive white light due to combination of red, green, blue colors in the eye (Figure 10).

Particularly a lens that creates an image on a camera sensor or inside animals' and humans' eyes uses the refraction phenomenon: due to the higher refraction index of the lens material compared to e.g. the air refraction index, the lens is able to focus rays (Figure 11).

## 1.6. Օպտիկա

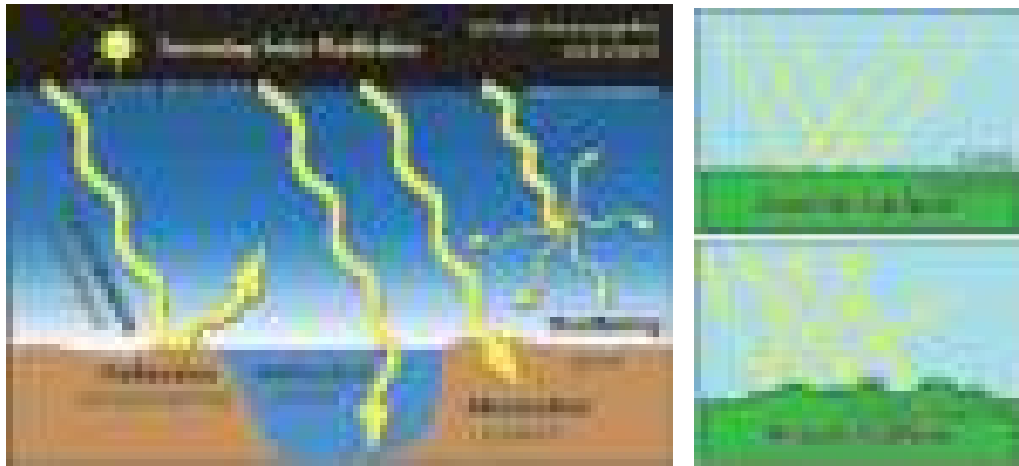
Օպտիկան հանդիսանում է ֆիզիկայի բաժիններից մեկը, որը ուսումնասիրում է լույսի ճառագայթման պրոցեսները, դրա տարածումը տարբեր միջավայրերում և փոխազդեցությունը նյութի հետ:

1666-1668 թթ-ին Իսահակ Նյուտոնը Քեմբրիջում կատարած իր փորձերի շնորհիվ, առաջինն էր, ով բացահայտեց մարդկության համար բնական լույսի իրական բնույթը: Երբ նա բնական լույսի նեղ փունջն ուղղեց ապակյա պրիզմայի վրա, ապա անցած լույսի պատկերը սպիտակ էկրանին ի հայտ եկավ գունավոր գծերի շերտի տեսքով: Նյուտոնը անվանեց այն սպեկտր (լատիներեն spectrum՝ տեսիլք. առաջացել է specto՝ նայել բառից): Այս փորձը ցույց տվեց, որ սպիտակ լույսը բաղկացած է տարբեր ալիքի երկարություն (նույնն է՝ գույն) ունեցող բաղադրիչներից: Բնական լույսի տրոհումը գունային բաղադրիչների բացատրվում է նրանով, որ ճառագայթի շեղման անկյունը պրիզմայում կախված է նրա բեկման ցուցիչից, որն, իր հերթին, կախված է ալիքի երկարությունից: Այդ պատճառով, տարբեր ալիքի երկարություն ունեցող բնական լույսի բաղադրիչները, անցնելով պրիզմայի միջով, տարբեր անկյուններով են շեղվում: Որքան մեծ է ալիքի երկարությունը, այդքան քիչ է շեղվում ճառագայթը պրիզմայի մեջ բեկվելիս: Այդ պատճառով կարմիրն ամենաքիչն է շեղվում, իսկ մանուշակագույնը՝ ամենաշատը: Այս երևույթը կոչվում է դիսպերսիա (լատիներեն dispergo նշանակում է ցրել): Երբ Նյուտոնը, պրիզմայից դուրս եկած գունավոր բաղադրիչները ուսանյակով հավաքեց կիզակետում, ապա արդյունքում ստացվեց նույն բնական սպիտակ լույսը (Նկար 10, գ): Մարդիկ սպիտակ լույսն ընկալում են աչքում կարմիր, կանաչ, կապույտ գույների համատեղման շնորհիվ (Նկար 10):

Մասնավորապես ուսանյակը, որը տեսախցիկի սենսորի մակերեսին, կամ կենդանու և մարդու աչքի մեջ պատկերներ է կառուցում, դա անում է բեկման երևույթի շնորհիվ: Ուսանյակի նյութի բեկման ցուցիչի ավելի մեծ լինելու շնորհիվ (համեմատած օդի բեկման ցուցիչի հետ) ուսանյակը ընդունակ է հավաքել ճառագայթները մեկ կետում՝ *կիզակետում* (Նկար 11):

Figure 10. a, b, c. Showing scattering, reflection, refraction and dispersion of light (dispersion resembles Newton's pioneering dispersion experiment).

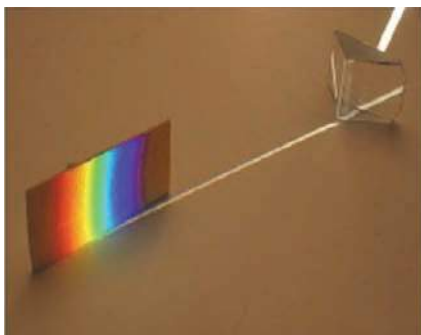
Source/Աղբյուրը՝ <http://tiny.cc/59fa1y>



a / ա



b / բ



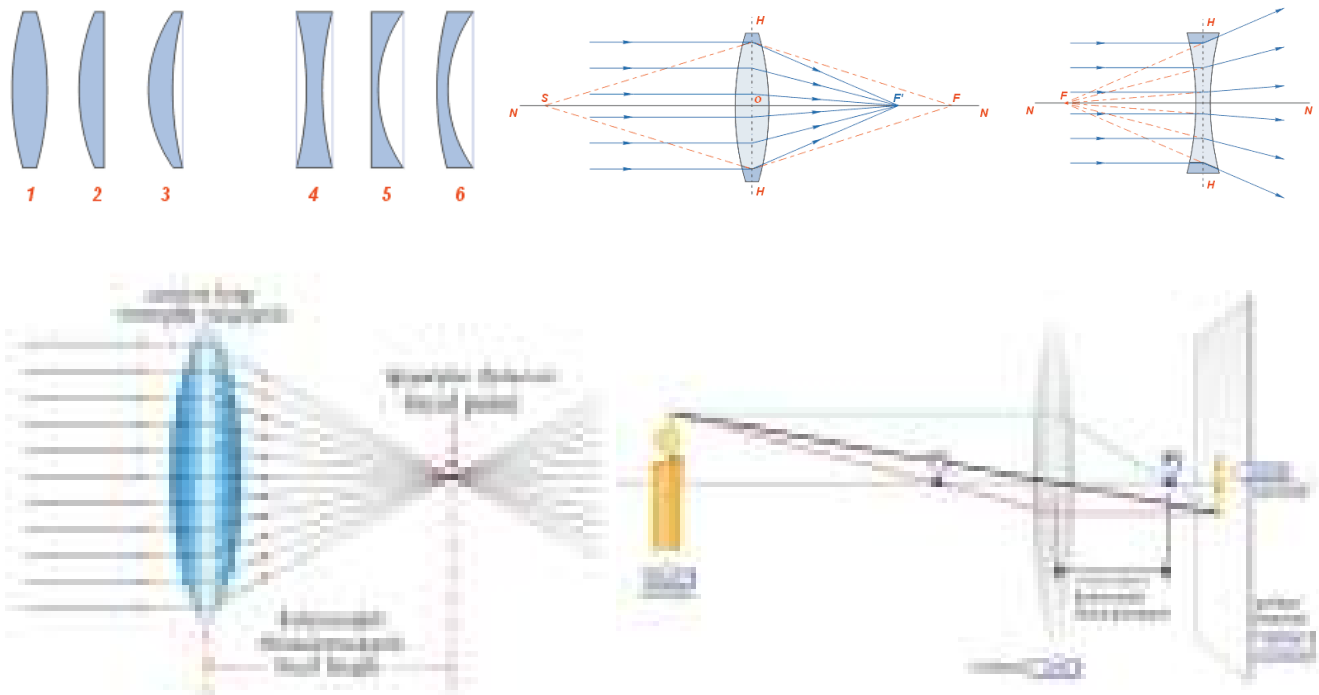
c / գ

Նկար 10. ա, բ, գ: Ցույց է տրված լույսի ցրման, անդրադարձման, բեկման և դիսպերսիայի երևույթները (կրկնում է Նյուտոնի առաջին տարալուծման փորձը):

**Figure 11.** How a lens is able to focus and generate image due to refraction phenomenon.

**Note:** Refraction is not the only necessary condition for collecting the rays in a focus, since the refraction index of the diverging lens is also larger than that of the surrounding air. If the refraction index of the surrounding medium is smaller than that of the lens, then convex lenses (1,2 and 3) will collect the rays in the direction of the NN axis passing through the center of the lens – the ray passing through this axis will not refract or deflect. A beam of parallel rays incident normally on the lens will be converging into one point called the focus. Such converging lenses are also called positive lenses. The concave lenses 4, 5, and 6 are called diverging or negative – the beam of parallel rays would diverge away from the NN axis. Diverging lenses do not have real focus. If the refraction index of the surrounding medium is larger than that of the lens, then convex lenses become diverging and concave ones – converging. For example an air bubble in water, being a biconvex lens serves as a diverging lens, since the air refraction index is smaller than the that of the water.

Source/Աղբյուրը՝ [www.passmyexams.co.uk](http://www.passmyexams.co.uk), <https://elearning.cpp.edu>



**Նշում.** Բեկման երևույթը անհրաժեշտ բայց ոչ բավարար պայման է ճառագայթները կիզակետում հավաքելու համար, քանի որ ցողո (բացասական) ապակյա սալնյակի բեկման ցուցիչը նույնպես մեծ է միջավայրի օդի բեկման ցուցիչից: Եթե շրջապատող միջավայրի բեկման ցուցիչը ավելի փոքր է քան սալնյակինը, ապա ուռուցիկ սալնյակները (կենտրոնական մասը եզրից հաստ է, պարկերված առաջին երեքը)՝ կհավաքեն ճառագայթները դեպի սալնյակի կենտրոնով անցնող ճառագայթը (պարկերված է NN նշանակումով), որը չի բեկվում և չի շեղվում: Եթե սալնյակի վրա ընկնող ճառագայթները զուգահեռ են միմյանց, ապա ճառագայթները կհավաքվեն մեկ կետում որը կոչվում է կիզակետ: Այդպիսի սալնյակները կոչվում են հավաքող կամ դրական (նկարի վրա պարկերված 1, 2 և 3 սալնյակները): 4, 5 և 6 գոգավոր սալնյակները (կենտրոնական մասը ավելի բարակ է քան եզրը) կոչվում են ցողո կամ բացասական: Նրանց վրա ընկած ճառագայթները, ի տարբերություն նախորդ դեպքի, սալնյակով անցնելիս բեկվում են դեպի դուրս, այսինքն շեղվում են NN առանցքից հեռու: Ցողո սալնյակները չունեն իրական կիզակետ: Եթե միջավայրի բեկման ցուցիչը մեծ է սալնյակի բեկման ցուցիչից, ապա ուռուցիկ սալնյակները դառնում են ցողո իսկ գոգավորները՝ հավաքող: Օրինակ՝ օդի պղպջակը ջրում, լինելով երկուուղիկ սալնյակ, ցողում է իր միջով անցնող լույսը, քանի որ օդի բեկման ցուցիչը ավելի փոքր է քան ջրինը:

**Նկար 11.** Այսպես բեկման երևույթի շնորհիվ սալնյակը հավաքում է ճառագայթները և պարկեր է ստեղծում:

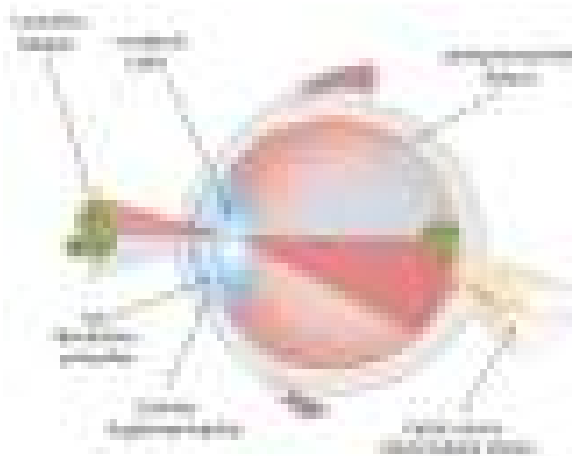
## 2. VISION OF HUMANS AND ANIMALS

### 2.1. Human eye

Figure 12 shows the human eye cross section. Eye operation principle is similar to that of a digital camera (see section “Photographic Camera”). The *lens*, in conjunction with *cornea* and *iris* provide projection of the object image to the *retina*. Information from the retina transferred to the brain through optic nerve.

**Figure 12.** a and b. The human eye cross section. Note one of the first drawings related to the human vision by Leonardo Da Vinci

**Source/Աղբյուրը՝** (a) <http://2012books.lardbucket.org/books/public-speaking-practice-and-ethics/s18-presentation-aids-design-and-u.html>, (b) <http://discoveringdavinci.tumblr.com/page/42>



**Նկար 12.** ա և բ: Մարդու աչքի երկայնական հատույթը: Լեոնարդո Դա Վինչիի հեղինակությամբ՝ մարդու տեսողությանը վերաբերող առաջին գծապատկերներից մեկը:

Figure 13 shows the enlargement of the retina cross-section. Retina acts similar to the image sensor of the camera. Note the *rods* and *cones* inside retina that resemble the color photo sites on the image sensor of a camera. There are three types of cones, for red, green and blue (RGB) colors. These colors are called *main*, *basic* or *simple colors*. All visible colors are represented by three output signals, or sensory quantities, caused by influence of primary color values of light, the *tristimulus values*. Cone output signals are continuously interpreted by the brain to form pictures.

Spatial (3D) vision is the result of the combination of signals from two eyes in the brain, therefore it is called binocular vision and provides the full color and richness of the interpretation.

Նկար 13-ում բերված է ցանցաթաղանթի լայնական հատույթի մանրամասն պատկերը: Գանցաթաղանթն աշխատում է ֆոտոխցիկի պատկերի սենսորի նման: Ուշադրություն դարձրեք ցանցաթաղանթի ներսում գտնվող աչքի զգայուն տարրերին՝ ձողիկներին և կոններին, որոնք նման են լուսանկարչական խցիկի պատկերի սենսորի վրա գունազգայնության լուսազգայուն տարրերին: Կոնները լինում են երեք տեսակի: Ամեն տեսակը ունի իր զգայնության մաքսիմումը՝ ընկած կարմիր, կանաչ կամ կապույտ (RGB: Red, Green, Blue) տիրույթներում: Այս գույները կոչվում են *հիմնական*, կամ *պարզ* գույներ: Բոլոր տեսանելի գույները երեք տիպի կոնների վրա երեք հիմնական գույների որոշ արժեքների համադրման արդյունք են: Կոնների ելքային (էլեկտրական) ազդանշանները ուղեղը վերծանում է պատկերների ձևով:

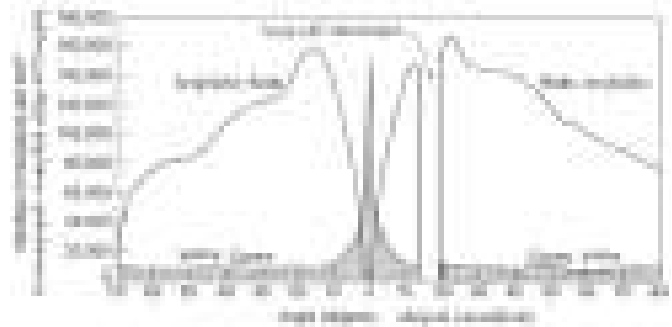
Տարածական (3D) տեսողությունն ուղեղում երկու աչքերից ստացվող ազդանշանների համադրման արդյունք է, այդ պատճառով կոչվում է բինոկուլյար կամ երկաչյա տեսողություն և ապահովում է գույնի հարստությունը և պատկերի լրիվությունը:

Figure 13. The enlargement of the retina cross-section.

Source/Աղբյուրը՝ <http://webvision.med.utah.edu/book/part-i-foundations/simple-anatomy-of-the-retina/>, <http://www.uxmatters.com/mt/archives/2010/07/updating-our-understanding-of-perception-and-cognition-part-i.php>



1. pigment epithelium/պիգմենտային (գունանյութային) հյուսվածք, 2. rods/ծողիկներ, 3. cones/կոներ, 4. outer limiting membrane/արտաքին սահմանափակող թաղանթ, 5. Müller cells/Մյուլլերի բջիջներ, 6. horizontal cells/հորիզոնական բջիջներ, 7. bipolar cells/երկբևեռ բջիջներ, 8. amacrine cells/ամակրինային բջիջներ, 9. ganglion cells/գանգլիոնար բջիջներ, 10. nerve fiber layer/նյարդաթելիկների շերտ, 11. inner limiting membrane/ներքին սահմանափակող թաղանթ



Նկար 13. Ցանցաթաղանթի լայնական հատույթի մանրամասն պատկերը

## 2.2. Human eye luminosity function

Each type of cone of the retina has its own sensitivity spectrum, as shown in Figure 14. The rods sense black and white in low light conditions – for detecting of brightness levels only, which is often called *scotopic luminosity*, and the vision is called *scotopic*.

At high brightness, when cones are actuated, the vision is called *photopic*, and at intermediate levels – *mesopic*. Photopic vision starts at luminance levels as low as three candela per square meter (see “Luminous intensity: Candela” for candela definition). Scotopic vision occurs at very dark illumination, below  $2 \times 10^{-5}$  cd/m<sup>2</sup>.

Thus, the night or scotopic vision is provided by rods that have their maximum sensitivity at  $\approx 498$  nm, while the daytime or photopic sensitivity maximum is at 555 nm. This is the reason that at low illumination blue light seems brighter – due to rhodopsin, the light sensitive pigment of the rods. At high illumination levels rhodopsin loses its coloration, its maximal sensitivity drops and shifts to the blue region of the spectrum. Here rods serve as additional receptors of blue light.

Note the fovea in the human eye, a little dimple at the close to the center of the retina, almost

## 2.2. Մարդու աչքի լուսազգայնության ֆունկցիան

Ցանցաթաղանթի յուրաքանչյուր կոնի տեսակ ունի իր զգայնության սպեկտրը, ինչպես պատկերված է Նկար 14-ում: Զոդիկները ապահովում են սև-սպիտակ տեսողություն թույլ լուսավորության պայմաններում, երբ կոների զգայնությունը չի բավարարում:

Լուսավորության բարձր մակարդակներում տեսողությունը կոչվում է ֆոտոպիկ իսկ միջանկյալ մակարդակներում *մթնշաղային* կամ *մեզոպիկ*: Ֆոտոպիկ տեսողությունը սկսվում է պայծառության առնվազն երեք կանդելա մեկ քառակուսի մետրի վրա մակարդակներում (կանդելայի սահմանումը տես՝ «Լույսի ինտենսիվություն, կանդելա՝ կդ»): Սկոտոպիկ տեսողությունը տեղի է ունենում  $2 \times 10^{-5}$  կդ/մ<sup>2</sup>-ից ցածր լուսավորվածություն պայմաններում:

Այսպիսով գիշերային (սկոտոպիկ) տեսողությունը ապահովում են ծողիկները և այդ պատճառով գիշերային տեսողության սպեկտրալ կորի մաքսիմումը համապատասխանում է  $\approx 500$  նմ-ի, ի տարբերություն ցերեկայինի (ֆոտոպիկ տեսողություն) 555 նմ-ի: Այդ պատճառով մութ ժամանակ կապտա-երկնագույն լույսը ավելի պայծառ է թվում քան ցերեկը: Դա պայմանավորված է ծողիկների լուսազգայուն պիգմենտով՝ ռոդոպսինով: Երբ լուսավորության մակարդակը բարձր է, ռոդոպսինը գունազրկվում է, նրա առավելագույն լուսազգայնությունը նվազում է և շեղվում դեպի սպեկտրի կապույտ տիրույթը: Այս պարագայում ծողիկները գործում են որպես լույսի կապույտ տիրույթի լրացուցիչ ընդունիչներ:

Ուշադրություն դարձրեք մարդու աչքի ֆովեա կոչված տեղամասին՝ ցանցաթաղանթի կենտրոնին մոտիկ՝ գրեթե ուսանյակի առանցքի վրա այդ փոքրիկ փոսիկին:<sup>2</sup> Ամենաշատ կոները կենտրոնացած են հենց այս տարածքում (տես նաև Նկար 13-ի աջ ստորին հատվածը): Ֆովեայի շնորհիվ մարդկային տեսողության հետ կապված շատ չափումներ են կատարվում 2° կամ 10° տեսողական տեսանկյունից, որպեսզի ֆովեան

2 There is an angle of about 5 degrees between the optical axis (lens) and visual axis (fovea).  
Օպտիկական առանցքի (ոսպնյակի) և տեսողական առանցքի (փոսիկի) միջև կա 5 աստիճանի անկյուն:

on the axis of the lens.<sup>2</sup> This is the area that the concentration of the cones is the highest (see also at right bottom on Figure 13). Due to fovea, many measurements related to human vision are done either in 2° or 10° visual angle so that fovea is in the center of the vision. Humans perceive the richest color information here - that is why we look at a direction to an object. At the periphery, in contrast, the density of cones is being decreased and the vision there is in fact more black and white.

The peaks of sensitivity for each type of cone usually are in the 560-580, 530-540 and 420-440 nm – in red, green and blue range respectively.

These sensitivity spectra are defining integral human light perception, called luminous spectral

գտնվի տեսողության կենտրոնում: Այս տեղամասում է, որ մարդն ընկալում է գունային ամենանուրբ երանգները և դրանով է պայմանավորված մեր հայացքի ուղղությունը: Այդ տեղամասից ավելի հեռու, մանավանդ ծայրամասերում, կոների խտությունը նվազում է և այնտեղ տեսողությունն ավելի գունազրկված է (մոտ է սև-սպիտակին):

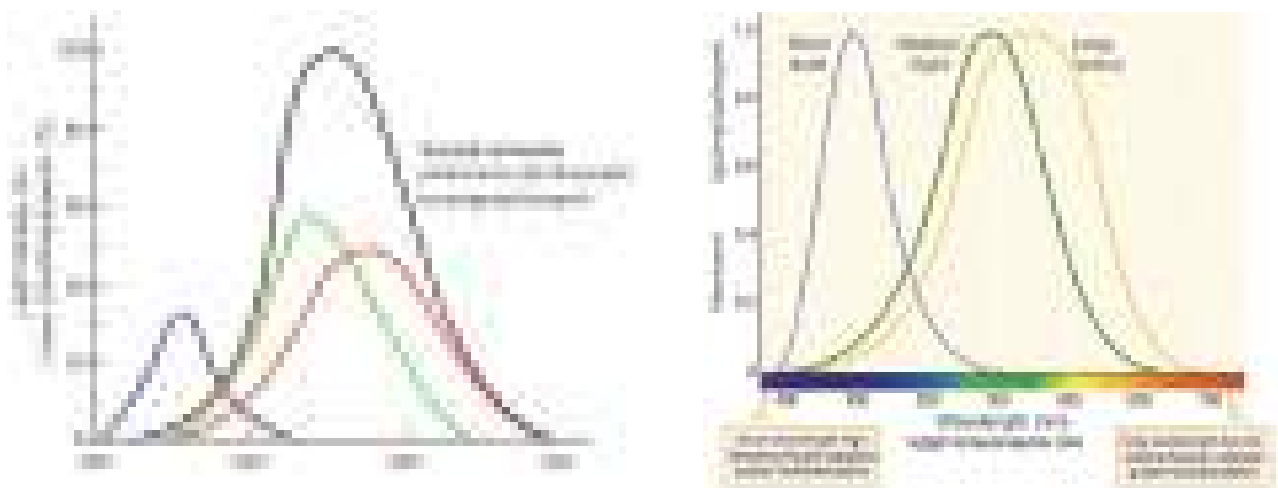
Ամեն կոն ունի իր զգայնության կորի առավելագույն արժեքը, որը գտնվում է 560-580, 530-540 և 420-440 նմ միջակայքներից մեկում, համապատասխանաբար՝ կարմիր, կանաչ և կապույտ գույների տիրույթներում:

Զգայնության այս սպեկտրները որոշում են մարդու կողմից գունարային, արդյունաբար լուսային ընկալումը, որը կոչվում է լուսային սպեկտրալ զգայնություն կամ ստանդարտ լուսազգայնության ֆունկցիա (ՍԼՖ,

**Figure 14.** Color sensitivity of each of the cone of human eye and integral sensitivity. Note integral sensitivity curve and overall luminosity.

**Note:** Blue cones have lower sensitivity, sensitivity is highest for greens and lowest at the both ends of the spectrum, and all curves overlap.

**Source/Աղբյուր՝** <https://www.quora.com/Why-are-only-seven-colors-visible-to-the-naked-human-eye>, [https://en.wikipedia.org/wiki/Color\\_vision#/media/File:EyeSensitivity.svg](https://en.wikipedia.org/wiki/Color_vision#/media/File:EyeSensitivity.svg).



**Նշում.** Կապույտ կոների զգայնությունն ավելի ցածր է, այն ամենաբարձրն է կանաչների համար և ամենացածրը՝ սպեկտրի երկու ծայրերում, և բոլոր կորերը միմյանց հետ հադվում են:

**Նկար 14.** Մարդու աչքի յուրաքանչյուր կոնի գունազգայնությունը և ինտեգրալ զգայնությունը: Ուշադրություն դարձրեք ինտեգրալ զգայնության կորին և ընդհանուր լուսազգայնությանը:

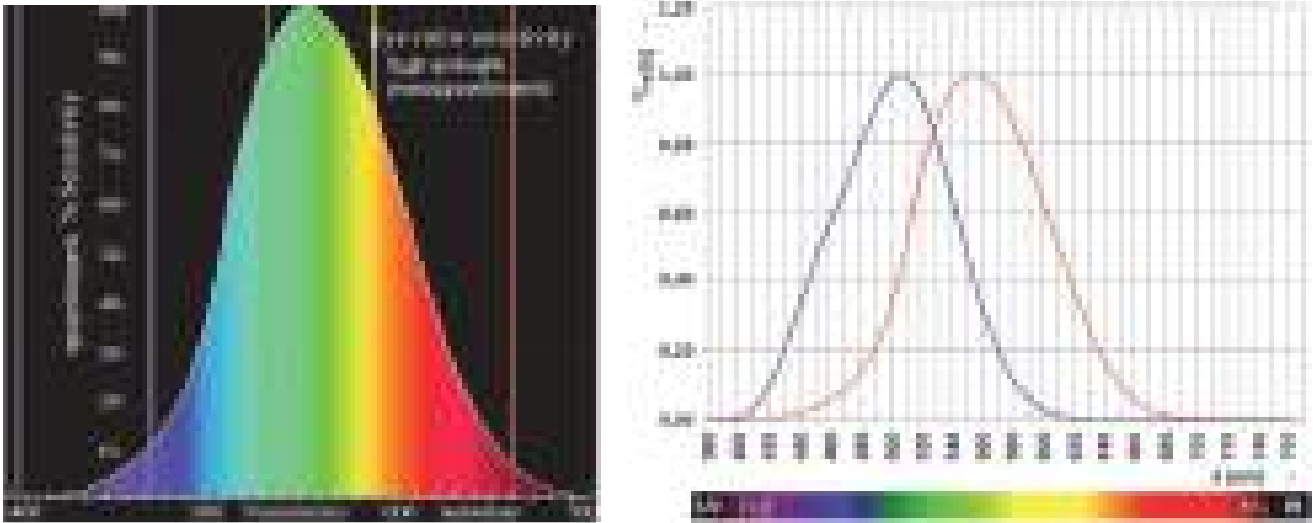
sensitivity or standard luminosity function (SLF, Figure 15) - a model of the spectral sensitivity of the human eye to different wavelengths. This function is also called *average frequency response* of a human eye. Worth to memorize that the word “luminous” always means the radiant intensity or EMR that is related to the light as perceived by humans in the context of the visible spectrum sensitivity. As the graph shows, for the wavelength corresponding to the peak intensity,  $\lambda=555$  nm, the radiant and luminous intensity values match, having the same perceptual effect. However, e.g. for a  $\lambda=490$  nm blue light, one needs to have approximately five

նկար 15), որն ավելի տարբեր երկարությունների նկատմամբ մարդկային աչքի սպեկտրալ զգայնության մոդելն է: Այս ֆունկցիան նաև կոչվում է մարդու աչքի միջինացված հաճախային բնութագիր: Արժե մտապահել, որ «լուսային» բառը միշտ նշանակում է այն ԷՄԾ-ը, որն ընկալվում է մարդու կողմից: Ինչպես երևում է գծապատկերում, առավելագույն ինտենսիվությանը համապատասխանող ավելի երկարության դեպքում՝  $\lambda=555$  նմ, էլեկտրամագնիսական էներգիայի ճառագայթման ու լուսային ինտենսիվության արժեքները համընկնում են, քանի որ ունեն միևնույն ընկալման ազդեցությունը: Սակայն, օրինակ,  $\lambda=490$  նմ կապույտ լույսի դեպքում անհրաժեշտ կլինի աղբյուրից մոտավորապես հինգ անգամ ավելի էլեկտրամագնիսական էներգիայի ճառագայթման ինտենսիվություն ունենալ, որպեսզի հաս-

**Figure 15.** Overall spectrum of human perception of light intensity (or standard luminosity function).

**Note:** The Photopic curve is colored in red. In this case, i.e. in bright conditions, sensitivity peaks at 555 nm. The Scotopic curve is colored in blue.

Source/Աղբյուրը՝ <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:V-lambda-phot-scot.svg>.



**Նշում.** Կարմիր գույնով ներկայացված է ֆոտոպիկ կորը, որի դեպքում, այսինքն՝ լուսավոր պայմաններում, մաքսիմալ զգայնությունը 555 նմ վրա է: Կապույտ գույնով նշված է սկոպիկ կորը:

**Նկար 15.** Մարդու կողմից լույսի ինտենսիվության ընկալման ընդհանուր սպեկտրը (կամ ստանդարտ լուսազգայնության ֆունկցիան):

times more radiant intensity from the source to have the same perceptual luminosity effect as for the green 555 nm light, if at a moment the color information is disregarded and overall brightness or illumination is taken into consideration.

Naturally, if a light source generates radiation beyond the range of the sensitivity spectrum, humans will not be able to see it, and this energy is wasted. Thus the light sources, to be effective should generate as much as possible within this spectrum. Unfortunately most of the light sources generate in a wider or much wider spectrum, contributing more in the heat generation and lesser in light generation.

Also human comfort need illumination that allows reliable color perception. This means:

- we are always interested in photopic sensitivity
- we need to make sure that the colors are reproduced with high fidelity. Here the benchmark is the daylight<sup>3</sup> – humans have been sensing daylight for ages.

It is necessary to mention that along these sensitivity spectra, there are also a number of other biophysical and psychological factors and criteria that influence human vision, discussed in the next sections. All, virtually infinite colors that people perceive are possible to obtain through excitation of red green and blue cones, i.e. through a certain superposition of signals coming from the cones.

նել նույն լուսազգայնության ազդեցությանը, ինչպիսին 555 նմ լույսի դեպքում է, եթե մի պահ անտեսվի գույնային ընկալումը և հաշվի առնվի միայն ընդհանուր պայծառությունը:

Բնականաբար, եթե լույսի աղբյուրի կողմից արձակված ճառագայթը գտնվում է զգայնության սպեկտրի տիրույթից դուրս, ապա մարդը չի կարողանա այն տեսնել և այդ էներգիան վատնվում է: Որպեսզի լույսի աղբյուրներն արդյունավետ լինեն, դրանք պետք է հնարավորինս շատ լույս արձակեն սպեկտրի տեսանելի միջակայքում: Ցավոք, լույսի աղբյուրների մեծ մասը ճառագայթում են ավելի լայն կամ շատ ավելի լայն տիրույթում, որի արդյունքում ավելի շատ ջերմություն է առաջանում, քան լույս:

Մարդու հարմարավետության համար անհրաժեշտ է նաև այնպիսի լուսավորություն, որն ապահովում է հուսալի գույնային ընկալում: Սա նշանակում է, որ.

- ա. մեզ միշտ հետաքրքրում է ֆոտոպիկ զգայնությունը,
- բ. մենք պետք է ապահովենք գույների վերարտադրությունը մեծ ճշգրտությամբ: Այստեղ չափանիշը բնական ցերեկային լուսավորվածությունն է՝<sup>3</sup> մարդը դարեր շարունակ ապրել է բնական լույսի ներքո: Անհրաժեշտ է նշել, որ բացի այդ զգայնության սպեկտրերից կան նաև մարդու տեսողության վրա ազդող մի շարք այլ կենսաաֆիզիկական և հոգեբանական գործոններ և չափանիշներ, որոնք կդիտարկվեն հաջորդ բաժիններում: Մարդու կողմից ընկալվող բո-

<sup>3</sup> In fact the light of a flame is also perceived as natural source of light, to which humans have also been historically accustomed to.  
Ի դեպ, կրակի լույսը, նույնպես, որպես բնական լույսի աղբյուր է ընկալվում, քանի որ պատմականորեն մարդը դրան նույնպես, սովորել է:

## 2.3. Photographic Camera

It is instrumental to discuss the principle behind the photographic camera. Figure 16 schematically shows the principle: an image is formed on the sensor that is in the focal plane of the lens. Depending on the intensity of the light falling on each individual photosite, the sensor sends the digitized information to the processor, which creates a file in a standard format, e.g. JPEG<sup>4</sup>. Note that in front of the image sensor a composite red-green-blue or RGB color filter is placed, so that each of the three colors are registered via different dedicated sensor photosite. This simulates the action of the cones of human eye. The object's projection in full color can be retrieved in the brain with more than acceptable accuracy using only the three basic red, green, and blue channels registered by the camera. Why? Explains the next section.

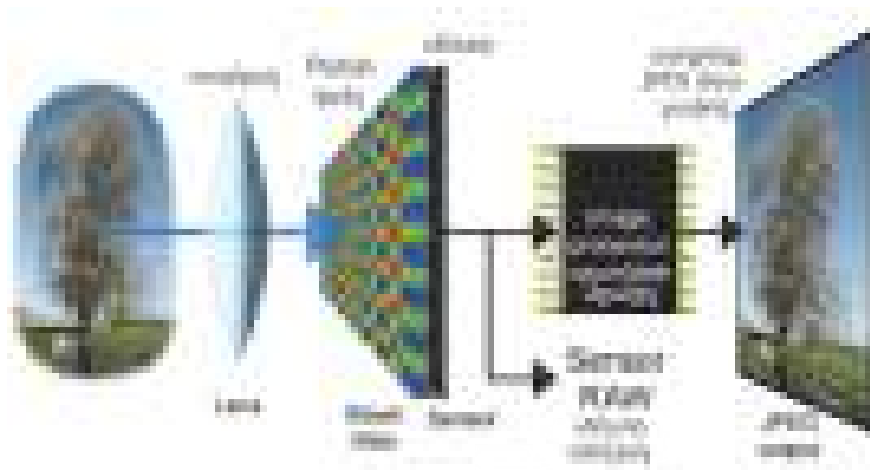
լոր, փաստորեն անսահման երանգները հնարավոր է ստանալ կարմիր, կանաչ և կապույտ կոնների գրգռման միջոցով, այսինքն՝ կոններից եկող ազդանշանների որոշակի համադրության միջոցով:

## 2.3. Լուսանկարչական խցիկ

Օգտակար կլինի նաև դիտարկել լուսանկարչական խցիկի աշխատանքի սկզբունքը: Նկար 16-ը ցույց է տալիս այդ սկզբունքի սխեման. պատկերը ձևավորվում է սենսորի վրա, որը գտնվում է ուսանյակի ֆոկալ հարթության մեջ: Կախված յուրաքանչյուր գույնին համապատասխանող տարրական լուսազգայուն միավորի վրա ընկած լույսի ինտենսիվությունից՝ սենսորը թվայնացված տվյալներ է ուղարկում պրոցեսոր, որը ստանդարտ ձևաչափով, օրինակ՝ JPEG<sup>4</sup> ֆայլ է ստեղծում: Նշենք, որ պատկերի սենսորի դիմաց գունային բաղադրյալ՝ կարմիր-կանաչ-կապույտ կամ RGB ֆիլտր է տեղադրված, այնպես, որ երեք գույներից յուրաքանչյուրը գրանցվում է դրա համար հատուկ նախատեսված՝ լուսազգայուն տարրի միջոցով: Սա նմանակում է մարդու աչքի կոնների գործողությունը: Առարկայի

Figure 16. The principle of the camera operation.

Source/Աղբյուր՝ <http://www.trustedreviews.com/opinions/digital-photography-tutorial-raw-usage>



Նկար 16. Խցիկի աշխատանքի սկզբունքը:

Figure 17 shows the internals of a real camera: one can see the lens, image sensor, processor and other electronics, which allow controlling the exposure interval (shutter speed) and aperture of the lens (f-stop or pupil) depending on the brightness of the scene.

The file created by camera is being used to reconstruct the image on a display screen, to store or print the image. The values registered from each pixel, need to be such that it would be possible to reconstruct the colors later on a computer screen

գունավոր պատկերը կարող է ավելի քան ընդունելի ճշգրտությամբ արտաբերվել ուղեղում՝ խցիկի կողմից գրանցված միայն երեք՝ կարմիր, կանաչ, կապույտ սենսորների միջոցով: Ինչու՞: Բացատրությունը տրվում է հաջորդ բաժնում:

Նկար 17-ը պատկերում է իրական խցիկի ներքին կառուցվածքը. կարելի է տեսնել օբյեկտիվը, պատկերի սենսորը, պրոցեսորը և այլ էլեկտրոնային մասերը, որոնք, կախված տեսարանի պայծառությունից, թույլ են տալիս կարգավորել էքսպոզիցիայի ժամանակը, այսինքն՝ փակադակի բացման տևողությունը և օբյեկտիվի դիաֆրագմայի մեծությունը (f-արժեքը կամ բիբը):

4 The term “JPEG” is an abbreviation for the Joint Photographic Experts Group, which created this compression standard. “JPEG” տերմինը՝ պատկերի այս սեղմման ստանդարտը, Joint Photographic Experts Group-ի հապավումն է: <https://en.wikipedia.org/wiki/JPEG>

Figure 17. The internals of a real camera.

Source/Աղբյուրը՝ tech.firstpost.com



Նկար 17. Իրական խցիկի ներքին կառուցվածքը:

to be seen by human eyes and interpreted with certain accuracy by the human brain. Note that it is not possible to provide 100% accuracy, due to a number of differences between the photographic camera and human eye. The main difference is certainly in the fact that photographic camera photo-sites of RGB colors do not respectively have exactly the same human eye cone sensitivities. The same situation is also with light sources - their spectral power distribution in the visible range not always replicate the logic behind the human eye sensitivity. Despite of this fact, cameras and light sources are able to convey the color information with acceptable or high accuracy.

## 2.4. Color and Color Reconstruction

As it has been already mentioned, human color perception is related to the signals that are generated in the red (R), green (G), and blue (B) cone receptors of the eye retina. All colors that sensed by humans are some kind of combination of the output signals from RGB cones, generated by tristimulus values – the triads of numbers corresponding to the intensities of primary colors reaching the eye. This is called trichromatic vision – characteristic of humans and a number of mammals. Many other living beings have dichromatic vision (cats, dogs, Figure 18) tetrachromatic or pentachromatic (e.g. pigeons, butterflies).

However, the human trichromatic vision is more complicated that it may seem initially. There is a mismatch in the way, how the colors are formed under artificial lighting or captured by a camera and rendered on TV or computer screens from one

խցիկի կողմից ստեղծված ֆայլն օգտագործվում է պատկերը էկրանի վրա վերարտադրելու, պահպանելու կամ այն տպելու համար: Յուրաքանչյուր փիքսելից (pixel՝ պատկերի գունային բաղադրյալ տարրը) գրանցված արժեքները պետք է լինեն այնպիսին, որ պեսզի հետագայում հնարավոր լինի համակարգչային էկրանին վերարտադրել գույներն այնպես, որ աչքը կարողանա այն տեսնել, իսկ ուղեղը որոշակի ճշգրտությամբ վերծանել: Նկատի ունեցեք, որ լուսանկարչական խցիկի և մարդու աչքի միջև մի շարք տարբերությունների պատճառով, հնարավոր չէ ապահովել 100% ճշգրտություն: Հիմնական տարբերությունը, իհարկե, կայանում է նրանում, որ լուսանկարչական խցիկի RGB գույների ընկալող տարրերի և մարդու աչքի համապատասխան կոների զգայնության կորերը չեն համընկնում: Նույն իրավիճակն է լույսի աղբյուրների դեպքում. տեսանելի տիրույթում դրանց սպեկտրալ ուժերի բաշխումը միշտ չէ պատճենում մարդու աչքի զգայնության հիմքում դրված տրամաբանությունը: Չնայած այս հանգամանքին, խցիկները և լույսի աղբյուրները կարող են փոխանցել գունային տվյալներն ընդունելի կամ բարձր ճշգրտությամբ:

## 2.4. Գույն և գույնի վերարտադրություն

Ինչպես արդեն նշվել է, մարդու կողմից գույնի ընկալումը կապված է այն ազդանշանների հետ, որոնք գեներացվել են աչքի ցանցաթաղանթի կարմիր (R), կանաչ (G) և կապույտ (B) ընկալիչ կոներում: Մարդու կողմից ընկալվող բոլոր գույներն երեք տիպի (RGB) կոներից ելնող ազդանշանների որոշակի համադրություն է: Սա կոչվում է եռագույն տեսողություն, որը բնորոշ է մարդկանց և մի շարք կաթնասուններին: Բազմաթիվ այլ կենդանի էակներ երկգույն (կատուններ, շները)՝ Նկար 18, քառագույն կամ հնգագույն (օրինակ՝ աղաձիսները, թիթեռները) տեսողություն ունեն:

Այդուհանդերձ, մարդու եռագույն տեսողությու-

**Figure 18.** If the colour red is deleted from the spectrum, a cat would see the world like that (a), how a dog would see the colors (b) .

Source/Աղբյուր՝ a) <http://www.eurocatfancy.de/en1/nav/about-cats/cat-anatomy/eye.asp>  
b) <http://ethology.eu/the-dogs-color-vision-and-what-it-means-for-our-training/>



**Նկար 18.** Եթե սպեկտրից հանենք կարմիր գույնը, ապա կարուն (ա) աշխարհը կրեսնի այնպես, ինչպես գույները կրեսներ շունը (բ)

side, and the way humans perceive colors under the benchmark daylight illumination conditions. From the other side, the cameras' photo sites do not have sensitivity curves that are neither ideal nor exactly repeat the human cone sensitivity spectra. Then how to make color reproduction as close to the reality as possible?

First, we need to answer the question: "how colors are being percept by humans' eyes and reconstructed in humans' brain?"

Let us imagine for a moment that red, green and blue cones' sensitivities are described by the idealized curves, as shown in Figure 19, instead of what we know experimentally, as shown on Figure 14.

You may immediately notice that this plot on Figure 19 has characteristics that clearly differentiate it from those presented on Figure 14, namely:

1. Overall picture is ideally symmetrical, all three plots are identical, just shifted by translational

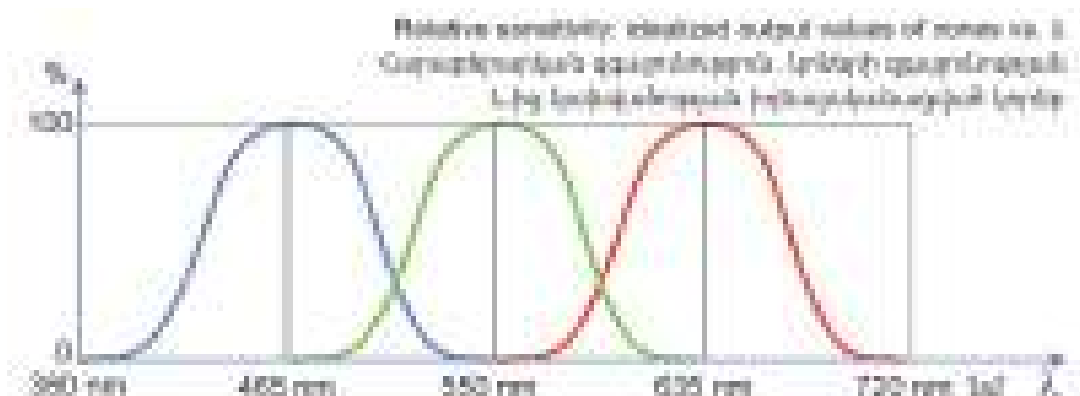
նը շատ ավելի բարդ է, քան կարող է թվալ առաջին հայացքից: Անհամապատասխանությունը նրանում է, թե ինչպես են գույները ձևավորվում արհեստական լուսավորության տակ կամ որսվում խցիկի կողմից և վերարտադրվում հեռուստացույցի կամ համակարգչի էկրանների վրա, և ինչպես է մարդն ընկալում գույները բնական լուսավորվածության պայմաններում: Օրինակ, լուսանկարչական խցիկների գույներն ընկալող էլեմենտների զգայնության կորերը, ճշգրտորեն չեն կրկնում մարդու կոների զգայնության կորերը: Այդ դեպքում ինչպես գունավոր վերարտադրությունը հնարավորինս մոտեցնել իրականությանը:

Նախ, մենք պետք է պատասխանենք հետևյալ հարցին՝ «ինչպես են գույներն ընկալվում մարդու աչքի կողմից և վերարտադրվում մարդու ուղեղում»:

Եկեք մի պահ պատկերացնենք, թե կարմիր, կանաչ և կապույտ կոների զգայնությունները ներկայացված են իդեալականացված կորերով՝ ինչպես ցույց է տրված նկար 19-ում:

Անմիջապես երևում է, որ Նկար 19-ում բերված սխեմայում կորերը տարբերում են Նկար 14-ում ներկայացվածից, այսինքն՝

**Figure 19.** Idealized photopic sensitivities of human RGB cones, the tristimulus values (notice the difference with real curves on Figure 14.)



**Նկար 19.** Մարդու RGB կոների իդեալականացված ֆոտոպիկ զգայնությունը՝ եռակի ազդեցության արժեքները (տեսեք Նկար 14 –ում իրական կորի համեմատ դրանց տարբերությունը):

symmetry on the wavelength axis. There are 4 segments, each 85 nm wide.

2. The overlap is only with the adjacent curve: red and blue sensitivities do not overlap; green symmetrically overlaps with both red and blue.
3. Every wavelength  $\lambda$  causes signals to be generated **only** on the outputs of **two** cones.
4. Similar to the real pattern, there are two ranges at the ends of the spectrum, each 85 nm wide, that are yielding signals only at one cone, these ranges, as well as other areas are very symmetrical.

Per this idealized setup, humans will be able to differentiate all colors uniquely by discrimination between the output signal triads.

For this idealized case, it would be reasonable to define so called RGB space, where each axes shows the intensity of the output signal at one of the cones. Figure 20 shows the procedure of defining the idealized RGB color space.

Here is the procedure to perform a transformation from 3D space to an easier 2D space (simplified by omitting the numbers and functions):

1. Define three dimensional symmetrical RGB space, where vector angles (direction) define the color, but the vector length is the intensity of the color
2. Define Color Cube via and similar to 3D RGB space
3. Define the <111> plane, where every color, independently of the intensity is uniquely represented on the formed triangle
4. Define the 2D color map – via the triangle in the <111> plane, in which the edges are the pure colors, and every other color is represented by a pair of (xy) numbers.

This is a mathematical transformation, leading from 3D color space values to 2D map values, which is a much simpler representation.

Now it is much easier to describe any color by a pair of numbers in the 2D color map. The central point is the “equal energy color” or the gray value. For this idealized – simplified setup, all possible colors are represented in this color map. If we would have light sources that their spectral power distribution (SPD) either replicate these idealised cone sensitivities, or narrower with the peaks at the same values of 465 nm, 550 nm and 635 nm as shown on Figure 19, their combination is also able to cover all possible colors that a human may sense. Similarly, if a light source, or a digital camera, TV set or computer screen has pixels with similar characteristics, the color reproduction would have been 100% perfect. However, this is an idealized setup. How about the real case?

1. Ամբողջ պատկերը իդեալական սիմետրիկ է, բոլոր երեք կորերը նույնն են՝ պարզապես նրանց մաք-սիմոմները միմյանցից շեղված են 85 նմ-ով: 4 հավասար հատված կա՝ յուրաքանչյուրը 85 նմ լայնությամբ:
2. Փոխադարձորեն վերածածկվում են միայն հարակից կորերը. կարմիր և կապույտ կորերը չեն փոխ-ծածկվում, կանաչը սիմետրիկորեն փոխծածկվում է ինչպես կարմիրի, այնպես էլ կապույտի հետ:
3. Յուրաքանչյուր  $\lambda$  ալիքի երկարություն ազդանշաններ է առաջացնում միայն **երկու** տիպի կոների ելքում:
4. Աչքի իրական զգայնության նմանությամբ, սպեկտրի ծայրերում կա երկու միջակայք՝ յուրաքանչյուրը 85 նմ լայնությամբ, որոնք ազդանշաններ են առաջացնում միայն մեկ տիպի կոնում:

Ըստ այս իդեալականացված կառուցվածքի, ելքային ազդանշանի եռյակների միջև տարբերությունները ճանաչելու միջոցով մարդը կկարողանա միանշանակորեն տարբերել բոլոր գույները:

Կառուցենք այս իդեալական դեպքի համար այսպես կոչված RGB տարածությունն այնպես, որ առանցքներից յուրաքանչյուրը ցույց տա կոներից մեկի ելքային ազդանշանի ինտենսիվությունը: Նկար 20-ը ցույց է տալիս իդեալական RGB գունային տարածության կառուցման ընթացակարգը:

Ստորև բերված են եռաչափ (3D) գունային տարածությունից երկչափ գունային (2D) տարածքին անցնելու մաթեմատիկական ձևափոխության քայլերը (ձևափոխման պարզության համար թվերը և ֆունկցիաները բաց են թողնված)։

1. սահմանում ենք եռաչափ սիմետրիկ RGB տարածություն, որտեղ վեկտորի անկյունները (ուղղությունը) որոշում են գույնը, իսկ վեկտորի երկարությունը՝ ինտենսիվությունը:
2. սահմանում ենք գունային խորանարդ 3D RGB տարածության նմանությամբ:
3. սահմանում ենք <111> հարթությունը, որտեղ յուրաքանչյուր գույն, անկախ ինտենսիվությունից, միարժեքորեն ներկայացված է ստացված եռանկյան վրա:
4. սահմանում ենք երկչափ 2D գունային քարտեզը, <111> հարթության եռանկյան մեջ, որտեղ եզրերը մաքուր գույներն են, և յուրաքանչյուր գույն նկարագրվում է (xy) թվային գույգի միջոցով:

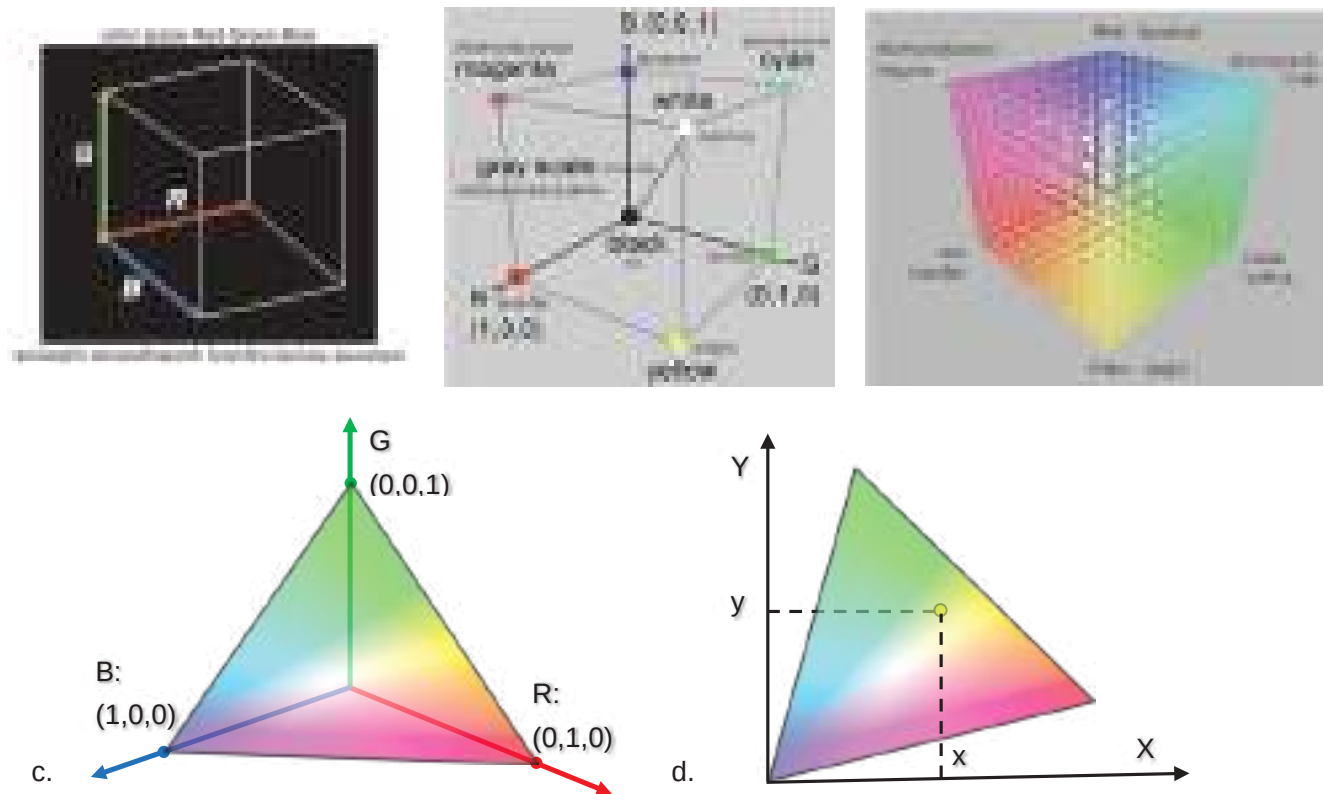
Այսպիսով սա մաթեմատիկական ձևափոխություն է, որը հնարավորություն է տալիս եռաչափ (3D) գունային տարածությունից անցնել գունային ավելի պարզ, երկչափ (2D) տարածքի արժեքների, ինչը զգալիորեն հեշտացնում է հաշվարկները:

Այսպիսի իդեալականացված՝ պարզեցված կառուցվածքի համար բոլոր հնարավոր գույները ներկայացված են այս գունային քարտեզում: Եթե լույսի աղբյուրը, կամ թվային խցիկը, հեռուստացույցի կամ համակարգչի էկրանը նման հատկանիշներով փիքսելներ ունենային, ապա գույնի վերարտադրությունը կարող էր 100% կատարյալ լինել:

Սակայն սա իդեալականացված տարբերակն է: Իսկ ինչպիսին է իրականությունը:

Figure 20. Definition of the idealized RGB space and map.

Source/Աղբյուր՝ <https://www.youtube.com/watch?v=82ltpxqPP4I>



Նկար 20. Իդեալականացված RGB տարածության և քարտեզի սահմանումը:

## 2.5. Asymmetry of cone sensitivity curves

The human eye cones' sensitivities, as shown on Figure 14, are laid up in a different way compared to the idealized setup described above, leading to these differences:

- Cone sensitivities are not symmetrically laid on the visible range
- Green and red curves are closer and, importantly, they overlap a lot
- Blue curve is further to the left, overlapping to a lesser extent both with green and red curves (this is the main difference compared to ideal curves, where there is no overlap between blue and red curves at all).

This brings to the following phenomenon: e.g. while yellow color,  $\lambda \approx 570$  nm of the spectrum generates signal with two types of cones only, namely red and green, i.e. only red and green cones can output signals under the influence of this wavelength, blue cones do not output any signal, and that combination of cone output yields the sense of yellow color (Figure 21, a).

Interesting to note that the eye would not be able to differentiate between the monochromatic

## 2.5. Կոնների զգայնության կորերի ասիմետրիան

Մարդու աչքի կոնների զգայնության իրական կորերը իդեալականի համեմատ՝ այլ տեսք ունեն, որը հանգեցնում է հետևյալ տարբերություններին.

- տեսանելի տիրույթում կոնի զգայնության կորը սիմետրիկ չէ
- կանաչ և կարմիր կորերն իրար ավելի մոտ են և զգալիորեն փոխաձայնվում են
- կապույտ կորն ընկած է փոքր ինչ ավելի ձախ, թե կանաչ և թե կարմիր կորերի հետ ունի փոխաձայնման տիրույթ (սա հիմնական տարբերությունն է իդեալական կորերից՝ որտեղ կապույտ և կարմիր կորերը ընդհանրապես չեն փոխաձայնվում):

Սա հանգեցնում է հետևյալ երևույթին. հայտնի է, որ ապակե պրիզմայի միջով անցնելիս սպիտակ լույսը տրոհվում է բաղադրիչների՝ տարալուծվում է: Այսպես, օրինակ՝ բաղադրիչներից մեկը՝ դեղին գույնը (ալիքի երկարությունը՝  $\lambda \approx 570$  նմ), ընկնելով մարդու աչքի մեջ՝ ազդում է միայն կարմիր և կանաչ կոնների վրա: Դա նշանակում է, որ այս երկարության ալիքի ազդեցության տակ միայն կարմիր և կանաչ կոններն են ազդանշաններ հաղորդում, մինչդեռ կապույտ կոնները որևէ ազդանշան չեն արձակում: Կոնների առաջացրած ազդանշանների այդ համադրությունը մարդու մոտ դեղին գույնի զգայություն է առաջացնում (Նկար 21, ա):

Հետաքրքիր է նշել, որ աչքը չի կարող տարբերակել ապակե պրիզմայի միջոցով տարալուծված՝ սպիտակ

spectral yellow colors obtained through dispersion of the white light through a glass prism, and generated by mixing certain intensities of green color at 555 nm and with red color of 700 nm. In both cases the ratio of the output signals on the red and green cones would be the same, yielding the perception of the same yellow color, e.g.  $\lambda \approx 570$  nm.

In fact, there are infinite ways of linearly combining the various input green and red wavelengths of various intensities to obtain the same yellow color perception. This phenomenon, in respect of not only yellow color but also any color, is laying in the basis of the *color matching* techniques – colors having different spectral composition but having the same perceptual result are called *metameric* colors. Due to *color metamerism*, it is possible to reproduce colors via color TV-s, cameras, printing, etc., despite of the fact that e.g. camera photosite sensitivity spectrum is different from that of the respective eye cone.

However, if we consider the “blue-green” monochromatic color,  $\lambda \approx 480$  nm (Figure 21, b), it generates signals at all three cones, i.e. all three cones sense this wavelength, albeit red outputs at lower magnitude, yielding perception of the “blue-green” color. This has a very important and interesting consequence. If one tries to match or reproduce the “blue-green” color,  $\lambda \approx 480$  nm, via

լույսից ստացված մոնոքրոմ մեղմ գույնի և՛ որոշակի ինտենսիվությամբ 555 նմ ալիքի երկարությամբ կանաչ գույնի և 700 նմ երկարությամբ կարմիր գույնի խառնելու միջոցով ստացված գույնի միջև: Երկու դեպքում էլ կարմիր և կանաչ կոնների ելքային ազդանշանների հարաբերությունը նույնը կլինի՝ տալով նույն դեղին գույնի այսինքն  $\lambda \approx 570$  նմ-ին համապատասխան ալիքի երկարության ընկալումը:

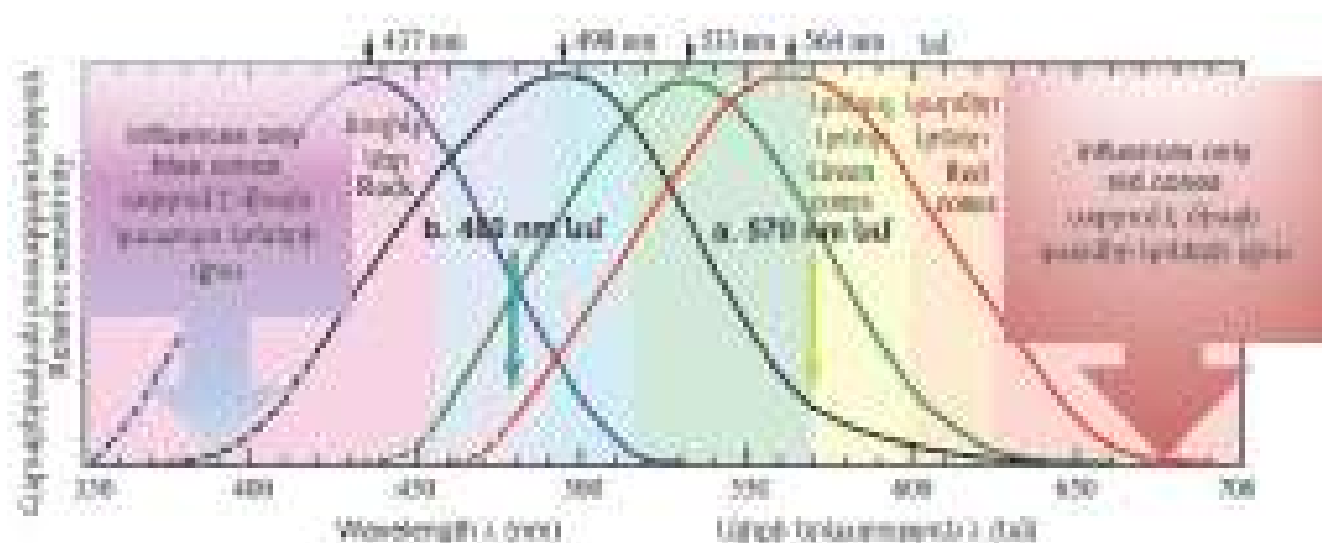
Ըստ էության, կան կանաչ և կարմիր ալիքի երկարություններով մուտքային ազդեցությունների անվերջ համադրություններ, որոնց արդյունքում առաջանում է միևնույն դեղին գույնի ընկալումը: Այս երևույթը, որը վերաբերում է ոչ միայն դեղին գույնին, այլև ցանկացած այլ գույնի, ընկած է գույների համապատասխանության՝ գույնի վերարտադրման տեխնիկայի հիմքում: Տարբեր սպեկտրալ կազմ՝ սակայն ընկալման միևնույն արդյունք ունեցող գույները կոչվում են *մետրամերիկ* գույներ: Գույների *մետրամերիզմի* շնորհիվ հնարավոր է դառնում գունավոր հեռուստատեսության, խցիկների, տպիչների և այլ միջոցներով վերարտադրել գույները, թեև, օրինակ՝ խցիկի լուսազգայուն տարրի ընկալման սպեկտրը տարբերվում է աչքի համապատասխան կոնի սպեկտրից:

Սակայն, եթե դիտարկենք «կապույտ-կանաչ» մոնոքրոմատիկ գույնը,  $\lambda \approx 480$  նմ (նկար 21, բ), ապա այն բոլոր երեք կոններում էլ ազդանշաններ է առաջացնում, այսինքն բոլոր երեք կոններն էլ ընկալում են այս ալիքի երկարությունը, թեև կարմիր կոնի ելքային ազդանշանի ուժգնությունը համեմատաբար ցածր է: Այս երևույթը մի շատ կարևոր և հետաքրքիր հետևանք ու-

**Figure 21.** While 570 nm wavelength is in the region of only red and green cone sensitivities (a), the 480 nm wavelength stimulates all three cones.

**Note:** In the utmost left and utmost right regions, left to the 430 nm and right to the 660 nm, any wavelength stimulates only blue cones or red cones respectively. Now ignore the rod sensitivity (black line).

**Source/Աղբյուրը՝** <https://www.ecse.rpi.edu/~schubert/Light-Emitting-Diodes-dot-org/chap16/chap16.htm>



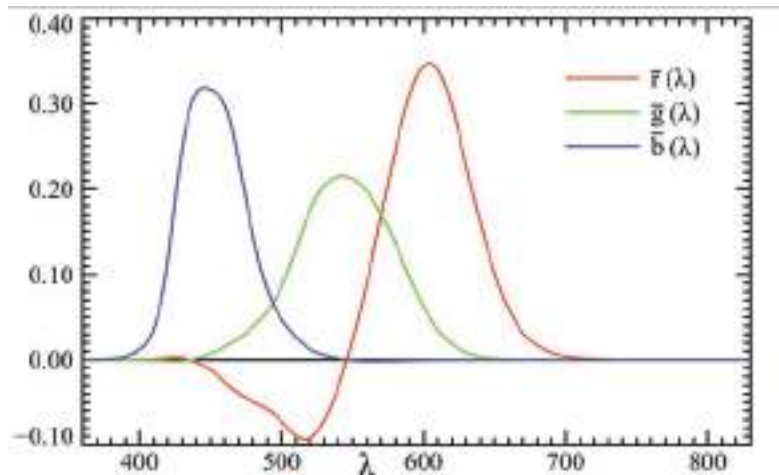
**Նշում.** Ամենահեռավոր ծախ և ամենահեռավոր աջ փրկություններում՝ 430 նմ-ից ծախ և և 660 նմ-ից աջ, ցանկացած ալիքի երկարություն գրգռում է միայն համապատասխանաբար կապույտ կոնները կամ կարմիր կոնները, անփոփոխ ծողիկների զգայնությունը՝ սև կորը:

**Նկար 21.** Այն դեպքում երբ 570 նմ ալիքի երկարությունը միայն կարմիր և կանաչ կոնների զգայնություն փրկություն է (ա), 480 նմ ալիքի երկարությունը գրգռում է բոլոր երեք կոնները:

stimulation of three cones through certain mixture of red, green and blue wavelengths (the *tristimulus* action), it will appear that it is impossible to obtain the same color perception – there would not be completely equivalent metameric colors to match. This is because whatever green wavelength would you chose in tristimulus action, it will usually generate also excessive signal at the red cone output, since red and green sensitivity spectra are widely overlapping.

նի: Եթե կանաչ և կապույտ ալիքի երկարությունների որոշակի խառնուրդի օգնությամբ այս երկու կոնե-րի գրգռման միջոցով փորձեք վերարտադրել «կապույտ-կանաչ» գույնը՝  $\lambda \approx 480$  նմ, ապա կպարզվի, որ անհնար է ստանալ այդ գույնի ընկալումը, քանի որ անկախ այս գործողության համար ընտրված կանաչ ալիքի երկարությունից, այն ավելցուկային ազդանշան կառաջացնի նաև կարմիր (այս դեպքում խանգարող) կոնի ելքում, կարմիր և կանաչ զգայնության տիրույթների լայն փոխաձևման հետևանքով:

Figure 22. CIE 1931 RGB color matching functions.



Նկար 22. RGB գունային համընկման ֆունկցիաները ըստ CIE 1931 ստանդարտի:

The task of subtraction of unnecessary red component rises in this particular case. In other words, for color matching it is necessary to use certain correction functions, so that the resulting outputs from the cones yield better matched colors, closer to reality. Figure 22 shows the CIE<sup>5</sup> 1931 RGB color correction matching functions, where the red color matching function has a range of negative values to compensate the red redundancy.

Now, when the sensitivities are transformed to take into account the necessary corrections, we will get a horseshoe pattern, shown in Figure 23, instead of the triangle of Figure 20 d. Note that the perimeter curve of the horseshoe pattern is called color locus is showing clean monochromatic colors of the light spectrum. In real cases, it is usually impossible to use pure monochromatic colors as primaries, thus yielding even a narrower gamut of possible color reproduction, shown in the form of triangle inside the horseshoe color map. Only colors inside that triangle will be reproduced accurately by that lighting, color registration or rendering system.

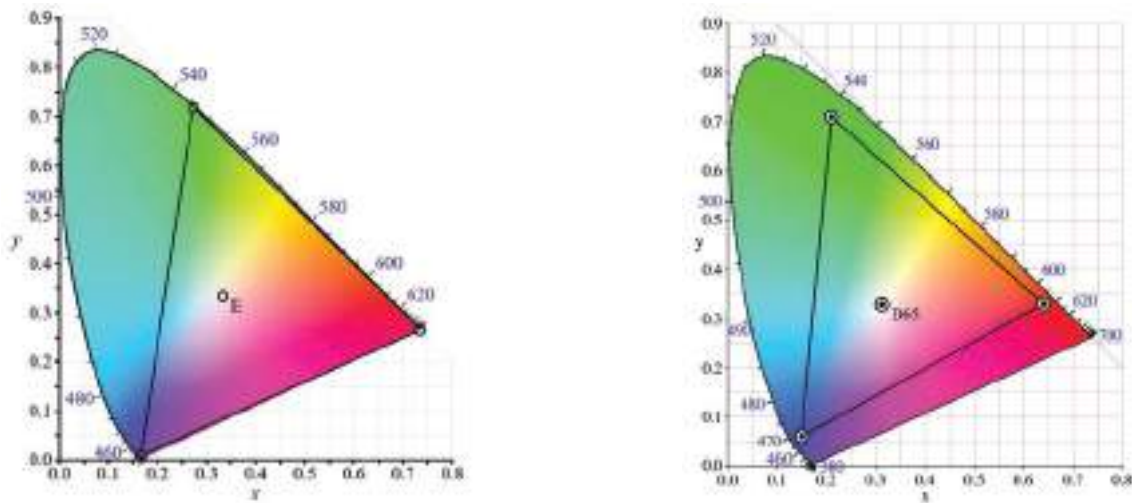
Այս մասնավոր դեպքում առաջանում է ոչ անհրաժեշտ, «խանգարող» կարմիր բաղադրիչները հանելու խնդիրը: Այլ կերպ ասած, ցանկալի գույնը ստանալու համար անհրաժեշտ է որոշակի գունային համընկման ֆունկցիաներ ( $F < 0$ ) կիրառել այնպես, որ կոնե-րից ստացվող ինտենսիվության արդյունքն ուղղվի և զգալիորեն մոտենա իրականությանը: Նկար 22-ում ցույց է տրված ուղղող RGB գունային համընկման ֆունկցիաներն ըստ CIE<sup>5</sup> 1931 ստանդարտի, որտեղ կարմիր գունային համընկման ֆունկցիան բացասական արժեքների տիրույթ ունի, կարմրի ավելցուկը փոխհատուցելու համար:

Այժմ, RGB տարածությունը իրական գունային քարտեզի փոխակերպելիս կստանանք նկար 23-ում բերված պայտաձև պատկերները՝ նկար 20-ի եռանկյան փոխարեն: Նշենք, որ պայտաձև պատկերի պարագծի կորը ցույց է տալիս լույսի սպեկտրի մոնոքրոմ զուտ գույները: Իրականում սովորաբար անհնար է զուտ մոնոխրոմատիկ գույներն օգտագործել որպես հիմնական գույներ, ինչի հետևանքով գույնի վերարտադրության սպեկտրը դառնում է ավելի նեղ, ինչը ցուցադրված է պայտաձև պատկերի ներսում տեղավորված եռանկյան միջոցով: Միայն եռանկյան ներսի գույներն են ճշգրտորեն վերարտադրվում համապատասխան լուսավորման, գունային գրանցման կամ գունափոխանցման համակարգի միջոցով:

5 CIE – French for International Commission on Illumination (abbreviated CIE, Commission internationale de l'éclairage)  
CIE ֆրանսերենից թարգմանաբար նշանակում է Լուսավորության միջազգային հանձնաժողով (Commission internationale de l'éclairage)

Figure 23. Horseshoe chromaticity map and diagram. Gamut of the CIE RGB primaries and location of primaries on the CIE 1931 xy chromaticity diagram.

Source/Աղբյուրը՝ [https://en.wikipedia.org/wiki/CIE\\_1931\\_color\\_space#CIE\\_xy\\_chromaticity\\_diagram\\_and\\_the\\_CIE\\_xyY\\_color\\_space](https://en.wikipedia.org/wiki/CIE_1931_color_space#CIE_xy_chromaticity_diagram_and_the_CIE_xyY_color_space)



Նկար 23. Պայրածն գունարժեքության քարտեզը և սխեման: CIE 1931 xy գունարժեքություն սխեմայի վրա CIE RGB հիմնական գույների գունապնակը և հիմնական գույների դիրքը:

## 2.6. Psychophysical Perception of Light and Color, Correlated Color Temperature

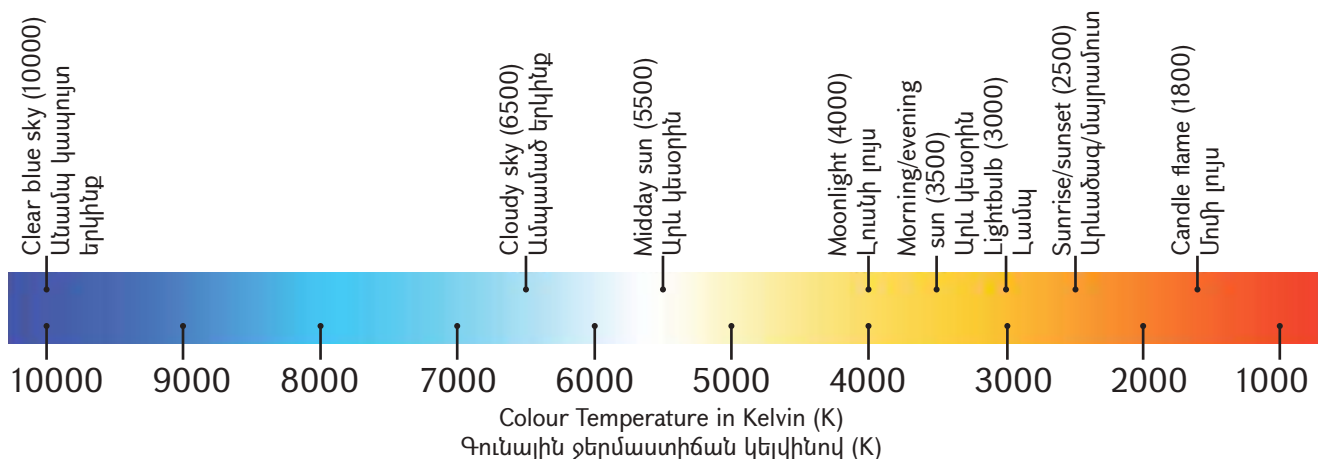
As it has been indicated in the section 1.2 “Black body or thermal radiation”, the *intensity* and the *peak* of the BBR spectrum are uniquely defined by the temperature of the body, as illustrated in Figure 3. Naturally, the peak of its SPD is stipulating certain hue or coloration that allows tying the temperature and color for black body radiators that are also known as Planckian radiators, shown on Figure 24.

## 2.6. Լույսի և գույնի հոգեբանական ֆիզիկական ընկալում, կորելացված գունային ջերմաստիճան

Ինչպես արդեն նշվել է «Սև մարմնի կամ ջերմային ճառագայթում» 1.2 բաժնում, ՍՄՃ սպեկտրի ինտենսիվությունը և մաքսիմումը միարժեքորեն որոշվում են մարմնի ջերմաստիճանով, ինչպես ցույց է տրված նկար 3-ում: Բնականաբար, հզորության սպեկտրալ բաշխման (<ՄԲ) մաքսիմումը պայմանավորում է որոշակի գունավորումը կամ երանգը, որ թույլ է տալիս սև մարմնի ճառագայթիչների համար, որոնք նաև կոչվում են Պլանկյան ճառագայթիչներ, ջերմաստիճանը փոխկապակցել (կորելացնել) գունավորման հետ (նկար 24):

Figure 24. Illustrations for correlated color temperature scales.

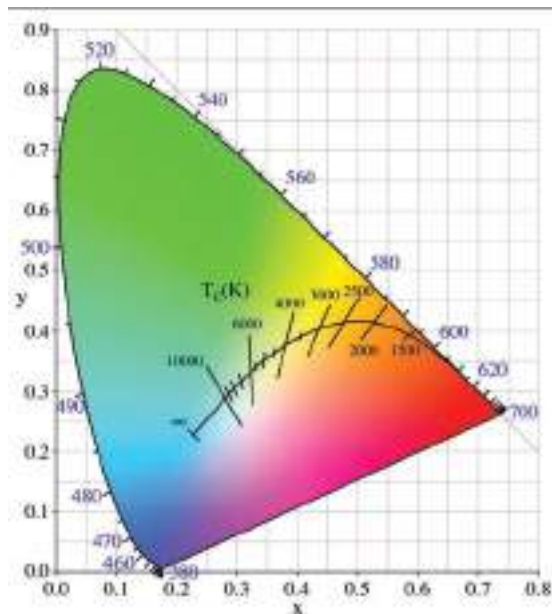
Source/Աղբյուրը՝ <https://www.downlights.co.uk/faq-which-colour-temperature-.html>, <http://www.photographymad.com/pages/view/what-is-colour-temperature>, <http://www.luxtg.com/tag/color-temperature/>.



Նկար 24. Կորելացված գունային ջերմաստիճանի սանդղակները:

The color that is provided by the Planckian radiator has always a location on the chromaticity map. Depending on the source temperature, this location is forming the so-called Planckian Locus, shown on Figure 25. While perceived “white” these colors have different perceptual impact, Figure 26.

**Figure 25.** Planckian Locus – the curve in the middle of the map – on the CIE 1931 Chromaticity map.



**Նկար 25.** Պլանկյան լոքուսի կորը՝ CIE 1931 Գունարժեքության քարտեզի վրա կորը գտնվում է քարտեզի մեջնամասում:

Need to be stressed that the CCT is defined for light sources that are overall perceived as “white” light sources that however may have some kind of coloration. Due to the phenomenon of metamerism, there might be huge number of light sources that deliver overall white perception, but certainly, they will have different color rendition abilities. In the cases if the source is not a Planckian radiator, hence its radiation cannot be matched to a point on the Planckian locus, but via a nearby point. In these cases, we speak about Matching or Relative Color Temperature, via a point on the Planckian locus that is the closest to the aforementioned point.

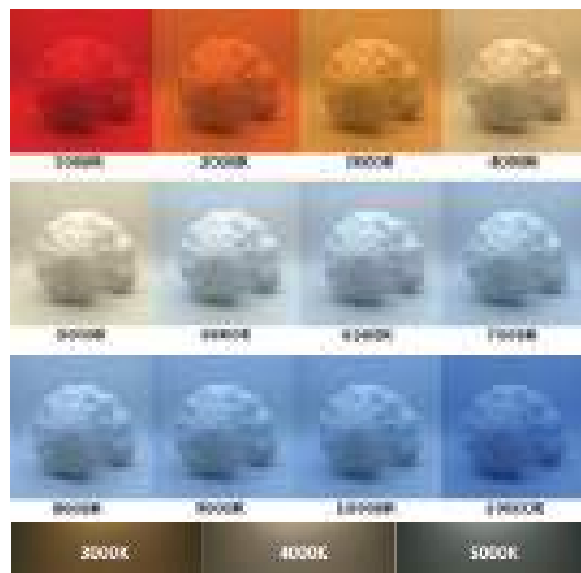
Պլանկի ճառագայթիչից ստացվող գույնը միշտ գտնվում է քրոմատիկության քարտեզի վրա: Ջերմաստիճանի աճին զուգընթաց, Պլանկի ճառագայթիչի արձակած սպիտակ լույսի երանգավորումը փոխվում է կարմիրից մինչև երկնագույն: Ամեն մի երանգին վերագրվում է շիկացած սև մարմնի այն ջերմաստիճանը (Կելվինի սանդղակով արտահայտված), որի ժամանակ նրա ճառագայթած սպիտակ լույսը ձեռք է բերում համապատասխան երանգը: Այդ երանգների կոորդինատները գունային տարածքում ձևավորում են մի կոր, որը կոչվում է Պլանկյան լոքուս («լոքուս» լատիներեն նշանակում է «տեղ») և ցույց է տրված նկար 25-ում: Չնայած այդ գույները ընդհանուր առմամբ «սպիտակ» են ընկալվում, սակայն տարբերվում են սպիտակի գունային երանգավորմամբ, Նկար 26:

Եթե լույսի աղբյուրը Պլանկյան ճառագայթիչ է (օրինակ՝ արեգակը կամ հատուկ լաբորատոր լամպերը), ապա նրա արձակած սպիտակ լույսի երանգավորումը գտնվում է պլանկյան լոքուսի վրա: Այդպիսի լուսային աղբյուրը նկարագրվում է Գունային Ջերմաստիճանով: Մնացած դեպքերում լույսի աղբյուրի արձակած սպիտակ լույսի երանգավորումը գտնվում է Պլանկյան լոքուսից դուրս և (համեմատության արդյունքում) նրան վերագրվում է լոքուսի այն գունային ջերմաստիճանը, որի գունայնությունը ամենամոտեն է (ամենահամապատասխան է) տվյալ լուսային աղբյուրի լույսի երանգավորմանը: Այս դեպքում լուսային աղբյուրը նկարագրվում է Համապատասխան կամ Համեմատական Գունային Ջերմաստիճանով:

**Figure 26.** Illumination differences of BBR sources of various temperatures.

**Note:** Our eyes adapt quite well to light sources with different CCTs, ranging from 2700K for 100-watt incandescent lamps to 10000K for the blue sky. Even though the light itself may look colored (FIG. 26), objects seen under these light sources appear to have approximately the same colors, with whites looking white.

**Source/Աղբյուրը՝** <http://agi32.com/blog/category/sports-lighting/>



**Նշում.** Մեր աչքերը բավականին լավ են հարմարվում տարբեր ԿԶ ունեցող լույսի աղբյուրներին՝ 100 Վտ շիկացման լամպերի 2,700Կ-ից մինչև «կապույտ երկնքի» 10,000Կ: Չնայած ինքը լույսը կարող է գունավոր երևալ (նկար 26), այդ աղբյուրների լույսի ներքո գտնվող առարկաների գույնը մնում է մոտավորապես նույնը, ընդ որում սպիտակները սպիտակ են երևում:

**Նկար 26.** Տարբեր ջերմաստիճաններում ՍՄՃ աղբյուրների արձակած սպիտակ լույսի երանգավորում:

## 2.7. Color Rendering Index vs. Color Quality Scale

The ultimate criteria for describing the color comfort is defined via so-called Color Rendering Index (CRI) and, recently, Color Quality Scale (CQS). CRI is a measure of a light source's ability to show object colors "realistically" or "naturally" compared to a familiar reference source, either incandescent light or daylight.

Color rendering index, CRI is 100 for the ideal light sources, i.e. the ones that have very smooth and mostly uniform or slightly increasing or decreasing pattern, and decreases for the ones that are inferior, can even get negative values.

Here is the widely accepted definition of color rendering:

*Effect of an illuminant on the color appearance of objects by conscious or subconscious comparison with their color appearance under a reference illuminant* (here illuminant is synonym of "light source").

Roughly speaking, the number itself is calculated as 100 minus a sum of mean-square distance of the light source SPD from an ideal SPD (such as SPD of a BBR source), naturally both in the visible range. For instance, as the incandescent lightbulb is virtually a *Planckian radiator*, its SPD has 0 mean-square distance from the BBR curve at respective temperature, yielding CRI=100. The real calculation is a longer and more complex procedure, with involvement of 8 color matching cards. However, it is known to be as not perfect, e.g. it yields negative values for monochromatic sources. That is why the more modern Color Quality Scale (CQS) with 15 color cards and more advanced color space implementation is in the process of development and has obvious advantages over CRI [http://colorqualityscale.com] (Figure 27).

Although, usually as a reference light source a Planckian blackbody radiator of 5000K is being chosen, but other BBR sources such as incandescent lamps, that always have CRI=100, but with other temperatures also can be chosen. This is because human eye and the brain interpretation psychophysically adapt to the color temperature and map the colors to resemble as much as possible the daylight illumination condition. However, this is smoothly possible for light sources that are close to CRI = 100. Otherwise, brain exerts extra efforts for interpretation, which is perceived as discomfort (Figure 28).

## 2.7. Գույնի վերարտադրության (գունափոխանցման) ցուցիչը համադրված գունային որակի սանդղակի հետ

Գունային հարմարավետությունը նկարագրող լավագույն չափանիշները սահմանվում են այսպես կոչված *գույնի վերարտադրության ցուցիչի* (ԳՎՑ) և, վերջերս, *գունային որակի սանդղակի* (ԳՈՍ) միջոցով: ԳՎՑ-ն լույսի աղբյուրի կողմից գույները ճիշտ վերարտադրելու ունակության չափանիշն է՝ համեմատած այնպիսի «էտալոնային» աղբյուրների հետ, որպիսիք են ցերեկային լույսը կամ շիկացման լամպը, որի գույնի վերարտադրության ցուցիչը հավասար է 100-ի:

Պարզ ձևակերպմամբ, այդ թիվը հաշվարկվում է որպես 100-ից հանած իդեալական ՀՄԲ կորից (օրինակ՝ ՍՄՃ աղբյուրի ՀՄԲ կորից) լույսի աղբյուրի ՀՄԲ կորի միջին քառակուսային շեղման գումարը, որտեղ երկուսն էլ, բնականաբար, դիտարկվում են տեսանելի տիրույթում: Օրինակ, քանի որ գործնականում շիկացման լամպը Պլանկյան ճառագայթիչ է, դրա ՀՄԲ-ն, ԳՎՑ=100 արձակող համապատասխան ջերմաստիճանով ՍՄՃ-ի կորից 0 միջին քառակուսային շեղում ունի, ուստի նույնպես նրա ԳՎՑ=100: Իրական հաշվարկը ավելի երկար և ավելի բարդ պրոցես է, որը կատարվում է գույների համեմատական 8 քարտերի միջոցով: Սակայն դա, նույնպես, կատարյալ չի համարվում, օրինակ՝ մոնոքրոմ աղբյուրների դեպքում ստացվում են բացասական արժեքներ: Դա է պատճառը, որ ներկայումս մշակվում է առավել ժամանակակից՝ 15 գունային քարտերից կազմված գունային որակի սանդղակը (ԳՈՍ), որը ԳՎՑ-ի նկատմամբ ունի ակնհայտ առավելություններ [http://colorqualityscale.com] (Նկար 27):

Figure 27. CRI vs. CQS

Source/Աղբյուրը՝ <https://www.youtube.com/watch?v=e9K7KzP3ln4&list=PLNMt5b7ycv83H9QV03-ZmivpxdM5MjnNx&index=4>

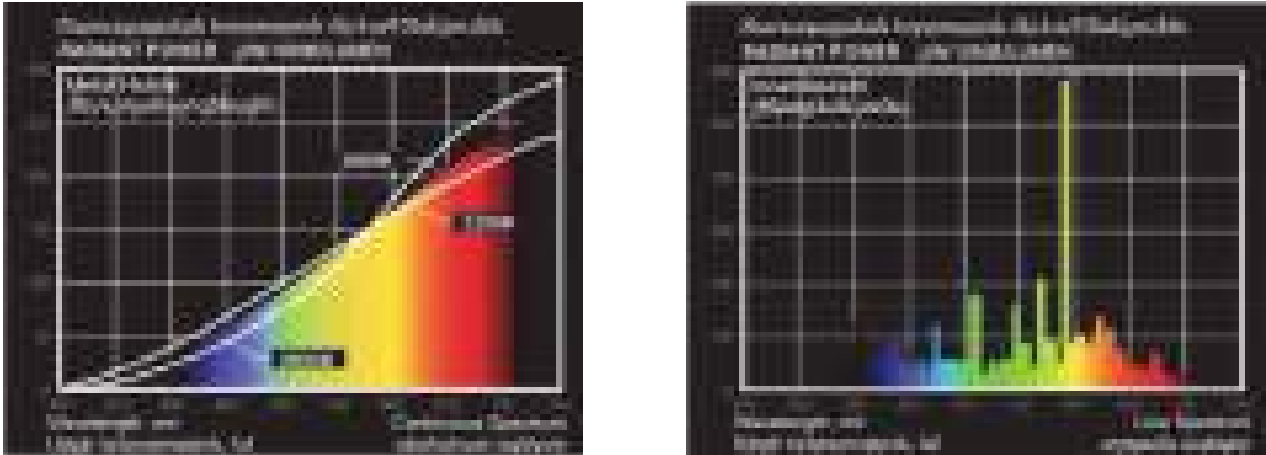


Color Rendering Index (CRI) – Գույնի վերարտադրության ցուցիչ (ԳՎՑ)  
Color Quality Scale (CQS) – Գույնի որակի սանդղակ (ԳՈՍ)

Նկար 27. ԳՎՑ-ի և ԳՈՍ-ի համեմատությունը:

Figure 28. SPD-s yielding different CRI.

Note: CRI=100 for incandescent lamp and CRI=85 for quartz metal halide lamp. The decrease is due to the spiky character of the metal halide lamp spectral power distribution.



Նշում. Շիկացման լամպերում ԳՎՑ=100 և կվարցային մետաղահալիդային լամպերում ԳՎՑ=85: Այս նվազումը մետաղահալիդային լամպերի հզորության սպեկտրալ բաշխման սղոցածն բնույթի հետևանքն է:

Նկար 28. ՀՄԲ-ները որոնք տարբեր ԳՎՑ արժեքներ են առաջացնում:

Չնայած, որ որպես լույսի հղումային աղբյուր սովորաբար ընտրվում է Պլանկի 5000K ճառագայթիչը, սակայն կարող են ընտրվել նաև այլ ՍՄՃ աղբյուրներ, ինչպիսիք են այլ ջերմաստիճան ունեցող շիկացման լամպերը, որոնց ԳՎՑ-ն միշտ 100 արժեք ունի: Դա է պատճառը, որ մարդու աչքը և ուղեղի կողմից վերծանումը հարմարվում է տվյալ գունային ջերմաստիճանին և ուղեղում այնպիսի ձևափոխում է կատարում, որ գույները հնարավորինս մոտենան բնական լուսավորվածություն պայմաններին: Դա հնարավոր է սահուն կերպով կատարել ԳՎՑ = 100-ին մոտ լույսի աղբյուրների դեպքում: Հակառակ դեպքում գույնի վերծանման համար ուղեղը լրացուցիչ ջանքեր է գործադրում, որն ընկալվում է որպես անհարմարավետություն (Նկար 28):

Table 1. CCT and CRI for a number of various light sources. Note the CRI = -44 for low pressure sodium lamp.

Source/Աղբյուրը՝ [https://en.wikipedia.org/wiki/Color\\_rendering\\_index](https://en.wikipedia.org/wiki/Color_rendering_index)

| Light source                            | CCT (K) | ԿԳՋ, K | CRI | ԳՎՑ | Լույսի աղբյուրը                                       |
|-----------------------------------------|---------|--------|-----|-----|-------------------------------------------------------|
| Low-pressure sodium (LPS/SOX)           | 1800    |        | -44 |     | ցածր ճնշման նատրիումային լամպ (LPS/SOX)               |
| Clear mercury-vapor                     | 6410    |        | 17  |     | զուտ սնդիկային լյումինեսցենտային լամպ                 |
| High-pressure sodium (HPS/SON)          | 2100    |        | 24  |     | բարձր ճնշման նատրիումային լամպ (HPS/SON)              |
| Coated mercury-vapor                    | 3600    |        | 49  |     | լյումինոֆորով պատված սնդիկային լյումինեսցենտային լամպ |
| Halophosphate warm-white fluorescent    | 2940    |        | 51  |     | հալոֆոսֆատային տաք սպիտակ լյումինեսցենտային լամպ      |
| Halophosphate cool-white fluorescent    | 4230    |        | 64  |     | հալոֆոսֆատային սառը սպիտակ լյումինեսցենտային լամպ     |
| Tri-phosphor warm-white fluorescent     | 2940    |        | 73  |     | եռաֆոսֆոր տաք սպիտակ լյումինեսցենտային լամպ           |
| Halophosphate cool-daylight fluorescent | 6430    |        | 76  |     | հալոֆոսֆատային սառը ցերեկային լյումինեսցենտային լամպ  |
| “White” SON                             | 2700    |        | 82  |     | “Սպիտակ” SON լամպ                                     |
| Quartz metal halide                     | 4200    |        | 85  |     | կվարցե մետաղահալիդային լամպ                           |
| Tri-phosphor cool-white fluorescent     | 4080    |        | 89  |     | եռաֆոսֆոր սառը սպիտակ լյումինեսցենտային լամպ          |
| Ceramic discharge metal-halide lamp     | 5400    |        | 96  |     | կերամիկական պարպման մետաղահալիդային լամպ              |
| Incandescent/halogen bulb               | 3200    |        | 100 |     | շիկացման/հալոգենային լամպ                             |

Աղյուսակ 1. Լույսի մի շարք տարբեր աղբյուրների ԿԳՋ-ներն և ԳՎՑ-ները: Հիշենք, որ ցածր ճնշման նատրիումային լամպի ԳՎՑ = -44:

Table 1 shows the CCT and CRI for a number of various light sources.

Figure 29 shows graphically the CCT and CRI for a number of various light sources.

Note the SPD of the low pressure sodium lamp, making it the worse color rendering source. In Figure 29 the low pressure sodium CRI is marked as 5, but a different variation of the same lamp go to negative values, as indicated in Table 1.

Աղյուսակ 1-ում ցույց է տրված լույսի մի շարք տարբեր աղբյուրների ԿԳՋ և ԳՎՑ արժեքները:

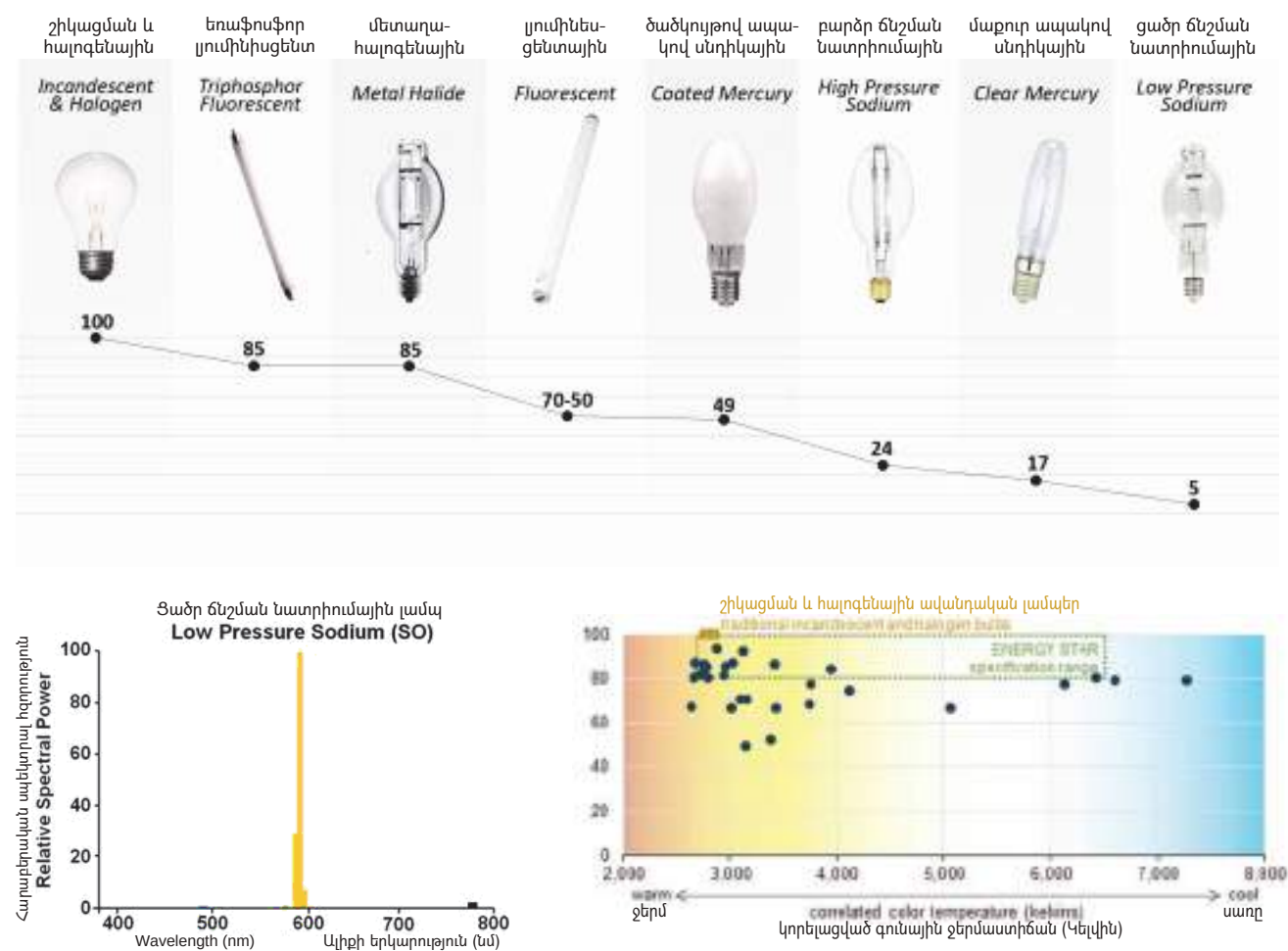
Նկար 29-ում գրաֆիկորեն պատկերված են լույսի մի շարք տարբեր աղբյուրների ԿԳՋ և ԳՎՑ արժեքները:

Նշենք, որ ցածր ճնշման նատրիումային լամպը իր ՀՄԲ-ի շնորհիվ դասվում է գույնի վերարտադրության վատագույն աղբյուրների շարքին: Նկար 29-ում ցածր ճնշման նատրիումային լամպի ԳՎՑ-ը նշված է որպես 5, սակայն միևնույն լամպի զանազան տարբերակներում այն հասնում է բացասական արժեքների, ինչպես նշված է Աղյուսակ 1-ում:

Figure 29. CRI for various sources.

**Note:** The SPD of the low pressure sodium lamp, making it the worse color rendering source. In this graph the low pressure sodium CRI is marked as 5, but different variation go to negative values, as indicated in Table 1.

Source/Աղբյուր՝ <http://www.paullights.com/what-is-the-meaning-of-cri-or-colour-rendering-index/>, <http://www.eia.gov/todayinenergy/detail.cfm?id=18671>



**Նշում.** Ցածր ճնշման նատրիումային լամպի ՀՄԲ-ի շնորհիվ այն դասվում է գույնի վերարտադրության վատագույն աղբյուրների շարքին – այս նկարում ցածր ճնշման նատրիումային լամպի ԳՎՑ-ը նշված է որպես 5, սակայն զանազան տարբերակներում այն մինչև բացասական արժեքների է հասնում, ինչպես բերված է Աղյուսակ 1-ում:

**Նկար 29.** Զանազան աղբյուրների ԳՎՑ-ը:

### 3. MEASUREMENTS OF LIGHTING PARAMETERS AND LABORATORY TESTING

This section describes the measurement units to characterize light sources, the light and illumination that they provide. Important characteristics of virtually all light sources is that they emit radiation with a spectrum that is not matching the eye sensitivity spectrum as described in Figure 15. In the most of the cases the light emission spectrum is wider – beyond the visible sensitivity of humans' vision. Thus it is reasonable and necessary to differentiate the radiant energy emitted by sources, the "Physical Energy", from the visible light that they generate, the luminous energy.

#### 3.1. Energy Flow Units: Radiometry

The science that is responsible for the measurement of the radiant emission parameters of sources, as well as the radiant field generated by them *within the entire spectrum of their radiation* is called *radiometry*.

##### 3.1.1. Source Radiant Emission Power, watt

The physical unit for power is the watt,  $W = \text{joule/second}$ . This means that every second, the light source emits photons in all directions and in the whole spectrum of its radiation, i.e. not only visible but beyond the visible region. One watt emissive power means that the sum of energies of all photons of all wavelengths emitted by the source in all directions in a second is equal to one joule emitted. This value is denoted as  $P_R$  or  $I_R$ . Naturally,

Equation 3-1 / Հավասարում 3-1

$$I_R = \int_{\lambda=0}^{\infty} I_R(\lambda) d\lambda ,$$

where  $I_R(\lambda)$  is the spectral power distribution (SPD) of the source radiation in all directions, i.e. the relationship of the radiation intensity from the wavelength of radiation.

### 3. ԼՈՒՍԱՅԻՆ ՊԱՐԱՄԵՏՐԵՐԻ ՉԱՓՈՒՄՆԵՐ ԵՎ ԼԱԲՈՐԱՏՈՐ ՓՈՐՁԱՐԿՈՒՄՆԵՐ

Այս բաժնում տրվում են լույսի աղբյուրների, դրանց կողմից արձակված լույսի և ստեղծված լուսավորվածության համար կիրառվող չափման ֆիզիկական միավորները: Լույսի աղբյուրների կարևոր հատկանիշ է հանդիսանում այն, որ դրանց ճառագայթած լույսի սպեկտրը չի համընկնում Նկար 15-ում պատկերված աչքի զգայնության սպեկտրի հետ: Շատ դեպքերում այդ ճառագայթման սպեկտրն ավելի լայն է, քան մարդու լուսազգայնության սահմանները: Այդ պատճառով անհրաժեշտ է աղբյուրի կողմից արձակված էլեկտրամագնիսական ալիքների էներգիայի ճառագայթումը (ճառագայթային էներգիան) տարբերել նրա մի մասը կազմող լուսային էներգիայից:

#### 3.1. Էլեկտրամագնիսական էներգիայի հոսքի միավորներ. ռադիոմետրիա

Ռադիոմետրիան զբաղվում է օպտիկական տիրույթում (100նմ – 1մմ ալիքի երկարություններ ունեցող) աղբյուրների կողմից էլեկտրամագնիսական ալիքների ճառագայթման պարամետրերի չափումներով: Հիմնական պարամետրերն են՝ ճառագայթման հոսքը, ճառագայթման ինտենսիվությունը, էներգետիկ պայծառությունը, էներգետիկ լուսավորվածությունը կամ ճառագայթվածությունը:

##### 3.1.1. Աղբյուրի էլեկտրամագնիսական էներգիայի ճառագայթման հզորություն (ճառագայթման հոսք), վատտ

Հզորության ֆիզիկական միավորը վատտն է,  $Վտ = \text{ջուլ/վայրկյան}$ : Այսինքն՝ լույսի աղբյուրը յուրաքանչյուր վայրկյանի ընթացքում բոլոր ուղղություններով և ճառագայթման ամբողջ սպեկտրով ֆոտոններ է արձակում ոչ միայն տեսանելի տիրույթում, այլ նաև տեսանելի տիրույթից դուրս: Մեկ Վտ ճառագայթման հզորությունը նշանակում է, որ մեկ վայրկյանում աղբյուրի կողմից ճառագայթած ողջ էներգիան հավասար է մեկ ջուլի: Այս մեծությունը նշանակվում է որպես  $P_R$  կամ  $I_R$  ( $R$ -ը radiation բառի սկզբնատառն է, որը նշանակում է ճառագայթում):

որտեղ  $I_R(\lambda)$  աղբյուրի ճառագայթման հզորության սպեկտրալ բաշխումն է ( $\text{CUF}$ ):

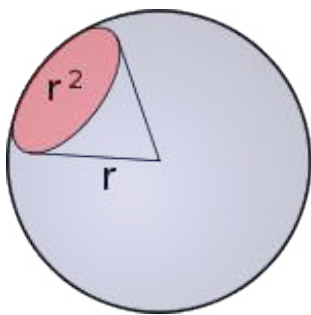
### 3.1.2. Radiant Intensity or Radiant Flux, watts per steradian

**Definition:** Radiant intensity is the radiant power or radiant energy flux, the radiant energy flown per unit time inside a solid angle from a point source of light.

The unit for solid angle  $\Omega$ , the three-dimensional unit of angle, is the steradian, sr (Figure 30). All directions stemming from one point comprise a sum of  $4\pi$  steradian. Thus, the unit for radiant intensity is the watts per steradian, W/sr. In other words, radiant intensity is the sum of hv energies of all photons with all various wavelengths  $\lambda$  (respectively corresponding to frequencies  $\nu$ ) flying in particular solid angle  $\Omega$  per unit time from a point source of light (or could be in all directions,  $\Omega = 4\pi$  sr). Note that 1 W/sr is equivalent to  $4\pi$  sr  $\times$  1 W/sr  $\approx$  12.57 W of the source's radiant emission power if the source radiates uniformly in all directions.

Figure 30. Definition of the steradian.

Source/Աղբյուր՝ <https://en.wikipedia.org/wiki/Steradian>



Նկար 30. Սպեռադիանի սահմանումը:

### 3.1.3. Irradiance, W/m<sup>2</sup>

Intensity of the radiation on a particular surface is defined by the energy flux per unit area, and the unit is W/m<sup>2</sup>. If the surface is normal to the direction of irradiation, at large distances the irradiance depends on the reverse of the square of the distance from the source (Figure 31). At angles that are not normal to the incident rays each elementary unit area of the surfaces receive lesser energy flux - multiplied by the cosine of the angle between the direction of the ray propagation and the normal to the elementary surface.

### 3.1.2. Ճառագայթման ինտենսիվություն (տարածական խտություն), Վտ/ստեր

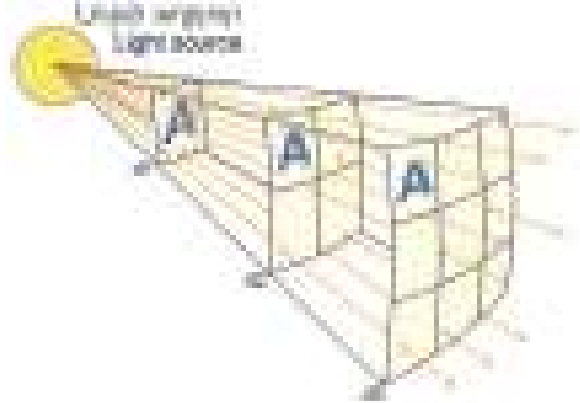
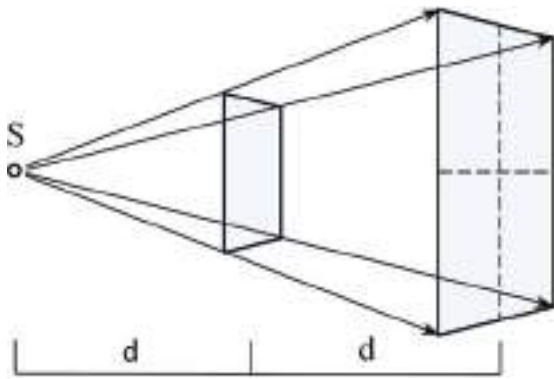
Սահմանում. ճառագայթման ինտենսիվությունը լույսի կետային աղբյուրից մարմնային անկյան մեջ էլեկտրամագնիսական էներգիայի ճառագայթման հոսքի մեծությունն է ժամանակի մեկ միավորի ընթացքում:

$\Omega$  մարմնային անկյան միավորը սպեռադիանն է՝ ստեր (Նկար 30): Մեկ կետից ելնող բոլոր մարմնային անկյունների գումարը կազմում է *գունդ*, կամ  $4\pi$  ստեռադիան: Հետևաբար, էլեկտրամագնիսական էներգիայի ճառագայթման ինտենսիվության միավորը Վտ/ստեր է: Այլ կերպ ասած, էլեկտրամագնիսական էներգիայի ճառագայթման ինտենսիվությունը լույսի կետային աղբյուրից միավոր ժամանակում տվյալ  $\Omega$  մարմնային անկյան միջով (կամ բոլոր ուղղություններով, երբ  $\Omega = 4\pi$  ստեր) դուրս եկած բոլոր ֆոտոնների hv էներգիաների գումարն է: Նշենք, որ 1 Վտ/ստեր ինտենսիվությունը համազոր է  $4\pi$  ստեր  $\times$  1 Վտ/ստեր  $\approx$  12.57 Վտ աղբյուրի ընդհանուր ճառագայթման հզորությանը, եթե աղբյուրը ճառագայթում է բոլոր ուղղություններով հավասարաչափ:

### 3.1.3. Էներգետիկ լուսավորվածություն (ճառագայթվածություն, հոսքի խտություն), Վտ/մ<sup>2</sup>

Տվյալ մակերևույթի վրա միավոր մակերեսին ընկնող էլեկտրամագնիսական ճառագայթման մակերևութային խտությունը որոշվում է նրա միավոր մակերեսի վրա ընկած էներգիայի հոսքով, որի չափման միավորն է Վտ/մ<sup>2</sup>: Եթե մակերևույթի ճառագայթման ուղղության նկատմամբ ուղղահայաց է (նորմալ է), ապա էլեկտրամագնիսական ճառագայթման խտության կախվածությունը աղբյուրի հեռավորությունից՝ հակադարձ քառակուսային է (Նկար 31): Երբ ընկնող ճառագայթները, ուղղահայաց չեն անկման մակերևութին, մակերեսի յուրաքանչյուր տարր ավելի քիչ էներգիայի հոսք է ստանում: Այդ դեպքում անհրաժեշտ է նորմալին (ուղղահայացին) համապատասխանող արժեքը բազմապատկել ճառագայթի տարածման և տարրական մակերեսի նկատմամբ ուղղահայացի միջև եղած անկյան կոսինուսով:

Figure 31. Irradiance depends on the reverse of the square of the distance from the source



Նկար 31. Էլեկտրամագնիսական ճառագայթման խտությունը կախված է աղբյուրի հեռավորության քառակուսու հակադարձ մեծությունից:

### 3.2. Human Perception Perspective: Luminous units, Photometry

Respectively, the science that is responsible for the measurement of the radiant emission parameters of sources, as well as the radiant field generated by them *within only the visible to human eyes perception spectrum of their radiation* is called *photometry* (compare with *radiometry*, section 3.1). In other words, in photometry, the radiant power at each wavelength is always weighted by the standard luminosity function (Figure 15), that models human sensitivity to light. Thus, photometry deals with the measurement units of light, as perceived by humans.

Here it is necessary to mention again, that usually for weighting by human eye sensitivity spectrum, the photopic luminosity function is used. This means that at very low lighting conditions; where scotopic luminosity function represents human sensitivity, the shorter wavelengths appear brighter and longer wavelengths appear as less bright. However, actually all measurements, as a rule are based on photopic luminosity function, if it is not mentioned otherwise, since hardly the conditions that are described by term scotopic can be regarded as comfortable.

#### 3.2.1. Luminous intensity, candela

*Candela*, the name coming historically and meaning candle in Latin, is the unit characterizing the visible brightness of a source. As the word “luminous” hints (discussed in the previous section), the luminous intensity is the radiant power or radiant flux, but of course, as described above, weighted by the luminosity function, so that it always takes into account humans’ spectral perception of light (luminosity). Simply put, one candela is the luminous intensity or brightness of one “average” candle, as perceived by humans.

### 3.2. Մարդու կողմից լույսի ընկալում, լուսային միավորներ. Ֆոտոմետրիա/լուսաչափություն

Գիտության այն ոլորտը, որը զբաղվում է, աղբյուրներից արձակված լույսի ճառագայթման պարամետրերի չափումներով, կոչվում է *լուսաչափություն* (համեմատեք ռադիոմետրիայի հետ, տես՝ 3.1 բաժինը): Այլ կերպ ասած, լուսաչափության մեջ ալիքի յուրաքանչյուր երկարության համար ճառագայթման հզորությունը միշտ *նորմավորվում* (բազմապատկվում) է ստանդարտ լուսազգայնության ֆունկցիայով (Նկար 15), որը մոդելավորում է մարդու *ֆոտոպիկ* լուսազգայնությունը: Հետևաբար, լուսաչափությունը գործ ունի մարդու կողմից ընկալվող լույսի միավորների չափման հետ:

Շատ ցածր լուսավորության պայմաններում, երբ մարդու տեսողությանը համապատասխանում է սկոտոպիկ լուսազգայության ֆունկցիային, կարճ ալիքները երկար ալիքների համեմատությամբ ավելի պայծառ են թվում: Սակայն, որպես կանոն, բոլոր չափումները հիմնվում են ֆոտոպիկ լուսազգայնության ֆունկցիայի վրա (եթե չկան հատուկ նշումներ), քանի որ սկոտոպիկ տերմինով բնութագրված պայմանները դժվար է հարմարավետ համարել:

#### 3.2.1. Լույսի ինտենսիվություն (լույսի ուժ), կանդելա

Կանդելան, որը պատմականորեն գալիս է լատիներեն մոմ բառից, լույսի աղբյուրի տեսանելի պայծառությունը բնութագրող հիմնական միավորն է: *Լույսի ինտենսիվությունը* ճառագայթման հոսքի տարածական խտությունն է տվյալ ուղղությամբ, նորմավորված ֆոտոպիկ լուսազգայնության ֆունկցիայով, որպեսզի հաշվի առնվի մարդու աչքի սպեկտրալ լուսազգայնությունը: Պարզ ասած՝ մեկ կանդելան մեկ «միջին» մոմի լույսի ինտենսիվությունն է կամ պայծառությունը, ինչպես ընկալվում է մարդու կողմից:

Compared to the radiant intensity case, instead of just summing up (integration) the energy flows of every wavelength of light in the light source's spectrum, the intensity of each wavelength is also weighted by the SLF. Evidently, relating to energy flow, the luminous intensity is always less than the radiant intensity of the same source – in fact in the most of the cases it is substantially lesser.

*Definition: candela, cd, is the luminous intensity of a source, that emits monochromatic radiation of frequency  $540 \times 10^{12}$  hertz, which corresponds to 555 nm wavelength green light and that has a radiant intensity in that direction of 1/683 watt per steradian (W/sr). Or for 555 nm  $1 \text{ cd} = 1/683 \text{ W/sr}$ . In other words, if a source of 555 nm has power generation of 1/683 W/sr, whatever brightness people statistically feel, is called 1 candela. Thus a 683 candela source of 555 nm provides 1 W/sr in all directions of radiant flux (or radiant intensity).*

Note that the 555 nm wavelength is chosen not arbitrarily, but it corresponds to the maximum of the human eye sensitivity, i.e. the peak of the standard photopic luminosity function. If another wavelength were to be used, a different coefficient, instead of the 1/683 would figure in that definition. Coming back to the example regards the standard luminosity function on the section 2.2 "Human luminosity function", if e.g. a light of 490 nm is used for this definition, approximately five times more radiant intensity of that blue light is needed to have the same visible intensity effect of the case of 555 nm.

As a summary, below is the relationship between luminous and radiant intensities for a particular wavelength of monochromatic radiation. Here  $I_L(\lambda)$  denotes "luminous" intensity in candelas,  $I_R(\lambda)$  denotes radiant intensity or the spectral power distribution (SPD) in watts per steradian (W/sr),  $V(\lambda)$  denotes unitless standard photopic luminosity function (Figure 15).

### Equation 3-2 / Հավասարում 3-2

$$I_L(\lambda) = 683 V(\lambda) \cdot I_R(\lambda).$$

As we have already seen, for the 555 nm wavelength monochromatic source, where the  $V(\lambda=555 \text{ nm}) = 1$ , and for  $I_R(\lambda) = 1 \text{ W/sr}$ , radiant intensity will transfer to 683 cd.

Thus, as shown in the example above, the same candela measure may mean very different actual physical power radiation of sources – depending on the wavelength, or, in general the spectrum of the source.

Համադրելով ճառագայթման ինտենսիվության գաղափարի հետ՝ լույսի աղբյուրի սպեկտրի յուրաքանչյուր երկարության ալիքի էներգիայի հոսքերի մեծություններն ուղղակիորեն գումարելու (ինտեգրելու) փոխարեն, յուրաքանչյուր երկարության ալիքի ինտենսիվությունը նույնպես կշռվում է ՍԼՖ-ով: Ակնհայտ է, որ էներգետիկ հոսքերի առումով լույսի ինտենսիվությունը միշտ պակաս է լույսի նույն աղբյուրի ճառագայթման ինտենսիվությունից, ընդ որում դեպքերի մեծամասնությունում՝ զգալիորեն:

*Սահմանում. Կանդելան (հայերեն նշանակումը՝ կդ, միջազգայինը՝ cd) դա  $540 \times 10^{12}$  հերց հաճախությամբ կանաչ լույսի (555 նմ ալիքի երկարությամբ) մոնոքրոմ ճառագայթում արձակող աղբյուրի լույսի ինտենսիվությունն է Կովյալ ուղղությամբ, որը համապատասխանում է էներգետիկ ճառագայթման 1/683 վատտ/ստերեոռադիան (Վտ/ստրեո) ինտենսիվությանը: Կամ՝ 555 նմ լույսի համար  $1 \text{ կդ} = 1/683 \text{ Վտ/ստրեո}$ :*

Նշենք, որ ալիքի 555 նմ երկարությունը պատահականորեն ընտրված թիվ չէ, այլ դա համապատասխանում է մարդու աչքի առավելագույն զգայնությանը, այսինքն՝ ստանդարտ ֆոտոպիկ լուսազգայնության ֆունկցիայի մաքսիմումին (մաքսիմալ արժեքին): Եթե կիրառենք մեկ այլ երկարության ալիք, ապա սահմանման մեջ 1/683-ի փոխարեն կունենանք այլ գործակից: Վերադառնալով 2.2 բաժնում բերված ստանդարտ լուսազգայնության ֆունկցիայի օրինակին և ընդունելով օգտագործված լույսի ալիքի երկարությունը օրինակ՝ 490 նմ, կպարզեինք, որ անհրաժեշտ է կապույտ լույսի մոտավորապես հինգ անգամ ավելի մեծ էլեկտրամագնիսական ալիքների ճառագայթման ինտենսիվություն 555 նմ-ից ստացվող՝ նույն տեսանելի ինտենսիվության արդյունքին հասնելու համար:

Ստորև բերված է լուսային (ֆոտոմետրիկ) և ճառագայթման (ռադիոմետրիկ) էներգիաների ինտենսիվությունների միջև կապը: Այստեղ  $I_L(\lambda)$  դա կանդելաներով արտահայտված լույսի ինտենսիվությունն է,  $I_R(\lambda)$ -ն՝ Վտ/ստերեո-ով արտահայտված ճառագայթման ինտենսիվությունն է կամ հզորության սպեկտրալ բաշխումը ( $\text{CUF}$ ), իսկ  $V(\lambda)$ -ն չափողականություն չունեցող ստանդարտ ֆոտոպիկ լուսազգայնության ֆունկցիան է (ՍԼՖ, Նկար 15):

Ինչպես արդեն տեսանք, ալիքի 555 նմ երկարությամբ մոնոքրոմ աղբյուրի դեպքում, որտեղ  $V(\lambda=555 \text{ նմ}) = 1$  և  $I_R(\lambda) = 1 \text{ Վտ/ստերեո}$ , լույսի ինտենսիվությունը՝  $I_L(\lambda=555 \text{ նմ})$ , կհամապատասխանի 683 կդ-ին:

Հետևաբար, ինչպես ցույց է տրվում վերը բերված օրինակում, կախված ալիքի երկարությունից, կամ, ընդհանուր առմամբ, աղբյուրի սպեկտրից՝ միևնույն լույսի ինտենսիվությամբ տարբեր աղբյուրներ կարող են ունենալ ճառագայթման տարբեր ինտենսիվություններ:

Necessary to remember, that for humans most important is the spectrum that corresponds to that of the sun, or, more precisely, the radiation spectrum of a black body at around 5500 K, and this importance is expressed via photopic luminosity function.

### 3.2.2. Luminous flux, lumen

While candela characterizes a source of light, in photometry we also need to characterize a *flux of visible light*, similar to the radiant intensity (radiant flux) in radiometry. It is natural to derive this unit through *candela*. The unit is called *lumen (lm)*:

#### Equation 3-3

$$1 \text{ lm} = 1 \text{ cd} \cdot \text{sr}$$

If a light source equivalent to 1 candela radiates in all directions uniformly, then within each unit steradian of solid angle, in any direction, the luminous flux will be equal to 1 lumen. Thus, as it has been mentioned in the previous section, lumen and candela can be used interchangeably, depending on the context of the measurement. The same source of 1 candela in all directions, i.e. within the total solid angle  $\Omega = 4\pi \text{ sr}$ , will have total luminous flux of  $1 \text{ cd} \cdot 4\pi \text{ sr} = 4\pi \text{ cd} \cdot \text{sr} \approx 12.57 \text{ lumens}$ . Again, for the 555 nm wavelength monochromatic source, where the  $V(\lambda=555 \text{ nm}) = 1$ , and for  $I_R(\lambda) = 1 \text{ W/sr}$ , radiant intensity will transfer to 683 cd, and as the radiation is uniform in all directions, that will represent total of  $\approx 8583 \text{ lumens}$ .

For the 490 nm wavelength monochromatic source, the  $V(\lambda=490 \text{ nm}) \approx 0.2$  (Figure 15), and again for the same radiant flux of  $I_R(\lambda=490 \text{ nm}) = 1 \text{ W/sr}$ , luminous intensity of that monochromatic source will be equal to 136.6 cd, and again, and if the radiation is uniform in all directions, that will represent total of  $\approx 1716.6 \text{ lumens}$  as a sum of luminous flux in all directions. Note that while the power radiated in both cases is the same, due to spectral sensitivity of the human eye these two light emissions are characterized by very different luminous flux values.

If the two aforementioned sources, each 1 W/sr, total of 2 W/sr, are radiating at the same time from the same location, we would have  $683 + 136.6 = 819.6 \text{ cd}$  and respectively  $10264.7 \text{ lm}$  in the total visible spectrum. This is reflected in the Equation 3-4.

#### Equation 3-4 / Հավասարում 3-4

$$I_L = 683.002 \sum_n V(\lambda_n) I_R(\lambda_n)$$

Պետք է հիշել, որ մարդու համար ամենակարևորն այն սպեկտրն է, որը համապատասխանում է արեգակի, կամ, բացարձակ սև մարմնի մոտ 5500 K ճառագայթման սպեկտրին, և այս կարևոր հանգամանքն արտահայտվում է ֆոտոպիկ լուսազգայնության ֆունկցիայի միջոցով:

### 3.2.2. Լուսային հոսք, լյումեն

Եթե կանդելան բնութագրում է աղբյուրի լույսի ինտենսիվությունը, ապա ֆոտոմետրիա-լուսաչափությունում անհրաժեշտ է բնութագրել նաև *տեսանելի լույսի հոսքն* այնպես, ինչպես ռադիոմետրիայում ճառագայթման հոսքի մեծությունը: Բնական է, որ չափի այս միավորը ստացվում է *կանդելայի* միջոցով: Այդ կոչվում է *լյումեն (լմ, միջազգային նշանակումը՝ lm)*:

#### Հավասարում 3-3

$$1 \text{ լմ} = 1 \text{ կդ} \cdot \text{ստեր}$$

Եթե 1 կանդելային համագոր *համասեռ* լույսի աղբյուրը բոլոր ուղղություններով ճառագայթներ է արձակում, ապա յուրաքանչյուր միավոր ստերոհիան *մարմնային անկյան մեջ* լուսային հոսքը հավասար կլինի 1 լյումենի: Ուստի, ինչպես արդեն ասվել է նախորդ բաժնում, կախված չափումների պայմաններից՝ լյումենը և կանդելան կարող են փոխարինել միմյանց: 1 կանդելա ինտենսիվությամբ սֆերիկ աղբյուրի ընդհանուր լուսային հոսքը կլինի  $1 \text{ կդ} \cdot 4\pi \text{ ստեր} = 4\pi \text{ կդ} \cdot \text{ստեր} \approx 12.57 \text{ լյումեն}$ : Կրկին, ալիքի 555 նմ երկարությամբ մոնոքրոմ աղբյուրի  $V(\lambda=555 \text{ նմ}) = 1$  և  $I_R(\lambda) = 1 \text{ Վտ/ստեր}$ , դեպքում ճառագայթման ինտենսիվությունը կհամապատասխանի 683 կդ և, քանի որ բոլոր ուղղություններով ճառագայթումը հավասարաչափ է, ապա բոլոր ուղղություններով լուսային հոսքի գումարը կկազմի  $\approx 8583 \text{ լյումեն}$ :

Ալիքի 490 նմ երկարությամբ մոնոքրոմ աղբյուրի դեպքում  $V(\lambda=490 \text{ նմ}) \approx 0.2$  (Նկար 15), և միևնույն  $I_R(\lambda=490 \text{ նմ}) = 1 \text{ Վտ/ստեր}$  ճառագայթման ինտենսիվության մեծության դեպքում, այդ մոնոքրոմ աղբյուրի լույսի ինտենսիվությունը հավասար կլինի 136.6 կդ, և եթե բոլոր ուղղություններով ճառագայթումը համասեռ է, ապա այն կկազմի  $\approx 1716.6 \text{ լյումեն}$ ՝ որպես բոլոր ուղղություններում լուսային հոսքի գումար: Չնայած ճառագայթման հզորությունը երկու դեպքում էլ նույնն է, մարդու աչքի սպեկտրալ զգայնության շնորհիվ այս երկու արձակված լույսերը բնութագրվում են լուսային հոսքի տարբեր արժեքներով:

Եթե վերոհիշյալ երկու աղբյուրները, յուրաքանչյուրը՝ 1 Վտ/ստեր էներգետիկ ինտենսիվությամբ, ճառագայթում են միաժամանակ, ապա լույսի ընդհանուր ինտենսիվությունը կլինի  $683 + 136.6 = 819.6 \text{ կդ}$  և համապատասխանաբար՝  $10264.7 \text{ լմ}$ : Սա արտացոլված է 3-4 հավասարման մեջ.

where  $\lambda_n$  is the wavelength of the n-th monochromatic component.

If the source is not monochromatic or is not a combination of monochromatic sources as in the previous example where simple weighted summation works, then we need to integrate Equation 3-2 from 390 nm to 720 nm to obtain the real luminous intensity and flux (Equation 3-5):

### Equation 3-5 / Հավասարում 3-5

$$I_L = 683.002 \int_{\lambda=390nm}^{720nm} V(\lambda) I_R(\lambda) d\lambda$$

Naturally, Equation 3-2, Equation 3-4 and Equation 3-5 produce values in both candelas and lumens, since while  $I_L$  is in candelas, but lumens are defined for one sr, thus they deliver the same value in lm (Equation 3-3).

### 3.2.3. Illumination, lux

Illumination is, in fact, the target variable that is regulated by the standards. The unit used for illumination is the *lux*, *lx*.

The lux is defined as the ratio of the unit luminous flux to the unit area, normal to the surface, that it illuminates:

$$1 \text{ lux} = 1 \text{ lumen} / 1 \text{ square meter.}$$

$$1 \text{ lx} = 1 \text{ lm/m}^2 = 1 \text{ cd} \cdot \text{sr/m}^2.$$

### 3.2.4. Luminance

The *luminance* levels are measured in candelas per square meter,  $\text{cd/m}^2$ , aka *nit* (*nt*) and for ideal diffuse or Lambertian (Figure 32) reflector, is defined as:

### Equation 3-6 / Հավասարում 3-6

$$L_v = E_v R / \pi,$$

where  $L_v$  is the luminance level in  $\text{cd/m}^2$ ,  $E_v$  is the illumination level in lux,  $R$  is the reflectivity (same as albedo),  $\pi = 3.14159 \dots$ . For example, if a pavement has 30% reflectivity, assuming it is totally diffuse, means it is a Lambertian diffuser - does not have any specular, i.e. mirror type reflective component, and the illumination level is 300 lux, then  $L_v = 300 \times 0.3 / 3.14159 \approx 28.65 \text{ cd/m}^2$ .

Here is another description of luminance: if a square meter of pavement has 1  $\text{cd/m}^2$  luminance, if looking at this square from a very large distance,

որտեղ  $\lambda_n$ -ը n-րդ մոնոքրոմ բաղադրիչի ալիքի երկարությունն է:

Եթե աղբյուրը մոնոքրոմ չէ, կամ մոնոքրոմ աղբյուրների համադրություն չէ՝ ինչպես նախորդ օրինակում, որտեղ կիրառելի էր պարզ կշռված գումարումը, ապա իրական լուսային ինտենսիվությունը և հոսքը ստանալու համար անհրաժեշտ կլինի ինտեգրել Հավասարում 3-2-ը՝ 390 նմ-ից մինչև 720 նմ, այսինքն ալիքի երկարությունների ողջ տեսանելի տիրույթում (Հավասարում 3-5):

Բնականաբար, Հավասարում 3-2-ի, Հավասարում 3-4-ի և Հավասարում 3-5-ի արժեքներն արտահայտվում են թե կանդելայով, և թե լյումենով, քանի որ  $I_L$  արտահայտված է կանդելայով: Սակայն լյումենը որոշված է մեկ ստեռ-ի համար, ուստի թե լուսային հոսքը՝ լմ-ով և թե լուսային ինտենսիվությունը՝ կդ-ով նույն թվային արժեքն են ստանում են (Հավասարում 3-3):

### 3.2.3. Լուսավորվածություն, լյուքս

Ըստ էության լուսավորվածությունն այն նպատակային փոփոխականն է, որը կանոնակարգվում է ստանդարտներով: Լուսավորվածության միավորը լյուքսն է՝ *լք* (*միջազգային նշանակումը՝ lx*):

Լյուքսը սահմանվում է որպես միավոր լուսային հոսքի և դրա կողմից նորմալ (ուղղահայաց անկումով) լուսավորվող միավոր մակերեսի հարաբերություն.

$$1 \text{ լյուքս} = 1 \text{ լյումեն} / 1 \text{ քառակուսի մետր}$$

$$1 \text{ լք} = 1 \text{ լմ/մ}^2 = 1 \text{ կդ} \cdot \text{ստեռ/մ}^2$$

### 3.2.4. Պայծառություն

Պայծառության մակարդակները չափում են կանդելան բաժանած քառակուսի մետրի վրա՝ կդ/մ<sup>2</sup>, և կատարյալ դիֆուզ կամ լամբերտյան անդրադարձիչի համար (Նկար 32) այն սահմանվում է՝

որտեղ  $L_v$ -ն պայծառության մակարդակն է կդ/մ<sup>2</sup>-ով,  $E_v$ -ն լուսավորվածության մակարդակն է լյուքսով,  $R$ -ը անդրադարձման գործակիցն է  $\pi = 3.14159 \dots$ : Օրինակ, եթե ճանապարհածածկի անդրադարձման գործակիցը 30% է, և ենթադրաբար այն ապահովում է ամբողջովին ցրված (դիֆուզ) անդրադարձում (լամբերտյան դիֆուզոր է, այսինքն չունի հայելային անդրադարձման բաղադրիչ), իսկ լուսավորվածության մակարդակը 300 լյուքս է, ապա  $L_v = 300 \times 0.3 / 3.14159 \approx 28.65 \text{ կդ/մ}^2$ :

Ահա՛ պայծառության մեկ այլ նկարագրություն: Եթե ճանապարհածածկի մեկ քառակուսի մետր մակերեսն ունի 1 կդ/մ<sup>2</sup> պայծառություն, և եթե այդ մակերեսին

and assuming no loss of energy in the air mass, that square meter is generating the same luminous flow as just a source that has 1 candela brightness. Also look at Figure 32.

նայենք շատ մեծ հեռավորությունից՝ ենթադրելով, որ օդի զանգվածում էներգիայի կորուստ չունենք, ապա այդ մակերեսի պայծառությունը համարժեք կլինի 1 կանդելա լույսի ինտենսիվությամբ աղբյուրին: Տես նաև Նկար 32:

Figure 32. Explanation of the candela per square meter.

Source/Աղբյուր՝ [http://www.aeny.com.tw/products/lamp/technology\\_support/Lighting\\_Terms.htm](http://www.aeny.com.tw/products/lamp/technology_support/Lighting_Terms.htm), <http://rsagencies.co.za/lumens-for-the-laymen/>



Նկար 32. Կանդելա քառակուսի մետրի վրա միավորի բացատրությունը:

Note again, that all of these parameters do not directly include information on the spectral composition of the radiation or light. This means that the same radiometric value may correspond to different photometric values depending on the spectral power distribution (SPD), as it has been explained in the sections 3.2.1. and 3.2.2.

Table 2 summarizes the energy (radiometric) and luminous (photometric) values.

Նորից նկատենք, որ այս բոլոր հարաչափերը անմիջականորեն տեղեկություն չեն պարունակում ճառագայթման կամ լույսի սպեկտրալ բաղադրության վերաբերյալ: Սա նշանակում է, որ միևնույն ռադիոմետրիկ արժեքը կարող է համապատասխանել տարբեր ֆոտոմետրիկ արժեքների, կախված հզորության սպեկտրալ բաշխվածությունից, ինչպես նկարագրված է 3.2.1. և 3.2.2. բաժիններում:

Աղյուսակ 2-ում ամփոփ ներկայացվում են էներգետիկ (ռադիոմետրիկ) և լուսային (ֆոտոմետրիկ) մեծությունները:

Table 2. Correspondence between basic radiometric and photometric parameters.

| Energy (Radiometric) Quantities | Assigned as | Unit                | Luminous (Photometric) Quantities | Assigned as | Unit                                     |
|---------------------------------|-------------|---------------------|-----------------------------------|-------------|------------------------------------------|
| Radiant Flux                    | $\Phi_e$    | W                   | Luminous Flux                     | $\Phi_v$    | lm                                       |
| Radiant Intensity               | $I_e$       | W/sr                | Luminous Intensity                | $I_v$       | lm/sr = cd                               |
| Radiance (Radiant Brightness)   | $L_e$       | W/sr*m <sup>2</sup> | Luminance (Brightness)            | $L_v$       | lm/sr*m <sup>2</sup> = cd/m <sup>2</sup> |
| Irradiance, Flux density        | $E_e$       | W/m <sup>2</sup>    | Illuminance                       | $E_v$       | lm/m <sup>2</sup> = lx                   |

<sup>a</sup>. radiant flux: the rate at which light energy is emitted; this is measured in watts (J/s = W).

<sup>b</sup>. radiant intensity: flux radiated into a unit solid angle, i.e., 1 sr, measured in W/sr = intensity from a point source.

<sup>c</sup>. radiance: radiant intensity per unit of projected surface area, measured in W/sr\*m<sup>2</sup> = intensity from a surface.

<sup>d</sup>. irradiance (flux density): incident flux per unit surface area, in W/m<sup>2</sup>.

**Աղյուսակ 2.** Էներգետիկ և լուսային մեծությունների միջև համապատասխանությունը:

| Էներգետիկ միավորներ<br>(ռադիոմետրիկ)                              | Նշանա-<br>կում | Միավոր                     | Լուսային միավորներ<br>(ֆոտոմետրիկ) | Նշանա-<br>կում | Միավոր                                        |
|-------------------------------------------------------------------|----------------|----------------------------|------------------------------------|----------------|-----------------------------------------------|
| Ճառագայթային հոսք <sup>ω</sup>                                    | $\Phi_e$       | Վտ                         | Լուսային հոսք                      | $\Phi_v$       | լմ                                            |
| Ճառագայթման<br>ինտենսիվություն <sup>ρ</sup>                       | $I_e$          | Վտ/ստեռ                    | Լույսի<br>ինտենսիվություն          | $I_v$          | լմ/ստեռ = կդ                                  |
| Էներգետիկ պայծառություն <sup>q</sup>                              | $L_e$          | Վտ/<br>ստեռ*մ <sup>2</sup> | Պայծառություն                      | $L_v$          | լմ/ստեռ*մ <sup>2</sup> =<br>կդ/մ <sup>2</sup> |
| Էներգետիկ լուսավորվածություն<br>(ճառագայթվածություն) <sup>η</sup> | $E_e$          | Վտ/մ <sup>2</sup>          | Լուսավորվածություն                 | $E_v$          | լմ/մ <sup>2</sup> = ք                         |

ω. Ճառագայթային հոսք. ճառագայթած լուսային էներգիայի քանակն է միավոր ժամանակում. այն չափվում է վատերով ( $\Phi/\text{վրկ}=\text{Վտ}$ ):

ρ. Ճառագայթման ինտենսիվություն. ճառագայթային հոսքն է միավոր մարմնային անկյան, այն է 1ստեռ-ի ներսում. չափման միավորն է՝ Վտ/ստեռ. նկարագրում է ինտենսիվությունը կետային աղբյուրից:

q. Էներգետիկ պայծառություն. ճառագայթման ինտենսիվությունն է պրոյեկտված միավոր մակերեսի վրա. չափման միավորն է՝ Վտ/ստեռ\*մ<sup>2</sup>. նկարագրում է ինտենսիվությունը մակերեսից:

η. Էներգետիկ լուսավորվածություն (հոսքի խտություն). միավոր մակերեսի վրա ընկնող ճառագայթման հոսքն է. չափման միավորն է՝ Վտ/մ<sup>2</sup>:

### 3.3. Performance parameters

#### 3.3.1. Luminous efficacy, lm/W

Luminous efficacy, K, defines the efficiency of light sources. This is the ratio of visible luminous flux to radiant flux emitted by a source. In other words, luminous efficacy shows the lumens generated versus the total radiation of power.

In fact K can be represented as  $I_L / I_R$ . Combining Equation 3-1 and Equation 3-5 one gets:

*Equation 3-7 / Հավասարում 3-7*

$$K = I_L / I_R = 683.002 \left[ \frac{\int_{\lambda=390nm}^{720nm} V(\lambda) I_R(\lambda) d\lambda}{\int_{\lambda=0}^{\infty} I_R(\lambda) d\lambda} \right]$$

If  $I_R = I_L$ , then we have  $K = K_m$ , where the maximum luminous efficacy is defined as  $K_m = 683 \text{ lm/W}$  – only possible for ideal 555 nm light generation source. In real life this parameter characterizes any advancement in light source technology, and in fact it currently varies in between  $10 \div \approx 300 \text{ lm/W}$ .

#### 3.3.2. Luminous efficiency

Luminous efficiency, E, defines the physical efficiency of light sources in terms of usual percentage, W/W. This is the ratio of visible radiant flux to total radiant flux emitted by a source. In other words, luminous efficiency shows the portion of power that became visible light versus the total power of radiation.

Since from Equation 3-5 one gets:

### 3.3. Արդյունավետության պարամետրեր

#### 3.3.1. Լուսային արգասիք, լմ/Վտ

Լուսային արգասիքը, կամ լուսարգասիքը՝ K, սահմանում է լույսի աղբյուրի արդյունավետությունը: Սա տեսանելի լուսային հոսքի և աղբյուրի կողմից արձակած ճառագայթման հոսքի մեծության հարաբերությունն է: Այլ կերպ ասած, լուսային արգասիքը ցույց է տալիս գեներացված լյումենները՝ ճառագայթված ընդհանուր էներգիայի համեմատ:

Փաստորեն K-ն կարող է ներկայացվել որպես  $I_L/I_R$ : Իրար միացնելով Հավասարում 3-1-ը և Հավասարում 3-5-ը ստանում ենք՝

Եթե  $I_R = I_L$ , ապա ստանում ենք  $K = K_m$ , որտեղ առավելագույն լուսային արգասիքը որոշվում է որպես  $K_m = 683 \text{ լմ/Վտ}$ , ինչը հնարավոր է միայն 555 նմ իդեալական լույս գեներացնող աղբյուրի դեպքում: Իրական կյանքում այս պարամետրը բնութագրում է լույսի աղբյուրի ցանկացած տեխնոլոգիական առաջընթացը և, ի դեպ, ներկայումս այն տատանվում է  $10 \div \approx 300 \text{ լմ/Վտ}$  միջակայքում:

#### 3.3.2. Լուսային ՕԳԳ

Լուսային ՕԳԳ-ն՝ E, սահմանում է լույսի աղբյուրի ՕԳԳ-ն՝ արտահայտված սովորական տոկոսներով, Վտ/Վտ: Սա էլեկտրամագնիսական ալիքների ճառագայթման տեսանելի-կշռված հոսքի մեծության և աղբյուրի կողմից արձակված ընդհանուր էլեկտրամագնիսական ալիքների ճառագայթման հոսքի մեծության հարաբերությունն է: Այլ կերպ ասած, լուսային ՕԳԳ-ն ցույց է տալիս հզորության այն մասը, որը ճառագայթման ընդհանուր հզորության համեմատ՝ ընկալվում է որպես տեսանելի լույս:

Հավասարում 3-5-ից ստանում ենք՝

### Equation 3-8 / Հավասարում 3-8

$$I_L = K_m \int_{\lambda=390nm}^{720nm} V(\lambda) I_R(\lambda) d\lambda$$

by denoting  $I_{RV} = \int_{\lambda=390nm}^{720nm} V(\lambda) I_R(\lambda) d\lambda$ , as the

Radiant Visible Flux - the power of the light that can be perceived by human eyes, we get

ընդունելով  $I_{RV} = \int_{\lambda=390nm}^{720nm} V(\lambda) I_R(\lambda) d\lambda$ , որպես էլեկտրա-

մագնիսական ալիքների ճառագայթման տեսանելի հոսք, այսինքն՝ մարդու աչքի կողմից ընկալելի լույսի հզորություն, ստանում ենք՝

### Equation 3-9 / Հավասարում 3-9

$$I_L = K_m I_{RV}$$

### Equation 3-10 / Հավասարում 3-10

$$E = I_{RV}/I_R = I_L/(K_m I_R) = \int_{\lambda=390nm}^{720nm} V(\lambda) I_R(\lambda) d\lambda / \int_{\lambda=0}^{\infty} I_R(\lambda) d\lambda$$

If  $I_{RV} = I_R$ , then we have  $E = 100\%$ , for the ideal light generation source, that happens at only 555 nm. In real life this parameter again characterizes any advancement in light source technology, and in fact it currently varies in between 2% and about 12%. Easy to see what would be the maximum efficiency number for a uniform white light, i.e.  $I_R(\lambda) = I_{RW}$  within the visible range and 0 otherwise:

Եթե  $I_{RV} = I_R$ , ապա լույս գեներացնող իդեալական աղբյուրի դեպքում ստանում ենք  $E = 100\%$ , որը տեղի է ունենում միայն 555 նմ դեպքում: Իրական կյանքում այս պարամետրը կրկին բնութագրում է լույսի աղբյուրի ցանկացած տեխնոլոգիական առաջընթացը և, ի դեպ, ներկայումս այն տատանվում է 2%-ից մինչև մոտ 12% միջակայքում: Ակնհայտ է, որ առավելագույն արդյունավետ թիվը համաչափ սպիտակ լույսի համար  $I_R(\lambda) = I_{RW}$  է տեսանելի միջակայքում և 0՝ դրանից դուրս:

### Equation 3-11 / Հավասարում 3-11

$$E_{max} = I_{RVW} / I_{RW} = \int_{\lambda=390nm}^{720nm} V(\lambda) d\lambda$$

#### 3.3.3. Lighting Efficiency or Wall-Plug efficiency, lm/W, power supply efficiency

Wall Plug efficiency is the ratio of luminous flux to power consumed by a source. In other words, it shows the lumens generated versus the total wattage consumed from the wall plug.

In fact this parameter can be represented as  $I_L/P_c$ , where  $P_c$  is the power consumed. Manufacturers usually provide this number for a particular lighting product. It takes into account also power conversion losses, e.g. if an AC to DC or other conversion is needed. If that converter has  $\eta$  efficiency, then the lighting efficiency will be luminous efficacy,  $K$ , times  $\eta$ , and this is what one can find in the specs of a manufacturer. If talking in terms of Luminous efficiency, then total efficiency would be  $\eta E$ . This parameter is very easy to use for calculations of the resulting lighting efficiency.

#### 3.3.3. Լուսավորության արդյունավետություն կամ «ՕԳԳ վարդակից», լմ/Վտ, սնուցման աղբյուրի ՕԳԳ

Վարդակի ՕԳԳ-ն՝ դա լուսային հոսքի նկատմամբ աղբյուրի կողմից սպառված էներգիայի հարաբերությունն է: Այլ բառերով, այդ ցույց է տալիս վարդակից (ցանցից) սպառված վատտերի ընդհանուր քանակի դիմաց գեներացված լյումենները: Փաստորեն այս պարամետրը կարելի է ներկայացնել որպես  $I_L/P_c$ , որտեղ  $P_c$  սպառված հզորությունն է: Սովորաբար արտադրողներն այս թիվն են մականշում իրենց լուսատեխնիկական արտադրանքի պիտակների վրա: Այստեղ հաշվի են առնվում նաև էլեկտրաէներգիայի փոխակերպումից առաջացող կորուստները, օրինակ՝ եթե անհրաժեշտ է լինում փոփոխական հոսանքը (ՓՀ, անգլերեն AC) փոխակերպել հաստատուն հոսանքի (ՀՀ, DC) և այլն: Եթե փոխակերպիչի ՕԳԳ-ն  $\eta$  է, ապա լուսավորության արդյունավետությունը կլինի լուսային արգասիքը՝  $K$  անգամ  $\eta$ , և արտադրողների մասնագրերում հենց սա է մականշվում: Ինչ վերաբերվում է լուսային ՕԳԳ-ին, ապա ընդհանուր ՕԳԳ կլինի  $\eta E$ : Այս պարամետրը շատ հեշտ է կիրառել ստացված լուսավորության արդյունավետությունը հաշվելու համար:

### 3.4. Laboratory testing

This section addresses the means used for measurement of light related parameters. It is necessary to understand, that while human perception of light is related to the complex mechanisms of cognition, and these mechanisms yield certain variability from human to human, however there are instruments that perform precise measurements that are unambiguous in their interpretation. At the same time it is necessary to mention about the fact that e.g. the cone sensitivity, Figure 14, as well as overall luminosity functions Figure 15 are statistical averages. These averages were obtained by measuring the perception of light of significant number of persons of various ages and for both sexes and, as a result, the SLF shape was build.

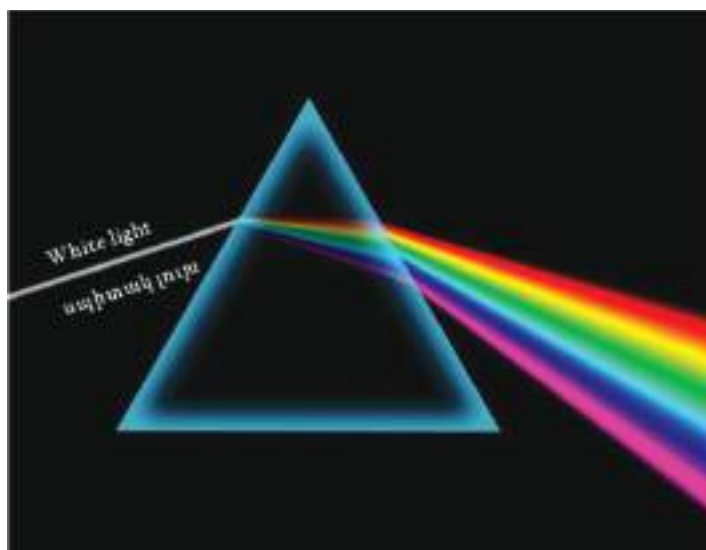
#### 3.4.1. Spectrometer

Spectrometer is a device that allows to measure the intensity or power of radiation depending on the frequency or equivalent wavelength. The simplest spectrometer is composed of a source holder, a prism and a measurement detector shown in Figure 33. Due to the dispersion in the prism the light from the source is decomposed to its components' intensities of which are continuously measured by a detector. This measurement, in fact, yields the spectrum power distribution (SPD).

Figure 33. The prism spectrometer operation principle and the setup.

Note: The source beam and the measurement gauge.

Source/Աղբյուրը՝ <http://labs.physics.dur.ac.uk/level1/projects/spectrometer.php> ; <http://tiny.cc/m8fa1y>



|        |                |
|--------|----------------|
| red    | կարմիր         |
| orange | խաղճագույն     |
| yellow | դեղին          |
| green  | կանաչ          |
| blue   | էթեղագույն     |
| indigo | կապույտ        |
| violet | մանուշակագույն |

Նշում: Ուշադրություն դարձրեք աղբյուրից արձակված փնջին և չափիչ սարքին:

Նկար 33. Պրիզմային սպեկտրոմետրի աշխատանքի սկզբունքը և կառուցվածքը:

### 3.4. Լաբորատոր չափումներ

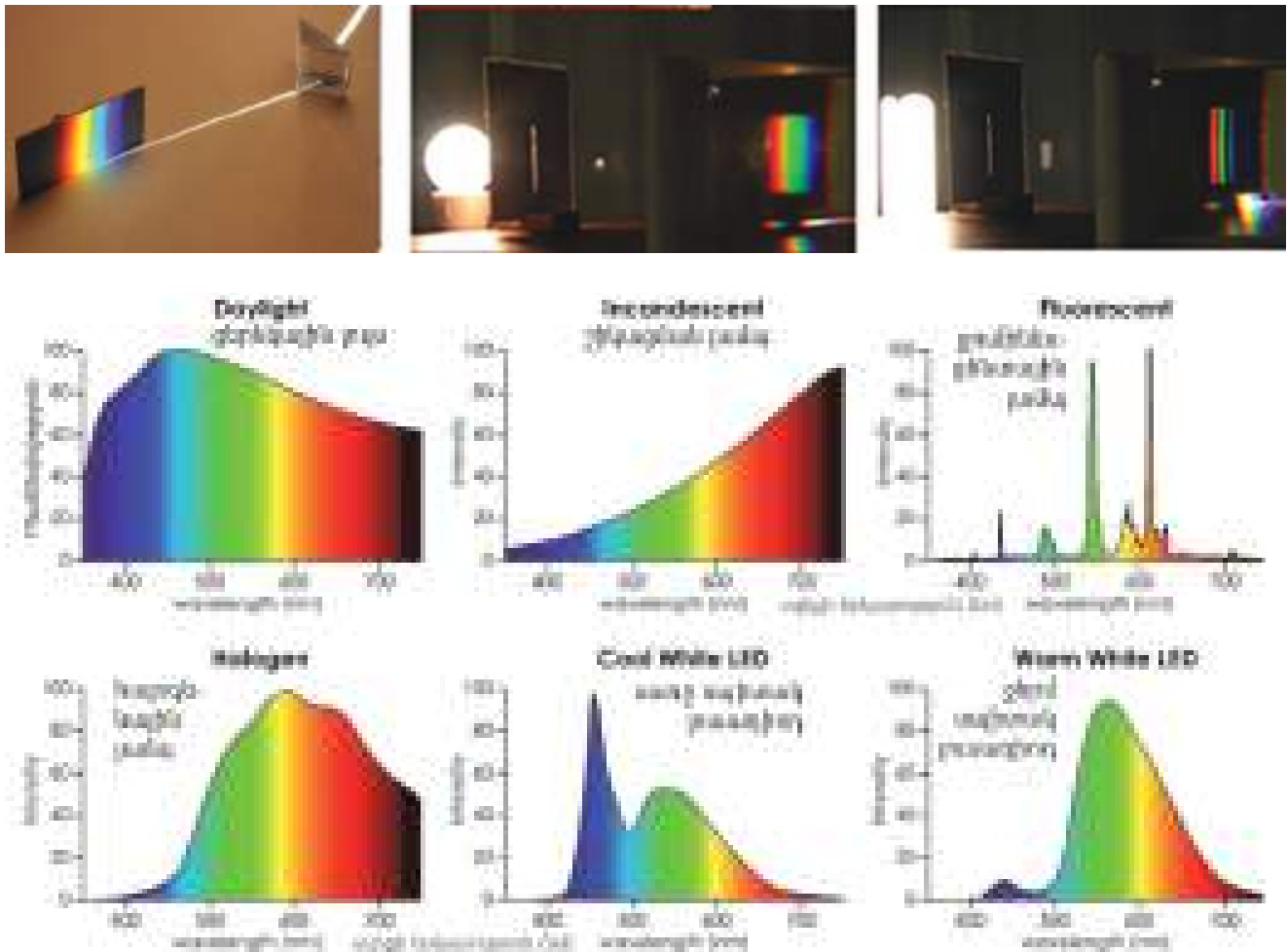
Այս բաժնում կխոսենք լույսին առնչվող պարամետրերի (հարաչափերի) և չափման միջոցների օգտագործման վերաբերյալ: Անհրաժեշտ է հասկանալ, որ մարդու կողմից լույսի ընկալումը կապված է ճանաչողական բարդ մեխանիզմների հետ, և այդ մեխանիզմները բերում են նրան, որ տարբեր մարդկանց մոտ ընկալումը կարող է զգալիորեն տարբերվել, սակայն կան այնպիսի ճշգրիտ չափիչ սարքեր, որոնք միանշանակ են մեկնաբանում այդ պարամետրերը: Միևնույն ժամանակ, հարկ է նշել այն փաստը, որ կոնե-րի զգայնությունը՝ Նկար 14, ինչպես նաև ընդհանուր լուսազգայնության ֆունկցիան՝ նկար 15, ըստ էության միջին վիճակագրական տվյալներ են: Այս միջինացված տվյալները ստացվել են տարբեր տարիքի և սեռի պատկանող զգալի թվով անձանց կողմից լույսի ընկալումը չափելու միջոցով և ստացված տվյալների միջինացման արդյունքում կառուցվել է ընդհանրական ՍԼՖ-ի կորը:

#### 3.4.1. Սպեկտրոմետր

Սպեկտրոմետրը սարք է, որը թույլ է տալիս չափել էլեկտրամագնիսական ճառագայթման հզորության կախվածությունը ալիքի երկարությունից: Ամենապարզ սպեկտրոմետրը բաղկացած է չափվող լույսի աղբյուրից, պրիզմայից և չափիչ դետեկտորից, տես՝ նկար 33: Պրիզմայի միջոցով տարալուծման՝ դիսպերսիայի շնորհիվ, աղբյուրից դուրս եկող լույսը կազմալուծվում է բաղադրիչների, որոնց ինտենսիվությունը սահուն կերպով չափվում է դետեկտորի կողմից: Փաստորեն, այս չափման արդյունքում ստանում ենք հզորության սպեկտրալ բաշխումը (ՇՄԲ):

**Figure 34.** Visual spectra of incandescent and fluorescent lightbulbs showing the continuous nature of the former and the linear spikiness of the latter.

Source/Աղբյուր՝ [https://en.wikipedia.org/wiki/Color\\_rendering\\_index](https://en.wikipedia.org/wiki/Color_rendering_index). <http://housecraft.ca/eco-friendly-lighting-colour-rendering-index-and-colour-temperature>



**Նկար 34.** Շիկացման և լյումինեսցենսային լամպերի երևացող սպեկտրերը, որտեղ կարելի է տեսնել առաջինի շարունակական/անընդհատ բնույթը և երկրորդի գծային սղոցածն բնույթը:

Figure 34 illustrates the spectra of incandescent and fluorescent lightbulbs as seen, showing the continuous nature of the first and the linear spikiness of the second. Note SPD-s of various light sources. Also note that all SPD-s are in the visible range of approximately 350 ÷ 750 nm.

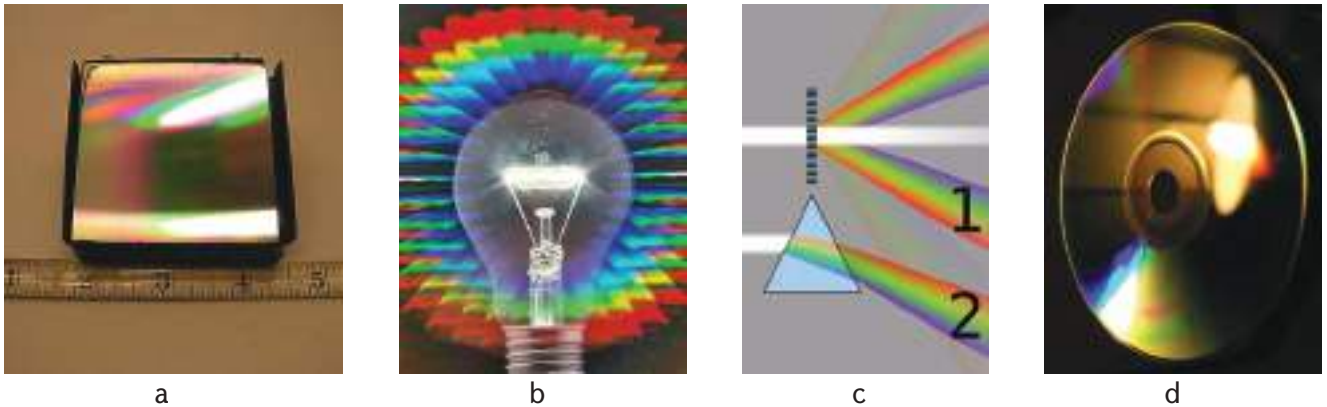
To achieve higher accuracy and to eliminate the influence of the prism material itself, the grating spectrometers are developed. Here the decomposition of the input beam is taking place due to the diffraction, rather than the dispersion used in a glass (quartz) prism spectrometer. Action of a diffraction grating is illustrated in Figure 35.

Նկար 34–ի ձախ կողմում պատկերված են շիկացման և լյումինեսցենսային լամպերի սպեկտրերը, որտեղ երևում է առաջինի սահուն բնույթը և երկրորդի արտահայտված սղոցածն բնույթը: Ուշադրություն դարձրեք լույսի տարբեր աղբյուրների ՀՄԲ-ներին նկարի աջ կողմում: Նաև հարկ է նշել, որ բոլորի ՀՄԲ-ները գտնվում են մոտավորապես 350 ÷ 750 նմ տեսանելի միջակայքում:

Դիֆրակցիոն ցանցով սպեկտրոմետրերը ստեղծվել են տվյալների ճշգրտությունը բարձրացնելու և պրիզմայի նյութի ազդեցությունը վերացնելու նպատակով: Այստեղ մուտքային փնջի կազմալուծումը տեղի է ունենում դիֆրակցիայի, և ոչ թե դիսպերսիայի շնորհիվ՝ ինչպես ապակե (կվարցե) պրիզմայով սպեկտրոմետրերում: Դիֆրակցիոն ցանցի աշխատանքը պատկերված է Նկար 35-ում:

**Figure 35.** Diffraction gratings: a. 300 Lines/mm Large Jarrell Ash Fisher Scientific Diffraction Grating; b. an incandescent light bulb seen through a diffraction grating; c. diffraction grating (1) compared to a prism (2); d. compact discs action as diffraction grating.

Source/Աղբյուրը՝ <http://www.ebay.com/itm/like/161522579868>



**Նկար 35.** Դիֆրակցիոն ցանցեր՝ ա. 300 գիծ/մմ Ջարել Աշ Ֆիշեր գիտական խոշոր դիֆրակցիոն ցանց, բ. դիֆրակցիոն ցանցում երևացող շիկացման լամպի լույսը, գ. դիֆրակցիոն ցանցի (1) համեմատությունը պրիզմայի հետ (2), դ. կոմպակտ սկավառակը որպես դիֆրակցիոն ցանց:

The schematic principle of operation, the setup and a commercial device are shown in Figure 36. The modern spectrometers easily allow to plot the power distribution spectrum with 10 nm resolution steps, yielding more than 30 readings per SPD. Certainly scientific equipment resolves much more, but the cost of the equipment also increases substantially. Importantly, spectrometers can also be used to plot the reflectance or transmittance SPD as well.

Any SPD measured through a spectrometer can be converted in *spectrophotometric* measurement, if the received SPD is normalized by the standard luminosity function (SLF), which can be done numerically in the digital device or in post measurement through the computer. Another interesting piece of equipment is the *spectrocolorimeter*, which can provide the source colorimetric values in CIE 1931 and 1976 color spaces, as well as allows measuring the relative color temperature.

Աշխատանքի սխեմատիկ սկզբունքը, կառուցվածքը և արդյունաբերական նպատակով ստեղծված սարքը ցույց են տրված Նկար 36-ում: Ժամանակակից սպեկտրոմետրերը թույլ են տալիս հեշտությամբ ստանալ (կառուցել) հզորության սպեկտրալ բաշխման կորեր՝ 10 նմ լուծողունակության քայլով՝ մեկ ՀՄԲ-ի համար արտաբերելով ավելի քան 30 տվյալ/ցուցմունք: Իհարկե, գիտահետազոտական սարքավորումները ապահովում են շատ ավելի բարձր լուծողունակություն, սակայն նման սարքավորումների արժեքը համապատասխանաբար մեծ է: Կարևոր է նշել, որ սպեկտրոմետրերը կարող են օգտագործվել նաև անդրադարձման գործակցի կամ տրանսմիսիայի (թափանցելիության) գործակցի ՀՄԲ-ի կորերը ստանալու համար:

Սպեկտրոմետրի միջոցով չափված ցանկացած ՀՄԲ կարող է փոխվել սպեկտրոֆոտոմետրիկ չափման, եթե ստացված ՀՄԲ-ը նորմավորվի ստանդարտ լուսազգայնության ֆունկցիայով (ՍԼՖ), որը կարելի է չափումները գրանցելուց հետո կատարել թվային եղանակով՝ թվային սարքի միջոցով կամ համակարգչի օգնությամբ: Մյուս հետաքրքիր սարքը սպեկտրոկոլորիմետրն է, որը հնարավորություն է տալիս հաշվարկել լույսի աղբյուրի գունայնության կոորդինատները CIE 1931թ. և 1976թ. գունային տարածքներում, ինչպես նաև որոշել կորելացված (փոխկապակցված) գունային ջերմաստիճանը:

**Figure 36.** Grating Spectrometer schematic, setup and the complete equipment.



**Նկար 36.** Դիֆրակցիոն ցանցով սպեկտրոմետր՝ սարքի սխեմատիկ, կառուցվածքային և ամբողջական պարկերները:

### 3.4.2. Luxmeter

A luxmeter, Figure 37, is a light intensity meter that is sensitive to the visible radiation range and is normalized according to the photopic standard luminosity function, Figure 15.

### 3.4.2. Լյուքսմետր

Լյուքսմետրը (Նկար 37) նախատեսված է տվյալ (հետաքրքիր) մակերևույթի վրա լուսավորվածությունը չափելու համար: Այն զգայուն է տեսանելի տիրույթում, և նորմավորված ըստ ստանդարտ ֆոտոպիկ լուսազգայնության ֆունկցիայի, Նկար 15:

Figure 37. Luxmeters.



Նկար 37. Լյուքսմետրեր:

Since it is normalized per SLF, it automatically counts for human vision, and delivers the readings not in energy values but in *lux*. Usually they have a silicon photovoltaic conversion sensor, which covers virtually all visual range. The measurement ranges from  $0.1 \div 1\,000\,000$  lux with 0.1 lux step, which is more than enough e.g. for indoor photopic measurement.

The luxmeter is easy to use, it also usually has a number of convenient functions, such as reading memory, etc. The detector area usually is small enough to easily understand the distribution of the illumination. They may cost from a few tens of US dollars to thousands, depending on accuracy, sensitivity and functionality. Some luxmeters also measure luminance in  $\text{cd}/\text{m}^2$ .

Interesting to mention that any iOS or Android device has the capability of installing a lux meter app that uses the devices camera sensor and provides measurement. While it may not pretend to have very high accuracy, but in many applications, especially those that are straightforward and using relative values, can be rather helpful.

Նորմավորված լինելով ըստ ՍԼՖ-ի, այն ինքնաբերաբար հարմարեցված է մարդու տեսողությանը, և չափումը արտաբերում է ոչ թե էներգետիկ, այլ ֆոտոմետրիկ միավորներ՝ *լյուքսեր*: Սովորաբար դրանք բաղկացած են ֆոտովոլտայիկ փոխակերպման սիլիցիումային լուսազգայուն տարրերից, որոնք ընդգրկում են տեսողության ողջ տիրույթը: Չափման միջակայքը  $0.1 \div 1\,000\,000$  լյուքս է՝ 0.1 լյուքս քայլով, որն ավելի քան բավարար է, օրինակ՝ սենյակում ֆոտոպիկ չափումներ կատարելու համար:

Լյուքսմետրը հեշտ է օգտագործել: Սովորաբար այն ունի մի շարք հարմար ֆունկցիաներ, ինպիսիք են, օրինակ՝ գրանցված տվյալների հիշողությունը և այլն: Լուսազգայուն տարրի մակերեսը բավականին փոքր է, որը թույլ է տալիս հեշտությամբ հասկանալ լուսավորվածության բաշխումը: Դրանց գինը՝ կախված ճշգրտությունից և ֆունկցիոնալ հնարավորություններից, կարող է տասնյակ ԱՄՆ դոլարներից հասնել հազարավոր դոլարների: Կան նաև լյուքսմետր-պայծառաչափեր, որոնք բացի լուսավորվածությունից թույլ են տալիս չափել նաև պայծառությունը ( $\text{կդ}/\text{մ}^2$ ):

Հետաքրքիր է նշել, որ ցանկացած iOS կամ Android համակարգով աշխատող սարքում կարելի է տեղադրել լյուքսմետր հավելվածի ծրագիր, որը կարող է չափումներ կատարել սարքի տեսախցիկի լուսազգայուն տարրի միջոցով: Թեև այն չի հավակնում բարձր ճշտության սարք համարվելուն, սակայն շատ դեպքերում այդ հավելվածը կարող է բավականին օգտակար լինել հատկապես պարզունակ, կամ հարաբերական չափումներ կատարելիս:

### 3.4.3. Testing laboratory for lighting devices and photometry: Integrating Sphere

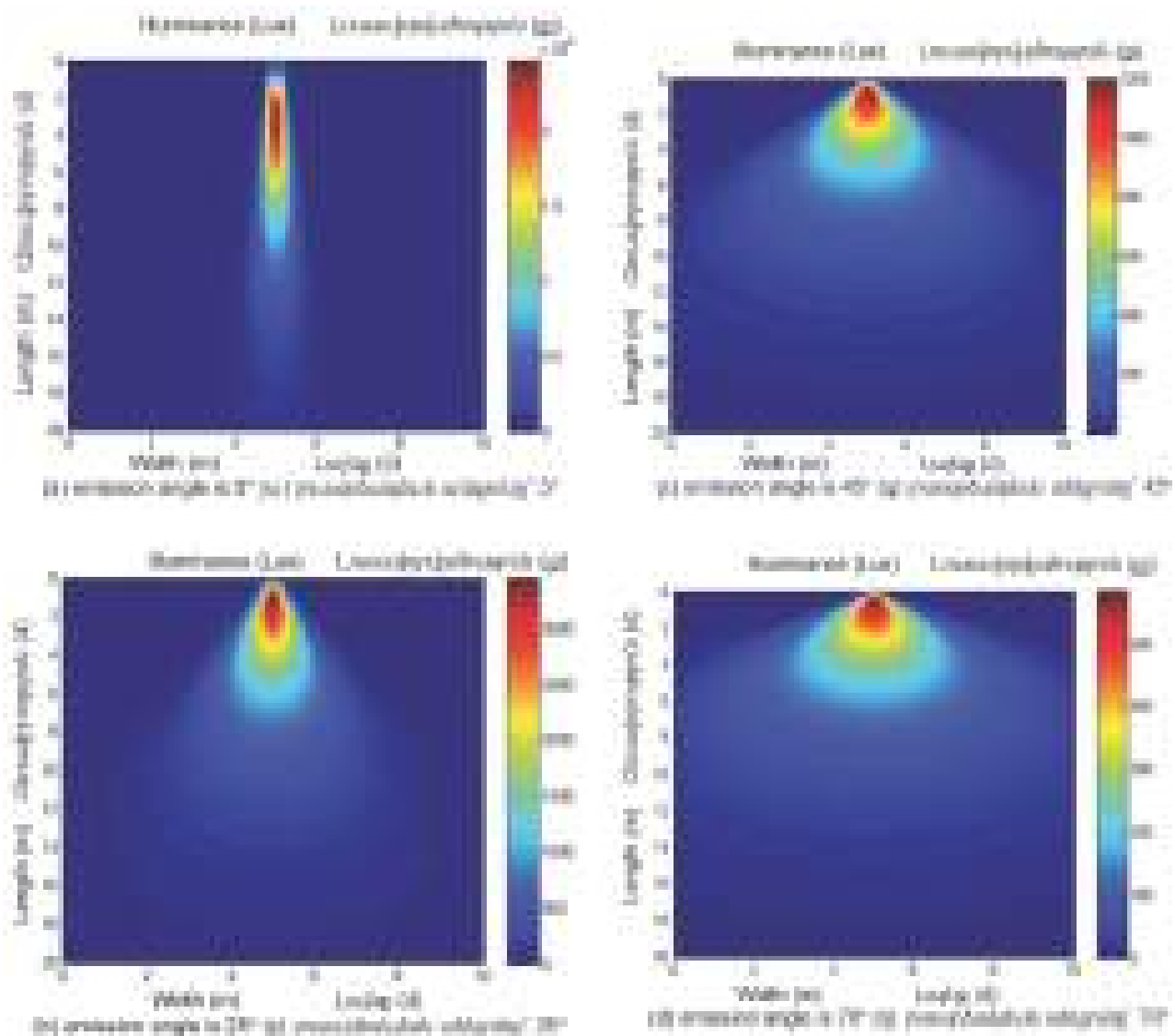
In order to measure the total flux of energy or light provided by a light source, integrating spheres are being used (also known as Ulbricht sphere). As the name hints, the function of this sphere is to integrate spatially all rays coming out of a light source, so that measurement becomes universal for all light sources and provides repeatable, consistent results. While any light source may have certain directionality as shown in Figure 38, which varies from one source to the other, the integrating sphere allows smoothing through diffusion all the directional non-uniformity of the rays emitted of the light source.

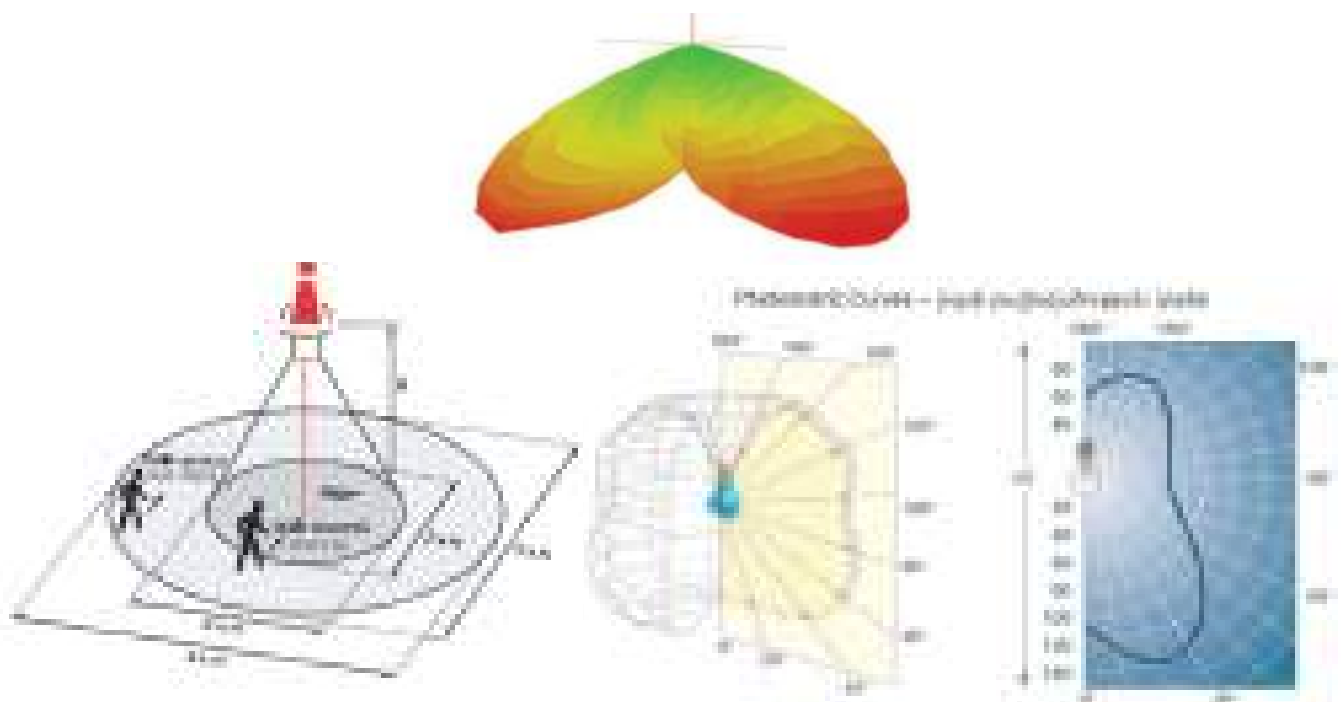
### 3.4.3. Լուսավորման սարքերի և ֆոտոմետրիկ չափումների լաբորատորիա. ինտեգրող ֆոտոմետրիկ գունդ

Լույսի աղբյուրի կողմից արձակված ընդհանուր էներգիայի կամ լույսի հոսքը չափելու համար օգտագործվում է ինտեգրող ֆոտոմետրիկ գունդը (նաև հայտնի որպես Ուլբրիխտի գունդ): Ինչպես հուշում է անունը, այդ գունդը ինտեգրում է իր ներսում լույսի աղբյուրից դուրս եկող բոլոր ճառագայթները: Քանի որ ցանկացած լույսի աղբյուր ունի որոշակի ուղղորդվածություն, ինչպես ցույց է տրված նկար 38-ում, ֆոտոմետրիկ գունդը դիֆուզիայի և իր երկրաչափական ձևի շնորհիվ լույսի աղբյուրից արձակված ճառագայթները հավասարաչափ վերաբաշխում է իր ներքին մակերևույթի վրա:

Figure 38. Light directional non-uniformity for various types of sources and fixtures.

Source/Աղբյուր՝ [http://www.intechopen.com/books/international\\_journal\\_of\\_advanced\\_robotic\\_systems/design-and-analysis-of-an-underwater-white-led-fish-attracting-lamp-and-its-light-propagation](http://www.intechopen.com/books/international_journal_of_advanced_robotic_systems/design-and-analysis-of-an-underwater-white-led-fish-attracting-lamp-and-its-light-propagation), <http://es.slideshare.net/juanquispe/1-luminotecnia-12002847>.





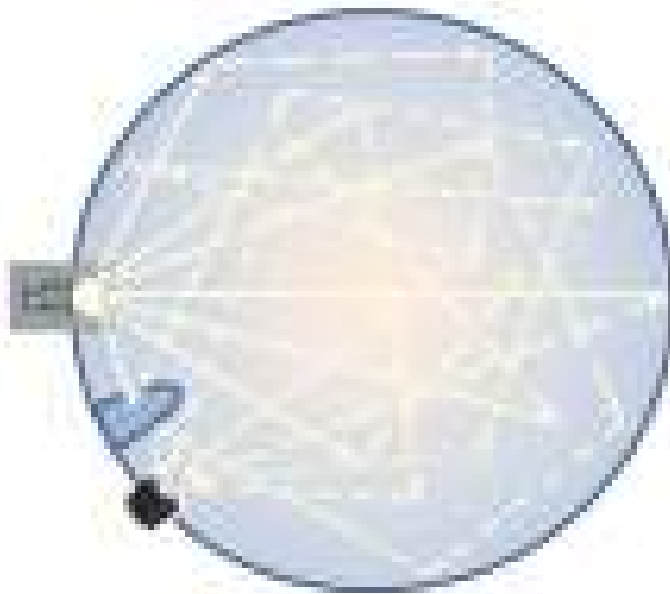
Նկար 38. Տարբեր տեսակի աղբյուրների և լուսատու սարքերի լույսի ուղղվածության անհամաչափությունը:

Figure 39 schematically shows the photometric integrating sphere. Light source and detectors through ports in the sphere are inserted inside. Due to highly diffusive material of the sphere, such as magnesium oxide or barium sulphate, up to 25 diffusive reflections take place before the light is fully absorbed. The diffusely reflected light rays reach every small unit area on the internal surface with high uniformity – including the detector. The baffle (deflector) is in between the source and the detector to prevent illumination by direct primary rays that generally are non-uniform.

Նկար 39-ում սխեմատիկորեն պատկերված է ինտեգրող-ֆոտոմետրիկ գունդը: Հատուկ դռնակների միջոցով լույսի աղբյուրը և չափիչ տարրերը տեղադրվում են գնդի ներսում: Գնդի ներքին մակերևույթը պատված է բարձր անդրադարձնող և ցրող հատկություն ունեցող նյութերի, օրինակ՝ մագնեզիումի օքսիդի կամ բարիումի սուլֆատով: Դրա շնորհիվ, լույսը մինչև 25 ներքին դիֆուզիոն անդրադարձում է կատարում, մինչ լիովին կլանվելը: Դիֆուզ ցրումով անդրադարձված ճառագայթները բարձր համասեռ բաշխվածությամբ հասնում են գնդի ներքին մակերևույթի յուրաքանչյուր փոքր հատվածին, այդ թվում՝ դետեկտորին:

**Figure 39.** The integrating photometric sphere.

**Note:** The baffle (deflector) blocks direct illumination of the detector.



**Նշում.** Միջնորմը (դեֆլեկտորը) փակում է լույսի անմիջական անկումը դետեկտորի վրա:

**Նկար 39.** Ինտեգրող-ֆոտոմետրիկ գունդը:

The integrating spheres internal surface usually has uniform and well-known frequency response in the range of near IR to near UV, which makes them perfect for luminance related measurements. However, for a BBR source total energy measurement may require several integrating spheres to cover this inherently wide range. E.g. gold plated integrating spheres are also used for infrared range. Another requirement towards any component inside the sphere is not to generate photoluminescence. The latter causes extra radiation beyond reflection and diffusion, usually out of the light source emission range. Naturally, there is a requirement towards the area of the ports, which should not exceed 5% from the total internal area of the integrating sphere. If a port is not used, a cover coated with the same material as the internal surface caps it. Naturally, integrating spheres can also be used for accurate transmission

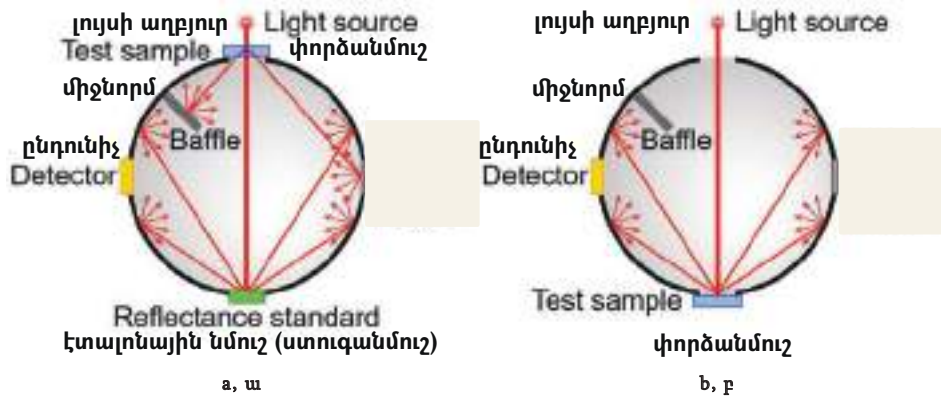
Որպես կանոն անհամասեռ՝ առաջնային ուղիղ ճառագայթների կողմից անմիջական լուսավորվածությունը կանխելու համար աղբյուրի և դետեկտորի միջև տեղադրվում է միջնորմ (դեֆլեկտոր): Ինտեգրող ֆոտոմետրիկ գնդերի ներքին մակերեսը սովորաբար համասեռ և լավ հայտնի հաճախային բնութագիր ունի՝ մոտիկ ԻԿ-ից մինչև մոտիկ ՈՒՄ միջակայքում, որը լուսավորվածությանը առնչվող չափումների համար, դրանց կատարյալ միջոցի է վերածում: Սակայն, ՍՄՃ աղբյուրի ընդհանուր էներգիայի չափումների համար կարող են մի քանի ինտեգրող-լուսաչափիչ (Ուլբրիխտի) գնդեր պահանջվել նման լայն միջակայքն ընդգրկելու համար: Օրինակ, ոսկեպատ ինտեգրող ֆոտոմետրիկ գնդերը օգտագործվում են նաև ինֆրակարմիր տիրույթի համար: Գնդի ներսում գտնվող ցանկացած բաղադրիչի նկատմամբ կա ևս մեկ պահանջ. այն չպետք է առաջացնի ֆոտոլյումինեսցենցիա: Վերջինս, անդրադարձումից և դիֆուզիայից բացի լրացուցիչ ճառագայթում է առաքում, որը սովորաբար գտնվում է լույսի աղբյուրի լուսարձակման տիրույթից դուրս: Բա-

and reflectance measurements, shown in Figure 40. To plot the directional diagrams shown in Figure 38, black, non-reflective, non-diffusive internal coatings are used with a *goniometric* setup, i.e. the detector can be moved to angled positions.

ցի այդ, լույսի աղբյուրի չափերը չպետք է գերազանցեն ինտեգրող ֆոտոմետրիկ գնդի ներքին ընդհանուր մակերեսի 5%-ը: Ի դեպ, ինտեգրող ֆոտոմետրիկ գնդերը կարող են կիրառվել նաև նյութի տրանսմիսիոն (թափանցելիության) և անդրադարձման գործակիցների արժեքները ճշգրիտ չափելու համար, ինչպես ցույց է տրված նկար 40-ում:

Figure 40. Integrating sphere used for transmission and reflectance measurements.

Source/Աղբյուր՝ [https://en.wikipedia.org/wiki/Integrating\\_sphere](https://en.wikipedia.org/wiki/Integrating_sphere)

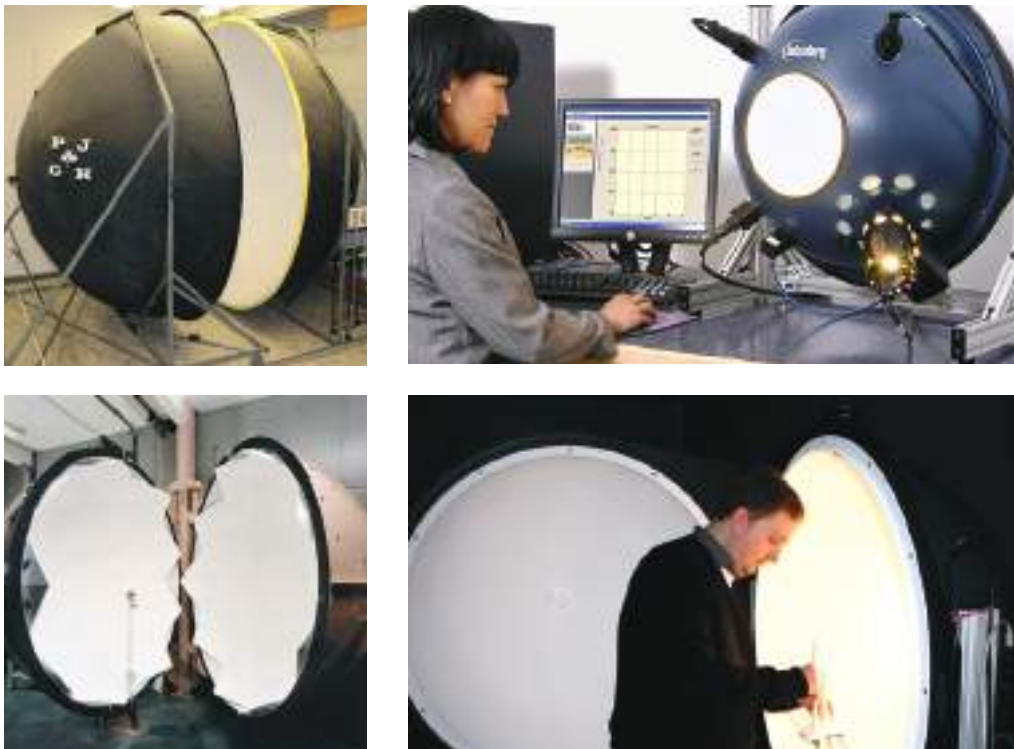


Նկար 40. Տրանսմիսիայի և անդրադարձման գործակցի չափումների համար կիրառվող ինտեգրող ֆոտոմետրիկ գունդը:

Figure 41 shows laboratory photometric integrating spheres of various sizes. The sizes vary between few tens of mm to several meters. Naturally the larger devices are heavy and relatively expensive.

Նկար 41-ում պատկերված են տարբեր չափերի ինտեգրող ֆոտոմետրիկ գնդեր: Դրանց չափերը կարող են տատանվել մի քանի տասնյակ մմ-ից մինչև մի քանի մետր: Որքան մեծ է սարքը, բնականաբար, այնքան բարձր է դրա քաշը և գինը:

Figure 41. Integrating spheres of various sizes.



Նկար 41. Տարբեր չափերի ինտեգրող ֆոտոմետրիկ գնդեր:

Figure 42 shows luminous (lm) and radiant (W) power detectors that are designed for the total photometric or radiometric flux measurement of spot and beam emitting light sources like fiber light guides, endoscopes, lasers, LEDs and laser diodes.

Նկար 42-ում պատկերված են լուսային (լմ) և ճառագայթային (Վտ) հոսքերի դետեկտորները, որոնք նախատեսված են մանրաթելային լուսատարների, էնդոսկոպների, լուսադիոդի նման՝ կետային և փնջային ճառագայթներ արձակող լույսի աղբյուրների ընդհանուր ֆոտոմետրիկ և ռադիոմետրիկ հոսքերը չափելու համար:

**Figure 42.** ISD-5-VL Luminous Flux Detector ISD-5-VINIR Radiant Power Detector by Gigahertz-Optik (Germany)

Source/Աղբյուրը՝ <http://light-measurement.com/integrating-sphere-detectors/>



**Նկար 42.** ISD-5-VL տիպի լուսային հոսքի դետեկտոր, ISD-5-VINIR տիպի էլեկտրամագնիսական էներգիայի ճառագայթման հզորության դետեկտոր, Gigahertz-Optik (Գերմանիա)

The ISD-5-VL Luminous Flux Detector serves for spot light sources like fiber light guides and endoscopes. 50mm diameter integrating sphere with 12.5mm measurement port and ODP97 Barium Sulfate coating. Calibration in lm.

The ISD-5-VISNIR Detector serve for radiant power from 400 to 1000nm of narrow beam type sources. 50mm diameter integrating sphere with 12.5mm measurement port and ODP97 Barium Sulfate coating. Calibration in W.

The detectors are supplied with a 2m long coaxial cable for use with Gigahertz-Optik's range of optometers. Internationally traceable calibration & certification of luminous flux in lm and radiant flux in W within the specified spectral sensitivity range is provided.

ISD-5-VL տիպի լուսային հոսքի դետեկտորը նախատեսված է լույսի կետային աղբյուրների համար որպիսիք են մանրաթելային լուսատարները և էնդոսկոպները: Այն, 50մմ ինտեգրող-լուսաչափիչ գունդ է, 12.5մմ չափիչ բացվածքով և պատված է ODP97 բարիումի սուլֆատով: Չափաբերումը՝ լմ-ով:

ISD-5-VISNIR տիպի ճառագայթման հզորության դետեկտորը նախատեսված է 400-ից մինչև 1000 նմ փնջային աղբյուրների համար: Իրենից ներկայացնում է ODP97 բարիումի սուլֆատով պատված, 12.5մմ չափիչ բացվածքով 50մմ ինտեգրող-լուսաչափիչ գունդ: Չափաբերումը՝ Վտ-ով:

Այդ դետեկտորները համալրված են 2մ երկարությամբ միաառանցք մալուխով, որը Gigahertz-Optik-ի օպտոմետրերի հետ միանալու հնարավորություն ունի: Ունակ է կատարել սպեկտրալ զգայնության սահմանված տիրույթի միջակայքում լմ-ով արտահայտված լուսային հոսքի, և Վտ-ով արտահայտված ճառագայթման հոսքի մեծության, միջազգայնորեն գրանցված տրամաչափարկում և արտոնագրում:

## REFERENCES / ԶՂՈՒՄՆԵՐ

1. Color: Business, Science and Industry, DB Judd, G Wyszecki, John Wiley & Sons, New York, 1975
2. The Science of Color, Committee on Colorimetry, Optical Society of America, Thomas Crowell Co., New York, 1953
3. Color: A Guide to Basic Facts and Concepts, R Burnham, R Hanes, C Bartelson, John Wiley & Sons, New York, 1963
4. The Science of Color 2nd edition, Optical Society of America, SK Shevell (editor), Elsevier, Amsterdam, 2003
5. Measuring Light Intensity for Emergency Vehicles - Fire and Police Lights, <https://www.youtube.com/watch?v=NwihZc5P104>
6. Luminous Flux, Luminous Intensity and Illuminance of Light, <https://www.youtube.com/watch?v=c7nocFEqrYM#t=48.728479>
7. Metameric colors: <https://www.youtube.com/watch?v=82ltpxqPP4I>
8. [https://en.wikipedia.org/wiki/Metamerism\\_%28color%29](https://en.wikipedia.org/wiki/Metamerism_%28color%29)





# ԿԱՆԱԶ ԼՈՒՍԱՎՈՐՈՒԹՅՈՒՆ

Տեսությունը և սկզբունքները ճարտարապետների և ճարտարագետների համար

## GREEN LIGHTING

Theory and Principles for Engineers and Architects

Համբարյան Արտակ, Ղազարյան Վարդան

Artak Hambarian, Vardan Ghazaryan



Empowered lives.  
Resilient nations.



ISBN 978-9939-1-0837-7 © UNDP Armenia, 2018

### CHAPTER 2

#### Artificial light sources



### ԳԼՈՒԽ 2

#### Լույսի արհեստական աղբյուրներ



## CHAPTER 2

### Artificial Light Sources

## ԳԼՈՒԽ 2

### Լույսի արհեստական աղբյուրներ

| Contents                                                                                                                                                     |     | Բովանդակություն                                                                                                                                                                        |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Artificial light sources                                                                                                                                     | 61  | Լույսի արհեստական աղբյուրներ                                                                                                                                                           |
| 1. Description of light sources                                                                                                                              | 63  | 1. Լույսի աղբյուրների բնութագրումը                                                                                                                                                     |
| 1.1. Operational principle                                                                                                                                   | 64  | 1.1. Աշխատանքի սկզբունքը                                                                                                                                                               |
| 1.2. Luminous efficacy: lumen per watt, lm/W, Spectrum Power Distribution – SPD                                                                              | 64  | 1.2. Լուսարգասիք՝ լյումեն/վատտ՝ լմ/Վտ, հզորության սպեկտրալ բաշխումը – ՀՍԲ                                                                                                              |
| 1.3. Correlated Color Temperature and Color Rendering Index                                                                                                  | 67  | 1.3. Կորելացված (փոխկապակցված) գունային ջերմաստիճան և գույնի վերարտադրության ցուցիչ                                                                                                    |
| 1.4. Flicker index or Speed of reaction or stability - long time, short time, blinking/modulation                                                            | 67  | 1.4. Ֆլիքը (թարթման) ցուցիչ, կամ արձագանքի արագություն, կամ կայունություն՝ երկարատև, կարճատև, թարթում/մոդուլյացիա                                                                      |
| 1.5. Start time                                                                                                                                              | 68  | 1.5. Միացման տևողությունը                                                                                                                                                              |
| 1.6. Electronic control gear/power supply related parameters                                                                                                 | 68  | 1.6. Էլեկտրոնային կառավարման սարքին կամ սնուցիչին առնչվող պարամետրեր                                                                                                                   |
| 1.7. Optics, light emission directionality                                                                                                                   | 68  | 1.7. Օպտիկական կառուցվածքը, լույսի ճառագայթման ուղղորդվածությունը                                                                                                                      |
| 1.8. Operational temperature                                                                                                                                 | 69  | 1.8. Աշխատանքային ջերմաստիճան                                                                                                                                                          |
| 1.9. Connection type, mounting type.                                                                                                                         | 69  | 1.9. Միացման և մոնտաժման եղանակներ                                                                                                                                                     |
| 1.10. Longevity/degradation                                                                                                                                  | 69  | 1.10. Երկարակեցություն և դեգրադացիա/մաշվածություն                                                                                                                                      |
| 1.11. Price                                                                                                                                                  | 69  | 1.11. Գինը                                                                                                                                                                             |
| 2. Incandescent and halogen lamps – brief history from Edison to modern halogen specialty lamps                                                              | 70  | 2. Շիկացման և հալոգենային լամպեր՝ Էդիսոնից մինչ ժամանակակից հատուկ հալոգենային լամպեր                                                                                                  |
| 3. Discharge lamps and their ballast – arcs in the nature, arc lamps;                                                                                        | 78  | 3. Պարպման լամպերը և նրանց սնուցման աղբյուրները – պարպումը բնության մեջ, գազապարպման լամպեր;                                                                                           |
| 4. Linear and compact fluorescent lamps (CFL) and their ballasts – neon lights, photoluminescence and its spectrum, peculiarities – mercury and UV radiation | 88  | 4. Գծային և կոմպակտ լյումինեսցենտային լամպերը (CFL) և նրանց սնուցման աղբյուրները – նեոնային լույսեր, ֆոտոլյումինեսցենցիայի սպեկտրը, առանձնահատկությունները – սնդիկը և ՈւՄ ճառագայթումը |
| 5. Light Emitting Diode (LED) lamps and drivers – semiconductors, electrons and holes and their recombination, I-V-curve of a LED                            | 98  | 5. Լուսադիոդային (ԼԴ) լամպեր և նրանց սնուցման աղբյուրները – կիսահաղորդիչներ, էլեկտրոններ և խոռոչներ և դրանց ռեկոմբինացիան, ԼԴ լամպի վոլտ-ամպերային բնութագիրը                          |
| References                                                                                                                                                   | 116 | Հղումներ                                                                                                                                                                               |

## ARTIFICIAL LIGHT SOURCES

Artificial light sources allow adding following fundamental benefits for human activities:

1. Prolong the active hours beyond the daytime, which is especially important at geographic areas that are further from the Earth equator and closer to the poles. Within polar circles in winter season, there is the so-called “polar night” taking place at durations of up to 6 months (Figure 1).
2. Allow illuminating urban areas and streets, to provide nighttime traffic, and other activities (Figure 2).
3. Allow 24 hour, e.g. 3-shift operation of industrial and commercial entities, illumination of spaces that do not have windows.
4. Allows aesthetical and architectural expression at nighttime, plays important role in all arts, especially the visual ones.

## ԱՐՀԵՍՏԱԿԱՆ ԼՈՒՅՍԻ ԱՂԲՅՈՒՐՆԵՐ

Արհեստական լույսի աղբյուրները մարդու գործունեությանը նպաստում են հետևյալ հիմնարար առավելությունների միջոցով.

1. Ցերեկվա ժամերին գումարում են ակտիվ ժամեր, ինչը հատկապես կարևոր է աշխարհագրական այն վայրերում, որոնք հասարակածից հեռու են և ավելի մոտ են բևեռներին: Ձմռանը, բևեռային գոտիներում այսպես կոչված «բևեռային գիշերները» տևում են մինչև 6 ամիս (Նկար 1):
2. Լուսավորում են բնակելի վայրերն ու փողոցները՝ գիշերային երթևեկություն և այլ գործունեություն ապահովելու համար (Նկար 2):
3. Արդյունաբերական և առևտրային տնտեսավարողներին հնարավորություն են տալիս 24 ժամյա՝ 3 հերթափոխով աշխատանք, ինչպես նաև լուսավորում են պատուհաններ չունեցող տարածքները:
4. Հնարավոր են դարձնում գեղագիտական և ճարտարապետական արտահայտչամիջոցների օգտագործումը գիշերվա ժամերին, կարևոր դեր են կատարում բոլոր արվեստներում՝ հատկապես կերպարվեստում:

Figure 1. Svolvær, Norway, in winter (Photo: Arctic Wilderness Experience)

Source/Աղբյուր՝ <http://www.nordnorge.com/en/hunting-the-northern-lights/?News=131>



Նկար 1. Գիշերային Սվոլվաերը, Նորվեգիա (լուսանկարը՝ Arctic Wilderness Experience)



Figure 2. The Cool and the Warm. Yerevan at twilight – blue hour. Photo by author (A.H.).



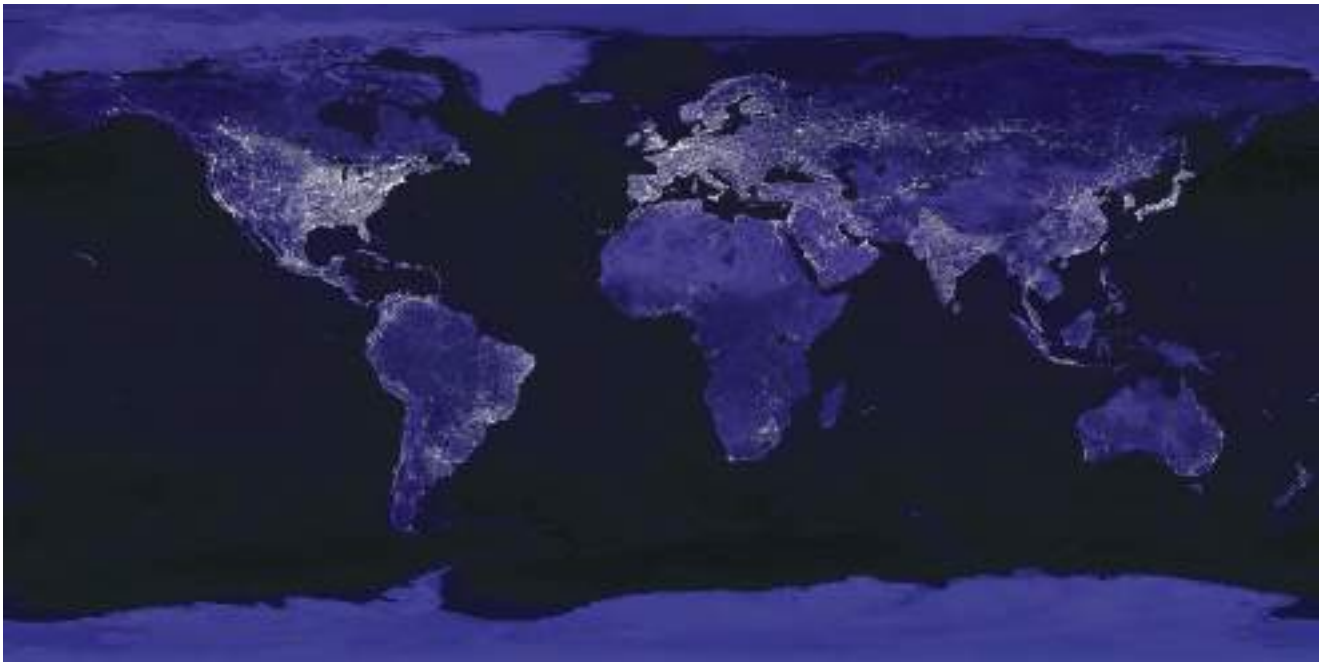
Նկար 2. Տաք և սառը: “Երևանը մթնշաղիին՝ երկնագույն ժամեր”, լուսանկարը՝ հեղինակի (Ա.Հ.):

Figure 3 shows the nighttime composite picture of earth, urban areas illuminated by artificial light sources. In fact, it is interesting to mention that at any particular location artificial lighting is also reason for the so-called “light pollution”, which affects health<sup>1</sup>, as well as for a number of applications, such as e.g. astronomy, where light pollution prevents using the full output of optical telescopes.

Նկար 3-ում ցույց է տրված Երկրի գիշերային պատկերը՝ քաղաքային վայրերը լուսավորված են արհեստական լույսի աղբյուրներով: Հետաքրքիր է նշել, որ ցանկացած տարածքում արհեստական լուսավորությունը ըստ էության նաև «լուսային աղտոտվածություն» է առաջացնում, որն ազդում է ինչպես առողջության<sup>1</sup>, այնպես էլ մի շարք կիրառական ոլորտների վրա, ինչպիսիք են, օրինակ՝ աստղագիտությունը, որտեղ լուսային աղտոտվածությունը թույլ չի տալիս լիարժեքորեն օգտագործել օպտիկական աստղադիտակները:

Figure 3. Night time composite picture of the Earth

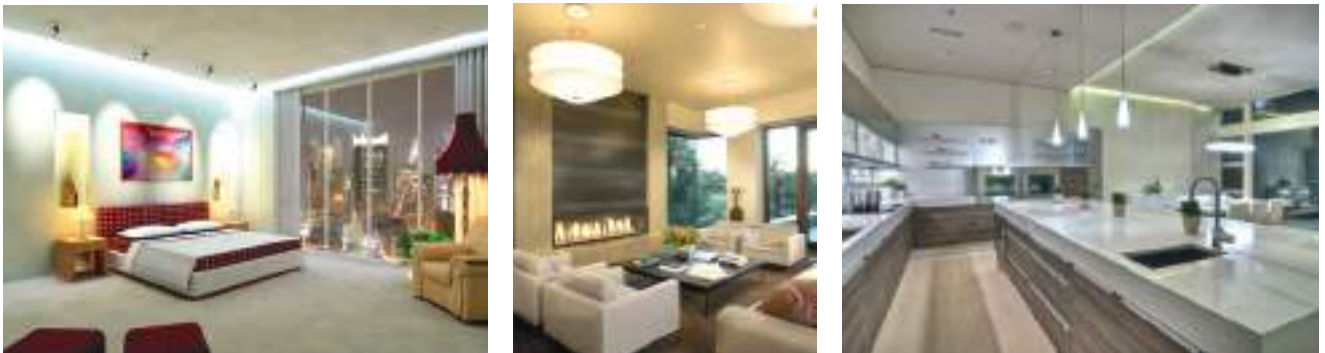
Source/Աղբյուրը՝ <https://en.wikipedia.org/wiki/Lighting>



Նկար 3. Երկրի գիշերային պատկերը:

Figure 4. Examples of interior lighting.

Source/Աղբյուրը՝ <https://goo.gl/6AHL7t>, <https://goo.gl/zM5pV>, <http://www.decoist.com/2013-05-16/top-10-tips-on-designing-a-space/>.



Նկար 4. Ներքին լուսավորության օրինակներ:

<sup>1</sup> See Chapter 7 for more on this topic.  
Այս թեմայի մասին ավելին տես Գլուխ 7-ը:

For comfortable evenings, a well-lit interior is necessary. There are well established norms<sup>2</sup> for interior lighting that follow a number of health and comfort requirements including those related to the required amount of light, its color temperature, directionality, e.g. not to blind by direct rays striking eyes, etc. Figure 4 illustrate well-designed lighting in interiors.

## 1. Description of light sources

Light sources in general are devices that convert certain type of energy input into visible electromagnetic radiation output, i.e. light.

Energy sources for lighting historically have started from burning wood, followed by use of candles, then kerosene and natural gas (Figure 5), and then leapfrogged to the electricity use.

The latter have brought comfort, convenience as well as higher efficiency. The efficiency race continued for various electric light sources: from incandescent to fluorescent, arc and finally light emission diode lightbulbs, every transition marking a substantial improvement. Currently numerous technologies are being used for lighting, as well as for all applications that need some type of photon flux, e.g. for numerous industrial and scientific applications.

Thus, while being the most important factor, efficiency is not the only decision variable for providing comfort and fit for use.

In this section, we are listing all relevant variables, for later application to characterize each type of light source technology. See also Chapter 1 for physical principles underlying most of the used concepts.

Երեկոյան ժամերին հարմարավետություն ստեղծելու համար անհրաժեշտ է ապահովվել տարածքների բավարար լուսավորություն: Ներքին և արտաքին լուսավորության համար կան սահմանված նորմեր<sup>2</sup>, ելնելով առողջապահական, անվտանգության և հարմարավետության մի շարք պահանջներից: Դրանց թվում են լույսի քանակը, գույնի ջերմաստիճանը, ուղղորդվածությունը (օրինակ՝ այն չպիտի կուրացնի-շլացնի աչքերին ընկնող ուղիղ ճառագայթներով, և այլն): Նկար 4-ում պատկերված են լավ լուսավորությամբ նախագծված ինտերիերներ:

## 1. Լույսի աղբյուրների բնութագրումը

Ընդհանուր առմամբ, լույսի աղբյուրները սարքեր են, որոնք էներգիայի որոշ տեսակը փոխակերպում են էլեկտրամագնիսական տեսանելի ճառագայթների, այսինքն՝ լույսի:

Լուսավորության համար օգտագործվող էներգիայի աղբյուրները պատմականորեն սկիզբ են առել փայտ վառելուց, դրան հետևել են մոմերը, այնուհետև՝ կերոսինը և բնական գազը (Նկար 5), որից հետո թոփքային անցում է տեղի ունեցել դեպի էլեկտրաէներգիա:

Վերջինս իր հետ բերեց հարմարավետություն, կիրառման նպատակահարմարություն, ինչպես նաև ավելի բարձր արդյունավետություն: Արդյունավետության մրցարշավը ընդգրկեց բոլոր էլեկտրական լույսի աղբյուրները՝ սկսած շիկացման լամպերից մինչև լյումինեսցենտային, պարպումային և, վերջապես, լուսադիոդային լամպերը, ընդ որում յուրաքանչյուր տեխնոլոգիական առաջընթաց իր հետ բերում էր էական բարելավում: Ներկայումս լուսավորության, ինչպես նաև ֆոտոնային հոսք պահանջող սարքավորումների համար կիրառվում են բազմաթիվ տեխնոլոգիաներ, մասնավորապես, արդյունաբերական և գիտական նշանակության բազմաթիվ սարքերում:

Արդյունավետությունը լինելով ամենակարևոր գործոնն, այսուհանդերձ միակ որոշիչ *հարաչափը* չէ, հարմարավետության և կիրառման նպատակահարմարության տեսանկյունից որոշում ընդունելու հարցում:

Այս բաժնում թվարկվում են բոլոր այն հարաչափերը, որ հետագա բաժիններում գործածվելու են յուրաքանչյուր լույսի աղբյուրի տեխնոլոգիան բնութագրելու համար: Այդ տեխնոլոգիական լուծումներից շատերի հիմքում դրված ֆիզիկական սկզբունքները տես նաև Գլուխ 1-ում:

**Figure 5. Burning wood, use of candles, kerosene and natural gas lamps.**

*Note:* consider the modern and very expensive natural gas burning lamp, 2nd row, 2nd from the left

*Source/Աղբյուրը՝* <http://shophorne.com/content/ships-kerosene-lamp-small>.



<sup>2</sup> See Chapter 3 for more on this topic.  
Այս թեմայի մասին ավելին տես Գլուխ 3-ը:



Նշում. ուշադրություն դարձրեք բնական գազ այրող՝ ժամանակակից և շարժական լամպեր, 2-րդ շարքում, ձախից 2-րդը:

Նկար 5. Փայտի, մումի, կերոսինի և բնական գազ այրող լամպերի օգտագործումը:

### 1.1 Operational principle

Denotes the physical principle behind the energy conversion. Before the electricity era mostly chemical energy of combustion have been used for lighting, thus the sources of input energy were various fuels, as mentioned above – burning of wood, paraffin of the candle, or kerosene or natural gas in a lamp.

With electricity use, most of the light sources use one of the three fundamental physical principles:

- Black body radiation (BBR);
- Radiative quantum-mechanical transitions between atomic energy levels.
- Discharge between two electrodes with big electrical potential difference.

However, each type of the light source has its own peculiar mechanism behind the phenomenon for conversion of power to light.

In all of the cases, the operational principle defines the spectral power distribution (SPD) of the light source.

### 1.2. Luminous efficacy: lumen per watt, lm/W, Spectrum Power Distribution – SPD

Luminous efficacy defines the efficiency of light sources (see 3.3.1 “Luminous efficacy: lumen per watt, lm/W” section of the Chapter 1). This is the ratio of the two following parameters:

1. *luminous flux*: the total light flow of the source in *lumens* obtained by multiplication and subsequent integration of the spectral power distribution (SPD) of the source by the human photopic luminosity function (sensitivity or SLF, Figure 6) and a coefficient, as described in Equation 3-5 of the Chapter 1;
2. the total radiant flux emitted by a source, i.e. the integral over all radiation frequencies of the SPD of the source Figure 7, as described in Equation 3-1 of the Chapter 1.

In certain context by luminous efficacy, the ratio

### 1.1 Աշխատանքի սկզբունքը

Բացահայտում է էներգիայի փոխակերպման հիմքում ընկած ֆիզիկական երևույթները: Նախքան էլեկտրաէներգիայի դարաշրջանը, լուսավորության համար հիմնականում օգտագործվում էր այրման քիմիական էներգիան. այսպիսով, մուտքային էներգիայի աղբյուր էին հանդիսանում վառելիքի վերը նշված տարբեր տեսակները, օրինակ՝ վառելափայտը, մումի պարաֆինը, լամպերում լցված կերոսինը կամ բնական գազը:

Էլեկտրաէներգիայով աշխատող լույսի աղբյուրների մեծ մասն օգտագործում են հետևյալ երեք հիմնարար ֆիզիկական սկզբունքներից մեկը՝

- Սև մարմնի ճառագայթումը՝ ՍՄՃ,
- Ատոմների էներգետիկ մակարդակների միջև ճառագայթող քվանտային անցումները:

Սակայն լույսի աղբյուրի յուրաքանչյուր տեսակ՝ էներգիան լույսի փոխակերպելու երևույթի հիմքում ընկած է իր ուրույն մեխանիզմը:

- Պարպում էլեկտրական պոտենցիալների մեծ տարբերությամբ երկու էլեկտրոդների միջև:

Բոլոր դեպքերում աշխատանքի սկզբունքը որոշիչ է լույսի աղբյուրի հզորության սպեկտրալ բաշխման ( $\leq \text{UF}$ ) համար:

### 1.2. Լուսարգասիք՝ լյումեն/վատտ՝ լմ/Վտ, հզորության սպեկտրալ բաշխումը – $\leq \text{UF}$

Լուսարգասիքը որոշում է լույսի աղբյուրների արդյունավետությունը (տես Գլուխ 1, բաժին 3.3.1 «Լուսային արգասիք, լմ/Վտ»): Սա հետևյալ երկու պարամետրերի հարաբերությունն է՝

1. *լուսային հոսք*՝ աղբյուրի ընդհանուր տեսանելի հոսքը արտահայտված *լյումեններով*. ստացվում է ճառագայթող հզորության սպեկտրալ բաշխումը ( $\leq \text{UF}$ ), բազմապատկելով մարդու ֆոտոպիկ լուսազգայնության ֆունկցիայով ( $\text{ULS}$ ) և գործակցով (Նկար 6) և հաջորդիվ ինտեգրելով, տես Հավասարում 3-5, Գլուխ 1,
2. վատտերով արտահայտված աղբյուրի կողմից արձակված ընդհանուր ճառագայթային հոսքի մեծությունը, այսինքն՝ աղբյուրի հզորության սպեկտրալ բաշխման ինտեգրալն ըստ ճառագայթման բոլոր ալիքների, Նկար 7, տես Հավասարում 3-1, Գլուխ 1:

of luminous flux to the power consumption of the source is meant, in lm/W.

In other words, luminous efficacy shows the output of the visible light versus the total radiation (or consumption) of power.

In fact, this parameter characterizes any advancement only in *efficiency* of light source technology.

Currently this parameter varies between 5 – 200 lm/W for the ratio of luminous flux to the power consumption of the source – across all various technologies, starting from incandescent to modern light emission diodes (LED).

SPD also defines if the source has any unwanted radiation, such as e.g. UV, which negatively affects health.

As it has been mentioned, behind each lighting technology is laying a physical principle that eventually defines the spectrum of the radiation and the luminous efficiency of the source, and most of them are based on black body radiation and radiative quantum-mechanical transitions in the atoms or ions. For lighting purposes, it is always important to stress that quality and efficiency of light sources are defined through the sensitivity spectrum of human eye. This sensitivity curve is called standard luminosity function, as shown in Figure 6 (repeating the right hand side picture of Figure 15 of Chapter 1 for convenience).

Լուսարգասիք ասելով որոշակի համատեքստում հասկանում ենք ստացված լուսային հոսքի հարաբերությունը աղբյուրի կողմից սպառված էներգիային միավոր ժամանակում, արտահայտված լմ/Վտ-ով:

Այլ կերպ ասած, լուսարգասիքը ցույց է տալիս արդյունքում ստացվող տեսանելի լույսի քանակությունը՝ ճառագայթված (կամ սպառված) ամբողջ էներգիայի համեմատ:

Իրականում այս պարամետրը (հարաչափը) բնութագրում է լոկ լուսատեխնիկական աղբյուրների ՕԳԳ-ին առնչվող ձեռքբերումները:

Աղբյուրի կողմից սպառվող էներգիայի դիմաց ստացված լուսային հոսքի հարաբերության արժեքը բոլոր տարատեսակ տեխնոլոգիաների համար՝ սկսած շիկացման լամպերից մինչև ժամանակակից լուսադիոդները (ԼԴ), ներկայումս տատանվում է 5-200 լմ/Վտ միջակայքում:

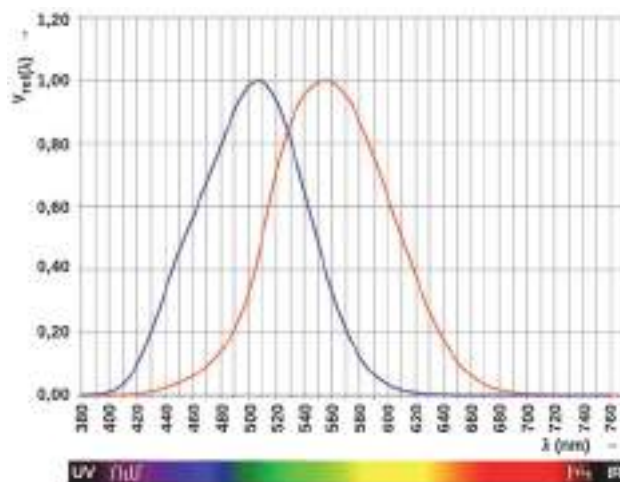
ՀՍԲ-ն նաև որոշում է, թե արդյոք աղբյուրն առաջացնում է մարդու առողջությանը վնասող որևէ անցանկալի, օրինակ՝ ՈւՄ (ուլտրամանուշակագույն) ճառագայթում:

Ինչպես արդեն նշվել է, ցանկացած լուսատեխնիկական սարքի աշխատանքի հիմքում ընկած է որոշակի ֆիզիկական երևույթ, որը որոշում է աղբյուրի ճառագայթման սպեկտրը և լուսային ՕԳԳ-ն, հիմնված բացարձակ սև մարմնի ճառագայթման և ատոմներում ու իոններում ճառագայթող քվանտային անցումների վրա: Երբ խոսքը վերաբերում է լուսավորությանը, ապա միշտ էլ կարևոր է շեշտել, որ լույսի աղբյուրի որակն ու արդյունավետությունը որոշվում են մարդու աչքի լուսազգայնության սպեկտրի միջոցով: Կրկնենք, որ լուսազգայնության այդ կորը կոչվում է ստանդարտ լուսազգայնության ֆունկցիա (standard luminosity function SLF – ՍԼՖ), ինչպես պատկերված է Նկար 6-ում (հարմարության համար կրկնում է Գլուխ 1-ի Նկար 15-ը):

**Figure 6.** Overall spectrum of human perception of light intensity, or in other words standard luminosity function, the horizontal axis is in nm-s.

**Note:** consider the Scotopic (blue) and Photopic (red) cases; the peak of the Photopic, i.e. bright conditions sensitivity is at 555 nm

**Source/Աղբյուրը՝** <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:V-lambda-phot-scot.svg>

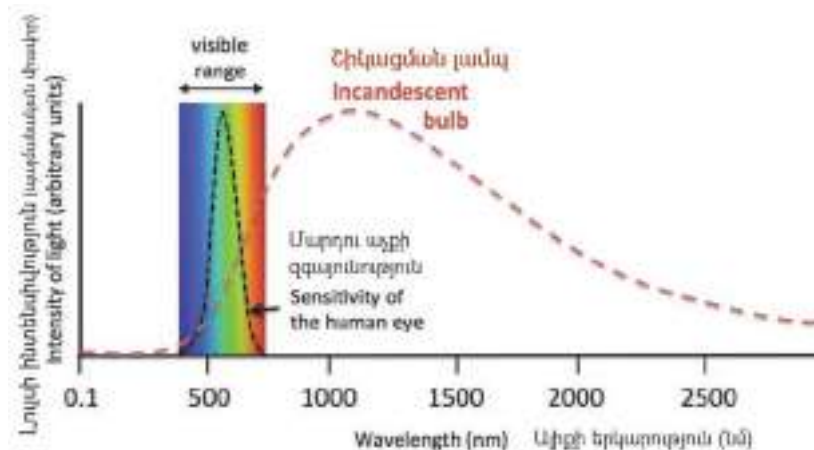


**Նշում.** ուշադրություն դարձրեք սկոպայիկ կամ գիշերային՝ կապույտ և ֆոտոպիկ՝ կարմիր կորերին: Ֆոտոպիկ, այսինքն՝ ցերեկային լուսավորության պայմաններում կորի լուսազգայնության մաքսիմումը, 555 նմ վրա է:

**Նկար 6.** Մարդու՝ լույսի ինտենսիվության ընկալման ամբողջ սպեկտրը կամ, այլ կերպ ասած, ստանդարտ լուսազգայնության ֆունկցիան. հորիզոնական առանցքն արտահայտված է նմ-ով:

Figure 7. Spectral power distribution of an incandescent source of light.

Note: Consider the overlay of the photopic luminosity function, defining the luminous efficacy.



Նշում. Տեսե՛ք թե ընդամենը որքան է վերածածկումը՝ լուսարձակիչը որոշող ֆոտոպիկ լուսազգայնության ֆունկցիայի հետ:

Նկար 7. Շիկացման լամպի լույսի աղբյուրի հզորության սպեկտրալ բաշխումը:

Every light source performs the following stages from electric power supply to luminous flux of photons:

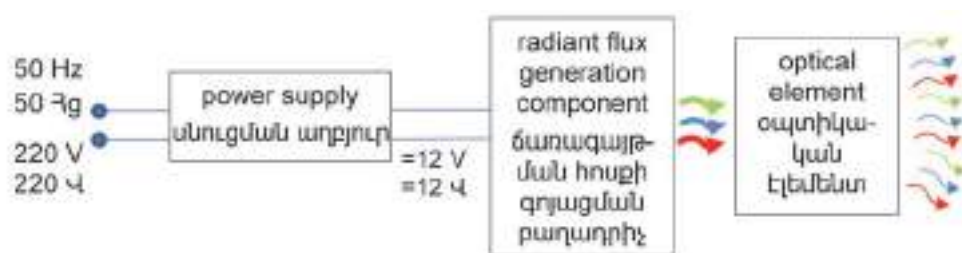
1. Electric power supply from the grid or source to the radiant flux generation component
2. Radiant flux generation component, where conversion of electric power to radiant and luminous flux of photons takes place
3. Delivery of the luminous flux to target space via shell or optical elements

This is illustrated in the following diagram (Figure 8).

Լույսի ցանկացած աղբյուր էլեկտրական սնուցումից մինչև ֆոտոնների լուսային հոսք անցնում է հետևյալ փուլերը.

1. ցանցից կամ սնուցման աղբյուրից էլեկտրաէներգիայի մատակարարումը լուսային հոսք ճառագայթող բաղադրիչին,
  2. լուսային հոսք ճառագայթող բաղադրիչը, որտեղ էլեկտրական էներգիան փոխակերպվում է էլեկտրամագնիսական էներգիայի ճառագայթման և ֆոտոնների հոսքի,
  3. լուսային հոսքի ուղղորդվածության ձևավորումը պատյանի կամ օպտիկական էլեմենտների միջոցով, այն նպատակատեղ հասցնելու համար:
- Սա պատկերված է ստորև բերված բլոկ սխեմայում:

Figure 8. Light source diagram showing stages of conversion from electric power to luminous flux. In this case a power supply AC-DC adaptor of 12V is shown.



Նկար 8. Լույսի աղբյուրի բլոկ սխեման ցույց է տալիս էլեկտրական էներգիայից լուսային հոսքի փոխակերպման փուլերը: Այս օրինակում սնուցիչը 12Վ փոփոխական հոսանք - հաստատուն հոսանք ( $\Phi$ -ՀՀ, միջազգային նշանակումը՝ AC-DC) փոխարկիչ է:

Each stage of energy conversion has its losses and efficiency. The unit that describes overall efficacy is also the lumen/watt. I. e. in order to receive e.g. 100 lumens of luminous flux it might be necessary to consume 15 watts of power. This will correspond to 6.7 lm/W. Higher is this number of lumens per watt of supply, more efficient and efficant is the light source.

Էներգիայի փոխակերպման յուրաքանչյուր փուլ ունի իր կորուստներն ու ՕԳԳ-ը: Ընդհանուր արգասիքը ցույց տվող միավորը նույնպես լմ/Վտ-ն է: Օրինակ 100 լյումեն լուսային հոսք ունեցող լամպը կարող է սպառել 15 վատտ հզորություն: Այդ դեպքում լուսային արգասիքը կլինի 100 լմ/15Վտ, կամ 6,7 լմ/Վտ: Որքան բարձր է սպառված մեկ վատտից ստացվող լյումենների քանակը, այնքան ավելի բարձր է լույսի աղբյուրի արդյունավետությունը և լուսարգասիքը:

### 1.3 Correlated Color Temperature and Color Rendering Index

Next most important characteristics for urban lighting is the one related to color fidelity that the light source provides. Overall cast that any light source may introduce can be characterised through *Correlated Color Temperature (CCT)* – analogous of the cast that a black body radiates depending on its temperature. *Metamerism*, i.e. inability of human eye to distinguish various spectra if the overall balance of red, green and blue is sustained, helps to reproduce colors. However if the SPD of a light source is relatively spiky, metameric failure, or in other words color cheating occurs, when colors at daylight are perceived in one way, and under particular artificial light in an entirely different way. The most widespread measure currently for color rendition is the color rendering index, CRI, however the color quality scale (CQS) has chances to become more popular.

Higher is the CRI, better is the color rendering ability of the light source. The ideal is the CRI = 100 and the best light sources are expected to have CRI > 90. If the CRI is high, in most of the cases human eye easily and comfortably adapts to CCT variations.

### 1.4 Flicker index or Speed of reaction or stability - long time, short time, blinking/modulation

This addresses both technical suitability and effect on the human vision health of a particular type of source. E.g. if the light source has very little inertia relative to the input alternating current frequency – 50 Hz (60 Hz in the USA), it may produce noticeable flicker, or so called stroboscopic effect, that is negatively affecting human comfort. In this kind of cases, e.g. an AC-DC converter might be needed. The stroboscopic effect of a light source with a particular flicker is defined as the percentage of the amplitude variation from the maximum value of the light intensity (Figure 9).



քոսկոպիկ էֆեկտի, որը բացասաբար է ազդում հարմարավետություն վրա: Քանի որ լույսի հոսքը կախված է լամպը սնուցող լարումից, ապա ոչ իներցիոն լամպերը հասցնում են արծագանքել ցանցի փոփոխական լարման ամպլիտուդի արագ փոփոխմանը, ինչը դրսևորվում է լամպի պայծառության նույնքան արագ փոփոխմամբ և աչքի կողմից ընկալվում որպես թարթում (թոթում, առկայծում, շին. նորմերում սահմանված է որպես «բաբախում») կամ ֆլիքր: Սա հատկապես վերաբերվում է ցերեկային լյումինեսցենտային լամպերին: Նման դեպքերում կարող է անհրաժեշտ լինել, օրինակ, փոփոխական հոսանք - հաստատուն հոսանք (ՓՀ-ՀՀ, AC-DC) փոխարկիչ: Ֆլիքր տոկոսը որոշվում է լույսի ինտենսիվության առավելագույն արժեքից տատանումների տոկոսային հարաբերությամբ (Նկար 9):

### 1.3 Կորելացված (փոխկապակցված) գունային ջերմաստիճան և գույնի վերարտադրության (գունափոխանցման) ցուցիչ

Քաղաքային լուսավորության համար հաջորդ ամենակարևոր գործոնը աղբյուրից եկող լույսի գունային հավաստելիությունն է: Ցանկացած լույսի աղբյուրից եկող լույսի ընդհանուր երանգավորումը կարող է բնութագրվել կորելացված (փոխկապակցված) գունային ջերմաստիճանի՝ ԿԳՋ-ի (CCT-correlated color temperature) միջոցով, որոշակի ջերմաստիճանում գտնվող սև մարմնի կողմից ճառագայթած լույսի երանգավորման երևույթի նմանարկմամբ: Մետամերիզմը՝ տարբեր սպեկտրերը տարբերակելու մարդու աչքի անկարողությունն է, եթե կարմիրի, կանաչի և կապույտի ընդհանուր հավասարակշռությունը պահպանված է: Այն օգնում է վերարտադրել գույները: Սակայն, եթե լույսի աղբյուրի ՀՄԲ-ն ունի համեմատաբար շատ սրածայր գագաթներ, ապա տեղի է ունենում մետամերիկ սխալ կամ, այլ կերպ ասած, գունային խաբեկանք, երբ ցերեկային լույսի տակ գույները մի ձևով են ընկալվում, իսկ որևէ արհեստական լույսի ներքո՝ բոլորովին այլ կերպ: Ներկայումս գույնի վերարտադրության որակի գնահատման առավել տարածված միջոցը դա գույնի վերարտադրության ցուցիչն է՝ ԳԿՑ (CRI-color rendering index), սակայն, մեծ հավանականությամբ, գունային որակի սանդղակը (ԳՈՍ, CQS - color quality scale) կարող է առավել կիրառելի դառնալ:

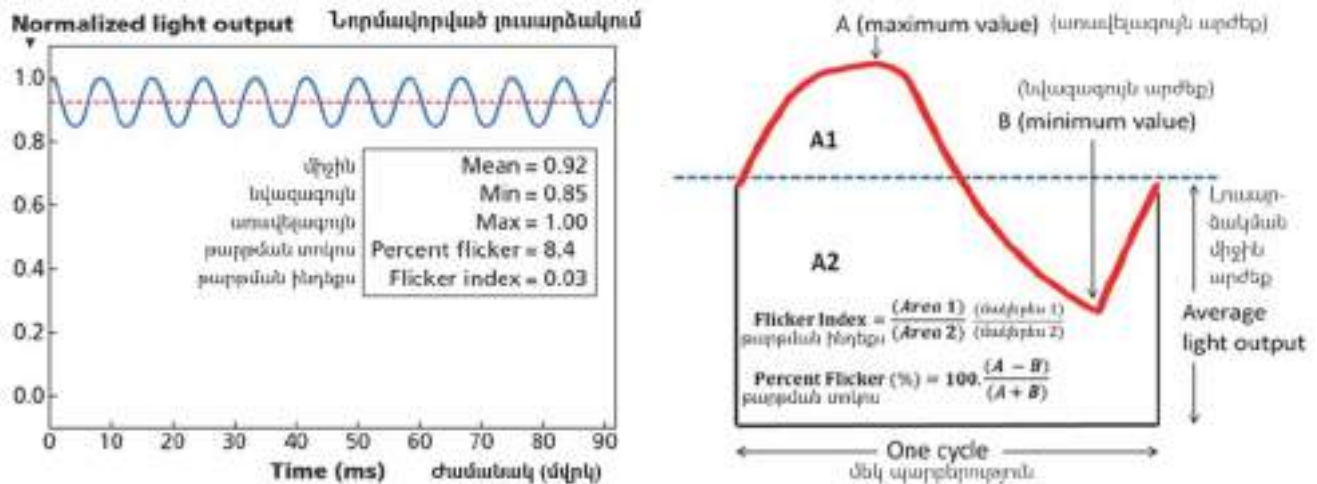
Որքան բարձր է ԳԿՑ-ն, այնքան ավելի մեծ է լույսի աղբյուրի կողմից, առարկայի գույնը ճիշտ վերարտադրելու ունակությունը: Իդեալական է համարվում, երբ ԳԿՑ = 100, և լավագույն լույսի աղբյուրները պետք է ունենան ԳԿՑ > 90:

### 1.4 Ֆլիքր (թարթման) ցուցիչ, կամ արծագանքի արագություն, կամ կայունություն՝ երկարատև, կարճատև, թարթում/մոդուլյացիա

Սա վերաբերում է տվյալ աղբյուրի տեխնիկական կիրառելիությանը և մարդու տեսողական առողջությանը և կարգավորվում է նորմերով: Օրինակ, եթե լույսի աղբյուրը՝ մուտքային փոփոխական հոսանքի հաճախության – 50 Հց (ԱՄՆ-ում՝ 60 Հց) նկատմամբ ունի շատ փոքր իներցիա, ապա դա կարող է հանգեցնել զգալի թարթումների կամ, այսպես կոչված, ստրո-

**Figure 9.** Even a legacy incandescent lamp exhibits measurable flicker as the AC power curve crosses the 0 V level.

Source/Աղբյուրը՝ [www.ledsmagazine.com/articles/print/volume-12/issue-11/features/flicker/understand-the-lighting-flicker-frustration.html](http://www.ledsmagazine.com/articles/print/volume-12/issue-11/features/flicker/understand-the-lighting-flicker-frustration.html)



**Նկար 9.** Նույնիսկ ավանդական շիկացման լամպը չափելի առկայծում է առաջացնում, երբ  $\Phi <$  էներգիայի կորը կտրում-անցնում է 0 V մակարդակը:

### 1.5 Start time

Another important parameter is the start time of the lamp. Very short times, measuring milliseconds or less is not very good, since it constitutes a very abrupt increase of lighting level, uncomfortable for eyes. Very long starting time of several minutes is just related to time losses. Ideal time is up to approximately 0.5 second.

### 1.6 Electronic control gear/power supply related parameters

This includes voltage, AC or DC supply requirements (including the stability or non-blinking requirement), starter ignition requirement. Certainly electronic control gear (ECG) involves some electric losses, which, as it has been mentioned above, in many times are included in luminous efficacy number. In addition to the efficiency of the power supply, other parameters include its size, vibration and emission of noise, as well as electromagnetic radiofrequency radiation in the range that interferes with other devices that are used in the vicinity, e.g. radios, TV sets, computers or scientific measurement instrumentation, etc.

### 1.7 Optics, light emission directionality

Optics defines the light delivery directionality, at the same time it is a source of additional loss in the yield of the device. Light Distribution Curve (LDC) defines the directionality of a light source or a luminaire.

### 1.5 Միացման տևողությունը

Հաջորդ կարևոր պարամետրը լամպի միացման ժամանակն է: Շատ կարճ՝ միլիվայրկյաններ կամ դրանից պակաս տևողությունը այնքան էլ ցանկալի չէ, քանի որ լուսավորության մակարդակը շատ կտրուկ է աճում՝ անհարմարություն ստեղծելով աչքերի համար: Միացման շատ երկար՝ մի քանի րոպե տևողությունը պարզապես ժամանակի վատնում է: Միացման իդեալական տևողություն է համարվում մոտավորապես 0.5 վայրկյանը:

### 1.6 Էլեկտրոնային կառավարման սարքին կամ սնուցիչին առնչվող պարամետրեր

Այստեղ խոսքը վերաբերում է լարմանը,  $\Phi <$  կամ  $\angle <$  սնուցման պահանջներին (այդ թվում՝ կայունություն և ֆիքը), մեկնարկային բռնկման պահանջներին: Էլեկտրոնային կառավարման սարքը, լարման փոխակերպման ընթացքում առաջացնում է էլեկտրամագնիսական ճառագայթում, որն ընդգրկվում է լուսարգասիքում: Բացի էներգասնուցման աղբյուրի արդյունավետության պարամետրից կան նաև այլ պարամետրեր, որոնցից են՝ դրա չափսերը, առաջացող վիբրացիան և աղմուկը, ինչպես նաև էլեկտրամագնիսական ռադիոալիքների ճառագայթման այն միջակայքը, որը խաթարում է մոտակայքում օգտագործվող այլ սարքերի, օրինակ՝ ռադիոընդունիչների, հեռուստացույցների, համակարգիչների կամ գիտահետազոտական չափիչ սարքերի աշխատանքը:

### 1.7 Օպտիկական կառուցվածքը, լույսի ճառագայթման ուղղորդվածությունը

Արձակված լույսի ուղղորդվածությունը պայմանավորված է օպտիկական էլեմենտներով, որոնք, միևնույն ժամանակ, սարքի ելքային արդյունքի մեջ լրացուցիչ կորուստների աղբյուր են հանդիսանում: Լույսի բաշխվածության կորը (ԼԲԿ) ցույց է տալիս լույսի աղբյուրի կամ

Depending on application, the requirement for optics may vary largely. E.g. for automotive headlights special directionality is required, while for home lighting both spotlights and floodlights are being used.

### 1.8 Operational temperature

Temperatures at which the light source core device shell (i.e. the lightbulb external surface, including the connector) operates. Lower is the temperature, easier to operate and less stringent are the requirements for connection and encasement (e.g. a chandelier for home devices, or weather encapsulation for outdoor devices), as well as lower are the thermal convection or radiative (infrared) losses. It needs to be mentioned that high temperatures may become a reason for fire, and this limits their applications in a number of areas.

### 1.9 Connection type, mounting type.

This issue addresses the standards for connections. Certainly the decision about a particular type of the connection is derived also from optics and directionality, as well as from the operational temperature of the source. There are many connection types, among which the E27 is the most proliferated (Figure 11).

### 1.10 Longevity/degradation

Longevity of the light source bulb is usually the hours of the *operational* time before failure, i.e. the time when the device is on, as well as via degradation time. Usually this number is a statistically derived value. According e.g. to the LM80 standard for light emission diodes, the new lamp's luminous output is measured when it is new, then it operates for 10000 hours and its output is measured again – it should not decrease below 80%. Via extrapolation, the time to 70% is calculated and specified on the lamp's packaging.

### 1.11 Price

Together with efficacy, price and longevity of the device define the economic value of the particular type of the light source. Details explained in further sections<sup>3</sup>.

լուսավորման սարքի ճառագայթած լույսի բաշխվածությունը տարածության մեջ:

Կախված կիրառության նպատակից, օպտիկայի նկատմամբ պահանջները կարող են մեծապես տարբերվել: Օրինակ, ավտոմեքենայի լուսարձակների համար անհրաժեշտ է հատուկ ուղղորդվածություն, մինչդեռ բնակարանի լուսավորության համար օգտագործվում են ինչպես փնջային լուսատուներ, այնպես էլ ողողող լույսեր:

### 1.8 Աշխատանքային ջերմաստիճան

Որքան ցածր է լույսի աղբյուր հանդիսացող փոխակերպիչի պատյանի (օրինակ՝ լամպի արտաքին մակերեսի), այդ թվում նաև միակցիչի (կոննեկտորի) աշխատանքային ջերմաստիճանները, այնքան հեշտանում է շահագործումը և ավելի նվազում է միացման և արտաքին պատյանի, օրինակ՝ բնակարանի լուսավորության համար օգտագործվող ջափի կամ դրսում տեղադրված լուսավորման սարքի եղանակապաշտպան հերմետիկ պատյանի նկատմամբ պահանջների խստությունը, ինչպես նաև նվազում են ջերմային կոնվեկցիայի կամ ճառագայթային (ինֆրակարմիր) կորուստները: Պետք է նշել, որ բարձր աշխատանքային ջերմաստիճան ունեցող լամպերը կարող են հրդեհի կամ պայթյունի պատճառ հանդիսանալ, ինչը սահմանափակում է դրանց կիրառությունը մի շարք ոլորտներում:

### 1.9 Միացման և մոնտաժման եղանակներ

Այստեղ խոսքը վերաբերում է միացման ստանդարտներին: Միացման որոշակի եղանակի կիրառությունը ընտրելիս հաշվի է առնվում օպտիկան և ուղղորդվածությունը, ինչպես նաև աղբյուրի աշխատանքային ջերմաստիճանը: Կան միացման բազմաթիվ ստանդարտներ, որոնցից ամենատարածվածը E27 ստանդարտն է (Նկար 11):

### 1.10 Երկարակեցություն և դեգրադացիա/մաշվածություն

Լամպի երկարակեցությունը որոշվում է մինչև շարքից դուրս գալը աշխատած ժամերի քանակով, ինչպես նաև դեգրադացվելու, այսինքն լույսի ուժը կորցնելու ժամանակահատվածով: Սովորաբար այդ թիվը վիճակագորեն ստացվող արժեք է: Օրինակ լուսադիոդների դեգրադացիան, հաշվարկվում է ըստ LM80 ստանդարտի, որը պահանջում է չափել լաբորատոր պայմաններում (կիրառելով տարբեր հոսանքներ և ջերմաստիճաններ) 10000 ժամ աշխատած լամպի լուսատվության արժեքի նվազումը: Այնուհետև էքստրապոլացիայի (միջարկում, արտարկում) միջոցով հաշվարկվում է թե քանի ժամ աշխատելուց հետո լամպի նախնական լուսատվությունը կնվազի մինչև 80%: Ստացված ժամերի քանակը լամպի տեխնիկական մասնագրում ներկայացնում է դրա երկարակեցությունը:

### 1.11 Գինը

Լույսի աղբյուրի որոշակի տեսակի տնտեսական արժեքը՝ դրա լուսարգասիքի հետ մեկտեղ որոշվում է նաև գնով և երկարակեցությամբ: Մանրամասները բերվում են հետագա գլուխներում:<sup>3</sup>

<sup>3</sup> Please see Chapter 6.  
Տես՝ Գլուխ 6:

## 2. Incandescent and halogen lamps – brief history from Edison to modern halogen specialty lamps

Incandescent lightbulbs until a decade ago have been the most common types of lamps for lighting. They have been the first type of the lamp operating on electric power (Figure 10). While being not very effective, they have become standard with all related infrastructure in place.

There has been a number of scientists that contributed in the development and commercialization of these lightbulbs during the entire 19<sup>th</sup> century and the beginning of the 20<sup>th</sup>, including British Humphry Davy, Russian Alexander Lodygin, American Thomas Edison, Hungarians Sándor Just, Imre Bródy and Egon Orowan, Croatian Franjo Hanaman, and many others.

Consumption of incandescent light bulbs grew rapidly in the US. In 1885, an estimated 300,000 general lighting service lamps were sold, all with carbon filaments. When tungsten filaments were introduced, about 50 million lamp sockets existed in the US. In 1914, 88.5 million lamps were used (only 15% with carbon filaments), and by 1945, annual sales of lamps were 795 million with more than 5 lamps per person per year (Raymond Kane, Heinz Sell, 2001).

## 2. Շիկացման և հալոգենային լամպեր՝ Էդիսոնից մինչ ժամանակակից հատուկ հալոգենային լամպեր

Դեռևս մեկ տասնամյակ առաջ շիկացման, էլեկտրական էներգիայով աշխատող առաջին լամպը, չնայած ոչ բարձր օ.գ.գ-ին, ամենատարածվածն էր լուսավորության համար կիրառություններում՝ հաշվի առնելով առկա ամբողջ ենթակառուցվածքը (Նկար 10):

19-րդ դարի ամբողջ ընթացքում և 20-րդ դարի սկզբներին մի շարք գիտնականներ իրենց ավանդն են ներդրել էլեկտրական լամպերի մշակման, առևտրայնացման և տարածման գործում, որոնցից էին՝ բրիտանացի Հեմֆրի Դեյվին, ռուսաստանցի Ալեքսանդր Լոդիգինը, ամերիկացի Թոմաս Էդիսոնը, հունգարացիներ Շանդոր Զասթը, Իմրե Բրոդին և Էգոն Օրովանը, խորվաթ Ֆրանցո Հանրմանը և շատ ուրիշներ:

Շիկացման լամպերի սպառումը արագ տարածում գտավ ԱՄՆ-ում: 1885թ. այնտեղ մոտավոր հաշվարկով վաճառվել էր 300,000 ընդհանուր լուսավորության լամպ՝ բոլորն ածխե շիկացման թելիկով: Վոլֆրամե շիկացման թելիկների ներդրման պահին ԱՄՆ-ում կային մոտ 50 մլն լամպերի կոթառներ: 1914 թ. օգտագործվող լամպերի քանակը հասավ 88,5 միլիոնի (ածխե շիկացման թելիկներով լամպերը կազմում էին այս թվի միայն 15%-ը) և մինչև 1945 թ. լամպերի տարեկան վաճառքը 795 մլն էր. մեկ շնչին մեկ տարվա ընթացքում բաժին էր ընկնում ավելի քան հինգ լամպ (Raymond Kane, Heinz Sell, 2001).

Figure 10. To the history of the incandescent lamps

Source/Աղբյուր՝ [https://en.wikipedia.org/wiki/Incandescent\\_light\\_bulb#cite\\_note-Kane2001-57](https://en.wikipedia.org/wiki/Incandescent_light_bulb#cite_note-Kane2001-57)



Նկար 10. Շիկացման լամպերի պատմության վերաբերյալ:

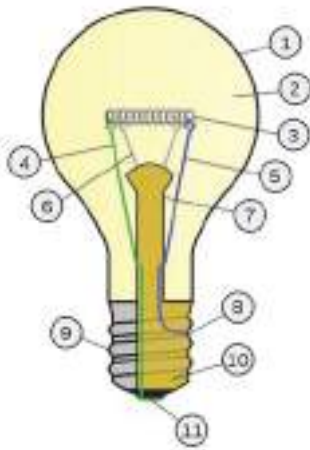
**Operational principle** – electric current heats up the tungsten filament to temperatures below its melting point of 3695 K (3422°C), e.g. starting from around 2000 K in standard lightbulbs and up to 3300 K in so called halogen bulbs (see below). As a result, the filament emits black body radiation (BBR) of corresponding temperature. Inert gas surrounding the filament provides longevity of the filament operation by preventing oxidation.

Figure 11 shows the construction of a modern standard incandescent lamp in E27 base cup.

**Աշխատանքի սկզբունքը՝** էլեկտրական հոսանքը տաքացնում է վոլֆրամե շիկացման թելիկը հալման ջերմաստիճանից՝ 3695 K (3422°C) ցածր, օրինակ՝ ստանդարտ լամպի դեպքում՝ մինչև մոտ 2000 K և, այսպես կոչված հալոգենային լամպերի դեպքում՝ մինչև 3300 K (տես ստորև): Դրա արդյունքում շիկացման թելիկը արձակում է համապատասխան ջերմաստիճանի բացարձակ սև մարմնի ճառագայթում (ՍՄՃ): Շիկացման թելիկին շրջապատող իներտ գազը, կանխելով օքսիդացումը, ապահովում է շիկացման թելիկի երկարակեցությունը:

Նկար 11-ում պատկերված է ժամանակակից E27 ստանդարտի կոթառով շիկացման լամպը:

Figure 11. Construction of a modern standard incandescent lamp in E27 cup. Same place.



1. Glass bulb, 2. Inert gas, 3. Tungsten filament, 4. Contact wire (goes to foot), 5. Contact wire (goes to base), 6. Support wires, 7. Glass mount/support, 8. Base contact wire, 9. Screw threads, 10. Insulation, 11. Electrical foot contact

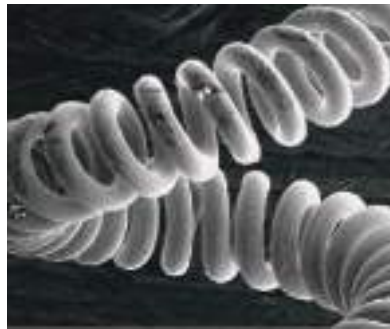
1. Ապակյա լամպանոթ, 2. Իներտ գազ, 3. Վոլֆրամի թելիկ, 4. Կոնտակտային լար (դեպի լամպակոթի հատակ), 5. Կոնտակտային լար (դեպի լամպակոթ), 6. Թելիկի հենքի լարեր, 7. Թելիկի ապակյա հենք, 8. Լամպակոթի կոնտակտային լարեր, 9. Պտուտակային պարուրակ, 10. Մեկուսիչ, 11. Լամպակոթի էլեկտրական կոնտակտ



Նկար 11. Ժամանակակից E27 սրանդարտի շիկացման լամպի կառուցվածքը: Նույն տեղում:

Figure 12. Tungsten filament micrographs. Same place,

Source/Աղբյուրը՝ <https://goo.gl/zsZbHj>, <https://jeremypierce.wordpress.com/2015/07/16/macro-photography-bulb-filament/>



Նկար 12. Վոլֆրամե շիկացման թելիկի մանրապատկերը:

Figure 12 shows micrographs of tungsten filaments that are used in the incandescent lightbulbs.

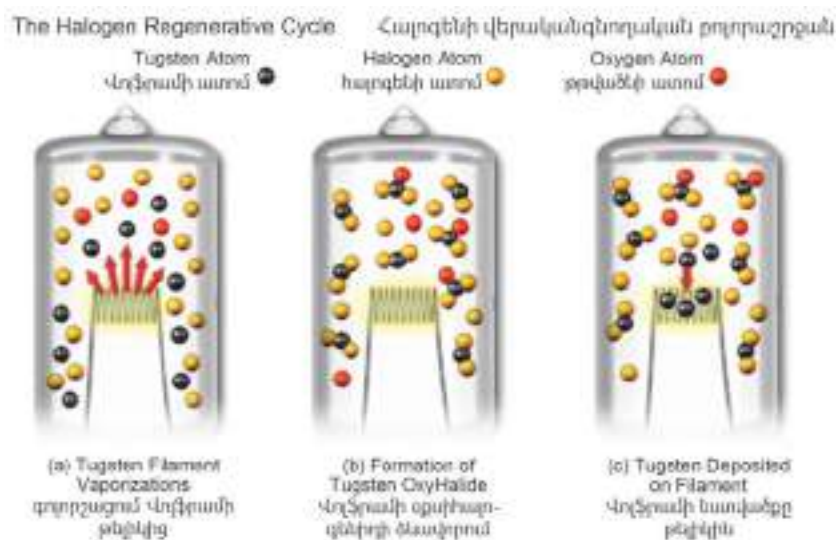
Halogen incandescent lamps provide sustainable higher temperatures of the tungsten filament due to adding such halogen elements as iodine or bromine. Their operational principle and construction are illustrated on Figure 13: halogen molecules, e.g. HBr usually mixed with a fill of noble gas, often krypton or xenon, serve as transport to return evaporated tungsten from the internal surface of the bulb to the filament, providing higher longevity and operational temperatures of the filament up to 3300 K.

Նկար 12-ում ցույց է տրված շիկացման լամպերում կիրառվող վոլֆրամե շիկացման թելիկների մանրապատկերը:

Հալոգենային շիկացման լամպերը՝ հալոգենային տարրերի (յոդ կամ բրոմ) ավելացման շնորհիվ ապահովում են վոլֆրամե շիկացման թելիկի ավելի բարձր և կայուն ջերմաստիճաններ: Դրանց աշխատանքի սկզբունքը և կառուցվածքը պատկերված են Նկար 13-ում: Սովորաբար իներտ գազին՝ հաճախ կրիպտոնին կամ քսենոնին խառնած հալոգենի մոլեկուլները՝ HBr, ծառայում են որպես փոխադրիչ, գոլորշիացած վոլֆրամը լամպի ներքին մակերեսից ետ՝ դեպի շիկացման թելիկը տեղափոխելու համար, ապահովելով շիկացման թելիկի ավելի բարձր երկարակեցությունը և աշխատանքային՝ ընդհուպ մինչև 3300 K, ջերմաստիճանը:

**Figure 13.** Operational principle of a halogen incandescent lightbulb. Halogen molecules serve as transport to return precipitated tungsten from the internal surface of the bulb to the filament.

Source/Աղբյուր՝ <http://zeiss-campus.magnet.fsu.edu/articles/lightsources/tungstenhalogen.html>,



**Նկար 13.** Հալոգենային շիկացման լամպերի աշխատանքի սկզբունքը: Հալոգենի մոլեկուլները որպես փոխադրիչ են ծառայում գոլորշիացած վոլֆրամը լամպի ներքին մակերեսից ելք՝ դեպի շիկացման թելիկը տեղափոխելու համար:

**Luminous efficacy, lm/W** – efficiency that the incandescent principle provides is relatively low, in fact the lowest compared to other lightbulbs. It is easy to understand why, examining Figure 7 – the BBR spectrum of the incandescent lightbulb spreads well beyond the visible region of the wavelengths. In fact, the peak of the radiation is not at all in the region of the standard luminosity function at temperatures of the filament within 2000 – 3300 K.

**Լուսարգասիք՝ լմ/Վտ.** այլ լուսատու լամպերի համեմատ շիկացման լամպերի ՕԳԳ-ն ամենացածրն է: Դրա պատճառը կարելի է հեշտությամբ հասկանալ դիտելով Նկար 7-ը, որտեղ երևում է շիկացման լամպի ՍՄՃ սպեկտրի տարածումը ալիքի երկարությունների տեսանելի տիրույթից բավականին դուրս: Ճառագայթման մաքսիմումը, գտնվելով շիկացման թելիկի 2000 – 3300 K ջերմաստիճանների սահմաններում, լիովին դուրս է մնում ստանդարտ լուսազգայնության ֆունկցիայի տիրույթից:

**Figure 14.** A 500 W linear halogen lightbulb, a halogen lightbulb integrated with optics.



**Նկար 14.** 500 Վտ գծային հալոգենային լամպը, օպտիկական գլխիկում տեղադրված հալոգենային լամպը:

The standard Lamps usually deliver 12.6-17.5 lm/W and halogen lamps deliver usually around 24 lm/W, the latter corresponds to efficiency of 3.5%. Table 1 summarizes these values for various incandescent lightbulbs.

Ստանդարտ շիկացման լամպերի լուսարգասիքը սովորաբար հասնում է 12.6-17.5 լմ/Վտ: Հալոգենային լամպերի պարագայում դա սովորաբար հասնում մոտ 24 լմ/Վտ-ի, ինչը համապատասխանում է 3.5% ՕԳԳ-ին: Տարատեսակ շիկացման լամպերի այս արժեքներն ամփոփված են Աղյուսակ 1-ում:

Table 1. Efficiency and efficacy of incandescent lightbulbs.

Source/Աղբյուրը՝ [https://en.wikipedia.org/wiki/Incandescent\\_light\\_bulb#Halogen\\_lamps](https://en.wikipedia.org/wiki/Incandescent_light_bulb#Halogen_lamps)

| Type                                                                                       | Տեսակը                                                                                             | Overall luminous efficiency<br>Ընդհանուր լուսային ՕԳԳ-ը | Overall luminous efficacy (lm/W)<br>Ընդհանուր լուսարգասիքը (լմ/Վտ) |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| 40 W tungsten incandescent                                                                 | 40 Վտ վոլֆրամային շիկացման                                                                         | 1.90%                                                   | 12.6                                                               |
| 60 W tungsten incandescent                                                                 | 60 Վտ վոլֆրամային շիկացման                                                                         | 2.10%                                                   | 14.5                                                               |
| 100 W tungsten incandescent                                                                | 100 Վտ վոլֆրամային շիկացման                                                                        | 2.60%                                                   | 17.5                                                               |
| glass halogen                                                                              | ապակյա հալոգեն                                                                                     | 2.30%                                                   | 16                                                                 |
| quartz halogen                                                                             | կվարցային հալոգեն                                                                                  | 3.50%                                                   | 24                                                                 |
| photographic and projection lamps with very high filament temperatures and short lifetimes | շիկացման թելիկների շատ բարձր ջերմաստիճաններով և կարճ կենսափուլով լուսանկարչական և պրոեկցիոն լամպեր | 5.10%                                                   | 35                                                                 |
| ideal black-body radiator at 4000 K (or a class K star like Arcturus)                      | 4000 K ջերմաստիճանով սև մարմնի իդեալական ճառագայթիչ (կամ՝ Արկտուրոսի նման K դասի աստղ)             | 7.00%                                                   | 47.5                                                               |
| ideal black-body radiator at 7000 K (or a class F star like Procyon)                       | 7000 K ջերմաստիճանով սև մարմնի իդեալական ճառագայթիչ (կամ՝ Պրոցիոնի նման F դասի աստղ)               | 14%                                                     | 95                                                                 |
| ideal monochromatic 555 nm (green) source                                                  | իդեալական մոնոքրոմ 555 նմ (կանաչ) աղբյուր                                                          | 100%                                                    | 683                                                                |

## Աղյուսակ 1. Շիկացման լամպերի ՕԳԳ և արգասիքը

Necessary to stress that higher is the temperature of the filament, more is the efficacy, but shorter is the lifetime of the lightbulb.

**Correlated Color Temperature and Color Rendering Index** – incandescent lightbulbs are champions of color rendering. Due to their almost ideal, smooth – without spikes – spectral power distribution (Figure 7) they do not cause any problem in color rendering and have CRI = 100. While they have reddish tint, i.e. their spectrum has more longwave radiation than shortwave, they produce warm and comfortable lighting, however at the expense of their efficiency. When temperature rises, naturally the color balance shifts to shorter wavelengths, and the peak of SPD may enter the visible region, e.g. at 3500 K, which is provided by some halogen lamps Figure 15.

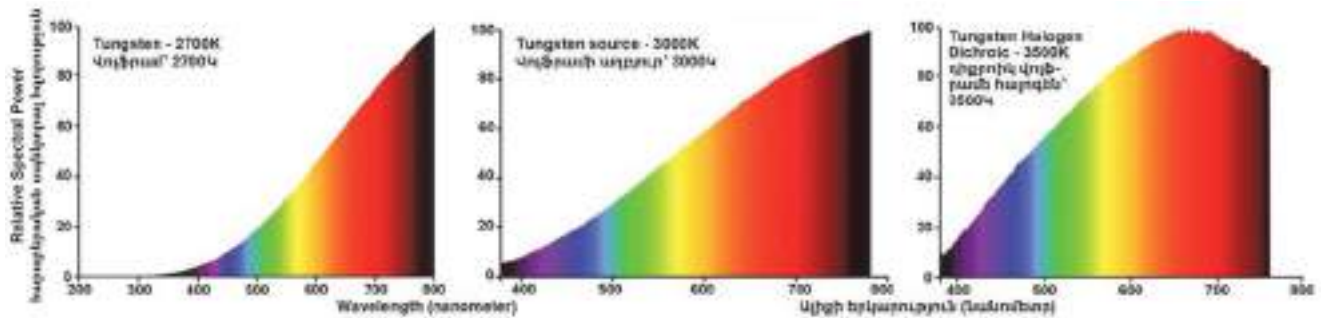
Հարկ է նշել, որ, որքան բարձր է շիկացման թելիկի ջերմաստիճանը, այնքան մեծ է արգասիքը, սակայն ավելի կարճ է լամպի աշխատանքային կյանքի տևողությունը:

**Կորելացված (փոխկապակցված) գունային ջերմաստիճան և գույնի վերարտադրության ցուցիչ.** շիկացման լամպերը գունային վերարտադրության առաջատարներն են: Իրենց՝ գրեթե իդեալական, հարթ, առանց սուր գագաթների հզորության սպեկտրալ բաշխման (Նկար 7) շնորհիվ այդ լամպերը գույնի վերարտադրության որևէ խնդիր չեն առաջացնում և դրանց ԳՎՑ = 100: Սպեկտրում գերիշխող երկարալիք ճառագայթների շնորհիվ դրանք ապահովում են ջերմ և հարմարավետ լուսավորություն, որը, սակայն, ստացվում է լամպի արդյունավետության հաշվին: Երբ ջերմաստիճանը բարձրանում է, ապա, բնականաբար, գունայնությունը տեղաշարժվում է դեպի ավելի կարճ ալիքները, իսկ ՀՄԲ-ի գագաթը կարող է մտնել տեսանելի տիրույթ, օրինակ 3500 K ջերմաստիճանում, որը տեղի է ունենում որոշ հալոգենային լամպերի պարագայում, Նկար 15:

**Figure 15.** Incandescent lamp SPD-s at 3 temperatures.

*Note:* Only little portion of the energy is emitted in the visible region, but most of it is in the infrared region.

*Source/Աղբյուրը՝* <http://www.lamptech.co.uk>



*Նշում.* Արձակվող էներգիայի միայն մի փոքր բաժինն է գտնվում տեսանելի տիրույթում, իսկ դրա մեծ մասը ինֆրակարմիր տիրույթում է:

*Նկար 15.* Շիկացման լամպի ՀՄԲ-ները՝ 3 ջերմաստիճանների դեպքում:

**Flicker index or Speed of reaction** – due to the thermal essence of the BBR there is inertia in the “response” of incandescent lamps. This inertia integrates most of the voltage AC frequency to provide smooth, pleasant illumination.

**Start time** – there is no start time for incandescent lamps other than thermal inertia to heat up the lamp. Interestingly, when the filament is cold, its resistance is small, providing higher current flowing through it and supporting quick temperature rise and illumination. E.g. a 100 W, 120 V lamp has a resistance of 144 ohms when on, but the cold resistance is only about 9.5 ohms.

Depending on lamp power, the start time is usually within 0.01 – 0.3 seconds, the value is higher with ones that are more powerful. E.g. in the same lamp, the current stabilizes in about 0.1 seconds, and the lamp reaches 90% of its full brightness after about 0.13 seconds.

Due to the high current flown in the cold filament, lightbulbs are more prone to fail during the start, when they are switched on. This is the reason of using *dimmers* resulting in much higher lifetime.

**Power supply** – for illumination purposes in the most of the cases there is no need in additional power supply – always possible to design the filament in a way that it conforms the AC 110 V or 220 V or other input voltages easily. However, for some halogen lamps 12 or 24 volts is used, requiring a simple lowering transformer – allowing usage of lower, safer voltages. In certain cases, such as scientific applications, special power supply is used for super stable low voltage halogen lightbulbs, to provide pure DC input, with as small as possible parasitic AC component.

**Optics** – mostly rather flexible, limited with only temperature and mounting type related requirements. Can provide spotlight or floodlight

**Ֆլիքեր/թարթումների ցուցիչ կամ արձագանքի արագություն.** ՄՄՃ-ի ջերմային էության շնորհիվ շիկացման լամպերի «արձագանքը» իներցիոն է: Իներցիայի շնորհիվ լամպը որոշ չափով հաղթում է փոփոխական հոսանքի տատանումները և, համեմատաբար համաչափ ու հաճելի լույս է ապահովում:

**Միացման տևողությունը.** պայմանավորված է միայն լամպի տաքանալու ջերմային իներցիայով: Հետաքրքիր է նկատել, որ, երբ շիկացման թելիկը սառն է, ապա դրա դիմադրությունը ցածր է և միջով ավելի մեծ հոսանք է անցնում, ինչի արդյունքում մեծ արագությամբ բարձրանում է ջերմաստիճանը և լուսարձակումը: Օրինակ՝ միացված վիճակում 100 Վտ, 120 Վ լամպի դիմադրությունը 144 օհմ է, սակայն սառը վիճակում դիմադրությունը մոտ 9.5 Օմ է:

Կախված լամպի հզորությունից, միացման տևողությունը սովորաբար գտնվում է 0.01 - 0.3 վայրկյանի միջակայքում, ավելի հզոր լամպերում այդ արժեքն ավելի մեծ է: Օրինակ՝ նույն լամպում հոսանքը կայունանում է մոտ 0.1 վայրկյանում, իսկ լամպն իր լիակատար պայծառության 90%-ին է հասնում մոտ 0.13 վայրկյան անց:

Սառը շիկացման թելիկում (երբ լամպի դիմադրությունը փոքր է) անցնող մեծ հոսանքի հետևանքով միացնելու պահին էլեկտրական լամպերն ավելի են հակված խափանման: Այս պատճառով դրանց կյանքը երկարացնելու համար օգտագործվում են լույսի ուժգնության կարգավորիչներ:

**Սնուցիչ.** լուսավորությունն իրականացնելու համար հիմնականում լրացուցիչ սնուցիչի կարիք չի առաջանում: Միշտ էլ հնարավոր է շիկացման թելիկն այնպես նախագծել/պատրաստել, որ այն սնուցվի  $\Phi < 110$  Վ կամ 220 Վ կամ այլ լարումից: Սակայն, որոշ հալոգենային լամպեր աշխատում են 12 կամ 24 վոլտով և դրանց համար անհրաժեշտ է լարումն իջեցնող պարզ փոխակերպիչ/տրանսֆորմատոր, որը թույլ է տալիս կիրառել ավելի ցածր և ավելի անվտանգ լարումներ: Օրինակ՝ գիտահետազոտական սարքերում, հալոգենային լամպերում կայուն ցածր լարում ապահովելու համար օգտագործվում են հատուկ ֆիլտրերով սնուցիչներ, որոնք արգելակում (ինտեգրում) են փոփոխա-

options easily via additional external optics that also serve as a fixture and protection. In many cases, a reflective coating can be integrated (Figure 14) or made inside the lightbulb (Figure 16), provide specific lighting directionality, that is useful for e.g. interior design or automotive applications.



են արտացոլող մակերեսով (Նկար 14) կամ դա արվում է հենց լամպի ներսում (Նկար 16), ինչը լույսին հատուկ ուղղորդվածություն է տալիս և սա լայնորեն կիրառվում է, օրինակ՝ ներքին տարածքների ձևավորման կամ ավտոմեքենաների լուսարձակների համար:

**Figure 16.** Reflective optical coating inside a lightbulb, different realizations. Note also three-quarter chrome diagonal light bulb.

Source/Աղբյուր՝ <https://www.atgstores.com/ourblog/specialty-bulbs-the-reflector-bulb>



**Նկար 16.** Լամպի ներսում տարբեր ձևերով իրականացված արտացոլող մակերեսները: Նաև նկատվելի է անկյունագծի երեք-քառորդով քրոմապատ շիկացման լամպը:

**Operational temperature, C°** - A 300 watt tubular halogen bulb operated at full power quickly reaches a temperature of about 540°C, while a 500 watt regular incandescent bulb operates at only 180°C and a 75 watt regular incandescent at only 130°C. Due to the high temperature of the tungsten filament and consequently due to the high BBR in the IR region, the halogen incandescent lightbulbs have also multitude of technical applications. Since they are mostly IR radiators, they are used commonly wherever IR is needed, e.g. in the halogen grill cookers, IR heaters (Figure 17) or scientific and production uses.

**Mounting type** – there is a variety of connection bases for incandescent lightbulbs – due to the temperature requirement; in general, they are different for standard and halogen types, as illustrated in Figure 18.

The logic behind the base standards is related to safety, heat dissipation, good electric contact and ease of service.

կան հոսանքի (AC) բաղադրիչը և ելքում ապահովում են մաքուր հաստատուն հոսանք (DC):

**Օպտիկայի** պահանջները հիմնականում բավականին ճկուն են, սահմանափակվում են միայն ջերմաստիճանին և մոնտաժման ձևին վերաբերող պահանջներով: Դրանք կարող են հեշտությամբ աշխատել փնջային և ողողող լույսերի տարբերակներով՝ արտաքին օպտիկական մասի ավելացման միջոցով, որոնք նաև ծառայում են որպես մոնտաժման միջոց և պաշտպանիչ պատյան: Շատ դեպքերում դրանք համալրվում

**Աշխատանքային ջերմաստիճան՝ C°.** ամբողջ հզորությամբ աշխատող 300 Վտ հալոգենային խողովակաձև լամպի արտաքին մակերևույթի ջերմաստիճանը արագորեն հասնում է մոտ 540°C-ի, մինչդեռ 500 Վտ սովորական շիկացման լամպն աշխատում է ընդամենը 180°C-ում իսկ 75 Վտ սովորական շիկացման լամպը՝ միայն 130°C-ում: Վոլֆրամե շիկացման թելիկի բարձր ջերմաստիճանի և, հետևաբար՝ ինֆրակարմիր (ԻԿ) տիրույթում բարձր ՍՄԾ-ի շնորհիվ հալոգենային շիկացման լամպերը կիրառվում են տեխնիկայի բազմաթիվ ոլորտներում: Քանի որ դրանք հիմնականում ԻԿ ճառագայթիչներ են, ապա սովորաբար օգտագործվում են այնտեղ, որտեղ ԻԿ-ի կարիք կա, օրինակ՝ հալոգենային պտտվող գրիլ վառարաններում, Նկար 17, կամ գիտական և արտադրական ոլորտներում:

**Մոնտաժման ձևերը.** շիկացման լամպերի միացման կոթառների լայն տեսականի կա: Ջերմաստիճանի նկատմամբ պահանջների պատճառով ստանդարտ և հալոգենային լամպերի դեպքում դրանք տարբեր են, պատկերված են Նկար 18-ում:

Միացման կոթառների ստանդարտները հիմնված են անվտանգության, ջերմության ցրման արդյունավետության, էլեկտրական միացումների հուսալիության և սպասարկման դյուրինության վրա:

Figure 17. Heating and cooking with halogen lamps.

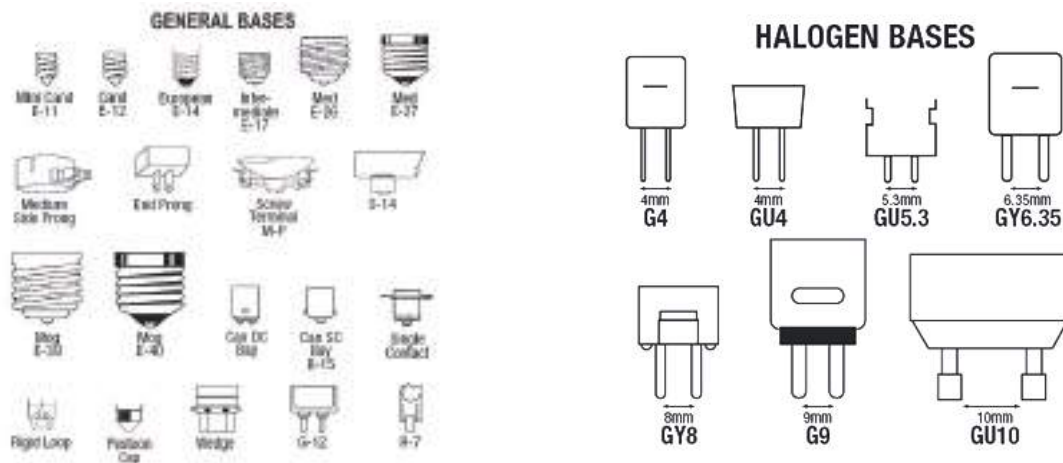
Source/Աղբյուրը՝ <https://www.youtube.com/watch?v=jNKJjnEmW5A>



Նկար 17. Սննդի պատրաստում և ջեռուցում հալոգենային լամպերի միջոցով:

Figure 18. Connection standards used for incandescent lightbulbs.

Source/Աղբյուրը՝ <http://www.mapawatt.com/light-bulb-codes-shapes-sizes-and-bases>.



Նկար 18. Շիկացման լամպերի համար կիրառվող միացման ստանդարտները:

**Longevity/degradation** – due to tungsten evaporation, the lightbulbs have 1000 – 2500 hours of lifetime. E.g. if operating 5 hours every day, 1825 hours of operation is equivalent to 365 days of service.

Naturally, if a lightbulb is being used at lower voltage, its lifetime increases. E.g. a 5% reduction in operating voltage below the one rated in the specifications, will more than double the life of the bulb, at the expense of reducing its light output by about 16%. A similar logic with halogen lightbulbs:

**Երկարակեցություն և դեգրադացիա.** վոլֆրամի գոլորշիացման պատճառով լամպերի ծառայության ժամկետը 1000 – 2500 ժամ է: Օրինակ՝ամեն օր 5 ժամ աշխատելու դեպքում այն կարող է ծառայել 1825 ժամ, այսինքն՝ 365 օր:

Այսպիսով, եթե լամպն աշխատում է ավելի ցածր լարման տակ, ապա դրա կյանքն ավելանում է: Օրինակ, տեխնիկական մասնագրում նշված աշխատանքային լարման 5% կրճատումը կարող է արձակված լույսի շուրջ 16% նվազման հաշվին ավելի քան կրկնապատկել լամպի կյանքը: Այդ տրամաբանությունը վերաբերում է նաև հալոգենային լամպերին. նախա-

operated at 5% higher than its design voltage would produce about 15% more light, and the luminous efficacy would be about 6.5% higher, but would have only half the life rated in specs. Naturally the use of dimmers also can substantially prolong the operational lifetime of incandescent both standard and halogen lightbulbs.

**Price** – current price of incandescent lightbulbs is summarized in Table 2.

Table 2. Summary of lightbulb prices

| Wattage, W | Standard incandescent, \$/W | Halogen Incandescent, \$/W |
|------------|-----------------------------|----------------------------|
| 40         | 0.25-0.5                    | 0.8-2                      |
| 100        | 0.35-0.75                   | 1.5-3                      |
| 150        | 0.4-1                       | 2-4.5                      |

Table 3 below summarizes incandescent lightbulb parameters:

Table 3. Incandescent lightbulb summary.

| #   | Parameter name                | Value                    | Note                                                  |
|-----|-------------------------------|--------------------------|-------------------------------------------------------|
| 1.  | Operational principle         | BBR                      | SPD is also defined by the bulb material transmission |
| 2.  | Luminous efficacy, lm/W       | 12-24                    | Least efficient                                       |
| 3.  | Color Rendering Index         | 100                      | Best of all                                           |
| 4.  | Speed of reaction             | Inertial                 | Favorable                                             |
| 5.  | Start time, sec               | 0.1                      | One of the best, but better with a special dimmer     |
| 6.  | Power supply                  | Usually none             | Mostly not needed                                     |
| 7.  | Optics                        | Large variety            | Flexible, limit by high temp.                         |
| 8.  | Operational temperature, C°   | 130 °C - 540 °C          | Relatively high                                       |
| 9.  | Mounting type, most common    | E27, E14, G4 for halogen | Most common                                           |
| 10. | Longevity/ degradation, hours | 1500 - 2500              | Short for nowadays                                    |
| 11. | Price, for 100 W, US\$        | 0.2 - 6                  | Least expensive                                       |

տեսված լարումը 5%-ով գերազանցելու դեպքում նրա լուսատվությունը կաճի մոտ 15%, իսկ լուսարգասիքը կլինի մոտ 6.5%-ով բարձր, սակայն ծառայության ժամկետը կարող է լինել մասնագրերով սահմանվածի կեսը: Լույսի կարգավորիչների կիրառումը, բնականաբար, նույնպես կարող է էապես երկարացնել ինչպես ստանդարտ շիկացման, այնպես էլ հալոգենային լամպերի ծառայության ժամկետը:

**Գինը.** շիկացման լամպերի ներկայիս գինը ամփոփված է Աղյուսակ 2-ում:

Աղյուսակ 2. Լամպերի գները

| Հզորություն, Վտ | Ստանդարտ շիկացման գին, \$/100 Վտ | Հալոգենային շիկացման գին, \$/100 Վտ |
|-----------------|----------------------------------|-------------------------------------|
| 40              | 0.25-0.5                         | 0.8-2                               |
| 100             | 0.35-0.75                        | 1.5-3                               |
| 150             | 0.4-1                            | 2-4.5                               |

Աղյուսակ 3-ում բերվում է շիկացման լամպի պարամետրերի ամփոփ տվյալները:

Աղյուսակ 3. Շիկացման լամպեր.

| #   | Հարաչափի անվանումը                 | Արժեքը                      | Ծանոթ                                                                      |
|-----|------------------------------------|-----------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| 1.  | Աշխատանքի սկզբունքը                | ՍՍՃ                         | ՀՄԲ-ը նաև որոշվում է լամպի նյութի /ապակու/ լուսաթափանցության ֆունկցիայով   |
| 2.  | Լուսարգասիք, լմ/Վտ                 | 12-24                       | ամենացածր ՕԳԳ                                                              |
| 3.  | Գույնի վերարտադրության ցուցիչը,    | 100                         | ամենալավը                                                                  |
| 4.  | Արձագանքի արագությունը             | իներցիոն                    | գերադասելի                                                                 |
| 5.  | Միացման տևողությունը, վայրկյան     | 0.1                         | լավագույններից մեկը, սակայն նախընտրելի է օգտագործել լույսի ուժի կարգավորիչ |
| 6.  | Սնուցիչ                            | սովորաբար չունի             | շատ դեպքերում դրա կարիքը չկա                                               |
| 7.  | Օպտիկան                            | լայն տեսականի               | ճկուն է, սահմանափակված է բարձր ջերմաստիճանով                               |
| 8.  | Աշխատանքային ջերմաստիճանը, C°      | 130 °C - 540 °C             | համեմատաբար բարձր                                                          |
| 9.  | Մոնտաժման ձևը,                     | E27, E14, G4 հալոգենի համար | ամենատարածված                                                              |
| 10. | Երկարակեցություն և դեգրադացիա, ժամ | 1500 - 2500                 | Ժամանակակից չափանիշներով՝ կարճ                                             |
| 11. | 100 Վտ-ի գինը, ԱՄՆ\$               | 0.2 - 6                     | ամենաէժեքն                                                                 |

### 3. Discharge lamps and their ballast – arcs in the nature, arc lamps

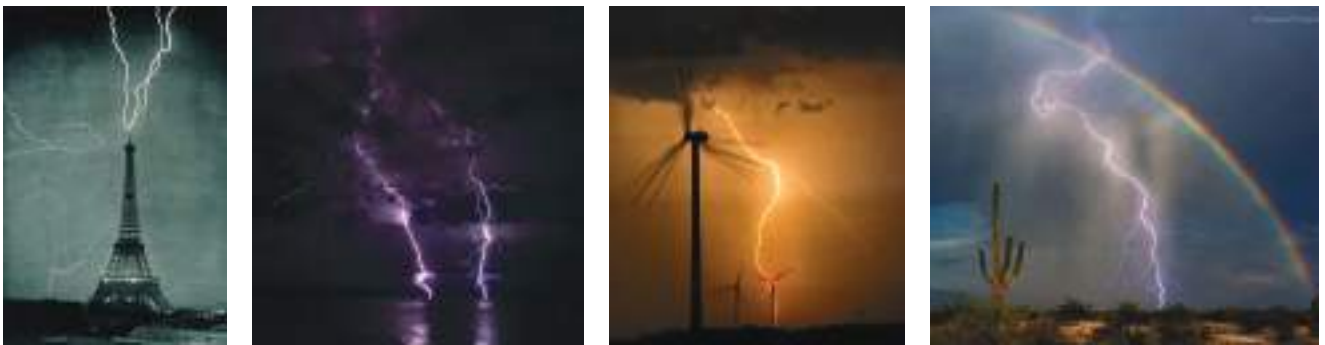
The lightning flash or strike has been one of the first natural sources of light that a human have seen in the dark (Figure 19) – as the first form of natural electric light. The electrostatic discharge is laying in the bases of this phenomenon, as well as in the operational principle of a rather wide group of light sources. Sir Humphry Davy in 1800-s have constructed the first practical arc lamp with carbon electrodes with arc in air (Whelan, 2014). The very first military searchlights and commercially available movie projectors since 1900-s and up until 1960-s have been using carbon electrode arc lamps (Figure 20).

### 3. Պարպման լամպերը և նրանց սնուցման աղբյուրները. պարպումը բնության մեջ, գազապարպման լամպեր

Կայծակը մարդու կողմից մթության մեջ դիտված լույսի ամենաառաջին բնական աղբյուրներից մեկն է եղել (Նկար 19) և այն բնական էլեկտրական լույսի առաջին ծնն է: Այս երևույթի, ինչպես նաև լույսի աղբյուրների բավականին մեծ խմբի աշխատանքի սկզբունքի հիմքում, ընկած է էլեկտրաստատիկ պարպումը: Սըր Համֆրի Դեյվին 1800-ականներին կառուցեց առաջին գործնական՝ ածխե էլեկտրոդով պարպման լամպը, որտեղ պարպման աղեղը օդում էր գտնվում (Whelan, 2014 թ.): Ամենաառաջին ռազմական լուսարձակները և լայնորեն կիրառվող կինոպրոյեկտորները 1900-ականներից մինչև 1960-ականներն օգտագործում էին ածխե էլեկտրոդներով աղեղային լամպեր (Նկար 20):

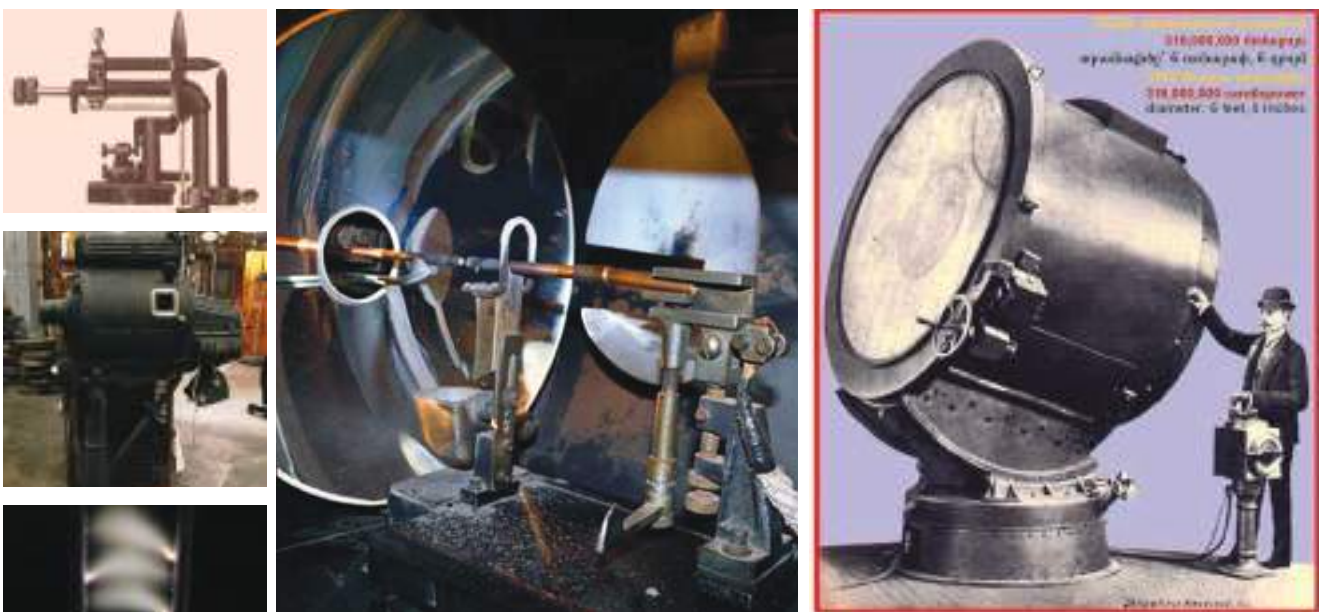
Figure 19. Lightning strikes.

Source/Աղբյուր՝ <http://www.harcongroup.com/lightning-protection-services/>



Նկար 19. Կայծակ:

Figure 20. Carbon electrode arc lamp and its uses. Note the black carbon electrodes.



Նկար 20. Ածխե էլեկտրոդներով գազապարպման լամպը և դրա կիրառման ոլորտները: Ուշադրություն դարձրեք ածխե սև էլեկտրոդներին:

Figure 21. Modern use of xenon arc lamps: IMAX cinema projection, automotive, advertisement.



Նկար 21. Ժամանակակից քսենոնային գազապարպման լամպեր: IMAX կինոպրոյեկտորի լամպ, մեքենաներ, գովազդային վահանակ:

Very well known electric arc application is the welding Figure 22.

Էլեկտրական աղեղի/պարպման շատ հայտնի կիրառություններից է էլեկտրաեռակցումը, Նկար 22:

Figure 22. Welding via arc.

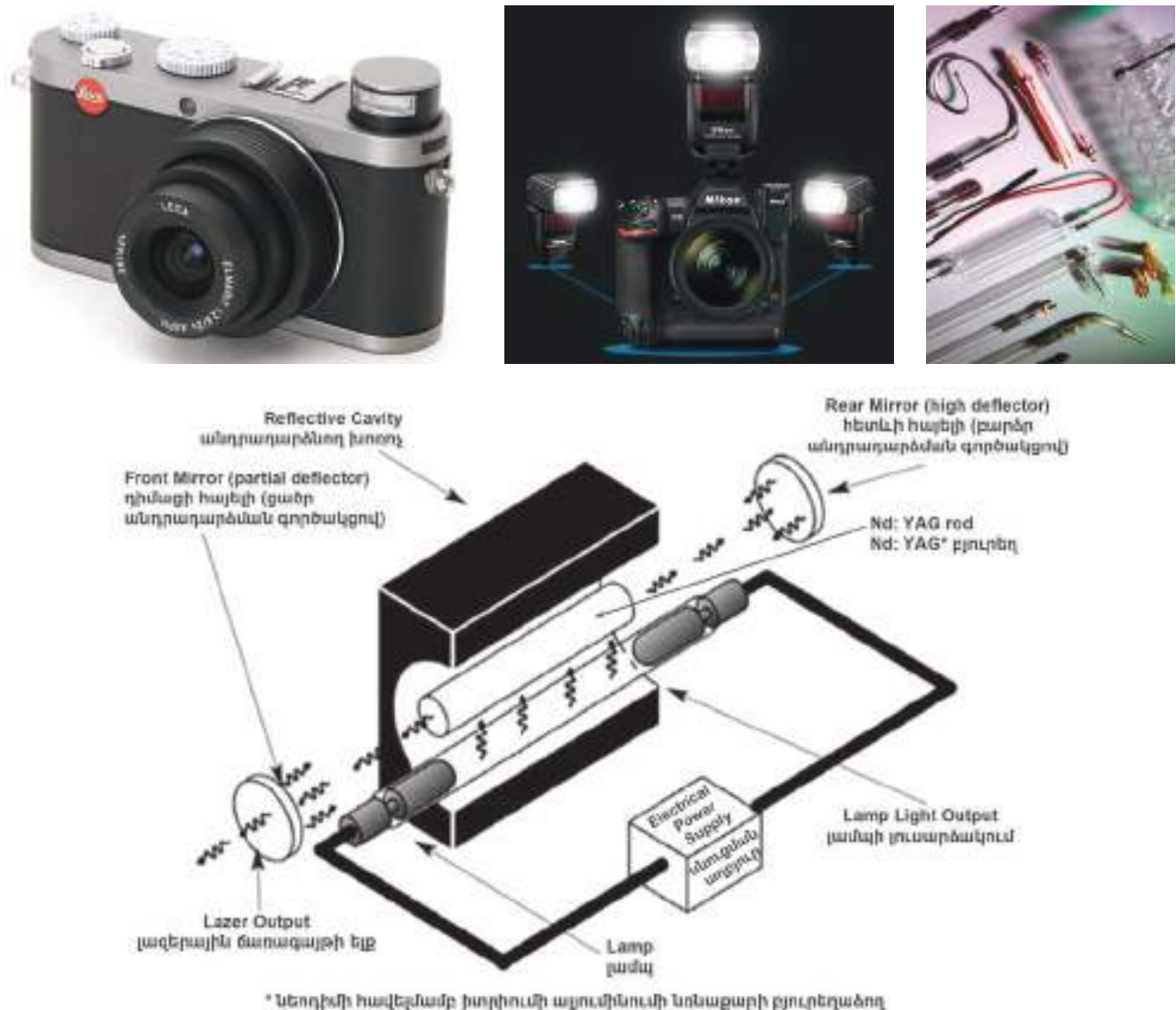


Նկար 22. Եռակցումը աղեղի/պարպման միջոցով:

However, most modern arc discharge lamps are using inert gas environment, e.g. xenon or krypton for variety applications, starting automotive, to projection and advertisement (Figure 21), also for flash-pulse design illumination such as showcase or façade decoration, applications such as photographic camera flash lighting, and scientific applications, e.g. pulsed laser pumping, etc. (Figure 23).

Ի դեպ, ամենաժամանակակից գազապարպման լամպերն աշխատում են իներտ գազերի, օրինակ՝ քսենոնի կամ կրիպտոնի միջավայրում, որոնք կիրառվում են մի շարք բնագավառներում՝ սկսած մեքենաներից մինչև կինոպրոյեկտորները և գովազդը (Նկար 21), ինչպես նաև ցուցափեղկերի, շենքերի ճակատների լուսային ձևավորման մեջ, լուսանկարչական խցիկների լուսարձակներում, գիտահետազոտական սարքերում, օրինակ՝ իմպուլսային մղումով լազերներում, և այլն (Նկար 23):

Figure 23. Flash-pulse applications of xenon or krypton arc lamps.

Source/Աղբյուրը՝ [directedlight.com](http://directedlight.com), [www.kenteklaserstore.com](http://www.kenteklaserstore.com)

Նկար 23. Քսենոնային կամ կրիպտոնային գազապարպման լամպերի իմպուլսային բոնկման կիրառությունը:

**Operational principle** – the arc lamps are realized in the open air (carbon electrode), or in transparent glass or quartz enclosures, where in special conditions, i.e. at certain gas environment and certain pressure. Atoms or molecules of air or gas are being ionized by electrical field generated by two electrodes, and the field accelerates electrons and ions to collide and create light emitting plasma. Xenon gas is used most frequently since among inert gases it has lowest ionization potential – helping easily ignite the arc – as well as it has low thermal conductivity helping to sustain high arc temperature.

The discharge avalanche creates large number of ions. Generated plasma emits light due to intermolecular collisions forcing electrons of the atoms to perform emissive transitions between atomic levels.

**Աշխատանքի սկզբունքը.** Գազի պարպումը լամպերում իրականացվում է բաց օդում (ածխե էլեկտրոդներ) կամ հատուկ պայմաններում, օրինակ՝ որոշակի գազի և որոշակի ճնշման միջավայրով ապակուց կամ կվարցից պատրաստված թափանցիկ անոթներում: Օդի կամ գազի ատոմները կամ մոլեկուլները երկու էլեկտրոդների միջև ստեղծված բարձր լարման էլեկտրական դաշտում իոնիզացվում են: Այդ դաշտում արագացած էլեկտրոնների և իոնների փոխհարվածների շնորհիվ առաջանում է լուսարձակող պլազմա: Քսենոն գազը ամենահաճախ օգտագործվողներից է, քանի որ իներտ գազերի շարքում նրա իոնիզացման պոտենցիալը ամենացածրն է (օգնում է պարպման աղեղի արագ բոնկմանը): Ցածր է նաև նրա տեսակարար ջերմահաղորդականությունը, որը պարպման աղեղին օգնում է պահպանել բարձր ջերմաստիճանը:

Պարպման հեղեղը առաջացնում է մեծ քանակությամբ իոններ: Առաջացած պլազման՝ միջմոլեկուլային բախումների շնորհիվ, ստիպում է էլեկտրոններին կատարել լուսարձակող անցումներ ատոմային մակարդակների միջև:

Currently there is a large product variety of different types of arc lamps, which include (but not limited to):

- Carbon electrode
- Krypton filled
- Argon filled
- Xenon filled – XBO (Philips name)
- Xenon filled – with mercury vapor
- UHP – ultra-high-pressure mercury-vapor
- Metal halide
- Sulfur
- High pressure sodium, SON (Philips name)
- Low pressure sodium

A subgroup of modern most used arc lamps is called high intensity discharge (HID) lamps including:

- Mercury-vapor lamps
- Metal-halide (MH) lamps
- Ceramic MH lamps
- Sodium-vapor lamps
- Xenon short-arc lamps.

The variations are mainly related to the composition of the atmosphere in which the arc is taking place. The presence of certain metals substantially increases the efficiency of the arc in the visible region, via generation of huge spikes in the SPD.

**Luminous efficacy, lm/W** - Figure 24 shows the spectral power distribution of the xenon arc lamp. One can immediately see that the SPD does not go as much beyond the visible region of 380-720 nm, as in the incandescent lightbulb case, meaning that its efficiency/efficacy is higher. However, it has quite a bit of UV radiation, and substantial spikes in the near infrared (NIR) region. Thus, the luminous efficacy of e.g. xenon arc lamp is around 55 lm/w with luminous efficiency of up to 8%.

However, varieties of the arc discharge lamps have higher efficiencies (Table 4), but mostly at the expense of color rendering index. E.g., the low-pressure sodium lamp can have up to 200 lm/w luminous efficacy with 29% of luminous efficiency, but its color rendering index is below zero, since it emits practically almost monochromatic radiation at 589.3 nm that does not allow distinguishing any colors from each other (Figure 24). However, the low pressure sodium (LPS) light types are one of the most commonly used for street lighting due to long lifetime and high efficiency (Figure 25), since the 589.3 nm is not far from the peak of the human eye photopic sensitivity (Figure 6, Figure 24).

Ներկայումս արտադրվող գազապարպման լամպերի մեծ տեսականի կա, որոնցից են՝

- ածխե էլեկտրոդներով
- կրիպտոնով լցված
- արգոնով լցված
- քսենոնով լցված – XBO (Philips մականիշում)
- քսենոնով լցված – սնդիկի գոլորշիով
- ԳԲՃ, UHP – սնդիկի գոլորշիով՝ գեր բարձր ճնշման
- մետաղ-հալիդ
- ծծմբային
- բարձր ճնշման նատրիումային, SON (Philips մականիշում)
- ցածր ճնշման նատրիումային

Կիրառվող ժամանակակից գազապարպման լամպերի ամենատարածված ենթախումբը կոչվում է բարձր ինտենսիվությամբ պարպման (high intensity discharge, HID) լամպեր, որոնցից են.

- սնդիկի գոլորշիով լամպերը
- մետաղ-հալիդ /ՄՀ/ (MH) լամպերը
- կերամիկական ՄՀ լամպերը
- նատրիումի գոլորշիով լամպերը
- քսենոնային կարճ-աղեղ լամպերը:

Այս տարբերակները հիմնականում պայմանավորված են զուտ այն մթնոլորտի բաղադրությամբ, որում տեղի է ունենում պարպումը: Որոշակի մետաղների ներկայությունը՝ ՀՄԲ-ում հսկայական սուր գագաթներ է գեներացնում, ինչն էականորեն բարձրացնում է պարպման արդյունավետությունը (ՕԳԳ) տեսանելի տիրույթում:

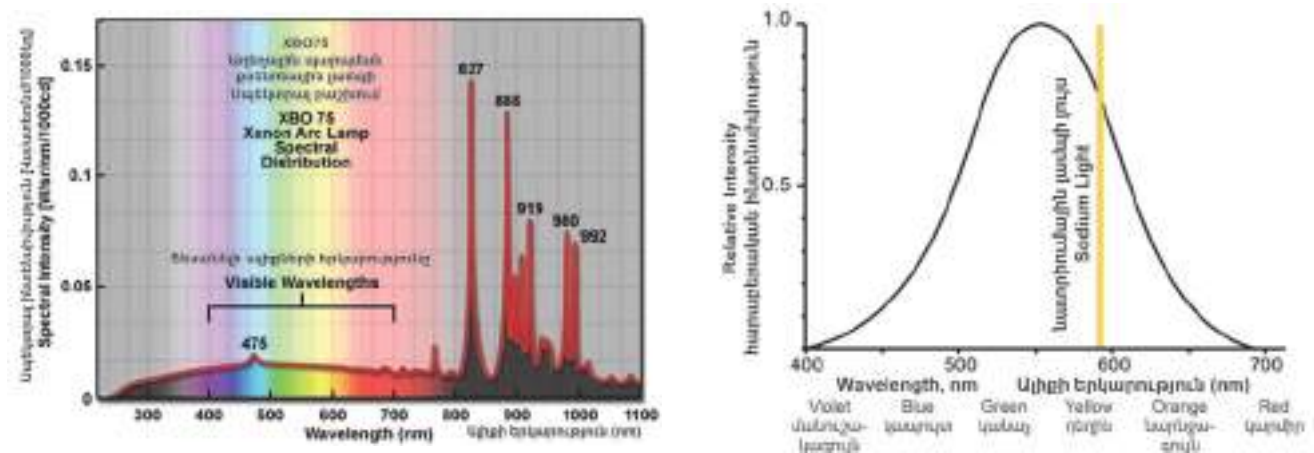
**Լուսարգասիք, լմ/Վտ.** Նկար 24-ում պատկերված է քսենոնային գազապարպման լամպի հզորության սպեկտրալ բաշխումը: Անմիջապես երևում է, որ ՀՄԲ-ը շատ դուրս չի գալիս 380-720 նմ տեսանելի տիրույթից ինչպես դա տեղի էր ունենում շիկացման լամպերի դեպքում, ինչը նշանակում է, որ այս լամպերի լուսարգասիքն ավելի բարձր է: Այդուհանդերձ, այդ լամպը ունի զգալի ՈւՄ ճառագայթում: Ինտենսիվ գագաթներ են առկա նաև, մոտ ինֆրակարմիր տիրույթում: Այդ պատճառով քսենոնային գազապարպման լամպի լուսարգասիքը շուրջ 55 լմ/Վտ է, իսկ լուսային ՕԳԳ-ը հասնում է մինչև 8%:

Նշենք, որ գազապարպման լամպերի որոշ տարատեսակներ ավելի արդյունավետ են (Աղյուսակ 4), սակայն, հիմնականում դրան են հասնում գույնի վերարտադրության ցուցիչի հաշվին: Օրինակ՝ ցածր ճնշման նատրիումային լամպի արգասիքը հասնում է մինչև 200 լմ/Վտ և լուսային ՕԳԳ-ը 29% է, սակայն դրա գույնի վերարտադրության ցուցիչը զրոյից ցածր է, քանի որ գործնականում այն արձակում է մոնոքրոմ՝ 589,3 նմ ալիքի երկարությամբ ճառագայթներ, որը թույլ չի տալիս գույները տարբերել միմյանցից (Նկար 24): Այդուհանդերձ, իրենց երկարակեցության և բարձր արդյունավետության շնորհիվ ցածր ճնշման նատրիումային (LPS) տեսակի լամպերը ամենատարածվածն են փողոցային լուսավորության համար, Նկար 25, քանի որ 589,3 նմ ալիքի երկարությունը մոտ է մարդու աչքի ֆոտոպիկ լուսազգայնության սպեկտրի մաքսիմումին (Նկար 6, Նկար 24):

Figure 24. Xenon arc lamp SPD, vs low-pressure sodium SPD.

**Note:** Consider the radiation spectrum below and above the visible region, and virtually monochromatic line of the LPS lamp – interestingly these lamps have light pollution advantages over other types of lamps due to the ease of filtering.

**Source/Աղբյուրը՝** [https://en.wikipedia.org/wiki/Xenon\\_arc\\_lamp](https://en.wikipedia.org/wiki/Xenon_arc_lamp), [zeiss-campus.magnet.fsu.edu](http://zeiss-campus.magnet.fsu.edu), <http://www.lampstech.co.uk/Documents/SO%20Introduction.htm>



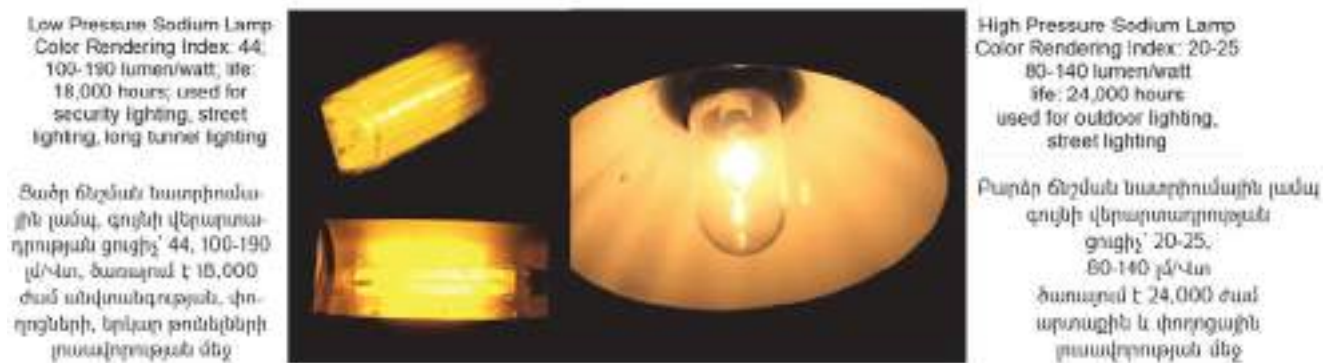
**Նշում.** ուշադրություն դարձրեք տեսանելի տիրույթից ցածր և բարձր ճառագայթման սպեկտրին, և LPS լամպի գործնականում մոնոքրոմ գծին. ուշագրավ է, որ այլ տեսակի լամպերի համեմատ այս լամպերը առավելություն ունեն լուսային աղտոտվածության առումով, քանի որ մոնոքրոմ լույսը ֆիլտրելն ավելի հեշտ է:

**Նկար 24.** Քսենոնային զազապարպման լամպի ՀՄԲ-ի համեմատությունը ցածր ճնշման նաբրիումային ՀՄԲ-ի հետ:

Figure 25. LPS and HPS lamps compared.

**Note:** HPS's parameters currently increase their market share due to the higher CRI – still having orange coloration but not monochromatic.

**Source/Աղբյուրը՝** <http://www.edison-techcenter.org>



**Նշում.** HPS-ի պարամետրերը ներկայումս մեծացնում են շուկայում դրա մասնաբաժինը՝ ավելի բարձր ԳԼՑ-ի շնորհիվ, որը նարնջագույն երանգ ունի, սակայն մոնոքրոմ չէ:

**Նկար 25.** LPS և HPS լամպերի համեմատությունը:

**Table 4.** Luminous efficacies and efficiencies of arc lamp variations. [https://en.wikipedia.org/wiki/Luminous\\_efficacy](https://en.wikipedia.org/wiki/Luminous_efficacy)

| Category      | Type                                                                                   | Overall luminous efficacy, lm/W | Overall luminous efficiency |
|---------------|----------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------|
| Arc lamp      | carbon arc lamp                                                                        | 2-7                             | 0.29-1.0%                   |
|               | xenon arc lamp                                                                         | 30-50                           | 4.4-7.3%                    |
|               | mercury-xenon arc lamp                                                                 | 50-55                           | 7.3-8%                      |
|               | UHP – ultra-high-pressure mercury-vapor arc lamp: initial, free mounted                | 58-78                           | 8.5-11.4%                   |
|               | UHP – ultra-high-pressure mercury-vapor arc lamp: rated, with reflector for projectors | 30-50                           | 4.4-7.3%                    |
| Gas discharge | 1400 W sulfur lamp                                                                     | 100                             | 15%                         |
|               | metal halide lamp                                                                      | 65-115                          | 9.5-17%                     |
|               | high pressure sodium lamp                                                              | 85-150                          | 12-22%                      |
|               | low pressure sodium lamp                                                               | 100-200                         | 15-29%                      |
|               | Plasma display panel                                                                   | 2-10                            | 0.3-1.5%                    |
| Ideal sources | Truncated 5800 K blackbody                                                             | 251                             | 37%                         |
|               | Green light at 555 nm (maximum possible luminous efficacy)                             | 683.002                         | 100%                        |

**Աղյուսակ 4.** Գազապարպման լամպերի տարբերակների լուսարգասիքները և արդյունավետությունը (ՕԳԳ) [https://en.wikipedia.org/wiki/Luminous\\_efficacy](https://en.wikipedia.org/wiki/Luminous_efficacy)

| Կատեգորիա            | Տեսակ                                                                                          | Ընդհանուր լուսարգասիք, լմ/Վտ | Ընդհանուր լուսային ՕԳԳ |
|----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|------------------------|
| Աղեղային լամպ        | Ածխային աղեղային լամպ                                                                          | 2-7                          | 0.29-1.0%              |
|                      | Քսենոնային աղեղային լամպ                                                                       | 30-50                        | 4.4-7.3%               |
|                      | Սնդիկ-քսենոնային աղեղային լամպ                                                                 | 50-55                        | 7.3-8%                 |
|                      | ԳԲՃ - UHP – սնդիկի գոլորշիով՝ գեր բարձր ճնշման աղեղային լամպ. նախնական, բաց՝ անարգել միացումով | 58-78                        | 8.5-11.4%              |
|                      | UHP – սնդիկի գոլորշիով՝ գեր բարձր ճնշման աղեղային լամպ. արտադրողի կողմից մակնշված, արտացոլիչով | 30-50                        | 4.4-7.3%               |
| Գազապարպման          | 1400 Վտ ծծմբային լամպ                                                                          | 100                          | 15%                    |
|                      | Մետաղ-հալիդ լամպ                                                                               | 65-115                       | 9.5-17%                |
|                      | Բարձ ճնշման նատրիումային լամպ                                                                  | 85-150                       | 12-22%                 |
|                      | Ցածր ճնշման նատրիումային լամպ                                                                  | 100-200                      | 15-29%                 |
|                      | Պլազմային էկրանի վահանակ                                                                       | 2-10                         | 0.3-1.5%               |
| Իդեալական աղբյուրներ | սահմանափակված 5800 K սև մարմին                                                                 | 251                          | 37%                    |
|                      | 555 նմ երկարությամբ կանաչ լույս (հնարավոր առավելագույն լուսարգասիք)                            | 683.002                      | 100%                   |

**Correlated Color Temperature and Color Rendering Index** – as it has been mentioned, the CRI of various types of arc lamps can vary from really very good - almost 100 to negative values, summarized in Table 5.

**Կորելացված (փոխկապակցված) գունային ջերմաստիճան և գույնի վերարտադրության ցուցիչ.** Ինչպես արդեն նշվել է, տարատեսակ գազապարպման լամպերի ԳՎՑ-ը կարող է զգալիորեն տատանվել՝ գրեթե 100-ի հասնող արժեքներից, մինչև բացասականները, որոնք ամփոփված են Աղյուսակ 5-ում:

**Table 5.** Arc lightbulb CCT and CRI.Source: [https://en.wikipedia.org/wiki/Color\\_rendering\\_index](https://en.wikipedia.org/wiki/Color_rendering_index)

| Light source                        | CCT (K) | CRI |
|-------------------------------------|---------|-----|
| Low-pressure sodium (LPS/SOX)       | 1800    | -44 |
| Clear mercury-vapor                 | 6410    | 17  |
| High-pressure sodium (HPS/SON)      | 2100    | 24  |
| “White” SON                         | 2700    | 82  |
| Quartz metal halide                 | 4200    | 85  |
| Ceramic discharge metal-halide lamp | 5400    | 96  |
| Incandescent/halogen bulb           | 3200    | 100 |

Note the “-44” negative CRI value of the LPS lamp, and the 96 value of the ceramic discharge metal-halide lamp (Figure 25). Due to high CRI these xenon lamps are being used in so called sun simulators, that are used to measure the performance of solar panels (Figure 26).

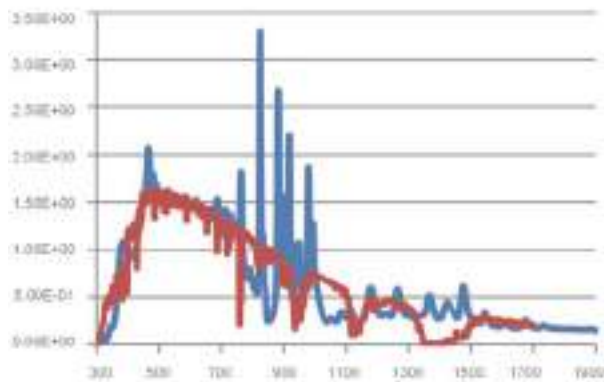
**Աղյուսակ 5.** Աղեղային լամպերի ԿԳՋ և ԳՎՑ.Աղբյուր՝ [https://en.wikipedia.org/wiki/Color\\_rendering\\_index](https://en.wikipedia.org/wiki/Color_rendering_index)

| Լույսի աղբյուր                       | ԿԳՋ, Կ | ԳՎՑ |
|--------------------------------------|--------|-----|
| Ցածր ճնշման նատրիումային (LPS/SOX)   | 1800   | -44 |
| Մնդիկի գոլորշիով, տաքանցիկ           | 6410   | 17  |
| Բարձր ճնշման նատրիումային (HPS/SON)  | 2100   | 24  |
| “Սպիտակ” SON                         | 2700   | 82  |
| Կվարցե մետաղ-հալիդ                   | 4200   | 85  |
| Պարպման մետաղ-Հալիդ կերամիկական լամպ | 5400   | 96  |
| Շիկացման /հալոգենային լամպ           | 3200   | 100 |

Ուշադրություն դարձրեք LPS լամպի ԳՎՑ «-44» բացասական արժեքին և պարպման մետաղ-հալիդ կերամիկական լամպի 96 արժեքին (Նկար 25): Բարձր ԳՎՑ-ի շնորհիվ այս քսենոնային լամպերը կիրառվում են այսպես կոչված արևային սիմուլյատորներում, որոնք օգտագործվում են արևային ֆոտովոլտայիկ վահանակների արդյունավետությունը (ՕԳԳ) չափելու համար (Նկար 26):

**Figure 26.** Abet Solar Simulator and its spectrum overlaid on solar spectrum.

Note: the typical arc IR spikes are hard to eliminate.

Source/Աղբյուր՝ <http://abet-technologies.com/solar-simulators/sun-3000-class-aaa/>

Նշում՝ Աղեղի ԻԿ փրայիկ սուր գագաթներին, որոնց ազդեցությունը դժվար է վերացնել:

Նկար 26. Abet Solar Simulator-ը և դրա՝ արևի սպեկտրի վրա համադրված սպեկտրը:

**Flicker index or Speed of reaction** – most of the arc lamps are not inert – e.g. they repeat rather well the alternating current amplitude, thus need to have a good AC-DC converter to prevent light from flickering. Lamps operated on magnetic ballasts have a flicker index between 0.04-0.07 while digital ballasts provide a flicker index of below 0.01.

**Start time, sec** - since the plasma needs igniting, then heating, this takes time, up to a few minutes.

**Power supply** – as it has been mentioned, the power supply has the function to ignite the arc.

**Ֆլիքը ցուցիչ կամ արձագանքի արագություն.** գազապարպման լամպերից շատերն իներտ չեն, օրինակ՝ դրանք բավականին լավ կրկնում են փոփոխական հոսանքի տատանումների ամպլիտուդը և այդ պատճառով՝ լույսի առկայծումից (թաթումներից) խուսափելու համար, դրանք անհրաժեշտ է համալրել լավ ՓՀ-ՀՀ փոխարկիչով: Մագնիսական բալաստով աշխատող լամպերի ֆլիքը ցուցիչը տատանվում է 0.04-0.07 միջակայքում, իսկ թվային սնուցիչով աշխատողների ֆլիքը ցուցիչը 0.01-ից ցածր է:

**Միացման տևողությունը՝ վայրկյան.** քանի որ պլազման սկզբում պետք է բռնկվի, հետո տաքանա, ապա դրա համար անհրաժեշտ է մինչև մի քանի րոպե ժամանակ:

**Սնուցիչ.** ինչպես արդեն նշվել է, սնուցիչի ֆունկցի-

For this purpose either heating of the gas mixture or a high voltage pulse of 20 to 50 kV is needed, while the DC current for its operation is rather low and needs to have little or no pulsation – still a challenge. The operating current e.g. for a 450W lamp is 25 Amps and the working voltage is 18 volts. Importantly, all gas discharge lamps have negative resistance – i.e. with higher current through arc the voltage decreases on the electrodes – meaning that if the voltage is kept constant on electrodes, the current rises to the level that the temperature melts down the electrodes or the bulb cracks. For this purpose, the power supply needs to limit the current. Either inductive or electronic ballasts could do this. These power supplies again usually have efficiency of around 90% or more, and are lesser expensive with lower efficiencies, and are more efficient if these are electronic ballasts.

**Optics** – similar to the incandescent lightbulbs, their optics could be rather flexible and only limited by the requirements for effectively dissipating the heat. Importantly, since the arc itself is smaller than tungsten filament in the incandescent lightbulbs, arc lamps can be used with more precise optics and provide brighter option for e.g. searchlights, projection, etc.

**Operational temperature, °C** - here all logic is rather similar to that of the incandescent lightbulbs. The arc itself heats up to several thousand degrees of C, while the lightbulb reaches up to 500 °C. In the most of the cases these lamps need several minutes to cool down to be able again switch them on. This time is called *restrike time*. For use in projectors, a fan is necessary to prevent overheating of the lightbulb and surrounding components.

**Mounting type, most common** – again, there is a variety of connection bases for arc discharge lightbulbs – due to the temperature requirement, in general they are different for various types, as illustrated in Figure 27.

**Longevity/degradation, hours** – pure xenon arc lamps have even shorter lifetimes of 500 – 1500 hours compared to incandescent lightbulbs. Again, their lifetime depends on the current that flows via arc during the operation, as shown in Figure 28. However, the LPS and HPS have up to 24 000-hour lifetime – one of the longest lasting lightbulbs!

**Price - for 100 W, US\$ 24 – 120.**

Table 6 summarizes discharge lamp related information.

ան է՝ բռնկել աղեղը: Դրա համար պետք է կամ տաքացնել գազի խառնուրդը, կամ հաղորդել բարձր լարման՝ 20-ից մինչև 50 կՎ իմպուլս, մինչդեռ աշխատանքային հոսանքը բավականին ցածր է և այն պետք է ունենա փոքր կամ կամ գրոյական թրթռում, որին հասնելը խնդիր է: Աշխատանքային հոսանքը, օրինակ՝ 450Վտ լամպի համար 25 ամպեր է և աշխատանքային լարումը՝ 18 վոլտ: Կարևոր է հիշել, որ բոլոր գազապարպման լամպերի դիմադրությունը բացասական է, այսինքն՝ եթե աղեղի միջով անցնող հոսանքը բարձրանում է, ապա էլեկտրոդների վրա լարումն ընկնում է, ինչը նշանակում է, որ եթե էլեկտրոդների վրա լարումն մնա հաստատուն, ապա հոսանքը բարձրանում է մինչև այն մակարդակը, որ այդ ջերմաստիճանում հալվում են էլեկտրոդները կամ լամպը պայթում է: Այդ իսկ պատճառով սնուցիչը պետք է սահմանափակի հոսանքը: Դրան կարելի է հասնել կամ ինդուկտիվ, կամ էլեկտրոնային սնուցիչների միջոցով: Այդ սնուցիչների ՕԳԳ-ը սովորաբար լինում է շուրջ 90% կամ դրանից բարձր և, եթե ՕԳԳ-ը ցածր է, ապա դրանք ավելի էժան են:

**Օպտիկան.** շիկացման լամպերի նման, օպտիկայի նկատմամբ պահանջները բավականին ճկուն են, սահմանափակվում են միայն ջերմությունը արդյունավետորեն ցրելու խնդրով: Կարևոր է նշել, որ աղեղը՝ շիկացման լամպերի վոլֆրամե թելիկից ավելի փոքր է: Այդ պատճառով, աղեղային լամպերը կարող են կիրառվել ավելի ճշգրիտ օպտիկայի հետ, օրինակ՝ լուսարձակների, պրոյեկտորների, և այլն, համար հանդիսանալով ավելի պայծառ լուծումներ:

**Աշխատանքային ջերմաստիճան, °C.** այստեղ տրամաբանությունը բավականին նման է շիկացման լամպերի տրամաբանությանը: Աղեղը տաքանում է մինչև մի քանի հազար աստիճան °C, իսկ լամպի արտաքին մակերևույթը՝ մինչև 500 °C: Շատ դեպքերում, մինչև դրանք կրկին անգամ միացնելը, այս լամպերին սառելու համար մի քանի րոպե ժամանակ է պետք: Այդ ժամանակը կոչվում է *վերագործարկման տևողություն*: Եթե դրանք կիրառվում են պրոյեկտորներում, ապա լամպը և դրա շուրջ գտնվող բաղադրիչները գերտաքացումից զերծ պահելու համար այնտեղ պարտադիր կերպով տեղադրվում է օդամղիչ:

**Ամենաարածված մոնտաժման ձևը.** առկա է աղեղային պարպման լամպերի միացման կոթառների լայն տեսականի՝ ջերմաստիճանի նկատմամբ պահանջներից ելնելով դրանք տարբեր են տարատեսակ լամպերի համար, ինչպես պատկերված է Նկար 27-ում:

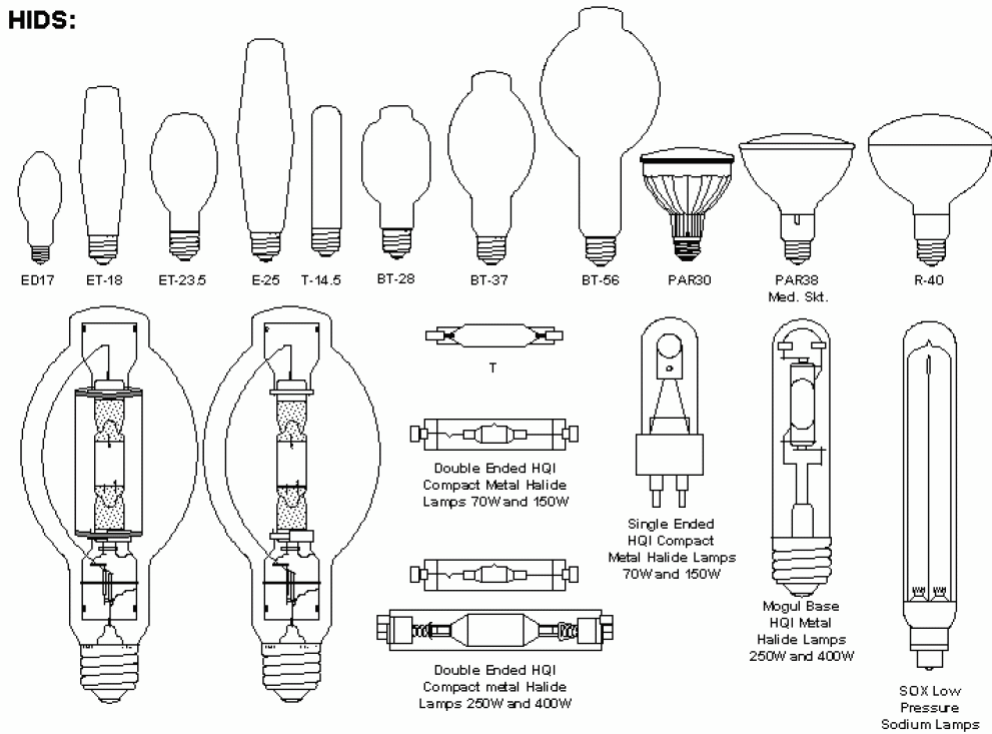
**Երկարակեցություն և դեգրադացիա՝ ժամ.** զուտ քսենոնային գազապարպման լամպերի ծառայության ժամկետը շիկացման լամպերի համեմատ նույնիսկ ավելի կարճ է՝ 500 – 1500 ժամ: Կրկին, ծառայության այդ ժամկետը կախված է շահագործման ընթացքում աղեղի միջով անցնող հոսանքից, ինչպես պատկերված է Նկար 28-ում: Այդուհանդերձ, LPS և HPS լամպերի շահագործման ժամկետը հասնում է մինչև 24000 ժամ, որը դրանց դասում է ամենաերկարակյաց լամպերի շարքին:

**Գինը՝ 100 Վտ, ԱՄՆ\$ 24 – 120:**

Աղյուսակ 6-ում բերված են պարպման լամպերի մասին ամփոփ տեղեկությունները:

Figure 27. Here for HIDs (i.e. most popular high intensity discharge lamps) the most used sockets.

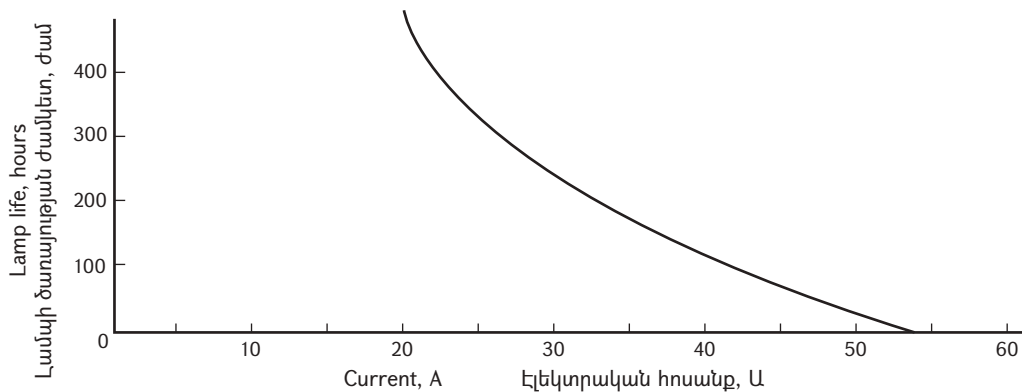
Source/Աղբյուրը՝ <http://warisanlighting.com/type-a-lamp.html>.



Նկար 27. HID (այսինքն՝ ամենատարածված բարձր ինտենսիվությամբ պարպման) լամպերի առավել կիրառվող կոթառների օրինակները

Figure 28. Lifetime of xenon arc lamps vs arc current.

Source/Աղբյուրը՝ <http://www.qsl.net/k/k0ff/Microscopes/UV%20Illumination/Course%204,%20Module%205,%20Arc-Lamp%20Power%20Supplies.htm>



Նկար 28. Քսենոնային գազապարպման լամպերի կյանքի տևողությունը՝ աղեղի հոսանքից կախված:

Table 6. Discharge lamps Summary table

| #   | Parameter name               | Value                                                                                | Note                                                                              |
|-----|------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| 1.  | Operational principle        | Avalanche discharge arcs.                                                            | SPD defined by the used gas properties.                                           |
| 2.  | Luminous efficacy, lm/W      | 30-200                                                                               | A substantial progress compared to incandescent lamps.                            |
| 3.  | Color Rendering Index        | -44÷96                                                                               | Worst with sodium, and some of the best with Ceramic discharge metal-halide lamps |
| 4.  | Speed of reaction            | milliseconds                                                                         | grid AC flicker prone                                                             |
| 5.  | Start time, sec              | 2-7 minutes, restrike needs cooling.                                                 | Related to mercury warm up into vapor.                                            |
| 6.  | Power supply                 | High voltage, up to 50 kV striker, high current operation at relatively low voltage. | High efficiency, virtually allows no dimming.                                     |
| 7.  | Optics                       | Restricted by arc and bulb size                                                      | Can be very small arc, like in LCD projectors or prolonged arc in sodium lamps.   |
| 8.  | Operational temperature, C°  | Up to 500 °C                                                                         | Needs special high temperature resistant sockets.                                 |
| 9.  | Mounting type, most common   | ED17, E25, double-ended HQI and others.                                              | Most common for street lighting                                                   |
| 10. | Longevity/degradation, hours | 24000 max                                                                            | One of longest                                                                    |
| 11. | Price, for 100 W, US\$       | 24 and up                                                                            | Relatively inexpensive for the power provided.                                    |

Աղյուսակ 6. Պարպման լամպերի ամփոփիչ աղյուսակ

| #   | Պարամետրի անվանումը                | Արժեքը                                                                    | Նշումներ                                                                                        |
|-----|------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1.  | Աշխատանքի սկզբունքը                | Պարպման հեղեղով աղեղներ                                                   | ՀՄԲ-ը պայմանավորված է կիրառվող գազի հատկանիշներով                                               |
| 2.  | Լուսարգասիք, լմ/Վտ                 | 30-200                                                                    | շիկացման լամպերի համեմատ էական առաջընթաց է                                                      |
| 3.  | Գույնի վերարտադրության ցուցիչ,     | -44÷96                                                                    | նատրիումային ամենավատն է, իսկ լավագույններն են մետաղահալոգենային պարպման կերամիկական լամպերը    |
| 4.  | Արձագանքի արագություն              | միլիվայրկյան                                                              | ցանցի AC ֆիքերի նկատմամբ զգայուն է                                                              |
| 5.  | Միացման տևողությունը, վայրկյան     | 2-7 րոպե, վերագործարկելիս անհրաժեշտ է սառեցնել                            | սնդիկը պետք է տաքանա մինչև գոլորշիացման աստիճանը.                                               |
| 6.  | Սնուցիչ                            | բարձր լարում՝ մինչ 50 կՎ բռնկիչ, համեմատաբար ցածր լարման տակ բարձր հոսանք | բարձր արդյունավետություն, փաստորեն լույսի ուժգնության կարգավորում թույլ չի տալիս                |
| 7.  | Օպտիկա                             | սահմանափակումները վերաբերում են միայն աղեղի և լամպի անոթի չափերին         | կարող է լինել շատ փոքր աղեղ՝ ինչպես LCD պրոյեկտորներում, կամ ձգված աղեղ՝ նատրիումային լամպերում |
| 8.  | Աշխատանքային ջերմաստիճան, C°       | մինչև 500 °C                                                              | պահանջում է բարձր ջերմադիմացկունությամբ հատուկ կոթառներ                                         |
| 9.  | Ամենատարածված մոնտաժման ձևը,       | ED17, E25, երկծայր HQI կամ այլ                                            | ամենատարածվածն են փողոցային լուսավորության համար                                                |
| 10. | Երկարակեցություն և դեգրադացիա, ժամ | առավելագույնը՝ 24000                                                      | ամենաերկարակյացներից մեկն է                                                                     |
| 11. | Գինը, 100 Վտ/ԱՄՆ դ                 | 24 և բարձր                                                                | համեմատաբար էժան է մատակարարվող բարձր հզորության դիմաց                                          |

#### 4. Linear and compact fluorescent lamps (CFL) and their ballasts – neon lights, photoluminescence and its spectrum, peculiarities – mercury and UV radiation

Here our categorization is following. In this section we consider lamps that are also operating on the discharge principle, however, their common use cannot be characterized as “high intensity”. E.g., the neon lamps used commonly in the colourful advertisements are not for the lighting purposes, but for the colors that they allow to shape through lights (Figure 29).

#### 4. Գծային և կոմպակտ լյումինեսցենտային լամպերը (CFL) և նրանց սնուցման աղբյուրները՝ նեոնային լույսեր, ֆոտոլյումինեսցենցիայի սպեկտրը, առանձնահատկությունները, սնդիկը և ՈւՄ ճառագայթումը

Այս գլխում դիտարկվում են լամպեր, որոնք նույնպես աշխատում են պարպման սկզբունքով, սակայն դրանց ընդհանուր օգտագործումը չի կարելի բնութագրել որպես «բարձր ինտենսիվության»: Օրինակ, խայտաբղետ գովազդների համար սովորաբար օգտագործվող նեոնային լույսերը չեն կիրառվում լուսավորության համար, այլ դրանց միջոցով ստանում են գունավոր լուսային ուրվագծեր և պատկերներ (Նկար 29):

Figure 29. Colorful ad lights in Pattaya, Thailand.

Source/Աղբյուր՝ [https://hawkebackpacking.com/thailand\\_pattaya.html](https://hawkebackpacking.com/thailand_pattaya.html)



Նկար 29. Խայտաբղետ գովազդային լույսեր, Պատայա, Թաիլանդ:

For a very long time fluorescent, or luminescent lighting has been the more efficient alternative to the incandescent lightbulbs, that were mostly used in industrial, commercial areas and offices (Figure 30).

Շատ երկար ժամանակ շիկացման լամպերի առավել արդյունավետ այլընտրանք են ծառայել լյումինեսցենտային լամպերը, որոնք հիմնականում օգտագործվում են արտադրական, առևտրային և գրասենյակային տարածքներում (Նկար 30):

Figure 30. Fluorescent lighting in offices.



Նկար 30. Լյումինեսցենտային լամպերը գրասենյակներում:

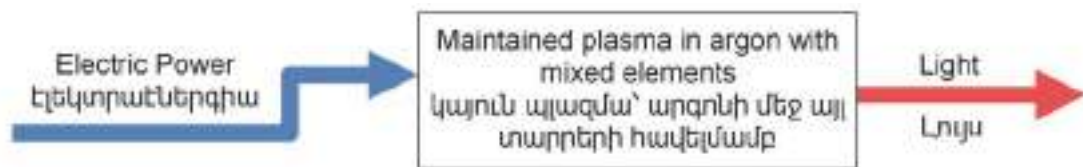
The glowing of air that is rarefied under low pressure through discharge of static electricity has been observed first in 1675 by French astronomer Jean-Felix Picard. He observed that the empty space in his mercury barometer glowed as the mercury jiggled while he was carrying the barometer (Barometric light, n.d.).

**Operational Principle** - Just the same as the arc lamps described in the previous section, Figure 31. Bounces between the ionised molecules and electrons caused by the electric field maintains the plasma, which emits radiation. The color of the radiation depends on which other gas is mixed to neon. E.g. mixing *hydrogen* adds *red*, *helium* adds *yellow*, *carbon dioxide* – *white*, and *mercury* – *blue*.

Ցածր ճնշման պայմաններում նոսր օդի ստատիկ էլեկտրականության պարպման միջոցով ստացված փայլատակումն առաջին անգամ նկատել է 1675թ-ին ֆրանսիացի աստղագետ Ժան-Ֆելիքս Պիկարը: Նա նկատել էր, որ բարոմետրով քայլելիս սնդիկը վեր-ու-վար էր անում և բարոմետրի դատարկ տարածքը փայլեր է արձակում:

**Աշխատանքի սկզբունքը.** Նույնն է, ինչ նախորդ գլխում նկարագրված գազապարպման լամպերի օրինակում՝ Նկար 31: Էլեկտրական դաշտի իոնիզացված մոլեկուլների և էլեկտրոնների միջև բախումների արդյունքում պահպանվում է ճառագայթող պլազման: Ճառագայթման գույնը պայմանավորված է նեոնին խառնված գազի տեսակից: Օրինակ՝ ջրածին խառնելու դեպքում ավելանում է կարմիր, հելիումի դեպքում՝ դեղին, ածխածնի երկօքսիդի՝ սպիտակ իսկ սնդիկի դեպքում՝ երկնագույն:

Figure 31. Discharge lamp operation.



Նկար 31. Պարպման լամպի աշխատանքը

At the same time, the fluorescent lightbulb operation is due to the fact that plasma with mercury vapor in rarefied argon emits rather intensive UV radiation at wavelengths of 253.7 and 185 nm, which is used to instigate effective photoluminescence (PL) in the luminophore (phosphor) that internally coats the lightbulb, and this arrangement is more efficient. Block diagram illustrates this sequence in Figure 32, and the construction of the lamp is shown in Figure 33. Here ignition mechanism should be employed (see below).

Միևնույն ժամանակ լյումինեսցենտային լամպի աշխատանքը հիմնված է սնդիկի գոլորշիների առկայությամբ նոսրացրած արգոնի միջավայրում ստեղծված պլազմայի կողմից բավականին ինտենսիվ՝ 253,7 և 185 նմ երկարությամբ ալիքներով ՈւՄ ճառագայթների արձակման երևույթի վրա: Այդ ճառագայթները օգտագործվում են լամպի ներքին մակերեսը պատող լյումինոֆորում (ֆոսֆոր) արդյունավետ ֆոտոլյումինեսցենցիա (ՖԼ) ստանալու համար: Բլոկ սխեմայում պատկերված է այդ հերթականությունը, տես՝ Նկար 32, և լամպերի կառուցվածքը տես՝ Նկար 33: Սակայն աշխատանքի այս սկզբունքը իրականացնելու համար անհրաժեշտ է բռնկման մեխանիզմ (տես՝ ստորև):

Figure 32. Fluorescent lamp operation.

**Note:** Electric power generates plasma that emits UV radiation, which later is converted into white visible light via photoluminescence (PL) phenomenon.

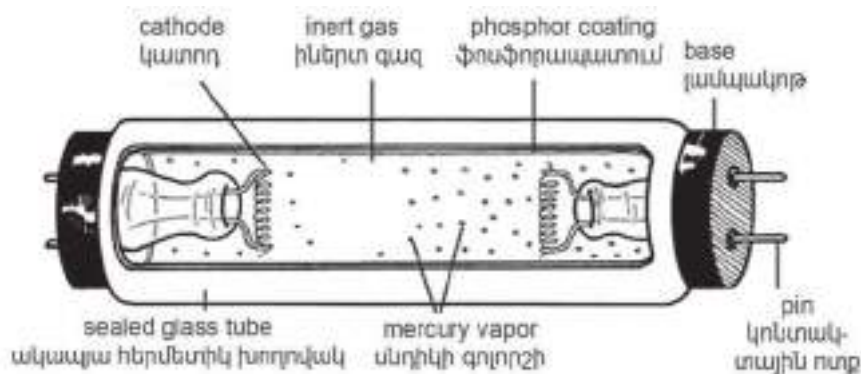


**Լշում.** Էլեկտրական էներգիան պլազմայի միջոցով գեներացնում է ՈւՄ ճառագայթում, որը ֆոտոլյումինեսցենցիա (ՖԼ) երևույթի միջոցով փոխակերպվում է սպիտակ, տեսանելի լույսի:

Նկար 32. Լյումինեսցենտային լամպի աշխատանքը:

Figure 33. Fluorescent lightbulb construction and operation.

Source/Աղբյուրը՝ <http://www.dictionary.com/browse/fluorescent-lamp>



Նկար 33. Լյումինեսցենտային լամպի կառուցվածքը և աշխատանքը:

**Luminous efficacy, lm/W** – around 50–100 lm/W, which a few times exceed the efficacy of incandescent lightbulbs for general use. Table 7 gives more details for various types of fluorescent bulbs.

**Լուսարգասիք՝ լմ/Վտ.** շուրջ 50–100 լմ/Վտ, որը մի քանի անգամ գերազանցում է սովորական շիկացման լամպերի արգասիքը: Աղյուսակ 7-ում բերվում են տարատեսակ լյումինեսցենտային լամպերի լուսարգասիքները:

Table 7. Efficacy and efficiency of fluorescent lightbulbs.

Source: [https://en.wikipedia.org/wiki/Luminous\\_efficacy](https://en.wikipedia.org/wiki/Luminous_efficacy)

| Category Type                                                                                           | Overall luminous efficacy (lm/W) | Overall luminous efficiency |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|
| Very low pressure mercury-vapor gas-discharge lamp with fluorescence as T12 tube, with magnetic ballast | 60                               | 9%                          |
| 9–32 W compact fluorescent (with ballast)                                                               | 46–75                            | 8–11.45%                    |
| T8 tube with electronic ballast                                                                         | 80–100                           | 12–15%                      |
| PL-S 11 W U-tube, excluding ballast loss                                                                | 82                               | 12%                         |
| T5 tube                                                                                                 | 70–104                           | 10–15.63%                   |
| 70-150 W Inductively Coupled Electrodeless Lighting System                                              | 71-84                            | 10-12%                      |

Աղյուսակ 7. Լյումինեսցենտային լամպերի արգասիքը և օ.գ.գ. -ը:

Աղբյուր՝ [https://en.wikipedia.org/wiki/Luminous\\_efficacy](https://en.wikipedia.org/wiki/Luminous_efficacy)

| Դասակարգման տեսակը                                                                                          | Ընդհանուր լուսարգասիք (լմ/Վտ) | Ընդհանուր լուսային օգգ |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|------------------------|
| Սնդիկի գոլորշիով շատ ցածր ճնշման գազապարպման լամպ՝ լյումինեսցենցիայով, T12 խողովակածև, մագնիսական սնուցիչով | 60                            | 9%                     |
| 9–32 Վտ կոմպակտ լյումինեսցենտային (սնման աղբյուրով)                                                         | 46–75                         | 8–11%                  |
| T8 խողովակածև՝ էլեկտրոնային սնուցիչով                                                                       | 80–100                        | 12–15%                 |
| PL-S 11 Վտ U-խողովակ, չհաշված սնուցիչի կորուստները                                                          | 82                            | 12%                    |
| T5 խողովակածև                                                                                               | 70–104                        | 10–16%                 |
| 70-150 Վտ ինդուկցիոն՝ առանց էլեկտրոդների լուսավորման համակարգ                                               | 71-84                         | 10-12%                 |

**Correlated Color Temperature and Color Rendering Index** – the CRI is not very high with this technology; only *tri-phosphor cool-white fluorescent lightbulb* provides good enough color rendering (Table 8).

**Table 8.** CCT and CRI for fluorescent lightbulbs

Source: [https://en.wikipedia.org/wiki/Color\\_rendering\\_index](https://en.wikipedia.org/wiki/Color_rendering_index)

| Light source                            | CCT (K) | CRI |
|-----------------------------------------|---------|-----|
| Coated mercury-vapor                    | 3600    | 49  |
| Halophosphate warm-white fluorescent    | 2940    | 51  |
| Halophosphate cool-white fluorescent    | 4230    | 64  |
| Tri-phosphor cool-white fluorescent     | 4080    | 89  |
| Tri-phosphor warm-white fluorescent     | 2940    | 73  |
| Halophosphate cool-daylight fluorescent | 6430    | 76  |
| Incandescent/halogen bulb               | 3200    | 100 |

The usual *metameric failure* is a classic case with this lightbulb – many of us have experienced the fact that a purchase of a cloth element in a shop lit by fluorescent lighting appears to have very different color at daylight or under incandescent lighting. Naturally, this phenomenon is due to the SPD of the fluorescent light bulb, shown in Figure 34. One can immediately tell that this spiky spectral power distribution is going to have color rendering problems, despite of the overall white light perception from the lightbulb.

**Կորելացված (փոխկապակցված) գունային ջերմաստիճան և գույնի վերարտադրության ցուցիչ.** Այս տեխնոլոգիան շատ բարձր ԳՎՏ չի ապահովում, բավականին լավ գույնի վերարտադրություն ունի միայն եռաֆոսֆոր սպիտակ լույսի լյումինեսցենտային լամպը (Աղյուսակ 8):

**Աղյուսակ 8.** Լյումինեսցենտային լամպերի ԿԳՋ-ը (CCT) և ԳՎՏ -ը (CRI)

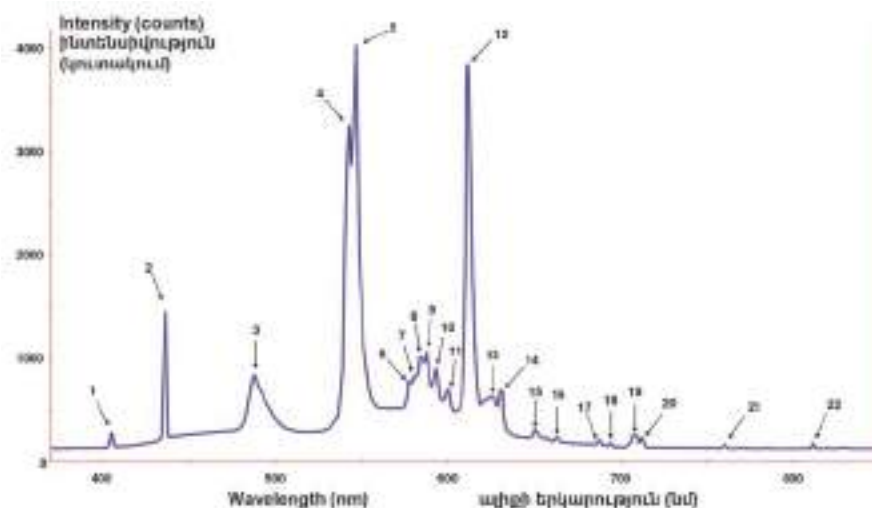
Աղբյուրը՝ [https://en.wikipedia.org/wiki/Color\\_rendering\\_index](https://en.wikipedia.org/wiki/Color_rendering_index)

| Լույսի աղբյուր                                         | ԿԳՋ, Կ | ԳՎՏ |
|--------------------------------------------------------|--------|-----|
| Պատված, սնդիկի գոլորշիով                               | 3600   | 49  |
| Հալոֆոսֆատային ջերմ-սպիտակ լյումինեսցենտային           | 2940   | 51  |
| Հալոֆոսֆատային սառը-սպիտակ լյումինեսցենտային           | 4230   | 64  |
| Եռաֆոսֆոր սառը-սպիտակ լյումինեսցենտային                | 4080   | 89  |
| Եռաֆոսֆոր ջերմ-սպիտակ լյումինեսցենտային                | 2940   | 73  |
| Հալոֆոսֆատային սառը-ցերեկային լույսի լյումինեսցենտային | 6430   | 76  |
| Շիկացման /հալոգենային լամպ                             | 3200   | 100 |

Այս լամպերում պարզ *մետամերիկ սխալը* դասական երևույթ է: Լյումինեսցենտային լամպերով լուսավորված խանութում հագուստի գնումներ կատարելիս մեզանից շատերը կանգնում են այն փաստի առաջ, երբ պարզում է, որ գնված ապրանքի գույնը ցերեկային լույսի կամ շիկացման լամպի լույսի տակ շատ է տարբերվում սպասվածից: Բնականաբար, այս երևույթը պայմանավորված է լյումինեսցենտային լամպի լույսի ՀՍԲ-ով, տես՝ Նկար 34: Կարելի է անմիջապես նկատել, որ չնայած լամպից եկող սպիտակ լույսի ընդհանուր ընկալմանը՝ հզորության սպեկտրալ այդպիսի սրածայր բաշխումը գույնի վերարտադրության խնդիրներ է առաջացնելու:

**Figure 34.** Typical fluorescent lamp with rare earth phosphor

Source/Աղբյուրը՝ [https://en.wikipedia.org/wiki/Fluorescent\\_lamp](https://en.wikipedia.org/wiki/Fluorescent_lamp)



**Նկար 34.** Հազվագյուտ երկրային քիմիական փոքրեր պարունակող ֆոսֆորի լյումինոֆորով փոպիկ լյումինեսցենտային լամպ:

**Flicker index or Speed of reaction** – due to the fast response of the arc in the neon or fluorescent lightbulbs to the input voltage variations, these lightbulbs have flicker (Figure 35) corresponding to the frequency of the alternating power of the grid. Depending on the type of the ballast, i.e. the power supply, there are several solutions - see below for some of them. An easy solution is to place two long lightbulbs inside the semitransparent encasement in an opposite phase connection, so that they compensate the flicker of each other. In general, this flicker creates problems for e.g. video recording that is taking place at frame rates of 24-30 frames per second. Often a frequency “beating” effect is observed if the flicker is not well enough managed.

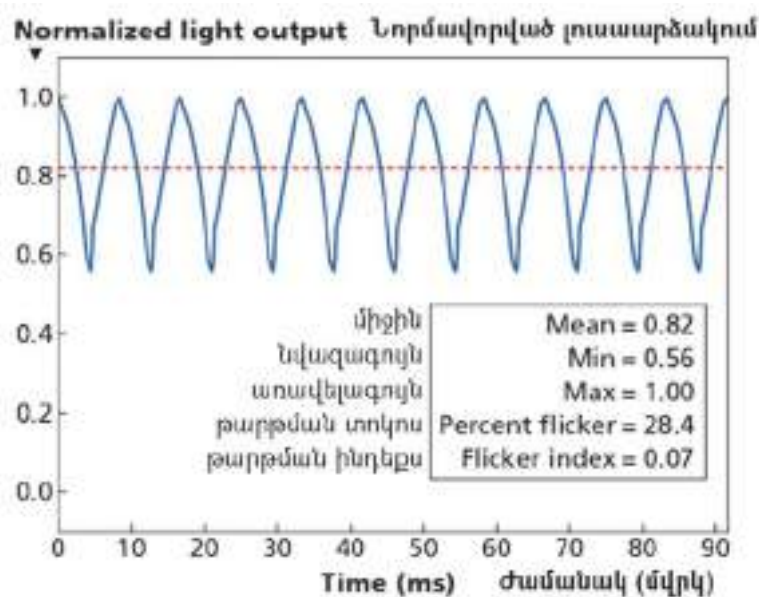
**Start time, sec** – start time of these lamps again depend on the type of the ballast, ranging from fractions of the second with electronic ballasts, to a few seconds with “electromagnetic” ballasts. However, these lightbulbs reach their optimum output after certain warm-up time that may take up to several minutes – at optimally higher temperatures the plasma is more actively emitting the UV that converts to visible light on the phosphor coating.

**Ֆլիքր ցուցիչ կամ արձագանքի արագություն.** նեոնային կամ լյումինեսցենտային լամպերում աղեղի՝ մուտքային լարման փոփոխություններին արագ արձագանքման պատճառով այս լամպերը թարթում են (Նկար 35) փոփոխական հոսանքի ցանցի հաճախությամբ (50 Հց): Կախված սնուցիչի տեսակից, մի շարք տեխնիկական լուծումներ են կիրառվում (դրանցից մի քանիսը տես ստորև): Հեշտ լուծումներից մեկը հետևյալն է. ֆազերի հակառակ միացումով երկու երկար լամպերը տեղադրվում են կիսաթափանցիկ պատյանի մեջ այնպես, որպեսզի մեկը կոմպենսացնի մյուսի թարթումը: Սովորաբար այդ թարթումը խնդիրներ է առաջացնում, օրինակ՝ տեսաձայնագրության ժամանակ, երբ նկարահանումը կատարվում է 24-30 կադր/վայրկյան արագությամբ: Շատ դեպքերում դիտվում է հաճախության «զարկերի» (բաբախումների) երևույթ, հատկապես, դասական «էլեկտրամագնիսական» սնուցիչներ օգտագործող լամպերում :

**Միացման տևողությունը՝ վայրկյան.** այս լամպերի միացման տևողությունը, կրկին, կախված է սնուցիչի տեսակից, որը տատանվում է՝ էլեկտրոնային սնուցիչների դեպքում՝ տասնորդական վայրկյանից մինչև մի քանի վայրկյանը՝ էլեկտրամագնիսական սնուցիչի դեպքում: Ի դեպ, այս լամպերը հասնում են իրենց օպտիմալ հզորությանը մի քանի րոպե անց, երբ լամպի մեջ գտնվող սնդիկը լրիվ գոլորշիանում է և պլազման ավելի ակտիվորեն է արձակում ՈւՄ ճառագայթներ, որոնք ֆոսֆորապատ մակերեսի վրա փոխակերպվում են տեսանելի լույսի:

Figure 35. High-frequency electronically-ballasted fluorescent lighting essentially eliminated flicker as a problem in such products.

Source/Աղբյուրը՝ [www.ledsmagazine.com/articles/print/volume-12/issue-11/features/flicker/understand-the-lighting-flicker-frustration.html](http://www.ledsmagazine.com/articles/print/volume-12/issue-11/features/flicker/understand-the-lighting-flicker-frustration.html)



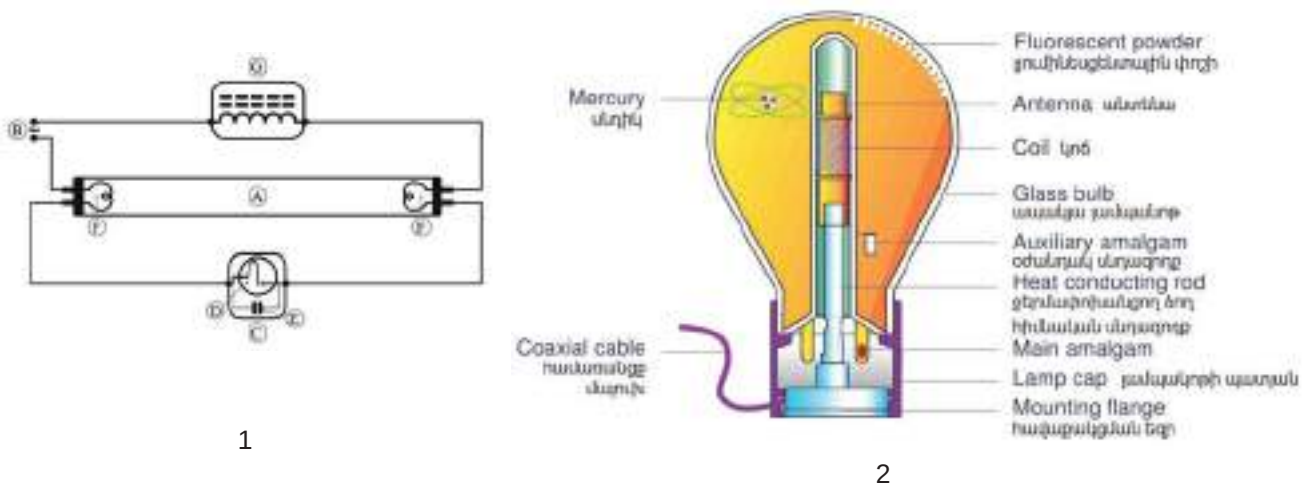
Նկար 35. Բարձր հաճախությամբ էլեկտրոնային սնուցիչի կիրառումը լյումինեսցենտային լամպերում էականորեն նվազեցնում է նման արտադրանքի համար խնդիր հանդիսացող ֆլիքր/թարթումները:

**Starter and Power supply** – Historically these lightbulbs were driven by electromagnetic ballasts as shown in Figure 36, a. Their function is to provide the initial striking voltage to start the arc. Certainly, this increases the cost of fluorescent light fixtures especially if the coil of the ballast is made of copper. However, one ballast is often shared between two or more lightbulbs. Figure 36, b shows the lightbulb, where most modern induction starting principle is used.

**Սղարսեր և սնուցիչ.** այս լամպերը պատմականորեն աշխատել են էլեկտրամագնիսական սնուցիչներով, ինչպես պատկերված է Նկար 36, ա-ում: Դրանց ֆունկցիան նախնական միացնող լարում ապահովելն է աղեղի աշխատանքը սկսելու համար: Անշուշտ սա բարձրացնում է լյումինեսցենտային լամպերով լուսավորման համակարգի արժեքը, հատկապես, եթե սնուցիչի կոճի գալարները պատրաստված են պղնձից: Սակայն մեկ սնուցիչը հաճախ ծառայում է երկու կամ ավելի լամպերին: Նկար 36, բ-ում ցույց է տրված ամենաժամանակակից ինդուկցիոն ստարտերով լամպը:

**Figure 36.** 1. Old style electromagnetic ballast schematic: a preheat fluorescent lamp circuit using an automatic starting switch. A: Fluorescent tube, B: Power (+220 volt), C: Starter, D: Switch (bi-metallic thermostat), E: Capacitor, F: Filaments, G: Ballast; 2. the most modern induction ignition principle

Source/Աղբյուրը՝ [https://en.wikipedia.org/wiki/Fluorescent\\_lamp](https://en.wikipedia.org/wiki/Fluorescent_lamp); [www.studyelectrical.com](http://www.studyelectrical.com), <http://www.slideshare.net/ClaudioPineda/cree-gen-ltg-training>



**Նկար 36.** 1. Նախկինում կիրառվող էլեկտրամագնիսական սնուցիչի սխեմատիկ պատկերը. միացման ավտոմատացված սղարսերով աշխատող՝ նախապես տաքացող լյումինեսցենտային լամպի շղթան, Ա. լյումինեսցենտային խողովակ, Բ. լարումը ( $\approx 220$  վոլտ), Գ. սղարսեր, Դ. անջարիչ (երկմետաղական թերմոստատ), Ե. կոնդենսատոր /կուլակիչ/, Զ. շիկացման թելիկներ, Է. բալաստ (սնուցիչ), 2. ինդուկցիոն թոնկման ամենաժամանակակից սկզբունքը

Due to the coil, electromagnetic ballasts with almost any minor fault usually produce an audible vibration, which resonates into a buzzing noise. Magnetic ballasts usually have a filling with a tar-like compound to reduce the noise – this compound sometimes has a habit to melt and drip down to the floor. Energy loss in the magnetic ballasts estimated to be around 10% of the lamp input power.

To eliminate the hum, and to simplify the striking, electronic ballasts are used that use high frequency generator, which also have lesser loss compared to electromagnetic ballasts, are smaller and lesser expensive ([https://en.wikipedia.org/wiki/Fluorescent\\_lamp#Ballast](https://en.wikipedia.org/wiki/Fluorescent_lamp#Ballast)).

**Optics** – the neon or fluorescent lightbulbs in fact are mostly glass pipes that can attain all different forms. It is not easy to use these types as point sources, due to their prolonged nature, but they give a vast opportunity for one's imagination to produce various forms and curves. Figure 37 illustrates this.

Գրեթե ցանկացած մանր թերությամբ էլեկտրամագնիսական սնուցիչները՝ կոճի պատճառով սովորաբար լսելի թրթռոց՝ վիբրացիա են առաջացնում, որը ուղեկցվում է բզզացող աղմուկով: Աղմուկը նվազեցնելու համար մագնիսական սնուցիչները սովորաբար լցվում են խեժանման նյութով, որը երբեմն սովորություն ուներ հալվելու և գետնին կաթելու: Մագնիսական սնուցիչներում էներգիայի կորուստը կազմում է մոտքային էներգիայի շուրջ 10% -ը:

Բզզոցը վերացնելու և միացումը պարզեցնելու համար բարձր հաճախության գեներատորով էլեկտրոնային սնուցիչներ են կիրառվում, որոնք էլեկտրամագնիսական սնուցիչների համեմատ ավելի քիչ կորուստներ ունեն, ծավալով ավելի փոքր են և ավելի էժան ([https://en.wikipedia.org/wiki/Fluorescent\\_lamp#Ballast](https://en.wikipedia.org/wiki/Fluorescent_lamp#Ballast)):

**Օպտիկա.** նեոնային կամ լյումինեսցենտային լամպերը հիմնականում ապակե խողովակներ են, որոնք կարող են ընդունել տարբեր ձևեր: Ելնելով դրանց երկարեցված լինելուց, դժվար է դրանք՝ որպես փնջային լույսի աղբյուր օգտագործել, սակայն զանազան ձևերի և կորերի ստեղծման համար դրանք ընձեռում են մեծ հնարավորություններ, Նկար 37:

**Figure 37.** Variety of fluorescent (including compact) lightbulb shapes and sizes.

Source/Աղբյուրը՝ <https://www.e-education.psu.edu/egee102/node/2047>, <http://jedavu.tumblr.com/post/92556238216/stunning-light-sculptures-reveal-our-culture>



**Նկար 37.** Լյումինեսցենսային (այդ թվում՝ կոմպակտ) լամպերի բազմաթիվ ձևերի և չափերի օրինակներ:

**Operational temperature, °C** – These type of light sources are also called cold lights, thus their operational temperature is usually around 40-50 °C. As mentioned above, at higher than the room temperatures the plasma is more actively emitting the UV that converts to visible light on the phosphor coating. This temperature is providing optimal evaporation, thus the partial pressure of the mercury inside the lamp. Overall, colder than e.g. incandescent lightbulbs' temperature provide less stringent requirements for the fixture materials. One requirement is related to outdoor operation – transparent encasement provides higher temperatures, means more efficient operation during the cold time of the year, since cold temperature hinders the mercury evaporation. Due to the same reason, these lightbulbs perform poorly at windy conditions.

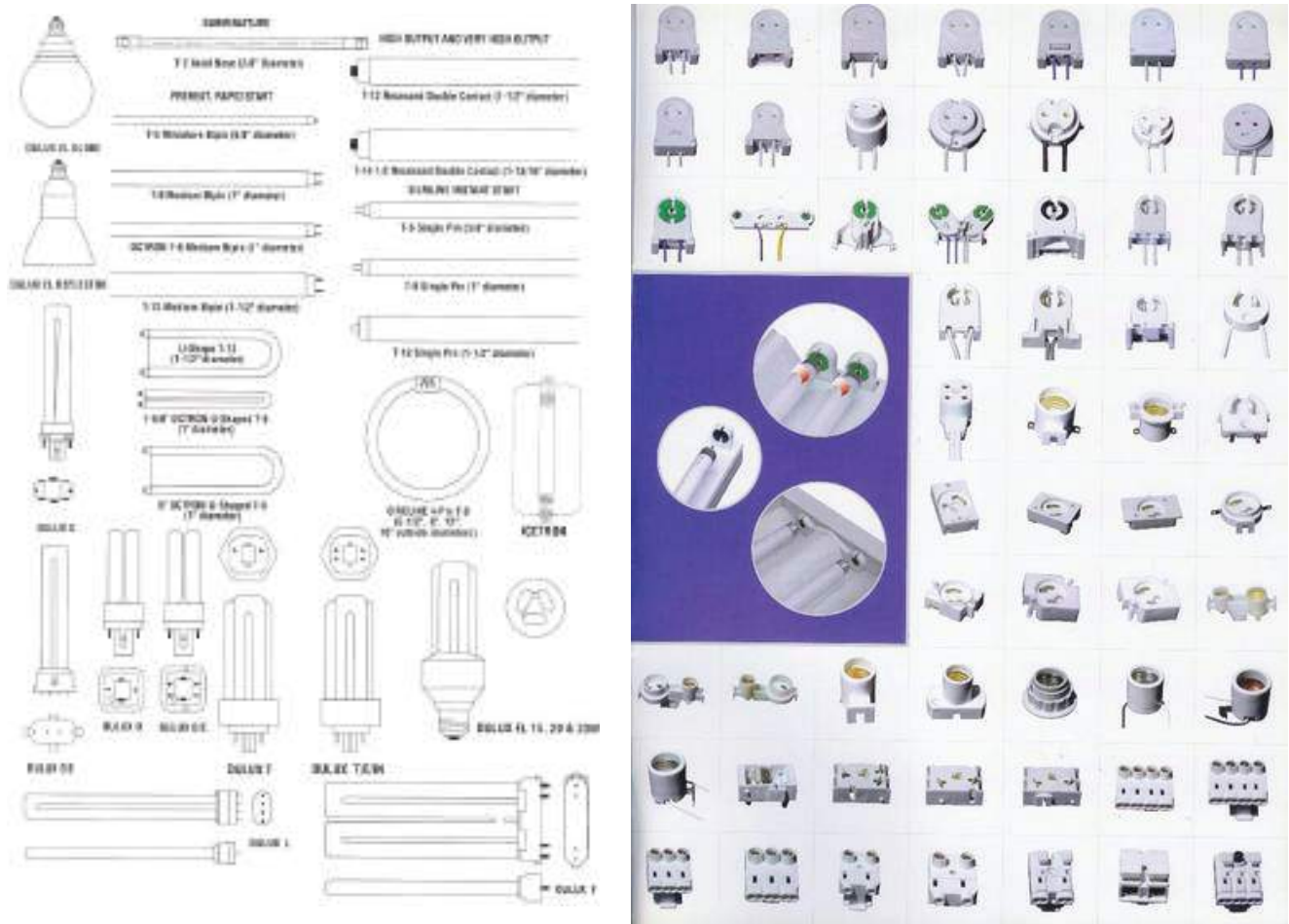
**Mounting type, most common** – Figure 38 shows the various types of sockets, however most common remain the T12 and T14 as well as E40 and E12 standards that are also used for incandescent lightbulbs.

**Աշխատանքային ջերմաստիճան, °C.** այս տեսակի լույսի աղբյուրները նաև կոչվում են սառը լույսեր, քանի որ աշխատանքային ջերմաստիճանը մոտ 40-50 °C է: Այդ ջերմաստիճանը լավագույն գոլորշիացումն է ապահովում սնդիկի համար, և լամպի ներսում առաջացնում է նրա մասնակի ճնշում: Այն ամբողջությամբ ավելի սառն է, քան, ասենք՝ շիկացման լամպերը և ջերմաստիճանի ու լուսավորման համակարգի նյութերի նկատմամբ ավելի մեղմ պահանջներ է դնում: Այս լամպերի շահագործման համար միջավայրի ջերմաստիճանը 15 – 40 °C է՝ օպտիմալը 20 – 25 °C: Բացի հատուկ նախագծված լամպերից, սրանք դուրսը չեն օգտագործվում, քանի որ ցածր ջերմաստիճանում սնդիկի գոլորշիացումը վատանում է և լամպը չի բռնկվում: Նույն պատճառով այս լամպերը վախենում են քամուց:

**Ամենատարածված մոնտաժման ձևը.** Նկար 38-ը պատկերում են կոթառների տարբեր տեսակները, սակայն ամենատարածվածները E40, E27, E14, T12 և T14 ստանդարտներն են

Figure 38. Various mounting standards and sockets for fluorescent lightbulbs.

Source/Աղբյուրը՝ [http://www.elightbulbs.com/catalog\\_search\\_help\\_fluorescent\\_bulb\\_base\\_types.cfm](http://www.elightbulbs.com/catalog_search_help_fluorescent_bulb_base_types.cfm), [http://www.seoultrademall.com/co/standarde/Lamp\\_Holder\\_Socket\\_Fluorescent\\_Starter--681926.html](http://www.seoultrademall.com/co/standarde/Lamp_Holder_Socket_Fluorescent_Starter--681926.html)



Նկար 38. Լյումինեսցենտային լամպերի մոնտաժման զանազան ստանդարտներն ու կոթառների տեսակները:

**Longevity/degradation, hours** – The fluorescent various lamps longevities are 8-15 times more compared with incandescent lamps, making 8000 – 25000 hours of service. The champion here is the so called cold cathode compact fluorescent light, with up to 50000 hours of service time – which is expected, since these lightbulbs do not have ignition filaments, but the striking is provided by much higher ignition voltage (Figure 39). However, these lamps have efficiency that is lesser compared to other CFL-s by a factor of two.

**Երկարակեցություն և դեգրադացիա՝ ժամ.** Լյումինեսցենտային լամպերի երկարակեցությունը շիկացման լամպերի համեմատ 8-15 անգամ ավելի երկար է հասնելով 8000 – 25000 ժամի: Այստեղ առաջատարն այսպես կոչված սառը կաթոդային կոմպակտ լյումինեսցենտային լամպն է, որը ծառայում է մինչև 50000 ժամ, ինչը սպասելի է, քանի որ այս լամպերը բռնկող շիկացման թելիկներ չունեն, այլ միացումն իրականացվում է բռնկման շատ ավելի բարձր լարման շնորհիվ, Նկար 39: Ամեն դեպքում այս լամպերի ՕԳԳ-ը երկու անգամ ավելի ցածր է, քան CFL-լամպերինը:

Figure 39. A cold-cathode CFL unlit (left) and illuminated (right)

Source/Աղբյուրը՝ [https://en.wikipedia.org/wiki/Compact\\_fluorescent\\_lamp#Cold-cathode\\_fluorescent\\_lamps](https://en.wikipedia.org/wiki/Compact_fluorescent_lamp#Cold-cathode_fluorescent_lamps)



Նկար 39. Սառը կաթոդային CFL լամպը՝ մինչև միացնելը (ձախից) և միացված վիճակում (աջից)

**Price, for 100 W, US\$** – The cost of CFL-s could be up to 10 times higher than the incandescent lamps, but due to their higher efficacy they provide substantial savings. Current price for a 100 W CFL is around \$12 (6000AMD). 23 W – made in China 800 AMD, Osram, Philips: 3000 AMD.

**Negatives:** Environmental issues and recycling – there are two negatives of CFL-s that are related to health and environment. The first one naturally is the mercury content in all fluorescent lightbulbs, usually 3–5 mg per bulb and 1 mg if the lightbulb is labelled “eco-friendly” 4. This imposes special requirements related to their disposal and recycling. These requirements prescribe to store the old lightbulbs unbroken for further recycling. This sector is in its initial stage of development in Armenia.

Ultraviolet (UV) radiation of CFL lamps is mostly not an issue if the bulbs are 1.5 m away from people. However, for those with sensitive skin, they may be a reason for enhanced irritation and cancer risk, especially in the UVA (so called “black light”, 315–400 nm) and UVC (100–280 nm) ranges. The UV exposure, especially if the light source is consistently in close vicinity of around 20 cm, exceeds the current workplace limit, set to protect from skin and retinal damage. However, overall the CFL use impact on climate change is positive due to decreased CO<sub>2</sub> emissions.

Table 9 summarizes linear and compact fluorescent lamp related information.

**Գինը՝ 100 Վտ/ ԱՄՆ դոլար.** CFL լամպերի արժեքը կարող է 10 անգամ գերազանցել շիկացման լամպերի գինը, սակայն դրանց ավելի բարձր արգասիքը ապահովում է զգալի խնայողություններ: Ներկայումս 100 Վտ CFL լամպն արժե մոտ \$12 (6000 ՀՀ դրամ): Չինականը 23 Վտ՝ 800 ՀՀԴ, Osram, Philips արտադրությամբ՝ 3000 ՀՀԴ:

**Բացասական կողմերը.** բնապահպանական խնդիրներ և վերամշակում. CFL լամպերն ունեն առողջությանը և շրջակա միջավայրին առնչվող երկու բացասական կողմ: Առաջինը, բնականաբար, բոլոր լյումինեսցենտային լամպերում սնդիկի պարունակությունն է՝ մեկ լամպում սովորաբար 3–5 մգ և «էկոլոգիապես անվտանգ» մակնշված լամպերում՝ 1 մգ: Այդ լամպերի արտազեղման և վերամշակման առումով այստեղ հատուկ պահանջներ են սահմանվում: Ըստ այդ պահանջների, գործածված լամպերը հետագա վերամշակման համար պետք է պահեստավորվեն առանց կոտրելու: ՀՀ-ում այս ոլորտն իր զարգացման սկզբնական փուլում է:

CFL լամպերի ուլտրամանուշակագույն (ՈւՄ) ճառագայթումը հիմնականում խնդիրներ չի առաջացնում, եթե լամպը գտնվում է մարդուց 1,5 մ հեռավորության վրա: Սակայն զգայուն մաշկ ունեցողների համար այն կարող է խիստ գրգռել մաշկը և քաղցկեղի վտանգ առաջացնել հատկապես ՈւՄ-A /UV-A/ (այսպես կոչված «սև լույսը», 315–400 նմ) և ՈւՄ-C /UVC/ (100–280 նմ) տիրույթում: ՈւՄ վտանգը հատկապես մեծանում է, երբ լույսի աղբյուրը շարունակաբար գտնվում է մոտ 20սմ հեռավորության վրա՝ գերազանցելով ներկայումս աշխատատեղի համար սահմանված՝ մաշկի և ցանցաթաղանթի պաշտպանության թույլատրելի սահմանը:

Աղյուսակ 9-ում բերվում է գծային և կոմպակտ լյումինեսցենտային լամպերի պարամետրերի ամփոփ տվյալները:

Table 9. Discharge lamps Summary table

| #  | Parameter name          | Value                                                        | Note                                                                                                                             |
|----|-------------------------|--------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. | Operational principle   | Avalanche discharge arcs, photoluminescence.                 | SPD defined by the used gas and phosphor properties.                                                                             |
| 2. | Luminous efficacy, lm/W | 50-100                                                       | A substantial progress compared to incandescent lamps.                                                                           |
| 3. | Color Rendering Index   | 49÷89                                                        | Worst with regular mercury-vapor, and best with Tri-phosphor cool-white fluorescent lamps                                        |
| 4. | Speed of reaction       | milliseconds                                                 | grid AC flicker prone, frequency “beating” effect can be observed                                                                |
| 5. | Start time, sec         | 0.1÷10 seconds.                                              | Reaching to performance per specs is related to mercury warm up into vapor, which can be up to 10 minutes.                       |
| 6. | Power supply            | Mostly a striker, then operates at the grid voltage, or PWM. | High efficiency, virtually allows no dimming with electro magnetic ballast. But if with PWM can be dimmed easily if designed so. |
| 7. | Optics                  | Restricted by arc and bulb size                              | Allows any bending of the tube - during production                                                                               |

Table 9: Continued

| #   | Parameter name                | Value                         | Note                 |
|-----|-------------------------------|-------------------------------|----------------------|
| 8.  | Operational temperature, C°   | Up to 50 °C                   | Cool light           |
| 9.  | Mounting type, most common    | E27, E25, all tubular, DULUX. | A large variety      |
| 10. | Longevity/ degradation, hours | 8000 – 50000                  | One of longest       |
| 11. | Price, for 100 W, US\$        | 12                            | Relatively expensive |

## Աղյուսակ 9. Պարպման լամպերի ամփոփիչ աղյուսակ

| #   | Պարամետրի անվանումը                | Արժեքը                                                                                                                             | Նշում                                                                                                                                                                               |
|-----|------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1.  | Աշխատանքի սկզբունքը                | Պարպման հեղեղով աղեղներ, ֆոտոլյումինեսցենտային.                                                                                    | ՀՍԲ-ը պայմանավորված է կիրառվող գազի և ֆոսֆորի հատկություններով                                                                                                                      |
| 2.  | Լուսարգասիք, լմ/Վտ                 | 50-100                                                                                                                             | Շիկացման լամպերի համեմատ էական առաջընթաց է                                                                                                                                          |
| 3.  | Գույնի վերարտադրության ցուցիչ,     | 49÷89                                                                                                                              | Սովորական սնդիկի գոլորշիով՝ ամենավատն է, իսկ եռաֆոսֆոր սպիտակ լույսի լյումինեսցենտային լամպերինը լավագույններից մեկը                                                                |
| 4.  | Արձագանքի արագություն              | միլիվայրկյան                                                                                                                       | Ցանցի ՓՀ տատանումների նկատմամբ զգայուն է, կարող է դիտվել հաճախության «զարկերի» երևույթը                                                                                             |
| 5.  | Միացման տևողությունը, վայրկյան     | 0.1÷10 վայրկյան                                                                                                                    | Արտադրողի կողմից սահմանված հզորությանը հասնելը պայմանավորված է սնդիկի գոլորշիացումով, որի տաքացման համար պահանջվում է մինչև 10 րոպե ժամանակ                                         |
| 6.  | Սնուցիչ                            | հիմնականում բռնկիչ, հետո աշխատում է ցանցից եկող լարումով, կամ ԻՏՄ/իմպուլսի տևողության մոդուլյացիայով/ PWM / Pulse Width Modulation | Բարձր ՕԳԳ, էլեկտրա-մագնիսական սնուցիչի դեպքում փաստորեն թույլ չի տալիս լույսի ուժգնության կարգավորում: Սակայն լույսի ուժը հեշտությամբ կարգավորվում է ԻՏՄ-ով, եթե այդպես է նախագծված |
| 7.  | Օպտիկան                            | սահմանափակվում է միայն աղեղի և լամպի իրանի չափերով                                                                                 | Խողովակը կարելի է ճկել ցանկացած ձևով.արտադրության ընթացքում                                                                                                                         |
| 8.  | Աշխատանքային ջերմաստիճան, C°       | մինչև 50 °C                                                                                                                        | Սառը լույս                                                                                                                                                                          |
| 9.  | Ամենատարածված մոնտաժման ձևը        | E27, E25, E40 բոլորը խողովակաձև, DULUX.                                                                                            | Մեծ բազմազանություն                                                                                                                                                                 |
| 10. | Երկարակեցություն և դեգրադացիա, ժամ | 8000 – 50000                                                                                                                       | Ամենաերկարակյացներից մեկը                                                                                                                                                           |
| 11. | Գինը, 100 Վտ/ԱՄՆ դոլար             | 12                                                                                                                                 | Համեմատաբար թանկ                                                                                                                                                                    |

## 5. Light Emitting Diode (LED) lamps and drivers – semiconductors, electrons and holes and their recombination, I-V-curve of a LED

While the CFLs marked a substantial breakthrough for energy efficient lighting, the light emission diodes (LED) allowed continuing the efficient lighting revolution with a higher advancement rate. The key principle of operation of these semiconductor devices have been very well known for decades and have been used e.g. in the form of indicator lights and remote controls in many equipment pieces such as TVs, tape recorders, etc. Only with the start of the third millennium, the technological achievements provided the combination of the cost, efficacy, longevity and luminous spectrum that made them attractive for wide residential, commercial, and industrial applications.

The key advantages like compactness, much lesser heat release, cost effectiveness across its lifecycle and flexibility of usage, as well as their relative advantage in terms of environmental impact makes these sources the main, most important technology in almost any contemporary use. Their rapid rate of development is related to the fact that they are contemporary electronic semiconductor devices – like any other semiconductor technology, LED advancement to certain extent can be associated with the industry that follows Moore's Law with its 18 month performance doubling logic.

Observation and explanation of the first LED effect is attributed to a number of scientists, among them Oleg Losev, Kurt Lehovec, Carl Accardo and Edward Jamgochian<sup>5</sup>. James R. Biard and Gary Pittman of Texas Instruments (TI) have patented the first practical LED, based on discovered near infrared (900 nm) light emission from a tunnel diode they have constructed on a semiconductor GaAs substrate. The real production TI started in 1963. In 1968, first visible light LEDs were manufactured, these LEDs were bright enough to serve as indicators, but could not illuminate any substantial area. Only in the 1994 the first high enough brightness blue LEDs were demonstrated by Shuji Nakamura (Nichia Corporation) – this work has been awarded the Nobel Prize in Physics of 2014. About the same time the white LEDs have been developed, with which the exponential growth of the LED brightness started, that is known as Haitz Law (after Dr. Roland Haitz). In contrast to the Moores law, every 36 months the LED output

## 5. Լուսադիոդային (ԼԴ) լամպեր և նրանց սնուցման աղբյուրները՝ կիսահաղորդիչներ, էլեկտրոններ և խոռոչներ և դրանց ռեկոմբինացիան, ԼԴ լամպի վոլտ-ամպերային բնութագիրը

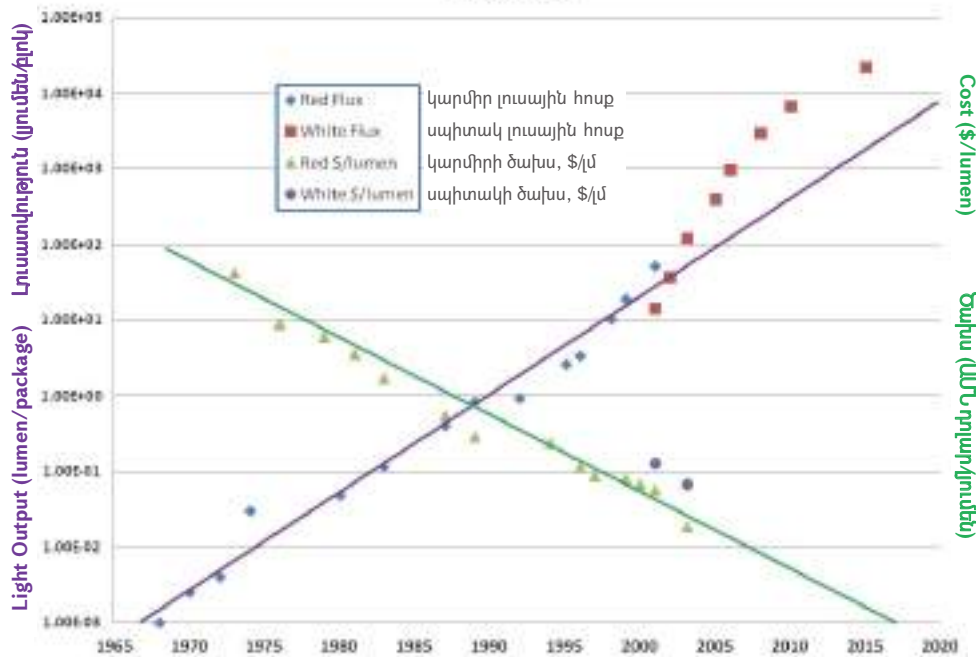
CFL լամպերը (կոմպակտ լյումինեսցենտային լամպեր) էական բեկում մտցրեցին էներգաարդյունավետ լուսավորության մեջ: Լուսադիոդային (ԼԴ) լամպերը արագ տեմպերով շարունակեցին էներգաարդյունավետ լուսավորության համակարգերի հեղափոխությունը: Այդ կիսահաղորդիչ սարքերի աշխատանքի առանցքային սկզբունքը շատ լավ հայտնի է եղել տասնամյակներ շարունակ և դրանք արդեն օգտագործվում էին, օրինակ՝ հեռուստացույցներում, ձայնագրիչներում կամ նման տեխնիկայում որպես ազդանշանային լույսեր (ինդիկատորներ) կամ հեռակառավարման վահանակներում որպես լարերը փոխարինող հաղորդման միջոց: Միայն երրորդ հազարամյակի սկզբից ի վեր տեխնոլոգիական ձեռքբերումները կարողացան համադրել ինքնարժեքը, արգասիքը, երկարակեցությունը և լուսային սպեկտրը, որի արդյունքում դրանք գրավիչ դարձան բնակչության, առևտրային և արդյունաբերական տնտեսվարողների կողմից լայն կիրառության համար:

Փոքր ծավալի (կոմպակտ), շատ ավելի քիչ ջերմարձակման, շահագործման ամբողջ ընթացքի առումով ծախսարդյունավետության, օգտագործման մեջ ճկունության, ինչպես նաև շրջակա միջավայրի վրա ազդեցությամբ դրանց հարաբերական առավելությունն այդ աղբյուրները դարձնում է գրեթե ցանկացած ժամանակակից կիրառության ոլորտի հիմնական, ամենակարևոր տեխնոլոգիան: Առկա զարգացման արագ տեմպերը պայմանավորված են նրանով, որ ցանկացած այլ կիսահաղորդչային տեխնոլոգիայի նման, լուսադիոդները ժամանակակից էլեկտրոնային կիսահաղորդչային սարքեր են հանդիսանում, և ԼԴ տեխնոլոգիայի առաջխաղացումը որոշակի առումով կարելի է կապել արտադրական այն ոլորտի հետ, որը հետևում է Մուրի (Moore) օրենքին և դրա՝ 18 ամիսը մեկ արդյունավետության կրկնապատկման տրամաբանությանը:

Առաջին ԼԴ-ի հայտնաբերումը և բացահայտումը վերագրվում է մի շարք գիտնականներին, որոնցից են Օլեգ Լոսևը, Կուրտ Լեհովեցը, Կարլ Ակորդոն և Էդվարդ Ժամկոչյանը<sup>5</sup>: Առաջին գործնական ԼԴ-ն արտոնագրվել է 1961թ-ին «Թեքսաս Ինսթրումենտս»-ը (Texas Instruments - TI) ներկայացնող Ջեյմս Բ. Բայարդի և Գարի Փիթմանի կողմից: Այն հիմնված էր նրանց կողմից ստացված գալիումի արսենիդի կիսահաղորդիչ թունելային դիոդից եկող ինֆրակարմիր (900 նմ) լույսի ճառագայթման վրա: «Թեքսաս Ինսթրումենտս»-ը իրական արտադրությունը սկսել է 1963-ին: Տեսանելի լույսով առաջին ԼԴ լամպերն արտադրվել են 1968-ին և, թեև, որպես ինդիկատորներ ծառայելու համար դրանք բավականին պայծառ էին, սակայն որևէ էական տարածք չէին կարող լուսավորել: Միայն 1994թ. Շուջի Նակամուրայի կողմից (Nichia Corporation) ցուցադրվեցին առաջին բավականին մեծ պայծառությամբ

<sup>5</sup> K. Lehovec; C. A. Accardo; AND E. Jamgochian (1951). "Injected Light Emission of Silicon Carbide Crystals". Physical Review. 83 (3): 603–607. doi:10.1103/PhysRev.83.603.

Figure 40. Haitz Law

Source/Աղբյուրը՝ <http://www.sitelighting.com/index.cfm>

Նկար 40. Հայցի օրենքը

doubles – and this law works nowadays too<sup>6</sup> (Figure 40).

**Operational Principle** – LEDs are semiconductor devices – light emitting *diodes*. Semiconductors are materials that at working temperatures, which for semiconductor devices usually is laying within a range defined between room or ambient temperature and around<sup>7</sup> 90 °C are manifesting much more resistance than metals, but much less resistance than insulators, and importantly their resistance drops by the increase of the temperature. At these temperatures, electrons' energys are allowed in so-called valence bands that are almost filled, and conduction bands that are almost empty – similar to insulator materials. However, it is possible to control their conductivity either by excitation via photons, temperature or via introduction of certain impurities called dopants.

Depending on the dopant materials, they are making the semiconductor material more conductive via population of n-type negative carriers (electrons) or p-type positive carriers (so-called holes). An interface of n and p type semiconductors is called p-n-junction, which has an important property that it builds-in electrostatic field inside the semiconductor. A device that has one p-n-junction is called a semiconductor diode.

կապույտ ԼԴ-ները, և այդ աշխատանքը 2014թ-ին արժանացավ ֆիզիկայի ոլորտում Նոբելյան մրցանակի: Գրեթե նույն ժամանակ ստեղծվեց նաև սպիտակ ԼԴ-ը, ինչով և սկիզբ դրվեց ԼԴ-ների պայծառության երկրաչափական պրոգրեսիայով վերելքը, որը հայտնի է որպես Հայցի օրենք (դոկտոր Roland Haitz-ի անունով): Ի տարբերություն Մուրի օրենքի, այստեղ ԼԴ-ի ելքային հզորությունը կրկնապատկվում յուրաքանչյուր 36 ամիսը մեկ, և այդ օրենքն աշխատում է նաև այսօր<sup>6</sup> (Նկար 40):

**Աշխատանքի սկզբունքը.** ԼԴ լամպերը կիսահաղորդիչ սարքեր են՝ լուսարձակող դիոդներ: Կիսահաղորդիչներն այնպիսի նյութեր են, որոնց հաղորդականությունը աշխատանքային ջերմաստիճաններում (սենյակայինից մինչև շուրջ 90 °C) ընկած է մետաղների և մեկուսիչների միջև<sup>7</sup> և ջերմաստիճանի բարձրացման հետ զուգահեռ այն աճում է: Այդ ջերմաստիճաններում էլեկտրոնների էներգիան թույլ է տրված վալենտական գոտիներում, որոնք գրեթե լցված են, և հաղորդական գոտիներում, որոնք գրեթե դատարկ են՝ ինչպես մեկուսիչ նյութերի դեպքում: Սակայն դրանց հաղորդականությունը հնարավոր է կառավարել ֆոտոնների միջոցով գրգռման, ջերմաստիճանի կամ լեգիրացնող խառնուրդների հավելման միջոցով:

Կախված լեգիրացնող խառնուրդների նյութից՝ դրանք n-տեսակի բացասական կրիչների (էլեկտրոններ) կամ p-տեսակի դրական կրիչների (խոռոչներ) բնակեցման միջոցով մեծացնում են կիսահաղորդիչ նյութերի հաղորդականությունը: n և p տեսակի կիսա-

<sup>6</sup> It claims that every decade, the cost per lumen (unit of useful light emitted) falls by a factor of 10, and the amount of light generated per LED package increases by a factor of 20, for a given wavelength (color) of light. [https://en.wikipedia.org/wiki/Haitz%27s\\_law](https://en.wikipedia.org/wiki/Haitz%27s_law)  
Այն պնդում է, որ ԼԴ յուրաքանչյուր լյումենի տեսակարար ինքնարժեքը 10 անգամ պակասում է և ԼԴ սարքի զենեքացված լույսը ավելանում է 20 անգամ՝ յուրաքանչյուր տասնամյակում: [https://en.wikipedia.org/wiki/Haitz%27s\\_law](https://en.wikipedia.org/wiki/Haitz%27s_law)

<sup>7</sup> In a few applications, the semiconductor devices may have higher temperature, which, in fact, depends on the type of the semiconductor. Կիրառման որոշ դեպքերում կիսահաղորդիչ սարքերի ջերմաստիճանը կարող է ավելի բարձր լինել, որն էլ դեպ պայմանավորված է կիսահաղորդիչի տեսակից:

The most commonly used semiconductor material in electronics is the silicon, Si, however in the LED manufacturing, so called “direct band gap”<sup>8</sup> semiconductor materials like Gallium phosphide (GaP), Gallium arsenide (GaAs) and its associates<sup>9</sup>. Zinc selenide (ZnSe) Indium gallium nitride (InGaN) are used with substrate materials: Silicon or Silicon carbide (SiC); diamond; boron and aluminium nitrides.

The main operational principle is the *injective electroluminescence*. Photovoltaic effect is the opposite process, which takes place in the semiconductor solar cells.

PV cells’ mechanism of generating electric current is as follows. First, the absorbed photons of solar radiation are elevating electrons’ energy state into conduction band from their initial lower energy state in the valence band, which is called electron-hole pair generation. Second, the aforementioned built in electrostatic field of the semiconductor p-n-junction spatially separates electron-hole pairs, charging one face of semiconductor positively and the other negatively, which is used to perform useful work (Figure 41).

հաղորդիչների միջավայրը համակցող մակերևույթը կոչվում է p-n անցում, որը մի կարևոր հատկություն ունի՝ կիսահաղորդիչների ներսում ստեղծում է էլեկտրաստատիկ դաշտ: Մեկ p-n անցում ունեցող սարքը կոչվում է կիսահաղորդիչ դիոդ:

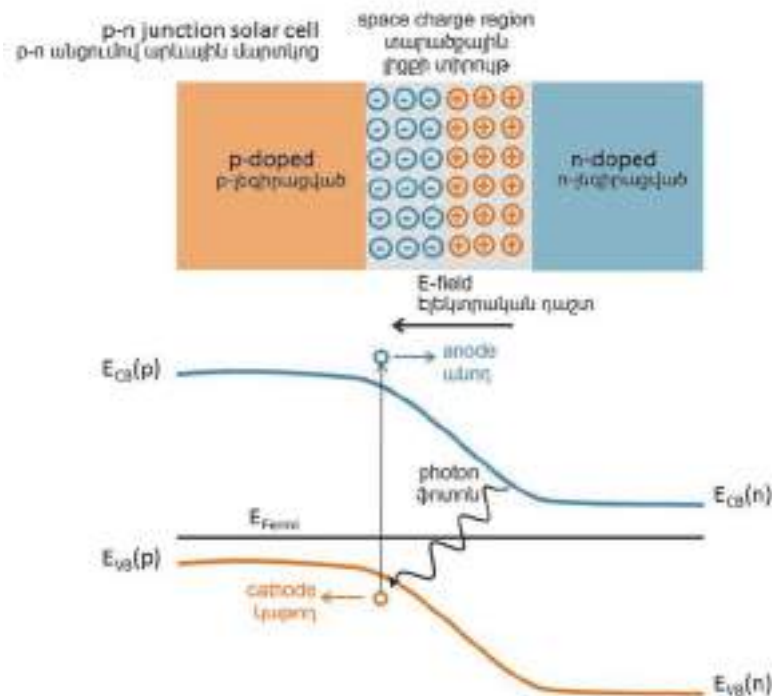
Էլեկտրոնիկայում օգտագործվող ամենատարածված կիսահաղորդիչ նյութը սիլիցիումն է՝ Si, սակայն ԼԴ-ների արտադրության մեջ կիրառվում են այսպես կոչված «ուղիղ անցումներով արգելված գոտիներով»<sup>8</sup> կիսահաղորդիչ նյութերը: Այդ նյութերի թվին են պատկանում գալիումի ֆոսֆիդը (GaP), գալիումի արսենիդը (GaAs) և դրանց միացությունները<sup>9</sup>. Յինկի սելենիդը (ZnSe), ինդիում գալիում նիտրիդը (InGaN) կիրառվում է հետևյալ հիմք-թիթեղների վրա. սիլիցիումի կարբիդ (SiC), ադամանդ, բորի և ալյումինի նիտրիդները:

Աշխատանքի հիմնական սկզբունքը *ինժեկցիոն էլեկտրալյումինեսցենցիան* է: Ֆոտովոլտայիկ էֆեկտը դրա հակառակ գործընթացն է, որը տեղի է ունենում կիսահաղորդչային արևային մարտկոցներում:

ՖՎ մարտկոցների միջոցով էլեկտրական հոսանք արտադրելու մեխանիզմը հետևյալն է. նախ, արեգակնային ճառագայթման կլանված ֆոտոններն էլեկտրոնների էներգետիկ վիճակը՝ վալենտական գոտուց ցածր էներգետիկ վիճակից, բարձրացնում են մինչև հաղորդական գոտին, որը կոչվում է էլեկտրոն-խոռոչ

Figure 41. Operational principle of semiconductor solar cells.

Source/Աղբյուրը՝ <http://www.science-kick.com/solar-cell-type/working-principle-of-junction-solar-cells>



Նկար 41. Կիսահաղորդչային արևային մարտկոցի աշխատանքի սկզբունքը:

<sup>8</sup> The band gap is called “direct” if the momentum of electrons and holes is the same in both the conduction band and the valence band; an electron can directly emit a photon. In an “indirect” gap, a photon cannot be emitted because the electron must pass through an intermediate state and transfer momentum to the crystalline lattice.

Արգելված գոտին կոչվում է «ուղիղ», եթե և՛ վալենտական և՛ հաղորդական գոտիներում էլեկտրոնների և անցքերի իմպուլսը նույնն է, և էլեկտրոնը կարող է ուղղակիորեն ֆոտոններ արձակել: «Անուղղակի» արգելված գոտու դեպքում ֆոտոն չի կարող արձակվել, քանի որ էլեկտրոնը պետք է անցնի միջանկյալ վիճակով և իմպուլս հաղորդի բյուրեղական դաշտին:

<sup>9</sup> Like Aluminium gallium arsenide (AlGaAs) Gallium arsenide phosphide (GaAsP) Aluminium gallium indium phosphide (AlGaInP) Ինչպես ալյումին գալիումի արսենիդը (AlGaAs), գալիում արսենիդի ֆոսֆիդը (GaAsP), ալյումին գալիում ինդիումի ֆոսֆիդը (AlGaInP):

The phenomenon of the electroluminescence is just the opposite - the device consumes current and generates luminous radiation. From external source of electricity, the forward current *injected* in the p-n-junction is stimulating radiative recombination of electrons and holes, i.e. electrons' energy state drops from conduction band to lower energy state in the valence band, and the energy is released in the form of visible photons (Figure 42).

Naturally, the photon energy or its wavelength (remember that they are related univalently),  $\lambda(\mu\text{m})=1.24/E(\text{eV})$ , depends on the energy gap value between the valence and conduction bands (Figure 43, also see Table 10 below). As it has been mentioned, this value is called band gap, and is characteristic of each semiconducting material. E.g. for Si it is equal to 1.12 eV - this corresponds to 1100 nm wavelength, which is in the IR range<sup>10</sup>; for GaAs the bandgap is equal to 1.43 eV - corresponds to 867 nm wavelength, again IR; for GaP the bandgap is equal to 2.26 eV - corresponds to 548 nm of green; and for GaN the bandgap is equal to 3.4 eV at 365 nm wavelength of near UV.

րույթում<sup>10</sup>, GaAs- դեպքում արգելված գոտին հավասար է 1.43 eV, որը համապատասխանում է 867 նմ ալիքի երկարությունը, կրկին ԻԿ; GaP-ի դեպքում արգելված գոտին հավասար է 2.26 eV, որը համապատասխանում է կանաչ 548 նմ ալիքին, և GaN դեպքում արգելված գոտին հավասար է 3.4 eV՝ մոտ 365 նմ ալիքի երկարությամբ ՈւՄ-ին:

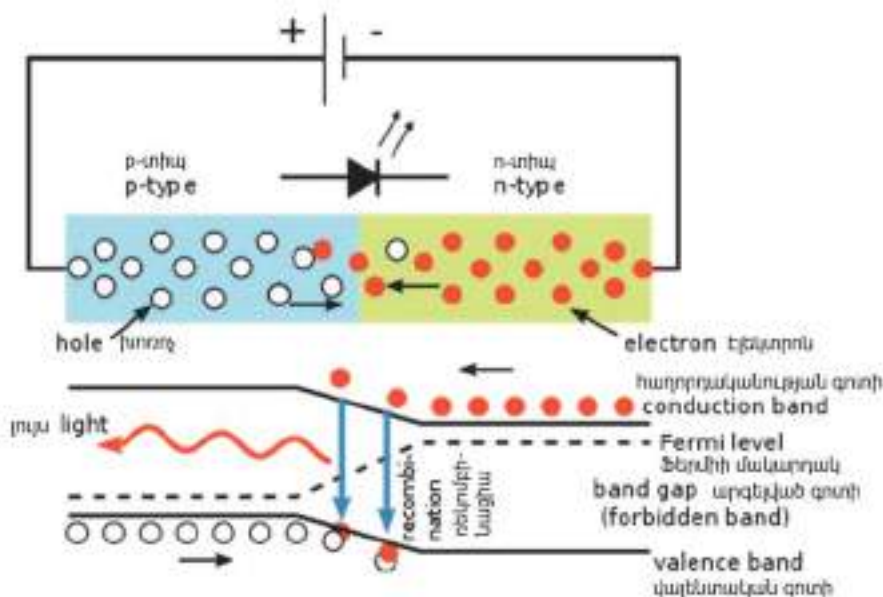
զույգերի գեներացիա: Այնուհետև, վերոհիշյալ ներկառուցված կիսահաղորդչային p-n անցման էլեկտրաստատիկ դաշտը տարածականորեն բաժանում է էլեկտրոն-խոռոչ զույգերը՝ կիսահաղորդչի մեկ երեսը լիցքավորելով դրական, իսկ մյուսը՝ բացասական լիցքով, որը կիրառվում է օգտակար աշխատանք կատարելու համար (Նկար 41):

Էլեկտրալյումինեսցենցիայի երևույթը ճիշտ հակառակն է՝ սարքը սպառում է հոսանք և գեներացնում է լուսային ճառագայթներ: Մնուցման աղբյուրից p-n-անցումի մեջ *ինժեկտված (ներարկված)* ուղիղ հոսանքը խթանում է էլեկտրոնների և խոռոչների ճառագայթային ռեկոմբինացիան (*վերամիավորումը*): Այսինքն՝ հաղորդական գոտում ներարկված էլեկտրոնները ռեկոմբինացվելով, իջնում են ավելի ցածր էներգետիկ վիճակ վալենտական գոտում և արդյունքում էներգիայի տարբերությունը անջատվում է տեսանելի ֆոտոնի արձակման միջոցով (Նկար 42):

Բնականաբար, ֆոտոնի էներգիան կամ դրա ալիքի երկարությունը (հիշենք, որ դրանք համարժեք հարաբերության մեջ են),  $\lambda(\mu\text{m})=1.24/E(\text{eV})$ , կախված է վալենտական և հաղորդական գոտիները բաժանող էներգետիկ գոտու լայնությունից (Նկար 43, նաև տես ստորև՝ Աղյուսակ 10): Ինչպես արդեն ասվել է, այս արժեքը կոչվում է արգելված գոտի և դա յուրաքանչյուր կիսահաղորդիչ նյութին բնորոշ մեծություն է: Օրինակ, Si-ի դեպքում դա հավասար է 1.12 eV, որը համապատասխանում է 1100 նմ ալիքի երկարությանը ԻԿ տի-

Figure 42. LED operational principle.

Source/Աղբյուրը՝ [https://en.wikipedia.org/wiki/Light-emitting\\_diode#Working\\_principle](https://en.wikipedia.org/wiki/Light-emitting_diode#Working_principle)



Նկար 42. ԼԴ-ի աշխատանքի սկզբունքը:

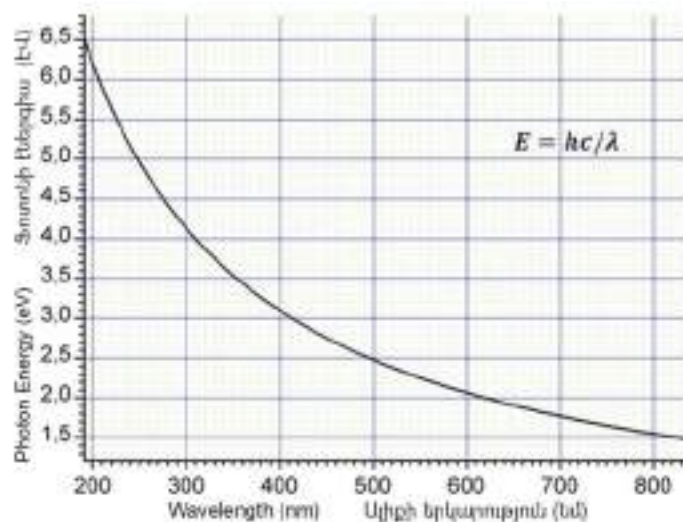
<sup>10</sup> Silicon has indirect semiconductor bandgap, due to which its radiative recombination is very low, and, as it has been mentioned, it is not used in the LEDs.

Սիլիցիումը անուղղակի էներգետիկ արգելված գոտի ունի, որի շնորհիվ դրա ճառագայթող ռեկոմբինացիան (վերամիավորումը) շատ քիչ է և, ինչպես արդեն նշվել է, ԼԴ-ներում չի կիրառվում:

**Figure 43.** Bandgap energy vs. possible wavelength ranges in various materials and the univalent relationship between the photon energy and its wavelength,  $\lambda(\text{nm})=1.24/E(\text{eV})$ .

Source/Աղբյուրը՝ [www.slideshare.net/MohammedMannani/optical-source-led-by-sufiyan-a-khan](http://www.slideshare.net/MohammedMannani/optical-source-led-by-sufiyan-a-khan), <https://en.wikipedia.org/wiki/Electronvolt>

| Material                         | Նյութ                            | Symbol<br>Նշան | Wavelength Range<br>Ալիքի երկարության միջակայք<br>$\lambda$ (nm, նմ) | Bandgap Energy<br>Արգելված գոտու էներգիա<br>$W_g$ (eV) |
|----------------------------------|----------------------------------|----------------|----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| Indium Phosphide                 | ինդիումի ֆոսֆիդ                  | InP            | 0.92                                                                 | 1.35                                                   |
| Indium Arsenide                  | ինդիումի արսենիդ                 | InAs           | 3.6                                                                  | 0.34                                                   |
| Galium Phosphide                 | գալիումի ֆոսֆիդ                  | GaP            | 0.56                                                                 | 2.24                                                   |
| Galium Arsenide                  | գալիումի արսենիդ                 | GaAs           | 0.87                                                                 | 1.42                                                   |
| Aluminium Arsenide               | ալյումինի արսենիդ                | AlAs           | 0.59                                                                 | 2.09                                                   |
| Galium Indium Phosphide          | գալիումի ինդիումի ֆոսֆիդ         | GaInP          | 0.64-0.68                                                            | 1.82-1.94                                              |
| Aluminium Gallium Arsenide       | ալյումինի գալիումի արսենիդ       | AiGaAs         | 0.8-0.9                                                              | 1.4-1.55                                               |
| Indium Galium Arsenide           | ինդիումի գալիումի արսենիդ        | InGaAs         | 1.0-1.3                                                              | 0.95-1.24                                              |
| Indium Galium Arsenide Phosphide | ինդիումի գալիումի արսենիդ ֆոսֆիդ | InGaAsP        | 0.9-1.7                                                              | 0.73-1.35                                              |



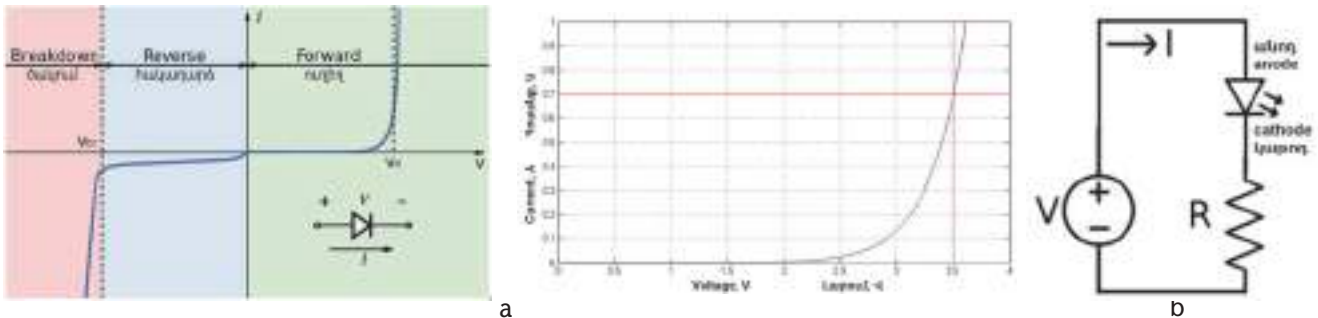
**Նկար 43.** Արգելված գոտու էներգիան տարբեր նյութերում, և հնարավոր ալիքի երկարության տիրույթները և ֆոտոնի էներգիայի ու դրա ալիքի երկարության միջև միարժեք կապը.  $\lambda(\text{nm})=1.24/E(\text{eV})$ :

Table 10 shows the different materials that are being used in LEDs with respective emission color (ranges). One can see also included the column of respective voltage drop range on the diode. Any LED will start emitting light when more than 2 to 3 volts, forward biased, is applied to it. Figure 44, a. represents a current-voltage or so called I-V diagram of a diode. The  $V_d$  is the forward voltage at which diode is open,  $V_{br}$  is the reverse voltage at which an avalanche breakdown process starts in the diode. Note that at forward bias, the current may increase as much as the diode can persist to the Joule Lenz heat associated with that current. However, this does not mean that the luminous power emitted also increases proportionally. To limit the LED current, in the most of the cases a resistance is being used, as shown in Figure 44, b.

Աղյուսակ 10 –ը ցույց է տալիս ԼԴ-ներում կիրառվող տարբեր նյութերը և դրանց արձակված համապատասխան գույները (տիրույթները): Կարելի է տեսնել նաև դիոդներում համապատասխան լարումների անկման տիրույթը ցույց տվող սյունակը: Ցանկացած ԼԴ սկսում է լույս արձակել 2-3 վոլտից, ուղիղ լարում հաղորդելու դեպքում: Նկար 44, ա - ում ներկայացված է դիոդի հոսանք-լարում կախվածությունը կամ, այսպես կոչված՝ I-V կորը:  $V_d$ ՝ դիոդին կիրառած ուղիղ լարումն է, որի պայմաններում դիոդը բաց է,  $V_{br}$  հակառակ լարումն է, որի պայմաններում դիոդը ծակվում է, եթե լարումը գերազանցում է նշված սահմանը: Նկատենք, որ ուղիղ լարում կիրառելիս, հոսանքը կարող է ավելանալ այնքան, որքան դիոդը կարող է դիմանալ այդ հոսանքին և, որպես հետևանք, բյուրեղի տաքանալուն: Սակայն դա չի նշանակում, որ հոսանքի բարձրացման հետ համամասնորեն մեծանում է նաև արձակված լուսային էներգիան: ԼԴ-ի հոսանքը սահմանափակելու համար շատ դեպքերում օգտագործվում է դիմադրություն, ինչպես ցույց է տրված Նկար 44, բ-ում:

**Figure 44.** a. I-V diagram of a diode and a LED. b. circuit with current limiting resistor to prevent high current flows.

Source/Աղբյուրը՝ [www.friwo.de/uploads/tx\\_kkdownloader/LED\\_drivers\\_basics\\_E.pdf](http://www.friwo.de/uploads/tx_kkdownloader/LED_drivers_basics_E.pdf)



**Նկար 44.** ա. Դիոդի և ԼԴ-ի I-V կորը: բ. Շղթայի վրա հոսանքի մեծ հոսքը սահմանափակող դիմադրությունը

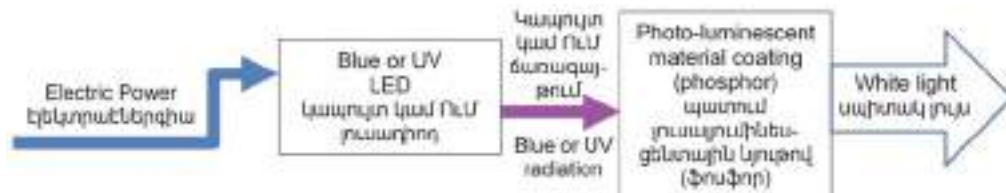
While Table 10 shows the different colors that LEDs made of various semiconductor materials offer, it is essential to have light source that covers the entire luminous spectrum. That can be provided by white LEDs, that can be achieved in two ways.

- I. **Use of phosphor.** This is similar to the principle of the fluorescent lightbulb – the high intensity blue or UV light from a LED is used to illuminate phosphor (Figure 45 – compare with Figure 32), which on its turn provides much broader spectrum of radiation (Figure 46), that can be perceived as white light - phosphor-converted white LEDs (pcLEDs)

Աղյուսակ 10-ը ցույց է տալիս տարատեսակ կիսահաղորդիչ նյութերից ԼԴ-ների արձակող տարբեր գույները, սակայն շատ կարևոր է այնպիսի լույսի աղբյուր ունենալ, որը կընդգրկեր լուսային ամբողջ սպեկտրը: Դա կարելի է ստանալ սպիտակ ԼԴ-ների միջոցով, որին կարելի է հասնել երկու ճանապարհով.

- I. **Լյումինոֆորի օգտագործում:** Սա նման է լյումինեսցենտային լամպի սկզբունքին: ԼԴ-ից արձակվող բարձր ինտենսիվությամբ կապույտ կամ ՈւՄ լույսը լուսավորում է լյումինոֆորը (Նկար 45, համեմատեք Նկար 32-ի հետ), որն իր հերթին ճառագայթման շատ ավելի լայն սպեկտր է առաջացնում (Նկար 46) ընկալվելով որպես սպիտակ լույս: Սրանք՝ լյումինոֆորի միջոցով փոխակերպվող սպիտակ ԼԴ-ներն են (phosphor-converted white LEDs - pcLED)

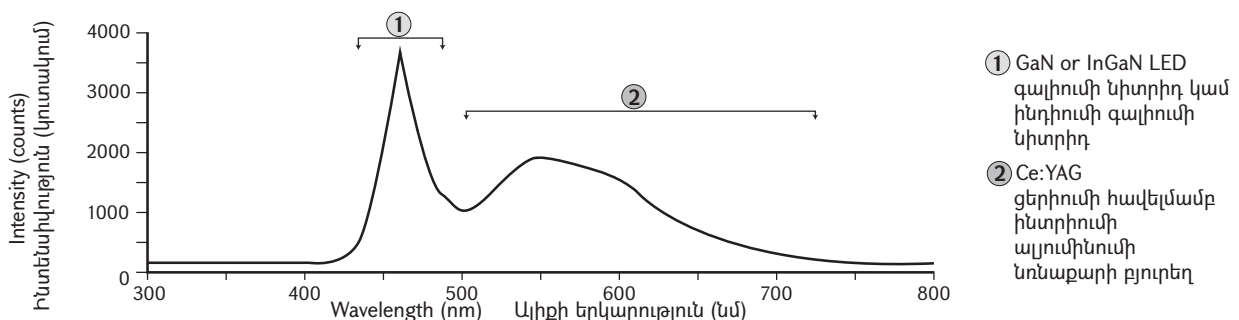
**Figure 45.** Phosphor-converted white LEDs (pcLEDs) operation.



**Նկար 45.** Լյումինոֆորի միջոցով փոխակերպված սպիտակ ԼԴ-ների (pcLEDs) աշխատանքը:

**Figure 46.** Spectrum of a white LED showing blue light directly emitted by the GaN-based LED (peak at about 465 nm) and the more broadband Stokes-shifted light emitted by the  $\text{Ce}^{3+}$ : YAG phosphor, which emits at roughly 500–700 nm

Source/Աղբյուրը՝ [https://en.wikipedia.org/wiki/Light-emitting\\_diode#Colors\\_and\\_materials](https://en.wikipedia.org/wiki/Light-emitting_diode#Colors_and_materials)



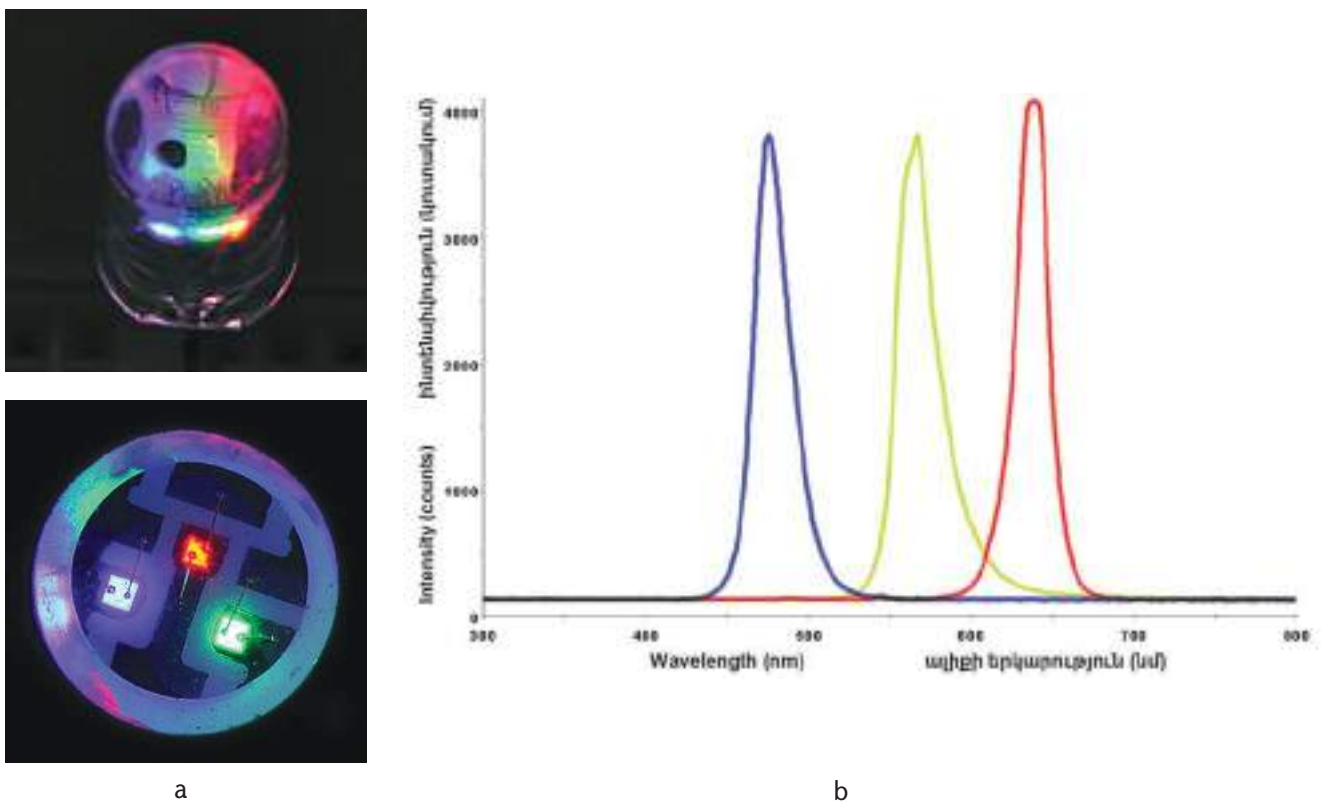
**Նկար 46.** Սպիտակ ԼԴ-ի սպեկտրը ցույց է տալիս GaN հիմքով ԼԴ-ի կողմից ուղղակիորեն արձակված կապույտ լույսը (մաքսիմումը մոտ 465 նմ-ի վրա է) և  $\text{Ce}^{3+}$ : YAG ֆոսֆորի արձակված ավելի լայնաշերտ՝ Ստրոքսի շեղումով պայմանավորված լույսը, որի ճառագայթումը մոտ 500–700 նմ է:

II. **RGB LEDs.** This principle benefits from the peculiarity of human vision – red, green and blue (RGB) – emitting LEDs are combined to provide white light (Figure 47, a). To recap, *metamerism* is the principle that allows to effect all 3 types of photosensitive cells of human eye retina, namely the red, green and blue cones (see section 1.3). However, if the spectra of each color LED is narrow (Figure 47, b) – it may again yield metameric failure, thus providing lower color rendering index (CRI – also see below in the efficacy and CRI sections).

II. **RGB ԼԴ-ներ:** Այս դեպքում կարմիր, կանաչ և կապույտ (RGB) գույներ արձակող ԼԴ-ները միավորվում և սպիտակ լույս են արձակում (Նկար 47, ա): Հիշեցնենք, որ մետամերիզմը թույլ է տալիս ազդել մարդու աչքի ցանցի տեսողական զգայուն բջիջների բոլոր տեսակների վրա, ներառյալ կարմիր, կանաչ և կապույտ կոնների երեք տեսակները (տես բաժին 1.3): Սակայն յուրաքանչյուր գունավոր ԼԴ-ի սպեկտրը նեղ է (Նկար 47, բ) և այն կարող է մետամերիկ սխալ առաջացնել և դրա արդյունքում գույնի վերարտադրության ցուցիչն ավելի ցածր կլինի (ԳՎՑ, տես նաև ստորև՝ արգասիքին և ԳՎՑ վերաբերող կետերը):

Figure 47. RGB LED – one can see the three chips.

Source/Աղբյուրը՝ [www.instructables.com/id/RGB-LED-Moodlight-in-10-minutes/](http://www.instructables.com/id/RGB-LED-Moodlight-in-10-minutes/) and its spectrum (b)



Նկար 47. RGB ԼԴ, երևում են երեք չիպերը:

In order to avoid the metameric failure through increased CRI, instead of 3, 4 or more, as well as just 2 colors are used too, however, the trichromatic LEDs provide best balance between CRI and luminous efficacy. Multi-color LEDs also are easy to control electronically to achieve any colors.

There is a lot of very active and promising research going on organic LED (OLED) as well as quantum dot (QD) LEDs. Both have immediate promise for displays, yet are not ready to be used economically for lighting purposes.

ԳՎՑ-ի բարձրացման միջոցով մետամերիկ սխալից խուսափելու համար, 3, գույների փոխարեն օգտագործվում են նաև 4 կամ ավելի կամ միայն 2 գույն, սակայն տրիքրոմատիկ (եռագույն) ԼԴ-ները ապահովում են ԳՎՑ-ի և լուսարգասիքի միջև լավագույն հարաբերակցությունը: Բազմագույն ԼԴ-ները նաև հեշտությամբ ենթարկվում են էլեկտրոնային կառավարման՝ ցանկացած գույն ստանալու նպատակով:

Օրգանական ԼԴ (ՕԼԴ - OLED), ինչպես նաև քվանտային կետերով (ՔԿ - quantum dot QD) ԼԴ ստանալու համար կատարվում են բազմաթիվ և շատ խոստումնալից հետազոտական աշխատանքներ: Երկուսն էլ անմիջապես կարող են կիրառվել դիսփլեյներում, սակայն դրանք դեռևս տնտեսապես պատրաստ չեն լուսավորության մեջ կիրառելու համար:

**Table 10.** The available colors with wavelength range, voltage drop and respective semiconductor material.Source: [https://en.wikipedia.org/wiki/Light-emitting\\_diode#Colors\\_and\\_materials](https://en.wikipedia.org/wiki/Light-emitting_diode#Colors_and_materials).

| Color                                                                               | Wavelength [nm] | Voltage drop [ΔV]     | Semiconductor material   |                                                             |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-----------------------|--------------------------|-------------------------------------------------------------|
|    | Infrared        | $\lambda > 760$       | $\Delta V < 1.63$        | Gallium arsenide (GaAs)                                     |
|                                                                                     |                 |                       |                          | Aluminium gallium arsenide (AlGaAs)                         |
|    | Red             | $610 < \lambda < 760$ | $1.63 < \Delta V < 2.03$ | Aluminium gallium arsenide (AlGaAs)                         |
|                                                                                     |                 |                       |                          | Gallium arsenide phosphide (GaAsP)                          |
|                                                                                     |                 |                       |                          | Aluminium gallium indium phosphide (AlGaInP)                |
|                                                                                     |                 |                       |                          | Gallium(III) phosphide (GaP)                                |
|    | Orange          | $590 < \lambda < 610$ | $2.03 < \Delta V < 2.10$ | Gallium arsenide phosphide (GaAsP)                          |
|                                                                                     |                 |                       |                          | Aluminium gallium indium phosphide (AlGaInP)                |
|                                                                                     |                 |                       |                          | Gallium(III) phosphide (GaP)                                |
|    | Yellow          | $570 < \lambda < 590$ | $2.10 < \Delta V < 2.18$ | Gallium arsenide phosphide (GaAsP)                          |
|                                                                                     |                 |                       |                          | Aluminium gallium indium phosphide (AlGaInP)                |
|                                                                                     |                 |                       |                          | Gallium(III) phosphide (GaP)                                |
|   | Green           | $500 < \lambda < 570$ | $1.9 < \Delta V < 4.0$   | Traditional green:                                          |
|                                                                                     |                 |                       |                          | Gallium(III) phosphide (GaP)                                |
|                                                                                     |                 |                       |                          | Aluminium gallium indium phosphide (AlGaInP)                |
|                                                                                     |                 |                       |                          | Aluminium gallium phosphide (AlGaP)                         |
|                                                                                     |                 |                       |                          | Pure green:                                                 |
|                                                                                     |                 |                       |                          | Indium gallium nitride (InGaN) / Gallium(III) nitride (GaN) |
|  | Blue            | $450 < \lambda < 500$ | $2.48 < \Delta V < 3.7$  | Zinc selenide (ZnSe)                                        |
|                                                                                     |                 |                       |                          | Indium gallium nitride (InGaN)                              |
|                                                                                     |                 |                       |                          | Silicon carbide (SiC) as substrate                          |
|                                                                                     |                 |                       |                          | Silicon (Si) as substrate—under development                 |
|  | Violet          | $400 < \lambda < 450$ | $2.76 < \Delta V < 4.0$  | Indium gallium nitride (InGaN)                              |
|  | Purple          | Multiple types        | $2.48 < \Delta V < 3.7$  | Dual blue/red LEDs,                                         |
|                                                                                     |                 |                       |                          | blue with red phosphor,                                     |
|                                                                                     |                 |                       |                          | or white with purple plastic                                |
|  | Ultraviolet     | $\lambda < 400$       | $3 < \Delta V < 4.1$     | Indium gallium nitride (InGaN) (385-400 nm)                 |
|                                                                                     |                 |                       |                          | Diamond (235 nm)                                            |
|                                                                                     |                 |                       |                          | Boron nitride (215 nm)                                      |
|                                                                                     |                 |                       |                          | Aluminium nitride (AlN) (210 nm)                            |
|                                                                                     |                 |                       |                          | Aluminium gallium nitride (AlGaInN)                         |
|                                                                                     |                 |                       |                          | Aluminium gallium indium nitride (AlGaInN)—down to 210 nm   |
|  | Pink            | Multiple types        | $\Delta V \sim 3.3$      | Blue with one or two phosphor layers,                       |
|                                                                                     |                 |                       |                          | yellow with red, orange or pink phosphor added afterwards,  |
|                                                                                     |                 |                       |                          | white with pink plastic,                                    |
|                                                                                     |                 |                       |                          | or white phosphors with pink pigment or dye over top.       |
|  | White           | Broad spectrum        | $2.8 < \Delta V < 4.2$   | Cool / Pure White: Blue/UV diode with yellow phosphor       |
|                                                                                     |                 |                       |                          | Warm White: Blue diode with orange phosphor                 |

**Աղյուսակ 10.** Առկա գույները և դրանց ալիքի երկարությունների տիրույթը, լարման անկումը, և համապատասխան կիսահաղորդիչ նյութերը:

Աղբյուրը՝ [https://en.wikipedia.org/wiki/Light-emitting\\_diode#Colors\\_and\\_materials](https://en.wikipedia.org/wiki/Light-emitting_diode#Colors_and_materials).

| Գույն               | Ալիքի երկարություն, [նմ] | Լարման անկում, [ΔV]      | Կիսահաղորդիչ նյութը                                                  |
|---------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| Ինֆրակարմիր         | $\lambda > 760$          | $\Delta V < 1.63$        | Գալիումի արսենիդ (GaAs)                                              |
|                     |                          |                          | Ալյումինի գալիումի արսենիդ (AlGaAs)                                  |
| Կարմիր              | $610 < \lambda < 760$    | $1.63 < \Delta V < 2.03$ | Ալյումինի գալիումի արսենիդ (AlGaAs)                                  |
|                     |                          |                          | Գալիումի արսենիդի ֆոսֆիդ (GaAsP)                                     |
|                     |                          |                          | Ալյումինի գալիումի ինդիումի ֆոսֆիդ (AlGaInP)                         |
|                     |                          |                          | Գալիումի (III) ֆոսֆիդ (GaP)                                          |
| Նարնջագույն         | $590 < \lambda < 610$    | $2.03 < \Delta V < 2.10$ | Գալիումի արսենիդի ֆոսֆիդ (GaAsP)                                     |
|                     |                          |                          | Ալյումինի գալիումի ինդիումի ֆոսֆիդ (AlGaInP)                         |
|                     |                          |                          | Գալիումի(III) ֆոսֆիդ (GaP)                                           |
| Դեղին               | $570 < \lambda < 590$    | $2.10 < \Delta V < 2.18$ | Գալիումի արսենիդի ֆոսֆիդ (GaAsP)                                     |
|                     |                          |                          | Ալյումինի գալիումի ինդիումի ֆոսֆիդ (AlGaInP)                         |
|                     |                          |                          | Գալիումի(III) ֆոսֆիդ (GaP)                                           |
| Կանաչ               | $500 < \lambda < 570$    | $1.9 < \Delta V < 4.0$   | ավանդական կանաչ՝                                                     |
|                     |                          |                          | Գալիումի(III) ֆոսֆիդ (GaP)                                           |
|                     |                          |                          | Ալյումինի գալիումի ինդիումի ֆոսֆիդ (AlGaInP)                         |
|                     |                          |                          | Ալյումինի գալիումի ֆոսֆիդ (AlGaP)                                    |
|                     |                          |                          | Մաքուր կանաչ՝                                                        |
|                     |                          |                          | Ինդիումի գալիումի նիտրիդ (InGaN) / Գալիումի(III) նիտրիդ (GaN)        |
| Կապույտ             | $450 < \lambda < 500$    | $2.48 < \Delta V < 3.7$  | Ցինկի սելենիդ (ZnSe)                                                 |
|                     |                          |                          | Ինդիումի գալիումի նիտրիդ (InGaN)                                     |
|                     |                          |                          | Սիլիցիումի կարբիդի (SiC) հիմքով (հարթակով)                           |
|                     |                          |                          | Սիլիցիումի (Si) հիմքով-գտնվում է մշակման փուլում է                   |
| Մանուշակագույն      | $400 < \lambda < 450$    | $2.76 < \Delta V < 4.0$  | Ինդիումի գալիումի նիտրիդ (InGaN)                                     |
| Մուգ մանուշակագույն | բազմաթիվ տեսակներ        | $2.48 < \Delta V < 3.7$  | Երկակի կապույտ/կարմիր ԼԴ-ներ                                         |
| Ռիտրամանուշակագույն | $\lambda < 400$          | $3 < \Delta V < 4.1$     | Կապույտ՝ կարմիր ֆոսֆորով,                                            |
|                     |                          |                          | կամ սպիտակ՝ մուգ մանուշակագույն պլաստիկով                            |
|                     |                          |                          | Ինդիումի գալիումի նիտրիդ (InGaN) (385-400 նմ)                        |
|                     |                          |                          | Ադամանդ (235նմ)                                                      |
|                     |                          |                          | Բորի նիտրիդ (215 նմ)                                                 |
|                     |                          |                          | Ալյումինի նիտրիդ (AlN) (210 նմ)                                      |
| Վարդագույն          | բազմաթիվ տեսակներ        | $\Delta V \sim 3.3$      | Ալյումինի գալիումի նիտրիդ (AlGaInN), մինչև 210 նմ                    |
|                     |                          |                          | Կապույտ՝ մեկ կամ երկու ֆոսֆորային շերտ,                              |
|                     |                          |                          | Դեղին՝ հետը ավելացված կարմիր, նարնջագույն կամ վարդագույն ֆոսֆորով ,  |
|                     |                          |                          | Սպիտակ՝ վարդագույն պլաստիկով,                                        |
| Սպիտակ              | լայն սպեկտր              | $2.8 < \Delta V < 4.2$   | կամ սպիտակ ֆոսֆորներ՝ վերևում վարդագույն պիգմենտներով կամ երանգներով |
|                     |                          |                          | Սառը /մաքուր սպիտակ. կապույտ/ՈւՄ դիոդ՝ դեղին ֆոսֆորով                |
|                     |                          |                          | Ջերմ-սպիտակ. կապույտ դիոդ՝ նարնջագույն ֆոսֆորով                      |

There are many variants of the LED lightbulb realizations, Figure 48 depicts this variety, Figure 49 shows the various possible constructions.

Կան ԼԴ լամպերի իրականացման բազմաթիվ տարբերակներ: Նկար 48-ում պատկերված է այդ բազմազանությունը, Նկար 49-ը ցույց է տալիս կառուցվածքի հնարավոր տարատեսակ ձևերը:

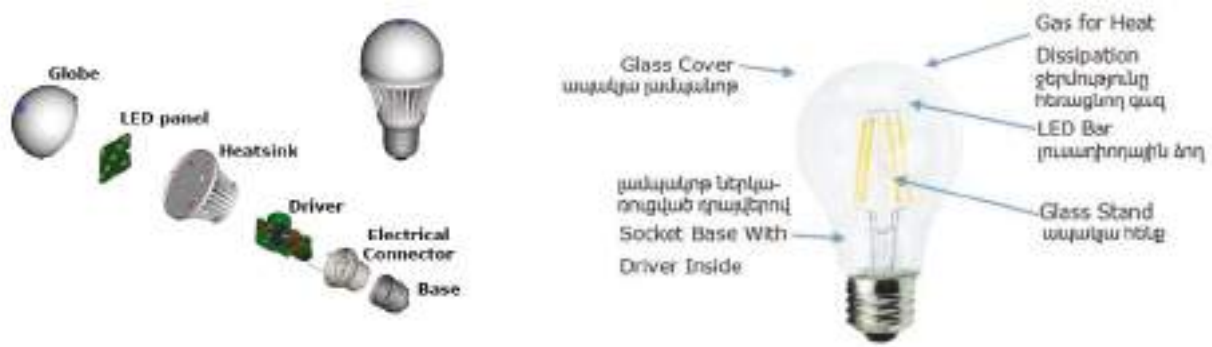
Figure 48. LED chips and bulbs variety.



Նկար 48. ԼԴ չիպերի և լամպերի տարբերակները:

Figure 49. Construction of various LED lightbulbs.





Նկար 49. Տարատեսակ ԼԴ լամպերի կառուցվածքները:

**Luminous efficacy, lm/W** – Table 11 shows the luminous efficacy range of LEDs along with corresponding efficiencies, where the power supply is not factored in. Figure 50 shows the advances of various light sources – one can see that currently LEDs are at the same level as some fluorescent and arc (high-pressure sodium and metal halide) lightbulbs. However, the LED technology is developing so steep that these numbers need updates every year, if not more frequently. In fact it has been achieved 210 lm/W of luminous efficacy in 2016 white LED mass production models, while in laboratory the 300 lm/W threshold has been already passed. However, currently most common LEDs have 50-120 lm/W efficacies. Note that while light output of LED light sources increases with increasing drive current, however the efficiency, expressed in lumens per watt, drops (Figure 51).

**Լուսարգասիք, լմ/Վտ.** Աղյուսակ 11-ը ցույց է տալիս ԼԴ-ների լուսարգասիքի տիրույթը և դրանց համապատասխան օ.գ.գ. -ը, որտեղ սնուցիչի կորուստները արտահայտված չեն: Նկար 50-ը ցույց է տալիս տարատեսակ լույսի աղբյուրների զարգացումը: Ինչպես տեսնում ենք, ԼԴ-ները ներկայումս նույն մակարդակին են, ինչ որոշ լյումինեսցենտային և աղեղային (բարձր ճնշման նատրիումային և մետաղ-հալիդ) լամպերը: Սակայն ԼԴ տեխնոլոգիան այնքան արագ է զարգանում, որ ամեն տարի, եթե ոչ ավելի հաճախ, այս թվերը թարմացման կարիք ունեն: Ըստ էության, 2016 թ. զանգվածային արտադրության սպիտակ ԼԴ մոդելների լուսարգասիքն արդեն հասել էր 210 լմ/Վտ-ի, իսկ լաբորատոր պայմաններում 300 լմ/Վտ շեմն արդեն գերազանցվել էր: Այդուհանդերձ, ներկայումս ամենատարածված ԼԴ-ների արգասիքները տատանվում են 50-120 լմ/Վտ միջակայքում: Նկատենք, որ չնայած հոսանքի մեծացման հետ լույսի ուժը մեծանում է, սակայն լուսարգասիքը լմ/Վտ-ով արտահայտված պակասում է (Նկար 51):

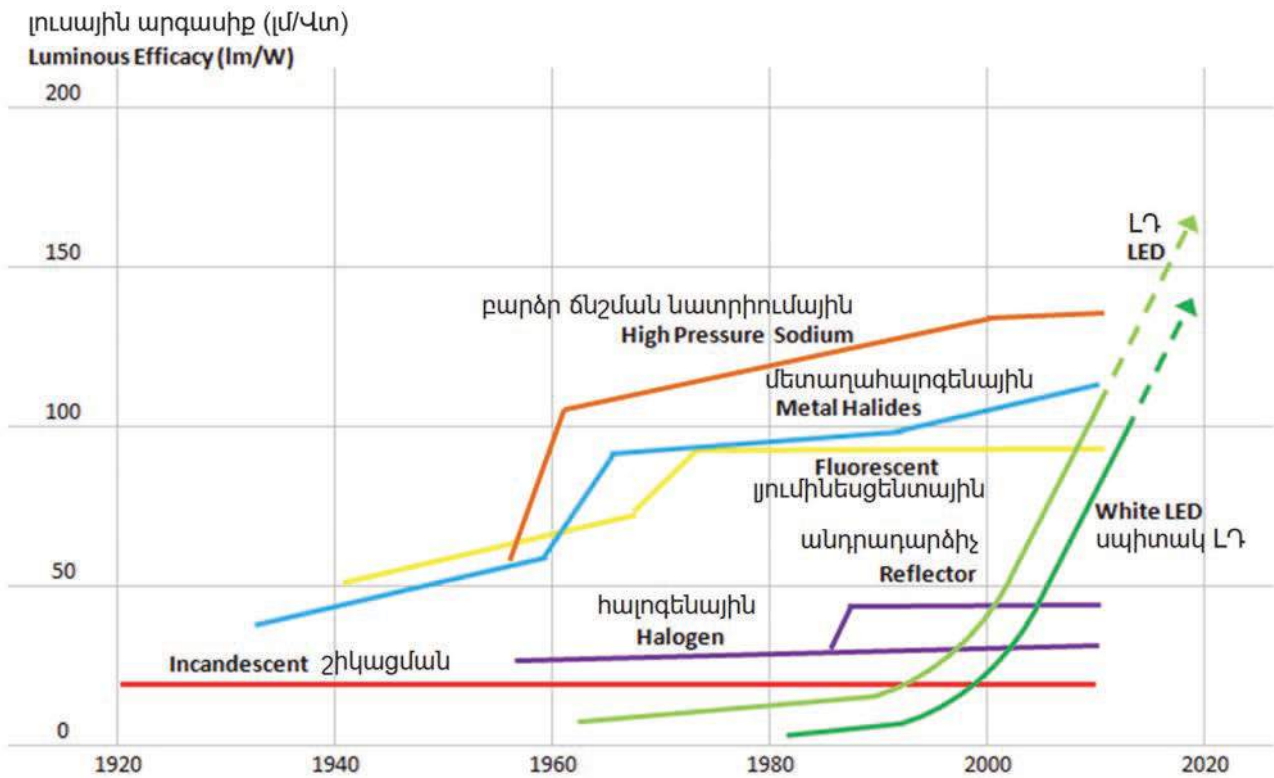
Table 11. LED luminous efficacy.

Source/Աղբյուրը՝ [https://en.wikipedia.org/wiki/Luminous\\_efficacy#Examples\\_2](https://en.wikipedia.org/wiki/Luminous_efficacy#Examples_2)

|                                                                     |                                                               | Luminous efficacy of radiation, lm/W<br>Ճառագայթման լուսարգասիք, Լմ/Վտ | Luminous efficiency, %<br>Լուսային ՕԳԳ, % |
|---------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| white LED (raw, without power supply)                               | Սպիտակ ԼԴ (առանց սնուցիչի)                                    | 4.5–150                                                                | 0.66–22%                                  |
| 4.1 W LED screw base lamp (120 V)                                   | 4.1 Վտ ԼԴ պտտտակավոր կոթառով լամպ (120 Վ)                     | 58.5–82.9                                                              | 8.6–12%                                   |
| 5.4 W LED screw base lamp (100 V 50/60 Hz)                          | 5.4 Վտ ԼԴ պտտտակավոր կոթառով լամպ (100 Վ 50/60 Հց)            | 101.9                                                                  | 14.9%                                     |
| 6.9 W LED screw base lamp (120 V)                                   | 6.9 W LED պտտտակավոր կոթառով լամպ (120 Վ)                     | 55.1–81.9                                                              | 8.1–12%                                   |
| 7 W LED PAR20 (120 V)                                               | 7 Վտ ԼԴ PAR20 (120 Վ)                                         | 28.6                                                                   | 4.2%                                      |
| 7 W LED PAR30 (110-230 V)                                           | 7 Վտ ԼԴ PAR30 (110-230 Վ)                                     | 60                                                                     | 8.8%                                      |
| 8.7 W LED screw base lamp (120 V)                                   | 8.7 Վտ ԼԴ պտտտակավոր կոթառով լամպ (120 Վ)                     | 69–93.1                                                                | 10.1–13.6%                                |
| Theoretical limit for a white LED with phosphorescence color mixing | Գոյնի ֆոսֆորեսցենտային խառնուրդով սպիտակ ԼԴ-ի տեսական սահմանը | 260–300                                                                | 38.1–43.9%                                |

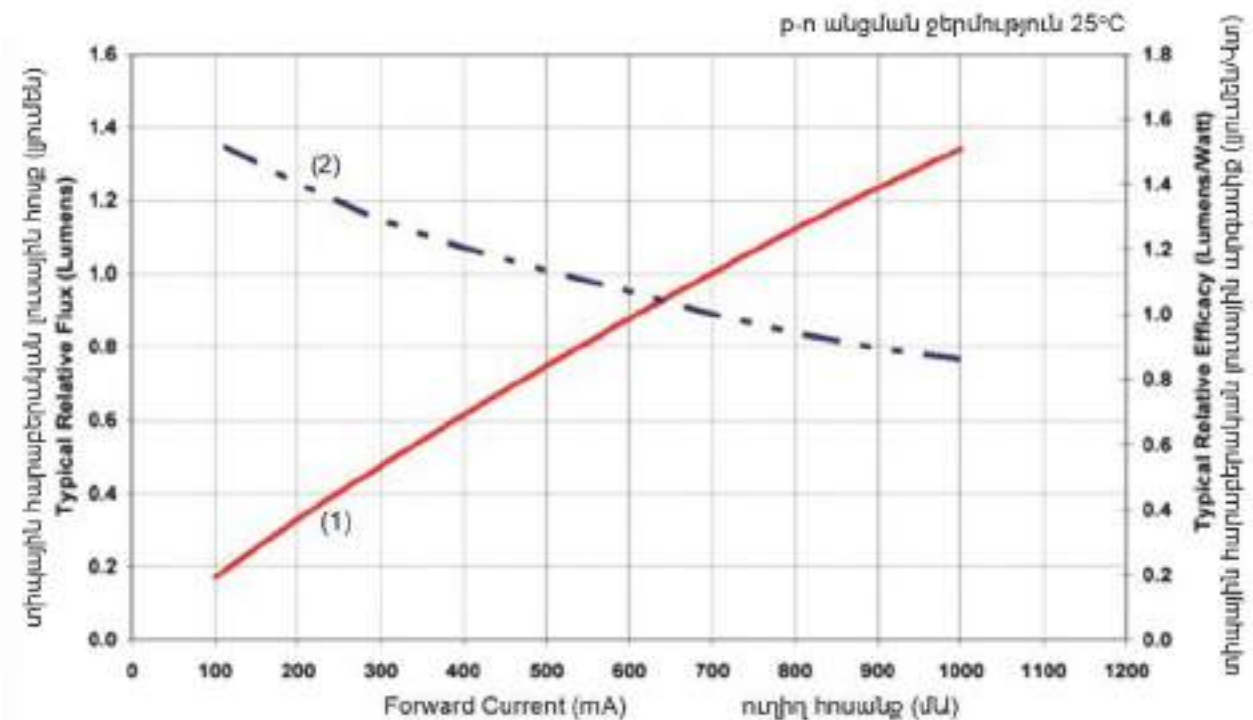
Աղյուսակ 11. ԼԴ-ի լուսարգասիքը

Figure 50. Luminous efficacy of various sources.

Source/Աղբյուրը՝ <http://wanyu-led.blogspot.am/>

Նկար 50. Տարատեսակ աղբյուրների լուսարգասիքը:

Figure 51. Note that light output of LED light sources increases with increasing drive current. However the efficacy, expressed in lumens per watt, drops.

Source/Աղբյուրը՝ [www.ledsmagazine.com/articles/print/volume-4/issue-8/features/driving-led-lamps-some-simple-design-guidelines.html](http://www.ledsmagazine.com/articles/print/volume-4/issue-8/features/driving-led-lamps-some-simple-design-guidelines.html)

Նկար 51. Նկատենք, որ չնայած հոսանքի մեծացման հետ լույսի ուժը մեծանում է (1), սակայն լուսարգասիքը լմ/Վտ-ով արտահայտված պակասում է (2):

**Correlated Color Temperature and Color Rendering Index:** It is relatively easy to achieve almost any Correlated Color Temperature via RGB LEDs, since color temperature can be achieved through the ratios of the respective color outputs. However, always this will be done via certain sacrifice of the luminous efficacy. This is also true for dichromatic and tetrachromatic LEDs. Naturally, dichromatic LEDs do not achieve very high CRI, but easily reach 120 lm/W efficacy. The best CRI-s are achieved with tetrachromatic LEDs, again at the expense of luminous efficacy. As it has been mentioned above, the best balance is for trichromatic LEDs, with luminous efficacy surpassing 70 lm/W.

For the phosphor-converted white LEDs (pcLEDs, Figure 46 depicts the concept) – while it has smoother spectrum power distribution, there is a large, prominent peak related to the LED primary emission. This large peak of the primary emission is lesser harmful, if it is in the UV region, in which case very high CRI is possible to achieve. Although the primary LED peak is much higher, but it lays at the least sensitive region of the human photopic luminosity function (Figure 6), due to which the final efficacy of the phosphor based LED can be 3-5 or more times higher, especially if the LED itself is emitting in the UV region. In fact, the reason that the most of the currently produced LEDs for lighting are pcLEDs is that the production process is simpler, compared to the RGB LEDs and thus costs less. The blue InGaN LED and YAG phosphor combination yield efficacies around 100 lm/W with potential up to 175 lm/W, with CRI >80, while for CRI around 60, efficacy of 210 lm/W is achievable (Ching-Cherng Sun, n.d.).

**Flicker index or Speed of reaction** – The RGB LEDs are very responsive to flicker, unless they are loaded to drivers, since these are normal diodes – their response is very quick, at the level of a microsecond, and repeats the waveform of the power source. However, the phosphor LEDs are more inertuous, since the phosphor itself has a much longer relaxation time. Since most of the LEDs are driven by some kind of driver, usually it manages the flicker very effectively, virtually making it flicker free - please see “power supply” section below.

**Start time, sec** – Start time is very short too – the same microsecond order of magnitude works here, but again depends on the power supply type – anyway, no problems in this regard – in most of the cases can be regarded as almost instantaneous.

**Power supply** – One needs remember, that “Changes in voltage can produce a disproportional

**Կորելացված (փոխկապակցված) գունային ջերմաստիճանի և գույնի վերարտադրության ցուցիչ.** RGB ԼԴ-ների միջոցով համեմատաբար դյուրին է հասնել գրեթե ցանկացած կորելացված (փոխկապակցված) գունային ջերմաստիճանի, քանի որ այն կարելի է ստանալ համապատասխան ելքային գույների համամասնության շնորհիվ: Սակայն դա միշտ արվում է լուսարգասիքի որոշակի զոհաբերության հաշվին: Սա ճիշտ է նաև դիքրոմատիկ (երկգույն) և տետրաքրոմատիկ (քառագույն) ԼԴ-ների պարագայում: Պարզ է, որ դիքրոմատիկ ԼԴ-ը չի կարող հասնել շատ բարձր ԳՎՑ-ի, սակայն հեշտությամբ կարող է հասնել 120 լմ/Վտ արգասիքին: Լավագույն ԳՎՑ-ները ստացվում են տետրաքրոմատիկ ԼԴ-ներից, կրկին՝ լուսարգասիքի հաշվին: Ինչպես արդեն նշվել է, լավագույն հավասարակշռությունը ստացվում է տրիքրոմատիկ ԼԴ-ներից, որտեղ լուսարգասիքը գերազանցում է 70 լմ/Վտ-ը:

Չնայած լյումինոֆորի միջոցով փոխակերպված սպիտակ ԼԴ-ների (pcLEDs, Նկար 46-ում պատկերված է դրա սկզբունքը), համեմատաբար ողորկ հզորության սպեկտրի բաշխմանը, առկա է ԼԴ առաջնային ճառագայթման ուժեղ և հստակ մաքսիմում: Այս առաջնային ճառագայթման ազդեցությունը պակաս վնասակար է, եթե այն անտեսանելի ՈւՄ տիրույթում է, որի դեպքում հնարավոր է շատ բարձր ԳՎՑ ստանալ: Թեև ՈւՄ ալիքների տիրույթում առաջնային ԼԴ ճառագայթման գագաթը շատ ավելի բարձր է, սակայն այն ընկնում է մարդու ֆոտոպիկ լուսազգայնության ֆունկցիայի նվազագույն զգայության տիրույթում (Նկար 6), որի շնորհիվ ֆոսֆորի հիմքով կառուցված ԼԴ-ի վերջնական արգասիքը կարող է 3-5 անգամ ավելի բարձր լինել: Ներկայումս լուսավորության համար արտադրվող ԼԴ-ները մեծամասնությամբ pcLED-ներ են և դրա պատճառն այն է, որ RGB ԼԴ համեմատ դրանց արտադրության գործընթացը ավելի դյուրին է և, հետևաբար, ավելի էժան: Կապույտ InGaN ԼԴ-ի և YAG ֆոսֆորի համադրությունը շուրջ 100 լմ/Վտ արգասիք է ապահովում՝ մինչև 175 լմ/Վտ աճի հնարավորությամբ, որտեղ ԳՎՑ > 80, իսկ մոտ 60 ԳՎՑ դեպքում, արգասիքը հասնում է 210 լմ/Վտ (Ching-Cherng Sun, n.d.):

**Ֆիքր ցուցիչ կամ արձագանքի արագություն.** Ֆիքրի նկատմամբ RGB ԼԴ-ները շատ զգայուն են, եթե դրանք չեն սնվում ցածրավոլտ հաստատուն հոսանքի աղբյուրներից՝ «դրայվերներից»: Քանի որ դրանք իրենցից ներկայացնում են սովորական դիոդներ, ապա դրանց արձագանքը շատ արագ է՝ միկրովայրկյանների կարգի, և կրկնում է սնուցման աղբյուրի ալիքի ձևը: Սակայն ֆոսֆորային ԼԴ-ներն ավելի իներտ են, որովհետև ֆոսֆորն ավելի երկար վերականգնման ժամանակ ունի: Քանի որ ԼԴ-ներից շատերն աշխատում են որևէ տեսակի դրայվերով, ապա վերջինս արդյունավետ կերպով չեզոքացնում է թարթումները՝ փաստորեն այն դարձնում է թարթումից զերծ, տես նաև ստորև՝ «սնուցիչ» կետը:

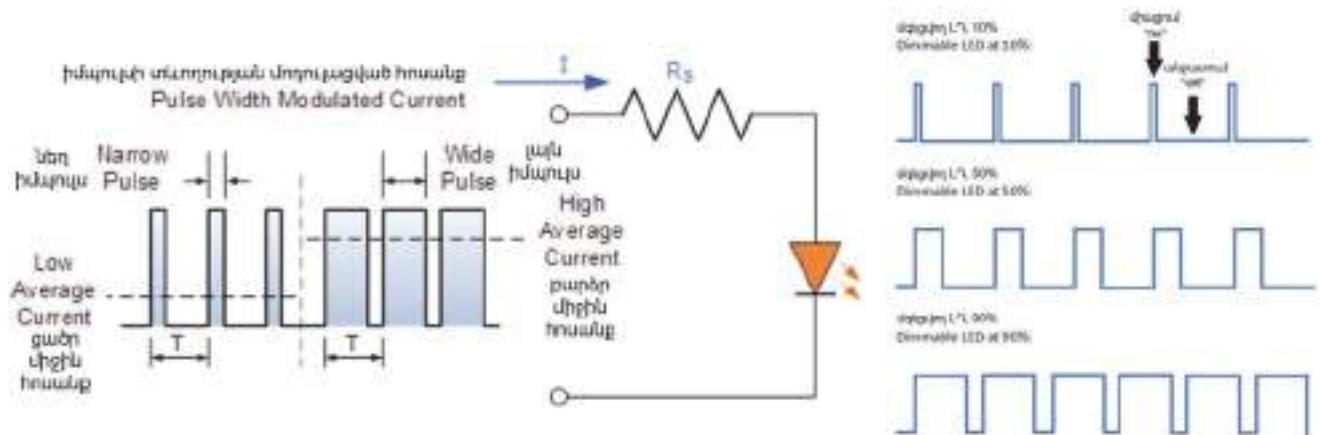
**Միացման տևողությունը՝ վայրկյան.** Միացման տևողությունը, նույնպես, շատ կարճ է՝ միկրովայրկյանի կարգի, սակայն կրկին՝ կախված է սնուցիչի տեսակից: Ամեն դեպքում այս առումով խնդիրներ չկան, շատ դեպքերում դա կարելի է գրեթե ակնթարթային համարել:

**Սնուցիչ.** Պետք է հիշել, որ «լարման փոփոխությունը կարող է բերել հոսանքի ոչ համեմատական փոփո-

change in current, which in turn can cause light output to vary, as LED light output is proportional to current and is rated for a current range” (DiLouie, n.d.). Thus, the LED driver is a current source – i.e. it strives to stabilize the current that flows through a LED. Power supply in many cases is a pulse width modulation (PWM) converter (Figure 52), that usually has very high efficiency, >95%. In fact, the frequency of the PWM can also cause flicker, however unnoticeable, since the frequency is high. Usually within 200 Hz to MHz region and higher, it cannot be noticed by human eye, but by a device like a camera. If the dimmer is executed through PWM device – performs the dimming by changing the pulse width, then a LED lamp has integrated dimming. Otherwise, it is hard to perform complete full dimming via an additional dimmer, which in fact is also usually a PWM device. In some cases the dimming is performed via control of the forward bias, which is lesser efficient. In most of the cases the driver, without a dimmer is integrated into the lightbulb, and in some cases the driver is separate (Figure 53).

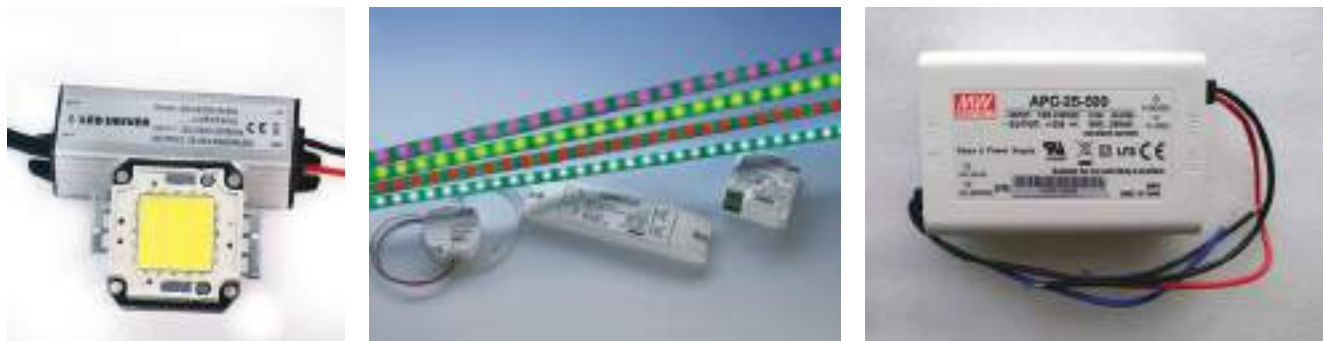
խության, որը, իր հերթին, կազդի լուսային ելքի վրա, քանի որ ԼԴ-ի ելքը համեմատական է հոսանքին և նախատեսված է հոսանքի որոշակի տիրույթի համար» (DiLouie, n.d.): Հետևաբար, ԼԴ դրայվերը՝ դա «հոսանքի աղբյուր» է, այսինքն՝ այն ձգտում է կայունացնել ԼԴ միջով անցնող հոսանքը: Շատ դեպքերում մնուցիչ՝ իմպուլսի տևողության մոդուլացիայով (pulse width modulation - PWM) փոխարկիչ/կոնվերտոր է, Նկար 52, որը սովորաբար ունի շատ բարձր ՕԳԳ՝ >95%: PWM-ի հաճախությունը, նույնպես, կարող է թարթում առաջացնել, այսուհանդերձ ըստ էության աննկատ՝ քանի որ հաճախությունը բարձր է: Սովորաբար 200 Հց – ՄՀց տիրույթում թարթումը հնարավոր է նկատել միայն ֆոտոկամ տեսախցիկի միջոցով: Եթե PWM սարքի միջոցով լույսի ուժի կարգավորում է իրականացվում, և այդ կարգավորումը կատարվում է իմպուլսի լայնությունը փոխելու միջոցով, ապա ԼԴ լամպը կունենա ներկառուցված լույսի ուժի կարգավորում: Հակառակ դեպքում շատ դժվար է լիարժեք լույսի ուժի կարգավորում իրագործել լրացուցիչ արտաքին սարքի միջոցով, որը սովորաբար նույնպես PWM սարք է: Որոշ դեպքերում լույսի ինտենսիվության կարգավորումը կատարվում է պակաս արդյունավետ՝ լարման ուղղակի կարգավորման միջոցով: Շատ ավելի հաճախ լամպում տեղադրվում է դրայվեր առանց լույսի ուժի կարգավորիչի, իսկ որոշ դեպքերում դրայվերն առանձնացված է (Նկար 53)։

Figure 52. Illustration to PWM principle – longer are pulses, brighter is the LED output.



Նկար 52. Իմպուլսի տևողության մոդուլացիայի (PWM) սկզբունքի սխեմատիկ պատկերը. որքան երկար են իմպուլսները, այնքան պայծառ է ԼԴ-ի ելքը:

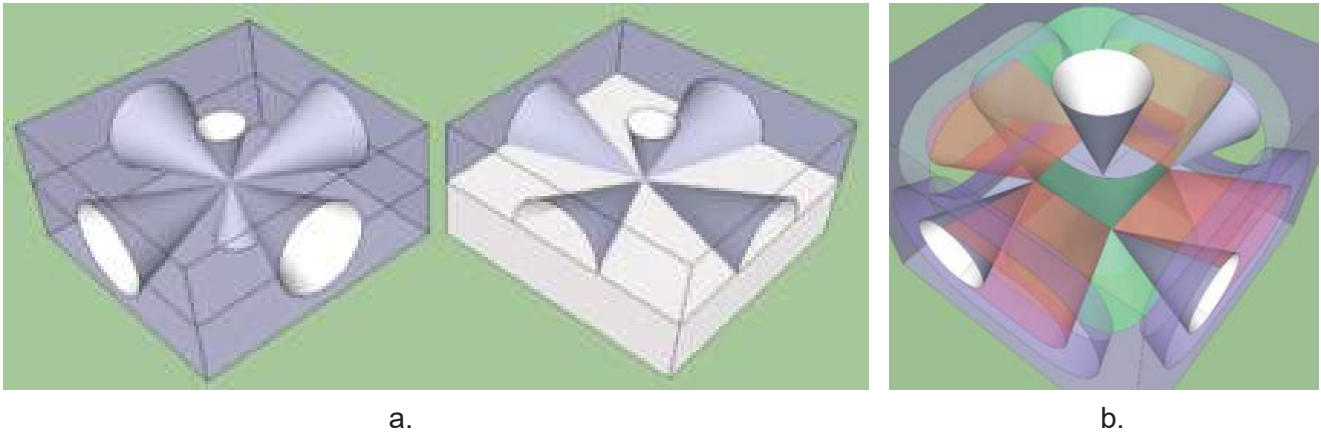
Figure 53. LED drivers.



Նկար 53. ԼԴ դրայվերներ:

Figure 54. Light propagation from a point source (a) and bulk (b) of a semiconductor wafer.

Source/Աղբյուրը՝ [www.ledsmagazine.com/articles/print/volume-4/issue-8/features/driving-led-lamps-some-simple-design-guidelines.html](http://www.ledsmagazine.com/articles/print/volume-4/issue-8/features/driving-led-lamps-some-simple-design-guidelines.html)



Նկար 54. Լույսի տարածումը կետային աղբյուրից (ա) և կիսահաղորդչային թիթեղի ծավալային, խորքային, մակերեսից հեռու մասից:

**Optics** – The light comes out of the semiconductor substrate in a very special way – according to the optics of an interface between high refraction index vs low refraction index. Here the full internal reflection forces the light to come out via cones, as shown in Figure 54. Thus, special optics should be applied for all LEDs, but especially to single color or RGB LEDs (Figure 55). For pcLEDs an interesting phenomenon is observed: at specular angles (close to emitting axis) both primary LED emission and luminescence are visible, but at larger angles at the view from the side yellowish luminescence prevails, creating angular dependency of the emission spectrum.

**Օպտիկա.** Լույսը կիսահաղորդչային թիթեղից խիստ յուրահատուկ կերպ է ելնում, ենթարկվելով բարձր և ցածր բեկման ցուցիչով միջավայրերի սահմանի օպտիկայի օրենքներին: Այստեղ լրիվ ներքին անդրադարձման երևույթը ստիպում է լույսին դուրս գալ կոնաձև փնջի ձևով, ինչպես ցույց է տրված Նկար 54-ում: Այդ պատճառով բոլոր ԼԴ-ների համար հատուկ օպտիկա պետք է կիրառվի, հատկապես միագույն կամ RGB սարքերի համար, Նկար 55: pcLED-երի համար մի հետաքրքիր երևույթ է դիտվում. սպեկուլյար, այսինքն առանցքին մոտ դիտման անկյունների դեպքում երևում է սպիտակ լույս, որը առաջնային և լյումինոֆորից ճառագայթումների խառնուրդն է, իսկ կողքից դիտելիս երևում է հիմնականում լյումինոֆորից եկող դեղնավուն լույսը, այսպիսով ստեղծելով ճառագայթման սպեկտրի անկյունային կախվածություն:

Figure 55. Optical elements of LEDs.





Նկար 55. ԼԴ լամպերի օպտիկական էլեմենտները:



In general, LEDs provide wide variety for the practical implementation for any illumination tasks, whether spot light, flood lights or disperse illumination is needed, all can be addressed by the flexibility that LEDs optics provide.

**Operational temperature, °C** – as any other semiconductor device, the working temperature of LEDs should be kept as low as possible, however, working temperatures of  $< 60$  °C are recommended, but in many cases it can reach up to 90 °C. Thus, radiators should provide good heat dissipation. Certainly compared to other sources this is a Cold Light. LEDs' efficiency decreases as the current increases through the diode, as shown in Figure 51. Naturally heating increases with higher currents - shrinking LED lifetime. For high power output applications these effects limits the LED current and temperature.

**Mounting type, most common** – The LED bands are the most outstanding mounting. The rest is mostly the same as with incandescent and fluorescent lightbulbs. Certainly, for street lighting some special mounts are used.

**Longevity/degradation, hours** – this is one of the strongest areas of LEDs. While current luminous efficacy is about the same as with e.g. metal halide arc lamps, however, their longevity is more than 50 000 hours. However, they experience efficiency droop, if their operational temperature higher than that of mentioned in their specifications. In many cheaper Chinese LEDs, the most common failure is not related to the LED but its driver, especially in an environment where electric grid does not supply high quality, steady, jump-free power.

**Price, for 100 W, US\$** – \$50 - \$100, more expensive ones usually also provide warranty.

Table 12 summarizes LED information.

Ընդհանուր առմամբ, լուսավորության ցանկացած նպատակների իրականացման համար ԼԴ լամպերն ընձեռում են գործնական կիրառության լայն բազմազանություն՝ լինի դա փնջային, ողողող կամ ցրված լուսավորություն, և այդ բոլոր լուծումները կարելի է իրականացնել ԼԴ լամպերի օպտիկայի ճկունության շնորհիվ:

**Աշխատանքային ջերմաստիճան՝ °C.** Ինչպես ցանկացած այլ կիսահաղորդիչ սարքի պարագայում՝ ԼԴ լամպերի աշխատանքային ջերմաստիճանը պետք է պահվի հնարավորինս ցածր (սորիհուրդ է տրվում  $< 60$  °C աշխատանքային ջերմաստիճանը), սակայն շատ դեպքերում այն կարող է հասնել մինչև 90 °C: Հետևաբար, ջերմությունը արդյունավետ հեռացնելու համար կիրառվում է ցրող ռադիատոր: Այլ աղբյուրների համեմատ սա, իհարկե, **սառը լույս** է համարվում: Երբ դիտվում է անցնող հոսանքն ավելանում է՝ ԼԴ լամպերի արդյունավետությունը ընկնում է (Նկար 51): Այսպիսով, ավելի բարձր հոսանքը բարձրացնում է ջերմությունը և կարճացնում ԼԴ-ի երկարակեցությունը:

**Ամենաարածված մոնտաժման եղանակը.** ԼԴ ժապավենները՝ մոնտաժման ամենաերևելի եղանակն է: Մնացած ձևերը հիմնականում նման են շիկացման և լյումինեսցենտային լամպերին: Փողոցային լուսավորության համար անհրաժեշտ են մոնտաժման հատուկ հարմարանքներ:

**Երկարակեցություն և դեգրադացիա՝ ժամ.** Սա ԼԴ լամպերի ամենաուժեղ հատկանիշներից մեկն է: Չնայած դրանց ներկայիս լուսարգասիքը գրեթե նույնն է, ինչ, օրինակ՝ մետաղահալիչ գազապարպման լամպերինը, սակայն երկարակեցությունը 50000 ժամից ավելին է: ԼԴ-ների ՕԳԳ-ն ընկնում է, եթե աշխատանքային ջերմաստիճանը գերազանցում է տեխնիկական մասնագրերով սահմանվածը: Չինական արտադրության էժանագին ԼԴ լամպերի խափանման ամենատարածված պատճառը ԼԴ-ը չի, այլ դրա դրայվերը, հատկապես այնպիսի միջավայրում, որտեղ էլեկտրական ցանցը չի կարողանում որակյալ և առանց լարման կտրուկ տատանումների էներգիա մատակարարել:

**Գինը՝ 100 Վտ/ԱՄՆ դոլար.** \$50 - \$100. ավելի թանկ տարբերակների դեպքում սովորաբար տրվում են երաշխիքներ:

ԼԴ տվյալներն ամփոփված են Աղյուսակ 12-ում:

Table 12. LED Summary table.

| #   | Parameter name               | Value                                                                                | Note                                                                                            |
|-----|------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1.  | Operational principle        | Emissive injection in semiconductor diodes - electroluminescence, photoluminescence. | SPD defined by the semiconductor material properties, mostly the energy band gap.               |
| 2.  | Luminous efficacy, lm/W      | 50-200                                                                               | A par with arc lamps, with greater promise.                                                     |
| 3.  | Color Rendering Index        | 30-95                                                                                | Improves all the time, has highest promise.                                                     |
| 4.  | Speed of reaction            | microseconds                                                                         | Favorable                                                                                       |
| 5.  | Start time, sec              | short                                                                                | One of the best, but slower with a special dimmer                                               |
| 6.  | Power supply                 | PWM                                                                                  | High efficiency, allows easy dimming if designed so, external dimming limited, not recommended. |
| 7.  | Optics                       | Large variety                                                                        | Most flexible                                                                                   |
| 8.  | Operational temperature, C°  | 50 °C - 90 °C                                                                        | Cool, but still needs cooling for longevity.                                                    |
| 9.  | Mounting type, most common   | E27, E14, G4 and all other, including T (tubular) series                             | Most common                                                                                     |
| 10. | Longevity/degradation, hours | 35000 - 50000                                                                        | Longest and growing                                                                             |
| 11. | Price, for 100 W, US\$       | 50 - 100                                                                             | Relatively expensive                                                                            |

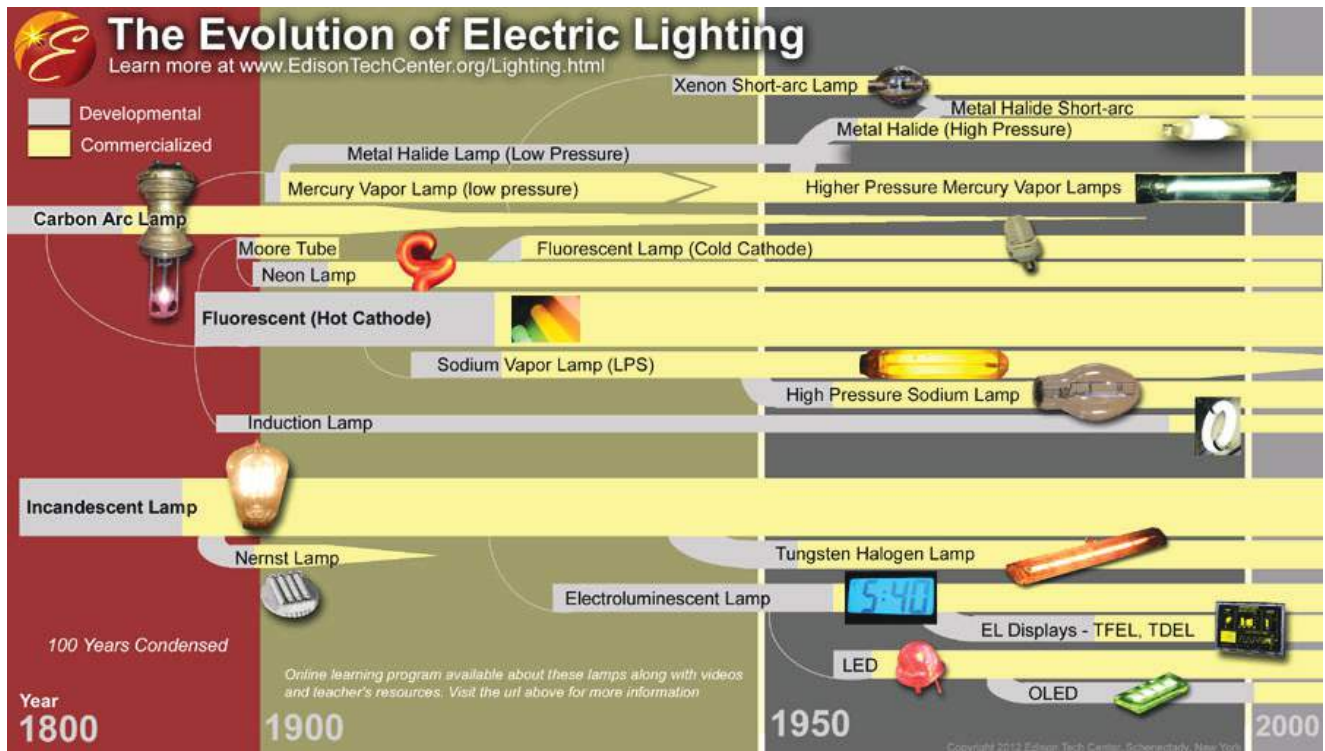
Աղյուսակ 12. ԼԴ ամփոփիչ աղյուսակ:

| #   | Պարամետրի անվանումը                | Արժեքը                                                                                    | Նշում                                                                                                                              |
|-----|------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1.  | Աշխատանքի սկզբունքը                | ճառագայթող ինժեկցիա կիսահաղորդիչ դիոդներում՝ էլեկտրալյումինեսցենցիա, ֆոտոլյումինեսցենցիա. | կիսահաղորդիչ նյութի հատկություններով պայմանավորված ՀՄԲ, հիմնականում պայմանավորված էներգետիկ արգելված գոտու լայնությամբ             |
| 2.  | Լուսարգասիք, լմ/Վտ                 | 50-200                                                                                    | զազապարպման լամպերին հավասար, սակայն ավելի խոստումնալից                                                                            |
| 3.  | Գույնի վերարտադրության ցուցիչ,     | 30-95                                                                                     | անընդհատ բարելավվում է, ցուցիչն ունի աճման մեծ ներուժ                                                                              |
| 4.  | Արձագանքի արագություն              | միկրովայրկյան                                                                             | բարենպաստ                                                                                                                          |
| 5.  | Միացման տևողությունը, վայրկյան     | կարճ                                                                                      | լավագույններից մեկը, սակայն ավելի դանդաղ է լույսի ուժի հատուկ կարգավորիչներով                                                      |
| 6.  | Սնուցիչ                            | PWM                                                                                       | բարձր ՕԳԳ, ուժգնությունը հեշտությամբ կարգավորվում է, եթե այդպես է նախագծված, արտաքին կարգավորումը սահմանափակ է՝ խորհուրդ չի տրվում |
| 7.  | Օպտիկան                            | լայն բազմազանություն                                                                      | ամենաճկուն                                                                                                                         |
| 8.  | Աշխատանքային ջերմաստիճան, C°       | 50 °C - 90 °C                                                                             | սառը, սակայն երկարակեցության համար պետք է հովացնել                                                                                 |
| 9.  | Ամենատարածված մոնտաժման ձևը        | E27, E14, G4 ստանդարտները և մյուս բոլորը, այդ թվում՝ T (խողովակաձև) տեսակները             | ամենատարածված                                                                                                                      |
| 10. | Երկարակեցություն և դեգրադացիա՝ ժամ | 35000 - 50000                                                                             | Ամենաերկարակյացն է և ունի աճի պոտենցիալ                                                                                            |
| 11. | Գինը, 100 Վտ/ԱՄՆ դոլար             | 50 - 100                                                                                  | համեմատաբար թանկ                                                                                                                   |

<sup>11</sup> See Chapter 7 for more on this topic.  
Այս թեմայի մասին ավելին տես Գլուխ 7-ը:

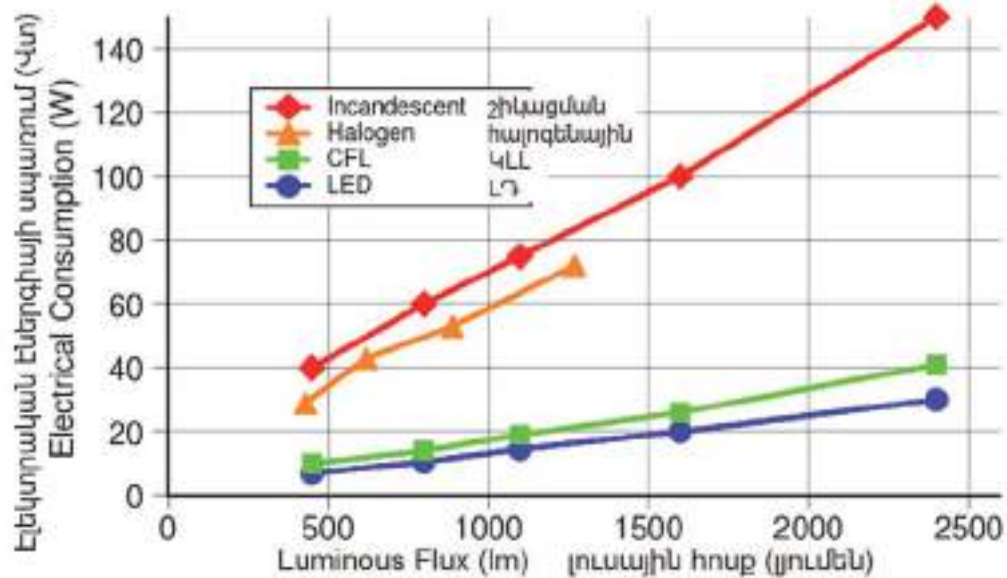
## 6. SUMMARY TABLE

## 6. ԱՄՓՈՓԻՉ ԱՂՅՈՒՍԱԿ



Source/Աղբյուրը՝ <http://www.edisontechcenter.org/ArcLamps.html#timeline>

Figure 56. Energy efficiency of light bulbs.



Նկար 56. Լամպերի էներգաարդյունավետություն:

## REFERENCES / ՀՂՈՒՄՆԵՐ

1. <https://en.wikipedia.org/wiki/Lighting>
2. <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:V-lambda-phot-scot.svg>
3. <https://www.ledsmagazine.com/articles/print/volume-12/issue-11/features/flicker/understand-the-lighting-flicker-frustration.html>
4. <http://zeiss-campus.magnet.fsu.edu/articles/lightsources/tungstenhalogen.html>
5. [https://en.wikipedia.org/wiki/Incandescent\\_light\\_bulb#Halogen\\_lamps](https://en.wikipedia.org/wiki/Incandescent_light_bulb#Halogen_lamps)
6. <http://www.lamptech.co.uk/>
7. <http://edisontechcenter.org/>
8. [https://en.wikipedia.org/wiki/Luminous\\_efficacy](https://en.wikipedia.org/wiki/Luminous_efficacy)
9. [https://en.wikipedia.org/wiki/Color\\_rendering\\_index](https://en.wikipedia.org/wiki/Color_rendering_index)
10. <http://abet-technologies.com/solar-simulators/sun-3000-class-aaa/>
11. <http://warisanlighting.com/type-a-lamp.html>
12. [https://en.wikipedia.org/wiki/Fluorescent\\_lamp](https://en.wikipedia.org/wiki/Fluorescent_lamp)
13. <https://www.ledsmagazine.com/articles/print/volume-12/issue-11/features/flicker/understand-the-lighting-flicker-frustration.html>
14. [https://en.wikipedia.org/wiki/Compact\\_fluorescent\\_lamp#Energy\\_efficiency](https://en.wikipedia.org/wiki/Compact_fluorescent_lamp#Energy_efficiency)
15. <http://jedavu.tumblr.com/post/92556238216/stunning-light-sculptures-reveal-our-culture>
16. <http://www.techinsider.io/jake-dysons-revolutionary-light-bulb-lasts-an-entire-lifetime-2016-7>
17. <https://www.lightbulbs.com/fluorescent-bulb-and-base-types>
18. K. Lehovec; C. A. Accardo; AND E. Jamgochian (1951). "Injected Light Emission of Silicon Carbide Crystals". *Physical Review*. 83 (3): 603–607. doi:10.1103/PhysRev.83.603.
19. <https://www.slideshare.net/MohammedMannani/optical-source-led-by-sufiyan-a-khan>
20. Basics of LED drivers Functions • Requirements • Selection. Andreas Hagemeyer Master of Science 05.2015 [https://www.friwo.de/uploads/tx\\_kkdownloader/LED\\_drivers\\_basics\\_E.pdf](https://www.friwo.de/uploads/tx_kkdownloader/LED_drivers_basics_E.pdf)
21. <https://www.instructables.com/id/RGB-LED-Moodlight-in-10-minutes/>
22. <http://wanyu-led.blogspot.com/>
23. <https://www.ledsmagazine.com/articles/print/volume-4/issue-8/features/driving-led-lamps-some-simple-design-guidelines.html>



# ԿԱՆԱԶ ԼՈՒՍԱՎՈՐՈՒԹՅՈՒՆ

Տեսությունը և սկզբունքները ճարտարապետների և ճարտարագետների համար

## GREEN LIGHTING

Theory and Principles for Engineers and Architects

Համբարյան Արտակ, Ղազարյան Վարդան

Artak Hambarian, Vardan Ghazaryan



Empowered lives.  
Resilient nations.



ISBN 978-9939-1-0837-7 © UNDP Armenia, 2018

### CHAPTER 3

Indoor lighting: health-related, efficient,  
and cost-effective solutions



### ԳԼՈՒԽ 3

Ներքին լուսավորություն. առողջությանը նպաստող,  
բարձր ՕԳԳ-ով և ծախսարդյունավետ լուծումներ



**CHAPTER 3****Indoor Lighting:  
Health-related, Efficient,  
and Cost-Effective Solutions****ԳԼՈՒԽ 3****Ներքին լուսավորություն.  
Առողջությանը նպաստող, բարձր ՕԳԳ-  
ով և ծախսարդյունավետ լուծումներ**

| <b>Contents</b>                                                          |     | <b>Բովանդակություն</b>                                                                   |
|--------------------------------------------------------------------------|-----|------------------------------------------------------------------------------------------|
| Indoor Lighting: Health-related, Efficient, and Cost-Effective Solutions | 119 | Ներքին լուսավորություն. Առողջությանը նպաստող, բարձր ՕԳԳ-ով և ծախսարդյունավետ լուծումներ  |
| Seasonal affective disorder (SAD)                                        | 119 | Սեզոնային դեպրեսիա (ՍԴ)                                                                  |
| Lighting Patterns for Healthy Buildings                                  | 120 | Լուսավորության նմուշներ առողջ կենսակերպի շենքերի համար                                   |
| Senior Living                                                            | 120 | Տարեցներ                                                                                 |
| School                                                                   | 121 | Դպրոց                                                                                    |
| Kruithof Curves                                                          | 121 | Կրույթոֆի կորեր                                                                          |
| 1. Day lighting – windows, light pipes, their benefits                   | 124 | 1. Բնական (արևային) լուսավորություն՝ լուսամուտներ, լուսատարներ և դրանց առավելությունները |
| Clerestory Windows                                                       | 124 | Վերնապատուհանների շարք                                                                   |
| Skylights                                                                | 125 | Երդիկ-լուսատար                                                                           |
| Translucent walls, floors                                                | 128 | Լուսաթափանց պատեր, հատակ                                                                 |
| 2. Energy efficient indoor lighting technologies and solutions           | 129 | 2. Ներքին լուսավորության էներգաարդյունավետ տեխնոլոգիաներ և լուծումներ                    |
| 3. Control systems and their application for energy efficient solutions  | 130 | 3. Կառավարման համակարգերը և դրանց կիրառումը էներգաարդյունավետ լուծումներում              |
| 4. Approaches for energy efficient upgrade of lighting systems           | 131 | 4. Լուսավորության համակարգերի էներգաարդյունավետ արդիականացման մոտեցումներ                |
| Daylighting                                                              | 131 | Բնական լուսավորություն                                                                   |
| The goals of upgrade of electric lighting system                         | 133 | Էլեկտրական լուսավորության համակարգի արդիականացման նպատակները                             |
| 5. Standards and norms for indoor lighting, measurement methodology      | 134 | 5. Ներքին լուսավորության ստանդարտներն ու նորմերը, չափման մեթոդաբանությունը               |
| Recommended Lighting Levels in Buildings                                 | 134 | Շենքերում առաջարկվող լուսավորվածության մակարդակները                                      |
| Lighting Power Density (LPD)                                             | 136 | Լուսավորության հզորության խտություն (ԼՀԽ)                                                |
| Recommended Light Levels by Space                                        | 137 | Լուսավորվածության առաջարկվող մակարդակներն՝ ըստ տարածքի                                   |
| Basic measurement methodology                                            | 140 | Չափման հիմնական մեթոդաբանությունը                                                        |
| References                                                               | 142 | Հղումներ                                                                                 |

## INDOOR LIGHTING: HEALTH-RELATED, EFFICIENT, AND COST-EFFECTIVE SOLUTIONS

Most of the humans spend most of their time indoors – homes or offices, labs or industrial and commercial areas. Along with heating, ventilation and cooling, *indoor lighting* affects human health, performance, wellbeing and in general behaviour. There are a few aspects of that effect that are necessary to address, when one designs the indoor lighting. For the sake of energy efficiency, as well for the health aspects, it is necessary to consider both daylighting, i.e. the use of the direct or indirect solar radiation for interior lighting, as well as energy efficient, comfort and convenience related aspects of modern lighting technologies and their control.

The citations below illustrate the importance of the proper lighting for humans' health.

### Seasonal affective disorder (SAD)

#### Definition

By Mayo Clinic Staff

Seasonal affective disorder (SAD) is a type of depression that's related to changes in seasons — SAD begins and ends at about the same times every year. If you're like most people with SAD, your symptoms start in the fall and continue into the winter months, sapping your energy and making you feel moody. Less often, SAD causes depression in the spring or early summer.

Treatment for SAD may include **light therapy (phototherapy)**, psychotherapy and medications.

Don't brush off that yearly feeling as simply a case of the “**winter blues**” or a seasonal funk that you have to tough out on your own. Take steps to keep your mood and motivation steady throughout the year (Staff, 2014).

## ՆԵՐՔԻՆ ԼՈՒՍԱՎՈՐՈՒԹՅՈՒՆ. ԱՌՈՂՋՈՒԹՅԱՆԸ ՆՊԱՍՏՈՂ, ԲԱՐՁՐ ՕԳԳ-ՈՎ ԵՎ ԾԱԽՍԱՐ-ԴՅՈՒՆԱՎԵՏ ԼՈՒԾՈՒՄՆԵՐ

Մարդկանց մեծամասնությունը ժամանակի մեծ մասն անց է կացնում շենքի ներսում՝ տանը կամ գրասենյակում, լաբորատորիայում կամ արդյունաբերական և առևտրային տարածքներում: Ջեռուցման, օդափոխման և հովացման հետ միասին, *ներքին լուսավորություն*ն ազդում է մարդու առողջության, աշխատունակության, ինքնագգացողության և ընդհանուր վարքագծի վրա: Այդպիսի ազդեցությունը մի քանի կողմ ունի, որոնց հարկավոր է ուշադրություն դարձնել ներքին լուսավորությունը նախագծելիս: Հաշվի առնելով էլեկտրաէներգիայի արդյունավետության, ինչպես նաև առողջության պահպանման խնդիրները, ներքին լուսավորությունը նախագծելիս անհրաժեշտ է ընդգրկել ինչպես բնական լուսավորությունը, օրինակ՝ արևի ուղղակի կամ անուղղակի ճառագայթների օգտագործումը, այնպես էլ լուսավորության ժամանակակից տեխնոլոգիաների էներգաարդյունավետության, հարմարավետության և հարմարության հարցերը և դրանց կառավարումը:

Ստորև բերված մեջբերումները ցույց են տալիս պատշաճ լուսավորության կարևորությունը մարդու առողջության համար:

### Սեզոնային դեպրեսիա/ընկճախտ (ՍԴ)

#### Սահմանում

Մայոյի կլինիկայի աշխատակազմի կողմից

Սեզոնային դեպրեսիան (ՍԴ) դեպրեսիայի տեսակ է, որը կապված է տարվա եղանակների փոփոխությունների հետ. ՍԴ-ն սկսվում և ավարտվում է ամեն տարի գրեթե միևնույն ժամանակ: ՍԴ-ի հակվածություն ունեցողների մեծամասնությանը բնորոշ են համանման ախտանիշներ, որոնք սկսում են ի հայտ գալ աշնանը և շարունակվում են ձմռան ամիսներին, առաջ բերելով էներգիայի պակաս և մոայլ տրամադրություն: ՍԴ-ն հազվադեպ է առաջանում գարնանը կամ ամռան սկզբներին:

ՍԴ-ի բուժումը կարող է ներառել **լուսային թերապիա (ֆոտոթերապիա)**, հոգեթերապիա և դեղորայքային բուժում:

Մի՛ անտեսեք տարեցտարի կրկնվող այդ զգացողությունը՝ որակելով այն որպես «**ձմռանյին տրամադրության անկում**» կամ սեզոնային տրտմություն, փորձելով ինքնուրույն պայքարել դրա դեմ: Քայլեր ձեռնարկեք ձեր տրամադրությունը և կենսական շարժառիթները ողջ տարվա ընթացքում կայուն պահելու ուղղությամբ (Staff, 2014):

## Lighting Patterns for Healthy Buildings

The website, *Lighting Patterns for Healthy Buildings*, assists lighting designers and specifiers in selecting quality lighting that supports healthy living. Designed in the spirit of traditional architectural pattern books, it presents model designs for typical rooms that can be adapted to specific buildings and styles.

The patterns are based upon the 24-hour lighting scheme for older adults proposed by Mariana Figueiro in 2008, which recommends cycled electric lighting with cool, high light levels for high **circadian stimulation** during the daytime, and warm, low light levels for reduced circadian stimulation in the evening<sup>1</sup>, along with good lighting for visibility, and nightlights to provide horizontal/vertical cues to improve postural control and stability.

This website allows users to view lighting patterns showing base case and new lighting design analyzed for circadian stimulus (CS). Each pattern presents lighting plans, renderings, and generic luminaire information useful for providing healthy lighting throughout the day (LRC, 2015).

### Senior Living

Older adults often experience visual impairment and increased risk for falls. They are also susceptible to **circadian disruption** that can affect their sleep quality, alertness, and mood. To help improve their quality of life, it is recommended that seniors in eldercare environments receive defined amounts of

## Լուսավորության նմուշներ առողջ կենսակերպի շենքերի համար

Լուսավորության նմուշներ առողջ կենսակերպի շենքերի համար» (*Lighting Patterns for Healthy Buildings*) վեբկայքն օգնում է լուսավորություն նախագծողներին ու մասնագետներին մշակողներին առողջ կենսակերպին նպաստող որակյալ լուսավորություն ընտրելու հարցում: Կազմված լինելով ավանդական ճարտարապետական նմուշագրքերի ոճով՝ այն ներկայացնում է մի շարք նմուշ-նախագծեր տիպային սենյակների համար, որոնք կարելի է հարմարեցնել տվյալ շենքին ու ոճին:

Նմուշները հիմնված են տարեցների համար 24-ժամյա լուսավորության սխեմայի վրա, որն առաջարկվել է Մարիանա Ֆիգեյրոյի կողմից 2008թ: **Ցիրկադյան (շուրջօրյա)** բնական **ռիթմը** պահպանելու համար այն առաջարկում է օգտագործել «սառը», ինտենսիվ լուսավորություն ցերեկվա ընթացքում և «ջերմ», համեմատաբար թույլ լուսավորություն՝ երեկոյան ժամերին:<sup>1</sup> Այն նաև նախատեսում է բավական լավ լուսավորություն՝ տեսանելիության ապահովման համար, և գիշերային լուսատուներ՝ հորիզոնական/ուղղահայաց հուշում-ուղենիշների միջոցով կեցվածքի կառավարումը և կայունությունը բարելավելու համար:

Այս վեբկայքն օգտվողներին թույլ է տալիս տեսնել լուսավորության նմուշները՝ ցույց տալով հենքային (*նախնական*) տարբերակը ինչպես նաև լուսավորության այն նոր նախագիծը, որը վերլուծվել է ցիրկադյան ազդակների (ՑԱ) տեսանկյունից: Յուրաքանչյուր նմուշ ներառում է լուսավորության նախագծային տարբերակը, արդյունարար պատկերը և ընդհանրական տեղեկատվություն լուսատուի հատկությունների մասին, որոնց միջոցով ողջ օրվա օրվա ընթացքում ապահովվելու է «առողջ» լուսավորություն (LRC, 2015):

### Տարեցներ

Տարեցները հաճախ ունենում են տեսողական խանգարումներ, և նրանց վայր ընկնելու հավանականությունը մեծանում է: Նրանք նաև զգայուն են **ցիրկադյան ռիթմի խանգարումների** նկատմամբ, ինչը կարող է բացասաբար ազդել նրանց քնի որակի, զգոնության և տրամադրության վրա: Նրանց կյանքի որակի բարելավմանը նպաստելու և **ցիրկադյան համակարգերի** կարգավոր-

<sup>1</sup> The goal of the artificial lighting in the Healthy Buildings is to provide proper circadian rhythms. Illuminating by a light source that has appropriate color temperature we force melanopsin to produce enzymes responsible for the activities of particular part of the day. Melanopsin is a pigment that is synthesized in 2000 deep cells of retina and is categorized as an opsin, i.e. photosensitive protein, like rodopsin in rods and photopsin in cones. It does not participate in image formation, but sends signals to the human internal clock cells to synchronize circadian rhythms with the sunrise and the sunset. Also melanopsin adjusts the eye pupil diameter per illumination level. With cool white light (i.e. high color temperature) cortisol, dopamine and serotonin are produced and in evening with warm white lite (lower color temperature) melatonin is produced [VG, AH].

«Առողջ կենսակերպի շենքեր»-ի արհեստական լուսավորության նպատակը շուրջօրյա ռիթմի բնական ընթացքը ապահովելն է: Սենյակը լուսավորելով համապատասխան լուսային ջերմաստիճան ունեցող լույսի աղբյուրով ստիպում ենք որ «մեթանոսպինը» օրգանիզմում արտադրի այն հորմոնները որոնք համապատասխանում են օրվա այդ ժամերի մարդու կենսակերպին: Մեթանոսպինը լուսազգայուն պիգմենտ է, որը սինթեզվում է աչքի ցանցաթաղանթի խորքային 2000 բջիջներում և դասվում է օպսինների՝ լուսազգայուն սպիտակուցների շարքին, ինչպես ռոդոպսինը ձողիկներում կամ ֆոտոպսինը կոններում: Այն չի մասնակցում տեսողական պատկերի կառուցմանը, այլ, ազդանշաններ է ուղարկում մարդու կենսաժամացույցի բջիջներին, որոնց միջոցով օրգանիզմը սինքրոնացնում է ցիրկադյան ռիթմը արևածագի և մայրամուտի հետ: Բացի այդ, մեթանոսպինը կարգավորում է աչքի բիբի տրամագիծը ըստ աչքի մեջ ընկած լույսի քանակի՝ կատարելով ֆոտոչափիչ գործիքի դեր: Ցերեկը սառը սպիտակ լույսով (բարձր գունային ջերմաստիճան) ապահովվում է կարտիզոլի, սերոտոնինի և դոֆամինի արտադրությունը, իսկ երեկոյան, ջերմ սպիտակ լույսով (ցածր գունային ջերմաստիճան)՝ մելատոնինինը: (Վ.Դ., Ա.Հ.)

light at the correct spectral power distribution to better entrain their **circadian systems**. The lighting patterns presented here were designed to provide these seniors with appropriate amounts of **circadian stimulus** at the right time of day, and thereby improve their circadian entrainment and quality of life.

## School

Adolescents' tendency to be "late to bed and late to rise" puts them at odds with structured school schedules. As they approach college age they experience progressively later sleep onset and reduced sleep times. The resulting sleep disorders can lead to poor scholastic performance and behavioral problems. Improved classroom lighting design can foster better scholastic and health outcomes by helping to shift the timing of sleep and promote entrainment to the 24-hour solar day (Buildings, 2016).

One can see that mostly the lighting aspect of health is related to psychology, avoiding depression, especially for seniors, and for teenagers it is important to set the circadian clock, i.e. biological diurnal rhythm, in a proper manner, which, properly set, affects the rest of the life.

The parameters are:

- Lighting hours and seasonality
- Lighting spectrum and spectrum changes during the 24 hours
- Lighting intensity and its distribution.

Many aspects of these parameters are reflected in the standards and norms that are discussed in this chapter.

## Kruithof Curves

One interesting aspect is based on psychophysical data collected by Dutch physicist Arie Andries Kruithof. It appears to be that certain combination of correlated color temperature and the illuminance level, or in other words, color and intensity, is providing pleasing and comfortable illumination. For example, an illumination of 6000K and 10000 lux is a pleasant one. The same 6000K and 100 lux is a not a pleasant one – it is perceived as bluish. At 100 lux, the pleasant illumination should be within 2500 K – 3000 K. And vice versa

ման համար խորհուրդ է տրվում տարեցների խնամքի միջավայրը օրվա ընթացքում ապահովել էներգիայի ճիշտ սպեկտրալ բաշխմամբ լույսի սահմանված չափաքանակով: Այստեղ ներկայացված լուսավորության նմուշները նախագծվել են այդ տարեցներին օրվա ընթացքում համապատասխան **ցիրկադյան ազդակներ** ապահովելու տեսանկյունից, այդպիսով բարելավելով նրանց կյանքի որակը՝ ցիրկադյան ռիթմի կարգավորման միջոցով:

## Դպրոց

Դեռահասների «ուշ քնելու և ուշ արթնանալու» հակվածությունը հակասում է դպրոցական համակարգված ժամանակացույցին: Ավագ դպրոցի տարիքում նրանց քնի ժամանակը էլ ավելի է կրճատվում: Դրա հետևանքով առաջացող քնի խանգարումները կարող են հանգեցնել ցածր ուսումնական առաջադիմության և վարքագծային խնդիրների: Դասասենյակների լուսավորության նախագծերի բարելավումը կարող է նպաստել առաջադիմության բարձրացմանը և առողջության բարելավմանը՝ կարգավորելով քնելու ժամը և հարմարեցնելով այն 24-ժամյա արեգակնային օրվան (Buildings, 2016):

Ակնհայտ է, որ առողջությանն առնչվող լուսավորության բաղադրիչը հիմնականում կապված է հոգեբանության, դեպրեսիայի, ընկճվածություն հետ. հատկապես զգայուն են տարեցները և դեռահասները:

Հարաչափերն են՝

- Լուսավորության ժամերը և *փարվա* եղանակների պարբերականությունը,
- Լուսավորության սպեկտրը և սպեկտրի փոփոխություններն օրվա ընթացքում,
- Լուսավորության ինտենսիվությունը և դրա տարածական բաշխվածությունը:

Այս հարաչափերի կողմերից շատերն արտացոլված են ստանդարտներում և նորմերում, որոնք ներկայացված են այս գլխում:

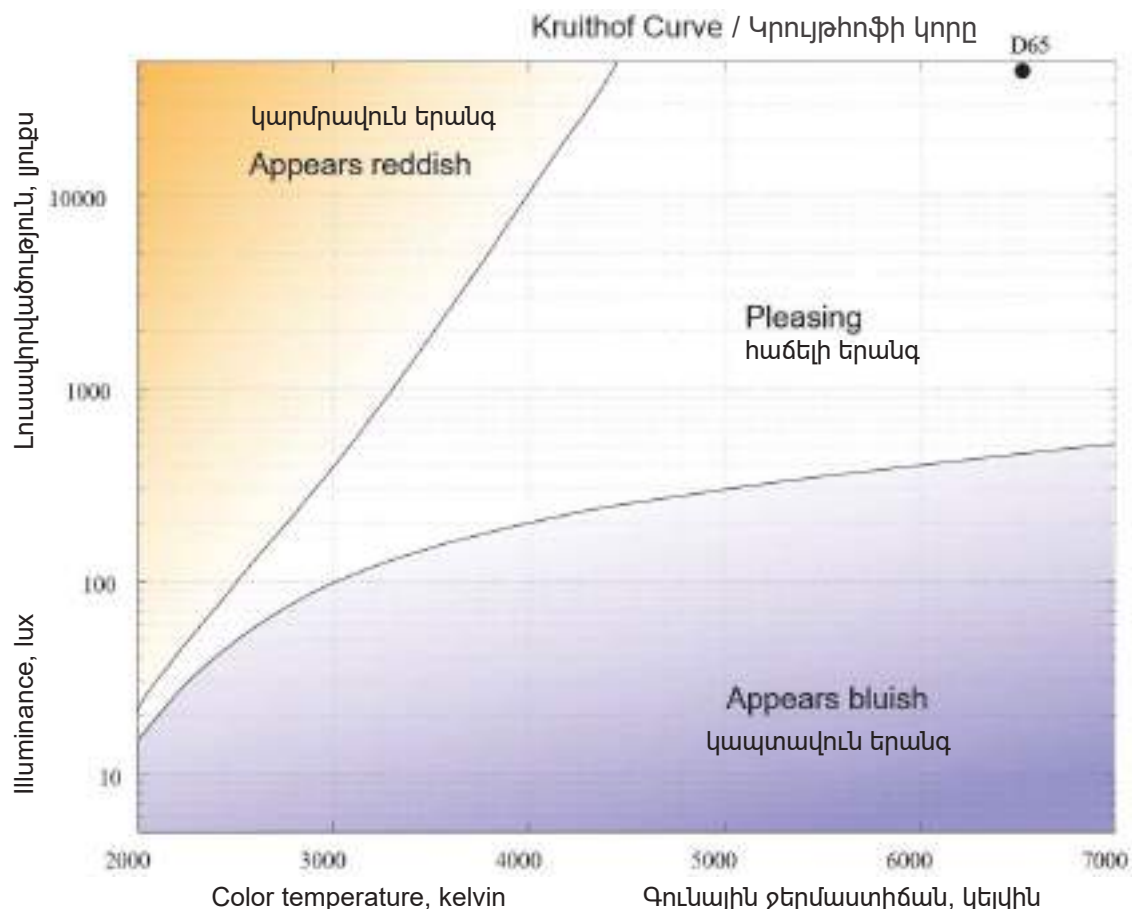
## Կրույթոֆի կորեր

Ուշագրավ յուրահատկություն է բացահայտվում հոլանդացի ֆիզիկոս Արի Անդրիես Կրույթոֆի կողմից հավաքագրված հոգեֆիզիկական ընկալման տվյալների հիման վրա: Պարզվում է, որ կորելացված գունային ջերմաստիճանի և լուսավորվածության մակարդակի, կամ, այլ կերպ ասած, գույնի ու ինտենսիվության որոշակի համադրությունն ապահովում է հաճելի և հարմարավետ լուսավորություն: Օրինակ՝ 6000 կելվին (Կ) և 10000 լյուքս լուսավորվածությունը դուրեկան է: Միևնույն 6000 Կ և 100 լյուքսը տհաճ է, այն ընկալվում է որպես կապտավուն: 100 լյուքսի դեպքում լուսավորվածությունը հաճելի կլինի 2500-3000 Կ-ի միջակայքում: Եվ ընդհակառակը, 3000 Կ և 10000 լյուքս լուսավորվածությունը տհաճ է, սակայն 10000 լյուքսի դեպքում

- an illumination of 3000 K and 10000 lux is not a pleasant one, but for 10000 lux 4000 K and higher color temperature is pleasant (Figure 1). This mechanism of the human vision is telling about the adaptation ability that humans have gained through the evolution – usually at night time prehistoric humans have been using fire to illuminate their caves and dwellings, which have forced to develop a mechanism that adjust the colors for lower levels of illuminance. That is why the home illuminance is usually very pleasant if realised in warm tones. Naturally this logic is true for Planckian black body radiators, since they have the highest color rendering index – since the fire and the sun are also Planckian. That is one of the reasons that the highest CRI-s are related to sources with smooth, spike-less spectrum power distribution in the visible range. Thus, as it has been described in the citations above, the circadian rhythms require whiter illumination during the daytime and warmer, lower correlated color temperature (CCT) at the evening.

4000 Կ և ավելի բարձր գունային ջերմաստիճանը դուրեկան է (Նկար 1): Մարդու տեսողության այս մեխանիզմը վկայում է հարմարվելու ունակության մասին, որը մարդկությունը ձեռք է բերել էվոլյուցիայի ընթացքում. սովորաբար գիշերն իրենց քարանձավներն ու կացարանները լուսավորելու համար նախապատմական մարդիկ օգտվել են կրակից, ինչը ստիպել է զարգացնել մի մեխանիզմ, որը կարգավորում է գույները լուսավորվածության ավելի ցածր մակարդակի պայմաններում: Այդ պատճառով տնային պայմաններում լուսավորությունը շատ դուրեկան է, երբ լույսի երանգները ջերմ են: Բնականաբար, այս տրամաբանությունը գործում է Պլանկի (սև մարմնի) ճառագայթիչների դեպքում, քանի որ դրանք ունեն գունափոխանցման ամենաբարձր ցուցիչը, և կրակն ու արևը նույնպես Պլանկի ճառագայթիչ են: Դա է պատճառներից մեկը, որ ամենաբարձր գույնի վերարտադրման ցուցիչները (ԳՎՑ-ները) ստացվում են տեսանելի միջակայքում ողորկ, առանց սրածայր գագաթների սպեկտրի հզորության բաշխում ունեցող աղբյուրների դեպքում: Այսպիսով, ինչպես նկարագրվել է վերևում, ցիռկադյան ռիթմերը ցերեկային ժամերի ընթացքում պահանջում են ավելի սպիտակ լուսավորվածություն, իսկ երեկոյան ժամերին՝ ավելի տաք, ավելի ցածր կորելացված գունային ջերմաստիճան (ԿԳՋ):

**Figure 1.** Kruithof curve: an illumination of 6000 K and 10000 lux is a pleasant one. The same 6000 K and 100 lux is a not a pleasant one – it is perceived as bluish.



**Նկար 1.** Կրույթհոֆի կորը. 6000 Կ և 10000 լյուքս լուսավորվածությունը հաճելի է: Միևնույն 6000 Կ և 100 լյուքսը տհաճ է, այն ընկալվում է որպես կապտավուն:

Our preferences for CCT versus illuminance may be intimately associated with the state of our circadian rhythms. The popularity of products such as the Philips Wake-Up Lights (Figure 2) with their simulated sunrise colors would certainly indicate that this is the case (Ian Ashdown, 2015).

Այն, թե լուսավորվածություն-ԿԳՋ որ հարաբերությունը նախապատվելի կլինի մեզ համար, սերտորեն կապված է տվյալ պահին մեր ցիրկադյան ռիթմի վիճակի հետ: Օրինակ, լուսաբացի գույներ նմանակող «Ֆիլիպս լույս-զարթուցիչ» («Philips Wake-Up Light») մեծ պահանջարկը՝ (Նկար 2), անշուշտ վկայում է վերը նշվածի ճշմարտացիության մասին (Ian Ashdown, 2015):

Figure 2. Philips HF3510/60 Wake-up Light.

Source/Աղբյուր՝ <http://agi32.com/blog/tag/kruithof-curve/>



Նկար 2. Philips HF3510/60 զարթուցիչ լուսամփոփը:

## 1. DAY LIGHTING – WINDOWS, LIGHT PIPES, THEIR BENEFITS

In short, daylighting = benefiting from the daylight inside various buildings and constructions, usually meant beyond the regular window technology. Note that the use of the daylighting is very successfully addressing two main important issues:

1. Health related issues – intensity, spectrum, light distribution;
2. Energy efficiency.

### Clerestory Windows

An example of a window that goes beyond main mode of window technology is the so-called **Clerestory Window**, well known in architecture, - when the window is well above of the eye level, high on the wall (Figure 3).

## 1. ԲՆԱԿԱՆ (ԱՐԵՎԱՅԻՆ) ԼՈՒՍԱՎՈՐՈՒԹՅՈՒՆ՝ ԼՈՒՍԱՄՈՒՏՆԵՐ, ԼՈՒՍԱՏԱՐՆԵՐ և ԴՐԱՆՑ ԱՌԱՎԵԼՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ

Եթե փորձենք հակիրճ ձևակերպել, ապա բնական (արևային) լուսավորությունը իրենից ներկայացնում է տարբեր շենքերի ու շինությունների ներսում ցերեկային լույսից օգտվելու երևույթը: Սովորաբար նկատի են ունենում ոչ թե սովորական պատուհանների գործածությունը, այլ նորագույն միջոցները: Նշենք, որ բնական լուսավորությունը հաջողությամբ լուծում է երկու հիմնական կարևոր հարց՝

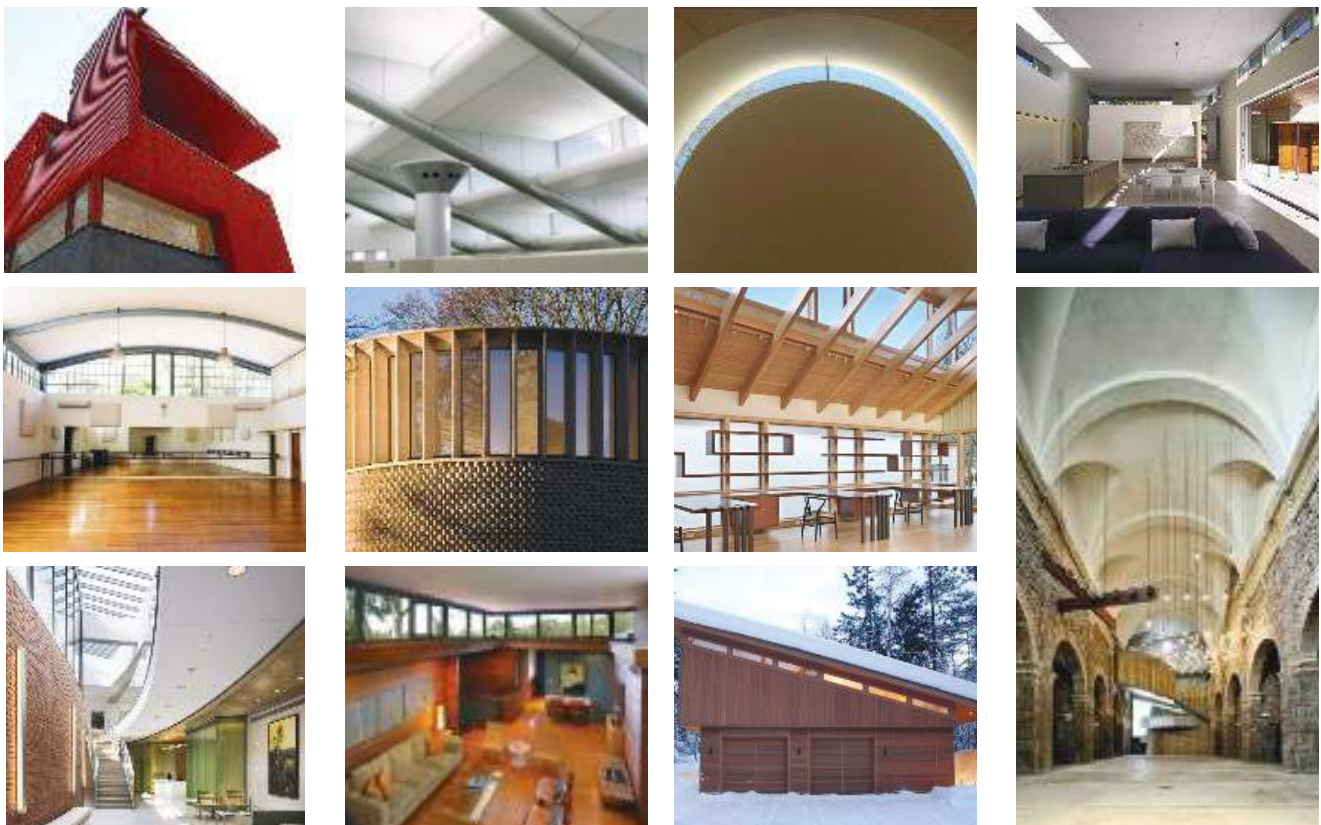
1. առողջության հետ կապված խնդիրները՝ ինտենսիվություն, սպեկտր, լուսավորվածության բաշխվածություն,
2. էներգաարդյունավետություն:

### Վերնապատուհանների շարք

Պատուհանների տեխնոլոգիայի կիրառման սովորական եղանակից տարբերվող օրինակ է՝ «**վերնապատուհանների շարքը**», որը լավ հայտնի է ճարտարապետության մեջ, երբ լուսամուտը գտնվում է աչքի մակարդակից բավական վեր՝ առաստաղին մոտ մասում (Նկար 3):

Figure 3. Clerestory Windows, known even from the medieval architecture.

Source/Աղբյուրը՝ <http://www.houzz.com/ideabooks/391008/list/bathe-in-the-light-of-clerestory-windows>, [beeyoutifullife.com](http://beeyoutifullife.com), [www.nrel.gov](http://www.nrel.gov), etc.



Նկար 3. Մի շարք վերնապատուհաններ, որոնք հայտնի են դեռևս միջնադարյան ճարտարապետությունից

The clerestory windows in general provide very comfortable lighting, because they do not blind via direct bright outdoor light or direct sun rays, thus do not contribute into **glare**.

## Skylights

The next important solution is the skylight, Figure 4, Figure 5 and Figure 6 illustrate the concept.

Note that there are two realizations of the skylight:

- Via light pipe concept. The latter is especially important for constructions that has internal rooms without any windows;
- Architectural solution – using designed light passes.

Վերնապատուհաններն ընդհանուր առմամբ շատ հարմարավետ լուսավորություն են ապահովում, քանի որ չեն կուրացնում դրսի պայծառ ուղիղ լույսով կամ արևի ուղիղ ճառագայթներով՝ չառաջացնելով **շլացնող փայլ**:

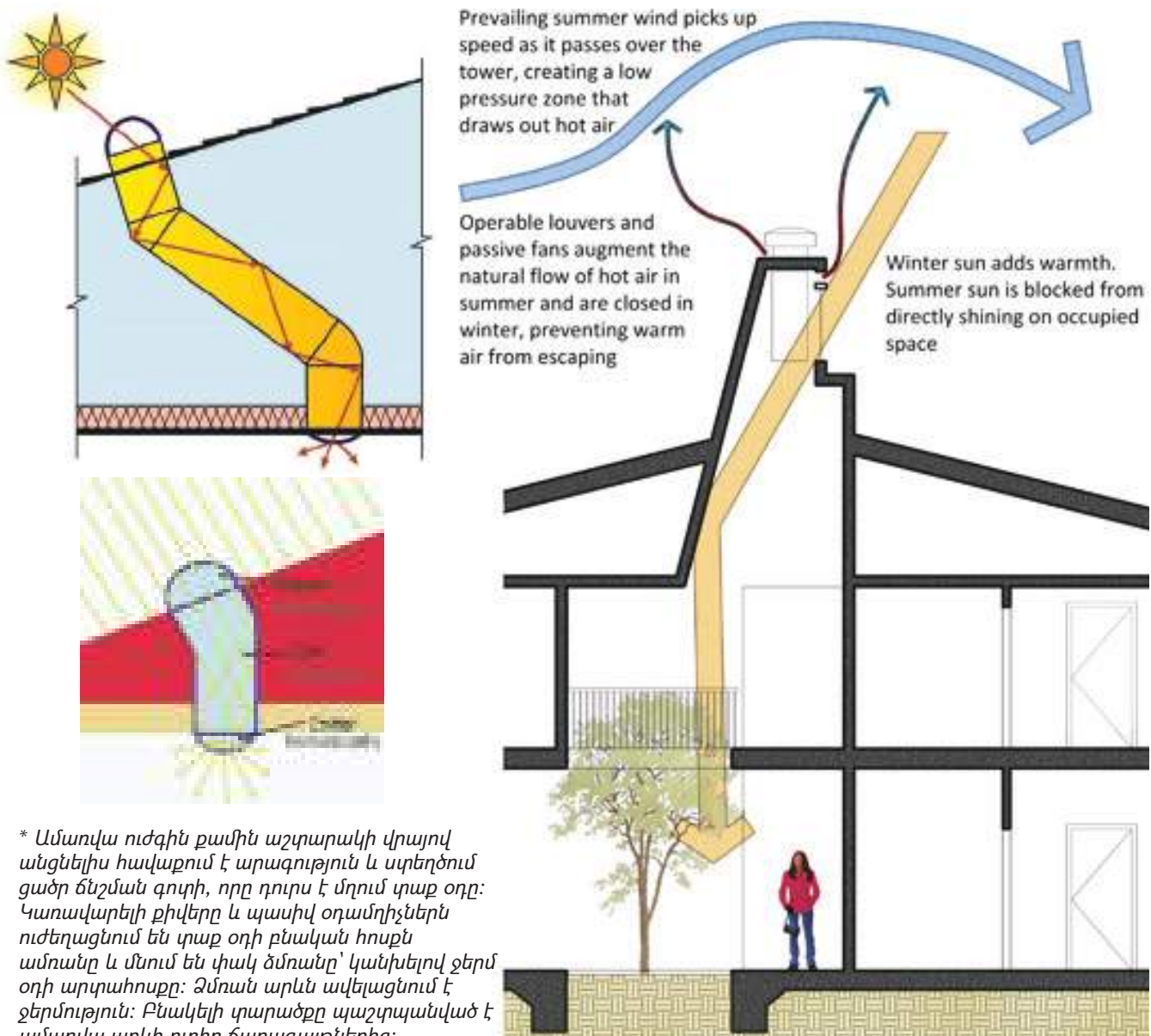
## Երդիկ-լուսատար

Հաջորդ կարևոր լուծումն՝ երդիկ-լուսատարն է, որի գաղափարը ներկայացված է Նկար 4-ում, Նկար 5-ում և Նկար 6-ում:

Նշենք, որ երդիկ-լուսատարների իրականացման երկու տարբերակ կա՝

- Լուսատարների միջոցով, այն հատկապես կարևոր է այն շինությունների համար, որտեղ առկա են առանց լուսամուտների ներքին սենյակներ,
- Ճարտարապետական լուծում՝ օգտագործելով լուսավորության համար նախագծված անցուղիները:

Figure 4. The light pipe concept and a few realizations of the skylines with or without light pipes.





Նկար 4. Լուսավարների հասկացությունը և մի քանի բնական լուսավորության իրականացում՝ լուսավարների և առանց լուսավարների:

Figure 5. Acuity Brands, Inc. announces the opening of its renovated Sunoptics® facility and new Daylighting University training center located in Sacramento, CA. The new offices and training facility provide an opportunity for industry professionals to explore the benefits of daylighting. The facility features a 1,600 square foot daylighting training center where Sunoptics will host its Daylighting University, which offers monthly training seminars and opportunities for customer presentations.

Source/Աղբյուր՝ <https://acuitybrands.wordpress.com/2012/07/12/acuity-brands-opens-new-state-of-the-art-daylighting-training-center-as-part-of-newly-renovated-sunoptics-facility/>



Նկար 5. «Acuity Brands, Inc.» ընկերությունը հայտարարում է իր վերանորոգված «Sunoptics®» հասարակության և «Բնական լուսավորության համալսարան» ուսումնական կենտրոնի բացման մասին, որոնք գտնվում են Կալիֆորնիայի Սակրամենտո քաղաքում: Նոր գրասենյակները և ուսումնական կենտրոնը հնարավորություն են տալիս ոլորտի մասնագետներին բացահայտելու ցերեկային լուսավորության առավելությունները: Այս կառույցն ունի 1.600 քառակուսի ոտնաչափ (մոտ 150 մ2) մակերեսով ցերեկային լուսավորությամբ ուսումնական կենտրոն, որտեղ «Sunoptics»-ը տեղակայվել է իր «Բնական լուսավորության համալսարանը», որն ամեն ամիս առաջարկում է սեմինարներ և հնարավորություն է ընձեռում հաճախորդներին կազմակերպել իրենց շնորհանդեսները:

**Figure 6.** Acuity Brands introduces the LightFlex™ system, a high performance prismatic daylighting solution for suspended-ceiling applications from Sunoptics. The LightFlex system makes optimal use of daylight throughout the day, delivering glare-free lighting while minimizing energy usage from electric lighting. Shown is the concept of the skylight.

Source/Աղբյուրը՝ <https://acuitybrands.wordpress.com/2012/12/04/sunoptics-launches-prismatic-daylighting-solution-for-suspended-ceiling-applications-offers-wide-variety-of-choices-in-lens-and-size-options/>



**Նկար 6.** «Acuity Brands»-ը ներկայացնում է «LightFlex™»-ը՝ պրիզմայի կիրառմամբ համակարգը, որը հանդիսանում է «Sunoptics»-ի կախովի առաստաղների համար բարձր արդյունավետությամբ ցերեկային լուսավորության լուծում: «LightFlex» համակարգը օրվա ընթացքում օպտիմալ ձևով օգտագործում է ցերեկային լույսը՝ ապահովելով անփայլ լուսավորություն, միևնույն ժամանակ նվազեցնելով էլեկտրական լուսավորության կողմից էլեկտրաէներգիայի օգտագործումը: Նկարում երդիկ-լուսատար գաղափարի պատկերն է:

Very often light pipes have matte diffusers that provide lambert diffusion of the light, which is especially attractive since provides smooth, even illumination – any surface is emitting according to lambert diffusion, if the brightness of the surface, in this case visible brightness, is the same regardless to the angle of the vision line to the surface that carries lambertian diffusion. This property is very much valued by artists, architects and photographers. The lighting setup shown on Figure 5 is very close to a surface with lambertian diffusion of the matte semi-transparent diffusers. This effect is achieved also by using diffusers on the entrance of the light pipe.

Always important to remember that daylighting solutions work best with other solutions that energy efficient building science prescribes; as well as it is not less important to use the experience of the ergonomics, concepts of comfort and productivity.

Շատ հաճախ լուսատարներն ունենում են փայլատ՝ կաթնապակե դիֆուզորներ (լույսի ցրիչ), որոնք ապահովում են լույսի լամբերտյան ցրում, ինչն առանձնակի գրավչություն ունի, քանի որ ապահովում է մեղմ, հավասարաչափ լուսավորություն: Մակերեսը լուսարձակում է ըստ լամբերտյան դիֆուզիայի, եթե այդ մակերեսի պայծառությունը անկախ է այդ մակերեսը դիտելու անկյունից: Այս հատկությունը շատ է արժևորվում նկարիչների, ճարտարապետների և լուսանկարիչների կողմից: Նկար 5-ում ցուցադրված լուսավորության կազմակերպումը շատ մոտ է լամբերտյան դիֆուզիա ունեցող մակերեսի միջոցով ստեղծած լուսավորությանը: Այս էֆեկտը ստացվում է նաև լուսատարի մուտքի վրա լույսի կաթնապակյա ցրիչներ օգտագործելով:

Միշտ կարևոր է հիշել, որ բնական լուսավորման լուծումները առավել լավ են աշխատում շենքերի էներգաարդյունավետության լուծումների հետ համատեղ, ինչպես նաև պակաս կարևոր չէ էրգոնոմիկայի, հարմարավետության ու աշխատանքի արդյունավետության փորձի օգտագործումը:

## Translucent walls, floors

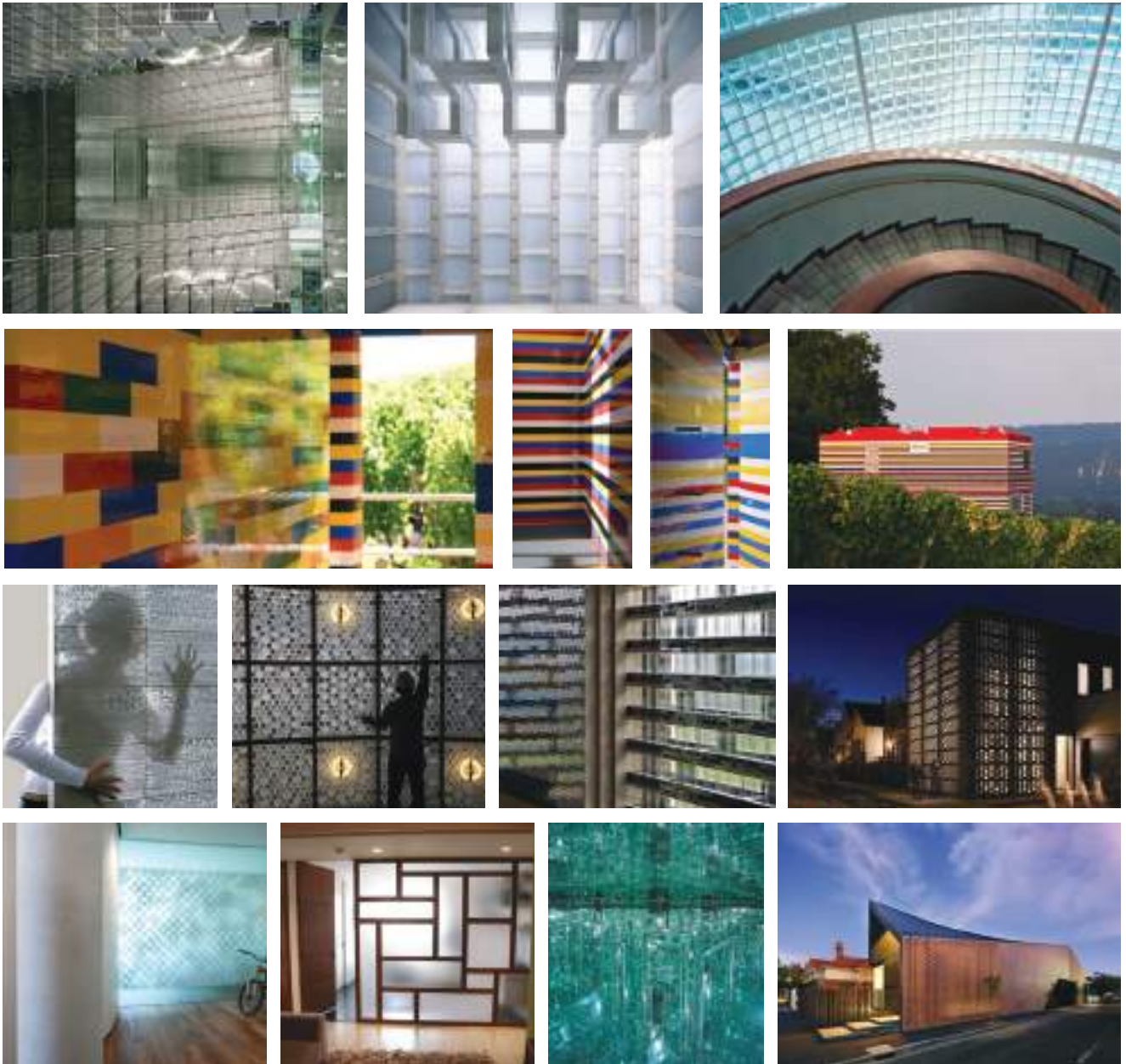
**Transparent or translucent walls, floors and roofing** is another modern means to optimize indoor lighting (Figure 7).

## Լուսաթափանց պատեր, հատակ

**Թափանցիկ կամ լուսաթափանց պատերը, հատակը կամ տանիքը** ներսի լուսավորությունն օպտիմալ կերպով կազմակերպելու մեկ այլ ժամանակակից միջոց են (Նկար 7):

Figure 7. Effect of transparent or translucent walls, floors and roofing.

Source/Աղբյուրը՝ [https://www.reddit.com/r/pics/comments/3g09ev/room\\_with\\_mirrors\\_on\\_the\\_floor\\_ceiling\\_and\\_walls/](https://www.reddit.com/r/pics/comments/3g09ev/room_with_mirrors_on_the_floor_ceiling_and_walls/), [http://barnabygunning.com/\\_project.php?ID=3](http://barnabygunning.com/_project.php?ID=3), [brucine.blogspot.com](http://brucine.blogspot.com), <http://weburbanist.com/2013/10/07/house-of-hemp-and-blood-16-futuristic-building-materials/>.



Նկար 7. Թափանցիկ կամ լուսաթափանց պատերի, հատակի ու առաստաղի կիրառման արդյունքը:

## 2. ENERGY EFFICIENT INDOOR LIGHTING TECHNOLOGIES AND SOLUTIONS

One can define the Energy efficient indoor lighting technologies and solutions as a combination of:

- Means to use the daylighting efficiently both from windows of external facades, and skylines for internal spaces. No doubt, that the most effective use of daylighting can be if it is planned starting from the design and architecture stage of any construction. Naturally, the latter should involve the geographic, climatic, environmental and other local data.
- Importantly the requirements from the users of the buildings driven by their age and type of activities should be carefully examined and taken into account.
- Modern light sources should be vastly implemented, varying a number of their characteristics to satisfy the energy efficiency goals and goals related to comfort and performance.
- Necessary to remember that lighting characteristics involve the following parameters:
  - lighting source efficacy in Lm/W, showing amount of light that can be obtained from 1 watt of power consumed – energy efficiency;
  - Color rendering index, unitless, showing the ability of the illumination to render the colors correctly;
  - Correlated color temperature in degrees of Kelvin that has substantial psycho-emotional effect on humans, including considerations of the circadian stimuli requirements, i.e. changing the color temperature during the time of the day;
  - The level of illumination of the surfaces in the building spaces in Lux, as well as luminance, with consideration of the albedo of the surfaces;
  - Directionality or diffusivity of the illumination, and comfort in terms of avoiding glare - the direct light from point sources reaching eyes of users;
  - Avoiding unwanted blue hazard and

## 2. ՆԵՐՔԻՆ ԼՈՒՍԱՎՈՐՈՒԹՅԱՆ ԷՆԵՐԳԱԱՐԴՅՈՒՆԱՎԵՏ ՏԵԽՆՈ-ԼՈԳԻԱՆԵՐ ԵՎ ԼՈՒԾՈՒՄՆԵՐ

Ներքին լուսավորության էներգաարդյունավետ տեխնոլոգիաներն ու լուծումները կարելի է բնորոշել որպես հետևյալ կետերի համադրություն.

- Ներքին տարածքների ցերեկային լուսավորության արդյունավետ միջոցներ ինչպես արտաքին պատուհանների այնպես էլ երդիկ-լուսատարների օգտագործմամբ: Անկասկած, ցերեկային լուսավորության առավել արդյունավետ օգտագործումը հնարավոր է այն դեպքում, երբ այն հաշվի է առնվել դեռևս շինարարության նախագծային փուլում: Բնականաբար, անհրաժեշտ է նաև հաշվի առնել աշխարհագրական, կլիմայական, բնապահպանական և տեղանքին բնորոշ այլ առանձնահատկությունները:
- Շատ կարևոր է մանրամասն ուսումնասիրել և հաշվի առնել շենքի օգտատերերի պահանջները՝ ելնելով նրանց տարիքային և մասնագիտական առանձնահատկություններից:
- Անհրաժեշտ է լայնորեն կիրառել լույսի ժամանակակից աղբյուրները՝ տարբերակելով դրանց մի շարք բնութագրերը՝ էներգաարդյունավետության, հարմարավետության և աշխատունակության բարձրացման խնդիրներն իրագործելու նպատակով:
- Հարկավոր է հիշել, որ լուսավորության հատկանիշները ներառում են հետևյալ հարաչափերը.
  - լույսի աղբյուրի լուսարգասիքը՝ արտահայտված լմ/վտ-ով, որը ցույց է տալիս լուսատուի 1 վատտ հզորությանը համապատասխանող ճառագայթած լույսի քանակությունը, այսինքն՝ էներգաարդյունավետությունը,
  - աղբյուրի գույնի վերարտադրման ցուցիչը, առանց միավորի, որը ցույց է տալիս տվյալ լույսի աղբյուրի՝ գույները ճիշտ վերարտադրելու կարողությունը էտալոնային (ստուգանմուշ) լույսի աղբյուրի համեմատ,
  - աղբյուրի կորելացված գունային ջերմաստիճանը՝ արտահայտված կելվինի աստիճաններով (Կ), որը նշանակալի հոգեհուզական ազդեցություն ունի մարդկանց վրա, այդ թվում՝ հաշվի առնելով ցիրկայան ռիթմի պահանջները, այսինքն՝ օրվա ժամի և գունային ջերմաստիճանի համապատասխանությունը,
  - շենքի տարածքներում մակերևույթների պայծառությունը (մակերևույթների լուսավորվածության մակարդակը՝ արտահայտված լյուքսերով), հաշվի առնելով մակերևույթների անդրադարձման գործակիցը,
  - լուսավորության ուղղվածությունը կամ ցրվածությունը, և հարմարավետությունը՝ շլացնող փայլից (կետային աղբյուրներից աչքերին ընկնող ուղիղ լույսից) խուսափելու առումով,
  - անցանկալի կապույտ լույսի վտանգից և ուլտրամանուշակագույն (ՈւՄ) ճառագայթների աղբյուր-

ultraviolet (UV) sources

- Using automated control systems addressing the level of illumination depending on the demand;
- Flexibility of the control system in terms of level of illumination, directionality/diffusivity, spectrum and grouping to conform to the comfort, performance and type of the activity.
- In all cases, the environmental impact of any solution should be estimated in quantitative manner, e.g. when replacing by more efficient light sources, estimate CO<sub>2</sub> and other gas emission savings.

### 3. CONTROL SYSTEMS AND THEIR APPLICATION FOR ENERGY EFFICIENT SOLUTIONS

A control system should address the following requirements:

1. the level of needed illuminance;
2. automatic switch off lighting if there is no demand – e.g. the room is not occupied;
3. automatic switch to daylighting;
4. control of the daylighting via blinds, ownings, or electrochromic windows (see Figure 8);
5. Possibility of separate control of each luminary and its brightness and spectrum (color temperature);
6. Control directionality/diffusivity ratio either via optical means or via balancing between the levels of brightness of luminaria of e.g. a spotlight, floodlight and diffuse sources;
7. Perform programmed lighting via individual or grouped luminaria to conform to the comfort, performance and type of the activity.

No doubt that this kind of control should be a part of smart home or smart space concept.

Similar approach can be implemented for architectural lighting.

ներից խուսափելը,

- լուսավորվածության մակարդակն ըստ անհրաժեշտության կարգավորող՝ կառավարման ավտոմատ համակարգերի օգտագործումը,
- կառավարման համակարգի ճկունությունը՝ լուսավորվածության մակարդակի, լույսի ուղղվածության/ցրման, սպեկտրի, ինչպես նաև լուսատուների խմբավորման առումով, ծառայեցնելով այն հարմարավետությանը, աշխատանքին և գործունեության տեսակին:
- Բոլոր դեպքերում, անհրաժեշտ է կատարել ցանկացած լուծման բնապահպանական ազդեցության քանակական գնահատում, օրինակ՝ նոր էներգաարդյունավետ լամպերի տեղադրման արդյունքում գնահատել CO<sub>2</sub> և այլ գազերի արտանետումների նվազեցումը:

### 3. ԿԱՌԱՎԱՐՄԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐԸ ԵՎ ԴՐԱՆՑ ԿԻՐԱՌՈՒՄԸ ԷՆԵՐԳԱԱՐԴՅՈՒՆԱՎԵՏ ԼՈՒԾՈՒՄՆԵՐՈՒՄ

Կառավարման համակարգը պետք է ուղղված լինի հետևյալ պահանջները բավարարելուն.

1. անհրաժեշտ լուսավորվածության մակարդակը,
2. լուսավորության ավտոմատ անջատում, եթե դրա կարիքը չկա, օրինակ՝ երբ սենյակում ոչ ոք չկա,
3. ավտոմատ անցում բնական լուսավորության,
4. բնական լույսի կառավարում՝ շերտավարագույրների, շվաքարանների կամ էլեկտրաքրոմային պատուհանների միջոցով (տես Նկար 8),
5. յուրաքանչյուր լուսատուի, նրա պայծառության և սպեկտրի (գունային ջերմաստիճան) առանձին կառավարման հնարավորություն,
6. ուղղվածության/ցրվածության գործակցի կառավարում օպտիկական միջոցների, լուսատուների, օրինակ՝ կետային լուսատուների, լույսի արհեստական աղբյուրների և դիֆուզ աղբյուրների պայծառության մակարդակների հավասարակշռման միջոցով,
7. Ծրագրավորված լուսավորում՝ առանձին կամ խմբավորված լուսատուների միջոցով, որը թույլ կտա բավարարել հարմարավետությանը, աշխատանքի արդյունավետությանը և գործունեության տեսակին ներկայացվող պահանջները:

Անկասկած, այսպիսի կառավարումը պետք է լինի «խելացի տուն» կամ «խելացի տարածքի» հասկացության մաս:

Նման մոտեցում կարելի է կիրառել նաև ճարտարապետական լուսավորության համար:

Figure 8. Examples of action of blinds, ownings, and electrochromic windows.

Source/Աղբյուրը՝ <https://www.yellowpages.com.au/qld/lutwyche/queensland-blinds-and-awnings-15442851-listing.html>,  
<http://home.howstuffworks.com/home-improvement/construction/green/smart-window3.htm>



Նկար 8. Շերտավարագույրների, շվաքարանների կամ էլեկտրաքրոմային պատուհանների գործածման օրինակներ:

#### 4. APPROACHES FOR ENERGY EFFICIENT UPGRADE OF LIGHTING SYSTEMS

When the upgrade is due in an existing construction, in contrast to starting with the architectural design, the energy efficient lighting will have to conform to already existing walls, windows and other elements.

##### Daylighting

In this case the daylighting can be performed through upgrade of existing windows with consideration of electrochromic ones, adding of certain type of reflection (Figure 9) and shading devices, or implementation of heliostats if possible (Figure 10, Figure 11).

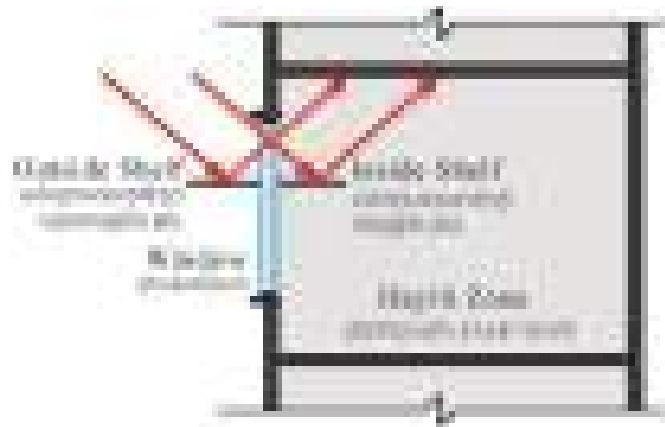
#### 4. ԼՈՒՍԱՎՈՐՈՒԹՅԱՆ ՀԱՄԱ-ԿԱՐԳԵՐԻ ԷՆԵՐԳԱԱՐԴՅՈՒՆԱՎԵՏ ԱՐԴԻԱԿԱՆԱՑՄԱՆ ՄՈՏԵՑՈՒՄՆԵՐ

Եթե արդիականացումը պետք է կատարել պատրաստի կառույցի ներսում, ապա, ի տարբերություն ճարտարապետական նախագծումի, սկսելուց, էներգաարդյունավետ լուսավորությունը պետք է համապատասխանեցնել արդեն գոյություն ունեցող պատերին, պատուհաններին և այլ տարրերին:

##### Բնական լուսավորություն

Այս դեպքում բնական լուսավորությունը կարելի է ապահովել առկա լուսամուտների արդիականացման միջոցով՝ հաշվի առնելով էլեկտրաքրոմային պատուհանները, անդրադարձման (Նկար 9) և սովորական սարքերի որոշակի տեսակներ ավելացնելը, կամ, հնարավորության դեպքում, հելիոստատների կիրառումը (Նկար 10, Նկար 11):

Figure 9. Window reflector for daylighting in an existing building.



Նկար 9. Շենքում լուսամուտի՝ ցերեկային լույսի անդրադարձիչի ավելացում:

Heliostats are whether influence ready mirrors that have a mechanism to direct the solar rays at desired direction, e.g. entrance of a skyline or a window.

Հելիոստատները եղանակի ազդեցությանը /կարկուտ, քամի/ դիմակայելու պատրաստ հայելիներ են, որոնք ունեն այնպիսի մեխանիզմ, որ թույլ է տալիս արևի ճառագայթներն ուղղել ցանկալի ուղղությամբ, օրինակ՝ դեպի երդիկ-լուսատարի մուտքը կամ առանձին լուսամուտը:

Figure 10. Heliostat to illuminate a window.

Source/Աղբյուր՝ <http://wikoda.com/product/sunflower/>



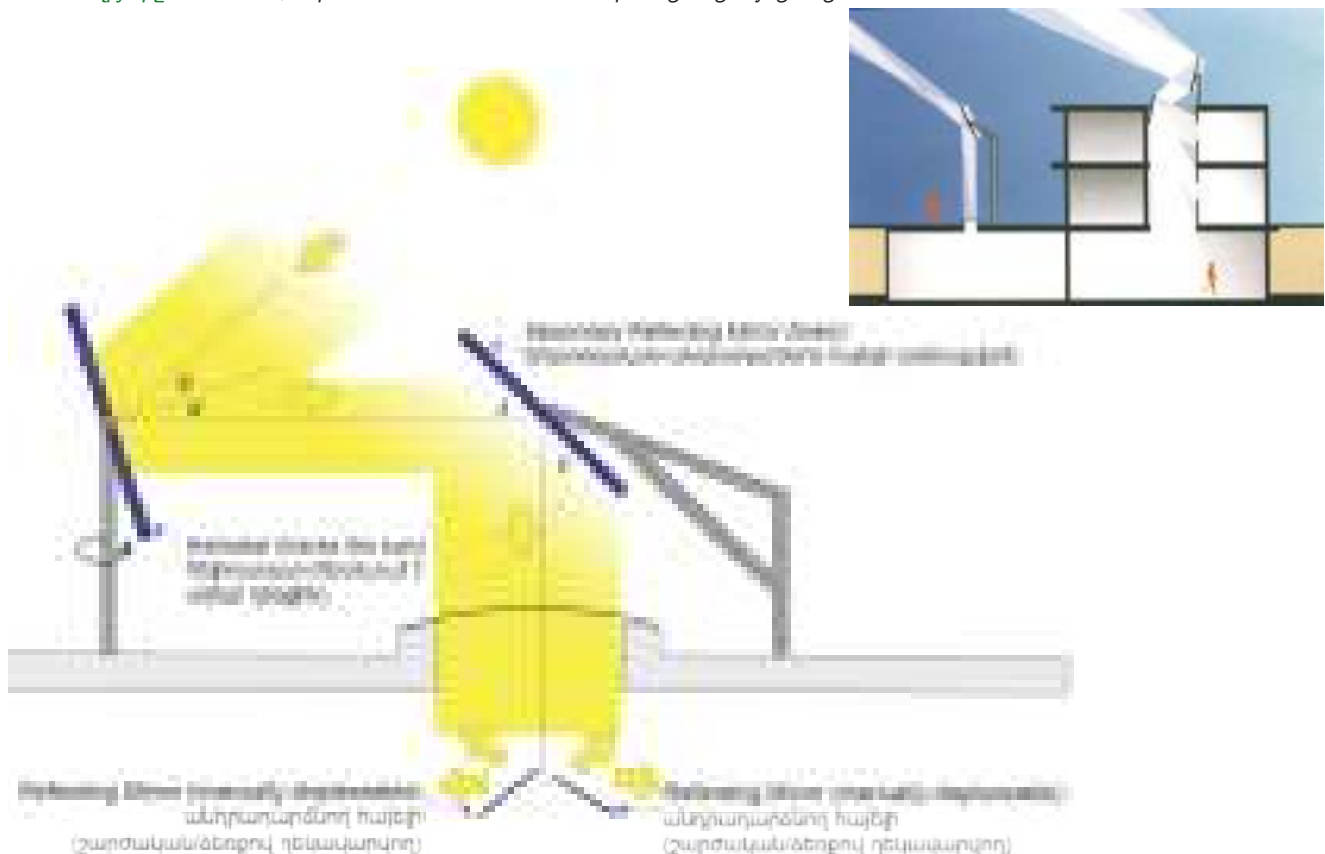
Նկար 10. Հելիոստատ, որը լուսավորում է լուսամուտը:

In fact here heliostat helps the operation of a skyline or a lightpipe. A more straightforward approach is to use a heliostat just to illuminate a window, as shown in Figure 10.

Ըստ էության, այստեղ հելիոստատներն օգնում են բնական լուսավորության կամ երդիկ-լուսատարների աշխատանքին: Ավելի անմիջական մոտեցում է հելիոստատը պարզապես մի լուսամուտ լուսավորելու համար օգտագործելը, ինչպես ցուցադրված է Նկար 10-ում:

Figure 11. Illustration of heliostat action.

Source/Աղբյուրը՝ Lumena.ch, <http://www.tectonica-online.com/topics/lighting/daylighting-norbert-lechner/26/>



Նկար 11. Հելիոստատի աշխատանքը:

### The goals of upgrade of electric lighting system

The goals for the lighting system upgrade are:

- Replace older, power consuming light sources with newer, energy efficient ones
- Improve the illuminance level, bring them to a level prescribed by standards and norms
- Improve the color characteristics, i.e. the correlated color temperature and color rendering index
- Perform automation, to avoid losses in non-occupied room, and for advanced systems to conform the light level and spectrum to circadian rhythms, to perform more comfort and safety.

For detailed steps and calculation of the upgrade, please see Chapter 6.

### Էլեկտրական լուսավորության համակարգի արդիականացման նպատակները

Լուսավորության համակարգի արդիականացման նպատակներն են՝

- Լուսավորության հին, էներգատար աղբյուրները փոխարինել նոր, էներգաարդյունավետ աղբյուրներով,
- Բարելավել լուսավորվածության մակարդակը, այն հասցնել ստանդարտներով ու նորմերով սահմանված մակարդակի,
- Բարելավել գունային հատկանիշները, այսինքն՝ կորելացված գունային ջերմաստիճանը և գունափոխանցման ցուցիչը,
- Կատարել ավտոմատացում՝ դատարկ սենյակներում կորուստներից խուսափելու համար, իսկ առաջանցիկ համակարգերի համար՝ լուսավորվածության մակարդակն ու սպեկտրը ցիրկադյան ռիթմերին համապատասխանեցնելու, առավել հարմարավետություն և անվտանգություն ապահովելու նպատակով:

Արդիականացման մանրամասն քայլերի ու հաշվարկի համար տե՛ս Գլուխ 6-ը:

## 5. STANDARDS AND NORMS FOR INDOOR LIGHTING, MEASUREMENT METHODOLOGY

The standards are driven a lot by psychic-emotional and psychic-biological effects. A number of parameters are defining the quality illumination, as shown in Figure 12.

## 5. ՆԵՐՔԻՆ ԼՈՒՍԱՎՈՐՈՒԹՅԱՆ ՍՏԱՆԴԱՐՏՆԵՐՆ ՈՒ ՆՈՐՄԵՐԸ, ՉԱՓՄԱՆ ՄԵԹՈԴԱԲԱՆՈՒԹՅՈՒՆԸ

Ստանդարտները մեծապես պայմանավորված են հոգեհուզական և հոգեբանական-կենսաբանական ազդեցություններով: Մի շարք հարաչափերով սահմանվում է լուսավորության որակը, ինչպես պատկերված է Նկար 12-ում:

Figure 12. Best practices of lighting design: parameters of illumination.

Source/Աղբյուրը՝ <http://www.lightingdeluxe.com/workplace-lighting-ergonomics.html>



Նկար 12. Լուսավորության նախագծման առաջատար փորձի օրինակներ. լուսավորության հարաչափեր:

The following is a citation from an excellent article for architects <https://www.archtoolbox.com/materials-systems/electrical/recommended-lighting-levels-in-buildings.html>, <https://www.archtoolbox.com/>, n.d.

Ստորև ներկայացվում է մեջբերում ճարտարապետներին ուղված հրաշալի հոդվածից՝ <https://www.archtoolbox.com/materials-systems/electrical/recommended-lighting-levels-in-buildings.html>, <https://www.archtoolbox.com/>, n.d.:

### Recommended Lighting Levels in Buildings

Lighting in our living and workplaces is critically important for our ability to accomplish tasks efficiently and safely. In addition, proper light levels prevent eyestrain, which allows us to work comfortably for longer periods of time. This article covers proper lighting levels and will include various lighting concepts during the conversation. If you

### Շենքերում առաջարկվող լուսավորվածության մակարդակները

Տներում և աշխատանքային վայրերում լուսավորվածությունը կարևոր նշանակություն ունի մեր արդյունավետ ու անվտանգ աշխատանքի համար: Ավելին, լուսավորվածության պատշաճ մակարդակը կանխում է աչքի լարվածությունը, ինչը մեզ թույլ է տալիս երկարատև և հարմարավետ աշխատել: Այս հոդվածում անդրադարձ է կատարվում լուսավորվածության պատշաճ մակարդակներին. ընթացքում կներկայացվեն նաև լուսավորությանը վերաբերող որոշ հասկա-

need to brush up on the basics of lighting, check out our Properties of Light article, <https://www.archtoolbox.com/representation/architectural-concepts/lightingconcepts.html>.

There are two main concepts that architects need to understand as they plan lighting in their buildings: Light Levels and Lighting Power Density.

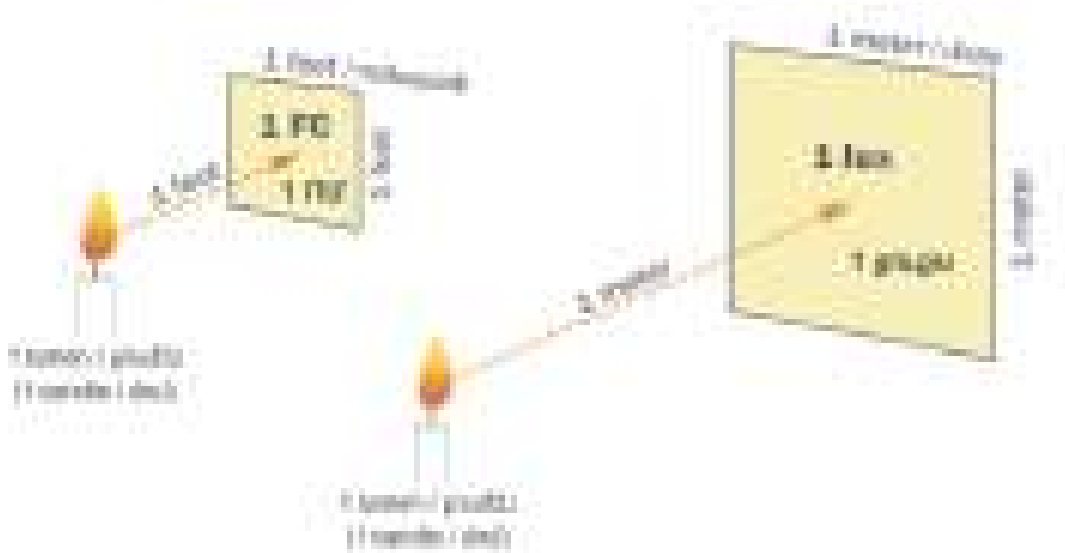
Since we are concerned mainly with accomplishing tasks in our buildings, we need to understand the Illuminance, or the amount of light that is hitting a surface. In an office, we might want to understand the amount of light that is hitting our desk; however, in a gymnasium or corridor we may be more interested in the amount of light hitting the floor.

ցություններ: Եթե ցանկանում եք թարմացնել լուսավորության հիմունքների մասին ձեր գիտելիքները, ապա ծանոթացեք մեր «Լույսի հատկությունները» հոդվածի հետ, <https://www.archtoolbox.com/representation/architectural-concepts/lightingconcepts.html>:

Իրենց շենքերի լուսավորությունը նախագծելիս, ճարտարապետները պետք է հաշվի առնեն երկու հիմնական հասկացություն՝ լուսավորվածության մակարդակները և լուսավորության հզորության խտությունը:

Քանի որ մեզ հիմնականում հետաքրքրում են շենքի ներսում կատարվող աշխատանքները, մեզ պետք է հասկանալ աշխատանքային մակերեսի լուսավորվածությունը կամ մակերեսին ընկնող լույսի քանակությունը: Գրասենյակում կարևոր է իմանալ մեր գրասեղանին ընկնող լույսի քանակությունը, մինչդեռ մարզասրահում կամ միջանցքում ավելի կարևոր է հատակին ընկնող լույսի քանակությունը:

Figure 13. Illuminance: amount of light hitting a surface (FC – foot candle).



Նկար 13. Մակերեսի լուսավորվածությունը. մակերեսի միավորին ընկնող լույսի քանակությունը (ՈՄ՝ ոտնաչափ-մոմ):

Illuminance is measured in foot candles (FC) or lux. 1 FC is the amount of light that hits a 1 square foot surface when 1 lumen is shined from 1 foot away – this equates to 1 lumen per square foot. 1 lux is the amount of light that hits a 1 square meter surface when 1 lumen is shined from 1 meter away – this equates to 1 lumen per square meter. 10 lux is roughly 1 FC.

We need to provide enough light to allow people to accomplish see their tasks, but not so much light that it is hard to see the tasks – over lighting is just as bad as under lighting. Detailed tasks like drafting require more light, while general tasks like walking

Լուսավորվածությունը չափում են ոտնաչափ-կանդելով (ՈԿ) կամ լյուքսով: 1 ՈԿ-ը լույսի այն քանակությունն է, որ ընկնում է 1 քառակուսի ոտնաչափ մակերեսին, երբ 1 մոմի լուսատվությանը համարժեք լույսի աղբյուրը լուսարձակում է 1 ոտնաչափ հեռավորությունից. սա հավասար է 1 լյումեն/1 քառակուսի ոտնաչափին: 1 լյուքսը լույսի այն քանակությունն է, որ ընկնում է 1 քառակուսի մետր մակերեսին, երբ 1 մոմի լուսատվությանը համարժեք լույսի աղբյուրը լուսարձակում է 1 մետր հեռավորությունից. սա հավասար է 1 լյումեն/1 քառակուսի մետրին: 10 լյուքսը մոտավորապես 1 ՈԿ է:

Անհրաժեշտ է ապահովել այնքան լուսավորվածություն, որ աշխատանքի առարկան լինի պարզ տեսանելի, սակայն ոչ այնչափ, որ շլացնի. գերլուսավորվածությունը նույնքան վատ է, որքան թերլուսավորվածությունը: Մանրամասն աշխատանքների, ինչպես

can be accomplished with less light.

The most cited reference for lighting levels is the IESNA<sup>2</sup> Lighting Handbook, which is published by the Illuminating Engineering Society. The lighting levels listed below come from the Handbook as well as various other lighting references.

## Lighting Power Density (LPD)\*

Lighting power density is the amount of power used by lighting per unit of building area. In the United States, LPD is measured in watts per square foot. Included in the watt measurement is all power consumed by light fixtures, ballasts, controls, transformers, etc. – essentially, if the component or device is involved in lighting, it must be included in the calculation.

Lighting power density is established by local and international codes. The values listed below for LPD come from the 2015 version of the International Energy Conservation Code (IECC 2015). Please keep in mind that certain cities or states may have codes that require LPDs to be a certain percentage BELOW the IECC. Always make sure to check your local codes before establishing LPD criteria for your project.

There are two ways to calculate the lighting power density. The first way is to use an LPD that applies to the full building based on the type of building (school, museum, office, etc.) -- this method is very basic and is called the Building Area Method. The second way is to calculate the LPD based on each specific room and is called the Space-by-Space method -- this method is much more accurate and may result in a lower LPD number, which is helpful when applying for utility incentives.

Many utility incentive programs require the design team to improve upon the lighting power density baseline required by local codes. For instance, a utility incentive program may require a 15% (or more) improvement over the baseline LPD in order to receive a lower electricity rate.

օրինակ՝ նախագծման համար, անհրաժեշտ է ավելի շատ լույս, իսկ ընդհանուր բնույթի գործողությունները, ինչպես օրինակ՝ քայլելը, կարելի է կատարել ավելի քիչ լույսի պայմաններում:

Լուսավորվածության մակարդակների մասին ամենաշատ մեջբերվող հղումը «IESNA<sup>2</sup> Lighting Handbook» գիրքն է (Հյուսիսային Ամերիկայի Լուսավորության ճարտարագիտական միության – ՀԱԼՃՄ, «Լուսավորության ձեռնարկ»), որը հրատարակվել է «Լուսավորության ճարտարագիտական միության» կողմից: Ստորև թվարկված լուսավորվածության մակարդակները բերված են այդ ձեռնարկից և լուսավորության մասին այլ տարբեր աղբյուրներից:

## Լուսավորության հզորության խտություն (ԼՀԽ)\*

Լուսավորության հզորության խտությունը՝ լուսավորության օգտագործած հզորության քանակությունն է շենքի մեկ միավոր մակերեսին: Միացյալ Նահանգներում ԼՀԽ-ն չափում են վատտ քառակուսի ոտնաչափով (Վտ/քառ. ոտնաչափ): Վատտի չափման մեջ ներառված է այն ողջ հզորությունը, որը սպառվում է լուսատու սարքերի, բալաստների, կառավարման սարքերի, տրանսֆորմատորների և այլ սարքերի կողմից. ըստ էության, եթե որևէ բաղադրիչ կամ սարք ներգրավված է լուսավորության մեջ, ապա այն պետք է ներառվի հաշվարկում:

Լուսավորության հզորության խտությունը սահմանվում է տեղական և միջազգային օրենքներով: ԼՀԽ-ի ստորև բերված արժեքները վերցրել ենք Էներգիանայողության միջազգային կոդեքսի 2015 թ. տարբերակից (ԷԽՄԿ 2015/IECC 2015): Խնդրում ենք նկատի ունենալ, որ որոշ քաղաքներ կամ նահանգներ կարող են չունենալ օրենքներ, որոնք պահանջում են, որ ԼՀԽ-ն կազմի ԷԽՄԿ-ից ցածր ինչ-որ տոկոս: Միշտ ստուգեք տեղական օրենքները՝ նախքան ձեր նախագծի համար ԼՀԽ չափանիշներ սահմանելը:

Լուսավորության հզորության խտությունը չափվում է երկու եղանակով: Առաջին եղանակով որոշվող ԼՀԽ-ն կիրառվում է ամբողջ շենքի նկատմամբ և կախված է շենքի տեսակից (դպրոց, թանգարան, գրասենյակ, այլ). այս մեթոդը բնույթով շատ պարզունակ է և կոչվում է «շենքի տարածքի» մեթոդ: Երկրորդ եղանակը յուրաքանչյուր առանձին սենյակի ԼՀԽ-ի հաշվարկն է և կոչվում է «տարածք առ տարածք» մեթոդ. այս մեթոդը շատ ավելի ճշգրիտ է և կարող է ստացվել ավելի փոքր ԼՀԽ թիվ, որը կարող է թույլ տալ օգտվել կոմունալ խթանների համակարգերից:

Կոմունալ խթանների քաղաքականության մի շարք ծրագրեր, հենվելով տեղի օրենքների վրա, պահանջում են նախագծող թիմերից բարելավել լուսավորության հզորության խտության ելակետային ցուցանիշը: Օրինակ՝ կոմունալ խթանների ծրագրով կարող է պահանջվել ԼՀԽ-ի ելակետային ցուցանիշի նկատմամբ 15% (կամ ավելի) բարելավում՝ էլեկտրաէներգիայի ավելի ցածր սակագնից օգտվելու համար:

<sup>2</sup> Illuminating Engineering Society of North America, [www.ies.org](http://www.ies.org)

\* To prevent excessive illumination, inclusion of this amendment into new building codes of the RA is currently under discussion  
Ներկայումս քննարկվում է այս հարաչափի ներառումը ՀՀ շին. նորմերում՝ գերլուսավորությունը կանխելու նպատակով:

## Recommended Light Levels by Space

The table below provides recommended light levels from the IESNA Lighting Handbook and LPD levels from the IECC 2015. Check your local jurisdiction for other or more stringent requirements. The US General Services Administration provides lighting levels and LPDs for US Government buildings, which can be used as a guide for other types of buildings.

The required light levels are indicated in a range because different tasks, even in the same space, require different amounts of light. In general, low contrast<sup>3</sup> and detailed tasks require more light while high contrast and less detailed tasks require less light.

Please keep in mind that this chart is not comprehensive. The IESNA Lighting Handbook has pages and pages of various categories. If you have a very specific need, we recommend further research.

The overall general requirements for the illuminance norms are shown in Figure 13, as a function of tasks performed. The general logic here is related to the accuracy of the tasks to be performed – smaller are elements that are involved in the task, higher is the responsibility, lesser is the contrast, higher should be the illumination level.

A citation<sup>4</sup> from the International Energy Agency Annex 45 (see the table on the next page).

## Լուսավորվածության առաջարկվող մակարդակներն՝ ըստ տարածքի

Ստորև բերված աղյուսակում ներկայացված են ՀԱԼՃՄ-ի «Լուսավորության մասին ձեռնարկով» առաջարկվող լուսավորվածության մակարդակները և ԷԻՄԿ 2015-ով առաջարկվող ԼՀԽ մակարդակները: Այլ կամ ավելի խիստ պահանջների առկայությունը կարելի է ստուգել ուսումնասիրելով տվյալ երկրում ընդունված ստանդարտները: ԱՄՆ-ի «Ընդհանուր ծառայությունների վարչությունը» լուսավորվածության մակարդակներ և ԼՀԽ-ներ է սահմանում ԱՄՆ կառավարական շենքերի համար, ինչը կարելի է օգտագործել որպես ուղեցույց՝ այլ տիպի շենքերի համար:

Լուսավորվածության պահանջվող մակարդակները նշված են միջակայքով, որովհետև տարբեր գործողություններ, նույնիսկ միևնույն տարածքում, պահանջում են լույսի տարբեր քանակություն: Ընդհանուր առմամբ, ցարժ կոնտրաստով<sup>3</sup> և բազմատարր առարկաների պատկեր կազմելու համար մարդու տեսողությունը պահանջում է ավելի շատ լույս, քան բարձր կոնտրաստով և սակավատարրի համար:

Խնդրում ենք նկատի ունենալ, որ այս աղյուսակը ամբողջական չէ: ՀԱԼՃՄ-ի «Լուսավորության մասին ձեռնարկում» կան տարբեր կատեգորիաներ նկարագրող բազմաթիվ էջեր: Եթե ձեզ շատ կոնկրետ պահանջ է անհրաժեշտ, խորհուրդ ենք տալիս կատարել ավելի մանրամասն հետազոտություն:

Լուսավորվածության նորմերի ընդհանուր պահանջները ներկայացված են Նկար 13-ում՝ կախված աշխատանքի կամ գործողության բնույթից: Ընդհանուր տրամաբանությունն այստեղ կապված է կատարվելիք գործողությունների ճշգրտության հետ՝ որքան փոքր են գործողության մեջ ներառված բաղադրիչները, կամ որքան բարձր է պատասխանատվությունը, կամ որքան փոքր է կոնտրաստը, այնքան բարձր պետք է լինի լուսավորվածության մակարդակը:

Մեջբերում<sup>4</sup> Միջազգային էներգետիկ գործակալության Հավելված 45-ից (տես հաջորդ էջի աղյուսակը):

<sup>3</sup> The degree of sight differentiation among various task details.

Առարկայի տարբեր մասերի միջև տեսողության կողմից տարբերակման աստիճան:

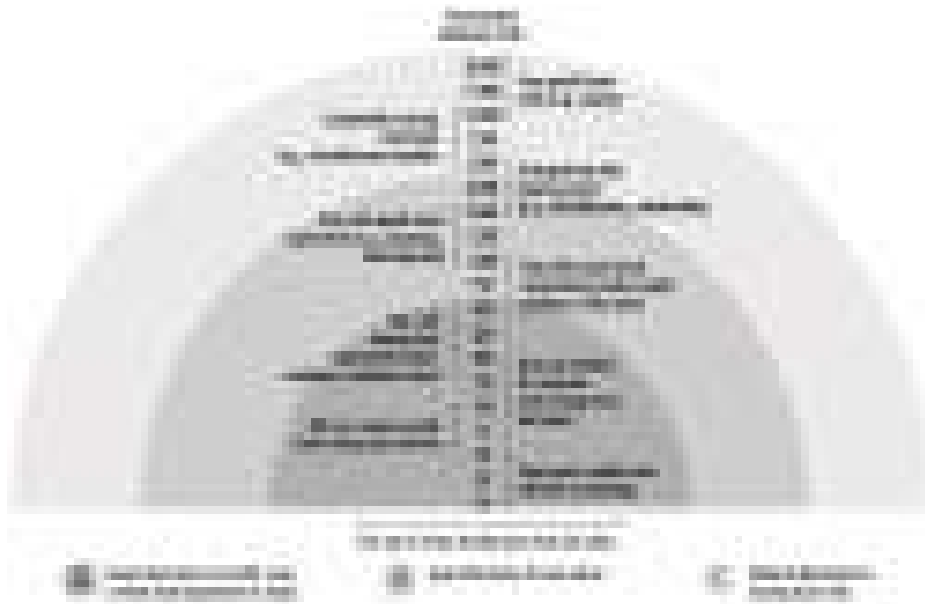
<sup>4</sup> [http://www.lightinglab.fi/IEAAnnex45/guidebook/4\\_lighting%20and%20energy%20standards%20and%20codes.pdf](http://www.lightinglab.fi/IEAAnnex45/guidebook/4_lighting%20and%20energy%20standards%20and%20codes.pdf)

| Room type / Սենքի տեսակ        |                                                 | Light level / Լուսավորության մակարդակ |              | IECC* 2015, lighting power density (W/foot2) / ԷԽՄՆ* 2015, հզորության խտություն (Վտ/ ոտնաչափ) |
|--------------------------------|-------------------------------------------------|---------------------------------------|--------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                |                                                 | foot candles / ոտնաչափ-մոմ            | lux / լյուքս |                                                                                               |
| Bedroom – Dormitory            | ննջասենյակ-հանրակացարան                         | 20-30                                 | 200-300      | 0.38                                                                                          |
| Cafeteria – Eating             | ճաշարան-սննդի ընդունման հատված                  | 20-30                                 | 200-300      | 0.65                                                                                          |
| Classroom – General            | լսարան-ընդհանուր                                | 30-50                                 | 300-500      | 1.24                                                                                          |
| Conference Room                | համաժողովների դահլիճ                            | 30-50                                 | 300-500      | 1.23                                                                                          |
| Corridor                       | միջանցք                                         | 5-10                                  | 50-100       | 0.66                                                                                          |
| Exhibit Space                  | ցուցասրահ                                       | 30-50                                 | 300-500      | 1.45                                                                                          |
| Gymnasium – Exercise / Workout | մարզադահլիճ-վարժություն / մարզանք               | 20-30                                 | 200-300      | 0.72                                                                                          |
| Gymnasium – Sports / Games     | մարզադահլիճ-սպորտ / խաղեր                       | 30-50                                 | 300-500      | 1.20                                                                                          |
| Kitchen / Food Prep            | խոհանոց / սննդի պատրաստում                      | 30-75                                 | 300-750      | 1.21                                                                                          |
| Laboratory (Classroom)         | լաբորատորիա (դասասենյակ)                        | 50-75                                 | 500-750      | 1.43                                                                                          |
| Laboratory (Professional)      | լաբորատորիա (մասնագիտական)                      | 75-120                                | 750-1200     | 1.81                                                                                          |
| Library - Stacks               | գրադարան-գրապահոց                               | 20-50                                 | 200-500      | 1.71                                                                                          |
| Library – Reading / Studying   | գրադարան-ընթերցում / ուսումնառություն           | 30-50                                 | 300-500      | 1.06                                                                                          |
| Loading Dock                   | բեռնման հարթակ                                  | 10-30                                 | 100-300      | 0.47                                                                                          |
| Lobby - Office / General       | նախասրահ-գրասենյակ/ընդհանուր                    | 20-30                                 | 200-300      | 0.90                                                                                          |
| Locker Room                    | հանդերձարան                                     | 10-30                                 | 100-300      | 0.75                                                                                          |
| Lounge / Breakroom             | հանգստի / ընդմիջման սենյակ                      | 10-30                                 | 100-300      | 0.73                                                                                          |
| Mechanical / Electrical Room   | մեխանիկական / էլեկտրական սարքավորումների սենյակ | 20-50                                 | 200-500      | 0.95                                                                                          |
| Office – Open                  | գրասենյակ-բաց                                   | 30-50                                 | 300-500      | 0.98                                                                                          |
| Office – Private / Closed      | գրասենյակ-առանձնասենյակ / փակ                   | 30-50                                 | 300-500      | 1.11                                                                                          |
| Parking – Interior             | ավտոկայանատեղի-ներքին                           | 5-10                                  | 50-100       | 0.19                                                                                          |
| Restroom / Toilet              | զուգարան                                        | 10-30                                 | 100-300      | 0.96                                                                                          |
| Retail Sales                   | մանրածախ առևտուր                                | 20-50                                 | 200-500      | 1.59                                                                                          |
| Stairway                       | աստիճանավանդակ                                  | 5-10                                  | 50-100       | 0.69                                                                                          |
| Storage Room - General         | պահեստ-ընդհանուր                                | 5-20                                  | 50-200       | 0.63                                                                                          |
| Workshop                       | արհեստանոց                                      | 30-75                                 | 300-750      | 1.59                                                                                          |

\* International Energy Conservation Code / Էներգախնայողության միջազգային նորմեր

**Figure 13.** Levels of illumination as a function of tasks performed.

Source/Աղբյուրը՝ <http://www.iloencyclopaedia.org/contents/part-vi-16255/lighting>



Խորհուրդ փոփոխել լուսավորվածություն (լյուքս)

Առավել հստակ փոստություն պահանջող առաջադրանքներ (օրինակ՝ վիրահատություն)

Առանձնապես հստակ փոստություն պահանջող առաջադրանքներ (օրինակ՝ միկրոէլեկտրոնիկայի հավաքակցում)

Ճշգրտություն պահանջող երկարատև առաջադրանքներ (օրինակ՝ միկրոէլեկտրոնիկայի, ժամացույցների պատրաստում)

Տեսողության նկատմամբ հարույժ պահանջներով առաջադրանքներ (օրինակ՝ փորագրություն, գործվածքների զննում)

Տեսողության նկատմամբ միջին պահանջներով առաջադրանքներ (օրինակ՝ միջին ծանրության մեքենաների և սարքավորումների արտադրություն, գրասենյակային փորագրություն)

Տեսողության նկատմամբ սահմանափակ պահանջներով առաջադրանքներ (օրինակ՝ ծանր մեքենաշինություն, համաժողովների դահլիճներ)

Շարունակական աշխատանքի համար չնախատեսված փորագրություն (օրինակ՝ պահեստային փորագրություն, շենքերի-շինությունների մուտքեր-սանդղավանդակներ)

Միայն որպես կարճ ժամանակահատվածում այցելություններին ուղղորդելու միջոց

Մութ միջավայրերում հասարակության համար բաց գոտիներ

Գործունեության նկարագրված յուրաքանչյուր փուլի վերաբերում են լյուքսի երեքական արժեքներ

A՝ ընդհանուր լուսավորություն չձանրաբեռնված երթևեկության գոտիներում կամ փոստության նկատմամբ ցածր պահանջներով փորագրություն

B՝ ընդհանուր լուսավորություն շենքերի-շինությունների ներսում աշխատելու համար

C՝ լրացուցիչ լուսավորում հստակ փոստություն պահանջող առաջադրանքների համար

**Նկար 13.** Լուսավորվածության մակարդակները՝ կախված կատարվող գործողություններից:

#### 4.1.5 Recommended illuminance levels

Details of the recommended illuminance values for office lighting found in different national recommendations worldwide are tabulated in Appendix A. Basically, the differences in recommended illuminances are not high since they tend to be related to the CIE recommendations. However, there are countries which recommend lower values of minimum illuminance.

The ISO standard ISO 8995-1:2002 (CIE 2001/ISO 2002) states that in the areas where continuous work is carried out the maintained work plane illuminance should not be less than 200 lx. In all the reviewed recommendations, the minimum work plane illuminances in offices were higher.

#### 4.1.5 Լուսավորվածության առաջարկվող մակարդակները

Տարբեր երկրներում պետական հանձնարարականներով գրասենյակային տարածքների լուսավորությանը ներկայացվող պահանջների սահմանված արժեքները ներկայացված են Հավելված Ա-ում: Ըստ էության, առաջարկվող լուսավորվածության արժեքներում տարբերությունները մեծ չեն, քանի որ դրանք հիմնված են Լուսավորության միջազգային հանձնաժողովի (LSC/CIE) առաջարկությունների վրա: Այնուամենայնիվ, կան երկրներ, որոնք առաջարկում են նվազագույն լուսավորվածության ավելի փոքր արժեքներ:

Ստանդարտացման միջազգային կազմակերպության ISO 8995-1:2002 (CIE 2001/ISO 2002) ստանդարտը սահմանում է, որ մշտապես ակտիվ աշխատանքային տարածքներում, լուսավորվածությունը չպետք է լինի 200 լյուքսից պակաս: Ուսումնասիրված բոլոր հանձնարարականներում գրասենյակների աշխատանքային տարածքի նվազագույն լուսավորվածությունը բարձր էր: ISO 8995-1:2002 ստանդարտը

ISO 8995-1:2002 standard does not give any recommendation for uniformity of illuminance on the work plane, but suggests that the illuminance in the vicinity of the task should not be too low in comparison to the illuminance on task area. For example, the illuminance in the vicinity<sup>5</sup> of task is 300 lx for a task with illuminance of 500 lx, 200 lx for a task with illuminance of 300 lx. However, the illuminance in the vicinity of task should be equal to the illuminance in the task area if the value for task illuminance is below 200 lx. In most countries which were reviewed, the minimum maintained illuminance on desks for regular office work is 500 lx, but lower values are recommended in India (300 lx), Denmark (300 lx), USA (depending on type of task) and Australia (320 lx). Minimum illuminance values for lounges, lobbies and corridors are specified within a range from 50 to 100 lx depending on country.

աշխատանքային տարածքում լուսավորվածության համասեռության մասին որևէ հանձնարարական չի տալիս, սակայն առաջարկում է ապահովել, որ շատ մեծ տարբերություն չլինի աշխատանքային տարածքի և դրա անմիջական շրջակայքի լուսավորվածության միջև: Օրինակ՝ աշխատանքային տարածքի շրջակայքում լուսավորվածությունը<sup>5</sup> 300 լյուքս է, իսկ աշխատանքային տարածքում՝ 500 լյուքս, կամ աշխատանքային տարածքի շրջակայքում լուսավորվածությունը 200 լյուքս է, իսկ աշխատանքային տարածքում՝ 300 լյուքս: Այնուամենայնիվ, աշխատանքային տարածքի շրջակայքի լուսավորվածությունը պետք է հավասար լինի աշխատանքային տարածքի լուսավորվածությանը, եթե աշխատանքային տարածքի լուսավորվածության արժեքը ցածր է 200 լյուքսից: Ուսումնասիրված երկրներից շատերում սովորական գրասենյակային աշխատանքի դեպքում գրասեղանների պահանջվող նվազագույն լուսավորվածությունը 500 լյուքս է, մինչդեռ ավելի փոքր արժեքներ են սահմանվում Հնդկաստանում (300 լյուքս), Դանիայում (300 լյուքս), ԱՄՆ-ում (կախված աշխատանքի տեսակից) և Ավստրալիայում (320 լյուքս): Հանգստի սենյակների, նախասրահների և միջանցքների համար լուսավորվածության նվազագույն արժեքները սահմանված են 50-100 լյուքսի միջակայքում՝ կախված երկրից:

### Basic measurement methodology

The measurement of the illumination is being performed mostly by the lux meters (Figure 14), that have a response spectrum very close to that of human eye photopic vision.

### Չափման հիմնական մեթոդաբանությունը

Լուսավորության չափումը հիմնականում կատարվում է լյուքսմետրով (Նկար 14), որի զգայնության սպեկտրը շատ մոտ է մարդու աչքի ցերեկային (ֆոտոպիկ) տեսողությանը:

Figure 14. Lux meters.



Նկար 14. Լյուքսաչափեր:

<sup>5</sup> The terms used in softwares for lighting calculations, to which Chapter 5 is dedicated - are: Task area, Surrounding area and Background area. For each case the uniformity and values for this areas are specified by CIE  
Համակարգչային ծրագրերում լուսավորվածության հաշվարկների համար օգտագործվող եզրույթները, որոնց նվիրված է Գլուխ 5-ը, աշխատանքային տարածք, մոտակա շրջակայք և հետին պլան եզրույթներն են: Յուրաքանչյուր դեպքի համար այս տարածքների լուսավորվածության համասեռությունն ու արժեքները սահմանված են ԼՄՀ-ի կողմից:

The measurement is performed on the particular surface of interest – table, floor, wall, etc Figure 15. Certain types of measurements require taking into consideration the reflections from the walls, etc., but the lux meter by its nature of measurement cannot take this into consideration. However, the reflectance from the wall is yet another parameter that plays an important role in the lighting design Figure 16.

See Chapter 5 for lighting design and related measurement approaches.

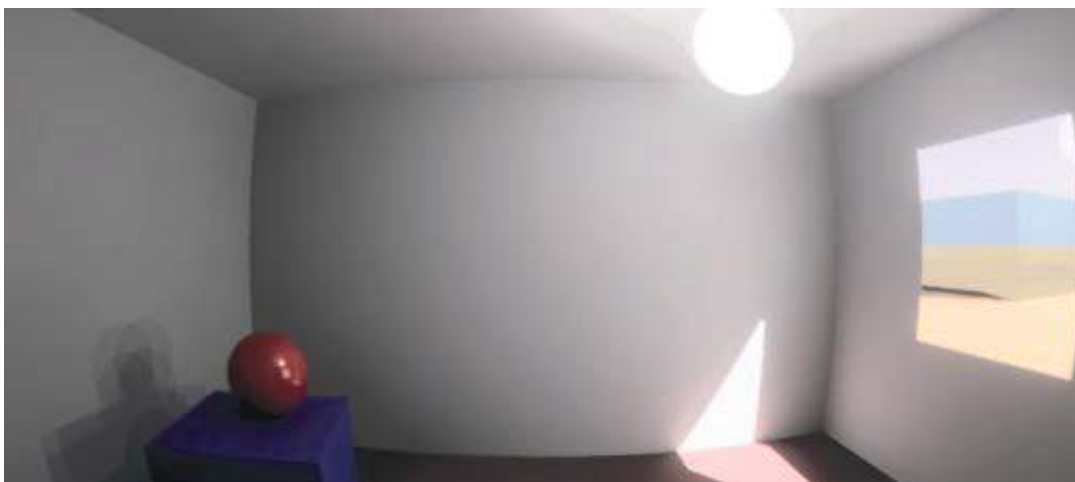
Figure 15. Measuring the illuminance level.

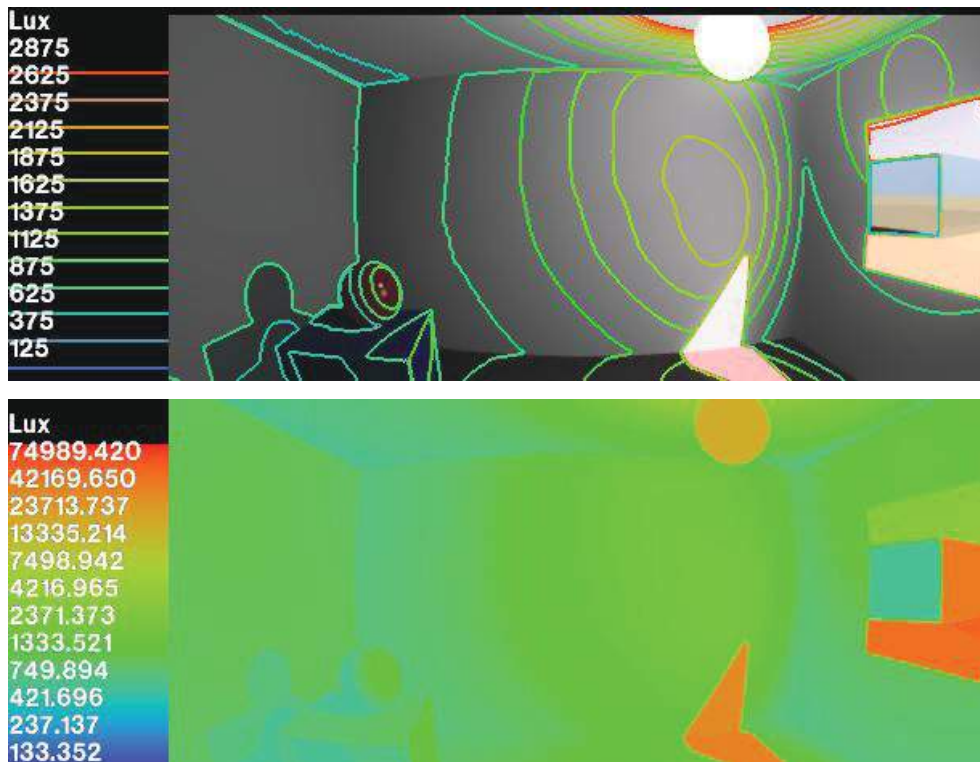


Նկար 15. Լուսավորվածության մակարդակի չափում:

Figure 16. Computer mapping and simulation via false color are important tools for the lighting design technology – 3D computer aided design (CAD) has been used.

Source/Աղբյուր՝ <http://pages.uoregon.edu/hof/s00libr/methodology.html>





Նկար 16. Կեղծ գույների միջոցով համակարգչային քարտեզագրումը և սիմուլյացիան լուսավորության նախագծման տեխնոլոգիայի կարևոր գործիքներ են. օգտագործվել է ավտոմատ նախագծման եռաչափ համակարգ (CAD):

## REFERENCES / ՀՈՒՄՆԵՐ

1. <https://www.mayoclinic.org/diseases-conditions/seasonal-affective-disorder/symptoms-causes/syc-20364651>
2. [https://en.wikipedia.org/wiki/Kruithof\\_curve](https://en.wikipedia.org/wiki/Kruithof_curve)
3. <https://www.houzz.com/ideabooks/391008/list/bathe-in-the-light-of-clerestory-windows>
4. <https://acuitybrands.wordpress.com/>
5. <https://weburbanist.com/2013/10/07/house-of-hemp-and-blood-16-futuristic-building-materials/>
6. <https://home.howstuffworks.com/home-improvement/construction/green/smart-window3.htm>
7. <http://www.tectonica-online.com/topics/lighting/daylighting-norbert-lechner/26/>
8. <https://www.lightingdeluxe.com/workplace-lighting-ergonomics.html>
9. <http://www.iloencyclopaedia.org/contents/part-vi-16255/lighting>
10. <https://www.archtoolbox.com/representation/>
11. Էներգախնայողության միջազգային կոդեքս. 2015 թ. տարբերակ (ԷԻՄԿ 2015, International Energy Conservation Code - IECC 2015).
12. <http://www.lightinglab.fi/>
13. ISO standard ISO 8995-1:2002 (CIE 2001/ISO 2002) - Ստանդարտացման միջազգային կազմակերպության ISO 8995-1:2002 (CIE 2001/ISO 2002) ստանդարտը
14. ISO 8995-1:2002 standard - ISO 8995-1:2002 ստանդարտ



# ԿԱՆԱԶ ԼՈՒՍԱՎՈՐՈՒԹՅՈՒՆ

Տեսությունը և սկզբունքները ճարտարապետների և ճարտարագետների համար

## GREEN LIGHTING

Theory and Principles for Engineers and Architects

Համբարյան Արտակ, Ղազարյան Վարդան

Artak Hambarian, Vardan Ghazaryan



Empowered lives.  
Resilient nations.



ISBN 978-9939-1-0837-7 © UNDP Armenia, 2018

### CHAPTER 4

#### Outdoor lighting: Special Needs of Street Traffic, Pedestrians, Parks, Landscaping and Nature



#### ԳԼՈՒԽ 4

Արտաքին լուսավորություն. ճանապարհային  
երթևեկության, հետիոտների, զբոսայգիների,  
լանդշաֆտի և բնության հատուկ կարիքները



## CHAPTER 4

## Outdoor Lighting: Special Needs of Street Traffic, Pedestrians, Parks, Landscaping and Nature

## ԳԼՈՒԽ 4

## Արտաքին լուսավորություն. ճանապարհային երթևեկության, հետիոտների, զբոսայգիների, լանդշաֆտի և բնության հատուկ կարիքները

| Contents                                                                                                               |     | Բովանդակություն                                                                                                                  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Outdoor Lighting: Special Needs of Street Traffic, Pedestrians, Parks, Landscaping and Nature                          | 145 | Արտաքին լուսավորություն. ճանապարհային երթևեկության, հետիոտների, զբոսայգիների, լանդշաֆտի և բնության հատուկ կարիքները              |
| 1. Street lighting: specificities, infrastructure, energy efficient solutions - the functional or traffic illumination | 147 | 1. Փողոցային լուսավորություն. առանձնահատկությունները, ենթակառուցվածքը, էներգաարդյունավետ լուծումներ, ֆունկցիոնալ լուսավորություն |
| Reflectivity of the pavement                                                                                           | 149 | Ճանապարհածածկի անդրադարձելիություն                                                                                               |
| Light distribution curve                                                                                               | 150 | Լույսի բաշխման կոր                                                                                                               |
| Luminaire efficiency                                                                                                   | 154 | Լուսատուի արդյունավետություն                                                                                                     |
| Control, Monitoring and Automation                                                                                     | 156 | Կառավարում, մոնիթորինգ (մշտադիտարկում) և ավտոմատացում                                                                            |
| Key benefits                                                                                                           | 158 | Հիմնական առավելությունները                                                                                                       |
| Features                                                                                                               | 158 | Հատկություններ                                                                                                                   |
| Infrastructure                                                                                                         | 160 | Ենթակառուցվածքը                                                                                                                  |
| Measures                                                                                                               | 161 | Միջոցներ                                                                                                                         |
| 2. Architectural lighting – aesthetics, light and heavy colors, composition, etc                                       | 163 | 2. Ճարտարապետական լուսավորություն. էսթետիկա, թեթև և ծանր գույներ, կառուցվածք և այլն                                              |
| Visibility and artistic expression                                                                                     | 164 | Տեսանելիություն և գեղարվեստական արտահայտչություն                                                                                 |
| Parks - No strict regulation                                                                                           | 165 | Զբոսայգիներ. խիստ կանոնակարգման բացակայություն                                                                                   |
| Ground luminaire                                                                                                       | 165 | Գետնի լապտերներ                                                                                                                  |
| Low poles, including solar powered                                                                                     | 166 | Ցածր, նաև՝ արևային էներգիայով աշխատող լուսայուններ                                                                               |
| Variety of luminaires, incl vintage or retro                                                                           | 166 | Լապտերների տարբեր տեսակներ, այդ թվում՝ հնաոճ կամ ռետրո                                                                           |
| Fountain illumination                                                                                                  | 167 | Շատրվանների լուսավորություն                                                                                                      |
| Building screens – Sidney opera                                                                                        | 168 | Պատկերների ստեղծում. Սիդնեյի օպերային թատրոնի շենք                                                                               |
| Vandalism protection                                                                                                   | 169 | Պաշտպանություն վանդալիզմից                                                                                                       |
| 3. Standards and norms for outdoor lighting, measurement methodology                                                   | 169 | 3. Արտաքին լուսավորության ստանդարտներն ու նորմերը, չափման մեթոդաբանությունը                                                      |
| Documents                                                                                                              | 169 | Փաստաթղթեր                                                                                                                       |
| Norms                                                                                                                  | 169 | Նորմեր                                                                                                                           |
| The measurement methodology                                                                                            | 171 | Չափման մեթոդաբանությունը                                                                                                         |
| References                                                                                                             | 172 | Հղումներ                                                                                                                         |

## OUTDOOR LIGHTING: SPECIAL NEEDS OF STREET TRAFFIC, PEDESTRIANS, PARKS, LANDSCAPING AND NATURE

Harmony between the human, the environment – urban, rural and wilderness – during the dark hours of the day is the task of the outdoor lighting.

Outdoor lighting allows more efficiently prolonging outdoor activities beyond the sunlit daytime, which is especially important e.g. for countries that are close to polar circle. One needs to differentiate the *functional* and *aesthetical* applications.

The functional applications, first of all the street and road lighting is to support safety of pedestrians and means of transportation (Figure 1); while the aesthetical applications are first of all related to architecture, landscaping and other artistic expressions, such as monuments, parks, etc. (Figure 2).

Here is the list of parameters addressing consideration of outdoor lighting:

1. Energy Efficiency;
2. Lighting levels per norms and standards;
3. Aesthetics and integration to architectural environment;
4. Weather protection or encapsulation, other mechanical factors – vibration, vandalism, etc.;
5. Integration into electric, transport and other infrastructure;
6. Photoluminescence – street markings;
7. Safety;
8. Automation, reliability, including monitoring;
9. Environmental aspects, light pollution.

## ԱՐՏԱՔԻՆ ԼՈՒՍԱՎՈՐՈՒԹՅՈՒՆ. ՃԱՆԱՊԱՐՀԱՅԻՆ ԵՐԹԵՎԵԿՈՒԹՅԱՆ, ՀԵՏԻՈՏՆԵՐԻ, ԶԲՈՍԱՅԳԻՆԵՐԻ, ԼԱՆԴՇԱՖՏԻ ԵՎ ԲՆՈՒԹՅԱՆ ՀԱՏՈՒԿ ԿԱՐԻՔՆԵՐԸ

Օրվա մութ ժամերին մարդկանց և շրջակա միջավայրի ներդաշնակության ապահովումը արտաքին լուսավորության խնդիրն է:

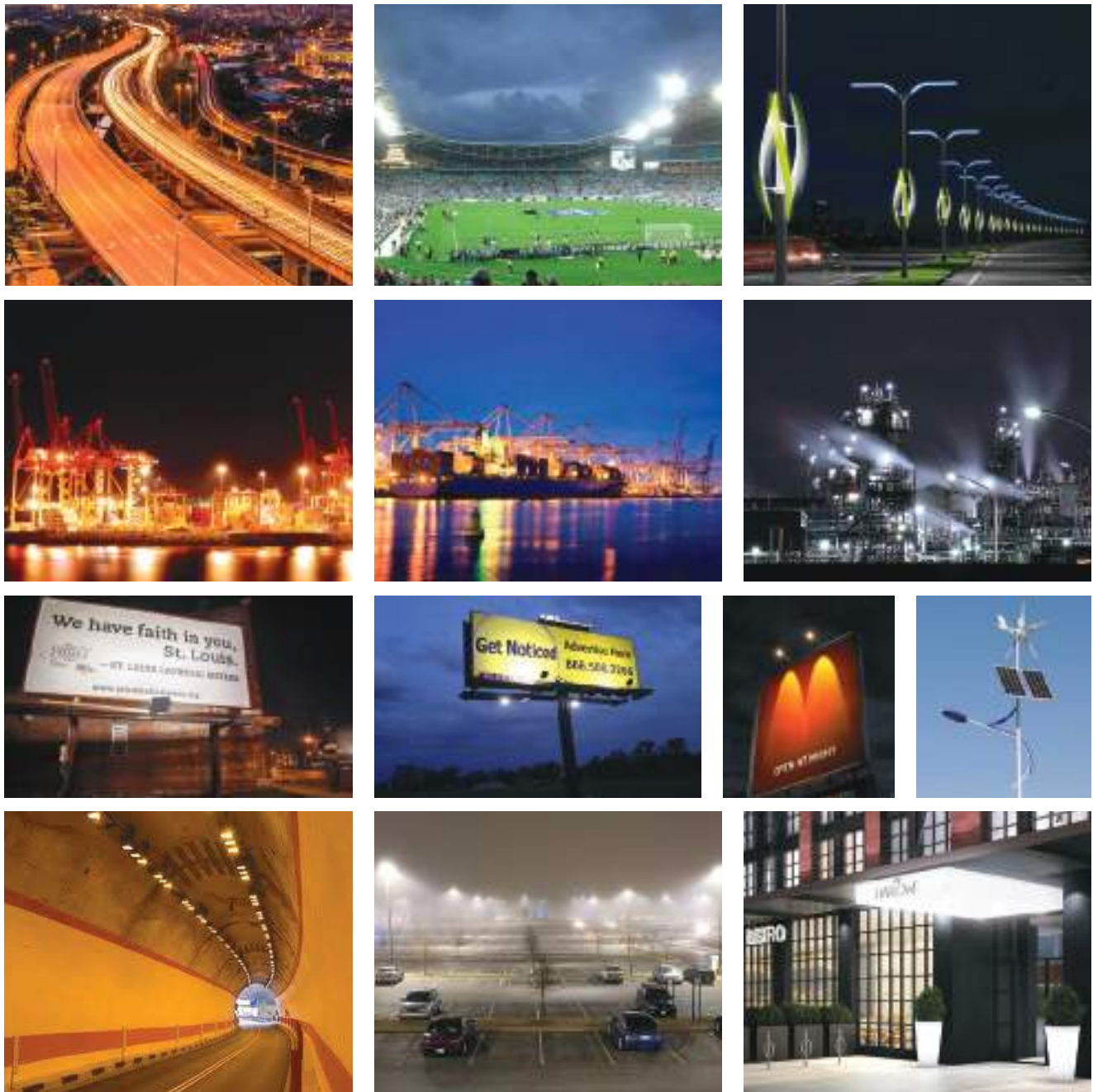
Արտաքին լուսավորությունը հնարավորություն է տալիս արևային լույսի ժամերից հետո երկարացնել արդյունավետ գործունեությունը դրսում, ինչը հատկապես կարևոր է, օրինակ, բևեռային շրջաններին մոտ երկրների համար: Անհրաժեշտ է տարբերակել *ֆունկցիոնալ* և *գեղագիտական* կիրառությունները:

Ֆունկցիոնալ կիրառությունը՝ առաջին հերթին փողոցների ու ճանապարհների լուսավորության, հետիոտների և տրանսպորտային միջոցների անվտանգության ապահովումն է (Նկար 1), մինչդեռ գեղագիտական կիրառությունը նախ և առաջ կապված է ճարտարապետության, լանդշաֆտային դիզայնի, հուշարձանների և այլ գեղարվեստական արտահայտչամիջոցների հետ (Նկար 2):

Ստորև ներկայացվում է հարաչափերի ցանկը, որոնք անհրաժեշտ է հաշվի առնել արտաքին լուսավորությունը կազմակերպելիս.

1. Լուսավորության մակարդակները՝ ըստ նորմերի և ստանդարտների,
2. Էներգաարդյունավետություն,
3. Գեղագիտությունը և ճարտարապետական միջավայրի հետ ինտեգրումը,
4. Պաշտպանություն եղանակային և մեխանիկական ազդեցություններից,
5. Ինտեգրում էլեկտրական, տրանսպորտային և այլ ենթակառուցվածքներում,
6. Ֆոտոլյումինեսցենցիա՝ ճանապարհային գծանշումներ,
7. Անվտանգություն,
8. Ավտոմատացում, հուսալիություն, այդ թվում՝ մոնիթորինգ,
9. Շրջակա միջավայրի պաշտպանության նկատառումներ, լուսային աղտոտում:

Figure 1. Examples of functional outdoor lighting



Նկար 1. Արդարքին ֆունկցիոնալ լուսավորության օրինակներ

Figure 2. Examples of architectural lighting.





Նկար 2. Ճարտարապետական լուսավորության օրինակներ

## 1. STREET LIGHTING: SPECIFICITIES, INFRASTRUCTURE, ENERGY EFFICIENT SOLUTIONS - THE FUNCTIONAL OR TRAFFIC ILLUMINATION

Street illumination provides substantial increase in safety of transportation, which is the primary goal in this case. The key parameter for the street lighting is the *brightness or luminance of the pavement*. The brightness here is composed of the combination of the *level of illumination* and the *reflectivity characteristics* of the pavement.

## 1. ՓՈՂՈՑԱՅԻՆ ԼՈՒՍԱՎՈՐՈՒԹՅՈՒՆ. ԱՌԱՋՆԱՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ, ԵՆԹԱԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔԸ, ԷՆԵՐԳԱԱՐԴՅՈՒՆԱՎԵՏ ԼՈՒԾՈՒՄՆԵՐ, ՖՈՒՆԿՑԻՈՆԱԼ ԼՈՒՍԱՎՈՐՈՒԹՅՈՒՆ

Փողոցային լուսավորությունը զգալիորեն մեծացնում է փոխադրման անվտանգությունը, ինչն այս դեպքում առաջնային նպատակ է: Փողոցային լուսավորության հիմնական հարաչափը *ճանապարհածածկի պայծառությունը կամ լուսավորվածությունն է*: Այստեղ պայծառությունը բաղկացած է *ճանապարհածածկի լուսավորվածության մակարդակի և անդրադարձնող հատկությունների* համադրությունից:

## Reflectivity of the pavement

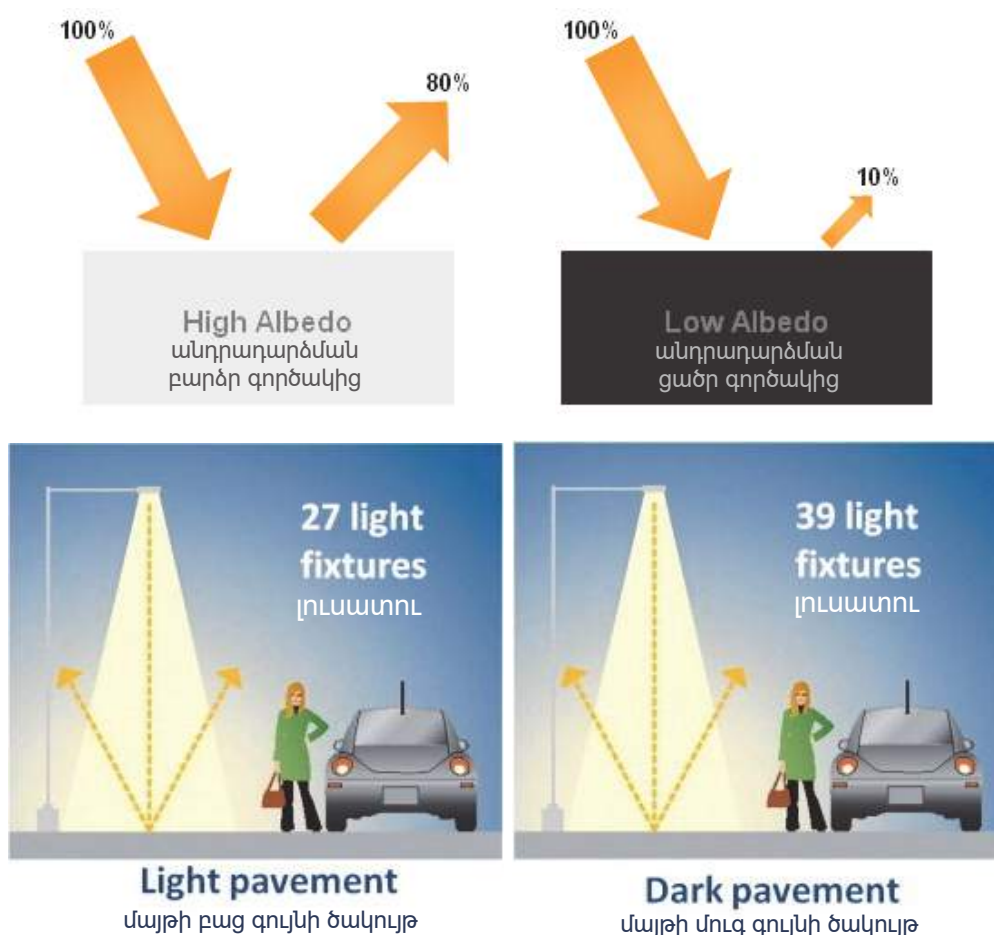
Apparently the same level of illumination of e.g. a concrete pavement which has higher albedo, i.e. reflectivity of around 0.5 and a new laid fresh asphalt pavement, which has albedo of 0.04, i.e. it is black dark, yields very different luminance levels – i.e. the pavements and objects that have higher reflectivity, seem brighter (Figure 3).

## Ճանապարհածածկի անդրադարձելիություն

Ակնհայտորեն, օրինակ, երկաթբետոնե ճանապարհածածկը, որն ունի ավելի բարձր անդրադարձման գործակից՝ շուրջ 0.5, և նոր, թարմ ասֆալտապատ ճանապարհածածկը, որի անդրադարձման գործակիցը 0.04 է, լուսավորվածության միևնույն մակարդակի դեպքում, կանդրադարձնեն տարբեր քանակի լույս, հետևաբար, կապահովեն տարբեր պայծառություն: Այսինքն, այն ճանապարհածածկը (սա վերաբերում է ցանկացած մակերևույթի), որի անդրադարձելիությունն ավելի բարձր է, ավելի պայծառ է երևում, քանի որ պայծառությունը դա լուսավորված մակերևույթից անդրադարձած լույսն է, որն ընկնելով մարդու աչքի մեջ՝ տեսանելի է դարձնում առարկան (Նկար 3):

Figure 3. Illustration to the pavement reflectivity. Reflective pavements can reduce the need for street lighting at night – thus lowering expenses (Image courtesy of Stark 1986).

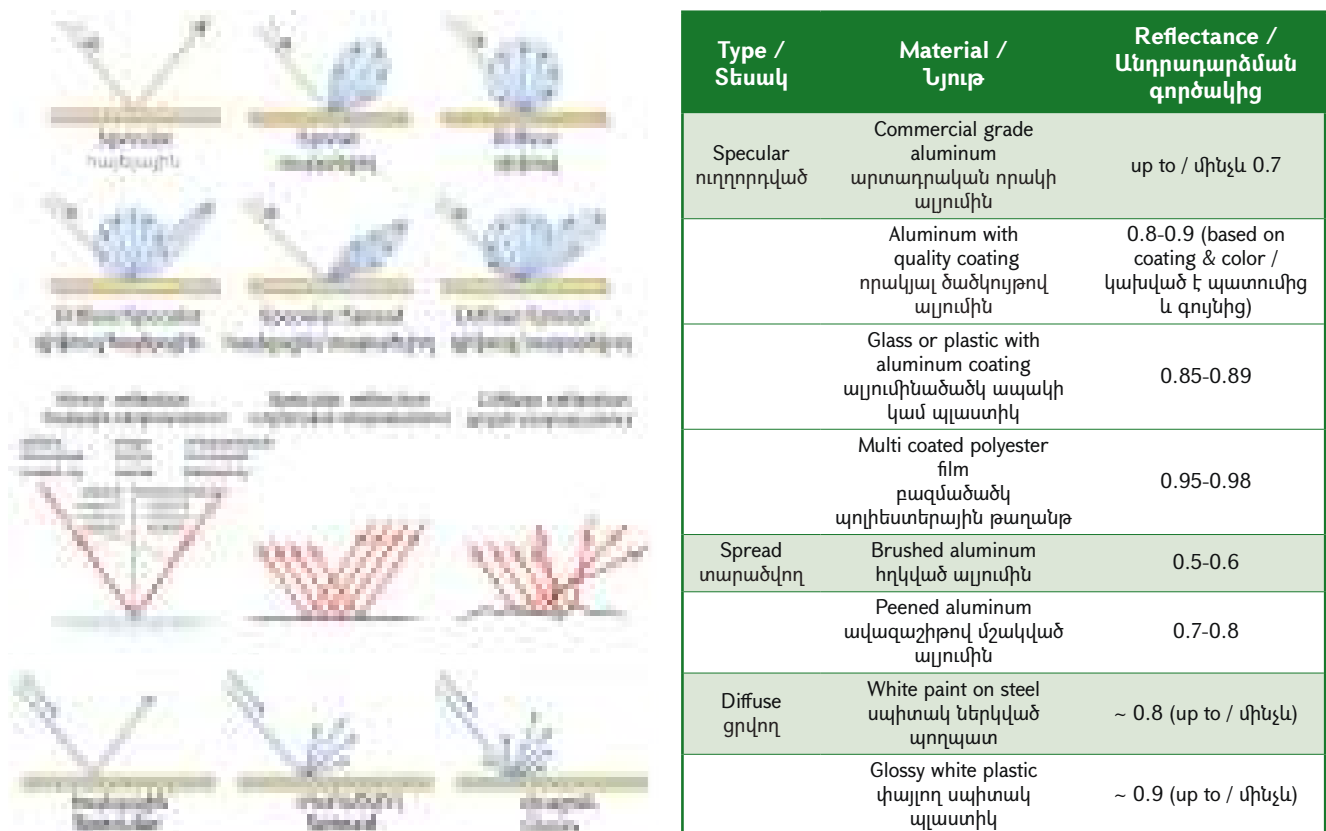
Source/Աղբյուրը՝ <http://climate.ncsu.edu/edu/k12/.albedo>, <https://heatisland.lbl.gov/coolscience/cool-pavements>.



Նկար 3. Ճանապարհածածկի անդրադարձելիության պատկերումը: Բարձր անդրադարձման գործակցով ճանապարհածածկերը կարող են նվազեցնել գիշերային ժամերին փողոցային լուսավորության համար անհրաժեշտ լամպերի հզորությունը՝ նվազեցնելով ծախսերը (նկարը տրամադրել է Սթարքը, 1986 թ.):

Figure 4. Specular vs. Spread vs. diffuse, illustration, and a few materials and surface types.

Source/Աղբյուր՝ <https://www.flickr.com/photos/mitopencourseware/4815499473>, <http://sciencelearn.org.nz/Contexts/Light-and-Sight/Sci-Media/Images/Types-of-reflection>, <http://www.slideshare.net/MikePitcher/luminaires-module-3>



Նկար 4. Հայելային, միջանկյալ կամ սահմանափակ ցրումով, և ցրված կամ դիֆուզ անդրադարձում, նաև մի քանի նյութեր և մակերևույթի տեսակներ:

## Light distribution curve

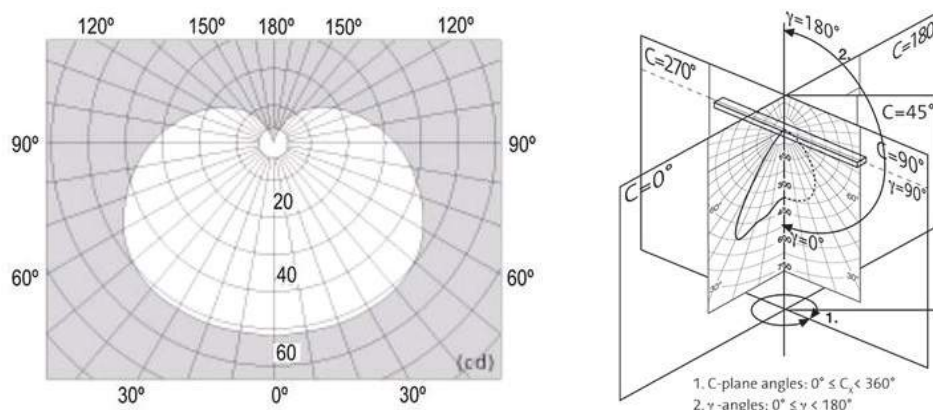
Evidently, the real pavements are not lambertian diffusers, especially if they are wet, or covered by ice or snow – in that case, lots of glare is observed. Here one needs to take into consideration the angular distribution of light (ADL) aka light distribution curve (LDC) of the luminaries, Figure 5.

## Լույսի բաշխման կոր

Ակնհայտորեն, իրական ճանապարհածածկերը լամբերտյան դիֆուզոր չեն, հատկապես երբ թաց են, ծածկված են սառույցով կամ ձյունով: Այդ դեպքում փայլը շատ է: Այստեղ անհրաժեշտ է հաշվի առնել լուսատուների լույսի անկյունային բաշխվածությունը կամ, այլ կերպ ասած, լույսի բաշխման կորը (ԼԲԿ), Նկար 5:

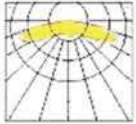
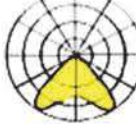
Figure 5. Light distribution curve (LDC) angular distribution of light (ADL) of a light source.

Source/Աղբյուր՝ <http://www.digkey.tw/en/articles/techzone/2012/may/decoding-luminous-intensity-distribution-data-for-led-modules>, <http://www.slideshare.net/MikePitcher/luminaires-module-3>



## Photometric curve types and applications

## Լուսատեխնիկական կորերի տեսակներ և դրանց կիրառում

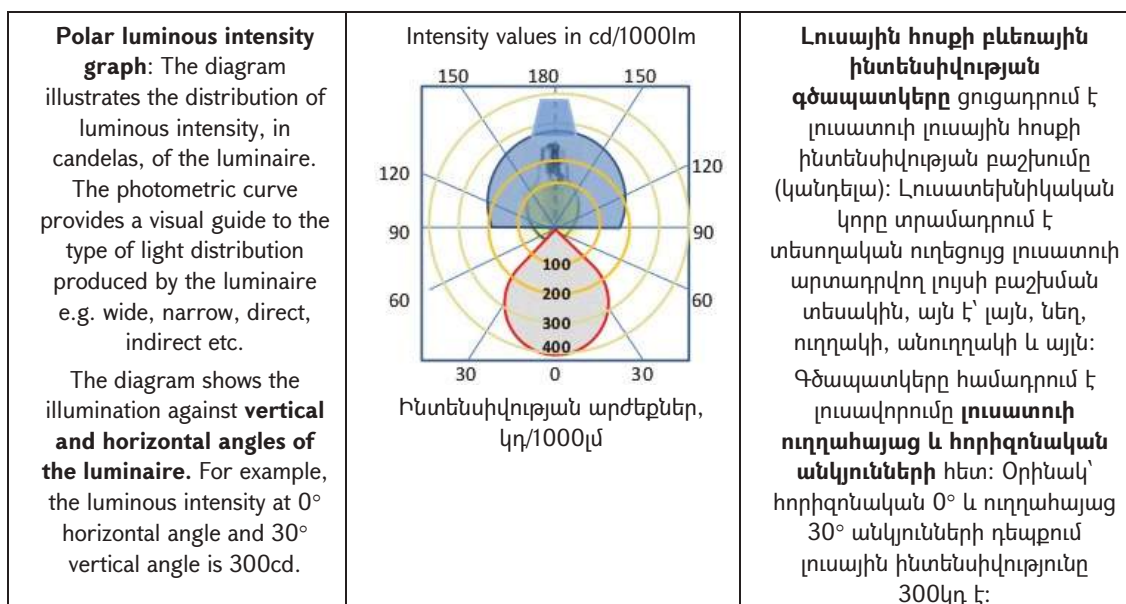
|                                                                                                                                            |                                                                                    |                                                                                     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                           |   |  |
| Side emitting pattern with peak intensity between between 60° and 70°<br>Կողմնային արձակման պատկեր 60° և 70° միջև մաքսիմալ ինտենսիվությամբ | Indirect, ceiling oriented lighting<br>անուղղակի, դեպի առաստաղ ուղղված լուսավորում | Spot/narrow lighting<br>կենտրոնացված/նեղ լուսավորում                                |
|                                                           |   |  |
| Asymmetric lighting<br>Ասիմետրիկ լուսավորում                                                                                               | Diffused office space lighting<br>Գրասենյակային տարածքի ցրվող լուսավորում          | Spread beam and indirect lighting<br>Տարածվող ճառագայթ և անուղղակի լուսավորում      |

The reflector has a key role in defining the light distribution pattern of a luminaire

Անդրադարձիչն ունի առանցքային դեր լուսատուի լույսի բաշխման պատկերի որոշման մեջ

## Photometric distribution - polar intensity diagram

Լուսատեխնիկական բաշխում՝ բևեռային ինտենսիվության գծապատկեր



Նկար 5. Լույսի բաշխման կորը (ԼԲԿ/ԼԸԸ), լույսի աղբյուրից լույսի անկյունային բաշխվածությունը (ԼԱԲ/ԱԸԼ):

Next important characteristic of the street lighting that is regulated by norms and standards is the uniformity of the luminance distribution (Figure 6), that also very much depends on the LDC of luminaires, as well as the frequency of the light posts. Naturally, to increase the distance between the light poles as much as possible, special type of luminaires with wide LDC-s are used.

Փողոցային լուսավորության հաջորդ կարևոր հատկությունը, որը կարգավորվում է նորմերով ու ստանդարտներով, լուսավորության բաշխվածության համաչափությունն է (Նկար 6), որը նույնպես մեծապես պայմանավորված է լուսատուների ԼԲԿ-ով, ինչպես նաև լուսասյուների միջև եղած հեռավորությունով: Բնականաբար, լուսասյուների միջև հեռավորությունը հնարավորինս մեծացնելու համար օգտագործվում են բարձր լուսասյուներ և լայն ԼԲԿ ունեցող հզոր լուսատուներ:

Figure 6. Uniformity of the luminance.

Source/Աղբյուրը՝ [http://www.ecoworldusa.com/products\\_street.html](http://www.ecoworldusa.com/products_street.html), <https://www.pinterest.com/drewboyd/attribute-dependency-technique/>



Նկար 6. Լուսավորվածության համաչափությունը

There are several types of LDC-s of luminaires that indicate particular pattern of the directionality of the light spread to the pavements. Usually on the posts with an arm, luminaires have the following functions:

1. Provide lighting levels per norms and standards
2. Safeguard weather protection or encapsulation to provide stability of electric and physical parameters
3. Sustain mechanical influences – vibration, as well as resist vandalism, etc.
4. Be friendly in integration into electric, transport and other infrastructure
5. Provide aesthetics and integration to architectural environment
6. Provide cost efficiency of installation and operation

To provide energy efficiency, lighting levels and the uniformity of illumination, the luminaires have certain optical elements, such as reflectors, diffusers or their combination in one, that allow achieving certain LDC-s, i.e. help to direct the light in the needed directions for uniform illumination.

In fact, some modern light sources themselves, such as light emission diodes (LED), may already have the optical elements that provide the required LDC, or can easily fitted with such optical element. In this case, the luminaires have the function of weather protection and providing stability of electric and physical parameters of lighting devices.

LDC-s are categorized in several ways in several lighting systems of standards. E.g., the US system of standards defines the light distribution patterns (LDP), Type I to Type V as described in Figure 7, showing various needs on various types of the roads or crossroads.

Լուսատուների ԼԲԿ-երի մի քանի տեսակներ կան՝ համապատասխան լուսավորության ուղղորդվածության բաշխման տիպերին: Սովորաբար լուսասյուների վրա լուսատուներն ունեն հետևյալ ֆունկցիաները.

1. ապահովում են նորմերով սահմանված լուսավորվածության մակարդակը,
2. համապատասխանում են արտաքին լուսավորության համար նախատեսված ստանդարտներին, որոնք ապահովում են էլեկտրական ու ֆիզիկական հարաչափերի կայունությունն անկախ եղանակային պայմաններից (քամի, անձրև, ձյուն, սառույց և այլն)
3. դիմանում են մեխանիկական ազդեցություններին՝ տատանումներին (ցնցումներին), ինչպես նաև վանդալիզմի դրսևորումներին, և այլն,
4. հեշտությամբ ներառվում են էլեկտրական, տրանսպորտային և այլ ենթակառուցվածքներում,
5. ապահովում են գեղագիտական նկատառումները և ինտեգրվում են ճարտարապետական միջավայրում,
6. ապահովում են տեղադրման և շահագործման դյուրինությունը և ծախսարդյունավետությունը:

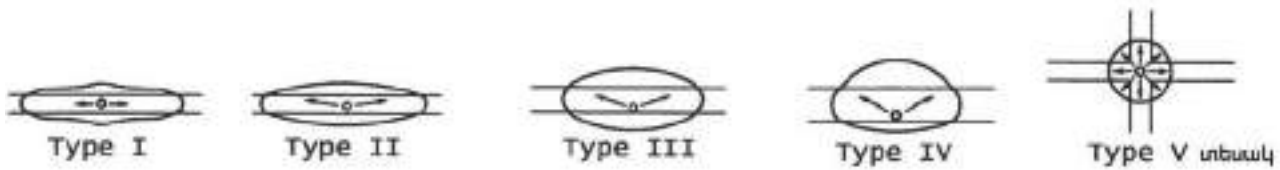
Էներգաարդյունավետություն, լուսավորվածության մակարդակ և համաչափություն ապահովելու նպատակով լուսատուներն ունեն հատուկ օպտիկական բաղադրիչներ, ինչպես օրինակ՝ անդրադարձիչներ, դիֆուզորներ կամ դրանց համադրությունը, ինչը թույլ է տալիս ապահովել որոշակի ԼԲԿ-եր, այսինքն, օգնում է համաչափ լուսավորվածության համար լույսն ուղղել անհրաժեշտ ուղղություններով:

Իրականում, լույսի որոշ ժամանակակից աղբյուրներ, օրինակ՝ լուսարձակող դիոդները (ԼԴ/LED), արդեն իսկ համալրված են անհրաժեշտ ԼԲԿ ապահովող օպտիկական տարրերով: Այս դեպքում լուսատուների հիմնական ֆունկցիան՝ եղանակային պայմաններից պաշտպանության և լուսավորության սարքերի էլեկտրական ու ֆիզիկական հարաչափերի կայունության ապահովումն է:

Տարբեր երկրների ստանդարտներում՝ լուսավորության համակարգերի ԼԲԿ-երի դասակարգումը տարբեր է: Օրինակ՝ ԱՄՆ ստանդարտների համակարգը լույսի բաշխվածության տեսակները (LPS/ light distribution patterns - LDP) սահմանում է Տեսակ I-ից մինչև Տեսակ V, ինչպես նկարագրված է Նկար 7-ում, ելնելով ճանապարհների կամ խաչմերուկների կիրառական կարիքներից:

**Figure 7.** Light distribution patterns' categorization (USA).

Source/Աղբյուր՝ <http://onlinemanuals.txdot.gov/txdotmanuals/hwi/luminaires.htm#i1002398>

**Նկար 7.** Լույսի բաշխվածության տեսակների դասակարգում (ԱՄՆ):

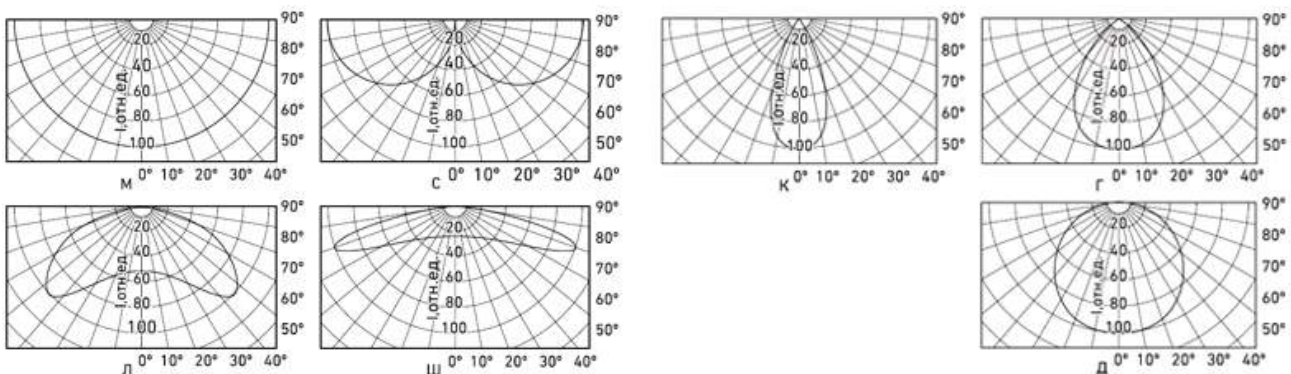
In the Russian standard the LDC-s are categorized as Concentrated (концентрированная - К), Deep (глубокая - Г), Cosine or Diffuse (косинусная или диффузная - Д), semi-wide (полуширокая - Л), wide (широкая - Ш), sine (синусная С) and uniform (равномерная - М), as shown in Figure 8.

Ստանդարտների ռուսական համակարգում ԼԲԿ-երը դասակարգվում են որպես՝ կոնցենտրացված (концентрированная - К), խոր (глубокая - Г), կոսինուսային կամ ցրված (косинусная или диффузная - Д), կիսալայն (полуширокая - Л), լայն (широкая - Ш), սինուսային (синусная С) և հավասարաչափ (равномерная - М), ինչպես պատկերված է Նկար 8-ում:

**Figure 8.** LDC categorization (Russia).

Note: American categorization is for roads and the Russian - for all cases of LDC-s. Categorized as Concentrated (концентрированная - К), Deep (глубокая - Г), Cosine or Diffuse (косинусная или диффузная - Д), semi-wide (полуширокая - Л), wide (широкая - Ш), sine (синусная С) and uniform (равномерная - М).

Source/Աղբյուր՝ Л. П. Варфоломеев, 2013г. “Элементарная Светотехника”.



Նշում՝ ամերիկյան դասակարգումը վերաբերում է ճանապարհներին, իսկ ռուսականը ներառում է բոլոր տիպի ԼԲԿ-ները: Դասակարգումը որպես՝ կոնցենտրացված (концентрированная - К), խոր (глубокая - Г), կոսինուսային կամ ցրված (косинусная или диффузная - Д), կիսալայն (полуширокая - Л), լայն (широкая - Ш), սինուսային (синусная С) և հավասարաչափ (равномерная - М):

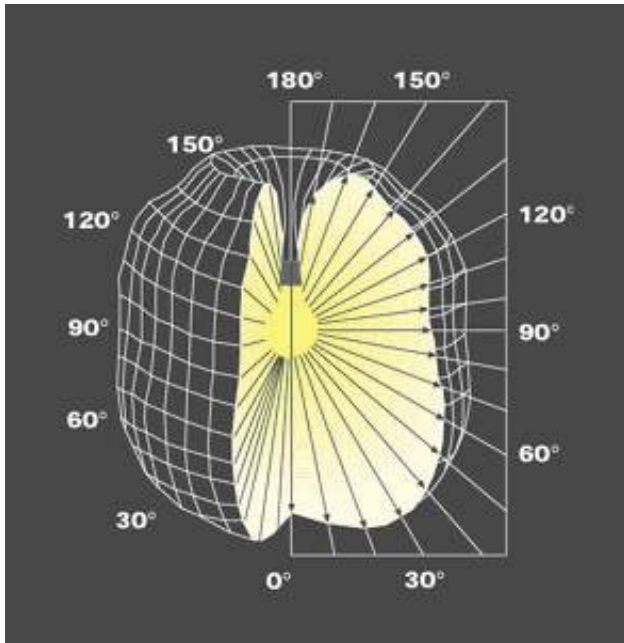
**Նկար 8.** ԼԲԿ դասակարգում (Ռուսաստան):

Often, instead of LDC-s the luminaires are characterised via so-called 3d LDC, however, in many cases, due to symmetry two orthogonal planes are enough to describe a luminaire (Figure 9).

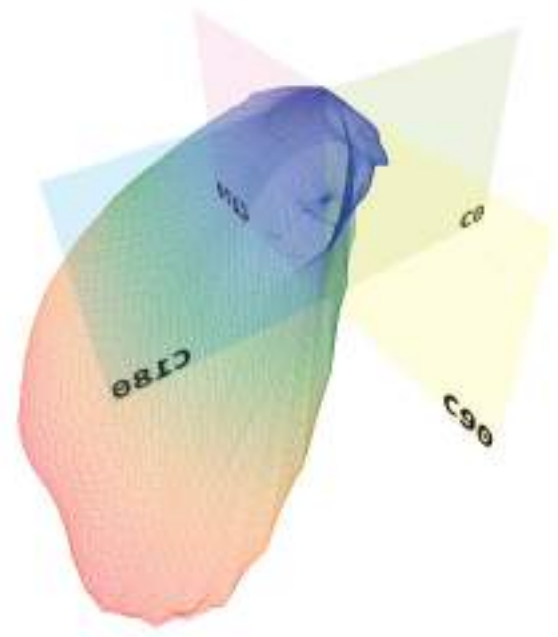
Լուսատուները կարող են բնութագրվել նաև «եռաչափ» ԼԲԿ-ի միջոցով, այնուամենայնիվ, շատ դեպքերում սիմետրիայի շնորհիվ երկու ուղղահայաց հարթությունները բավական են լուսատուն բնութագրելու համար (Նկար 9):

Figure 9. 3d LDC.

Source/Աղբյուրը՝ [www.artemide.com](http://www.artemide.com), <https://sourceforge.net/projects/qlumedit2/>



Նկար 9. Եռաչափ ԼԲԿ



## Luminaire efficiency

One needs to take into consideration that any luminaire, as an optical device, has its efficiency, as defined in Equation 1-1.

Equation 1-1

$$K = F_{\text{luminaire}} / F_{\text{source}}$$

In other words, the luminaire efficiency is the percentage of luminous flow produced by the lamps that is emitted by the luminaire.

This efficiency may vary depending on a number of characteristics of the luminaire, in the range of 50% - 93%, or even up to 100% - for the aforementioned LED luminaire – since it does not need any additional optical element to form the required LDC, Figure 10. Naturally, the luminous efficacy in this case need to multiply by the luminaire efficiency K to obtain the final output luminous efficacy of the source/luminaire combination.

## Լուսատուի արդյունավետություն

Անհրաժեշտ է նկատի ունենալ, որ ցանկացած լուսատու, որպես օպտիկական սարք, ունի իր արդյունավետությունը, ինչպես սահմանված է Հավասարում 1-1-ում:

Հավասարում 1-1

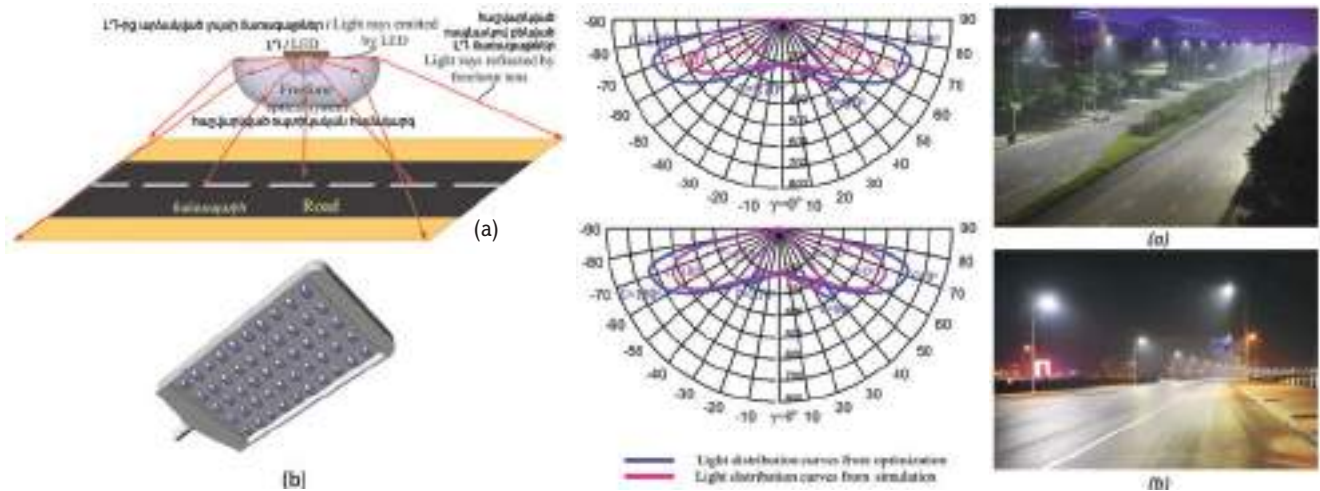
$$K = F_{\text{լուսատու}} / F_{\text{աղբյուր}}$$

Այլ կերպ ասած, լուսատուի արդյունավետությունը, դա լամպերի (աղբյուրի) արտադրած ընդհանուր լուսային հոսքի այն տոկոսն է, որը արձակվում է լուսատուի կողմից:

Այս արդյունավետությունը կարող է տատանվել 50% - 93%-ի միջակայքում, կախված լուսատուի միջառնակայքից, կամ նույնիսկ կարող է հասնել մինչև 100% վերոհիշյալ ԼԲԿ լուսատուի պարագայում, քանի որ անհրաժեշտ ԼԲԿ ստանալու համար լուսատուն հավելյալ օպտիկական տարրերով համալրելու անհրաժեշտությունը չկա (Նկար 10): Բնականաբար, այս դեպքում լուսատուի արդյունարար լուսարգասիքը ստանալու համար աղբյուրի լուսարգասիքը անհրաժեշտ է բազմապատկել լուսային արդյունավետությամբ (K):

**Figure 10.** For each street use LED a complex freeform surface curvature lens is being designed and manufactured, as a result the LED emission obtains necessary LDC. (a) Combination of a LED and a freeform optical lens. (b) A street light employing multiple LEDs and freeform lenses. Also shown is the resulting LDC and final street lighting in (a) Guangzhou and (b) Dalian, China.

Source/Աղբյուրը՝ <http://spie.org/newsroom/3490-energy-saving-led-light-sources>



**Նկար 10.** Աղբյուրի մակարդակում՝ յուրաքանչյուր ԼԴ-ի համար հաշվարկվում, նախագծվում և պատրաստվում է բարդ մակերևույթ ունեցող համապատասխան օպտիկական ոսպնյակ, որի արդյունքում ԼԴ-ից դուրս եկած ճառագայթը ստանում է անհրաժեշտ ուղղություն: Լուսավորի բոլոր ԼԴ-ներից դուրս եկած ճառագայթների համադրության արդյունքում ստացվում է նպատակային ԼԲԿ ունեցող լուսավոր: (ա) ԼԴ-ի և նրա համար նախագծված օպտիկական ոսպնյակի համադրություն, (բ) բազմաթիվ ԼԴ-ների և համապատասխան օպտիկական ոսպնյակների համադրության կիրառմամբ փողոցային լուսավորություն: Նաև պատկերված են արդյունքում ստացված ԼԲԿ-ը և փողոցային լուսավորության ավարտուն տեսքը Չինաստանի (ա) Գուանչժու և (բ) Դալիան քաղաքներում:

The current trend in the world is to install luminaires with LED-s. In addition to the higher efficacy, LEDs also provide much better color rendering index (CRI) and give flexibility to decide on correlated color temperature (CCT). In fact, while lot of research show that the visibility and related safety on the roads increase with LEDs providing higher CRI and CCT, one needs to remember the circadian rhythm driven requirements to the color temperature – at evening and night the CCT should be lower, and should not completely represent daylight. But during driving at evening or nighttime, the driver must be in wakeful state, thus, exactly following the circadian rhythm will make driver sleepy, increasing the probability of accident. Moreover, even using luminaires with higher color temperatures will be more effective, as the peak of human eye perception of light intensity at nighttime shifts towards blue side of spectrum (with maximum sensitivity of 1700 lm/W for scotopic vision, which occurs at 510nm).

Ներկայումս աշխարհում դիտվում է ԼԴ-ներով լուսատուների կիրառության միտում: Բարձր լուսարգասիքից բացի ԼԴ-ներն ապահովում են նաև շատ ավելի լավ գունային վերարտադրման ցուցիչ (ԳՎՑ) և ճկուն են կորեկացված գունային ջերմաստիճանի (ԿԳՋ) ընտրության առումով: Իրականում, թեև բազմաթիվ հետազոտություններ ցույց են տալիս, որ բարձր ԳՎՑ և ԿԳՋ ապահովող ԼԴ-ների շնորհիվ տեսանելիությունը և դրա հետ կապված անվտանգությունը աճում է, անհրաժեշտ է հաշվի առնել նաև գունային ջերմաստիճանի առումով ցիրկայան ռիթմով պայմանավորված պահանջները. երեկոյան և գիշերային ժամերին ԿԳՋ-ն պետք է լինի ցածր, սակայն այն չպետք է վերաբերի ճանապարհային լուսավորությանը, քանի որ, ցիրկայան ռիթմով առաջնորդվելու դեպքում վարորդի մոտ կառաջանա քնկոտություն և կմեծանա վթարի հավանականությունը: Ավելին, առավել արդյունավետ կլինի նույնիսկ ավելի բարձր գունային ջերմաստիճանով լուսատուների կիրառումը, քանի որ գիշերային ժամերին մարդու աչքի լույսազգայնության կորի գագաթը շեղվում է դեպի սպեկտրի կապույտ կողմը (գիշերային, սկոտոպիկ տեսողության 1700 լմ/Վտ առավելագույն զգայունությամբ, որը համապատասխանում է 510 նանոմետր ալիքի երկարությանը):

## Control, Monitoring and Automation

Control and automation plays an important role to provide energy efficient, comfortable and reliable lighting. It actually can perform a number of functions, such as:

1. Perform switching lighting on and off to follow diurnal lighting patterns
2. Switch off or substantially dim lighting when no need – this is more essential for roads in rural areas, that do not have very high traffic
3. Perform monitoring of all electrical and physical operational data and environment
4. Perform monitoring communication with the lighting authority or business, to indicate and report e.g. light source end of lifetime failure, or vandalism, as well as damage due to force majeure elements or weather conditions.
5. Such monitoring communication may provide invaluable statistics on
  - light source longevity;
  - reasons of failure;
  - time to repair;
  - road conditions that effect resulting pavement reflectance (luminance);
  - statistics correlating e.g. light source failure with traffic accidents;
  - other data correlated to power supply... etc.

Communication is usually performed via wireless data networks, GPRS, 3G, with Internet connection (Figure 11).

## Կառավարում, մոնիթորինգ (մշտադիտարկում) և ավտոմատացում

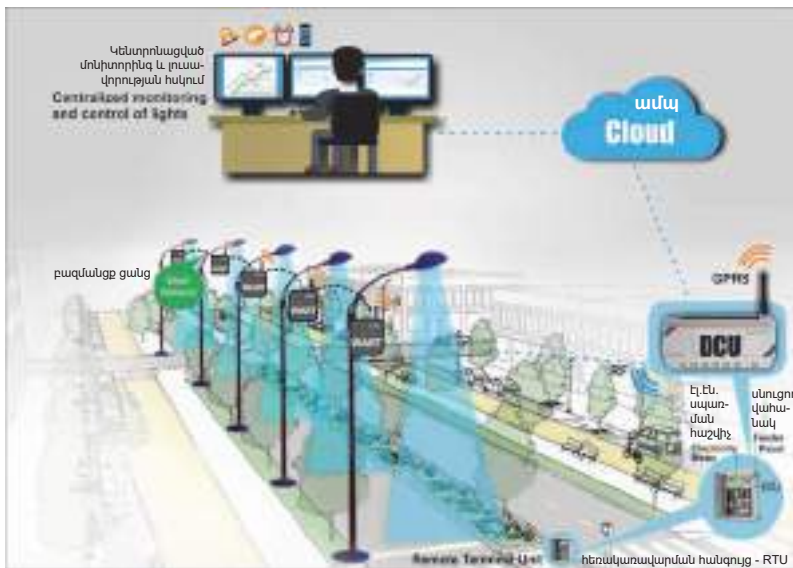
Կառավարումը և ավտոմատացումը կարևոր դեր ունեն էներգաարդյունավետ, հարմարավետ և հուսալի լուսավորություն ապահովելու գործում: Ըստ էության, այն կարող է կատարել մի քանի գործառույթ.

1. Կատարել լուսավորության միացում և անջատում՝ հետևելով օրվա ընթացքում լուսավորվածության փոփոխությանը,
2. Անջատել կամ զգալիորեն թուլացնել լույսերը, երբ դրանց անհրաժեշտությունը չկա. սա առավել կարևոր է գյուղական բնակավայրերի ճանապարհների համար, որտեղ երթևեկությունը ակտիվ չէ,
3. Կատարել շահագործման էլեկտրական և ֆիզիկական բոլոր հարաչափերի, ինչպես նաև շրջակա միջավայրի մոնիթորինգ,
4. Ապահովել մոնիթորինգի տվյալների փոխանցում լուսավորության համար պատասխանատու մարմնին կամ ընկերությանը, որի նպատակն է բացահայտել և իրազեկել լույսի աղբյուրի խափանման և դրա պատճառների վերաբերյալ՝ մասնավորապես. շահագործման ժամկետի ավարտ, վանդալիզմի հետևանքներ, ինչպես նաև ֆորս-մաժորային դեպքերի կամ եղանակային պայմանների հետևանքով առաջացած վնասվածքներ,
5. Մոնիթորինգի տվյալների նման փոխանակումը կարող է արժեքավոր վիճակագրական տվյալներ տրամադրել հետևյալի մասին՝
  - լույսի աղբյուրի երկարակեցությունը,
  - անսարքության պատճառները,
  - վերանորոգման ժամանակը,
  - ճանապարհների վիճակը, որն ազդում է ճանապարհածածկի անդրադարձնող հատկության (պայծառության) վրա,
  - լույսի աղբյուրի խափանման և ճանապարհային պատահարների պատճառահետևանքային կապի վիճակագրությունը,
  - էներգամատակարարման հետ կապված այլ տվյալներ:

Հաղորդակցությունը սովորաբար իրականացվում է տվյալների փոխանցման անլար ցանցերի, GPRS-ի, համացանցային կապի միջոցով (Նկար 11):

Figure 11. Maven's street lighting solution

Source/Աղբյուրը՝ <http://www.monitormymeter.com/lighting-automation.html>:



#### Application areas

- Street lighting
- Periphery / campus lighting
- Parks
- Townships / gated communities
- Bridges and tunnels
- Hazardous locations
- Industrial lighting
- Mines
- Pathway / Roadway
- Warehouse / Parking Lot

#### Կիրառման ոլորտները

- Փողոցային լուսավորություն
- Արվարձանների / համալսարանային տարածքների լուսավորություն
- Զբոսայգիներ
- Ավաններ / ցանկապատված բնակելի համայնքներ
- Կամուրջներ ու թունելներ
- Վտանգավոր տեղանքներ
- Արդյունաբերական տարածքների լուսավորություն
- Հանքավայրեր
- Արահետներ / խճուղիներ
- Պահեստ / Ավտոկայատեղի



Նկար 11. «Մավեն» ընկերության փողոցային լուսավորության լուծումներից մեկը:

Here is a citation from Maven Systems web site (<http://www.monitormymeter.com/lighting-automation.html>):

Maven's street lighting solution gives you the capability to remote monitor, and control street lights, in a fail-proof way. The solution has Internet connectivity in order to upload data to cloud application, to enable remote monitoring. The data can be accessed from smart phones as well. The solution allows you to schedule the different operations of light, according to time of day. This helps in minimizing human interference with daily operations. The solution maintains historical data in order to help you make informed business decisions based on consumption patterns.

Մեջբերում «Մավեն սիսթեմզ» ընկերության կայքից (<http://www.monitormymeter.com/lighting-automation.html>).

«Մավեն»-ի փողոցային լուսավորության լուծումը ընձեռում է փողոցային լույսերի անխափան հեռահար մոնիթորինգի և կառավարման հնարավորություն: Մեր լուծումը ինտերնետային կապի միջոցով թույլ է տալիս տվյալները վերբեռնել ամպային հավելված (միջանկյալ սերվեր)՝ ապահովելով հեռահար մոնիթորինգի հնարավորություն: Տվյալները կարող են հասանելի լինել նաև սմարթֆոնների համար: Այս լուծումը թույլ է տալիս կարգավորել լույսերի շահագործումը օրվա ժամանակահատվածին համապատասխան: Սա օգնում է նվազեցնել մարդու միջամտությունը առօրյա աշխատանքին: Այս լուծումը պահպանում է տվյալների ժամանակագրությունը, ինչը հնարավորություն է տալիս կայացնել իրազեկված գործնական որոշումներ՝ հիմնվելով սպառման կորերի վրա:

## Key benefits

- Control street lights at feeder level or individual level.
- Reduce your electricity bill by up to 30%.
- No additional cost of wiring.
- Find faulty lights.
- Schedule feature for ON / OFF / DIM.
- Measure the electricity consumption and associated theft / faults.
- ON / OFF control for
  - Single lighting panels
  - Multiple fixture panels
- Centralized monitoring and control of lights.
- Integration with existing SAP / ERP<sup>1</sup> system.
- Customized solutions are available as per requirement from design to delivery for OEMs.

## Features

- Automated ON / OFF control of individual lights.
- Single data concentrator shall support up to 300 lighting poles.
- Supports mesh network and hopping of data for large coverage of 100s of KMs.
- Electricity saving modes.
  - Time based scheduling and ON / OFF control with day light harvesting,
  - Pre-defined templates for one in two, one in three or customized ON / OFF,
  - Override support to ON / OFF individual lights as required,
  - Light sensors input based control (optional).
- Easy to install, plug-n-play retrofit solution.
- Secure cloud based graphical user interface for collecting real time data with an ability to export data in CSV format for further analysis.
- Support for smart phone for monitor and control and alerts.
- Fault detection alarms and events using email / SMS.
- Daily / monthly / weekly reports:
  - Electricity consumption.

## Հիմնական առավելությունները

- Կառավարում է փողոցի լույսերը սնուցման կամ անհատական մակարդակում,
- Կրճատում է էլեկտրաէներգիայի ծախսը մինչև 30%,
- Չի պահանջում լարանցման լրացուցիչ ծախսեր,
- Գտնում է անսարք լույսերը,
- Թույլ է տալիս կազմել «միացնել/անջատել/թուլացնել» (ON/OFF/DIM) ռեժիմների ժամանակացույց,
- Չափում է էլեկտրաէներգիայի սպառումը, բացահայտում ապօրինի սպառման դեպքերը/սխալանքները,
- ՄԻԱՑՈՒՄ/ԱՆՋԱՏՈՒՄ ռեժիմների կառավարում՝
  - Լուսավորության մեկ վահանակի համար,
  - Մեկից ավելի ներկառուցված վահանակների համար,
- Լույսերի կենտրոնացված մոնիթորինգ և կառավարում,
- Ինտեգրում առկա SAP/ERP<sup>1</sup> համակարգի հետ,
- Հնարավոր են անհատական լուծումներ ըստ պահանջի՝ նախագծումից մինչև առաքում՝ բնօրինակ սարքավորում արտադրողների (OEM) համար:

## Հատկություններ

- Առանձին լույսերի ՄԻԱՑՈՒՄ/ԱՆՋԱՏՈՒՄ ռեժիմների ավտոմատացված կառավարում,
- Տվյալները կենտրոնացնող մեկ սարքը կարող է սպասարկել մինչև 300 լուսասյուն,
- Սպասարկում է հանգուցային ցանցերը և ապահովում տվյալների փոխանցումը 100-ավոր կմ,
- Էլեկտրաէներգիայի խնայողության ռեժիմներ՝
  - Ժամանակով պայմանավորված ծրագրավորում և ՄԻԱՑՈՒՄ/ԱՆՋԱՏՈՒՄ ռեժիմների կառավարում՝ ցերեկային լուսավորությունը օպտիմալ օգտագործելու հնարավորությամբ,
  - Նախապես սահմանված մոդելներ՝ մեկը երկուսում, մեկը երեքում կամ ըստ պահանջի, ՄԻԱՑՈՒՄ/ԱՆՋԱՏՈՒՄ ռեժիմների կառավարման համար,
  - ըստ անհրաժեշտության, առանձին լույսերի ՄԻԱՑՈՒՄ/ԱՆՋԱՏՈՒՄ ռեժիմների արտաճրագրային կառավարում,
  - լույսի տվիչների մուտքային ազդանշանների վրա հիմնված կառավարում (լրացուցիչ, ըստ ցանկության),
- Հեշտությամբ տեղակայվող, օգտագործման պատրաստ, առկա համակարգը արդիականացնող լուծում,
- Միջանկյալ ամպ-սերվերում (cloud) ապահով գործող գրաֆիկական ինտերֆեյս՝ ընթացիկ տվյալները հավաքագրելու և CSV ձևաչափով արտահանելու հնարավորությամբ՝ հետագա վերլուծության համար,
- Սմարթֆոնների աջակցություն՝ մոնիթորինգի, կառավարման և ծանուցումների ստացման համար,
- Անսարքությունների հայտնաբերման ազդանշաններ և միջոցառումներ՝ էլ. փոստի կամ SMS հաղորդագրությունների միջոցով,

<sup>1</sup> Enterprise resource planning software developed by the German company SAP.  
Գերմանական SAP ընկերության կողմից մշակված ձեռնարկության ռեսուրսների պլանավորման ծրագիր:

- o ON / OFF audit reports.
- o Fault and error notification.
- o User activity report.

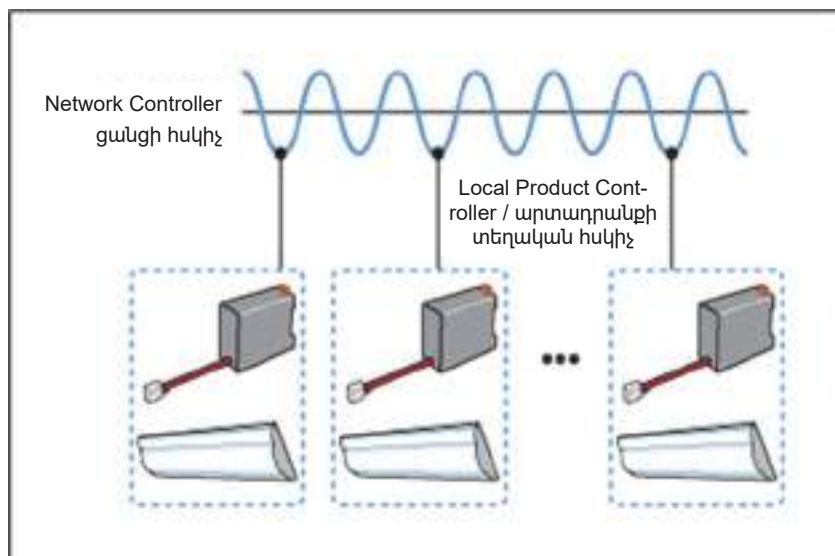
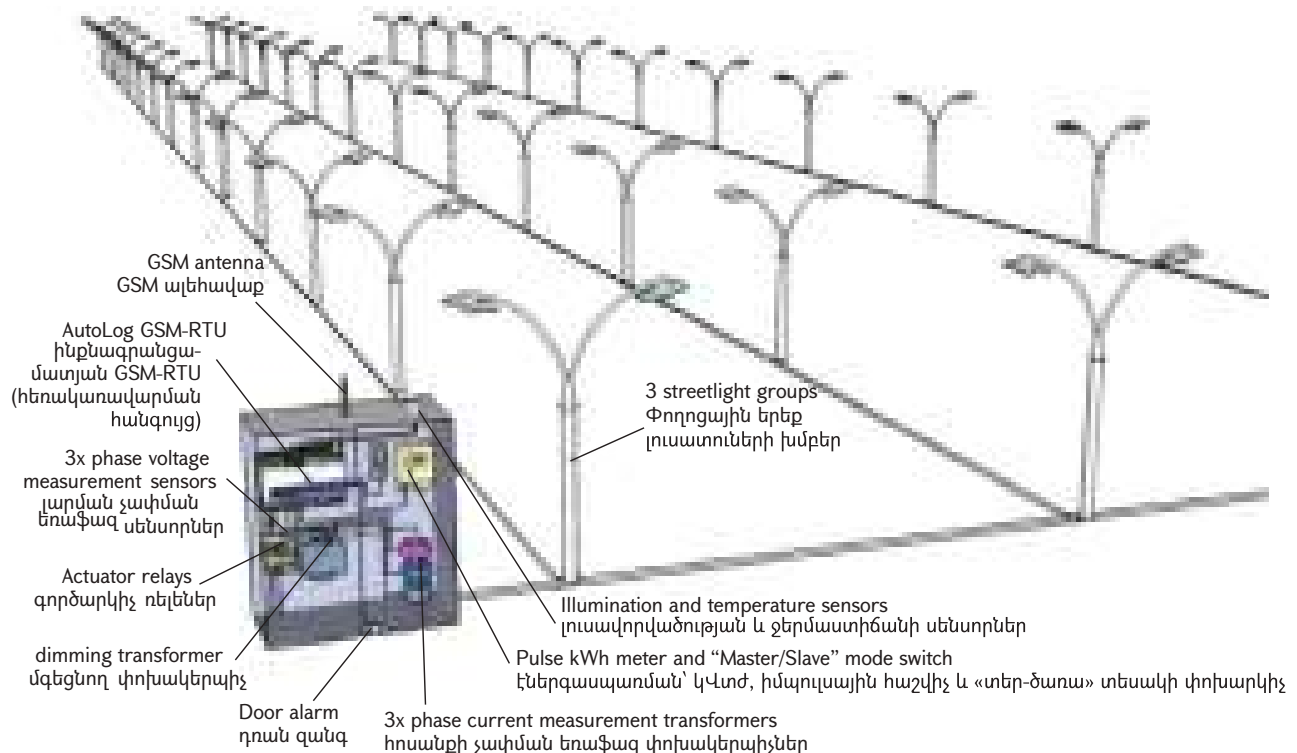
Also look at Figure 12 and Figure 13.

- Օրական, ամսական կամ շաբաթական հաշվետվություններ.
- o Էլեկտրաէներգիայի սպառում,
- o ՄԻԱՑՈՒՄ/ԱՆՋԱՏՈՒՄ ռեժիմների ստուգաքննության (աուդիտ) հաշվետվություններ,
- o Անսարքությունների և սխալների մասին ծանուցումներ,
- o Օգտագործողի գործունեության ակտիվության հաշվետվություն:

Տես նաև Նկար 12 և Նկար 13:

Figure 12. Street lighting automation.

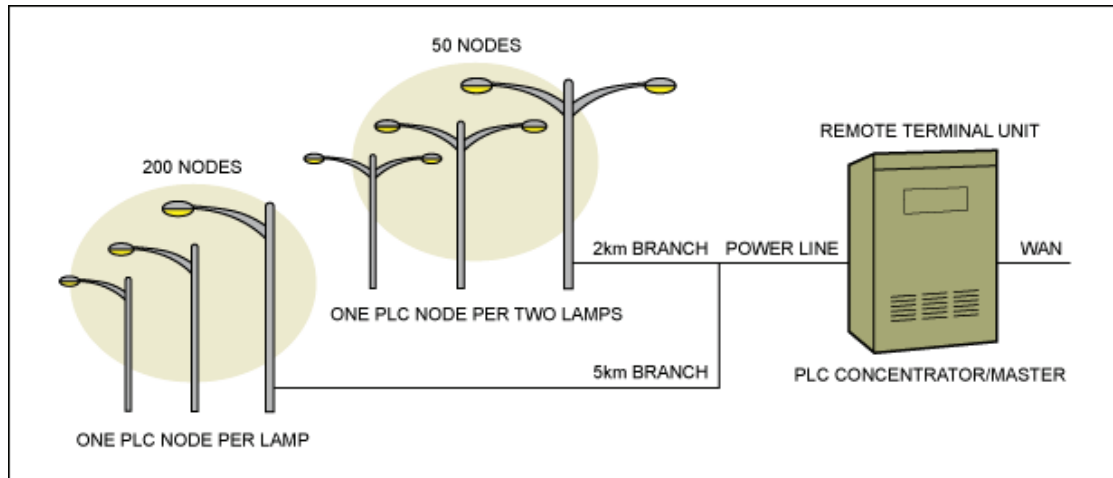
Source/Աղբյուր՝ <https://www.maximintegrated.com/en/app-notes/index.mvp/id/5347> <http://www.ff-automation.com/solutions/streetlights.shtml>



Նկար 12. Փողոցային լուսավորության ավտոմատացում:

**Figure 13.** Street Light Automation means Remotely Monitor and Control Street Lights. Reduce power consumption, maintenance costs and environmental impact.

Source/Աղբյուր՝ <http://www.traxoid.com/Solutions/StreetLightAutomation.aspx>



**Նկար 13.** Փողոցային լուսավորության ավտոմատացումը նշանակում է փողոցային լույսերի հեռակա մոնիթորինգ և կառավարում: Նվազեցնում է էլեկտրաէներգիայի սպառումը, պահպանության ծախսերը և շրջակա միջավայրի վրա ազդեցությունը:

## Infrastructure

Naturally, the functional, street lighting infrastructure tightly relate with the road and traffic infrastructure. Thus it is everywhere where there are streets and various constructions. It requires connection to electric grid, with related set of distribution and voltage transformer requirements.

A citation from the EU STEER project for street lighting optimization:

*Street lighting costs, i.e. electricity and maintenance, can be a significant expense for municipalities, so it is important to take advantage of opportunities for efficiency improvements. Manufacturers are continually developing products that are more energy efficient and cost-effective. New options are being developed for all applications, but matters are complex. Moreover, increasing traffic, demand of*

## Ենթակառուցվածքը

Բնականաբար, ֆունկցիոնալ, փողոցային լուսավորության ենթակառուցվածքը սերտորեն կապված է ճանապարհային և փողոցային ենթակառուցվածքի հետ: Ամենուրեք, որտեղ կան փողոցներ և տարբեր շինություններ, պահանջվում է միացում էլեկտրական բաշխիչ ցանցին՝ բավարարելով բաժանման տուփերի և լարման տրանսֆորմատորների աշխատանքի համար անհրաժեշտ պայմանները:

Մեջբերում ԵՄ-ի՝ փողոցային լուսավորության օպտիմալացմանն ուղղված STEER ծրագրից

*Փողոցային լուսավորության հետ կապված ծախսերը, այսինքն, էլեկտրաէներգիան և սպասարկումը, կարող են բավականին ծախսատար լինել քաղաքապետարանների համար, ուստի, կարևոր է օգտվել արդյունավետության բարձրացման ընձեռած հնարավորություններից: Արդյադրողները շարունակ մշակում են ավելի էներգաարդյունավետ ու ծախսարդյունավետ տեսականի: Բոլոր կիրառությունների համար մշակվում են նոր տարբերակներ, սակայն իրականում խնդիրները բարդ են: Ավելին, երթևեկության աճը, անվտանգության նկատմամբ բնակիչներ*

*residents for safety, many regulations and an ever tightening budget make the decision of how to improve on energy and cost efficiency even more complicated.*

## Measures

There is a vast array of measures. The reality will be a mixture of these measures, these include:

- Reducing operating hours
- Reducing power and/or number of lamps operating
- Replacing inefficient light sources by efficient ones
- Replacing lighting fixture/luminaire
- Improving control system
- Improving maintenance practices”

An interesting trend that is developing worldwide is not only related to the replacement by the LEDs, but also using solar and wind energy to power the street lighting. This is especially important for remote site cases, and depending on the remoteness can be economically more effective. Possibly in future most of the lighting may be independent from the electrical grid.

This is a winning combination, also because the LEDs consume little, but solar power has intermittence and smaller is the storage battery, less is the cost. Naturally the storage battery's size will depend on the light source power consumption.

The solar power use only is illustrated in Figure 14, wind power use only – in Figure 15, and the combined solar and wind – in Figure 16. Note that combined solar and wind power has an advantage compared to only solar or only wind. The advantage is related to the fact that combined solar+wind is lesser intermittent than only solar or only wind. However installing two technologies at the same pole is more expensive, but somewhat compensated with smaller size of the battery.

Anyway, decision to install either technology or their combination should be made based on the local wind and solar monitoring data. E.g. if at a geographic location site sun prevails – then no need in wind turbine, and vice versa. The combination may work well with about equal availability of the sun and wind.

*որի պահանջների խստացումը, բազմաթիվ կանոնակարգերը և շարունակաբար նվազող բյուջեն, ավելի են բարդացնում էներգաարդյունավետության ու ծախսարդյունավետության բարելավման ուղիների որոշման գործընթացը:*

## Միջոցներ

Միջոցների ընտրանին լայն է և բազմազան: Առավել արդյունավետ է հետևյալ միջոցների համադրությունը .

- Անարդյունավետ լուսավորության ժամերի կրճատում,
- Լույսի անարդյունավետ աղբյուրների փոխարինում արդյունավետներով, ինչը նպաստում է թե սպառված էլեկտրաէներգիայի, թե շահագործվող լամպերի քանակի կրճատման,
- Կառավարման համակարգի բարելավում,
- Տեխնիկական սպասարկման գործելակերպերի բարելավում»:

Աշխարհում ծավալվում է ուշագրավ միտում, որը կապված է ոչ միայն լույսի աղբյուրները ԼԴ-ներով փոխարինելու, այլև փողոցային լուսավորության նպատակով արևի և քամու էներգիայի օգտագործման հետ: Սա հատկապես կարևոր է հեռադիր վայրերի համար և, կախված հեռավորությունից, կարող է տնտեսապես ավելի արդյունավետ լինել: Հնարավոր է, որ ապագայում լուսավորությունը մեծ մասամբ լինի էլեկտրական ցանցից անկախ:

Տերեկվա ժամերին արևային էներգիան փոխակերպվում է էլեկտրականի և լիցքավորում կուտակիչ մարտկոցը, որը սնում է լուսատու մութ ժամերին: Բնականաբար, մարտկոցի չափը (հետևաբար և արժեքը) կախված կլինի լույսի աղբյուրի էներգիայի սպառումից: ԼԴ-ների պարագայում այս համադրությունը շահեկան է, քանի որ դրանք համեմատաբար քիչ էներգիա են սպառում:

Միայն արևային էներգիայի օգտագործման տարբերակը պատկերված է Նկար 14-ում, քամու էներգիայի օգտագործման տարբերակը՝ Նկար 15-ում, իսկ արևի և քամու էներգիաների օգտագործման համադրությունը՝ Նկար 16-ում: Ուշադրություն դարձրեք, որ արևի և քամու էներգիաների համադրությունն առավելություն ունի միայն մեկ տիպի էներգիայի կիրառման տարբերակների նկատմամբ: Առավելությունը կապված է այն փաստի հետ, որ արևային+քամու էներգիաների համադրության դեպքում համակարգն աշխատունակ կլինի նաև դրանցից որևէ մեկի առկայության դեպքում: Այնուամենայնիվ, մեկ սյան վրա երկու տեխնոլոգիաների տեղադրումն ավելի թանկ արժե, սակայն դա որոշ չափով փոխհատուցվում է մարտկոցի փոքր չափով:

Ինչևէ, տեխնոլոգիաներից որևէ մեկը կամ դրանց համադրությունը կիրառելու մասին որոշումը պետք է կայացնել՝ հիմնվելով տվյալ տեղանքում հողմային և արեգակնային ռեսուրսի մոնիթորինգի տվյալների վրա: Օրինակ՝ եթե տվյալ աշխարհագրական տեղանքում արևային օրերը և օրվա ընթացքում արևային ժամերը բավարար են, ապա հողմատուրբինի անհրաժեշտություն չկա, և ընդհակառակը: Սրանց համադրությունը կարող է լավ աշխատել արևի և քամու առկայության գրեթե հավասար պայմանների դեպքում:

Figure 14. Examples of solar only driven LED street lighting.



Նկար 14. Միայն արեգակնային էներգիայով ԼԴ փողոցային լուսավորության օրինակներ:

Figure 15. Examples of wind power only driven LED street lighting.



Նկար 15. Միայն հողմային էներգիայով ԼԴ փողոցային լուսավորության օրինակներ:

Figure 16. Examples of combined solar and wind driven LED street lighting.



Նկար 16. Արեգակնային և հողմային էներգիաների օգտագործման համադրությամբ ԼԴ փողոցային լուսավորության օրինակներ:

## 2. ARCHITECTURAL LIGHTING – AESTHETICS, LIGHT AND HEAVY COLORS, COMPOSITION, ETC

In modern life, architectural lighting design is rather visible, in the sense that the interesting solutions usually are being noted and appreciated. Since it relates to aesthetical perception of people, all the artistic rules work here.

One can divide the architectural lighting into two main directions:

- lighting of existing architectural construction, in many cases historic architectural monuments, sculptures and other artefacts;
- including the lighting as part of a new modern architectural design project.

Another important issue here is related to the fact that there are no strict rules, regulations, norms and standards for aesthetical lighting – the lighting design, just like the architecture, is obeying to the artistic expression, with only some, vital functional needs taken into consideration.

A few general rules here are:

- Darker colors seem heavier;
- Smoother transitions give the feeling of lightness and need to be at the upper part of the architectural expression, and vice versa – contrasty transitions prefer to be at the bottom;
- Pure strong colors seem heavier – good for the bottom, and colors that are diluted by white seem lighter and are good for the top.

## 2. ՃԱՐՏԱՐԱԴԵՏԱԿԱՆ ԼՈՒՍԱՎՈՐՈՒԹՅՈՒՆ. ԷՍԹԵՏԻԿԱ, ԹԵԹԱ և ԾԱՆՐ ԳՈՒՅՆԵՐ, ԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔ ԵՎ ԱՅԼՆ

Ժամանակակից կյանքում ճարտարապետական լուսավորության լուծումները բավականին տեսանելի են այն իմաստով, որ հետաքրքիր լուծումները սովորաբար ուշադրություն են գրավում և գնահատվում են: Քանի որ տվյալ դեպքում աշխատում է գեղագիտական ընկալումը, այստեղ գործում են գեղարվեստի բոլոր կանոնները:

Ճարտարապետական լուսավորությունը կարելի է բաժանել երկու հիմնական ուղղությունների.

- Առկա ճարտարապետական կառույցի, շատ դեպքերում՝ պատմաճարտարապետական հուշարձանների, քանդակների և արվեստի այլ գործերի լուսավորություն,
- Լուսավորությունը որպես նոր, ժամանակակից ճարտարապետական նախագծի մաս:

Այստեղ նաև կարևոր է նկատի ունենալ, որ գեղագիտական լուսավորության համար չկան խիստ կանոններ, կանոնակարգեր, նորմեր ու ստանդարտներ. լուսային դիզայնը, ճիշտ այնպես, ինչպես ճարտարապետությունը, ենթարկվում է գեղարվեստական արտահայտման կանոններին՝ հաշվի առնելով միայն որոշ կարևոր ֆունկցիոնալ կարիքներ:

Ընդհանուր կանոններից մի քանիսն են՝

- Մուգ գույներն ավելի ծանր են թվում,
- Մեղմ անցումները թեթևության զգացողություն են հաղորդում, և դրանք պետք է տեղակայված լինեն ճարտարապետական կառույցի վերնամասում, և ընդհակառակը, կոնտրաստային անցումները նախընտրելի են ստորին հատվածում,
- Ինտենսիվ մաքուր գույները ծանր են թվում, և տեղին են ներքևի հատվածի համար, իսկ այդ գույների սպիտակով տարրալուծված երանգները, ավելի թեթև են թվում և գերադասելի են վերին հատվածների համար:

A citation from the <http://www.colourlovers.com>:

*To paraphrase a classic riddle, which weighs more: a pound of yellow feathers or a pound of red lead? Color may be a weighty subject, but the spectrum can't be gaged in terms of tonnage. The Swiss painter Paul Klee observed that colour can be "neither weighed nor measured. Neither with scales nor with ruler can any difference be detected between two surfaces, one a pure yellow and the other a pure red, of similar area and similar brilliance. And yet, an essential difference remains, which we, in words, label yellow and red" (On Modern Art, 1948). Klee was right—even though colors don't technically have weight, they can appear quite heavy and substantial or extraordinarily light and vaporous.*

### Visibility and artistic expression

There are historical, architectural monuments, old and new buildings and sculptures that has become the symbol or the "visit card" of that particular dwelling. One of the important tasks of architectural lighting is putting stress on the building via lighting, to provide its higher visibility and completeness on the dark background of the night (Figure 17).

Մեջբերում <http://www.colourlovers.com> կայքից.

Այլ կերպ ձևակերպենք դասական հանելուկը՝ մեկ ֆունտ դեղին փետուրն է ավելի ծանր, թե մեկ ֆունտ կարմիր կապարը: Գույնը ծանրակշիռ թեմա կարող է լինել, սակայն սպեկտրը հնարավոր չէ կշռել: Ըստ շվեյցարացի նկարիչ Փոլ Բլիի դիտարկման, գույնը հնարավոր չէ «ոչ կշռել, ոչ չափել»: Ո՛չ կշռեքով, ոչ քանոնով հնարավոր չէ որևէ տարբերություն գտնել նույն մակերեսով և նույն պայծառության երկու մակերևույթների միջև, որոնցից մեկը՝ լրիվ դեղին է, մյուսը՝ լրիվ կարմիր: Այդուհանդերձ, կա մի էական տարբերություն, ինչը մենք բառերով սահմանում ենք որպես դեղին և կարմիր» (On Modern Art, 1948): Քլին ճիշտ էր. թեպետ գույները տեխնիկապես կշիռ չունեն, սակայն դրանք կարող են բավական ծանր և շոշափելի, կամ արտասովոր թեթև և անիրական թվալ:

### Տեսանելիություն և գեղարվեստական արտահայտչություն

Կան պատմաճարտարապետական շինություններ, կոթողներ, հին ու նոր հուշարձաններ և քանդակներ որոնք դարձել են տվյալ քաղաքի խորհրդանիշը և այցեքարտը: Ճարտարապետական լուսավորության շնորհիվ նմուշը ոչ միայն տեսանելի է դառնում օրվա մութ ժամերին, այլև, մթության ֆոնի վրա առանձնանալով, դարձնում ընկալումն ավելի ամբողջական (Նկար 17):

Figure 17. Increased visibility of architecture.



Նկար 17. Ճարտարապետական կառույցի տեսանելիության բարձրացում:

## Parks - No strict regulation

In the parks the norms do not strictly regulate the LDC for the luminaires, as illustrated in Figure 18.

Figure 18. No strict regulation for luminaria LDC.

Source/Աղբյուրը՝ <http://www.houzz.co.uk/photos/1007278/kanpazar-150cm-garden-light-contemporary-outdoor-floor-lamps>



Նկար 18. Լուսավորողների ԼԲԿ-ի խիստ կանոնակարգման պահանջներ չկան:

## Ground luminaria

Ground luminaria, Figure 19, should have extra protection corresponding to the international protection code of IP67 – level 6 for dust and dirt particles and level 7 for water ingress.

## Գետնի լապտերներ

Գետնի լապտերները (Նկար 19) պետք է ունենան հավելյալ պաշտպանություն, որը համապատասխանում է պաշտպանության IP67 միջազգային կոդին՝ 6-րդ մակարդակ՝ փոշու մասնիկների, և 7-րդ մակարդակ՝ ջրի ներթափանցման համար:

Figure 19. Ground luminaria



Նկար 19. Գետնի լապտերներ:

### Low poles, including solar powered

Low poles, Figure 20 are very common in the parks.

Figure 20. Low poles in a park.



Նկար 20. Ցածր լուսասյուներ զբոսայգում:

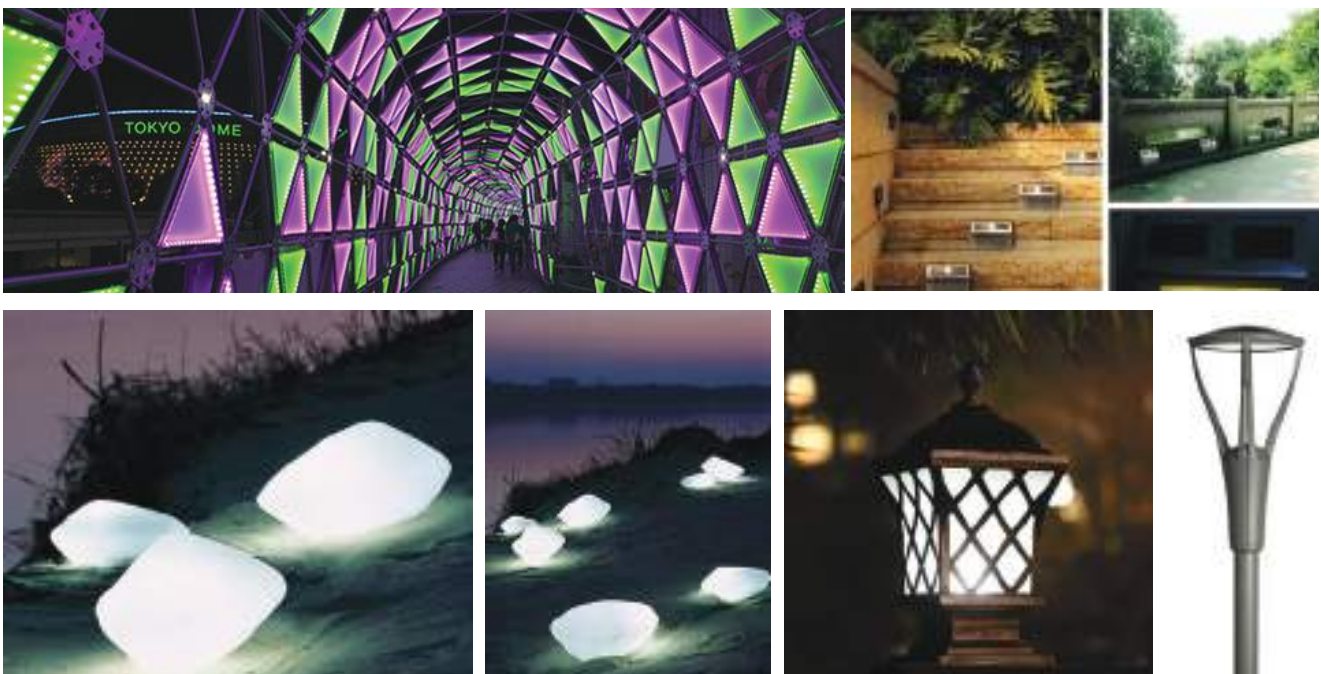
### Variety of luminaires, incl vintage or retro

For architectural expression unlimited variety of luminaria can be used – look at Figure 21.

### Լապտերների տարբեր տեսակներ, այդ թվում՝ հնաոճ կամ ուետրո

Ճարտարապետական արտահայտման համար կարելի է օգտագործել լապտերների անսահմանափակ տեսականի. տես Նկար 21:

Figure 21. Triangular color shapes for the passage, irregular, prolonged shapes...



Նկար 21. Եռանկյունաձև, անկանոն, երկայնակի գունային ձևեր անցուղիների համար...

Figure 22. While retro, a more functional light or luminaire can be added to the pole.



Նկար 22. Պահպանելով ռետրո ոճը՝ լուսասյուները կարելի է համալրել ավելի ֆունկցիոնալ լույսի աղբյուրով կամ լուսավորով:

If retro style is used, or 19<sup>th</sup> century lighting poles are operated, however, they possess modern lighting technology, in many cases sodium lamps or LEDs Figure 22.

Ռետրո ոճ կամ 19-րդ դարի լուսասյուներ օգտագործելու դեպքում, այդուհանդերձ, կիրառվում են լուսավորության ժամանակակից տեխնոլոգիաներ՝ նատրիումային լամպեր կամ LED-ներ (Նկար 22):

## Fountain illumination

This type of illumination is one of the most prominent examples of how appreciated could be an architectural lighting solution (Figure 23). Naturally a more enhanced, IP68 protection level is required here.

## Շատրվանների լուսավորություն

Այս տիպի լուսավորությունը առավել արտահայտիչ կերպով ապացուցում է ճարտարապետական լուսավորության լուծումների գնահատելիությունը (Նկար 23): Բնականաբար, այստեղ պահանջվում է պաշտպանության ավելի բարձր՝ IP68 մակարդակ:

Figure 23. Fountain illumination.



Նկար 23. Շատրվանների լուսավորություն:

## Building screens – Sidney opera

One of the most modern type of the illumination in the digital era is the use of powerful projection equipment for artistic expression. Figure 24 illustrates this.

## Պատկերների ստեղծում. Սիդնեյի օպերային թատրոնի շենք

Թվային տեխնոլոգիաների դարաշրջանում լուսավորության առավել ժամանակակից տեսակներից մեկը գեղարվեստական ձևավորման համար հզոր պրոյեկտորի օգտագործումն է: Այն պատկերված է Նկար 24-ում:

*Figure 24. Sidney opera house without (top) and with projection-illumination. Despite of its 3d shape engineers achieved uniquely interesting lighting effect in a form of moving color pictures and patterns.*



*Նկար 24. Սիդնեյի օպերային թատրոնի շենքը առանց արտապայարկերող լուսավորության (վերևում) և արտապայարկերող լուսավորությամբ: Չնայած իր եռաչափ ձևին՝ ճարտարագետները հասել են բացառիկ հեղափոխիչ լուսավորության էֆեկտի՝ շարժվող գունավոր նկարներով ու նախշերով:*

## Vandalism protection

In general, if vandalism is an issue, IK10<sup>2</sup> category of protection is needed in addition to nonflammable, enforced encasement of luminaria.

## 3. STANDARDS AND NORMS FOR OUTDOOR LIGHTING, MEASUREMENT METHODOLOGY

### Documents

In Armenia the norms of the outdoor lighting are defined by the – Republic of Armenia Construction norms: Artificial and Natural Lighting (RA CN II 8.03-2016). In Russia this is regulated by the “СНИП 23-05-95” and number of GOSTs such as СП 52.13330.2011 «ЕСТЕСТВЕННОЕ И ИСКУССТВЕННОЕ ОСВЕЩЕНИЕ», Актуализированная редакция СНиП 23-05-95\*, Издание официальное”, in the USA by the Roadway Lighting Standards, defined in a number of acts (e.g. Energy Policy Act 2005; Energy Independence and Security Act 2007; American Recovery and Reinvestment Act 2009, etc.). The Armenian code is developed based on the existing Russian norms, that, on its turn is based on EU norms, such as ISO standard ISO 93.080.

International Commission on Illumination (usually abbreviated CIE for its French name, Commission internationale de l'éclairage) is the most important world authority in lighting science and engineering (<http://cie.co.at/>).

### Norms

The most important quantity that is being standardised is the *brightness or the luminance* of the pavement, please see “Luminance” section of Chapter 1. As it has been mentioned there, the luminance depends not only on the illumination, but also on reflective characteristics of the pavement, the type of the pavement, its reflective properties, and the condition – e.g. being wet, covered by snow or ice, etc., angle of illumination incidence.

## Պաշտպանություն վանդալիզմից

Որպես կանոն, եթե առկա է վանդալիզմի դրսևորումների հավանականություն (գողություն, մեխանիկական ներգործություն, հրդեհում), անհրաժեշտ է ապահովել լուսատուի IK10<sup>2</sup> դասի պաշտպանություն, և չայրվող նյութից պատրաստված, ուժեղացված պատյան:

## 3. ԱՐՏԱՔԻՆ ԼՈՒՍԱՎՈՐՈՒԹՅԱՆ ՍՏԱՆԴԱՐՏՆԵՐՆ ՈՒ ՆՈՐՄԵՐԸ, ՉԱՓՄԱՆ ՄԵԹՈԴԱԲԱՆՈՒԹՅՈՒՆԸ

### Փաստաթղթեր

Հայաստանում արտաքին լուսավորության նորմերը սահմանվում են Հայաստանի Հանրապետության շինարարական նորմերով՝ «Արհեստական և բնական լուսավորում» (ՀՀ ՇՆ II 8.03-2016): Ռուսաստանում այն կարգավորվում է СП 52.13330.2011 «ЕСТЕСТВЕННОЕ И ИСКУССТВЕННОЕ ОСВЕЩЕНИЕ», Актуализированная редакция СНиП 23-05-95\*, Издание официальное, և մի շարք ԳՕՍՏ-երով, ինչպես օրինակ՝ «ГОСТ Р 55706-2013 Արտաքին ուտիլիտար լուսավորություն: Դասակարգումը և նորմերը» (ГОСТ Р 55706-2013 Освещение наружное утилитарное. Классификация и нормы), ԱՄՆ-ում կարգավորվում է «Ճանապարհների լուսավորման ստանդարտներ»-ով (Roadway Lighting Standards), որը սահմանվում է մի շարք օրենքներով (օր.՝ 2005 թ. «Էներգետիկ քաղաքականության մասին» օրենք, 2007 թ. «Էներգետիկ անկախության և անվտանգության մասին» օրենք, 2009 թ. «Ամերիկայի վերականգնման և վերաներդրումների մասին» օրենք (Energy Policy Act 2005; Energy Independence and Security Act 2007; American Recovery and Reinvestment Act 2009) և այլն: ՀՀ-ում լուսավորության ոլորտի կարգավորման գործիքակազմը մշակվել է ռուսականի հիման վրա, որն, իր հերթին մշակվել է ԵՄ-ի առկա նորմերի՝ Ստանդարտացման միջազգային կազմակերպության ISO 93.080 ստանդարտի հիման վրա:

Լուսավորության միջազգային հանձնաժողովը (CIE) ամենահեղինակավոր համաշխարհային կառույցն է լուսավորության ոլորտում (<http://cie.co.at/>):

### Նորմեր

Ճանապարհածածկի պայծառությունը՝ ճանապարհային լուսավորության, նորմավորման ենթարկվող, հիմնական հարաչափերից մեկն է (տես I գլխի Պայծառություն բաժինը): Ինչպես արդեն նշվել է, պայծառությունը կախված է ոչ միայն լուսավորությունից, այլև ճանապարհածածկի անդրադարձման գործակցից, որն, իր հերթին, կախված է ճանապարհածածկի տեսակից, վիճակից (օր.՝ թաց, ձնապատ կամ սառցապատ, և այլն) և լույսի անկման անկյունից:

<sup>2</sup> IK-is the european code for EN 62262 standard pointing to the rate of electric devices/appliances protection against mechanical influence, with IK00 as the lowest and IK10 highest protection level.

IK-ն՝ եվրոպական EN 62262 ստանդարտով սահմանվող թվային կոդ է, որը ցույց է տալիս էլեկտրասարքավորման պաշտպանվածության աստիճանը մեխանիկական ներգործության նկատմամբ, որտեղ IK00-ն ամենացածր պաշտպանվածությունն է իսկ IK10-ը առավելագույնը:

The total uniformity of the luminance is also standardised usually as  $> 0.4$ , i.e. the brightness of the darkest part of the pavement should not be less than 40% (0.4) of the brightness in the brightest area for the cases with average brightness of larger than  $0.6 \text{ cd/m}^2$ . However, for the cases with average brightness of lesser than  $0.6 \text{ cd/m}^2$  the non-uniformity should not be less than 35% (0.35) of the brightness in the brightest area. Table 1 shows the norms in Armenia for city roadways of various categories and Table 2 for rural lighting – which are much simpler compared with city norms.

Նաև ստանդարտացվում է լուսավորվածության ընդհանուր համաչափությունը՝  $> 0.4$  ցուցիչով, այսինքն, ճանապարհաձածկի ամենամութ հատվածը չպետք է լինի ամենապայծառ հատվածի պայծառության 40%-ից (0.4) պակաս՝ այն դեպքերում, երբ միջին պայծառությունը պետք է լինի ավելի քան  $0.6 \text{ կդ/մ}^2$ : Այն դեպքերում, երբ (ըստ ճանապարհի կարգի) միջին պայծառությունը  $0.6 \text{ կդ/մ}^2$ -ից փոքր է, անհամաչափությունը չպետք է լինի ամենապայծառ հատվածի պայծառության 35%-ից (0.35) պակաս: Աղյուսակ 1-ում ներկայացված են Հայաստանում տարբեր կարգերի քաղաքային ճանապարհների, իսկ Աղյուսակ 2-ում՝ գյուղական ճանապարհների լուսավորության նորմերը, որոնք շատ ավելի պարզ են, ի տարբերություն քաղաքային նորմերի:

Table 1. The Armenian norms for the city roadway lighting.

| The road category <sup>3</sup><br>Ճանապարհի կարգը <sup>3</sup> | Average brightness of the road, $\text{cd/m}^2$<br>Ճանապարհի միջին պայծառությունը, $\text{կդ/մ}^2$ | Total uniformity of the pavement brightness, at least<br>Ճանապարհաձածկի պայծառության ընդհանուր համաչափությունը, առնվազն | Lane uniformity of the pavement brightness, at least<br>Ճանապարհաձածկի պայծառության գոտիական համաչափությունը, առնվազն | Average illumination of the road, at least, lx<br>Ճանապարհի միջին լուսավորվածությունը, առնվազն, լյուքս | Total uniformity of the drive illumination, at least<br>Նրբանցքի լուսավորվածության ընդհանուր համաչափությունը, առնվազն | Maximum relative density of power consumption $\text{W}/(\text{m}^2 \times 100)$ , not more than<br>Էլ. էներգիայի սպառման առավելագույն հարաբերական խտությունը $\text{Վտ}/(\text{մ}^2 \times 100 \text{ լյուքս})$ , ոչ ավելի, քան |
|----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A1<br>A2<br>A3<br>A4                                           | 2,0<br>1,6<br>1,4<br>1,2                                                                           | 0,4                                                                                                                     | 0,7                                                                                                                   | 30<br>20<br>20<br>20                                                                                   | 0,35                                                                                                                  | 6,0<br>5,0<br>4,8<br>4,5                                                                                                                                                                                                         |
| B1<br>B2                                                       | 1,2<br>1,0                                                                                         | 0,4                                                                                                                     | 0,6                                                                                                                   | 20<br>15                                                                                               | 0,35                                                                                                                  | 4,5<br>5,3                                                                                                                                                                                                                       |
| G1<br>G2<br>G3                                                 | 0,8<br>0,6<br>0,4                                                                                  | 0,4<br>0,4<br>0,35                                                                                                      | 0,5<br>0,5<br>0,4                                                                                                     | 15<br>10<br>6                                                                                          | 0,25                                                                                                                  | 5,0<br>5,0<br>5,0                                                                                                                                                                                                                |

Աղյուսակ 1. Հայաստանի քաղաքային ճանապարհների լուսավորության նորմերը:

Table 2. The Armenian norms for the rural lighting.

| Category<br>Կարգը                                                                                                                                               | Average illumination, at least, lx<br>Միջին լուսավորվածությունը, առնվազն, լյուքս | Non-uniformity, at least<br>Անհամաչափությունը, առնվազն |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| Main streets, public and shopping center squares<br>Հիմնական փողոցներ, հանրային հրապարակներ, առևտրի կենտրոնների հրապարակներ                                     | 10,0                                                                             | 0,25                                                   |
| Urban streets:<br>- Main<br>- Secondary                                                                                                                         | Քաղաքային փողոցներ՝<br>- Հիմնական<br>- Երկրորդական                               |                                                        |
| Horticultural and cottage association areas village streets and drives<br>Այգեգործական ընկերությունների ու քոթեջների տարածքներ գյուղական փողոցներ ու նրբանցքներ | 2,0                                                                              | 0,10                                                   |

Աղյուսակ 2. Հայաստանի գյուղական ճանապարհների լուսավորության նորմերը:

<sup>3</sup> A1 being highest category highway and G3 – lowest category roadway.  
A1՝ ամենաբարձր կարգի մայրուղի, G3՝ ամենացածր կարգի ճանապարհ:

The norms regulate the illumination values for pedestrian passes in the range of 1-20 lx, depending on the human traffic, and uniformity ranging from 0.1 to 0.3.

The norms also regulate architectural lighting, in the range of 3 – 10 cd/m<sup>2</sup> for local and flood lighting and within 8-30 cd/m<sup>2</sup> for artistic “definitive” lighting.

The norms regulate also commercial activity related lighting, emergency lighting, etc., as well as glare and other parameters.

## The measurement methodology

The measurement methodology is standard, on the essential working planes, via e.g. using a luxmeter, however there are a number of issues that one needs to take into consideration for the street lighting:

1. Streets have very large area, they are hundreds of kilometers long
2. For the streets, it is more essential the luminance of the pavement in cd/m<sup>2</sup> rather than the illumination level in lx.
3. Street conditions are subject to wearing, weather, nature elements and any force majeure that can substantially change the luminance levels.
4. Responsibility of correct lighting, hence the measurement validity is the factor that influences traffic accidents with human casualties.

The imaging photometers are used more and more frequently, based on CIE 140-2000 Road Lighting Calculations methodology. Road lighting for main roads is normally specified using the following parameters:

1. Average road surface luminance ( $L_{av}$ )
2. Overall road surface luminance uniformity ( $U_o$ )
3. Longitudinal road surface luminance uniformity ( $U_L$ )
4. Threshold increment ( $T_i\%$ )
5. Surround ratio ( $SR$ )

All these parameters are taken into consideration by the methodology that e.g. Konica Minolta 2D Color Analyser CA-2500 is using (<http://sensing.konicaminolta.asia/2014/09/road-lighting-measurement-using-imaging-photometer/>, Figure 25):

A 2D imaging photometer using high resolution

Նորմերով կարգավորվում են հետիոտն անցումների համար լուսավորվածության արժեքները՝ 1-20 լյուքսի շրջակայքում, կախված հետիոտների հոսքի ինտենսիվությունից, և համաչափությունը՝ 01.-0.3 միջակայքում:

Նորմավորվում է նաև ճարտարապետական լուսավորությունը՝ 3-10 կդ/մ<sup>2</sup> միջակայքում՝ տեղային և ողողող լուսավորության համար, և 8-30 կդ/մ<sup>2</sup> միջակայքում՝ գեղարվեստական «ընդգծող» լուսավորության համար:

Նորմերը նաև կարգավորում են գովազդային գործունեությանը առնչվող լուսավորությունը, նաև արտակարգ իրավիճակներում պահանջվող լուսավորությունը, շլացնող փայլը, և այլ հարաչափեր:

## Չափման մեթոդաբանությունը

Չափման մեթոդաբանությունը ստանդարտ է, կատարվում է հիմնական աշխատանքային տարածքներում, օրինակ՝ լուքսմետրի օգնությամբ, սակայն կան որոշ խնդիրներ, որոնք անհրաժեշտ է հաշվի առնել փողոցային լուսավորության դեպքում.

1. Փողոցների դեպքում առավել կարևոր է ճանապարհաձածկի պայծառությունը՝ կդ/մ<sup>2</sup>-ով, քան լուսավորության մակարդակը՝ լյուքսով:
2. Փողոցները ենթակա են մաշվածության, եղանակային, բնական աղետների և ֆորս-մաժորային իրավիճակների ազդեցություններին, ինչը կարող է զգալիորեն փոխել պայծառության մակարդակը:
3. Ճիշտ լուսավորության համար պատասխանատվությունը, ուստի և չափման հավաստիությունն այն գործոնն է, որն ուղղակի ազդեցություն ունի մահվան ելքով ճանապարհային պատահարների վրա:

Պատկերային լուսաչափերը (imaging photometers) ավելի ու ավելի հաճախ են օգտագործվում՝ հիմնվելով ԼՄՀ-ի «140-2000 Ճանապարհային լուսավորության հաշվարկի» մեթոդաբանության վրա: Հիմնական ճանապարհների դեպքում ճանապարհային լուսավորությունը սովորաբար սահմանվում է՝ օգտագործելով հետևյալ հարաչափերը.

1. Ճանապարհի մակերևույթի միջին պայծառություն ( $L_{av}$ ),
2. Ճանապարհի մակերևույթի ընդհանուր պայծառության համաչափություն ( $U_o$ ),
3. Ճանապարհի մակերևույթի երկայնակի պայծառության համաչափություն ( $U_L$ ),
4. Պայծառության շեմային տարբերությունների աճ ( $T_i\%$ ),
5. Ծայրամասային լուսավորվածության գործակից ( $SR$ ):

Այս բոլոր հարաչափերը հաշվի են առնվել այն մեթոդաբանության մեջ, որ օգտագործում է, օրինակ՝ «Konica Minolta 2D Color Analyser CA-2500» սարքը (<http://sensing.konicaminolta.asia/2014/09/road-lighting-measurement-using-imaging-photometer/>, Նկար 25):

CCD sensor is able to measure luminance distribution for the entire road surface area instead of just luminance of predefined points, thus providing more comprehensive information for the analysis of road lighting performance in a shorter time.

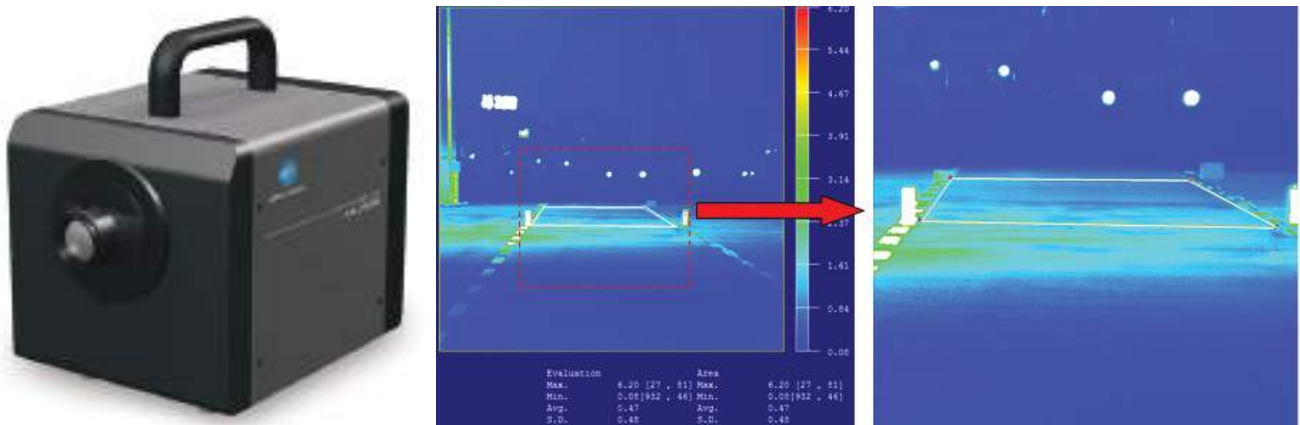
The set-up and measurement time required for road lighting measurement with an imaging photometer is also much shorter as compared to conventional spot photometer as the imaging photometer captures the luminance distribution of the entire road surface area in just a few seconds. Hence, the road closures can be largely reduced.

2D պատկերային ֆոտոմետրը (պայծառաչափը), որն օգտագործում է բարձր լուծողունակությամբ CCD սենսոր, կարողանում է չափել ճանապարհի ամբողջ մակերևույթի վրա պայծառության բաշխվածությունը, և ոչ թե միայն նախապես սահմանված կետերի պայծառությունը: Սա թույլ է տալիս սեղմ ժամանակահատվածում տրամադրել ավելի համապարփակ տեղեկություններ ճանապարհային լուսավորության արդյունավետության վերաբերյալ:

Պատկերային ֆոտոմետր - պայծառաչափով ճանապարհային լուսավորության չափման համար պահանջվող նախապատրաստման և չափման ժամանակը նույնպես շատ ավելի կարճ է: Ի տարբերություն ավանդական կետային պայծառաչափի, պատկերային պայծառաչափը ամբողջ ճանապարհի մակերևույթին պայծառության բաշխվածությունը գրանցում է ընդա-

Figure 25. Konica Minolta 2D Color Analyser CA-2500.

Source/Աղբյուր՝ <http://www.konicaminolta.eu/en/measuring-instruments/products/light-display-measurement/display-colour-analyser/ca-2500/introduction.html>



Նկար 25. Konica Minolta 2D Color Analyser CA-2500:

Even a more cost effective variation of this method is being used by Russian Lighting Research Institute after S.I. Vavilov (ООО «ВНИСИ»). It uses a digital single lens reflex camera that photographs the pavement of the roadway, and then a special developed software subtracts the luminance data Figure 26. The van cruises the street at the same time making the photographs. The method is very quick compared to other pointwise measurements, yielding the maps of the roadway luminance.

մենը մի քանի վայրկյանում: Հետևաբար, կարելի է զգալիորեն նվազեցնել նաև ճանապարհները փակելու դեպքերը:

Այս մեթոդի շատ ավելի ծախսարդյունավետ տարբերակն օգտագործվում է Ռուսաստանի Ս. Ի. Վավիլովի անվան լուսավորության հետազոտության ինստիտուտի կողմից (ООО «ВНИСИ»): Այն օգտագործում է մեկ ուսպնյակով թվային հայելային տեսախցիկ, որը լուսանկարում է ճանապարհաձածկը, այնուհետև հատուկ մշակված համակարգչային ծրագրով հանվում են պայծառության մասին տվյալները (Նկար 26): Մեքենան անցնում է փողոցով, միևնույն ժամանակ կատարելով լուսանկարահանումներ: Ի տարբերություն կետային չափումների, այս մեթոդը շատ արագ հնարավորություն է տալիս ստեղծել ամբողջ ճանապարհի պայծառության քարտեզները:

Figure 26. Mobile lighting engineering laboratory.

Source/Աղբյուրը՝ <http://www.vnisi.ru/joomla/en/serviceseng/mobilelabeng>



Նկար 26. Հուսարեխնիկայի շարժական լաբորատորիա:

## REFERENCES / ՀՂՈՒՄՆԵՐ

1. <https://www.digikey.tw/en/articles/techzone/2012/may/decoding-luminous-intensity-distribution-data-for-led-modules>
2. <https://www.slideshare.net/MikePitcher/luminaires-module-3>
3. <http://onlinemanuals.txdot.gov/txdotmanuals/hwi/luminaires.htm#i1002398>
4. Л. П. Варфоломеев, 2013г. "Элементарная Светотехника".
5. <https://sourceforge.net/projects/qlumedit2/>
6. <http://spie.org/newsroom/3490-energy-saving-led-light-sources?SSO=1>
7. <https://www.maximintegrated.com/en/app-notes/index.mvp/id/5347>
8. <https://www.colourlovers.com/>
9. «Արհեստական և բնական լուսավորում» (ՀՀ ՇՆ II 8.03-2016)
10. СП 52.13330.2011 «ЕСТЕСТВЕННОЕ И ИСКУССТВЕННОЕ ОСВЕЩЕНИЕ», Актуализированная редакция СНиП 23-05-95\*, Издание официальное
11. ГОСТ Р 55706-2013 Освещение наружное утилитарное. Классификация и нормы
12. Energy Policy Act 2005; Energy Independence and Security Act 2007; American Recovery and Reinvestment Act 2009
13. <http://cie.co.at/>
14. <http://www.vnisi.ru/joomla/en/serviceseng/mobilelabeng>



# ԿԱՆԱԶ ԼՈՒՍԱՎՈՐՈՒԹՅՈՒՆ

Տեսությունը և սկզբունքները ճարտարապետների և ճարտարագետների համար

## GREEN LIGHTING

Theory and Principles for Engineers and Architects

Համբարյան Արտակ, Ղազարյան Վարդան

Artak Hambarian, Vardan Ghazaryan



Empowered lives.  
Resilient nations.



ISBN 978-9939-1-0837-7 © UNDP Armenia, 2018

### CHAPTER 5

#### Software for simulation and design



### ԳԼՈՒԽ 5

#### Համակարգչային ծրագրեր մոդելավորման և նախագծման համար



## CHAPTER 5

## Software for Simulation and Design

## ԳԼՈՒԽ 5

Համակարգչային ծրագրեր  
մոդելավորման և նախագծման  
համար

| Contents                                                                                  |     | Բովանդակություն                                                                                                             |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|-----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Basic concepts of lighting design including use of daylight – a simplified case        | 175 | 1. Լուսավորության նախագծման, այդ թվում՝ բնական լույսի օգտագործման հիմնական հասկացությունները. պարզեցված դեպք                |
| Direct line point by point method                                                         | 175 | Կետ առ կետ մեթոդ                                                                                                            |
| The method of the coefficient of light flow utilization                                   | 178 | Լույսի հոսքի օգտագործման գործակցի մեթոդ                                                                                     |
| Mixed daylight and artificial lighting                                                    | 181 | Ցերեկային լույսի և արհեստական լուսավորության համատեղում                                                                     |
| 2. Overview of methods underlying lighting design software – capabilities and limitations | 182 | 2. Լուսավորության նախագծման համակարգչային ծրագրերի հիմքում ընկած մեթոդների ակնարկ. հնարավորություններն ու սահմանափակումները |
| Terminology                                                                               | 182 | Տերմինաբանություն                                                                                                           |
| Methods for Illumination Modeling                                                         | 182 | Լուսավորության մոդելավորման եղանակներ                                                                                       |
| Ray Tracing Algorithm                                                                     | 188 | Ճառագայթի հետագծման ալգորիթմ                                                                                                |
| Algorithm overview                                                                        | 189 | Ալգորիթմի համառոտ նկարագրություն                                                                                            |
| Rendering time reducing outlook.                                                          | 191 | Տեսայնացման ժամանակի կրճատման հեռանկարները.                                                                                 |
| Implementation outlook of ray tracing algorithm                                           | 192 | Ճառագայթի հետագծման ալգորիթմի օգտագործման հեռանկարները                                                                      |
| Radiosity Algorithm                                                                       | 193 | Ետճառագայթման (ճառագայթողականության) ալգորիթմ                                                                               |
| Overview of the radiosity algorithm                                                       | 193 | Ետճառագայթման ալգորիթմի համառոտ նկարագրությունը                                                                             |
| Adaptive Radiosity                                                                        | 196 | Ադապտիվ ետճառագայթում                                                                                                       |
| Photon mapping algorithm overview                                                         | 202 | Ֆոտոնային քարտեզագրման ալգորիթմի համառոտ նկարագրությունը                                                                    |
| Construction of the photon map (first pass)                                               | 202 | Ֆոտոնային քարտեզի կառուցումը (առաջին փուլ)                                                                                  |
| Photon Emission                                                                           | 202 | Ֆոտոնների արձակում                                                                                                          |
| Photon tracing                                                                            | 203 | Ֆոտոնների հետագծում                                                                                                         |
| Photon Storing                                                                            | 208 | Ֆոտոնների պահպանումը                                                                                                        |
| A simplified example of kd-tree balancing.                                                | 209 | Կդ-ծառի հավասարակշռման պարզեցված օրինակ                                                                                     |
| Rendering (2nd pass)                                                                      | 210 | Տեսայնացում (երկրորդ փուլ)                                                                                                  |
| Abstraction of reality for input                                                          | 216 | Իրականության վերացարկում՝ մուտքագրման համար                                                                                 |
| 3. The software                                                                           | 218 | 3. Համակարգչային ծրագրեր                                                                                                    |
| Output report generation                                                                  | 224 | Արդյունքների հաշվետվությունների ստեղծումը                                                                                   |
| References                                                                                | 226 | Հղումներ                                                                                                                    |

## 1. BASIC CONCEPTS OF LIGHTING DESIGN INCLUDING USE OF DAYLIGHT – A SIMPLIFIED CASE

Modern computer digital age have made any design process much easier and comprehensive, and lighting design have substantially benefited from the incredible possibilities offered by digital software means.

A number of general factors apply in the lighting design. Here is a citation from Architectural Lighting design Wikipedia article ([https://en.wikipedia.org/wiki/Architectural\\_lighting\\_design](https://en.wikipedia.org/wiki/Architectural_lighting_design)):

The design process takes account of:

- The kind of human activity for which lighting is to be provided
- The amount of light required
- The color of the light as it may affect the views of particular objects and the environment as a whole
- The distribution of light within the space to be lighted, whether indoor or outdoor
- The effect of the lightened system itself on the user

### Direct line point by point method

Here the three factors must be considered for applying this very simple “point by point” method: luminous intensity of the source; distance from source to surface; orientation of the surface.

Here are the assumptions:

1. The luminaire is regarded as a point source. In reality this approximation is valid if the distance  $L$  from the center of luminaire to the point of consideration, e.g. on the table, is substantially longer than the  $S$  dimensions of luminaire. Usually, if  $D/S > 5$  or  $6$  the approximation yields negligible error.
2. The reflectance from the ceiling, walls and floor are neglected, or assumed is equal to  $0$ . This, in general is not true, and constitutes the main error of this method.
3. Because of the first and second assumptions, we can also assume that the illumination drops as the reverse of the square of the distance  $D$ , i.e. is dependent on  $1/D^2$ .

## 1. ԼՈՒՍԱՎՈՐՈՒԹՅԱՆ ՆԱԽԱԳԾՄԱՆ, ԱՅԴ ԹՎՈՒՄ՝ ԲՆԱԿԱՆ ԼՈՒՅՍԻ ՕԳՏԱԳՈՐԾՄԱՆ ՀԻՄՆԱԿԱՆ ՀԱՍԿԱՑՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ. ՊԱՐԶԵՑՎԱԾ ԴԵՊԶ

Ժամանակակից համակարգչային թվային միջոցները զգալիորեն հեշտացրել և համակողմանի են դարձրել ցանկացած նախագծման գործընթաց: Լուսավորության նախագծումը նույնպես զգալիորեն շահել է թվային ծրագրավորման միջոցների ընձեռած հսկայական հնարավորություններից:

Լուսավորության նախագծման ընթացքում անհրաժեշտ է հաշվի առնել մի շարք ընդհանուր գործոններ: Ահա մի մեջբերում ճարտարապետական լուսավորության նախագծման մասին Վիքիպեդիայի հոդվածից ([https://en.wikipedia.org/wiki/Architectural\\_lighting\\_design](https://en.wikipedia.org/wiki/Architectural_lighting_design)).

- Նախագծման գործընթացում հաշվի են առնվում՝
- Մարդկային գործունեության այն տեսակը, որի համար պետք է ապահովվի լուսավորություն,
  - Պահանջվող լույսի քանակությունը,
  - Լույսի գույնը, քանի որ այն կարող է ազդել ինչպես կոնկրետ առարկաների, այնպես էլ ընդհանուր միջավայրի տեսքի վրա,
  - Լուսավորության ենթակա տարածության մեջ (լինի դա ներքին, թե արտաքին) լույսի բաշխվածությունը,
  - Հենց լուսավորված համակարգի ազդեցությունն այն օգտագործողի վրա:

### Կետ առ կետ մեթոդ

Այս շատ պարզ «կետ առ կետ» մեթոդը կիրառելու համար պետք է հաշվի առնել երեք գործոն՝ աղբյուրի լույսի ուժը, աղբյուրից մինչև մակերևույթ ընկած հեռավորությունը և մակերևույթի կողմնորոշումը:

Ենթադրությունները հետևյալն են.

1. Լուսատու ղիտվում է որպես կետային աղբյուր: Իրականում այս մոտարկումը ճիշտ է, եթե լուսատուի կենտրոնից մինչև ղիտարկման կետը ( $D$ ) հեռավորությունը, օրինակ՝ սեղանի մակերևույթը, զգալիորեն մեծ է լուսատուի չափերից ( $S$ ): Սովորաբար, եթե  $D/S > 5$ -ից կամ  $6$ -ից, ապա այս մոտարկումը կառաջացնի աննշան սխալ:
2. Առաստաղից, պատերից և հատակից անդրադարձումը անտեսվում է, կամ ենթադրվում է որ հավասար է  $0$ -ի: Ընդհանուր առմամբ, նման ենթադրությունը ճիշտ չէ, և այս եղանակի հիմնական սխալանքի աղբյուրն է:
3. 1 և 2 կետերի հիման վրա կարելի է ենթադրել, որ լուսավորությունը նվազում է  $D$  հեռավորության քառակուսուն հակադարձ համեմատական օրենքով, այսինքն՝ կախված է  $1/D^2$ -ից:

Figure 1 is illustrating this basic approximation method.

*Equation 1-1 / Հավասարում 1-1.*

$$E_v = I \cos(\alpha) / D^2$$

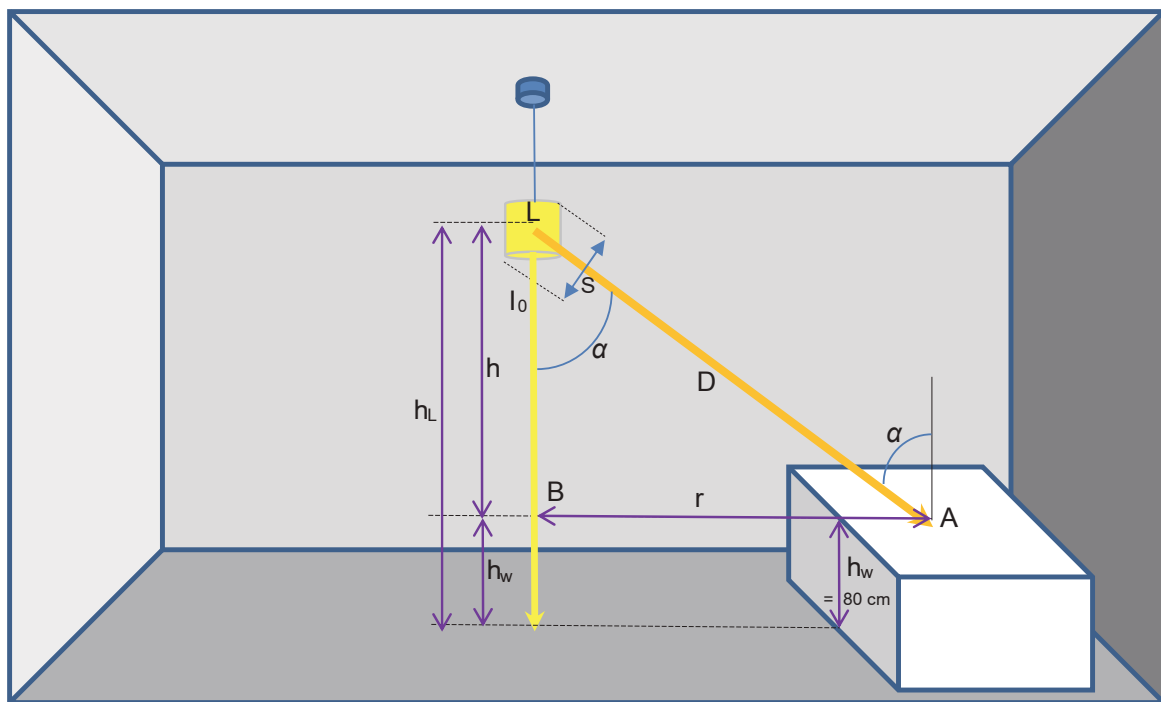
where  $E_v$  is the illumination in lux (lx),  $I$  is the luminous intensity in candelas (cd),  $\alpha$  is the angle of the incidence to the normal of the surface of consideration. Note that as the surface of consideration is usually taken the workplane that is 80 cm higher from the floor plane.

E.g. if we have luminaire of 1 cd luminous intensity, 1 m distance and normal incidence ( $\alpha = 0$ ), we will have  $E_v = 1$  lx at the center of the target surface. If  $\alpha = 60^\circ$ ,  $\cos(\alpha) = 0.5$ , 1 m distance and 600 cd source, then  $E_v = 300$  lx. In the same setup, with 2 m distance we will have 75 lx.

որտեղ  $E_v$  լուսավորվածությունն է՝ արտահայտված լյուքսով (լք),  $I$ -ն լույսի ուժն է՝ կանդելայով (կդ),  $\alpha$ -ն լույսի անկման անկյունն է դիտարկման ենթակա մակերևույթին ուղղահայաց գծի նկատմամբ: Ուշադրություն դարձրեք, որ որպես դիտարկման ենթակա մակերևույթ սովորաբար վերցվում է հատակից 80 սմ բարձրությամբ աշխատանքային հարթությունը:

Օրինակ, եթե ունենք 1 կդ լույսի ուժ ունեցող լուսատու, 1 մ հեռավորություն և նորմալ անկում ( $\alpha = 0$ ), ապա մակերևույթի թիրախային կետում կունենանք  $E_v = 1$  լյուքս: Եթե  $\alpha = 60^\circ$ ,  $\cos(\alpha) = 0.5$ , 1 մ հեռավորություն և 600 կդ լույսի աղբյուր, ապա  $E_v = 300$  լյուքս: Միևնույն դասավորությամբ 2 մ հեռավորության դեպքում կունենանք 75 լյուքս:

*Figure 1. Direct line point by point method.*



*Նկար 1. Կետ առ կետ եղանակը:*

In a more general case the calculation is as follows. The luminaire height  $h_L$  and workplane height  $h_w$  are measured. The  $h = h_L - h_w$  is the elevation of the luminaire from the workplane – the surface of interest. From the specifications we find the light source luminous intensity in candelas (cd) under the luminaire, at  $\alpha = 0$ , i.e. for the intensity that is directed right down. The vertical ray illuminating down is depicted as  $I_0$  on the drawing. Now we need to determine the distance  $D$  between

Ավելի ընդհանուր դեպքում հաշվարկը կատարվում է հետևյալ կերպ: Չափվում է լուսատուի բարձրությունը հատակից՝  $h_L$ -ը: Այնուհետև որոշվում է աշխատանքային մակերևույթի բարձրությունը՝  $h_w$ -ն: Դրանց տարբերությունը՝  $h = h_L - h_w$  հանդիսանում է լամպի բարձրությունը աշխատանքային մակերևույթի նկատմամբ, այսինքն այն մակերևույթի, որի վրա ընտրված կետում (A) ցանկանում ենք չափել լուսավորության մակարդակը: Լույսի աղբյուրի տեխնիկական մասնագրից գտնում ենք նրա լույսի ինտենսիվությունը (ուժը) արտահայտված կանդելայով (կդ) զրոյական անկյան համար ( $\alpha = 0$ ), այսինքն լույսի այն բաղադրիչի համար, որն ուղղահայաց է հատակին:

A and L points. The LBA right angle triangle's one side is the h, and the other side r is the distance of the point A from  $I_0$ . r can be easily determined by measuring tape. Using the Pythagoras theorem we determine **D**:  $D = \sqrt{(h^2 + r^2)}$ .

We determine  $\cos(\alpha) = h/D$ , yielding  $I_a = I_0 \cdot \cos(\alpha)$ , which is the component of the  $I_0$  at  $\alpha$  angle directed to the point A. We have all data to use the  $E_v = I_0 \cdot \cos(\alpha)/D^2$  formula. In fact it has another representation, called cosine cube formula, derived by replacement of **D** by  $D = h/\cos(\alpha)$ . In that case

$$E_v = I_0 \cdot \cos(\alpha)/D^2 = I_0 \cdot \cos(\alpha)/h^2/[\cos(\alpha)]^2 = I_0 \cdot \cos(\alpha) \cdot [\cos(\alpha)]^2 / h^2 = I_0 \cdot [\cos(\alpha)]^3 / h^2$$

$$E_v = I_0 \cdot [\cos(\alpha)]^3 / h^2$$

Thus having a measuring tape and measuring the light intensity directly under the luminaire, one can measure illumination at any point.

If instead of illumination, the luminance of the surface is targeted, then one needs to apply Equation 1-2 (see Chapter 1, Equation 3-6):

#### Equation 1-2 / Հավասարում 1-2

where  $L_v$  is the luminance level in  $cd/m^2$ ,  $E_v$  is the illumination level in lux from Equation 1-1, **R** is the reflectivity,  $\pi = 3.14159...$

The result of combining of Equation 1-1 and Equation 1-2 is Equation 1-3:

#### Equation 1-3 / Հավասարում 1-3

For example, if a surface has 30% reflectivity, assuming it is totally diffuse, means it is a Lambertian diffuser - does not have any specular, i.e. mirror type reflective component, and light intensity is 300 kd, **D** = 1m, then  $L_v = 300 \times 0.3 / 3.14159 \approx 28.65$   $cd/m^2$ . Reflectivity coefficients of various surfaces are shown in Table 1.

Գծագրի վրա այն ներկայացված է որպես  $I_0$ : Այժմ անհրաժեշտ է որոշել D-ի արժեքը, որը A կետի հեռավորությունն է լամպից (L)՝ AL հատվածը: Գծագրից երևում է, որ LBA ուղղանկյուն եռանկյան մի էջը արդեն որոշված h-ն է, մյուս էջը՝ r-ը, դա A կետի հեռավորությունն է  $I_0$ -ից կամ, այլ կերպ ասած, լամպից իջեցրած ուղղահայացից: r-ը հեշտությամբ որոշվում է AB հատվածը չափերիցով չափելով: Օգտվելով Պյութագորասի թեորեմից՝ որոշում ենք D-ն.  $D = \sqrt{(h^2 + r^2)}$ :

D-ի արժեքը ստանալուց հետո կարող ենք որոշել.  $\cos(\alpha) = h/D$ , դրանով իսկ որոշում ենք  $I_a$ -ն.  $I_a = I_0 \cdot \cos(\alpha)$ , որը հանդիսանում է  $\alpha$  անկյան տակ  $I_0$ -ի բաղադրիչն՝ ուղղված լամպից A կետը: Այժմ ունենք բոլոր տվյալները  $E_v = I_0 \cdot \cos(\alpha) / D^2$  բանաձևից օգտվելու համար: Այս բանաձևն ունի ներկայացման նաև այլ տեսք, որը կոչվում է կոսինուս խորանարդի բանաձև: Այն ստացվում է, եթե մենք D-ի փոխարեն տեղադրենք  $D = h/\cos(\alpha)$ : Այդ դեպքում կստանանք

Այսպիսով, ունենալով չափերից և լուսատուի լույսի ուժի արժեքը 0 անկյան համար, կարելի է որոշել լուսավորության արժեքը ցանկացած կետում:

Եթե լուսավորվածության փոխարեն մեր թիրախը լինի մակերևույթի պայծառությունը, ապա հարկ կլինի կիրառել Հավասարում 1-2-ը (տես Գլուխ 1, Հավասարում 3-6):

$$L_v = E_v R / \pi,$$

որտեղ  $L_v$ -ն պայծառության մակարդակն է՝ արտահայտված կդ/մ<sup>2</sup>-ով,  $E_v$ -ն լուսավորվածության մակարդակն է լյուքսով՝ Հավասարում 1-1-ից **R**-ն անդրադարձման գործակիցն է,  $\pi = 3.14159...$ :

Հավասարում 1-1-ի և Հավասարում 1-2-ի միավորման արդյունքը Հավասարում 1-3-ն է.

$$L_v = I \cos(\alpha) R / (\pi D^2).$$

Օրինակ, եթե մակերևույթն ունի 30% անդրադարձման գործակից, ենթադրենք այն ամբողջովին դիֆուզ է, այսինքն, այն լամբերտյան դիֆուզոր է՝ չունի հայելային անդրադարձման բաղադրիչ, և լույսի ինտենսիվությունը (ուժը) 300 կդ է, **D** = 1 մ, ապա  $L_v = 300 \times 0.3 / 3.14159 \approx 28.65$  կդ/մ<sup>2</sup>: Տարբեր մակերևույթների անդրադարձման գործակիցները ներկայացված են Աղյուսակ 1-ում:

**Table 1.** Coefficients of reflectivity of surfaces, percent

| Surface color | Coefficients of reflectivity (%) |
|---------------|----------------------------------|
| White         | 70-80                            |
| Light         | 50                               |
| Grey          | 30                               |
| Dark grey     | 20                               |
| Dark          | 10                               |

Here, one needs to make sure that the luminaire has a lightbulb that provides the required luminaire luminous intensity, i.e. take into consideration the efficiency of the luminaire.

Thus, if we have data about mutual coordinates of the luminaire and the surfaces, as well as the luminaire luminous intensity and the coefficients of reflectivity of the surfaces, we can easily generate respective luminance maps on that surfaces, with aforementioned approximations.

### The method of the coefficient of light flow utilization

This is another relatively simple method, which also takes into consideration the indirect luminous fluxes from reflections in addition to the direct luminous intensity; distance from source to surface; orientation of the surface<sup>1</sup>:

$$E_v = E_d + E_r$$

$E_v$  – total illumination on the workplane,

$E_d$  – direct line illumination on the workplane,

$E_r$  – total illumination on the workplane that is coming from reflections from other surfaces.

Definition<sup>2</sup>:

**Coefficient of [Light Flow - AH] Utilization (C.U. or  $\eta$ ):** best expressed as the percentage of light that reaches the workplane or “usable light”. Technically, it is the number of lumens that reach the workplane divided by the total lumens generated by the lamp(s).

$$C.U. = F_w / n \cdot F_L$$

$F_w$  - number of lumens reaching workplane,

$F_L$  - number of lumens generated by one lamp,

$n$  - total number of lamps in a luminaire.

This metric accounts for room geometry, lighting fixture efficiency and ceiling, wall, and floor reflectance.

**Աղյուսակ 1.** Մակերևույթների անդրադարձման գործակիցներ, տոկոս

| Մակերևույթի գույնը | Անդրադարձման գործակից (%) |
|--------------------|---------------------------|
| Սպիտակ             | 70-80                     |
| Բաց                | 50                        |
| Մոխրագույն         | 30                        |
| Մուգ մոխրագույն    | 20                        |
| Մուգ               | 10                        |

Այստեղ անհրաժեշտ է, որ լուսատուին ունենա անհրաժեշտ լույսի ուժ ապահովող լամպ:

Այսպիսով, եթե ունենք տվյալներ լուսատուի և մակերևույթների փոխադարձ կոորդինատների, ինչպես նաև լուսատուի լույսի ուժի և մակերևույթների անդրադարձման գործակիցների մասին, ապա վերոհիշյալ մոտարկումներով հեշտությամբ կարելի է ստանալ այդ մակերևույթների վրա պայծառության համապատասխան բաշխվածությունները:

### Լույսի հոսքի օգտագործման գործակցի մեթոդ

Սա մեկ այլ համեմատաբար պարզ մեթոդ է, որը, աշխատանքային մակերևույթի վրա ընկած ուղիղ լույսի հոսքից բացի, հաշվի է առնում նաև անդրադարձումից ստացվող լույսի անուղղակի հոսքերը<sup>1</sup>.

$$E_v = E_m + E_w$$

$E_v$ ՝ աշխատանքային մակերևույթի վրա ընդհանուր լուսավորվածությունն է,

$E_m$ ՝ լուսատուներից անմիջապես (ուղիղ) աշխատանքային մակերևույթի վրա առաջացած լուսավորվածությունն է,

$E_w$ ՝ աշխատանքային մակերևույթի վրա սենյակի մակերևույթների անդրադարձումից առաջացած լուսավորվածությունն է:

Սահմանում<sup>2</sup>. **[Լույսի հոսքի - ԱՀ] օգտագործման գործակից (Օ.Գ. կամ  $\eta$ )**. հարմար է արտահայտել որպես աշխատանքային մակերևույթին հասնող լույսի մասը՝ տոկոսով, կամ «օգտագործելի լույս»: Օ.Գ.-ն աշխատանքային մակերևույթին ընկած լույսի հոսքի հարաբերությունն է լուսատուի բոլոր լամպերի առաջացրած ընդհանուր լույսի հոսքին:

$$O.G. = \Phi_w / n \cdot \Phi_L$$

$\Phi_w$ ՝ լույսի հոսքն է աշխատանքային մակերևույթի վրա,

$\Phi_L$ ՝ լուսատուի մեկ լամպի լույսի հոսքն է,

$n$ ՝ լուսատուի լամպերի ընդհանուր քանակն է:

Այս ցուցանիշը հաշվի է առնում սենյակի երկրաչափությունը, լուսատուի արդյունավետությունը և առաստաղի, պատերի, հատակի անդրադարձողականությունը:

<sup>1</sup> Л. П. Варфоломеев, «Элементарная светотехника», 2013г.

<sup>2</sup> <http://www.acuitybrands.com/resources/customer-services/lighting-definitions>

C.U. depends on the light distribution curve (LDC) aka angular distribution of light (ADL) of a light luminaire, the geometry of the room, as well as the reflection coefficients of the walls, ceiling and the floor.

To take into account the geometry of the room, with a goal of taking into account the reflection/absorption on the walls vs ceiling and floor, the room geometry index  $i$  is defined as (Equation 1-4):

#### Equation 1-4 / Հավասարում 1-4

$$i = a b / (a + b) h,$$

where  $a$  – room length,  $b$  – room width,  $h$  – distance of the luminaire plane from the workplane (not just the height of the room). Thus this index takes into account both the surface of the floor,  $ab$ , and its half-perimeter  $(a + b)$ , and  $h$  - height. E.g. if  $a = 6$  m,  $b = 6$  m,  $h = 1.5$  m,  $i = 36/(12 \cdot 1.5) = 2$ . But for a room with the same floor surface area and height, but  $a = 2.7$  m,  $b = 13.3$  m,  $i = 36/(16 \cdot 1.5) = 1.5$ . I.e. more prolonged is the room - more smaller is the room geometry index - lesser is the contribution of the walls. Similarly, smaller is the  $h$  higher is the index, thus larger is the contribution of the walls.

The number of the luminaires  $N$  to provide the required illumination  $E_v$  in a room with length  $a$  and width  $b$  is being defined by Equation 1-5:

#### Equation 1-5

$$N = E_v ab k z / C.U. n F_L$$

where  $k$  is the rate of light source degradation,  $z$  – illumination non-uniformity coefficient (usually is 1,15),  $F_L$  is the luminous flow of one lightbulb in lumens,  $n$  is the number of lightbulbs in a luminaire. The  $k$  rate of degradation is a multiplication factor to the lightbulb luminous flow, making sure that by the end of the lifetime the lightbulb provides the lumens needed to secure the resulting illumination per standards.

To determine the C.U. the procedure is following, as shown in Table 2:

- select the type of the LDC-s of luminaria to be used. Type of luminaria LDC defines the portion of the light directed from luminaria to the walls.
- select the row with the calculated room geometry index. The  $i$  of Equation 1-4 decides how the room configuration helps to use the wall reflections.

Օ.Գ.-ն կախված է լուսատուի լույսի բաշխման կորից (ԼԲԿ) կամ, այլ կերպ ասած, լույսի անկյունային բաշխվածությունից, լուսավորող սարքերի ՕԳԳ-ից, սենյակի երկրաչափական կառուցվածքից, պատերի, առաստաղի ու հատակի անդրադարձման գործակիցներից, ինչպես նաև աշխատանքային մակերևույթի նկատմամբ լուսատուի բարձրությունից՝  $h$ -ից:

Առաստաղի և հատակի համեմատ պատերի անդրադարձումը/կլանումը հաշվի առնելու նպատակով սենյակի երկրաչափական կառուցվածքը դիտարկելու համար սահմանվում է սենյակի երկրաչափական կառուցվածքի ցուցիչը,  $i$  որպես (Հավասարում 1-4)։

որտեղ  $a$ -ն սենյակի երկարությունն է,  $b$ -ն՝ սենյակի լայնությունը,  $h$ -ն՝ լուսատուի բարձրությունն է աշխատանքային մակերևույթի նկատմամբ (ոչ թե սոսկ սենյակի բարձրությունը)։ Այսպիսով, այս ցուցիչը հաշվի է առնում թե՛ հատակի մակերեսը ( $ab$ ) և նրա կիսապարագիծը ( $a + b$ ), թե՛  $h$  բարձրությունը։ Օրինակ, եթե  $a = 6$  մ,  $b = 6$  մ,  $h = 1.5$  մ, ապա  $36/(12 \cdot 1.5) = 2.0$ ։ Սակայն եթե սենյակն ունի նույն մակերեսն ու բարձրությունը, բայց  $a = 2.7$  մ,  $b = 13.3$  մ, ապա  $i = 36/(16 \cdot 1.5) = 1.5$ ։ Այսինքն, որքան սենյակն ավելի երկարավուն է այնքան փոքր է սենյակի երկրաչափական կառուցվածքի ցուցիչը, այն է՝ փոքր է մակերևույթներից անդրադարձումը։ Նույն կերպ, որքան փոքր է  $h$  -ը այնքան մեծ է ցուցիչը հետևաբար, մեծ է մակերևույթներից անդրադարձած լույսի բաժինը։

Լուսատուների թիվը ( $N$ ), որ անհրաժեշտ է  $a$  երկարություն և  $b$  լայնություն ունեցող սենյակում պահանջվող լուսավորվածություն ( $E_v$ ) ապահովելու համար, սահմանվում է Հավասարում 1-5-ով։

#### Հավասարում 1-5

$$N = E_v ab k z / O.Գ. n \Phi_L$$

որտեղ  $k$ -ն դեգրադացման արագությունն է,  $z$ -ը՝ լուսավորվածության անհամաչափության գործակիցը (սովորաբար 1,15 է),  $\Phi_L$  -ը մեկ լամպի լույսի հոսքն է լյումեններով,  $n$ -ը՝ մեկ լուսատուի մեջ լամպերի թիվը։ Դեգրադացման  $k$  արագությունը՝ լամպի լույսի հոսքի նկատմամբ բազմապատկման գործակից է, որը հաշվի է առնում օգտագործվող լամպերի անհրաժեշտ լուսատվությունը դրանց ծառայության ժամկետի ողջ ընթացքում և ապահովում լուսավորության հաշվարկի համապատասխանությունը ստանդարտին։

Օ.Գ.-ն որոշելու ընթացակարգը բերված է ստորև, օգտագործելով Աղյուսակ 2-ը։

ա. ընտրել օգտագործվելիք լուսատուի ԼԲԿ-երի տեսակը։ Լուսատուի ԼԲԿ-ի տեսակով որոշվում է լույսի այն մասնաբաժինը, որն ուղղվում է լուսատուից պատերին։

բ. ընտրել սենյակի երկրաչափական կառուցվածքի հաշվարկված ցուցիչի համապատասխան տողը։ Հավասարում 1-4-ի  $i$  - ով որոշվում է, թե ինչպես է

- c. select the column that is closest to the reflectivities' triad of the ceiling, walls and the floor. The reflectivity triad defines the contributions of the reflections.

The resulting number is the optimal C.U., in this case = 50% (0.5).

սենյակի կառուցվածքն օգնում օգտագործել պատերից անդրադարձումը:

- գ. ընտրել այն սյունակը, որն ամենամոտն է առաստաղ, պատեր ու հատակ եղյակի անդրադարձման հատկություններին: Անդրադարձման գործակիցների եղյակով սահմանվում է անդրադարձման չափը:

Table 2. To the definition of the coefficient of light flow utilization (C.U.), in percent.

| Luminaire with semi-wide LDC<br>Կիսալայն ԼԲԿ-ով լուսատու          |                    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|-------------------------------------------------------------------|--------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Reflection coefficient, %<br>Անդրադարձման գործակից, %             | Ceiling<br>Առաստաղ | 80 | 80 | 80 | 70 | 50 | 50 | 30 | 0  |
|                                                                   | Walls<br>Պատեր     | 80 | 50 | 30 | 50 | 50 | 30 | 30 | 0  |
|                                                                   | Floor<br>Հատակ     | 30 | 30 | 10 | 20 | 10 | 10 | 10 | 0  |
|                                                                   |                    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| Room geometry index<br>Սենյակի երկրաչափական<br>կառուցվածքի ցուցիչ | 0.6                | 55 | 37 | 29 | 35 | 34 | 29 | 29 | 24 |
|                                                                   | 0.8                | 63 | 46 | 33 | 44 | 41 | 37 | 36 | 32 |
|                                                                   | 1                  | 68 | 52 | 43 | 49 | 47 | 42 | 42 | 37 |
|                                                                   | 1.25               | 74 | 59 | 50 | 56 | 53 | 49 | 48 | 44 |
|                                                                   | 1.5                | 77 | 64 | 54 | 60 | 56 | 53 | 52 | 48 |
|                                                                   | 2                  | 81 | 70 | 59 | 65 | 60 | 58 | 57 | 53 |
|                                                                   | 2.5                | 84 | 75 | 63 | 69 | 64 | 61 | 60 | 57 |
|                                                                   | 3                  | 86 | 78 | 66 | 72 | 66 | 64 | 63 | 60 |
|                                                                   | 4                  | 88 | 81 | 68 | 74 | 68 | 66 | 65 | 62 |
|                                                                   | 5                  | 89 | 84 | 70 | 76 | 70 | 68 | 67 | 64 |
| Luminaire with deep LDC<br>Խոր ԼԲԿ-ով լուսատու                    |                    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| Room geometry index<br>Սենյակի երկրաչափական<br>կառուցվածքի ցուցիչ | 0.6                | 47 | 35 | 30 | 33 | 32 | 29 | 29 | 26 |
|                                                                   | 0.8                | 52 | 41 | 35 | 39 | 38 | 35 | 35 | 32 |
|                                                                   | 1                  | 56 | 46 | 39 | 43 | 41 | 39 | 38 | 36 |
|                                                                   | 1.25               | 60 | 51 | 44 | 48 | 45 | 43 | 43 | 40 |
|                                                                   | 1.5                | 62 | 54 | 46 | 50 | 47 | 46 | 45 | 43 |
|                                                                   | 2                  | 64 | 57 | 49 | 53 | 50 | 48 | 48 | 46 |
|                                                                   | 2.5                | 66 | 60 | 52 | 56 | 52 | 50 | 50 | 48 |
|                                                                   | 3                  | 67 | 63 | 53 | 57 | 53 | 52 | 51 | 49 |
|                                                                   | 4                  | 68 | 64 | 55 | 59 | 54 | 53 | 52 | 50 |
|                                                                   | 5                  | 69 | 66 | 56 | 60 | 55 | 54 | 53 | 51 |

Աղյուսակ 2. Լույսի հոսքի օգտագործման գործակիցի (Օ.Գ.) սահմանումը, տոկոսով:

The resulting case for the 2.7x13.3m room, with  $E_v = 100$  lx, deep LDC, 2 lightbulbs in each, each 500 lm will be:  $N = (100 \text{ lx} \cdot 35.91 \text{ m}^2 \cdot 1.5 \cdot 1.15) / (0.5 \cdot 2 \cdot 500 \text{ lm}) = 12.39$ , and with rounding = 12 or 13 luminaria. For 50 lx requirement, it will yield 6 luminaria.

Արդյունքում ստացված թիվը օպտիմալ Օ.Գ.-ն է, այս դեպքում = 50% (0.5):

2.7x13.3 մ սենյակի դեպքում, որտեղ  $E_v = 100$  լք, 2 լամպ պարունակող լուսատու՝ խոր ԼԲԿ-ով, յուրաքանչյուր լամպը 500 լմ, կստացվի՝  $N = (100 \text{ լք} \cdot 35.91 \text{ մ}^2 \cdot 1.5 \cdot 1.15) / (0.5 \cdot 2 \cdot 500 \text{ լմ}) = 12.39$ , իսկ կլորացումով = 12 կամ 13 լուսատու: 50 լյուքս պահանջի դեպքում անհրաժեշտ կլինի 6 լուսատու:

### Mixed daylight and artificial lighting

When considering a mixed case with both daylighting and artificial lighting, a superposition of the illumination light fields takes place (Figure 2).

### Ցերեկային լույսի և արհեստական լուսավորության համատեղում

Ցերեկային և արհեստական խառը լուսավորության համատեղման դեպքում տեղի է ունենում լույսի դաշտերի գումարում (Նկար 2):

Figure 2. Superposition of daylight and artificial light illuminations.

Source/Աղբյուրը՝ <https://www.educate-sustainability.eu/kb/content/lighting-design>



Նկար 2. Ցերեկային լույսի և արհեստական լույսով լուսավորության համադրում:

Since the illumination level from the sun is intermittent, it is reasonable to use automatic dimmers that completely switch off the artificial electrical lighting if the daylight either from the windows or the skylines or their combination are providing enough illumination per requirements, or provide intermediate illumination levels when the daylight is not enough, or provide full capacity lighting otherwise.

Քանի որ արևի լույսից լուսավորվածության մակարդակը փոփոխական է, ողջամիտ է օգտագործել ավտոմատ թուլացնող սարքեր (dimmer), որոնք ամբողջությամբ անջատում են արհեստական լուսավորությունը, եթե ցերեկային լույսն ապահովում է պահանջներին համապատասխան լուսավորություն լուսամուտներից, երդիկ-լուսատարներից, կամ դրանց համադրությունից: Երբ ցերեկային լույսը բավարար չէ թուլացնող սարքը ապահովում է արհեստական լուսավորվածության միջին մակարդակ: Դրա բացակայության դեպքում այն ապահովում է ամբողջական արհեստական լուսավորություն:

## 2. OVERVIEW OF METHODS UNDERLYING LIGHTING DESIGN SOFTWARE – CAPABILITIES AND LIMITATIONS

The task of the lighting design software is to calculate the illumination levels over given surface(s) – at certain precision to model the illuminance or luminance levels at certain points, surfaces or everywhere in the spaces of interest, i.e. rooms, construction, buildings, including interior and exterior.

The software helps to design the lighting system to comply with standards and norms' or special requirements, by:

- Selection of luminaria type, size and placement
- model ceiling, floor and walls materials
- make optimization for energy efficiency
- provide comfort, ergonomics and safety
- modelling dimming of groups of luminaria
- achieve aesthetical impact

Other important functions of software for lighting calculation are:

- Integration to the space modelling software such as Autodesk AutoCAD, Autodesk Revit, 3D studio, ArchiCAD, etc.;
- Ability to use high dynamic range (HDR) format photographic pictures to input the high contrast daylight illuminance distributions from windows.

### Methods for Illumination Modeling

#### Terminology

Before presenting the light simulation methods, we should be acquainted with some basic terminology in this realm.

**Computer graphics (CG):** Verne Hudson and William Fetter were credited with coining the term computer graphics in 1961 to describe their work at Boeing.

## 2. ԼՈՒՍԱՎՈՐՈՒԹՅԱՆ ՆԱԽԱ-ԳԾՄԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳՉԱՅԻՆ ԾՐԱԳՐԵՐԻ ՀԻՄՔՈՒՄ ԸՆԿԱԾ ՄԵԹՈԴՆԵՐԻ ԱԿՆԱՐԿ. ՀՆԱՐԱՎՈՐՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐՆ ՈՒ ՍԱՀՄԱՆԱՓԱԿՈՒՄՆԵՐԸ

Լուսավորության համակարգչային ծրագրի խնդիրն է՝ որոշակի ճշգրտությամբ հաշվել տվյալ մակերևույթ(ներ)ի լուսավորվածության մակարդակը: Համակարգչային ծրագիրն օգնում է ստանդարտներին ու նորմերին համապատասխան նախագծել լուսավորության համակարգը հետևյալ կերպ՝

- լուսատուի տեսակի, չափի և տեղադրման վայրի ընտրությամբ,
- մոդելավորել առաստաղի, հատակի ու պատերի նյութերի հատկությունները,
- կատարել օպտիմալացում՝ էներգաարդյունավետության նպատակով,
- ապահովել հարմարավետություն, էրգոնոմիկա և անվտանգություն,
- մի խումբ լուսատուների լույսի ուժի կարգավորման մոդելավորում,
- հաշվի առնել գեղագիտական գործոնը:

Լուսավորության հաշվարկի համար համակարգչային ծրագրի այլ կարևոր գործառույթներն են՝

- ինտեգրում գոյություն ունեցող եռաչափ մոդելավորման այնպիսի համակարգչային ծրագրերի հետ, որպիսիք են օրինակ՝ Autodesk AutoCAD-ը, Autodesk Revit-ը, ArchiCAD-ը և այլն,
- բարձր դինամիկ միջակայք (HDR) ձևաչափով լուսանկարներ օգտագործելու կարողություն:

### Լուսավորության մոդելավորման եղանակներ

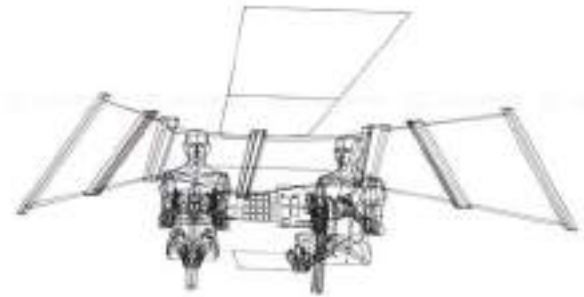
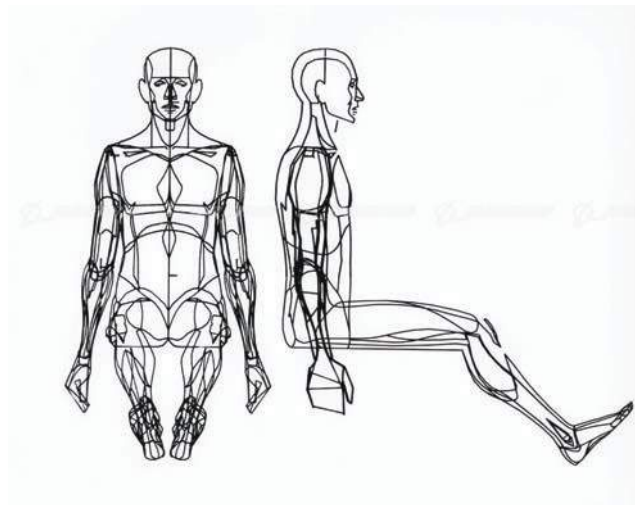
#### Տերմինաբանություն

Նախքան մոդելավորման մեթոդները ներկայացնելը, ծանոթանանք այս ոլորտում օգտագործվող որոշ հիմնական տերմիններին հետ:

**Համակարգչային գրաֆիկա.** այս եզրույթը 1961թ-ին հեղինակել են «Բոինգ» ընկերության մասնագետներ Վերն Հադսոնը և Վիլիամ Ֆեթթերը:

**Figure 3.** William Fetter was the first to create a human figure as a 3D model. The First Man was a pilot in a short 1964 computer animation, also known as Boeing Man or as Boeman.

Source/Աղբյուրը՝ [http://www.boeingimages.com/archive/William-Fetter%27s-Boeing-Man-Pilots-a-Jet-2F3XC54BF\\_Q.html](http://www.boeingimages.com/archive/William-Fetter%27s-Boeing-Man-Pilots-a-Jet-2F3XC54BF_Q.html).



**Նկար 3.** Վիլիամ Ֆետթերի ստեղծած մարդու առաջին եռաչափ մոդելը: Այն օդաչուի մոդել էր՝ 1964թ-ին ստեղծված կարճատև համակարգչային շարժանկարում (անիմացիայում) և հայրնի է որպես Բոինգ Մեն կամ Բոիմեն:

Computer graphics - is a vast and recent area in computer science. The term refers to computer-generated image data, created with help of specialized graphical hardware and software. It is also used for processing image data received from the physical world. Such images may be stored for viewing later.

**3D graphics or three-dimensional graphics** is a sphere of computer graphics. It is a set of techniques and tools allowing creating three-dimensional objects in a space. It differs from the two-dimensional images by the creation of a geometrical projection of a three-dimensional model of the scene.

**3D modeling or three-dimensional modeling** is the process of developing a mathematical representation of any surface of an object in three dimensions via specialized software.

The product is called a **3D model** either inanimate or living, existent or abstract. A 3D model is the mathematical representation of any three-dimensional object. The model can also be physically created using 3D printing devices.

**3D Rendering** is the final process of creating the actual 2D image or animation from the prepared scene (for example - on a display).

This can be compared to taking a photo. Just like a camera needs film onto which the scene is projected and recorded.

Համակարգչային գրաֆիկան՝ համակարգչային գիտության ընդարձակ և նոր ոլորտ է: Համակարգչի և հատուկ ծրագրային ապահովումը օգտագործելով որպես գործիքներ, այն՝ սինթեզում և մշակում է պատկերներ, ինչպես նաև, թվայնացնում է իրական աշխարհից վերցրած տեսապատկերները, նրանց պահպանման և հետագա օգտագործման համար:

**3D գրաֆիկան կամ եռաչափ գրաֆիկան՝** համակարգչային գրաֆիկայի բաժին է: Այն տարբեր մեթոդների և գործիքների հավաքածու է, որը թույլ է տալիս տարածության մեջ կառուցել ծավալային մարմիններ: Ի տարբերություն երկչափ գրաֆիկայի, այս դեպքում պատկերը հանդիսանում է տեսարանի եռաչափ մոդելի երկրաչափական պրոյեկցիան հարթության վրա:

**3D մոդելավորումը կամ եռաչափ մոդելավորումը՝** դա, համակարգչային հատուկ ծրագրերի միջոցով, եռաչափ տարածության մեջ, մարմնի մակերևույթները մաթեմատիկորեն ներկայացնելու պրոցես (գործընթաց) է:

Արդյունքում ստացվում է **3D մոդել (եռաչափ մոդել)**: Այն կարող է լինել շարժական կամ անշարժ, իրական կամ վերացական (աբստրակտ): 3D մոդելը՝ եռաչափ առարկայի մաթեմատիկական ներկայացումն է: Այն կարելի է ֆիզիկապես կառուցել եռաչափ տպիչի օգնությամբ (3D printer):

**Եռաչափ տեսայնացումը (3D rendering)**՝ եռաչափ մոդելը կամ տեսարանը վերածում է պատկերի կամ շարժանկարի՝ երկչափ հարթության վրա (օրինակ՝ դիսփլեյի վրա):

Այս պրոցեսը նման է տեսախցիկով լուսանկարելուն, երբ նկարվող եռաչափ տեսարանը արտապատկերվում և գրանցվում է ֆոտոժապավենի վրա:

**Shading** is used in drawing for depicting levels of darkness on paper by applying media more densely for darker areas, and less densely for lighter areas. Helps when creating the illusion of depth on paper.

In computer graphics, shading refers to the process of altering the color of an object/surface/polygon in the 3D scene, based on things like (but not limited to) the surface's angle to lights, its distance from lights, its angle to the camera and material properties (e.g. bidirectional reflectance distribution function) to create a photorealistic effect. Shading is performed during the rendering process by a program called shader (Figure 4).

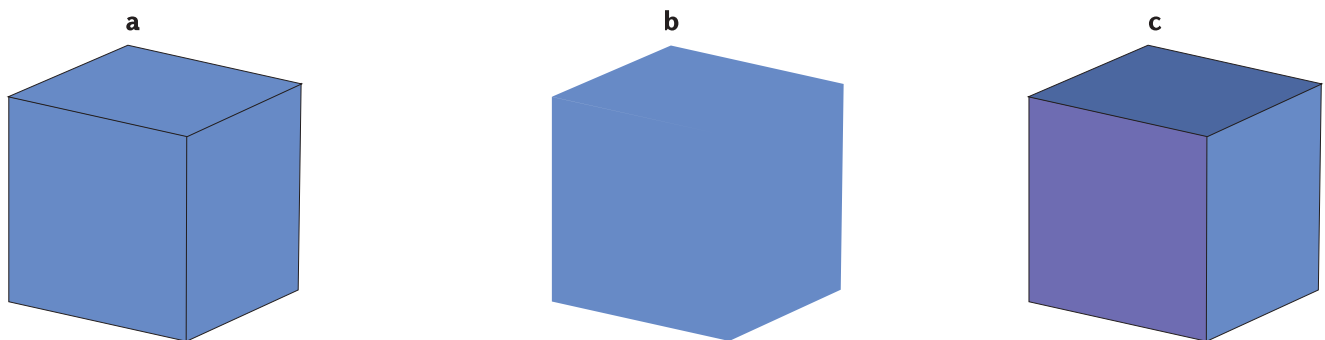
**Ստվերարկում** (shading, անգլերեն shadow՝ ստվեր) տերմինը փոխառվել է նկարչական գրաֆիկայից, երբ պատկերի վրա խիտ և նոսր գծեր նկարելով, պատկերվում են տեսարանի մութ և լուսավոր մասերը, նկարին հաղորդելով տարածականության պատրանք:

Համակարգչային գրաֆիկայում ստվերարկումը օգտագործվում է 3D տեսարանի առարկաների/մակերևույթների բազմանկյունների գույնի երանգը և հագեցվածությունը ճիշտ վերարտադրելու համար: Այդ նպատակով, ծրագիրը հաշվի է առնում մակերևույթի հեռավորությունը և անկյունը լույսի աղբյուրի և տեսախցիկի նկատմամբ, մակերևույթի նյութի հատկությունները լույսի անդրադարձման առումով: Վերջնական նպատակը՝ պատկերին լուսանկարչական հավաստիություն հաղորդելն է: Ստվերարկումը արվում է տեսայնացման ընթացքում՝ շեյդեր (shader) կոչվող ծրագրի միջոցով (Նկար 4):

**Figure 4.** Rendering example - without shading (a, b) and with shading applied (c).

- a. Faces of the box rendered, but all in the same color. Edge lines have been rendered here as well which makes the image easier to see.  
b. The second image is the same model rendered without edge lines. It is difficult to tell where one face of the box ends and the next begins.  
c. The third image has shading enabled, which makes the image more realistic and makes it easier to see which face is which.

Source/Աղբյուր՝ <https://en.wikipedia.org/wiki/Shading>



ա. Տուփի մակերևույթները պատկերված են նույն գույնով: Տեսայնացված են նաև կողագծերը, ինչը հեշտացնում է պատկերի ընկալումը:

բ. Նույն տուփը պատկերված է առանց կողագծերի: Այսպես դժվար է մակերևույթները զատել միմյանցից:

գ. Այսպես օգտագործվել է ստվերարկումը, որը տալիս է պատկերին ավելի իրական տեսք և մակերևույթների դիրքին տարբերակում:

**Նկար 4.** Տեսայնացման օրինակ՝ առանց ստվերարկման (ա, բ) և ստվերարկման կիրառմամբ (գ):

The **image plane** is that plane in the world which is identified with the plane of the monitor. It is also referred to as **screen space**. Following this camera analogy, the surface of the film is the **image plane**.

A rectangular region of this plane, called the **viewing window** or **viewport**, maps to the monitor.

This establishes the mapping between pixels on the monitor and points (or rather, rays) in the 3D world.

**Պատկերի հարթությունը (image plane)**՝ դա այն հարթությունն է տարածություն մեջ, որը նույնացվում է դիսփլեյի հարթության հետ: Այն, նաև, կոչվում է **էկրանի հարթություն (screen space)**: Եթե շարունակենք համեմատությունը տեսախցիկի հետ, ապա ֆոտոժապավենը **պատկերի հարթություն** է:

Այդ հարթության վրա ուղղանկյուն տարածությունը կոչվում է **տեսապատուհան**, որը «կապվում է» դիսփլեյի հետ:

Սրանով համապատասխանություն է հաստատվում դիսփլեյի փիքսելների և իրական եռաչափ տարածքի կետերի (կամ ճառագայթների) միջև:

In real life, after a light source emits photons, they travel, and eventually reach a surface. Following geometrical optics and other physical phenomena can occur with a photon (Figure 5), see also Chapter 1.

1. **Absorption** – surface absorb part of the initial radiant energy – some percentage of photons are absorbed.
2. **Reflection** – reflection of the photons in a direction:
  - **diffuse** – if the reflection is the same at all directions (in general non-uniform)
  - **specular (mirror)** – if the reflection is in one direction
  - **glossy** – if the reflection is in all directions, but is not uniform.
3. **Refraction** – if the surface is transparent or translucent, it refracts some portion of photons into the bulk in a different direction, can also scatter inside, if the surface is irregular.
4. **Fluorescence** – a surface may absorb some portion of the photons and re-emit less energetic (longer wavelength color) in certain, mostly scatter type directions. This is a rare phenomenon; it is relatively weak and can be a subject for special software. Usually it is not included in the main course design software.

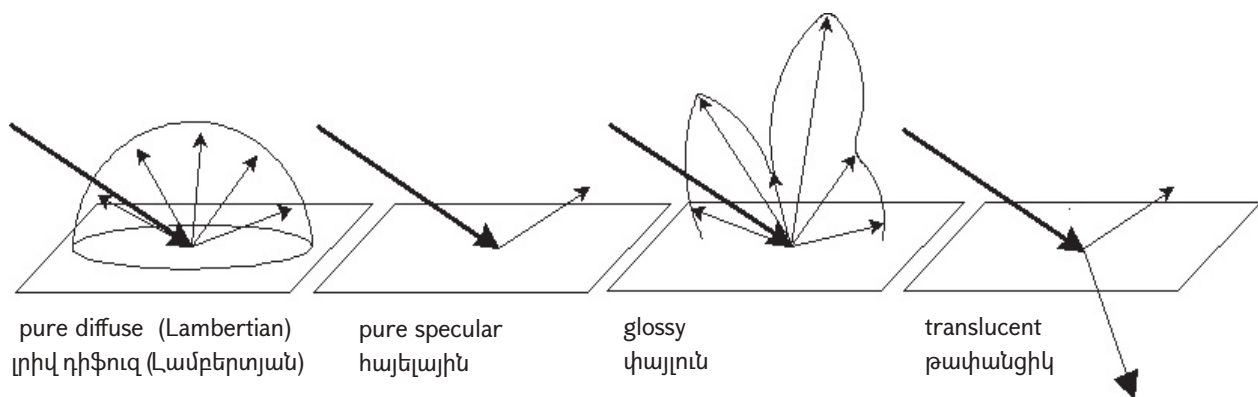
Necessary to mention that any interaction includes both absorption and reflection, intensity depending on the absorption and reflection coefficients of the materials making the surface interface.

Իրական կյանքում, երբ լույսի աղբյուրն արձակում է ֆոտոնների հոսք (ճառագայթ), դրանք տարածվում են այնքան ժամանակ, մինչև հանդիպում են որևէ արգելքի (մակերևույթի): Երկրաչափական օպտիկայի և այլ ֆիզիկական երևույթների համաձայն՝ ֆոտոնների հետ կարող է տեղի ունենալ (Նկար 5), տես նաև Գլուխ 1.

1. **կլանում**՝ մակերևույթը կլանում է նախնական ճառագայթային էներգիայի մի մասը, այսինքն ֆոտոնների որոշ տոկոս կլանվում է,
2. **անդրադարձում**՝ ֆոտոնների անդրադարձում մակերևույթից.
  - **դիֆուզ**՝ երբ անդրադարձումը բոլոր ուղղություններով հավասարաչափ է
  - **հայելային**՝ երբ անդրադարձում է մեկ ուղղությամբ
  - **փայլուն**՝ երբ անդրադարձումը բոլոր ուղղություններով է, բայց անհավասարաչափ
3. **բեկում**՝ եթե մակերևույթը լուսաթափանց է, ֆոտոնների որոշ մասը թափանցում է նյութի մեջ՝ փոխելով իրենց ընթացքի ուղղությունը, կարող է ցրվել դեպի ներս, եթե մակերևույթը խորդուբորդ է,
4. **ֆլուորեսցենցիա**՝ մակերևույթը կարող է կլանել ֆոտոնների որոշ մասը և կրկին արձակել պակաս էներգիայով (ավելի երկարալիք գույն)՝ որոշակի, առավելապես ցրված ուղղություններով: Ֆլուորեսցենցիան՝ հազվագյուտ երևույթ է, համեմատաբար թույլ է և ուսումնասիրվում է հատուկ ծրագրերով: Այն չի ընդգրկվում լուսավորության մոդելավորման տարածված ալգորիթմերում:

Հարկ է նշել, որ ցանկացած փոխազդեցության ժամանակ միշտ առկա են և՛ կլանումը, և՛ անդրադարձումը, որոնց չափը որոշվում է տվյալ նյութի անդրադարձման և կլանման գործակիցներով:

Figure 5. Types of reflection from different surfaces.



Նկար 5. Անդրադարձումը տարբեր մակերևույթներից:

Reflected/transmitted light then goes on bouncing around the scene until it eventually gets entirely absorbed. At any given moment, most of the light you're seeing is the result of a single bounce.

That's why we can get away with using single bounce models and still get decent images. However, additional bounces add lots of detail. There's a bunch of techniques that try to approximate them.

The following are the algorithms or their combination that are most commonly used in the illumination modeling software:

- raytracing algorithms,
- radiosity (luminance) algorithms,
- photon mapping.

An illustration of the basic principles of three main algorithms is given in Figure 6.

Անդրադարձած/թափանցած լույսը շարունակում է տարածվել՝ փոխազդելով այլ մակերևույթների հետ մինչև վերջնականապես կլանվելը: Ցանկացած պահին, լույսի հիմնական մասը, որը մենք ընկալում ենք՝ դա մեկ փոխազդեցության արդյունք է:

Այդ պատճառով, մենք կարող ենք սահմանափակվել նույնիսկ մեկ փոխազդեցության մոդելով՝ ստանալով բավարար որակի պատկերներ: Ինչնից, հետագա փոխազդեցությունները բազում մանրամասեր են ավելացնում պատկերին:

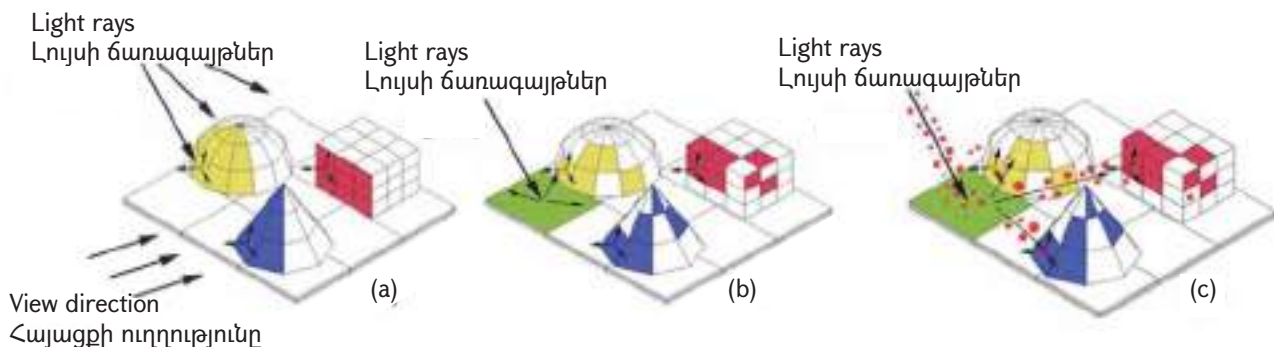
Այս արոցեսները մոտարկելու (հաշվարկը հեշտացնելու գիտական մեթոդ, որը կայանում է սկզբնական օբյեկտները ավելի պարզ նմանակներով փոխարինելու մեջ) համար մշակվել են մի շարք մեթոդներ (ալգորիթմեր):

Լուսավորության մոդելավորման համակարգչային ծրագրերում լայն կիրառում են ստացել հետևյալ ալգորիթմերը կամ դրանց համադրությունը՝

- ճառագայթի հետագծում,
- ետճառագայթում կամ ճառագայթողականություն,
- ֆոտոնների քարտեզագրում:

Նկար 6-ը սխեմատիկ պատկերում է այս երեք ալգորիթմերի հիմունքները:

**Figure 6.** Principles of three commonly used lighting simulation algorithms: (a) raytracing, (b) radiosity, (c) photon map.



**Նկար 6.** Երեք ալգորիթմերի հիմունքների սխեմատիկ պատկերումը. (a) ճառագայթի հետագծում, (b) ետճառագայթում, (c) ֆոտոնների քարտեզ:

This three algorithms are part of more entire group of algorithms called “Global Illumination, GI”.

Such algorithms are meant to add more realistic lighting to 3D scenes, as they take into account not only the light that comes directly from a light source (**direct illumination**), but also subsequent cases in which light rays from the same source are reflected by other surfaces in the scene (**indirect illumination**), Figure 7.

Այս երեք ալգորիթմերը պատկանում են «գլոբալ լուսավորության» (Global Illumination, GI) ալգորիթմերի ընտանիքին:

Այս տիպի ալգորիթմերն ավելի իրական են վերարտադրում եռաչափ տեսարանի լուսավորվածությունը, քանի որ հաշվի են առնում ոչ միայն լույսի աղբյուրից անմիջապես առարկայի վրա ընկած լույսի ճառագայթները (**ուղղակի լուսավորություն**), այլև, նույն աղբյուրից եկած ճառագայթների անդրադարձումները տեսարանի այլ առարկաների մակերևույթներից (**անուղղակի լուսավորություն**), Նկար 7:

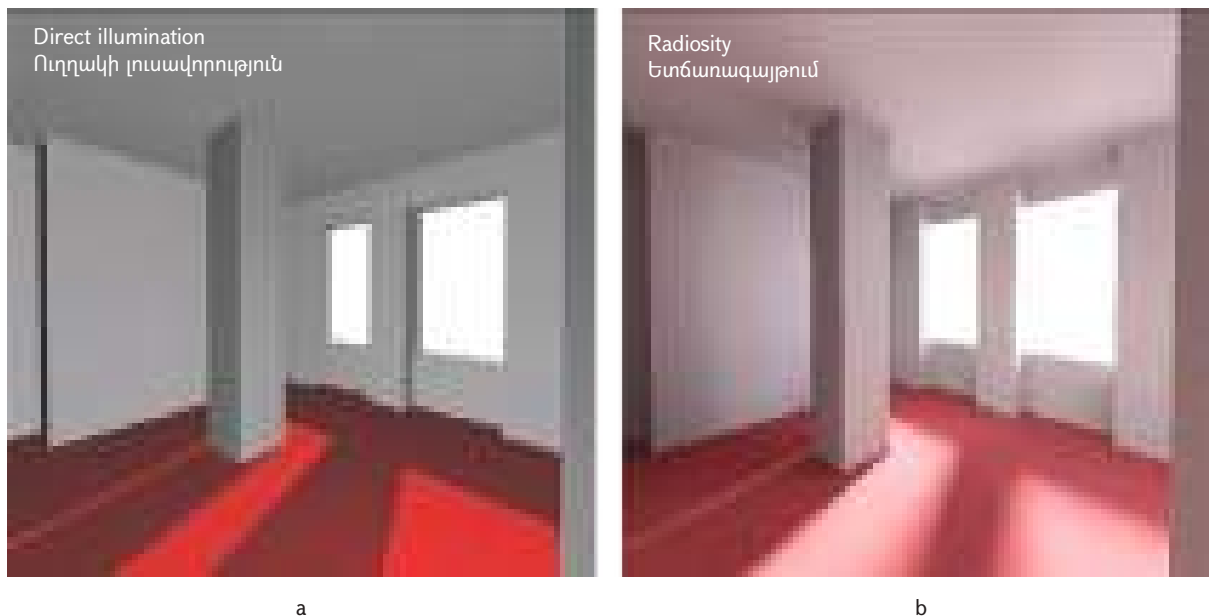
Reflections, refractions and shadows are all examples of *global illumination*, because when simulated, one object affects the rendering of another (Figure 8).

Անդրադարձումները, բեկումները և ստվերները՝ գլոբալ լուսավորության օրինակներ են, որովհետև նմանակման ընթացքում առարկաներն ազդում են միմյանց տեսայնացման վրա (Նկար 8):

**Figure 7.** Difference between standard direct illumination without shadow umbra, and radiosity with shadow umbra.

- a. *Direct Lighting.* The image on the left was rendered with a typical direct illumination renderer. Here are three types of lighting in this scene which have been specifically chosen and placed in an attempt to create realistic lighting: spot lighting with shadows (placed outside the window to create the light shining on the floor), ambient lighting (without which any part of the room not lit directly by a light source would be totally dark), and omnidirectional lighting without shadows (to reduce the flatness of the ambient lighting)
- b. *Indirect Lighting.* The image on the right was rendered using a radiosity algorithm. There is only one source of light: an image of the sky placed outside the window. The difference is marked. The room glows with light. Soft shadows are visible on the floor, and subtle lighting effects are noticeable around the room. Furthermore, the red color from the carpet has bled onto the grey walls, giving them a slightly warm appearance.

Source/Աղբյուր՝ [https://en.wikipedia.org/wiki/Radiosity\\_\(computer\\_graphics\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Radiosity_(computer_graphics))



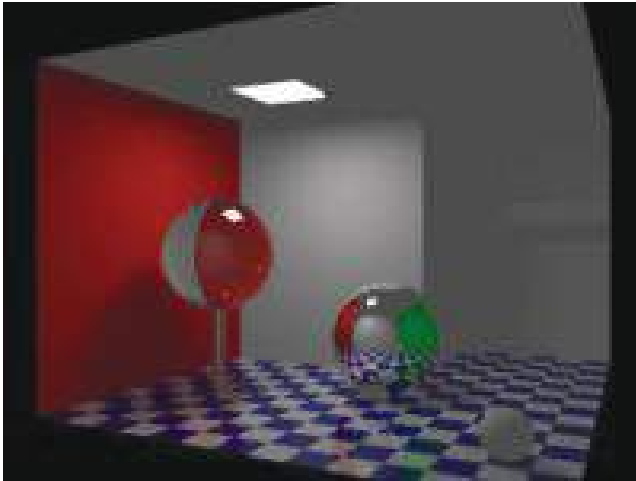
- a ուղղակի լուսավորություն. ծախ կողմի պատկերը տեսայնացված է սովորական ուղղակի լուսավորության մեթոդով: Այստեղ օգտագործվել են երեք տիպի լույսի աղբյուրներ՝ հատուկ ընտրված և տեղադրված այնպես, որպեսզի տեսարանի լուսավորությունը նման լինի իրականին. կեփային լույսի աղբյուր (տեղադրված է պատուհանից դուրս, հատակի վրա ընկնող պայծառ լույսը կառուցելու համար). փարածական (ցրված) լույսի աղբյուր (ստանց որի, սենյակի «ուղղակի» չլուսավորված ցանկացած մաս կլինի ամբողջովին մութ), և համակողմանի լույսի աղբյուր (փարածական լուսավորությունը ավելի «ծավալուն» դարձնելու նպատակով)
- b անուղղակի լուսավորություն. աջ կողմի պատկերը տեսայնացվել է երճառագայթման ալգորիթմի օգտագործմամբ: Այստեղ միայն մեկ լույսի աղբյուր է՝ երկնքի պատկերը, որը տեղադրված է պատուհանից դուրս: Տարբերությունը նկատելի է: Սենյակի լույսը շողում է: Հատակին երևում են մեղմ ստվերները, իսկ շուրջը շուրջը նկատվում են լուսային նուրբ էֆեկտներ: Գորգի կարմիր գույնը երանգավորում է մոխրագույն պատերը՝ հաղորդելով նրանց ավելի ջերմ տեսք:

**Նկար 7.** Տարբերությունը՝ կարուկ ստվերով ուղղակի լուսավորության և մեղմ ստվերով երճառագայթման միջև:

Figure 8. Rendering a) without global and b) with global illumination.

- a Rendering without global illumination. Areas that lie outside of the ceiling lamp's direct light lack definition. For example, the lamp's housing appears completely uniform. Without the ambient light added into the render, it would appear uniformly black.
- b Rendering with global illumination. Light is reflected by surfaces, and colored light transfers from one surface to another. Notice how color from the red wall and green wall (not visible) reflects onto other surfaces in the scene. Also notable is the caustic projected onto the red wall from light passing through the glass sphere.

Source/Աղբյուրը՝ [https://en.wikipedia.org/wiki/Global\\_illumination](https://en.wikipedia.org/wiki/Global_illumination) .



a



b

- a Վերարտադրում՝ ոչ գլոբալ (ուղղակի) լուսավորության միջոցով: Այն տարածքները, որոնք չեն լուսավորված անմիջապես լույսի աղբյուրից ընկնող ուղիղ ճառագայթներով՝ մնում են անորոշ: Օրինակ՝ լուսամուկի պատյանը գերծ է մանրամասներից, և եթե տարածքին չավելացվեր ընդհանուր լուսավորության ևս մեկ աղբյուր, ապա այն կերևար ամբողջովին սև:
- b Վերարտադրում՝ գլոբալ (անուղղակի) լուսավորության միջոցով: Նկատել, թե ինչպես են կարմիր և կանաչ (դիտողի կողմից է և չի երևում) պատերից անդրադարձած լույսի ճառագայթները գունավորում տեսարանի մյուս մակերևույթները: Բեկման երևույթի լավ օրինակ են ծառայում հատակի և կարմիր պատի վրա երևացող լուսավոր պատկերները, որոնք առաջացել են ապակյա գնդի միջով լույսի բեկված-անցած ճառագայթների շնորհիվ: Այս երևույթը կոչվում է «կաուստիկա» և մենք դեռ կանդրադառնանք դրան:

Նկար 8. Տեսայնացում՝ a) ոչ գլոբալ և b) գլոբալ լուսավորության միջոցով:

## Ray Tracing Algorithm

First ray tracing algorithm used for rendering was presented by Arthur Appel in 1968.

This algorithm consider light as rays and implement the laws of geometrical optics.

Propagation of light in nature is just a countless number of rays emitted from light sources that bounce around until they hit the surface of our eye.

Ray tracing is, therefore, elegant in the way that it is based directly on what actually happens around us, apart from the fact that it follows the path of light in the reverse order. That's why this technique is called **backwards ray tracing** (Figure 9-a).

If we trace the ray from light source towards the eye (or camera), many more will probably never hit the eye at all (Figure 9-b). For all the rays that never reach the eye, the effort tracing them was wasted.

## Ճառագայթի հետագծման ալգորիթմ

1968թ-ին Արթուր Ապպելը ներկայացրեց ճառագայթի հետագծման առաջին ալգորիթմը, որն օգտագործվեց տեսարանը վերարտադրելու (rendering) համար:

Այս ալգորիթմը դիտարկում է լույսը որպես ճառագայթներ և կիրառում է երկրաչափական օպտիկայի օրենքները:

Բնության մեջ, լուսի աղբյուրից տարածվող ճառագայթները մինչև աչքին հասնելն անգամ անդրադառնում են շրջակա միջավայրից:

Ճառագայթի հետագծման ալգորիթմը շահեկան է այն առումով, որ ճշգրտորեն կրկնում է երևույթի բնական ընթացքը: Միակ տարբերությունը կայանում է նրանում, որ ճառագայթի հետագծումը կատարվում է հակառակ հերթականությամբ՝ աչքից դեպի լույսի աղբյուրը: Այդ պատճառով այս մեթոդը կոչվում է **ճառագայթի հետադարձ հետագծում** (Նկար 9-ա):

Եթե ճառագայթները հետագծենք լույսի աղբյուրից դեպի աչքը (կամ տեսախցիկը), ապա կլինեն բազմաթիվ ճառագայթներ, որոնք ընդհանրապես չեն հասնի աչքին և դրանց հետագծմանն ուղղված ճիգերը կլինեն ապարդյուն (Նկար 9-բ):

Figure 9. a) Backwards ray tracing; b) Forward ray tracing

Source/Աղբյուր՝ «Ray Tracing: Graphics for the Masses» by Paul Rademacher



Նկար 9. ա) ճառագայթի հետադարձ հետազոծում; բ) ճառագայթի ուղիղ հետազոծում

## Algorithm overview

Consider already modeled and illuminated 3D scene. First of all, we must decide the view point towards the scene (the reason, why the ray tracing algorithm is called **view dependant**). After that, algorithm locate a virtual camera in the view point. The display will be our *image plane*.

If you want to create an image at the resolution of 640x400, then the view window would break up into a grid of 640 squares across and 400 square down.

Each square in *image plane* corresponds to one pixel in the final image.

The ray-tracing algorithm takes an image made of pixels.

The pixels on the *image plane* are represented by squares (Figure 10).

For each pixel in the image, it shoots a primary ray into the scene. The direction of that primary ray is obtained by tracing a line from the camera to the center of that pixel (the red ray in Figure 10).

## Ալգորիթմի համառոտ նկարագրություն

Դիտարկենք մոդելավորված և լուսավորված եռաչափ տեսարան: Նախ ընտրվում է այն դիրքը, որից մենք ուզում ենք դիտել տեսարանը, այսինքն՝ դիտարկետը (դա է պատճառը, որ ճառագայթի հետազոծման ալգորիթմը կոչվում է **դիտարկետից կախված**): Հաջորդ քայլին ալգորիթմը դիտարկետում տեղադրում է վերացական տեսախցիկ, իսկ որպես *պատկերի հարթություն* հանդես է գալիս դիսփլեյը:

Եթե ցանկանում եք ստանալ նկար՝ 640x400 լուծողունակությամբ, ապա պատկերի պատուհանը կունենա 400 տող և ամեն տողում՝ 640 վանդակ:

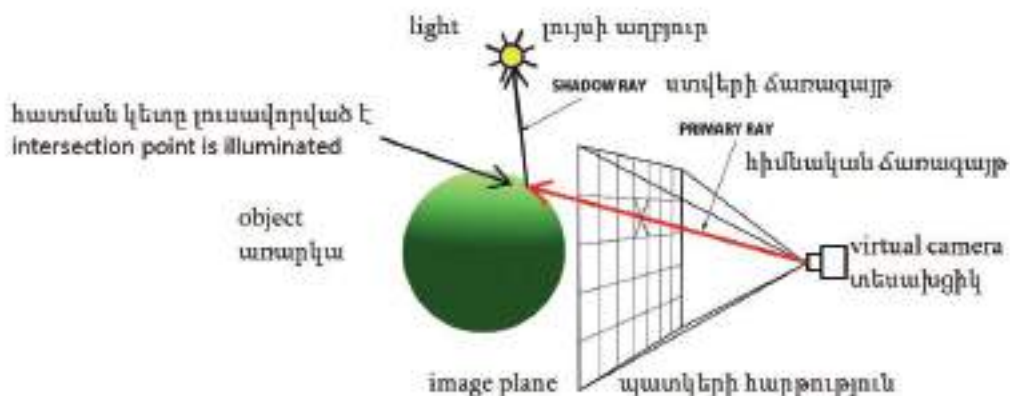
Պատկերի *հարթության* յուրաքանչյուր վանդակ համապատասխանում է վերջնական նկարի մեկ փիքսելին:

Ճառագայթի հետազոծման ալգորիթմը կառուցում է փիքսելներից կազմված պատկեր:

Պատկերի *հարթության* վրա փիքսելները ներկայացված են որպես քառակուսիներ (Նկար 10):

Պատկերի յուրաքանչյուր փիքսելի համար ուղարկվում է *հիմնական* ճառագայթ: Երբ *հիմնական* ճառագայթը սկիզբ առնելով տեսախցիկից, անցնում է փիքսելի կենտրոնով, ապա դրանով իսկ որոշվում է նրա ուղղությունը: (Նկար 10-ում *հիմնական* ճառագայթը պատկերված է կարմիր գույնով):

Figure 10. Operation principle of ray-tracing algorithm.

Source/Աղբյուր՝ <https://www.scratchapixel.com/lessons/3d-basic-rendering>

Նկար 10. Ճառագայթի հետազոծման ալգորիթմի աշխատանքի սկզբունքը:

Once we have that primary ray's direction set, we check every object of the scene to see if it intersects with any of them.

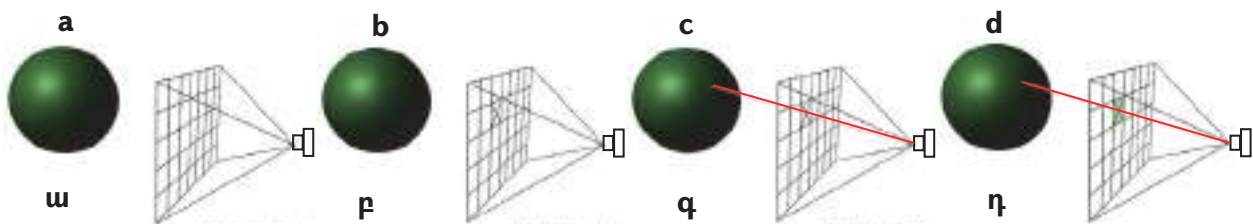
If ray intersect object, the algorithm will estimate the color of the object at these intersection point and assign this color to the corresponding pixel (Figure 11. a,b,c,d).

Ունենալով *հիմնական* ճառագայթի ուղղությունը՝ հաջորդ քայլով ստուգվում են տեսարանի բոլոր առարկաները, պարզելու համար, արդյոք ճառագայթը հատվել է դրանցից որևէ մեկի հետ:

Եթե ճառագայթը հատվում է որևէ առարկայի հետ, ապա ալգորիթմը որոշում է հատման կետի գույնը և վերագրում այդ գույնը համապատասխան փիքսելին (Նկար 11. ա,բ,գ,դ):

**Figure 11.** The first stage of backward ray-tracing: a) image plane, b) a pixel, c) tracing ray is sent from the camera through the center of the given pixel towards the scene, d) the ray intersects with an object from the scene: the color of the pixel the ray is passing through is set with the color of the object at this intersection point.

Source/Աղբյուրը՝ <https://www.scratchapixel.com/lessons/3d-basic-rendering>



**Նկար 11.** Ճառագայթի հետագծման ալգորիթմի առաջին փուլ. ա) պարկերի հարթություն, բ) ընտրված փիքսել, գ) տեսախցիկից ուղարկված հիմնական ճառագայթ, որն անցնում է այդ փիքսելի կենտրոնով և շարունակվում դեպի տեսարանը, դ) ճառագայթը հատվում է տեսարանի առարկայի հետ. առարկայի և ճառագայթի հատման կետի գույնը վերագրվում է այն փիքսելին, որի կենտրոնով անցել է ճառագայթը:

In some cases, the *primary* ray will intersect more than one object.

When that happens, we select the object whose intersection point is the closest to the camera. We then shoot a *shadow* ray from the intersection point to the light (Figure 10).

If this particular ray does not intersect an object on its way to the light, the algorithm will estimate the incoming light at the point of intersection (Figure 10).

If it does intersect with another object, that object casts a shadow on it (Figure 12).

Որոշ դեպքերում, *հիմնական* ճառագայթը կարող է հատվել մեկից ավելի առարկաների հետ:

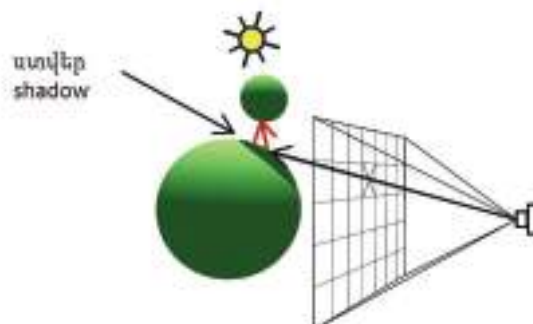
Երբ դա տեղի է ունենում, ապա ընտրվում է այն առարկան, որի հետ ճառագայթի հատման կետը ամենամոտն է տեսախցիկին, և այդ կետից դեպի լույսի աղբյուրն ուղարկվում է *ստվերի* ճառագայթը (Նկար 10):

Եթե *ստվերի* ճառագայթը՝ դեպի լույսը տարածվելու ճանապարհին այլևս չի հատվում որևէ առարկայի հետ, ապա ալգորիթմը հաշվարկում է հատման կետի լուսավորվածությունը (Նկար 10):

Եթե այն հատվում է որևէ առարկայի հետ, ապա այդ առարկան ստվեր է առաջացնում առաջին հատման կետում (Նկար 12):

**Figure 12.** Casting of the shadow.

Source/Աղբյուրը՝ <https://www.scratchapixel.com/lessons/3d-basic-rendering>



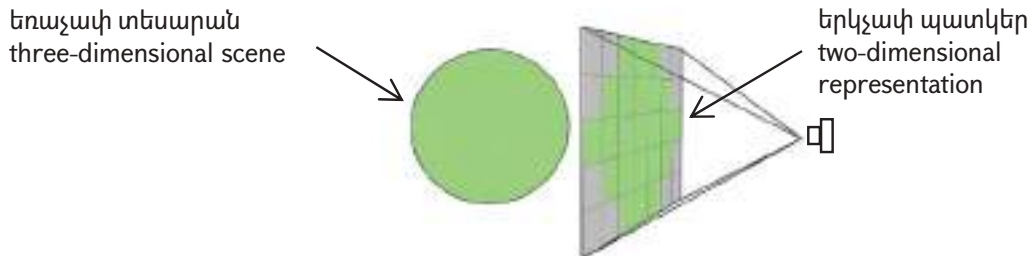
**Նկար 12.** Ստվերի կառուցումը:

If the algorithm repeat this operation for every pixel, we obtain a two-dimensional representation of our three-dimensional scene (no shadow in Figure 13).

Եթե այդպիսով կրկնի այս գործողությունը մնացած բոլոր փիքսելների համար, ապա կստանանք եռաչափ տեսարանի երկչափ պատկերը (Նկար 13-ում ստվերը ցույց չի տրված):

**Figure 13.** The two-dimensional representation of a three-dimensional scene

Source/Աղբյուրը՝ <https://www.scratchapixel.com/lessons/3d-basic-rendering>



**Նկար 13.** Եռաչափ տեսարանի արտապատկերումը երկչափ հարթության վրա:

We can make the distinction between *primary* rays (the first rays cast into the scene which have for origin the camera) and *secondary* rays originating from primary rays at the ray's intersection point (the secondary ray is drawn red in Figure 12).

*Secondary* rays (shadow, diffuse, specular, transmission, etc. rays) are used in shading.

The direction of these secondary rays depends on their type: shadow (we cast a ray in the direction of the light), reflection (we cast a ray in the reflection direction), refraction (we cast a ray in the refraction direction which can be computed using Snell's law), etc.

To summarize, it is important to remember that the rendering routine can be looked at as two separate processes.

One step determines if a point is visible at a particular pixel (an intersection point between primary ray and scene object), the second shades that point.

Unfortunately, both of the two steps require expensive and time consuming ray-geometry intersection tests.

## Rendering time reducing outlook

Since Appel published his paper a lot of research has been done to accelerate the ray-object intersection routines.

The computational independence of each ray makes ray tracing amenable to parallelization, which noticeably reduce calculation time.

Մենք պետք է տարբերենք *հիմնական* ճառագայթները (որոնք սկիզբ են առնում տեսախցիկից) և *երկրորդական* ճառագայթները, որոնց սկզբնակետը *հիմնական* ճառագայթի և առարկայի հատման կետն է (երկրորդական ճառագայթը պատկերված է կարմիր գույնով՝ Նկար 12):

*Երկրորդական* ճառագայթները (ստվերի, դիֆուզիայի, հայելային, թափանցիկության և այլ ճառագայթները) օգտագործվում են *ստվերարկելիս*:

Այս *երկրորդական* ճառագայթների ուղղությունը կախված է դրանց տեսակից. ստվերինը (ճառագայթը արձակվում է լույսի ուղղությամբ), անդրադարձմանը (ճառագայթը արձակվում է անդրադարձման ուղղությամբ), բեկմանը (ճառագայթը արձակվում է բեկման ուղղությամբ, որը որոշվում է ըստ Սնելիուսի օրենքի) և այլն:

Ընդհանրացնելով՝ կարևոր է հիշել, որ տեսայնացման ընթացակարգը կարելի է դիտել որպես երկու առանձին փուլ:

Առաջին փուլ. որոշվում է տվյալ փիքսելի համար կա արդյոք *հիմնական* ճառագայթի և տեսարանի առարկայի փոխհատման կետ, այսինքն՝ երևում է արդյոք այդ կետը տվյալ փիքսելից:

Երկրորդ փուլ. կատարվում է այդ կետի *ստվերարկումը*:

Ցավոք, երկու քայլերն էլ պահանջում են թանկ և ժամանակատար *ճառագայթ-երկրաչափություն* (տեսարան) փոխհատումների ստուգումներ:

## Տեսայնացման ժամանակի կրճատման հեռանկարները

Ապաելի հոդվածի լույս տեսնելուց ի վեր բազում հետազոտություններ են արվել ճառագայթ-առարկա փոխհատումների հաշվարկները արագացնելու ուղղությամբ:

Ճառագայթների հաշվարկման անկախությունը թույլ է տալիս զուգահեռաբար հետազոծել մի քանի ճառագայթ, որը զգալիորեն կրճատում է հաշվարկի ժա-

Apart of that, the implementation of Monte Carlo various methods are under research.

Rendering time depends heavily on the speed of computers.

As Kajiya (one of the most influential researchers of all computer graphics) - once said: “ray tracing is not slow - computers are”.

However, today, with fast computers, we can compute a frame that used to take one hour in a few minutes or less.

### Implementation outlook of ray tracing algorithm

Due to it's high quality rendering ability and simple code, real-time and interactive ray-tracers are a hot topic.

մանակը:

Բացի այդ, հետազոտվում են Մոնթե Կառլոյի տարբեր մեթոդների կիրառությունը:

Տեսայնացման ժամանակը էապես կախված է համակարգիչների արագությունից:

Ինչպես, մի առիթով, նշել է Քաջիյան (համակարգչային գրաֆիկայի ամենահեղինակավոր հետազոտողներից մեկը)՝ «ոչ թե ճառագայթի հետազոտումն է դանդաղ-այլ համակարգիչները»:

Ինչպիսիք՝ նախկինում, մեկ ժամ տևող պատկերի հաշվարկը, այսօր, արագ համակարգիչները կատարում են հաշված րոպեների ընթացքում:

### Ճառագայթի հետազոտման ալգորիթմի օգտագործման հեռանկարները

Տեսայնացման բարձր որակի և պարզ ծրագրային կոդի շնորհիվ մեծ հետաքրքրություն է առաջացնում ինտերակտիվ և իրական ժամանակում աշխատող ճառագայթի հետազոտման ալգորիթմի կիրառման հնարավորությունը:

**Figure 14.** An example of visualisation made by backwards ray tracing. Recreated scene contains specular (the mirror), glossy and transparent surfaces (the vase) and shadows. Notice the sharpness of shadows on the wall typical to ray tracing algorithm.

Source/Աղբյուր՝ “Digital Lighting and Rendering” by Jeremy Birn (2000)



**Նկար 14.** Ճառագայթի հետադարձ հետազոտման ալգորիթմով տեսապատկերման օրինակ: Վերարտադրված տեսարանը պարունակում է հայելային (հայելի), փայլուն և թափանցիկ (ծաղկաման) մակերևույթներ և շողքեր: Ուշադրություն դարձրեք ճառագայթի հետազոտման մեթոդին բնորոշ պատի վրայի կտրուկ ստվերներին:

### References / Հղումներ

1. <https://en.wikipedia.org/wiki>
2. «Ray Tracing: Graphics for the Masses» by Paul Rademacher
3. “Global Illumination. Shading 6:” Christian Miller, CS 354 - UT Computer Science: [https://www.cs.utexas.edu/~ckm/teaching/cs354\\_f11/lectures/Lecture18.pdf](https://www.cs.utexas.edu/~ckm/teaching/cs354_f11/lectures/Lecture18.pdf)
4. <https://www.scratchapixel.com/>
5. <https://www.khanacademy.org/partner-content/pixar>

## Radiosity Algorithm

Radiosity methods were first developed (in about 1950) in the engineering field of heat transfer.

They were later refined specifically for the problem of rendering computer graphics and were presented in 1984 by Cornell and Hiroshima Universities.

### Overview of the radiosity algorithm

Imagine a closed 3D world, perhaps the interior of a room with furniture and other objects, illuminated by several light panels.

The surfaces of the scene to be rendered are each divided into smaller surfaces (patches). The algorithm considers every element of the room as an emitter (if it is a light source), absorber and reflector.

In order to simplify the radiosity computation for a given scene, the following assumptions are made:

- The surfaces of patches are pure diffuse (Lambertian) - the light is scattering uniformly in all directions.
- The 3D scene is in a state of energy equilibrium in the sense that for any surface (other than the light sources) the amount of energy reaching it is equal to the amount absorbed plus the amount re-radiated.

**Definition:** the light energy leaving per time and per area is called its **radiosity**.

A given surface  $i$  is potentially illuminated by every other surface in the scene.

This re-radiated light becomes a fraction of the light reaching the other surfaces in the scene.

It is made up of two components: the light reaching it from other surfaces and scattered by it; the light which it generates directly, if it is a light source.

The reflectivity of the surface tells us what proportion of the first component it scatters.

In order to understand, how to calculate the radiosity at any point on the surface of the modeled scene, we will need the following terminology (Figure 15):

- $A_i$  and  $A_j$  - are areas of the patches  $i$  and  $j$  respectively

## Ետճառագայթման (ճառագայթողականության) ալգորիթմ

Ի սկզբանե ճառագայթողականության մեթոդները ուսումնասիրվել և մշակվել են (մոտավորապես 1950թ.) մակերևույթների միջև ջերմափոխանակության հաշվարկների համար:

Հետագայում, դրանք հատուկ լրամշակվեցին համակարգչային գրաֆիկայի տեսայնացման խնդրի համար, և ներկայացվեցին Քորնելի և Հիրոշիմայի համալսարանների մասնագետների կողմից 1984թ.:

### Ետճառագայթման ալգորիթմի համառոտ նկարագրությունը

Պատկերացրեք մեկուսացված եռաչափ տեսարան, օրինակ՝ կահավորված սենյակ լուսավորված մի քանի կանթեղներով:

Տեսայնացմանը ենթակա տեսարանի մակերևույթներից յուրաքանչյուրը բաժանվում է ավելի փոքր տիրույթների՝ փեթքերի (patches), որոնցից յուրաքանչյուրին վերագրվում է լույսը ճառագայթելու (եթե դա լույսի աղբյուր է), կլանելու և անդրադարձնելու հատկություն:

Տվյալ տեսարանի *ետճառագայթման* հաշվարկը պարզեցնելու նպատակով արվում են հետևյալ ենթադրությունները.

- Բոլոր փեթքերի մակերևույթները լրիվ դիֆուզ են (Լամբերտյան են)՝ լույսը մակերևույթներից ցրվում է բոլոր ուղղություններով հավասարաչափ:
- Եռաչափ տեսարանը գտնվում է էներգետիկ հավասարակշռության մեջ, այն իմաստով, որ ցանկացած մակերևույթի վրա (բացի լույսի աղբյուրներից) ընկած լուսային էներգիան հավասար է նրա կողմից կլանված և վերաճառագայթած (անդրադարձած) էներգիաների գումարին:

**Սահմանում.** միավոր ժամանակի ընթացքում միավոր մակերեսից արձակված լուսային էներգիան կոչվում է **ետճառագայթում (radiosity)**:

Ենթադրվում է, որ տվյալ  $i$  փեթքի մակերևույթը կարող է լուսավորվել տեսարանի մնացած բոլոր մակերևույթների կողմից:

$i$  փեթքի վերաճառագայթած լույսը ցրվում է կազմելով տեսարանի մնացած մակերևույթներին հասնող լույսի մի մասը:

Այն բաղկացած է երկու բաղադրիչներից. առաջինը՝ դա այն լույսն է, որը հասել է այդ մակերևույթին մնացածներից և վերաճառագայթվել (ցրվել), մյուսը՝ դա լույսն է, որը ճառագայթում է հենց ինքը մակերևույթը, եթե այն լույսի աղբյուր է:

Վերաճառագայթված լույսի չափը կախված է մակերևույթի անդրադարձելիությունից (բնութագրվում է անդրադարձման գործակցով):

Որպեսզի հասկանանք, թե ինչպես հաշվարկել ետճառագայթումը մոդելավորված տեսարանի մակերևույթի ցանկացած կետում՝ պարզենք հետևյալ նշանակումների իմաստը (Նկար 15).

- $A_i$  և  $A_j$  - համապատասխանաբար  $i$  և  $j$  փեթքերի մակերեսներն են

- $B_i$  and  $B_j$  - are radiosities of the patches  $i$  and  $j$  respectively (informally, the radiosity of a patch is a measure for its brightness, so  $B$  stands for brightness)
- $E_i$  - is the generated energy per unit area per unit time from patch  $i$  (light source only)
- $R_i$  - is the reflection coefficient: determines the fraction of the incident energy that is reflected from patch  $i$
- $F_{ij}$  - a unitless coefficient. it is the fraction of the energy which leaves patch  $j$  and reaches patch  $i$ , called the form factor.

We first ask, how much energy do the other patches radiate towards patch  $i$ ?

Let's consider some other patch  $j$ , in particular an infinitesimal  $dA_j$  area on it's  $A_j$  surface (Figure 15).

Then the emitted energy from  $dA_j$  will be equal to  $B_j \cdot dA_j$ .

$F_{ij}$  - determines the fraction of the energy which reaches patch  $i$  -  $F_{ij} \cdot B_j \cdot dA_j$ .

This is the amount arriving from a single infinitesimal  $dA_j$  area of patch  $j$ , so the total reaching patch  $i$  from all patches  $j$ :

$$\int F_{ij} \cdot B_j \cdot dA_j$$

Some proportion of this energy is absorbed and the rest is scattered, so the amount scattered from patch  $i$  is:

$$R_i \cdot \int F_{ij} \cdot B_j \cdot dA_j$$

Patch  $i$  might be a light source, in which case it will also be generating light, so in general then the energy leaving patch  $i$  is:

Equation 2-1

$$B_i \cdot dA_i = E_i \cdot dA_i + R_i \cdot \int F_{ij} \cdot B_j \cdot dA_j$$

This is the **radiosity equation** (Equation 2-1).

It expresses the complete light interchange between every surface in the model.

The non-zero values of  $E$  are the lights putting energy into the scene.

The reflection coefficients  $R$  say what is scattered, so  $1-R$  is the amount absorbed at each scattering.

- $B_i$  և  $B_j$  - համապատասխանաբար  $i$  և  $j$  փերթերի ետճառագայթումներն են (ֆորմալ՝ փերթի ետճառագայթումը դա նրա պայծառությունն է՝ անզլերեն - Brightness, և նշանակվում է այդ բառի սկզբնատառով)
- $E_i$  -  $i$  փերթի ճառագայթած սեփական լուսային էներգիան է միավոր մակերեսից միավոր ժամանակում (միայն լույսի աղբյուրների համար)
- $R_i$  -  $i$  փերթի անդրադարձման գործակիցն է. որոշում է մակերևույթին ընկած լույսի այն քանակը, որը կանդրադառնա  $i$  փերթից
- $F_{ij}$  - ֆորմ ֆակտոր (form factor՝ ձևի գործոն) - չափողականություն չունեցող գործակից. որոշում է  $j$  փերթից ցրված լույսի այն քանակը, որը հասնում է  $i$  փերթին:

Նախ և առաջ, փորձենք պատասխանել այն հարցին, թե որքան էներգիա է հասնում որևէ  $i$  փերթին մնացած բոլոր փերթերից:

Դիտարկենք մեկ այլ փերթ  $j$ , մասնավորապես՝ նրա  $A_j$  մակերեսի վրա առանձնացված անվերջ փոքր  $dA_j$  տիրույթ (Նկար 15):

Այդ դեպքում  $dA_j$  տիրույթից ետճառագայթած էներգիան հավասար կլինի  $B_j \cdot dA_j$ .

$F_{ij}$  - ով պայմանավորված է էներգիայի այն քանակը, որը կհասնի  $i$  փերթին՝  $F_{ij} \cdot B_j \cdot dA_j$ .

Սա էներգիայի այն քանակն է, որը հասնում է  $j$  փերթի անվերջ փոքր  $dA_j$  տիրույթից, այսպիսով բոլոր  $j$  փերթերից  $i$  փերթին հասած քանակը կլինի.

$$\int F_{ij} \cdot B_j \cdot dA_j$$

Այս էներգիայի մի մասը կկլանվի, իսկ մնացածը կցրվի, այսպիսով  $i$  փերթից ետճառագայթվածի (ցրվածի) քանակը կլինի.

$$R_i \cdot \int F_{ij} \cdot B_j \cdot dA_j$$

$i$  փերթը կարող է նաև ճառագայթել լույս, եթե այն լույսի աղբյուր է, և ընդհանուր դեպքի համար  $i$  փերթից հեռացող էներգիայի քանակը կլինի.

Հավասարում 2-1

$$B_i \cdot dA_i = E_i \cdot dA_i + R_i \cdot \int F_{ij} \cdot B_j \cdot dA_j$$

Հավասարում 2-1 կոչվում է **ետճառագայթման հավասարում**:

Այն արտահայտում է ողջ լուսային էներգիայի փոխանակումը մոդելի բոլոր մակերևույթների միջև:

$E$  -ի ոչ զրոյական արժեքները, դա լույսի աղբյուրներից տեսարան ներմուծվող էներգիան է:

Անդրադարձման  $R$  գործակիցը որոշում է ցրված լույսի քանակը, իսկ  $1-R$  -ը՝ թե ընկած լույսի որ մասն է կլանվել:

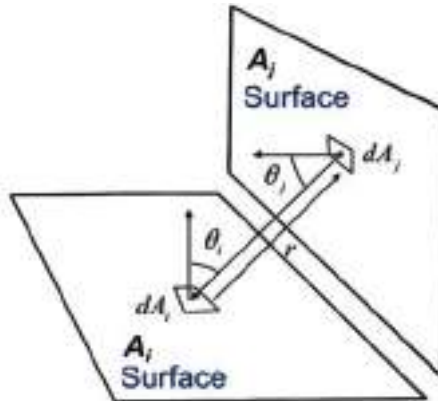
The only items not known in **radiosity equation** are the values of the form factors which are calculated from following equation

Equation 2-2 / Հավասարում 2-2

$$F_{ij} = \frac{1}{A_i} \int_{A_i} \int_{A_j} \frac{\cos \theta_i \cos \theta_j}{\pi r^2} dA_j dA_i$$

Figure 15. The form factors depend on the geometry of the scene, including the distance  $r$  between surfaces  $i$  and  $j$ , and their relative orientation - the angles  $\theta_i$  and  $\theta_j$ .

Source/Աղբյուր՝ Global Illumination and Radiosity, Daniel G. Aliaga, Department of Computer Science, Purdue University, CS535



Նկար 15. Ֆորմ ֆակտորները կախված են միայն տեսարանի երկրաչափությունից՝  $i$  և  $j$  փեթքերի միջև  $r$  հեռավորությունից և տարածության մեջ նրանց փոխադարձ դիրքորոշումից՝  $\theta_i$  և  $\theta_j$  անկյուններից:

As  $dA_i$  and  $dA_j$  in Equation 2-2 are infinitesimal surfaces tending to a point, the solution of Equation 2-1 means calculation of light energy interchange between each point and every other point in the scene.

It won't be practical to calculate it at every mathematical point.

For a practical solution, we will make two approximations to the geometry.

The first is that we treat the receiving patch as energetically uniform.

This means that we can reduce the double integral to a single one.

Then we assume that we will work with finite-size patches instead of infinitesimals (this means, that value calculated for one point can be assigned to all points of the patch).

So, we can approximate the radiosity equation integral with the more tractable summation:

Equation 2-3 / Հավասարում 2-3

$$B_i = E_i + R_i \sum_{j=1}^n B_j F_{ij}$$

**Ետճառագայթման հավասարման** (Հավասարում Equation 2-1) մեջ միակ անհայտը՝ ֆորմ ֆակտորի արժեքներն են, որոնք որոշվում են հետևյալ հավասարումից՝

Քանի որ Հավասարում 2-2  $dA_i$  և  $dA_j$ -ն անվերջ փոքր մակերեսներ են, որոնք ձգտում են կետի, ապա Հավասարում 2-1 լուծումը ենթադրում է հաշվարկել լուսային էներգիայի փոխանակումը տեսարանի յուրաքանչյուր կետի և մնացած բոլոր կետերի միջև:

Կիրառական տեսակետից հնարավոր չէ հաշվարկը կատարել յուրաքանչյուր մաթեմատիկական կետի համար:

Հավասարման գործնական կիրառության համար, հարկավոր է կատարել երկու մոտարկում (ենթադրություն), կապված երկրաչափության հետ:

Նախ՝ համարում ենք, որ էներգիան համասեռ է բաշխված ընդունող փեթքի մակերեսությամբ:

Սա նշանակում է, որ կրկնակի ինտեգրալը փոխարինվում է մեկով:

Այնուհետև համարում ենք, որ գործ ունենք ոչ թե անվերջ փոքր մակերեսների, այլ վերջավոր չափեր ունեցող փեթքերի հետ: Դա նշանակում է, որ մեկ կետի համար կատարված հաշվարկի տվյալները վերագրվում են փեթքի մնացած կետերին:

Այսպիսով, մենք կարող ենք մոտարկել ետճառագայթման հավասարման ինտեգրալը ավելի պարզ գումարով:

Figure 16. The interchange of light energy on patch surface.

Source/Աղբյուրը՝ [https://www.siggraph.org/education/materials/HyperGraph/radiosity/overview\\_1.htm](https://www.siggraph.org/education/materials/HyperGraph/radiosity/overview_1.htm); G. Scott Owen



Նկար 16. Լուսային էներգիայի փոխանակումը փեթեջի մակերևույթին:

The major problem of the standard approach in solving Equation 2-3 is the  $O(n^2)$  computation time and cost of calculating all the form factors, and indeed the  $O(n^2)^2$  cost storing them, where  $n$  is the number of patches. This means that if the number of patches doubles, the computation time and costs will increase by four times.

Complex environments typically have tens of thousands of patches, and environments with one million surfaces are not uncommon.

In practice, this is too expensive, and we have to resort to approximation methods.

Discussion of all of this methods is out of the goal of this book. Let's consider the one that is the most frequently used.

### Adaptive Radiosity

As we already know, in order to visualise the exact light distribution on the surfaces of the scene, the individual surfaces are divided up into patches.

The finer the patches, the more accurate the image.

On the other hand, a uniform subdivision into very small patches leads to very long computation times.

The method of *adaptive radiosity* was created to give a solution to this problem. It is an iterative process too:

- Make an initial (coarse) subdivision of surfaces into patches, and compute the radiositities.

Հավասարում 2-3 –ի լուծման ստանդարտ եղանակի հիմնական պրոբլեմը կապված է նրա բոլոր ֆորմ ֆակտորները հաշվարկելու հետ, որոնց թե՛ հաշվարկի վրա ծախսված ժամանակը, թե՛ հաշվարկի ստացված տվյալները պահպանելու ծախսերը համեմատական են  $O(n^2)^2$  – ին, որտեղ  $n$  – ը փեթեջերի քանակն է: Սա նշանակում է, որ փեթեջերի քանակի կրկնապատկման դեպքում՝ հաշվարկման ժամանակը և ծախսերը ավելանում են չորս անգամ:

Բարդ տեսարաններում փեթեջերի քանակը հասնում է տասնյակ հազարների, և նույնիսկ մեկ միլիոն փեթեջ ունեցող տեսարանները արտաոտոց երևույթ չեն:

Գործնականում դա չափազանց ծախսատար է, և ստիպված ենք դիմել մոտարկման մեթոդներին:

Դրանց բոլորի քննարկումը դուրս է մնում գրքի ձևաչափից: Նկարագրենք միայն առավել տարածում գտած «ադապտիվ ետճառագայթում» մեթոդը:

### Ադապտիվ ետճառագայթում

Ինչպես արդեն գիտենք, տեսարանի մակերևույթների վրա լույսի ճիշտ բաշխվածությունը տեսապատկերելու նպատակով առանձին մակերևույթները բաժանվում են փեթեջերի:

Որքան փոքր են փեթեջերը, այդքան որակյալ է ստացվում պատկերը:

Մյուս կողմից, շատ փոքր փեթեջերի բաժանելը զգալիորեն երկարացնում է հաշվարկի ժամանակը:

Այս խնդիրը լուծելու նպատակով մշակվեց *ադապտիվ ետճառագայթման* մեթոդը: Այն նույնպես կրկնվող քայլերի գործընթաց է.

- Նախ կատարվում է մակերևույթների սկզբնական (կոպիտ) բաժանում փեթեջերի և հաշվարկվում ետճառագայթումները:
- Այնուհետև ստուգվում են հարևան փեթեջերը: Եթե

2 Big O notation - In computer science,  $O(x)$ , is used to classify algorithms according to how their running time or space requirements grow as the input parameter ( $x$ ) grows.

Մեծ  $O$  նշանագրում՝ համակարգչային գիտության մեջ  $O(x)$ , օգտագործվում է ալգորիթմերը դասակարգելու համար ըստ նրա, թե որքան կաճի հաշվարկի ժամանակը կամ պահանջվող հիշողության ծավալը կախված մուտքային ( $x$ ) պարամետրի աճից:

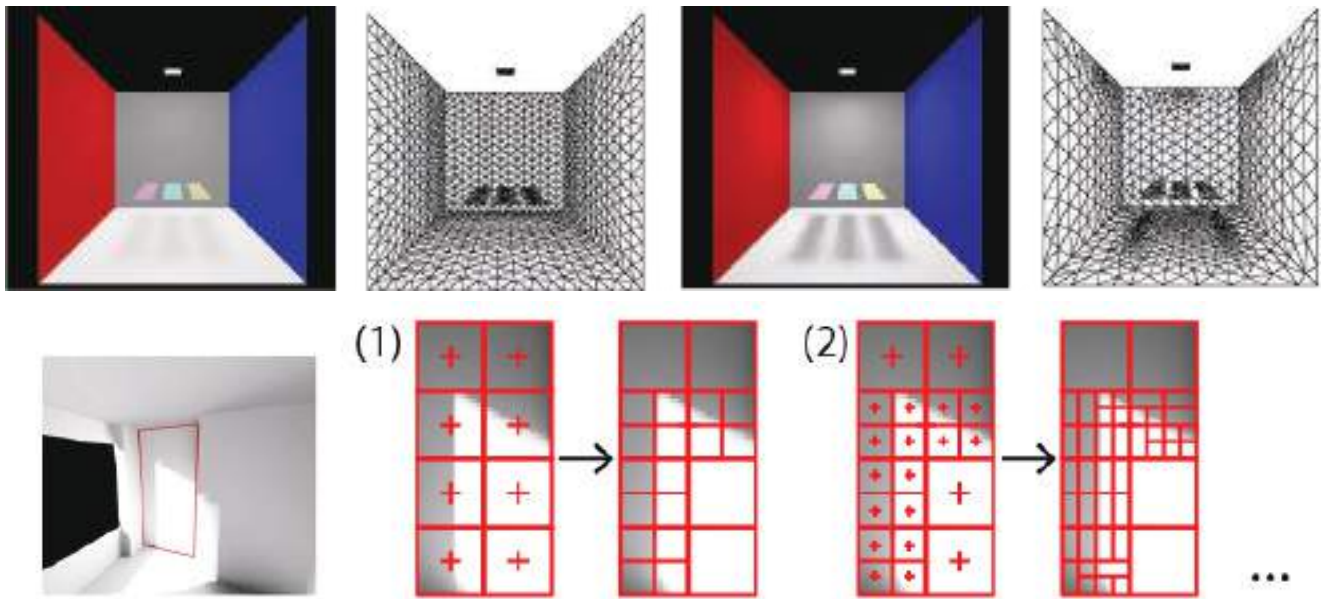
- Check neighboring patches. If their radiosities differ more than a threshold, subdivide the patches into sub-patches.
- Repeat until the radiosities of neighboring patches differs less than a threshold, or element sizes have reached a pre-determined minimum.

դրանց ետճառագայթումների տարբերությունը մեծ է շեմային արժեքից, ապա այդ փեթեքերը բաժանվում են ենթափեթեքերի:

- Գործընթացը կրկնվում է այնքան, մինչև հարևան փեթեքերի ետճառագայթումների տարբերությունը փոքր լինի շեմային արժեքից, կամ ենթափեթեքերը նվազելով հասնեն կանխորոշված մինիմալ չափի:

Figure 17. Illustration of adative subdivision.

Source/Աղբյուր՝ “Global Illumination. Shading 6:” Christian Miller, CS 354 - UT Computer Science; [https://www.cs.utexas.edu/~ckm/teaching/cs354\\_f11/lectures/Lecture18.pdf](https://www.cs.utexas.edu/~ckm/teaching/cs354_f11/lectures/Lecture18.pdf)



Նկար 17. Ադապտիվ ետճառագայթման փուլերի նկարագրությունը:

Figure 18. An example of visualization made by radiosity algorithm.

Source/Աղբյուր՝ SIGGRAPH 1988 proceedings cover.



Նկար 18. Ետճառագայթման ալգորիթմով րեսապատկերման օրինակ:

## References / Հղումներ

1. <http://www.siggraph.org/education/materials/HyperGraph/radiosity/radiosity.htm>
2. <http://freespace.virgin.net/hugo.elias/radiosity/radiosity.htm>
3. "The Hemi-cube - a radiosity solution for complex environments" Michael F Cohen and Donald P Greenberg; ACM SIGGRAPH Computer Graphics 1985 Vol 19 Issue 4
4. "A progressive refinement approach to fast radiosity image generation"; Michael F Cohen, Shenchang Eric Chen, John R Wallace and Donald P Greenberg; ACM SIGGRAPH Computer Graphics 1988 Vol 22 Issue 4
5. "Global Illumination. Shading 6:" Christian Miller, CS 354 - UT Computer Science: [https://www.cs.utexas.edu/~ckm/teaching/cs354\\_f11/lectures/Lecture18.pdf](https://www.cs.utexas.edu/~ckm/teaching/cs354_f11/lectures/Lecture18.pdf)
6. "Global Illumination and Radiosity" Daniel G. Aliaga, Department of Computer Science, Purdue University, CS535
7. Radiosity Rendering, <http://www.cs.bath.ac.uk/~pjw/NOTES/75-ACG/ch5-radiosity.pdf>

## Photon mapping algorithm

In 1989, Andrew Glassner wrote about *ray tracing* that it is one of the most popular and powerful techniques in the image synthesis repertoire for its simpleness, elegance and easy implementation.

However, there are some aspects of the real world such as color bleeding (diffuse inter-reflections) and soft shadows (Figure 7b, Figure 21) and caustics (see Figure 8b, Figure 20), that ray tracing doesn't handle very well (or at all).

The **photon mapping method** offers a solution to all problems.

Specifically, it is capable of simulating the refraction of light through a transparent substance such as glass or water - *caustics*, *diffuse interreflection* between illuminated objects, the *subsurface scattering* of light in translucent materials.

Furthermore, the photon map method can handle *participating media* - effects caused by particulate matter such as smoke, dust, water vapor etc (Figure 23).

Extending ray tracing with photon mapping yields a method capable of efficiently simulating all types of direct and indirect illumination (Figure 19).

It was developed by Henrik Wann Jensen and the first papers on the method were published in 1995.

## Ֆոտոնների քարտեզագրման ալգորիթմ

1989-ին, գրելով ճառագայթի հետազոտման մասին, Էնդրյու Գլասները նշել է, որ իր պարզության, ճկունության և դյուրին կիրառելիության շնորհիվ, այն հանդիսանում է ամենատարածված և հզոր մեթոդներից մեկը պատկերի ստեղծման գործիքաշարում:

Այնուհանդերձ, իրական կյանքում կան այնպիսի երևույթներ, ինչպիսիք են ճառագայթի գունավորումը դիֆուզ փոխանդարծումների շնորհիվ, մեղմ, ոչ կտրուկ ստվերները (Նկար 7բ, Նկար 21) և կաուստիկան (Նկար 8բ, Նկար 20), որոնք դժվար, կամ նույնիսկ անհնար է հաշվարկել ճառագայթի հետազոտմամբ:

**Ֆոտոնների քարտեզագրման եղանակը** հաղթահարում է այդ բոլոր դժվարությունները:

Մասնավորապես, այն ունակ է նմանակել *կաուստիկան*՝ բեկված լույսի անցումը թափանցիկ միջավայրի միջով ինչպիսիք են ապակին կամ ջուրը, *դիֆուզ փոխանդարծումները* լուսավորված առարկաների միջև, *ենթամակերևոյթային ցրումը* լուսաթափանց նյութերում:

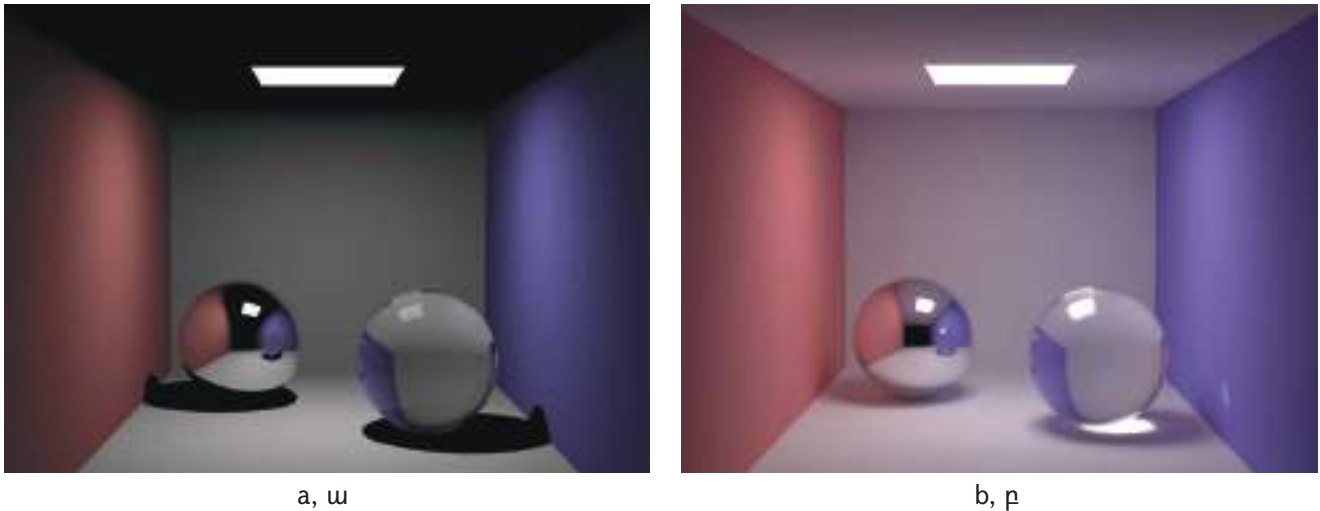
Ավելին, ֆոտոնային քարտեզի մեթոդը ունակ է հաշվարկել *մասնիկներ պարունակող միջավայր*՝ լույսի ցրումը միջավայրում առկա ծխի, փոշու, ջրի գոլորշու և այլ մասնիկների վրա (Նկար 23):

Ընդլայնելով ճառագայթի հետազոտումը ֆոտոնային քարտեզագրմամբ, տալիս է մի մեթոդ, որն ունակ է արդյունավետ վերարտադրել ուղղակի և անուղղակի լուսավորության բոլոր տեսակները:

Հենրիկ Վան Յենսենի կողմից ստեղծված այս մեթոդի վերաբերյալ առաջին աշխատանքները տպագրվեցին 1995-ին:

**Figure 19.** Example of extending ray tracing with photon mapping. a) ray tracing only, b) ray tracing with using information from photon maps (30 minutes) and the same image can be obtained with ray tracing + photon mapping (30 seconds).

Source/Աղբյուր՝ Henrik Jenson, “Global Illumination using Photon Maps” <http://graphics.ucsd.edu/~henrik>



**Նկար 19.** Ճառագայթի հեղազծման հնարավորությունների ընդլայնման օրինակ՝ ֆոտոնային քարտեզագրման հետ համարել օգտագործման միջոցով. ա) միայն ճառագայթի հեղազծում, բ) ճառագայթի հեղազծում օգտագործելով ֆոտոնային քարտեզի տվյալները (30 րոպե), և նույն պատկերը կարելի է ստանալ ճառագայթի հեղազծման և ֆոտոնային քարտեզագրման համարել օգտագործմամբ (30 վայրկյան):

### Caustics, diffuse interreflections, subsurface scattering, medium with suspended particles

Light refracted or reflected causes patterns called caustics, usually visible as concentrated patches of light on nearby surfaces.

For example, as light rays pass through a wine glass sitting on a table, they are refracted and patterns of light are visible on the table (Figure 20).

### Կաուստիկա, դիֆուզ փոխանդարծումները, ենթամակերևույթային ցրում, մասնիկներ պարունակող միջավայր

Բեկված կամ անդրադարձած լույսը առաջացնում է կաուստիկա կոչվող պատկերներ, որոնք մոտակա մակերևույթների վրա արտահայտվում են կոնցենտրացված լույսի տիրույթների՝ շողքերի ձևով:

Օրինակ, երբ լույսի ճառագայթներն անցնում են սեղանի վրա դրված գինու ապակե գավաթի միջով, նրանք բեկվում են՝ առաջացնելով շողքեր սեղանի վրա (Նկար 20):

**Figure 20.** Models of a mug and wine glass traced with photon mapping to show caustics.

Source/Աղբյուր՝ “Global Illumination. Shading 6:” Christian Miller, CS 354 - UT Computer Science; [https://www.cs.utexas.edu/~ckm/teaching/cs354\\_f11/lectures/Lecture18.pdf](https://www.cs.utexas.edu/~ckm/teaching/cs354_f11/lectures/Lecture18.pdf)



**Նկար 20.** Կաուստիկայի երևույթը ցուցադրելու նպատակով՝ ֆոտոնային քարտեզագրմամբ տեսապատկերված բաժակ և գինու գավաթ:

Figure 21. Only diffuse inter-reflection. See the color bleeding from objects onto table surface.

Source/Աղբյուրը՝ “Global Illumination and Radiosity”, CS535, Daniel G. Aliaga



Նկար 21. Միայն դիֆուզ փոխանդրադարձումներ: Ուշադրություն դարձրեք սեղանի մակերևույթի գունավորմանը՝ առարկաներից անդրադարձած լույսով:

Photon mapping can trace the paths of individual photons to model where these concentrated patches of light will appear.

Subsurface scattering is a mechanism of light transport in which light penetrates the surface of a translucent object, is scattered by interacting with the material, and exits the surface at a different point.

Ֆոտոնների քարտեզագրումը ունակ է հետագծել առանձին ֆոտոններ և մոդելավորել շողքերի առաջացման տեղը:

Ենթամակերևութային ցրումը՝ լույսի տարածման հետ կապված երևույթ է, որի դեպքում լուսաթափանց առարկայի մեջ ներթափանցած լույսը ցրվում է նյութի հետ փոխազդելու հետևանքով, ի վերջո դուրս գալով մակերևույթի մեկ այլ տեղից:

Figure 22. Subsurface scattering.

Source/Աղբյուրը՝ [https://en.wikipedia.org/wiki/Subsurface\\_scattering](https://en.wikipedia.org/wiki/Subsurface_scattering)



Նկար 22. Ենթամակերևութային ցրում:

In photon mapping algorithm radiometric terminology is used (to brush up the relation between radiometric and photometric parameters see Table 3, or Chapter 1, Table 2).

Ֆոտոնների քարտեզագրման ալգորիթմում օգտագործվում են ռադիոմետրիկ մեծություններ (ռադիոմետրիկ և ֆոտոմետրիկ մեծությունների միջև կապը վերհիշելու համար տես Աղյուսակ 3 կամ Գլուխ 1-ի Աղյուսակ 2-ը):

Figure 23. Scattering of light on water vapor particles.

Source/Աղբյուրը՝ <http://www.mitsuba-renderer.org/devblog/2011/06/mitsuba-0-2-1-released/cars-bre-final>

Նկար 23. Լույսի ցրումը ջրի գոլորշու մասնիկների վրա:

Table 3. The relationship between radiometric and photometric quantities.

| Energy Quantity<br>(Radiometric)           | Assigned<br>as | Unit                | Luminous Quantity<br>(Photometric) | Assigned<br>as | Unit                                    |
|--------------------------------------------|----------------|---------------------|------------------------------------|----------------|-----------------------------------------|
| Radiant Flux <sup>a</sup>                  | $\Phi_e$       | W                   | Luminous Flux                      | $\Phi_v$       | lm                                      |
| Radiant Intensity <sup>b</sup>             | $I_e$          | W/sr                | Luminous Intensity                 | $I_v$          | lm/sr = cd                              |
| Radiance (Radiant Brightness) <sup>c</sup> | $L_e$          | W/sr·m <sup>2</sup> | Luminance (Brightness)             | $L_v$          | lm/sr·m <sup>2</sup> =cd/m <sup>2</sup> |
| Irradiance, Flux density <sup>d</sup>      | $E_e$          | W/m <sup>2</sup>    | Illuminance                        | $E_v$          | lm/m <sup>2</sup> = lx                  |

<sup>a</sup>. **flux**: the rate at which light energy is emitted; measured in watts, J/s = W.<sup>b</sup>. **radiant intensity**: flux radiated into a unit solid angle, i.e., 1sr, measured in W/sr = intensity from a point source.<sup>c</sup>. **radiance**: radiant intensity per unit of projected surface area, measured in W/sr·m<sup>2</sup> = intensity from a surface.<sup>d</sup>. **irradiance (flux density) E**: incident flux per unit surface area, measured in W/m<sup>2</sup>.

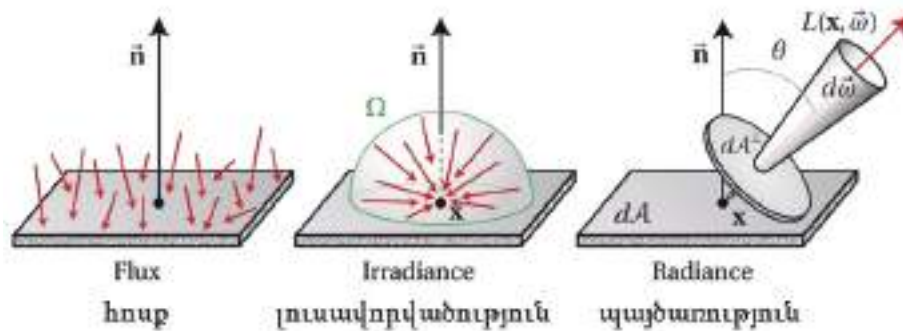
Աղյուսակ 3. Ռադիոմետրիկ և ֆոտոմետրիկ մեծությունների միջև կապը:

| Էներգետիկ միավորներ<br>(ռադիոմետրիկ)                                | Նշանա-<br>կում | Միավոր                 | Լուսային միավոր-<br>ներ (ֆոտոմետրիկ) | Նշանա-<br>կում | Միավոր                                    |
|---------------------------------------------------------------------|----------------|------------------------|--------------------------------------|----------------|-------------------------------------------|
| Ճառագայթային հոսք <sup>ա</sup>                                      | $\Phi_e$       | Վտ                     | Լուսային հոսք                        | $\Phi_v$       | լմ                                        |
| Ճառագայթման<br>ինտենսիվություն <sup>բ</sup>                         | $I_e$          | Վտ/ստեռ                | Լույսի<br>ինտենսիվություն            | $I_v$          | լմ/ստեռ = կդ                              |
| Էներգետիկ<br>պայծառություն <sup>գ</sup>                             | $L_e$          | Վտ/ստեռ·մ <sup>2</sup> | Պայծառություն                        | $L_v$          | լմ/ստեռ·մ <sup>2</sup> =կդ/մ <sup>2</sup> |
| Էներգետիկ լուսավորվածու-<br>թյուն (ճառագայթվածություն) <sup>դ</sup> | $E_e$          | Վտ/մ <sup>2</sup>      | Լուսավորվածություն                   | $E_v$          | լմ/մ <sup>2</sup> = լք                    |

<sup>ա</sup>. **Ճառագայթային հոսք**. ճառագայթած լուսային էներգիայի քանակն է միավոր ժամանակում՝ Ջ/վրկ=Վտ:<sup>բ</sup>. **Ճառագայթման ինտենսիվություն**. ճառագայթային հոսքն է միավոր մարմնային անկյան, այն է 1ստեռ-ի մեջ՝ Վտ/ստեռ. նկարագրում է ինտենսիվությունը կետային աղբյուրից:<sup>գ</sup>. **Էներգետիկ պայծառություն**. ճառագայթման ինտենսիվությունն է պրոյեկտված միավոր մակերեսի վրա՝ Վտ/ստեռ·մ<sup>2</sup>. նկարագրում է ինտենսիվությունը մակերեսից:<sup>դ</sup>. **Էներգետիկ լուսավորվածություն (հոսքի խտություն)**. միավոր մակերեսի վրա ընկնող ճառագայթման հոսքն է՝ Վտ/մ<sup>2</sup>:

**Figure 24.** Flux measures the amount of light that hits a surface over a finite area from all directions, irradiance integrates the light arriving at a single point over the whole hemisphere (measures the illuminance at a given point) and radiance expresses the amount of light leaving a single point within a differential solid angle.

Source/Աղբյուրը՝ <http://www.cs.dartmouth.edu/~wjarosz/publications/dissertation/chapter2.pdf>



**Նկար 24.** Հոսքը՝ վերջավոր մակերեսի վրա, բոլոր կողմերից ընկած լույսի քանակն է, էներգետիկ լուսավորվածությունը ինտեգրում է ըստ կիսագնդի՝ տվյալ կետ հասած լույսը (որոշում է տվյալ կետի լուսավորվածությունը), իսկ էներգետիկ պայծառությունը արտահայտում է մարմնային անկյան մեջ պարփակված լույսի քանակը, որը առաքվում է տվյալ կետից:

Photon mapping is a two-pass global illumination algorithm that approximately solves the rendering equation.

The first pass. algorithm builds the *photon map* by emitting photons from the light sources into the scene and storing them in a photon map when they hit non-specular surfaces.

The second - *rendering pass*, uses statistical techniques on the photon map to extract information about incoming flux and reflected radiance at any point in the scene.

Ֆոտոնային քարտեզագրումը՝ գլոբալ լուսավորության երկփուլային ալգորիթմ է, որը լուծում է տեսանկյան հավասարումը մոտարկման միջոցով:

Առաջին փուլում ալգորիթմը կառուցում է *ֆոտոնային քարտեզը*՝ լույսի աղբյուրներից արձակելով ֆոտոններ դեպի տեսարան և գրանցելով տվյալները ֆոտոնային քարտեզում, երբ ֆոտոնը հարվածում է ոչ հայելային մակերևույթին:

Երկրորդ՝ *տեսանկյան* փուլը, կիրառելով վիճակագրական մեթոդներ, ֆոտոնային քարտեզից տվյալներ է ստանում տեսարանի ցանկացած կետում ընկնող հոսքի և անդրադարձած պայծառության վերաբերյալ:

## Photon mapping algorithm overview

### Construction of the photon map (first pass) Photon Emission

As we know, in the real world, light is emitted from light sources as packets of light energy called photons.

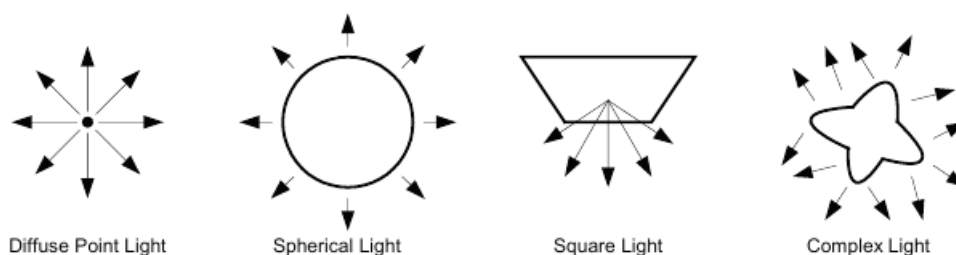
## Ֆոտոնային քարտեզագրման ալգորիթմի համառոտ նկարագրությունը

### Ֆոտոնային քարտեզի կառուցում (առաջին փուլ) Ֆոտոնների արձակում

Ինչպես գիտենք, լույսի աղբյուրներից արձակված լույսը իրենից ներկայացնում է լուսային էներգիայի փաթեթներ, որոնք կոչվում են ֆոտոններ:

**Figure 25.** Light is emitted from light sources according to the appropriate light distribution function.

Source/Աղբյուրը՝ Jensen, Henrik W., *Realistic Image Synthesis Using Photon Mapping*, A K Peters, Ltd., Massachusetts, 2001



**Նկար 25.** Լույսը ճառագայթվում է լույսի աղբյուրներից ըստ համապատասխան լույսի բաշխման կորի:

For each light source in the scene we create a set of photons and divide the overall power of the light source amongst them.

Finding the number of photons to create at each light depends largely on whether decent radiance estimates can be made during the rendering pass.

Emitted photons from light sources are scattered through a scene and are eventually absorbed or lost.

## Photon tracing

Once a photon has been emitted, it is traced through the scene using photon tracing.

Photon tracing works in exactly the same way as ray tracing except for the fact that the interaction of a photon with a material can be different than the interaction of a ray.

A notable example is refraction where radiance (the reflected light) is changed based on the relative index of refraction - this does not happen to photons.

When a photon hits an object, as it is an indivisible particle, it can either be reflected, transmitted, or absorbed.

Whether it is reflected, transmitted or absorbed is decided probabilistically based on the material parameters of the surface.

The technique used to decide the probability is a Monte Carlo method known as Russian roulette: basically we roll a dice and decide whether the photon should be reflected, transmitted or absorbed.

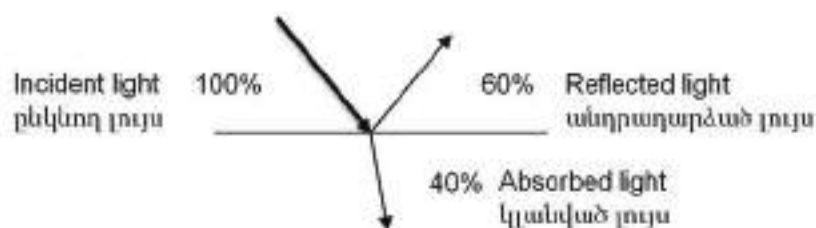
### Why Russian roulette?

Suppose we have a translucent surface with reflectance  $R=0.6$  (60%) and absorption  $A=0.4$  (40%).

Then 60% of incident light will be reflected and 40% will be absorbed.

Figure 26. Reflectance and absorption for light ray

Source/Աղբյուր՝ Global Illumination (3), Photon Mapping (1)



Նկար 26. Անդրադարձումը և կլանումը լույսի ճառագայթի դեպքում

Տեսարանի յուրաքանչյուր լույսի աղբյուրի համար ստեղծվում է ֆոտոնների խումբ՝ բաշխելով լույսի աղբյուրի ընդհանուր հզորությունը նրանց միջև:

Յուրաքանչյուր լույսի աղբյուրի համար ստեղծվող ֆոտոնների քանակը մեծապես կախված է տեսայնացման փուլում պայծառության հաշվարկի արդյունքներից:

Լույսի աղբյուրից արձակված ֆոտոնները ցրվում են տեսարանով մեկ և ի վերջո կլանվում են կամ կորսվում:

## Ֆոտոնների հետազոնում

Ֆոտոնի արձակման պահից սկսած այն հետազոնվում է տեսարանի տարածքում ֆոտոնի հետազոնման միջոցով:

Ֆոտոնի հետազոնումը աշխատում է ճիշտ այնպես, ինչպես և ճառագայթի հետազոնումը բացառությամբ այն փաստի, որ ֆոտոնի և ճառագայթի փոխազդեցությունները նյութի հետ կարող են տարբերվել:

Հատկանշական օրինակ է բեկումը, երբ պայծառությունը (անդրադարձած լույսը) փոխվում է կախված բեկման ցուցիչից, ինչը տեղի չի ունենում ֆոտոնի դեպքում:

Երբ ֆոտոնը հարվածում է որևէ առարկայի, լինելով անբաժանելի մասնիկ, այն կարող է կամ անդրադառնալ, կամ թափանցել, կամ էլ կլանվել:

Թե դրանցից որ մեկը տեղի կունենա՝ որոշվում է հավանականությամբ՝ ելնելով նյութի հատկություններից:

Այդ հավանականությունը որոշվում է Մոնթե Կառլոյի մեթոդով, որը հայտնի է որպես «ռուսական պտուտախաղ»։ ըստ էության, մենք զառ ենք նետում և որոշում, թե ֆոտոնը կանդրադառնա, կթափանցի թե կկլանվի:

### Ինչու՞ ռուսական պտուտախաղ

Ենթադրենք ունենք լուսաթափանց մակերևույթ, որի անդրադարձման գործակիցը՝  $R=0.6$  (60%), իսկ կլանման գործակիցը՝  $A=0.4$  (40%):

Այդ դեպքում ընկած լույսի 60% -ը կանդրադառնա, իսկ 40% -ը կկլանվի:

In case of photon-surface interaction, we will be reluctant to generate a virtual photon (as it is an indivisible particle), and distribute the overall power of the incident photon amongst them.

It is easy to see that after each photon-surface interaction the number of photons will double.

For example, after 8 interactions we will have  $2^8$  photons.

This means 256 photons after 8 interactions compared to 1 photon coming directly from the light source!

Tracing such amount of photons is very costly in terms of computation and storage.

Moreover, after several reflections, we will be obliged to spend a lot of time keeping track of very little flux.

Using *Russian roulette* technique we reduce both the computational and storage costs while still obtaining the correct result.

To see how this technique works let us consider a surface that reflects 50% of incoming light.

With Russian roulette only half of the incoming photons will be reflected, but with full power.

For example, if you shoot 1000 photons at the surface, you can either reflect 1000 photons with half the power or 500 photons (less computation) with full power (more efficient contribution in radiance).

In typical environments there are more probability events we need to consider.

Ֆոտոն-մակերևույթ փոխազդեցության պարագայում, մենք ստիպված կլինենք գեներացնել վերացական ֆոտոն (քանի որ այն անբաժանելի մասնիկ է) և բաշխել ընկնող ֆոտոնի ընդհանուր հզորությունը նրանց միջև:

Ակնհայտ է, որ յուրաքանչյուր ֆոտոն-մակերևույթ փոխազդեցության արդյունքում ֆոտոնների թիվը կկրկնապատկվի:

Օրինակ, 8 փոխազդեցություններից հետո մենք կունենանք  $2^8$  ֆոտոն:

Սա նշանակում է, որ լույսի աղբյուրից եկող 1 ֆոտոնի փոխարեն՝ 8 փոխազդեցություններից հետո կունենանք 256 ֆոտոն:

Այս քանակությամբ ֆոտոնների հետագծումը չափազանց թանկ է հաշվարկի և արդյունքների պահպանման առումով:

Ավելին, մի քանի անդրադարձերից հետո, մենք ստիպված կլինենք զգալի ժամանակ վատնել՝ շատ թույլ հոսքերին հետևելով:

Կիրառելով *ռուսական պտուղախաղի* մեթոդը, մենք կրճատում ենք վերը նշված ծախսերը, պահպանելով հաշվարկի արդյունքների ճշգրտությունը:

Պարզելու համար, թե ինչպես է գործում այս մեթոդը, դիտարկենք մակերևույթ, որը անդրադարձնում է ընկնող լույսի 50% -ը:

Ռուսական պտուղախաղի կիրառման դեպքում, մակերևույթից կանդրադառնան ընկնող ֆոտոնների միայն կեսը, սակայն լրիվ հզորությամբ:

Օրինակ, եթե դեպի այդ մակերեսը արձակենք 1000 ֆոտոն, ապա կարող ենք անդրադարձնել 1000 ֆոտոն, բայց կես հզորությամբ, կամ 500 ֆոտոն (պակաս հաշվարկային ծախսեր) լրիվ հզորությամբ (ավելի արդյունավետ ներդրում պայծառության մեջ):

Սովորական միջավայրում հարկ կլինի դիտարկել ավելի շատ երևույթների (պատահարների) հավանա-

**Figure 27.** Instead of keeping track of 10 photons with 60% of incident power, Russian roulette completely absorb 4 photons and completely reflect 6 at full power.

**Note.** The probability of reflectance  $p$  is value of reflectance coefficient  $P$ . Probability of absorption is  $1 - p$ .

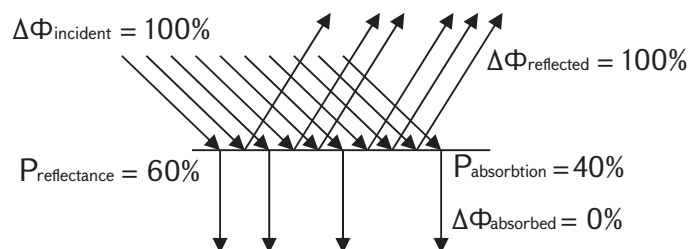
**Source/Աղբյուրը՝** Global Illumination (3), Photon Mapping (1) <http://slideplayer.com/slide/9934631>

$\Delta\Phi_{\text{incident}}$  – power of incident photon  
ընկած ֆոտոնի հզորություն

$\Delta\Phi_{\text{reflected}}$  – power of reflected photon  
անդրադարձված ֆոտոնի հզորություն

$P_{\text{reflectance}}$  – reflectance coefficient  
անդրադարձման գործակից

$P_{\text{absorption}}$  – absorption coefficient  
կլանման գործակից



**Նշում.** Անդրադարձման հավանականությունը  $p$ -ն անդրադարձման գործակից  $P$ -ի արժեքն է: Կլանման հավանականությունը հավասար է  $1 - p$ :

**Նկար 27.** Ընկած հզորության 60%-ի չափով 10 ֆոտոն հեղադրելու փոխարեն ռուսական պտուղախաղը ամբողջությամբ կլանում է 4 ֆոտոն, և անդրադարձնում 6 -ը լրիվ հզորությամբ:

To handle these events we must divide our *probability distribution domain* according to the material properties of a surface (Figure 28).

Consider a surface with following properties:

- diffuse reflection coefficient -  $P_d = 36\%$  ( $\rho_d = 0.36$  - this means, that probability of diffuse reflection is equal to 36%)
- specular reflection coefficient -  $P_s = 24\%$  ( $\rho_s = 0.24$ )
- transmission coefficient -  $P_t = 15\%$  ( $\rho_t = 0.15$ )
- absorption coefficient -  $P_a = 25\%$  ( $\rho_a = 0.25$ )

$P_d + P_s + P_t + P_a = \text{Incident light (100\%);}$  this means - conservation of energy.

$\rho_d + \rho_s + \rho_t + \rho_a = 1$ ; this means that one of the events will take place without fail.

The appropriate *distribution domain* for this surface is shown in Figure 26.

կանություններ:

Այս երևույթները հաշվարկելու համար, հարկավոր է *հավանականությունների արժեքների տարածքը* բաժանել ըստ մակերևույթի նյութի հատկությունների (Նկար 28):

Դիտարկենք մակերևույթ, որն ունի հետևյալ հատկությունները.

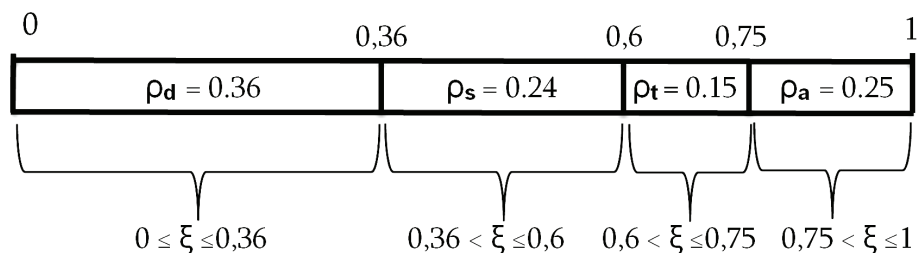
- դիֆուզ անդրադարձման գործակից՝  $P_d = 36\%$  ( $\rho_d = 0.36$  - սա նշանակում է, որ դիֆուզ անդրադարձման հավանականությունը 36% է)
- հայելային անդրադարձման գործակից՝  $P_s = 24\%$  ( $\rho_s = 0.24$ )
- թափանցելիության գործակից՝  $P_t = 15\%$  ( $\rho_t = 0.15$ )
- կլանման գործակից՝  $P_a = 25\%$  ( $\rho_a = 0.25$ )

$P_d + P_s + P_t + P_a = \text{Ընկնող լույս (100\%);}$  թիտում է էներգիայի պահպանման օրենքից:

$\rho_d + \rho_s + \rho_t + \rho_a = 1$ ; սա նշանակում է, որ երևույթներից գոնե մեկն անպայման տեղի կունենա:

Դիտարկվող մակերևույթի համապատասխան *հավանականությունների արժեքների տարածքը* ներկայացված է Նկար 28-ում:

Figure 28. Probability distribution domain.



Նկար 28. Հավանականությունների արժեքների տարածք:

For each photon, after its interaction with surface, a subprogram – called “random-number generator” (analogous to dice) generates a uniform random value  $\xi$  (“qsi”) from 0 to 1 (i.e. within the domain).

After that, the algorithm compares  $\xi$  with probabilities  $\rho$  and makes a decision (Figure 28):

$$\xi \in [0, 1]$$

if  $\xi < \rho_d$  ( $0 \leq \xi \leq 0,36$ ) then reflect diffuse;

if  $\rho_d < \xi < \rho_d + \rho_s$  ( $0,36 < \xi \leq 0,6$ ) then reflect specular;

if  $\rho_d + \rho_s < \xi < \rho_d + \rho_s + \rho_t$  ( $0,6 < \xi \leq 0,75$ ) then transmit;

if  $\rho_d + \rho_s + \rho_t < \xi < 1$  ( $0,75 < \xi \leq 1$ ) then absorb.

It is important to note that the power of the reflected photon is not modified.

Յուրաքանչյուր ֆոտոնի համար, մակերևույթի հետ նրա փոխազդելուց հետո, «պատահական թվերի գեներատոր» կոչվող ենթաֆորմը (զառի նմանակը) գեներացնում է պատահական թիվ  $\xi$  («քսի»), որի արժեքն ընկած է 0 -ի և 1 -ի միջակայքում (այսինքն՝ արժեքների տարածքում):

Այնուհետև, ալգորիթմը համեմատում է  $\xi$ -ն  $\rho$  հավանականությունների հետ և կայացնում որոշում (Նկար 28).

$$\xi \in [0, 1]$$

եթե  $\xi < \rho_d$  ( $0 \leq \xi \leq 0,36$ ), ապա անդրադարձրու դիֆուզ,

եթե  $\rho_d < \xi < \rho_d + \rho_s$  ( $0,36 < \xi \leq 0,6$ ), ապա անդրադարձրու հայելային,

եթե  $\rho_d + \rho_s < \xi < \rho_d + \rho_s + \rho_t$  ( $0,6 < \xi \leq 0,75$ ), ապա թափանցի,

եթե  $\rho_d + \rho_s + \rho_t < \xi < 1$  ( $0,75 < \xi \leq 1$ ), ապա կլանիր:

Կարևոր է նշել, որ անդրադարձած ֆոտոնի հզորու-

The more is the number of interacting photons, the higher is correctness of the overall result, better is the quality of the resulting image.

It can be seen that Russian roulette is a powerful technique for reducing the computational requirements as it removes “unimportant” photons so computation focuses on “important” ones.

For each photon-surface interaction, the *position* (three-dimensional coordinates), *incoming photon power* and *incident direction* are stored.

This data is stored in a spatial data structure called **photon map**.

Note that each emitted photon can be stored several times along its path (Figure 29).

Also, information about a photon is stored at the surface where it is absorbed if that surface is diffuse.

թյունը չի փոխվում:

Որքան մեծ լինի փոխազդող ֆոտոնների քանակը, այդքան բարձր կլինի վերջնական արդյունքի ճշգրտությունը, հետևաբար և վերջնական պատկերի որակը:

Ակնհայտ է, որ ռուսական պտուտախաղը հաշվարկը հեշտացնող հզոր միջոց է, քանի որ այն վերացնում է «ոչ կարևոր» ֆոտոնները՝ թույլ տալով հաշվարկը կենտրոնացնել «կարևորների» վրա:

Յուրաքանչյուր ֆոտոն-մակերևույթ փոխազդեցության համար գրանցվում և պահպանվում են *ֆոտոնի դիրքը* (եռաչափ կոորդինատները), *հզորությունը* և *անկման ուղղությունը*:

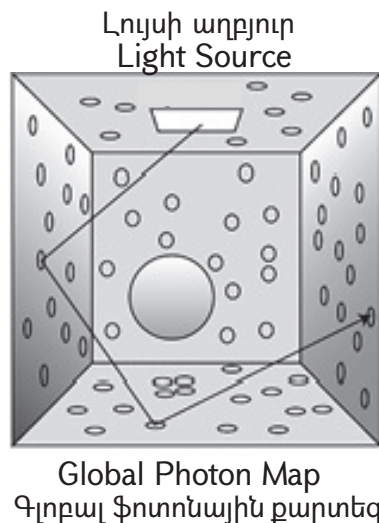
Այս տվյալները պահպանվում են տարածական տվյալների կառուցվածքում, որը կոչվում է **ֆոտոնային քարտեզ**:

Նկատել, որ յուրաքանչյուր արձակված ֆոտոն իր անցած ճանապարհին կարող է պահպանվել մի քանի անգամ (Նկար 29):

Եթե դիֆուզ մակերևույթի հետ փոխազդելու արդյունքում ֆոտոնը կլանվում է, ապա այդ դիրքի տվյալ-

Figure 29. Emitted photon can be stored several times along its path.

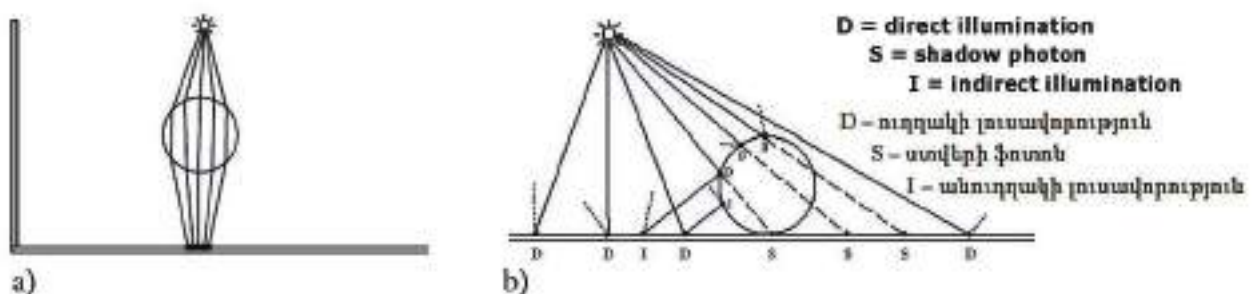
Source/Աղբյուրը՝ "Photon mapping (PM), Progressive PM, Stochastic PPM" Jiri Vorba [http://ms.mff.cuni.cz/~vorba4am/pm\\_ppm\\_sppm.pptx](http://ms.mff.cuni.cz/~vorba4am/pm_ppm_sppm.pptx)



Նկար 29. Արձակված ֆոտոնը իր անցած ճանապարհին կարող է պահպանվել մի քանի անգամ:

Figure 30. Building (a) the caustics photon map and (b) the global photon map.

Source/Աղբյուրը՝ "Global Illumination using Photon Maps", Henrik Jensen; <http://sites.fas.harvard.edu/~cs278/papers/pmap.pdf>



Նկար 30. ա) կաուստիկ ֆոտոնային քարտեզի և բ) գլոբալ ֆոտոնային քարտեզի կառուցումը:

For efficiency reasons, it pays off to divide the stored photons into three photon maps:

**Caustic photon map:** contains photons that have been through at least one specular reflection/refraction before hitting a diffuse surface.

**Global photon map:** an approximate representation of the global illumination solution for the scene for all diffuse surfaces.

**Volume photon map:** indirect illumination of a participating medium: when a photon travels through a participating medium, it has a certain probability of being scattered or absorbed in the medium.

Photons are stored at the positions where a scattering event happens.

The primary goal of this pass is to populate the photon maps that are used in the rendering pass to calculate the reflected radiance at surfaces and out-scattered radiance in participating media.

It is important to note, that *photon map* is not an image. It is a three-dimensional spatial data structure and it is view-independent. This means, that the photon map can be decoupled from the geometric representation of the scene, so we have the flexibility to solve different parts of the rendering equation by using multiple photon maps.

This is a key feature of the algorithm, making it capable of simulating global illumination in complex scenes. This is also another reason why photon mapping can easily be incorporated into existing renderers.

ները նույնպես պահպանվում են:

Արդյունավետության տեսակետից, ձեռնտու է պահպանված ֆոտոնները բաշխել երեք ֆոտոնային քարտեզների միջև:

**Կաուստիկ ֆոտոնային քարտեզ.** պարունակում է այն ֆոտոնները, որոնք նախքան դիֆուզ մակերևույթին հարվածելը, գեթ մեկ անգամ բեկվել կամ հայելային անդրադարձ են ունեցել:

**Գլոբալ ֆոտոնային քարտեզ.** տեսարանում եղած բոլոր դիֆուզ մակերևույթների գլոբալ լուսավորության մոտավոր ներկայացումն է:

**Ծավալի ֆոտոնային քարտեզ.** մասնիկներ պարունակող միջավայրի անուղղակի լուսավորություն. երբ ֆոտոնն ընթանում է մասնիկներ պարունակող միջավայրի միջով, ապա այն, որոշակի հավանականությամբ կարող է ցրվել կամ կլանվել այդ միջավայրում:

Պահպանվում է ֆոտոնի այն դիրքը, որտեղ տեղի է ունեցել ցրման երևույթը:

Այս փուլի հիմնական նպատակն է «բնակեցնել» ֆոտոնային քարտեզները, որոնք օգտագործվում են տեսայնացման փուլում՝ մակերևույթներից անդրադարձած և միջավայրի մասնիկների վրա ցրված պայծառությունը հաշվելու համար:

Կարևոր է նշել, որ ֆոտոնային քարտեզը պատկեր չէ: Այն՝ եռաչափ տվյալների կառուցվածք է և կախված չէ դիտակետից: Հետևաբար, ֆոտոնային քարտեզը կարող է դիտարկվել տվյալ տեսարանի երկրաչափությունից անկախ, ինչը հնարավորություն է ընձեռում տեսայնացման հավասարման տարբեր բաղադրիչները հաշվելու՝ օգտագործելով տարբեր ֆոտոնային քարտեզներ:

Սա՝ ալգորիթմի գլխավոր առանձնահատկությունն է, որը հնարավորություն է տալիս նմանակել գլոբալ լուսավորությունը բարդ տեսարաններում, ինչպես նաև հեշտությամբ ներկառուցվել գոյություն ունեցող տեսայնացման ծրագրերի մեջ:

Figure 31. Photon map represents illumination stored as points in a spatial data structure.

Source/Աղբյուրը՝ "Image Synthesis".pptx, Dr. Jens Kruger–Computer Graphics and Visualization Group; <http://slideplayer.com/slide/9934631>



Նկար 31. Ֆոտոնային քարտեզը ներկայացնում է կետերի ձևով պահպանված լուսավորվածությունը՝ տարածական տվյալների կառուցվածքում:

## Photon Storing

Photons are only generated during the photon tracing (first pass).

In the rendering pass the photon map is used to compute estimates of the incoming flux and the reflected radiance at many points in the scene.

To do this it is necessary to locate the  $k$  nearest photons around any  $x$  point in the photon map.

During photon tracing, the data is stored in a **point list** (Figure 32-a).

We also want the photon map to be compact and to support fast three-dimensional spatial searches (remember, that coordinates of  $k$  nearest photons we have to locate are three-dimensional) as the algorithm will need to query the photon map millions of times during the rendering phase.

When tracing is finished, the **points list** is converted to **kd-tree** (Figure 32, b) and then is balanced (Figure 32, c). It reads as **k-dimensional** tree and represent the photons grouped and rearranged by their locations in the scene that are registered in the points list, constructing a hierarchical spatial structure.

This process is similar to sorting a randomly recorded list of names. Naturally after sorting alphabetically, it would be much easier to find a name that starts with a particular letter.

## Ֆոտոնների պահպանումը

Ֆոտոնները գեներացվում են միայն ֆոտոնների հետազոտման ընթացքում (առաջին փուլ):

Տեսայնացման փուլում, ֆոտոնային քարտեզն օգտագործվում է տեսարանի բազմաթիվ կետերում ֆոտոնների ընկնող հոսքը և անդրադարձած պայծառությունը հաշվարկելու համար:

Այդ հաշվարկը կատարելու համար, հարկավոր է ֆոտոնային քարտեզի ցանկացած  $x$  կետի շրջակայքում գտնել  $k$  հատ մոտակա ֆոտոնները:

Հետազոտման ընթացքում ֆոտոնների տվյալները պահպանվում են ցուցակի ձևով, որը կոչվում է **կետերի ցուցակ** (Նկար 32-ա):

Տվյալների պահպանման ծախսերը նվազեցնելու համար, հարկավոր է, որ ֆոտոնային քարտեզը լինի կոմպակտ և ապահովի արագ որոնումների հնարավորություն եռաչափ տվյալների տարածքում (հիշենք, որ որոնվող  $k$  մոտակա ֆոտոնների կոորդինատները եռաչափ են), քանի որ տեսայնացման փուլում ալգորիթմը միլիոնավոր հարցումներ է կատարելու ֆոտոնային քարտեզից:

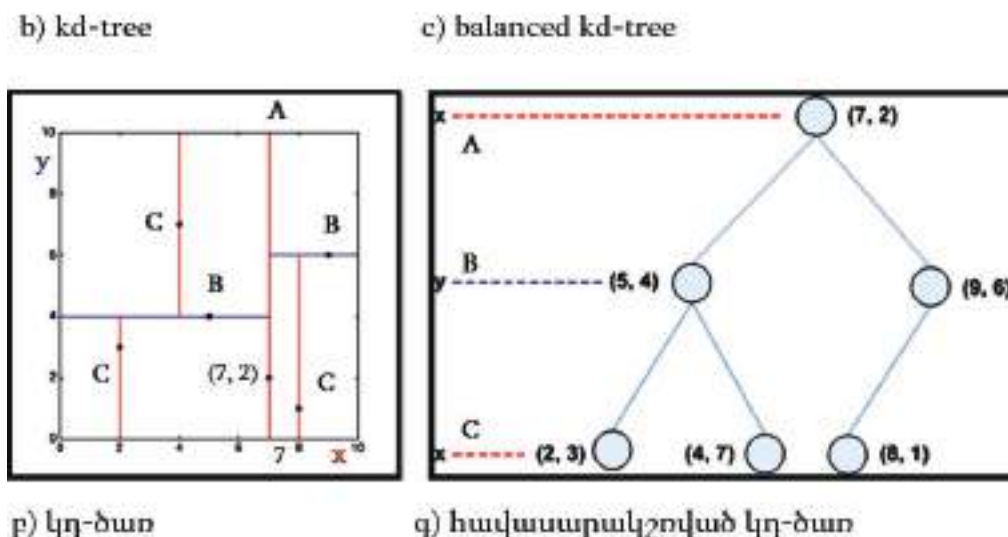
Այդ նպատակով, հետազոտումը ավարտելուց հետո, **կետերի ցուցակը** փոխակերպվում է **կդ-ծառի** (kd-tree, Նկար 32, բ) և այնուհետև հավասարակշռվում է (Նկար 32, գ): Այն կարդացվում է որպես **k չափողակ-նություն** ծառ և իրենից ներկայացնում է **կետերի ցուցակում** գրանցված ֆոտոնները՝ վերադասավորված և խմբավորված ըստ տեսարանում ունեցած իրենց դիրքերի, կազմելով ստորակարգային տարածական կառուցվածք:

Այս գործընթացը կարելի է նմանեցնել պատահականորեն գրված ազգանունների ցուցակի, որը այնուհետև վերադասավորվում է ըստ այբբենական կարգի: Այդ դեպքում որևէ տառով սկսվող ազգանունը հարկ չի լինի փնտրել ողջ ցուցակում, այլ՝ համապատասխան տառի ներքո:

Figure 32. a) Point list, b) kd-tree, c) balanced kd-tree.

Source/Աղբյուրը՝ "Image Synthesis".pptx, Dr. Jens Kruger <http://player.slideplayer.com/25/8032784/#>

Point List = [(2,3), (5,4), (9,6), (4,7), (8,1), (7,2)] = կետերի ցուցակ



Նկար 32. ա) կետերի ցուցակ, բ) կդ-ծառ, գ) հավասարակշռված կդ-ծառ:

After all photons are stored in the map we want to make sure it is balanced (see below for explanation).

### A simplified example of kd-tree balancing

Let us suppose that the sample on Figure 32, b is a small area on a wall, and the set of dots on coordinate plane are the points where photons hit the surface.

At first step the data set is split by median A (7, 2): it will be the parent node.

Then left data set will form the left child tree and right data set – the right child tree.

At second step the right and left datas are splitted by blue medians B (blue medians become nodes for right and left child trees), at third step – with medians C, and so on (Figure 32-c).

The choice of a splitting dimension is based on the distribution of points within the set.

One might use either the approximate equality between splitted subsets, or the maximum distance between the points as a criterion.

Քարտեզում բոլոր ֆոտոնները գետեղելուց հետո, պետք է համոզվենք, որ այն հավասարակշռված է (բացատրված է ստորև):

### Կդ-ծառի հավասարակշռման պարզեցված օրինակ

Ենթադրենք Նկար 32, բ-ի վրա պատկերված նմուշը պատի մի փոքր հատված է, իսկ կոորդինատային հարթության վրա պատկերված կետերի բազմությունը՝ այն տեղերն են, որտեղ ֆոտոնները հարվածել են մակերևույթին:

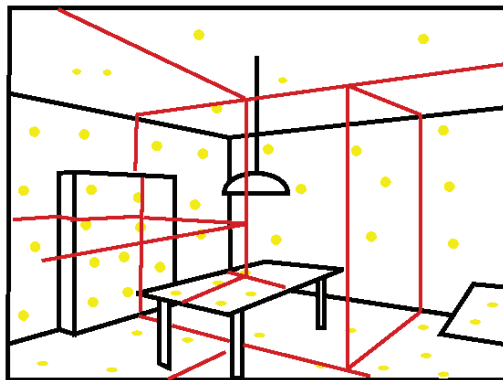
Առաջին քայլով տվյալների բազմությունը բաժանող A հատվածը հանդես կգա որպես գլխավոր հանգույց. այն անցնում է A (7, 2) կետով:

Ստացված տվյալների ձախ բազմությունը կկազմի ձախ ճյուղավորումը, իսկ աջ բազմությունը՝ աջ ճյուղավորումը:

Երկրորդ քայլով, տվյալների աջ և ձախ բազմությունները կխսվում են կապույտ B հատվածներով (կապույտ հատվածները հանդես կգան որպես աջ և ձախ ճյուղավորումների հանգույցներ), երրորդ քայլին՝ C հատվածներով, և այսպես շարունակ (Նկար 32-գ): Բազմությունը կխոռ հատվածի կոորդինատի ընտրությունը կախված է բազմության մեջ կետերի բաշխվածությունից և տարվում է այնպես, որ կխսված ենթաբազմություններում կետերի քանակը մոտավորապես հավասար լինի, կամ, իրարից առավել հեռու գտնվող երկու կետերի միջնակետով:

Figure 33. In the three dimensional space - planes intersecting medians are added.

Source/Աղբյուր՝ Global Illumination (3), Photon Mapping (1) <http://slideplayer.com/slide/9934631>.



Նկար 33. Եռաչափ տարածության մեջ կխոռ հատվածները փոխարինվում են կխոռ հարթություններով:

After the photon map is created it is stored (cached) on disk or in memory for later usage.

It is one of the few data structures that is ideal for handling non-uniform distributions of photons.

The worst-case complexity of locating  $k$  photons in a kd-tree is  $O(n)$  where as if it is balanced it is  $O(\log n)$ . When  $n \gg 1$ , then  $O(\log n) \ll O(n)$  where  $n$  is the number of photons.

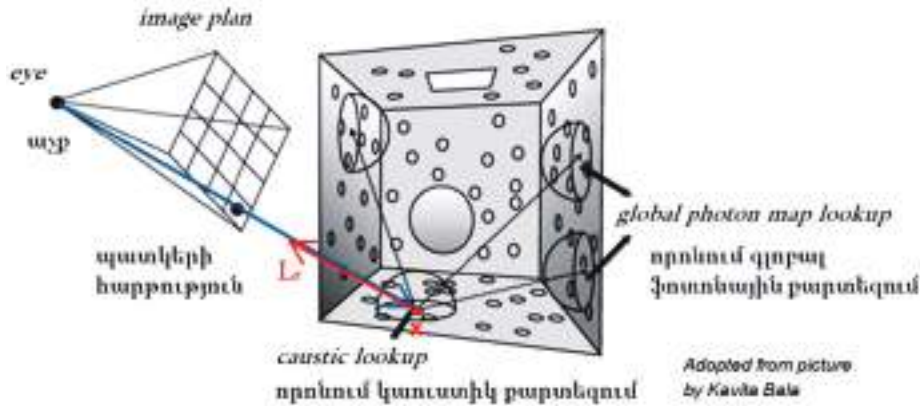
Ֆոտոնային քարտեզը կառուցելուց հետո այն պահպանվում է (քեշավորվում է) կոշտ սկավառակի վրա կամ հիշողության մեջ, հետագա օգտագործման համար:

Սա տվյալների այն սակավաթիվ կառուցվածքներից է, որ կատարյալ է հաշվարկի համար՝ ֆոտոնների ոչ համասեռ բաշխվածության պարագայում:

Նույնիսկ ամենաբարդ կառուցվածքի դեպքում կդ-ծառի  $k$  հատ ֆոտոնների որոնման ժամանակը համեմատական է  $O(n)$  –ին, մինչդեռ հավասարակշռված դեպքում՝  $O(\log n)$  –ին (երբ  $n \gg 1$  –ից, ապա  $O(\log n) \ll O(n)$  –ից), որտեղ  $n$ -ը ֆոտոնների քանակն է:

Figure 34. Find nearest photons in the neighborhood of intersection point  $x$  in the photon map.

Source/Աղբյուրը՝ "Photon mapping (PM), Progressive PM, Stochastic PPM", - Jiri Vorba



Նկար 34. Ֆոտոնային քարտեզում՝ մոտակա ֆոտոնների որոնումը փոխհատման  $x$  կետի հարևանությամբ:

## Rendering (second pass)

In this step of the algorithm, the cached photon maps (created in the first pass) are used to estimate the radiance of every pixel of the output image.

For each pixel, the scene is ray traced until the closest surface of intersection is found (Figure 34).

For each point, an approximation of the rendering equation (Equation 2-4) is used to calculate the surface radiance  $L_r$  leaving the point of intersection  $x$  in the direction of the ray that struck it (the red ray in Figure 34). This radiance is assigned to the pixel, through which the ray was traced (the blue ray in Figure 34).

At each point, outgoing (reflected) light in one direction is the integral (sum) of incoming light from all directions multiplied by reflectance property (Equation 2-4, Figure 34).

### Equation 2-4 / Հավասարում 2-4

$$L_r(x, \omega_r) = \int f_r(x, \omega_i, \omega_r) * dE_i(x, \omega_i)$$

Here  $L_r(x, \omega_r)$  is the reflected radiance (from point  $x$ ),  $dE_i$  – is the illumination of the surface from a particular direction  $\omega_i$  with incident flux within a differential solid angle  $d\omega_i$  (Figure 35).

The reflectance property of a surface at a point  $x$  is described by  $f_r$  - bi-directional reflectance distribution function (BRDF)<sup>3</sup>.

3 BRDF takes an incoming light direction  $\omega_i$  (Figure 35), and outgoing direction  $\omega_r$  (taken in a coordinate system where the surface normal  $n$  lies along the z-axis), and returns the ratio of reflected radiance exiting along  $\omega_r$  to the irradiance incident on the surface at a point  $x$  from direction  $\omega_i$ . Each direction  $\omega$  is itself parameterized by azimuth angle  $\phi$  and zenith angle  $\theta$ . The BRDF measurement unit is  $sr^{-1}$ . **ԵԱԲՖ** –ը որոշում է ընկնող լույսի  $\omega_i$  (Նկար 35) և անդրադարձած լույսի  $\omega_r$  ուղղությունները (եռաչափ կոորդինատական համակարգում, որտեղ մակերևույթին տարած ուղղահայացը համընկնում է  $z$  առանցքի հետ) և հաշվում  $\omega_r$  ուղղությամբ անդրադարձած պայծառության և  $\omega_i$  ուղղությունից մակերևույթի  $x$  կետին ընկած լուսավորության հարաբերությունը: Իր հերթին, յուրաքանչյուր  $\omega$  ուղղություն որոշվում է ազիմուտի  $\phi$  և զենիթի նկատմամբ ունեցած  $\theta$  անկյուններով: ԵԱԲՖ –ի չափման միավորն է՝ **ստեր**<sup>4</sup>:

## Տեսայնացում (երկրորդ փուլ)

Ավտոդիմի այս քայլում՝ կառուցվող պատկերի յուրաքանչյուր փիքսելի պայծառությունը որոշելու համար օգտագործվում են պահպանված ֆոտոնային քարտեզները (որոնք կառուցվել էին նախորդ փուլում):

Յուրաքանչյուր փիքսելի համար, նրա կենտրոնով դեպի տեսարան ուղարկված ճառագայթը հետագծվում է մինչև կգտնվի առաջին փոխհատման մակերևույթը (Նկար 34):

Յուրաքանչյուր փոխհատման կետի համար՝ տեսայնացման մոտարկված հավասարումը (Հավասարում 2-5) հաշվարկում է  $x$  կետից՝ հետագծված ճառագայթի ուղղությամբ հեռացող  $L_r$  պայծառությունը (Նկար 34-ի վրա պատկերված է կարմիր գույնով): Այս պայծառությունը վերագրվում է այն փիքսելին, որի միջով անցել էր հետագծված ճառագայթը (նկար 34-ի վրա պատկերված է կապույտ գույնով):

Յուրաքանչյուր կետից՝ որոշակի ուղղությամբ հեռացող (անդրադարձած) լույսը հավասար է բոլոր կողմերից եկած լույսի ինտեգրալին (գումարին) բազմապատկած անդրադարձման հատկությամբ (Հավասարում 2-4, Նկար 34):

Այստեղ  $L_r(x, \omega_r)$   $x$  կետից անդրադարձած պայծառությունն է,  $dE_i$  –ն՝ մակերևույթի լուսավորվածությունն է որոշակի  $\omega_i$  ուղղությունից ընկած ճառագայթային հոսքով, որը պարփակված է  $d\omega_i$  մարմնային անկյան մեջ (Նկար 35):

$f_r$  նկարագրում է մակերևույթի անդրադարձման հատկությունը որևէ  $x$  կետում և կոչվում է երկկողմանի անդրադարձման բաշխվածության ֆունկցիա (**ԵԱԲՖ**)<sup>3</sup>:

**BRDF** is the most general expression of reflectance of a material.

At a high level, the BRDF describes how “bright” a surface will look from a particular direction  $\omega_r$ , when being illuminated by a light from another direction  $\omega_i$ .

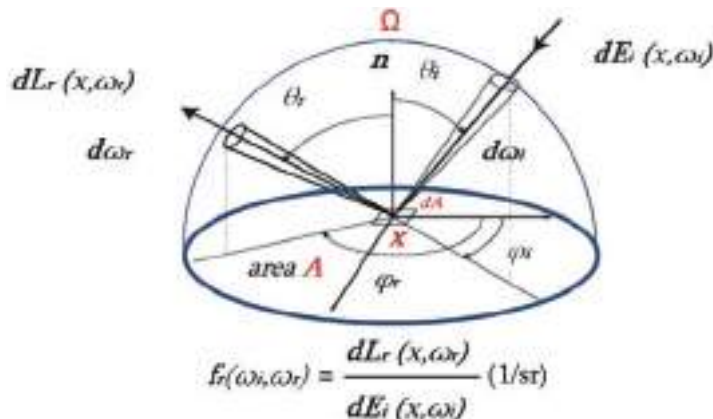
To account for the light coming from all directions we need to integrate that (Equation 2-5) by spacial angle  $\Omega$  involving  $x$  (Figure 35).

**ԵԱԲՖ** նյութի անդրադարձնող հատկությունը բնութագրող ամենաընդհանրական արտահայտությունն է:

Ընդհանուր առմամբ՝ **ԵԱԲՖ** -ը նկարագրում է, թե որքան «պայծառ» կերևա մակերևույթը որոշակի  $\omega_r$  ուղղությունից, երբ այն լուսավորվում է մեկ այլ՝  $\omega_i$  ուղղությունից ընկնող լույսով:

Բոլոր կողմերից եկած լույսը հաշվի առնելու համար հարկավոր է այն ինտեգրել (Հավասարում 2-5)՝  $x$ -ն ընդգրկող  $\Omega$  մարմնային անկյունով (Նկար 35):

Figure 35.  $f_r$  is the bi-directional reflectance distribution function (BRDF).



Նկար 35.  $f_r$  երկկողմանի անդրադարձման բաշխվածության ֆունկցիա է (ԵԱԲՖ):

Equation 2-5 / Հավասարում 2-5

$$L_r(x, \omega_r) = \int_{\Omega} f_r(x, \omega_i, \omega_r) * dE_i(x, \omega_i)$$

We can use photons density estimation to estimate the illumination ( $dE_i$ ) from the created photon map by locating the  $k$  photons that has the shortest distance to  $x$  (Figure 34).

This density estimate gives us the incoming flux density or irradiance.

Each photon  $p$  has the power  $\Delta\Phi_p$  and by assuming that the photons intersect the surface at  $x$  we obtain:

Լուսավորվածությունը ( $dE_i$ ) հաշվելու համար մենք կարող ենք օգտվել կառուցված ֆոտոնային քարտեզից՝  $x$  կետի մոտակա  $k$  ֆոտոնները գտնելով և նրանց խտությունը հաշվելով (Նկար 34):

Խտության հաշվարկը տալիս է մեզ ընկած հոսքի խտությունը կամ լուսավորվածությունը:

Յուրաքանչյուր  $p$  ֆոտոն ունի որոշակի  $\Delta\Phi_p$  հզորություն և եթե նրանք հարվածում են մակերևույթին  $x$  կետում, կստանանք.

Equation 2-6 / Հավասարում 2-6

$$E_i = \sum_{p=1}^k \frac{\Delta\Phi_p}{\Delta A}$$

In other words, irradiance  $E_i$ , is the sum of the number of photons  $\Phi_p$ , arriving per unit area.

We can substitute for  $E_i$  in Equation 2-6 rendering:

Այսպիսով, կարելի է ասել, որ  $E_i$  լուսավորվածությունը՝ միավոր մակերեսին ընկած բոլոր  $\Phi_p$  ֆոտոնների գումարն է:

Տեսայնացման հավասարման մեջ (Հավասարում Equation 2-6) փոխարինելով  $E_i$ -ին՝ կստանանք.

Equation 2-7 / Հավասարում 2-7

$$L_r(x, \omega_r) \approx \sum_{p=1}^k f_r(x, \omega_r, \omega_i) * \frac{\Delta\Phi_p(x, \omega_i)}{\Delta A}$$

The procedure can be imagined as expanding a hemisphere around  $x$  until it contains  $k$  photons (Figure 35) and then using these  $k$  photons to estimate the radiance.

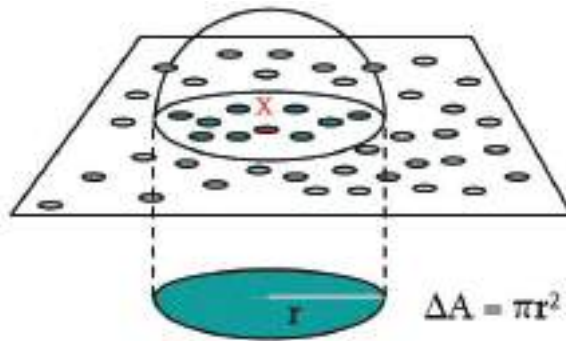
Equation 2-7 still contains area  $\Delta A$ , which is related to the density of the photons around  $x$ .

By assuming that the surface is locally flat around  $x$  we can compute this area by projecting the hemisphere onto the surface and use the area of the resulting circle.

This area is indicated in Figure 36 and equals:  $\Delta A = \pi r^2$ , where  $r$  is the radius of the hemisphere – ie. the largest distance between  $x$  and each of the photons.

**Figure 36.** Finding  $k$  nearest photons from the created photon map

Source/Աղբյուրը՝ Global Illumination (3), Photon Mapping (1); <http://slideplayer.com/slide/9934631>



**Նկար 36.** Կառուցված ֆոտոնային քարտեզում  $k$  մոտակա ֆոտոնների որոշումը:

This results in the following equation for computing reflected radiance at a surface using the photon map:

Արդյունքում՝ ֆոտոնային քարտեզի միջոցով մակերևույթից անդրադարձած պայծառությունը հաշվելու համար, կստանանք հետևյալ հավասարումը:

**Equation 2-8 / Հավասարում 2-8**

$$L_r(x, \omega_r) \approx \frac{1}{\pi r^2} \sum_{i=1}^k f_r(x, \omega_r, \omega_i) * \Delta \Phi_i(x, \omega_i)$$

This estimate is based on many assumptions and the accuracy depends on the number of photons used in the photon map and in the formula.

As more photons are used in the estimate and in the photon map, Equation 2-8 becomes more accurate.

The number of photons used for a radiance estimate  $k$  is usually between 50 and 500 (Figure 37).

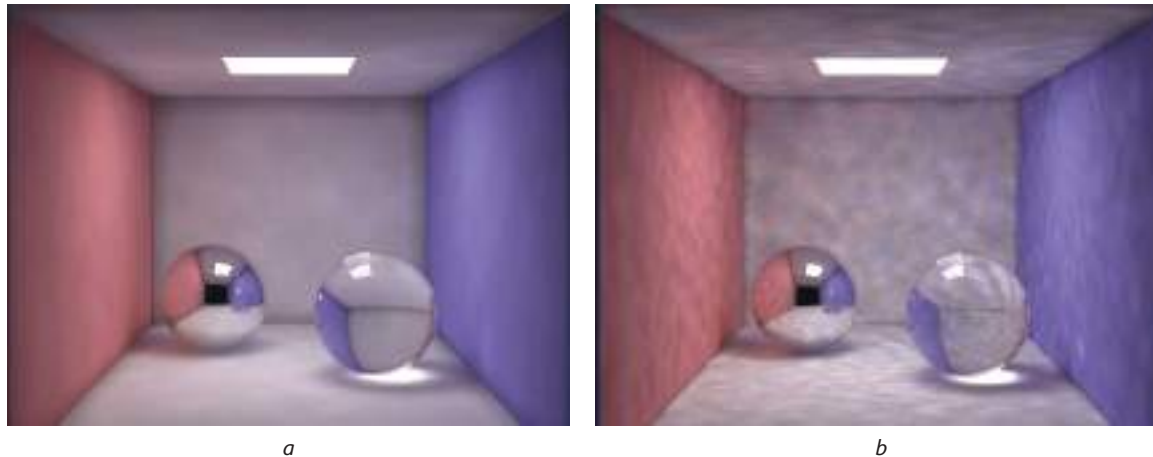
Այս հաշվարկի հիմքում ընկած են բազմաթիվ մոտարկումներ, ուստի ճշգրտությունը կախված է ֆոտոնային քարտեզում և բանաձևերում օգտագործված ֆոտոնների քանակից:

Որքան մեծ լինի հաշվարկում օգտագործված ֆոտոնների քանակը, այնքան մեծ կլինի հավասարում 2-8 ճշգրտությունը:

Պայծառության հաշվարկի համար օգտագործվող ֆոտոնների քանակը  $k$ , սովորաբար գտնվում է 50 և 500 միջև (Նկար 37):

Figure 37. Results for radiance estimate using a) 50 photons and b) 500 photons

Source/Աղբյուրը՝ Images from Henrik Wann Jensen



Նկար 37. Պայծառության հաշվարկի արդյունքը ա) 50 ֆոտոնի և բ) 500 ֆոտոնի օգտագործման դեպքում:

To facilitate efficiency, Equation 2-8 is decomposed into four separate factors: direct illumination, specular reflection, caustics and indirect illumination.

$$L_r = L_{\text{direct}} + L_{\text{specular}} + L_{\text{caustics}} + L_{\text{indirect}}$$

For an accurate estimate of direct illumination, a ray is traced from the point of intersection to each light source.

As long as a ray does not intersect another object, the light source is used to calculate the direct illumination.

Specular reflections are calculated using ray tracing procedures.

The contribution to the surface radiance from caustics and indirect illumination is calculated using the appropriate photon map directly.

**Photon mapping** is about the power of statistics: you don't need to inquiry the behaviour of every possible path in the scene in the same way you don't have to ask every citizen about their political views to anticipate a poll result.

With photon mapping you basically take statistic samples in every area of the scene to form an accurate map of incoming lighting.

The result is less than perfect - yet a very good approximation is achieved in much less time.

A summary on lighting simulation algorithms is given in Table 4.

Արդյունավետությունը բարձրացնելու նպատակով, Հավասարում 2-8 -ը տրոհվում է չորս առանձին բաղադրիչների՝ ուղղակի լուսավորության, հայելային անդրադարձման, կաուստիկայի և անուղղակի լուսավորության:

$$L_r = L_{\text{ուղղակի}} + L_{\text{հայելային}} + L_{\text{կաուստիկա}} + L_{\text{անուղղակի}}$$

Ուղղակի լուսավորության ճշգրիտ հաշվարկը կատարվում է՝ փոխհատման կետից դեպի յուրաքանչյուր լույսի աղբյուրը տարած ճառագայթների հետազննմամբ:

Եթե ճառագայթը չի փոխհատվում այլ առարկաների հետ, ապա ուղղակի լուսավորությունը հաշվարկվում է օգտագործելով լույսի աղբյուրի տվյալները:

Հայելային անդրադարձումը նույնպես հաշվարկվում է ճառագայթի հետազննման օգնությամբ:

Մակերևույթի պայծառության մեջ կաուստիկայի և անուղղակի լուսավորության ունեցած ներդրումները հաշվարկվում են անմիջապես համապատասխան ֆոտոնային քարտեզներից:

**Ֆոտոնային քարտեզագրումը՝** վիճակագրության հզորության վկայությունն է. մեզ հարկավոր չէ հետազոտել տեսարանում բոլոր հնարավոր հետազոտելի վարքագիծը, այնպես, ինչպես ընտրությունների արդյունքները ճիշտ կանխատեսելու համար, հարկ չի լինում պարզել յուրաքանչյուր քաղաքացու քաղաքական հայացքները:

Ֆոտոնային քարտեզագրումն, ըստ էության, վիճակագրական նմուշներ է վերցնում տեսարանի յուրաքանչյուր տարածքից՝ ընկնող լույսի ճշգրիտ քարտեզը կազմելու համար:

Արդյունքում ստացված ոչ անթերի, բայց շատ լավ մոտարկումը ձեռք է բերվում շատ ավելի կարճ ժամանակում համեմատ այլ մեթոդների:

Լուսավորման մոդելավորման ալգորիթմների ամփոփ պատկերը ներկայացված է Աղյուսակ 4-ում:

## References /Հղումներ

1. “A Practical Guide to Global Illumination using Photon Maps”, Henrik Jenson, Siggraph 2000
2. “Global Illumination using Photon Maps”, Henrik Jenson; <http://graphics.ucsd.edu/~henrik/>
3. “Realistic Image Synthesis Using Photon Mapping”, Jensen, Henrik W., A K Peters, Ltd., Massachusetts, 2001
4. <http://sites.fas.harvard.edu/~cs278/papers/pmap.pdf>, H. Jensen
5. “Photon Mapping”, Zack Waters
6. Global Illumination (3), Photon Mapping (1); <http://slideplayer.com/slide/9934631>
7. ”Photon mapping (PM), Progressive PM, Stochastic PPM” Jiri Vorba
8. “Global Illumination and Radiosity”, CS535, Daniel G. Aliaga
9. “Global Illumination. Shading 6:” Christian Miller, CS 354 - UT Computer Science; [https://www.cs.utexas.edu/~ckm/teaching/cs354\\_f11/lectures/Lecture18.pdf](https://www.cs.utexas.edu/~ckm/teaching/cs354_f11/lectures/Lecture18.pdf)
10. “Introduction to Computer Graphics”, Torsten Möller, Global Illumination, CMPT 361,
11. ”Image Synthesis”.pptx, Dr. Jens Kruger – Computer Graphics and Visualization Group; <http://player.slideplayer.com/25/8032784/#>
12. “Computer Graphics – Global Illumination Techniques”, Lecture 14, Taku Komura
13. [https://en.wikipedia.org/wiki/Photon\\_mapping](https://en.wikipedia.org/wiki/Photon_mapping)

Table 4. Lighting simulation algorithms

| Feature            | Algorithm                                                                                                                                              |
|--------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| View-dependent     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• forward ray tracing</li> <li>• backward ray tracing</li> <li>• bi-directional ray tracing</li> </ul>          |
| Scene-dependent    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• radiosity</li> <li>• photon map</li> <li>• Integrative approaches</li> <li>• Multi-pass approaches</li> </ul> |
| Direct calculation | <ul style="list-style-type: none"> <li>• for artificial lighting, follows national standards</li> </ul>                                                |
| Calculation aids   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• deterministic methods (classical approaches)</li> <li>• statistical sampling methods (Monte Carlo)</li> </ul> |

Աղյուսակ 4. Լուսավորման մոդելավորման ալգորիթմեր

| Առանձնահատկություն          | Ալգորիթմ                                                                                                                                                                                              |
|-----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Դիտակետով պայմանավորված     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• ճառագայթի ուղիղ հետագծում</li> <li>• ճառագայթի հետադարձ հետագծում</li> <li>• ճառագայթների երկկողմանի հետագծում</li> </ul>                                    |
| Տեսարանով պայմանավորված     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• ետճառագայթման (պայծառության) ալգորիթմ</li> <li>• ֆոտոնային քարտեզագրում</li> <li>• ինտեգրալ մոտեցումներ</li> <li>• բազմակի անցումների մոտեցումներ</li> </ul> |
| Ուղղակի (անմիջական) հաշվարկ | <ul style="list-style-type: none"> <li>• արհեստական լուսավորության համար, ըստ ազգային ստանդարտների մեթոդաբանության</li> </ul>                                                                         |
| Հաշվարկման միջոցներ         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Դետերմինիստական մեթոդներ (դասական մոտեցումներ)</li> <li>• Վիճակագրական նմուշառման մեթոդներ (Մոնթե Կառլո)</li> </ul>                                          |

## DIALuxEvo: Calculating with control groups

Whatever method is used, calculations take time. Therefore it is a pity, when, after a successful calculation, a completely new calculation is required when individual lighting scenes are adapted in order, for example, to optimise the energy consumption or to achieve a specific lighting effect. DIALux is treading a completely new path: for each lighting scene, the lighting designer defines luminaire groups which he would like to dim or set independently of each other in each respective lighting scene. Prior to calculation DIALux evo identifies from all the lighting scenes the control groups which are necessary for these lighting scenes. Each control group is now calculated separately. In doing this, the calculation time is initially multiplied. However, this method means that the result of a lighting scene can be adjusted later. The results of the individual control groups are added after each adjustment. Instead of having to run through the whole calculation again, it is now only necessary to recreate the lighting textures on the surfaces.

Naturally, the accuracy of this method is related to the number of simulated photons shot, with increase of which the computational time increases too. However, interestingly, by increasing the number of shot photons the accuracy can be increased without any limits, in the context of the materials properties that are approximated, e.g. the diffusivity angular dependency of a surface, etc. Figure 38 describes this property – note that the complexity of scene requires more photons shot and thus, more accuracy.

Current geometrical optics algorithms<sup>4</sup> were found present in all models examined. The most implemented were **raytracing** and **radiosity**, with **photon map** being used in fewer tools.

## DIALuxEvo. հաշվարկ հսկիչ խմբերով

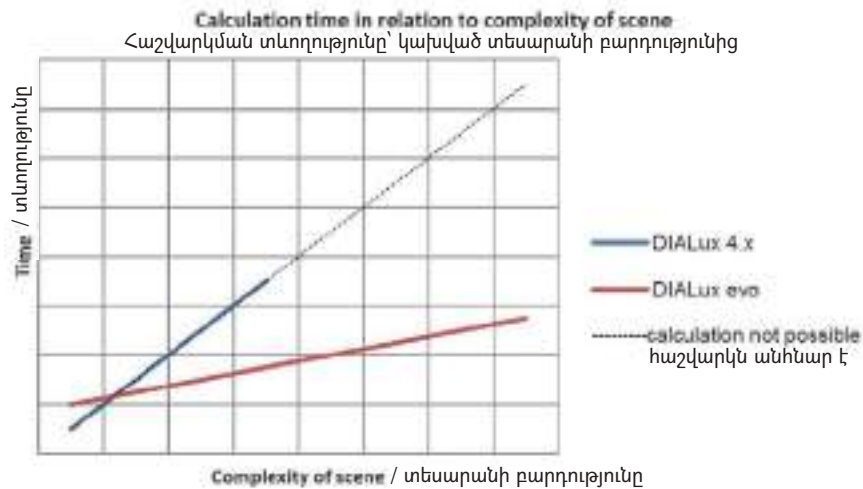
Ինչ մեթոդ էլ կիրառվի, հաշվարկները ժամանակ են պահանջում: Հետևաբար, ցավալի է, երբ հաջողությամբ կատարված հաշվարկից հետո լուսավորության առանձին նմուշներ հարմարեցնելու ժամանակ պահանջվում է բոլորովին նոր հաշվարկ, օրինակ, էլեկտրաէներգիայի սպառումն օպտիմալացնելու կամ լուսավորության որոշակի արդյունք ստանալու նպատակով: «DIALux»-ը շարժվում է բոլորովին նոր ճանապարհով. լուսավորության յուրաքանչյուր տարածքի համար լուսավորություն նախագծողը կազմում է լուսատուների խմբեր, որոնք նա կցանկանար կառավարել (լուսատուի լույսը ուժեղացնել կամ թուլացնել), կամ լուսավորության յուրաքանչյուր տիպի տարածքի համար համապատասխան խմբեր աշխատացնել: Նախքան հաշվարկներ կատարելը «DIALux Evo»-ն որոշում է լուսավորության տվյալ նմուշին համապատասխանող կառավարվող խմբերը, և լուսավորության հաշվարկը կատարվում է միայն այդ խմբերում ներառված լուսատուների համար: Յուրաքանչյուր կառավարվող խումբ այժմ հաշվարկվում է առանձին: Կառավարվող խմբերի քանակի աճին զուգահեռ մեծանում է նաև հաշվարկման ժամանակը: Ինչևէ, այս մեթոդը նշանակում է, որ լուսավորության տեսարանի արդյունքը հետագայում կարելի է կարգավորել: Այժմ՝ կառավարվող խմբերում ներառված լուսատուների լուսատվության յուրաքանչյուր կարգավորումից հետո, ամբողջ հաշվարկը կրկին կատարելու փոխարեն, մակերևույթների համար արագ վերստեղծվում են միայն լուսավորության տեքստուրաները:

Բնականաբար, այս մեթոդի ճշգրտությունը կապված է «արձակված» ֆոտոնների թվի հետ, որի ավելացման հետ մեկտեղ ավելանում է նաև հաշվարկման տևողությունը: Այնուամենայնիվ, հետաքրքիր է, որ արձակվող ֆոտոնների թիվն ավելացնելով կարելի է մեծացնել ճշգրտությունը՝ առանց որևէ սահմանափակման, այն նյութերի հատկությունների համատեքստում, որոնք մոտարկվել են, օրինակ՝ ցրվածության (դիֆուզիայի) անկյունային կախվածությունը մակերևույթից, և այլն: Նկար 38-ում նկարագրվում է այս հատկությունը. ուշադրություն դարձրեք, որ տեսարանի բարդությունը պահանջում է ավելի շատ ֆոտոնների արձակում, այսինքն ավելի մեծ ճշտություն:

Ժամանակակից երկրաչափական օպտիկայի ալգորիթմները<sup>4</sup> կիրառվում են ուսումնասիրված բոլոր մոդելներում: Ամենաշատն իրականացվել են **ճառագայթների հետագծման և ետճառագայթման եղանակները**, իսկ **ֆոտոնների քարտեզագրումն** օգտագործվել է ավելի քիչ ծրագրային գործիքներում:

4 From here to Section 3 is a citation from the Carlos E. Ochoa, Myriam B.C. Aries and Jan L.M. Hensen, Eindhoven University of Technology, Department of Architecture, Building and Planning, P.O. Box 513, 5600 MB, Eindhoven, the Netherlands, received 11 January 2011, State of the Art in Lighting Simulation for Building Science: A Literature Review:  
Այստեղից մինչև բաժին 3 մեջբերման աղբյուրն է՝ Carlos E. Ochoa, Myriam B.C. Aries and Jan L.M. Hensen, Eindhoven University of Technology, Department of Architecture, Building and Planning, P.O. Box 513, 5600 MB, Eindhoven, the Netherlands, received 11 January 2011, State of the Art in Lighting Simulation for Building Science: A Literature Review:

**Figure 38.** To the calculation time of DIALux vs. DIALux Evo – shows that the radiosity method realised in the DIALux 4.x has advantage only in very simple cases, while with photon shooting method realised in the DIALux Evo for any more or less complex situations are tackled more efficiently.



**Նկար 38.** «DIALux»-ի և «DIALux Evo»-ի հաշվարկման տևողությունը. ցույց է տալիս, որ «DIALux 4.x»-ով իրականացվող երեքադիմացիայի մեթոդն առավելություն ունի միայն շատ պարզ դեպքերում, մինչդեռ «DIALux Evo»-ով իրականացվող ֆոտոնների արձակման մեթոդն ավելի արդյունավետ է գործում ցանկացած շատ թե քիչ բարդ իրադրություններում:

### Abstraction of reality for input

Even if different models attempt to be physically accurate, simplifications have to occur to keep calculation times reasonable. Complex curves and surfaces were represented first through interpolations, and later as polygon-based elements (Pauly *et al.* 2006). Using recent computer hardware, the number of arbitrary polygons and surfaces that can be entered in any given model is unrestricted or very large.

Frequently used methods include: text files, use of command prompt, translators from computer aided drafting (CAD) programs and graphical user interfaces with or without their own CAD system. Some lighting simulation models such as AGi32, Relux, Inspirer, and DIALux include their own CAD system to compose a scene for simulation.

**Automated blinds and shades:** Many studies have been done on simulating blind deployment triggered by external and user factors. For instance, while simulating daylight, DIALuxEvo is able to integrate window-blind models into the visual pattern. These simulation models are developed by the companies producing window-blinds.

Some examples studying *activation* due to weather factors are: Daysim tool for annual daylight availability and influence of automated lighting controls (Reinhart and Walkenhorst 2001); daylight responsive dimmer for electric lighting (Athienitis and Tzempelikos 2002); automated blind control

### Իրականության վերացարկում՝ մուտքագրման համար

Նույնիսկ եթե տարբեր մոդելներ հավակնում են ֆիզիկապես ճշգրիտ լինել, անհրաժեշտ է կիրառել պարզեցումներ, որպեսզի հաշվարկման տևողությունը մնա ողջամտության սահմաններում: Բարդ կորերը և մակերևույթները ներկայացվում էին նախ միջարկման միջոցով, ապա բազմանկյուն տարրերով (Pauly *et al.* 2006): Կիրառելով համակարգչային արդի փաթեթներ՝ յուրաքանչյուր տրված մոդելում հնարավոր է ներգրավել կամայական բազմանկյունների և մակերևույթների անսահմանափակ կամ շատ մեծ քանակ:

Հաճախ կիրառվող եղանակները ներառում են տեքստային ֆայլեր, հրամանների ավտոմատ ընտրություն, թարգմանիչ ծրագրեր համակարգչային նախագծման (computer aided design, CAD) փաթեթներից և նախագծերի մշակման գրաֆիկական ինտերֆեյսներ՝ իրենց CAD համակարգով կամ առանց դրա: Լուսավորության որոշ *ծրագրեր* AGi32, Relux, Inspirer և DIALux, տեսարան-տարածքը մոդելավորելու նպատակով համալրված են ավտոմատացված նախագծման իրենց սեփական միջոցներով:

**Ավտոմատացված շերտավարագույրներ և արևակալներ.** շերտավարագույրների տեղադրման մոդելավորման ուղղությամբ կատարվել են տարբեր գործոններով պայմանավորված բազմաթիվ ուսումնասիրություններ: Օրինակ, ցերեկային լուսավորությունը նմանակելիս DIALux evo -ն հնարավորություն ունի տեսարանում ինտեգրել շերտավարագույրների մոդելներ: Նմանակման այդ մոդելները մշակվում են շերտավա-

for user comfort (Wienold 2007, 2009; Koo *et al.* 2010); energy consumption triggered by luminaire dimming and occupancy sensors (Roisin *et al.* 2008); considerations of multiple variables for adequate controller modes (Daum and Morel 2010).

A natural outcome when many simulation models are available is to compare them. Evaluations presented in the literature can be divided into two large groups: comparisons based on replicating a built reality, and comparisons in controlled laboratory settings. Each approach has advantages and disadvantages. It is difficult to compare between results obtained through each method due to intrinsic methodological limitations...



տություն: Գրականության մեջ ներկայացված գնահատումները կարելի է բաժանել երկու մեծ խմբի: Համեմատություններ՝ հիմնված ստեղծված իրականության նմանական վրա, և համեմատություններ վերահսկվող լաբորատոր պայմաններում: Այս մոտեցումներից յուրաքանչյուրն ունի իր առավելություններն ու թերությունները: Մեթոդաբանական ներքին սահմանափակումների պատճառով դժվար է համեմատել յուրաքանչյուր մեթոդի միջոցով ստացված արդյունքները...

րագույրներ արտադրող ընկերությունների կողմից:

Եղանակային պայմաններից ելնելով *ակտիվացման* ուսումնասիրության որոշ օրինակներն են. Daysim գործիքը՝ տարվա կտրվածքով՝ բնական լույսի առկայության և լուսավորության ինքնավար հսկիչ սարքերի համար (Reinhart and Walkenhorst 2001), բնական լույսին արձագանքող մզեցնող սարք էլեկտարական լուսավորության համար (Athienitis and Tzempelikos 2002), շերտավարագույրների՝ հարմարավետությունն ապահովող ինքնավար հսկիչ սարք (Wienold 2007, 2009; Koo *et al.* 2010), սենքի զբաղեցման սենսորների և լուսատուների մզեցման նպատակով էներգասպառում (Roisin *et al.* 2008), բազմաթիվ փոփոխականների դիտարկում հսկման լավագույն տարբերակն ընտրելու նպատակով (Daum and Morel 2010):

Քանի որ, համակարգչային ծրագրերի օգնությամբ լուսավորության նմանական բազմաթիվ մոդելներ կան, բնականորեն անհրաժեշտ է կատարել համեմա-

**Table 5.** Summary table of current lighting simulation tools. Note: this table does not pretend to be exhaustive.

| Tool                      | Algorithms used                                                                                                                            | Purpose                                      | Availability                                                                             |
|---------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| AGi32                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• direct calculation</li> <li>• Radiosity</li> <li>• limited raytracing</li> </ul>                  | Luminaire design<br>Daylight integration     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• paid</li> </ul>                                 |
| DIALux                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• direct calculation</li> <li>• daylight calculation</li> <li>• POV raytracer for images</li> </ul> | Luminaire design,<br>daylight integration    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• free</li> <li>• proprietary software</li> </ul> |
| Inspirer                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• bidirectional raytracing</li> </ul>                                                               | General purpose                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>• paid</li> </ul>                                 |
| mental ray                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• photon map</li> <li>• radiosity principles</li> <li>• raytracing principles</li> </ul>            | General purpose                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>• found within paid modelling software</li> </ul> |
| Radiance*                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• backward raytracing</li> <li>• scene radiance</li> </ul>                                          | General purpose                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>• free</li> <li>• open source</li> </ul>          |
| Relux                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• direct calculation</li> <li>• radiosity and modified Radiance raytracing</li> </ul>               | Luminaire design,<br>daylight integration    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• free</li> <li>• proprietary software</li> </ul> |
| Velux Daylight Visualizer | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Photon map</li> <li>• bidirectional raytracing</li> <li>• irradiance caching</li> </ul>           | Conceptual stages in<br>daylight application | <ul style="list-style-type: none"> <li>• free</li> <li>• proprietary software</li> </ul> |

\*the photon map version of Radiance follows forward raytracing and photon map models

**Աղյուսակ 5.** Լուսավորության մոդելավորման ներկայիս ծրագրերի ամփոփ աղյուսակ: **Ուշադրություն.** այս աղյուսակը սպառիչ լինելու հավակնություն չունի:

| Գործիքը                         | Օգտագործված ալգորիթմերը                                                                                                                                                            | Նպատակը                                              | Առկայությունը                                                                                          |
|---------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| AGi32                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>• ուղղակի հաշվարկում</li> <li>• ետճառագայթման եղանակ</li> <li>• ճառագայթների հետազննման եղանակի սահմանափակ կիրառություն</li> </ul>          | Լուսատուների նախագծում<br>Յերեկային լույսի ինտեգրում | <ul style="list-style-type: none"> <li>• վճարովի</li> </ul>                                            |
| DIALux                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>• ուղղակի հաշվարկում</li> <li>• ցերեկային լույսի հաշվարկում</li> <li>• POV ճառագայթների ուղիղհետազննման եղանակ՝ պատկերների համար</li> </ul> | Լուսատուների նախագծում<br>Յերեկային լույսի ինտեգրում | <ul style="list-style-type: none"> <li>• անվճար</li> <li>• հեղինակային համակարգչային ծրագիր</li> </ul> |
| Mental ray                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• ֆոտոնների քարտեզագրում</li> <li>• ետճառագայթման սկզբունքներ</li> <li>• ճառագայթների հետազննման սկզբունքներ</li> </ul>                     | Ընդհանուր նպատակ                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• առկա է մոդելավորման վճարովի համակարգչային ծրագրում</li> </ul> |
| Radiance*                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• ճառագայթների հետադարձ հետազննման եղանակ</li> <li>• տեսարանի լուսավորում</li> </ul>                                                        | Ընդհանուր նպատակ                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• անվճար</li> <li>• անվճար</li> </ul>                           |
| Relux                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>• ուղղակի հաշվարկում</li> <li>• ետճառագայթման եղանակ և փոփոխված լուսավորության հետազննման եղանակ</li> </ul>                                 | Լուսատուների նախագծում<br>Յերեկային լույսի ինտեգրում | <ul style="list-style-type: none"> <li>• անվճար</li> <li>• հեղինակային համակարգչային ծրագիր</li> </ul> |
| Velux<br>Daylight<br>Visualizer | <ul style="list-style-type: none"> <li>• ֆոտոնների քարտեզագրում</li> <li>• ճառագայթների երկկողմանի հետազննման եղանակ</li> <li>• լուսարձակման քեշավորում</li> </ul>                 | Յերեկային լույսի օգտագործման կոնցեպտուալ փուլեր      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• անվճար</li> <li>• հեղինակային համակարգչային ծրագիր</li> </ul> |

\*«Radiance»-ի ֆոտոնների քարտեզագրման տարբերակը գործում է ճառագայթների ուղիղ հետազննման և ֆոտոնների քարտեզագրման ալգորիթմերի հիման վրա:

### 3. THE SOFTWARE

In Figure 39, a summary of the lighting calculation software for users is presented<sup>5</sup>. Note, that DIALux is not listed, see further below about it.

### 3. ՀԱՄԱԿԱՐԳՉԱՅԻՆ ԾՐԱԳՐԵՐ

Նկար 39-ում պատկերված է օգտագործողների համար լուսավորության հաշվարկման համակարգչային ծրագրերի ամփոփ ցանկը<sup>3</sup>: DIALux ծրագիրը նշված չէ, այդ ծրագրի մասին տես ստորև:

Figure 39. A list of lighting calculation software for users.

| Photometric calculation   |                                                                                           |                          |
|---------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|
| Lighting calculations     | Description & Notes                                                                       | Download                 |
| CalcuLux Area             | Philips Lighting software                                                                 | <a href="#">Download</a> |
| Dialux                    | Recommended!                                                                              | <a href="#">Download</a> |
| Relux                     | Recommended!                                                                              | <a href="#">Download</a> |
| LITESTAR                  | Registration needed                                                                       | <a href="#">Download</a> |
| LD Calculator             | Photometric calculations, DMX address, electrical formulas, phase load, voltage drop etc. | <a href="#">Download</a> |
| GE LightBeams             | Photometric calculations for GE direct reflectors                                         | <a href="#">Download</a> |
| Visual                    | Basic version (Free)                                                                      | <a href="#">Download</a> |
| LightFactory              | Shareware                                                                                 | <a href="#">Download</a> |
| Lighting Level Calculator | Free limited, 255                                                                         | <a href="#">Download</a> |
| AGi32                     | Test. Calculation tool for accurate photometric predictions. Recommended!                 | <a href="#">Download</a> |

Almost every luminaire manufacturer has its own database for Dialux, Relux, CalcuLux and other photometrics software, which can be downloaded on their website. All databases are free to download.

**Նկար 39.** Լուսավորության հաշվարկման համակարգչային ծրագրերի ցանկ՝ օգտագործողների համար:

<sup>5</sup> <http://electrical-engineering-portal.com/download-center/electrical-software>

Here are excerpts from the software companies' web sites:

### **Radiance**

*Radiance is a suite of tools for performing lighting simulation originally written by Greg Ward. It includes a renderer as well as many other tools for measuring the simulated light levels. It uses ray tracing to perform all lighting calculations, accelerated by the use of an octree data structure. It pioneered the concept of high dynamic range imaging, where light levels are (theoretically) open-ended values instead of a decimal proportion of a maximum (e.g. 0.0 to 1.0) or integer fraction of a maximum (0 to 255 / 255). It also implements global illumination using the Monte Carlo method to sample light falling on a point ([https://en.wikipedia.org/wiki/Radiance\\_\(software\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Radiance_(software))).*

**Web site:** <https://radiance-online.org/>:

*Radiance is a suite of programs for the analysis and visualization of lighting in design.*

*Input files specify the scene geometry, materials, luminaires, time, date and sky conditions (for daylight calculations). Calculated values include spectral radiance (ie. luminance + color), irradiance (illuminance + color) and glare indices. Simulation results may be displayed as color images, numerical values and contour plots.*

*The primary advantage of Radiance over simpler lighting calculation and rendering tools is that there are few limitations on the geometry or the materials that may be simulated. Radiance is used by architects and engineers to predict illumination, visual quality and appearance of innovative design spaces, and by researchers to evaluate new lighting and daylighting technologies.*

### **Calculux (Philips)**

*CALCULUX has been developed at the Philips Lighting Design and Application Centre [LiDAC] and is a lighting design program for personal computers. It consists of three lighting design programs:*

Ահա տեղեկություններ ծրագրեր մշակող ընկերությունների կայքերից.

### **Radiance**

«Radiance»-ը ծրագրավորման գործիքների հավաքակազմ է լուսավորության մոդելավորում կատարելու համար, որի առաջին հեղինակը Գրեգ Վորդն է: Այն ներառում է տեսապատկերման միջոց, ինչպես նաև բազմաթիվ այլ գործիքներ՝ մոդելավորված լուսավորման մակարդակները չափելու համար: Լուսավորման բոլոր հաշվարկները կատարելու համար այն օգտագործում է ճառագայթների հետագծման եղանակ, որն արագացվել է octree տվյալների կառուցվածքի օգտագործման միջոցով: Այն սկիզբ է դրել բարձր դինամիկ միջակայք (high dynamic range - HDR) ձևաչափով պատկերման հասկացությանը, որտեղ լուսավորման մակարդակները (տեսականորեն) բաց թվային արժեքներն են՝ առավելագույնի տասնորդական համամասնությամբ (օր.՝ 0.0-ից մինչև 1.0) կամ առավելագույնի ամբողջ մասի (0-ից 255 / 255) փոխարեն: Այն նաև հաշվարկում է գլոբալ լուսավորությունը՝ օգտագործելով «Մոնթե Կառլոյի» մեթոդը՝ որևէ կետի վրա ընկնող լույսը նկարագրելու համար ([https://en.wikipedia.org/wiki/Radiance\\_\(software\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Radiance_(software))):

**Վեբկայք՝** <https://radiance-online.org/>

«Radiance»-ը նախագծման մեջ լուսավորման վերլուծության և տեսապատկերման ծրագրային գործիքակազմ է:

Ներածված ֆայլերը սահմանում են տեսարանի երկրաչափական կառուցվածքը, նյութերը, լուսատուները, ժամանակը, օրը և երկնքի պայմանները (ցերեկային լույսի հաշվարկման համար): Հաշվարկված թվային արժեքները ներառում են սպեկտրալ պայծառությունը (այսինքն, պայծառություն + գույն), լուսավորվածությունը (լուսավորվածություն + գույն) և փայլի ցուցիչները: Մոդելավորման արդյունքները կարող են հանդես գալ որպես գունային պատկերներ, թվային արժեքներ և ուրվագծային պատկերներ:

Լուսավորության ավելի պարզ հաշվարկների և տեսապատկերման գործիքների համեմատությամբ «Radiance»-ի գլխավոր առավելությունն այն է, որ երկրաչափական կառուցվածքի կամ նյութերի մոդելավորման առումով քիչ սահմանափակումներ կան: «Radiance»-ն օգտագործվում է ճարտարապետների ու ճարտարագետների կողմից՝ նորարարական նախագծային տարածքների լուսավորությունը, տեսլական որակը և արտաքին տեսքը կանխատեսելու համար, և հետազոտողների կողմից՝ լուսավորման և ցերեկային լուսավորության նոր տեխնոլոգիաները փորձարկելու համար:

### **Calculux (Philips)**

«CALCULUX»-ը մշակվել է «Ֆիլիպս» ընկերության Լուսավորության նախագծման և կիրառման կենտրոնում (LiDAC): Այն լուսավորության նախագծման ծրագիր է անհատական համակարգիչների համար: «CALCULUX»-ը բաղկացած

Indoor, Area, and a luminaire database management program. The package is intended for use by lighting engineers to carry out simple artificial lighting design calculations.

The Indoor-program calculates the light distribution based on the reflection factors, the specific (Philips) luminaires and light sources that are applied, and the room dimensions.

Web site: <http://www.lighting.philips.cz/podpora/podpora-vyrobku/calculux.html>,  
<http://www.lighting.philips.com/main/support/support/tools.html>:

Philips has a wide variety of tools that can help with all of your lighting projects. No matter what the demands, from individual house lighting to large-scale industrial illumination and everything in between, we've got a tool that will meet your needs.

With lighting simulation software such as our plugins for DIALux, Relux and Autodesk 3ds MAX design, you can design exactly the right lighting. You can also take your pick of our mobile apps, designed to provide all the info you need on the go. And our Online Product Catalog details the entire Philips range, so you can be sure you'll find a product that will meet your needs.

### DIALux

With this free software you can design, calculate and visualize light professionally – single rooms, whole floors, buildings and outdoor scenes. DIALux is used as a planning tool by over 600 000 lighting designers worldwide. DIALux constantly undergoes further development and meets the requirements of modern lighting design and lighting calculation. You can plan and design using the electronic luminaire catalogues of the world's leading luminaire manufacturers. Superimpose on the CAD data of other architectural programmes and create your own lighting design.

Web site: <https://www.dial.de/en/dialux/>

է լուսավորության նախագծման երկու ծրագրերից («Indoor»-ը ներքին լուսավորության և «Area»-ն սպորտային համալիրների լուսավորության նախագծման համար) և լուսավորման մասին տվյալների շտեմարանի կառավարման ծրագրից: Փաթեթը նախատեսված է լուսավորման ճարտարագետների կողմից արհեստական լուսավորության նախագծման պարզ հաշվարկներ կատարելու համար:

«Indoor» ծրագրով հաշվարկվում է լույսի բաշխումը՝ հիմնվելով անդրադարձման գործակիցների, գոյություն ունեցող (Ֆիլիպս) լուսավորների ու լույսի աղբյուրների և սենյակի չափերի վրա:

Կայքէջ՝ <http://www.lighting.philips.cz/podpora/podpora-vyrobku/calculux.html>, <http://www.lighting.philips.com/main/support/support/tools.html>:

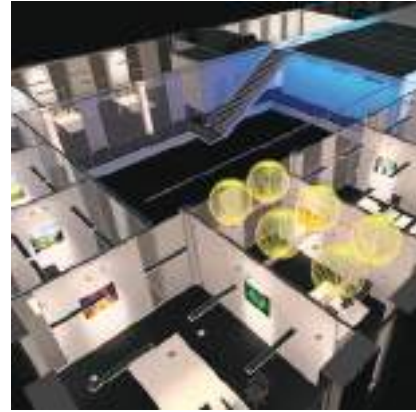
«Ֆիլիպս»-ն ունի գործիքների լայն տեսականի, որը կարող է օգնել լուսավորման ձեր բոլոր նախագծերում: Անկախ պահանջներից՝ սկսած տան անհատական լուսավորությունից մինչև խոշոր արտադրական լուսավորություն և դրանց միջև ընկած ամեն ինչ: Մենք ունենք այն գործիքը, որը կբավարարի ձեր պահանջները:

Լուսավորման մոդելավորման համակարգչային ծրագրերի («DIALux», «Relux» և «Autodesk Revit») համար նախատեսված ենթածրագրերով (plug-in) դուք կարող եք նախագծել պահանջվող ճշգրիտ լուսավորությունը: Դուք կարող եք նաև ընտրություն կատարել մեր բջջային հավելվածների շարքից, որոնց միջոցով կարող եք իրական ժամանակում ստանալ ձեզ անհրաժեշտ բոլոր տեղեկությունները: Իսկ մեր ապրանքատեսակների առցանց կատալոգում մանրամասն ներկայացված է «Ֆիլիպս» ընկերության ամբողջ տեսականին, այնպես որ կարող եք համոզված լինել, որ կգտնեք այն արտադրատեսակը, որը կբավարարի ձեր պահանջները»:

### DIALux

Այս անվճար համակարգչային ծրագրով դուք կարող եք մասնագիտական ձևով նախագծել, հաշվարկել և տեսապատկերել լուսավորությունը՝ առանձին սենյակների, ամբողջական հարկաբաժինների, շենքերի և արտաքին տեսարանների համար: «DIALux»-ն օգտագործվում է որպես պլանավորման գործիք՝ աշխարհի ավելի քան 600,000 լուսավորման ճարտարագետների կողմից: «DIALux»-ը մշտապես կատարելագործվում է և բավարարում է ժամանակակից լուսավորման նախագծերի ու լուսավորման հաշվարկների պահանջները: Դուք կարող եք պլանավորել և նախագծել՝ օգտվելով լուսավորների՝ աշխարհի առաջատար արտադրողների էլեկտրոնային լուսավորների կատալոգներից: Տեղադրեք այլ ճարտարապետական ծրագրերի ավտոմատացված նախագծերի տվյալների վրա և ստեղծեք լուսավորման ձեր սեփական նախագիծը:

Վեբկայք՝ <https://www.dial.de/en/dialux/>



## Relux

*Tested by Autodesk and accurate in lighting engineering terms, Revit family files are available free-of-charge for planners at [www.relux.net](http://www.relux.net)*

*What is now the biggest Revit family collection of luminaires, sensors and light sources available anywhere in the world is growing in popularity all the time. Since March 2016, users downloading Revit family files every working day and there is an accelerating trend. That is motivation for our crew to keep on expanding this service.*

*Did you know that many of the company-specific Revit family files are not accurate in lighting engineering terms and that less light is emitted than in the normal case? Revit does not distinguish between measured 3D geometries and additional bodies. Relux, on the other hand, does make allowance for this situation and has already incorporated the solution in the Revit family files of the Relux members. ReluxNet thus stands for high-level quality.*

*To ensure that planners do not lose this certainty in the Revit environment, Relux is*

## Relux

«Autodesk»-ի կողմից փորձարկում անցած և լուսատեխնիկական առումով ճշգրիտ՝ «Revit» ընտանիքի ֆայլերը անվճար հասանելի են նախագծողների համար [www.relux.net](http://www.relux.net) վեբկայքում: Աշխարհի ցանկացած վայրում հասանելի «Revit» ընտանիքի լուսատուների, սենսորների և լույսի աղբյուրների ամենամեծ հավաքածուն օրեցօր ավելի լայն տարածվածություն է գտնում:

2016 թ. մարտ ամսից ի վեր օգտագործողները ամեն օր ներբեռնում են «Revit» ընտանիքի ֆայլերը, և այդ միտումը շարունակում է աճել: Սա խթանում է մեր աշխատակազմին՝ շարունակելու այս ծառայության ընդլայնումը:

Գիտե՞իք արդյոք, որ ընկերությանը բնորոշ «Revit» ընտանիքի շատ ֆայլեր ճշգրիտ չեն լուսատեխնիկական առումով, և որ ավելի քիչ լույս է արձակվում, քան իրականում: «Revit»-ը չի տարբերում երկրաչափական եռաչափ կառուցվածքը և լրացուցիչ մարմինները: Մյուս կողմից, «Relux»-ը հաշվի է առնում այս իրավիճակը, և լուծումն արդեն ներառել է «Relux»-ի անդամների «Revit» ընտանիքի ֆայլերում: Այսպիսով՝ «ReluxNet» նշանակում է բարձր որակ:

«Revit» միջավայրի նկատմամբ նախագծողների

working on an add-on for Revit. More about that in one of the next newsletters.

Web site: <http://www.relux.biz/> In Fact nowadays there is a plugin, called «STF exporter», that allows importing a file in Revit format with the luminaria locations, perform calculation and then export back to Revit.

Web site: <http://www.relux.biz/>

վստահությունը չկորցնելու համար, «Relux»-ն աշխատում է «Revit»-ի հավելասարքի վրա: Այդ մասին ավելի մանրամասն կներկայացվի հաջորդ տեղեկագրերից մեկում:

Վեբկայք՝ <http://www.relux.biz/>



### Litestar

Managing photometry, spectrum and product image in a single file and in a universal way has been a dream so far, but the dream will soon become reality with the new version 4.01 of LITESTAR 4D available as of December 14th, 2016.

Web site: <http://www.oxytech.it/default.asp?LN=UK>

### Litestar

Մինչև այժմ լուսաչափության, սպեկտրի և ապրանքատեսակի պատկերի մեկ ֆայլում և համընդհանուր ձևով կառավարելը եղել է երազանք, սակայն երազանքը շուտով իրականություն կդառնա «4.01 of LITESTAR 4D»-ի նոր տարբերակի շնորհիվ, որը հասանելի կլինի 2016 թ. դեկտեմբերի 14-ից:

Կայքէջ՝ <http://www.oxytech.it/default.asp?LN=UK>



### AGi32

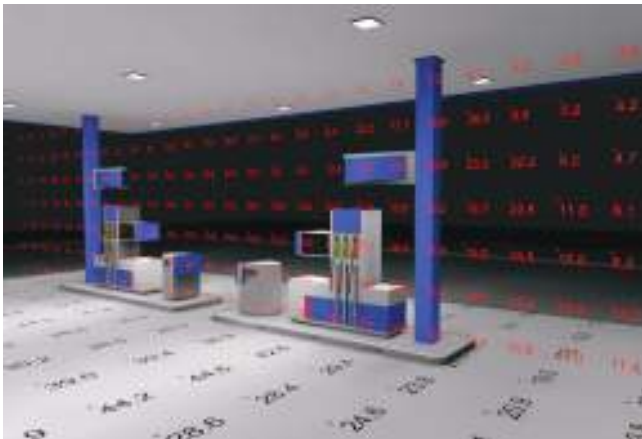
The lighting industry's premier calculation tool, AGi32 can provide numeric and rendered solutions for almost any lighting application, interior or exterior, including roadway and daylighting.

### AGi32

Լուսավորման ոլորտում հաշվարկման գլխավոր գործիքը՝ «AGi32»-ը, կարող է թվային և տեսապատկերային լուծումներ ապահովել լուսավորության գրեթե ցանկացած կիրառության՝ թե՛ ներքին, թե՛ արտաքին տարածքների, այդ թվում՝ ճանապարհների և ցերեկային լուսավորության համար:

Web site: <http://www.agi32.com/>

AGi32 is a simulation tool used for designing lighting projects and calculating the amount of light that will be delivered based on user-set parameters. The resulting calculations are commonly referred to as layouts or point-by-points. AGi32 can calculate the amount of light that will be delivered in any kind of design, interior or exterior, and incorporate surrounding objects, obstructions, and varying shapes like vaulted ceilings or rooms in non-linear shapes. It aids lighting designers, engineers, and electrical contractors in the evaluation of lighting designs for projects before they are built (<https://en.wikipedia.org/wiki/AGi32>).



AGi32 is first and foremost, a Calculation tool for accurate photometric predictions: A technical tool that can compute illuminance in any situation, assist in luminaire placement and aiming, and validate adherence to any number of lighting criterion.

However, there is so much more that can be done to enhance the understanding of photometric results. Visualization is extremely important to comprehend changes in luminance for different materials and surface properties and predict the effect of various luminaire designs in real-world, light and surface interaction.

With the ability to see results clearly for an entire project, AGi32 becomes a mock-up substitute that can save time and money by creating a virtual model of a proposed design. It can reveal characteristics and

Վեբկայք՝ <http://www.agi32.com/>

«AGi32»-ը մոդելավորման գործիք է, որն օգտագործվում է լուսավորությունը նախագծելու և լույսի այն քանակությունը հաշվարկելու համար, որը տեղ է հասցվելու՝ հիմնվելով օգտագործողի կողմից սահմանված հարաչափերի վրա: Արդյունքում ստացված հաշվարկները սովորաբար անվանում են մանրակերպեր կամ կետ առ կետ նախագծեր: «AGi32»-ը կարող է հաշվարկել լույսի այն քանակությունը, որը տարածվելու է կամ արտաքին միջավայրերի համար նախատեսված ցանկացած տեսակի նախագծում՝ ներքին, և ներառելու է շրջակա առարկաները, խոչընդոտները և զանազան կերպեր, ինչպես օրինակ՝ կամարածև առաստաղները կամ ոչ գծային սենյակները: Այն օգնում է, նախակառուցողական փուլում, լուսավորման նախագծողներին, ճարտարագետներին և էլեկտրականության հարցերով զբաղվողներին կատարել լուսավորման նախագծերի գնահատման աշխատանքներ:

(<https://en.wikipedia.org/wiki/AGi32>):



«AGi32»-ը նախ և առաջ ճշգրիտ լուսաչափական կանխատեսումներ կատարելու համար հաշվարկման գործիք է. այն տեխնիկական գործիք է, որը կարող է հաշվել լուսավորվածությունը ցանկացած իրավիճակում, օգնել լուսատուների տեղադրման և նպատակային կիրառման հարցում և ստուգել լուսավորման ցանկացած թվով չափանիշների պահպանումը:

Այնուամենայնիվ, դեռևս շատ ավելին կարելի է անել լուսաչափական արդյունքները հասկանալի բարելավելու համար: Տեսապատկերումը չափազանց կարևոր է տարբեր նյութերի ու մակերևույթների հատկությունների համար լուսավորության տարբերությունները հասկանալու և իրականում՝ լույսի ու մակերևույթի փոխազդեցության պարագայում նախագծերում տարբեր լուսատուների կիրառման արդյունքը կանխատեսելու համար:

Ողջ նախագծի արդյունքները պարզորոշ տեսնելու կարողության շնորհիվ «AGi32»-ը դառնում է նախանմուշի փոխարինող միջոց, որը կարող է խնայել ժամանակ և գումար՝ ստեղծելով առաջարկվող նախագծի վիրտուալ մոդելը: Այն կա-

effects that would be hard to detect in anything short of the completed installation. In the practice of professional lighting design and analysis, AGI32 can be indispensable in your arsenal of design tools. And now, with our new multi-processor capable calculation engine, your work will be complete in only a fraction of the time! (citation from <http://www.agi32.com/index.php?id=11>)

րող է բացահայտել այնպիսի հատկություններ և էֆեկտներ, որոնք դժվար կլինեին հայտնաբերել մինչև տեղադրումն ավարտին հասնելը:

Լուսավորման պրոֆեսիոնալ նախագծման և վերլուծության պրակտիկայում «AGI32»-ը կարող է դառնալ նախագծման ձեր գործիքակազմի անբաժանելի մասը: Եվ այժմ, մեր նոր, բազմապրոցետորային հաշվարկման շարժիչով ձեր աշխատանքը կավարտվի կարճ ժամանակում (մեջբերումը կատարվել է <http://www.agi32.com/index.php?id=11> կայքէջից):

## Output report generation

Any lighting simulation program also generates a number of reports on all data taken and the outputted results. These reports contain all necessary information for analysis and interpretation of the results. Figure 40 and Figure 41 show the “Documentation” generation in the DIALux evo. It provides a number of useful templates and outputs.

## Արդյունքների հաշվետվությունների ստեղծումը

Լուսավորության մոդելավորման ցանկացած ծրագիր ստեղծում է նաև ընտրված տվյալների և ստացված արդյունքների մասին մի շարք հաշվետվություններ: Այս հաշվետվությունները պարունակում են արդյունքների վերլուծության և մեկնաբանության համար անհրաժեշտ բոլոր տեղեկությունները: Այն տրամադրում է մի շարք օգտակար ձևանմուշներ և արդյունքներ (Նկար 40, Նկար 41):

Figure 40. Results summary of illumination and its distribution.



Նկար 40. Լուսավորվածության և նրա բաշխվածության արդյունքների ամփոփումը:

As one can see from the summary shown in Figure 41, in this case the generated and archived results are:

- Total luminous flux = 109200 lumen
- Total power of consumption (load) is 1281W (1.281 kW).

It is easy to change the luminaria in the DIALux evo to perform an upgrade in the designed space. The upgrade first of all may target energy efficiency, as well as correlated color temperature (CCT) and the color rendering index (CRI).

Ինչպես երևում է Նկար 41-ում ցուցադրված ամփոփումից, այս դեպքում ստացվել և արխիվացվել է՝

- Ընդհանուր լուսային հոսք = 109200 լյումեն,
- Էլեկտրաէներգիայի ընդհանուր սպառում (բեռ)՝ 1281 Վտ (1.281 կՎտ):

«DIALux evo»-ում հեշտ է փոխել լուսատուները՝ նախագծված տարածքում արդիականացում կատարելու համար: Արդիականացումն առաջին հերթին կարող է ուղղված լինել էներգաարդյունավետությանը, ինչպես նաև կորելացված գունային ջերմաստիճանին (ԿԳՋ) ու գունափոխանցման ցուցիչին (ԳՓՑ):

Figure 41. Outputted Luminaire parts list.



Նկար 41. Արդյունքում ստացված լուսավորի մասերի ցուցակը:

After the modification of the luminaria, e.g. by using higher efficacy LED sources, one can easily recalculate the lighting and output the results in a form of report templates that will show the actual advantage of the upgrade. Also it is possible to model the change of virtually all parameters of the room:

- Change the reflectivity of the walls, ceiling and floor
- Introduce daylighting through windows or skyline
- Change the arrangement of the luminaria
- Introduce new surfaces of interest, such as design elements: sculptures, paintings, other décor, etc.
- Introduce new furniture

Overall working with a software such as DIALux evo is extremely easy and productive to achieve all necessary lighting goals for any projects.

After the following links any novice can find lots of videos assisting Dialux Evo learning.

- <http://en.wiki.dialux.com/index.php?title=Tutorials>
- <https://www.youtube.com/user/TheDIALux>
- <https://www.dial.de/en/home/>

By registering at the <http://dxboard.dialux.com> forum, one can ask questions to DIAL experts or proficient users.

Լուսատուների փոփոխությունից հետո, օրինակ՝ օգտագործելով բարձր արդյունավետությամբ լուսադիոդային աղբյուրներ, կարելի է հեշտությամբ վերահաշվարկել լուսավորությունը և արդյունքները ստանալ հաշվետվության ձևանմուշների տեսքով, որը ցույց կտա արդիականացման փաստացի առավելությունը:

Նաև հնարավոր է մոդելավորել վիրտուալ առումով սենյակի բոլոր հարաչափերի փոփոխությունը.

- Փոխել պատերի, առաստաղի ու հատակի անդրադարձելիությունը,
- Ապահովել ցերեկային լուսավորություն՝ պատուհանների կամ առաստաղային լուսամուտների միջոցով,
- Փոխել լուսատուների դասավորությունը,
- Ներմուծել նոր անհրաժեշտ մակերեսներ, օրինակ՝ դիզայնի տարրեր՝ քանդակներ, նկարներ, այլ զարդարանքներ և այլն,
- Տեղադրել նոր կահույք:

Ընդհանուր առմամբ, այնպիսի համակարգչային ծրագրով աշխատելը, ինչպիսին «DIALux evo»-ն է, հեշտ է և արդյունավետ՝ ցանկացած նախագծի դեպքում լուսավորման հետ կապված բոլոր անհրաժեշտ նպատակների իրագործման համար:

Ստորև նշված վեբկայքերում կան մեծ ծավալի տեսանյութեր, որոնք նորեկներին քայլ առ քայլ կուղեկցեն «DIALux evo»-ն յուրացնելու ճանապարհին:

- <http://en.wiki.dialux.com/index.php?title=Tutorials>
- <https://www.youtube.com/user/TheDIALux>
- <https://www.dial.de/en/home/>

Գրանցվելով ֆորումի կայքում (<http://dxboard.dialux.com>), կարելի է հարցեր ուղղել DIAL-ի մասնագետներին, ինչպես նաև փորձառու օգտագործողներին:

## REFERENCES / ՀՈՒՄՆԵՐ

1. Л. П. ВАРФОЛОМЕЕВ, 2013. ЭЛЕМЕНТАРНАЯ СВЕТОТЕХНИКА, © ООО ТК «Световые Технологии» (Experience Light).
2. "Ray Tracing: Graphics for the Masses" by Paul Rademacher
3. "Global Illumination. Shading 6:" Christian Miller, CS 354 - UT Computer Science: [https://www.cs.utexas.edu/~ckm/teaching/cs354\\_f11/lectures/Lecture18.pdf](https://www.cs.utexas.edu/~ckm/teaching/cs354_f11/lectures/Lecture18.pdf)
4. <https://www.scratchapixel.com/>
5. <https://www.khanacademy.org/partner-content/pixar>
6. <http://www.siggraph.org/education/materials/HyperGraph/radiosity/radiosity.htm>
7. <http://freespace.virgin.net/hugo.elias/radiosity/radiosity.htm>
8. "The Hemi-cube - a radiosity solution for complex environments" Michael F Cohen and Donald P Greenberg; ACM SIGGRAPH Computer Graphics 1985 Vol 19 Issue 4
9. "A progressive refinement approach to fast radiosity image generation"; Michael F Cohen, Shenchang Eric Chen, John R Wallace and Donald P Greenberg; ACM SIGGRAPH Computer Graphics 1988 Vol 22 Issue 4
10. "Global Illumination. Shading 6:" Christian Miller, CS 354 - UT Computer Science: [https://www.cs.utexas.edu/~ckm/teaching/cs354\\_f11/lectures/Lecture18.pdf](https://www.cs.utexas.edu/~ckm/teaching/cs354_f11/lectures/Lecture18.pdf)
11. "Global Illumination and Radiosity" Daniel G. Aliaga, Department of Computer Science, Purdue University, CS535
12. Radiosity Rendering, <http://www.cs.bath.ac.uk/~pjlw/NOTES/75-ACG/ch5-radiosity.pdf>
13. "A Practical Guide to Global Illumination using Photon Maps", Henrik Jenson, Siggraph 2000
14. "Global Illumination using Photon Maps", Henrik Jenson; <http://graphics.ucsd.edu/~henrik/>
15. "Realistic Image Synthesis Using Photon Mapping", Jensen, Henrik W., A K Peters, Ltd., Massachusetts, 2001
16. <http://sites.fas.harvard.edu/~cs278/papers/pmap.pdf>, H. Jensen
17. "Photon Mapping", Zack Waters
18. Global Illumination (3), Photon Mapping (1); <http://slideplayer.com/slide/9934631>
19. "Photon mapping (PM), Progressive PM, Stochastic PPM" Jiri Vorba
20. "Global Illumination and Radiosity", CS535, Daniel G. Aliaga
21. "Global Illumination. Shading 6:" Christian Miller, CS 354 - UT Computer Science; [https://www.cs.utexas.edu/~ckm/teaching/cs354\\_f11/lectures/Lecture18.pdf](https://www.cs.utexas.edu/~ckm/teaching/cs354_f11/lectures/Lecture18.pdf)
22. "Introduction to Computer Graphics", Torsten Möller, Global Illumination, CMPT 361
23. "Image Synthesis".pptx, Dr. Jens Kruger – Computer Graphics and Visualization Group; <http://player.slideplayer.com/25/8032784/#>
24. "Computer Graphics – Global Illumination Techniques", Lecture 14, Taku Komura
25. [https://en.wikipedia.org/wiki/Photon\\_mapping](https://en.wikipedia.org/wiki/Photon_mapping)
26. Carlos E. Ochoa, Myriam B.C. Aries and Jan L.M. Hensen, Eindhoven University of Technology, Department of Architecture, Building and Planning, P.O. Box 513, 5600 MB, Eindhoven, the Netherlands, received 11 January 2011, State of the Art in Lighting Simulation for Building Science: A Literature Review
27. <http://en.wiki.dialux.com/index.php?title=Tutorials>
28. <https://www.youtube.com/user/TheDIALux>
29. <https://www.dial.de/en/home/>



# ԿԱՆԱԶ ԼՈՒՍԱՎՈՐՈՒԹՅՈՒՆ

Տեսությունը և սկզբունքները ճարտարապետների և ճարտարագետների համար

## GREEN LIGHTING

Theory and Principles for Engineers and Architects

Համբարյան Արտակ, Ղազարյան Վարդան

Artak Hambarian, Vardan Ghazaryan



Empowered lives.  
Resilient nations.



ISBN 978-9939-1-0837-7 © UNDP Armenia, 2018

### CHAPTER 6

#### Technical and economic principles of energy efficient lighting



### ԳԼՈՒԽ 6

#### Էներգաարդյունավետ լուսավորության տեխնիկական և տնտեսական սկզբունքները



**CHAPTER 6****Technical and economic principles of energy efficient lighting****ԳԼՈՒԽ 6****Էներգաարդյունավետ լուսավորության տեխնիկական և տնտեսական սկզբունքները**

| <b>Contents</b>                                                                                             |     | <b>Բովանդակություն</b>                                                                                                                    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Technical and economic principles of energy efficient lighting                                              | 229 | Էներգաարդյունավետ լուսավորության տեխնիկական և տնտեսական սկզբունքները                                                                      |
| 1. Assessment of energy saving benefits of artificial illumination – description of the methodology         | 231 | 1. Արհեստական լուսավորության էներգախնայողության օգուտների գնահատում. մեթոդաբանության նկարագրություն                                       |
| 2. Assessment of economic benefits of artificial illumination: examples for LED, CFL and luminescent lights | 232 | 2. Արհեստական լուսավորության տնտեսական օգուտների գնահատում. լուսադիոդային, կոմպակտ ֆլուորեսցենտային և լյումինեսցենտային լամպերի օրինակներ |
| UPGRADE OF ELECTRIC LIGHTING SYSTEM                                                                         | 234 | ԷԼԵԿՏՐԱԿԱՆ ԼՈՒՍԱՎՈՐՈՒԹՅԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ԱՐԴԻԱԿԱՆԱՑՈՒՄ                                                                                         |
| 3. Assessment of environmental benefits of artificial illumination, comparison of methods                   | 237 | 3. Արհեստական լուսավորության բնապահպանական օգուտների գնահատում, մեթոդների համեմատություն                                                  |

## TECHNICAL AND ECONOMIC PRINCIPLES OF ENERGY EFFICIENT LIGHTING

For upgrade of artificial lighting systems, the following issues need to be considered:

1. Energy efficiency
2. Introduce automation for more comfort, as well as for energy efficiency
3. Improve the lighting correlated color temperature, color rendering index to fit circadian rhythms.

At the same time, the upgrade may also involve:

4. Need to satisfy the illumination or luminance levels per norms and standards
5. Need to perform new artistic or architectural design

The energy efficient upgrade is based on the comparison of parameters, such as the price of the light bulb, its lifetime (or longevity) in operational hours and one of energy efficiency parameters: luminous efficacy or overall efficiency of the light sources.

It is always possible to switch between the luminous efficacy and luminous efficiency.

Let's recall, that *luminous efficacy*,  $K$ , defines the efficiency of light sources. This is the ratio of luminous flux to radiant flux emitted by a source,  $K = I_L / P_R$ , in lm/W. In other words, luminous efficacy shows the lumens generated versus the total radiation of power.

Luminous efficiency,  $E$ , defines the physical efficiency of light sources in terms of usual percentage, W/W. This is the ratio of visible (luminous) radiant flux to total radiant flux emitted by a source. In other words, luminous efficiency shows the portion of *power* that became visible light versus the total power of radiation,  $E = P_L / P_R$ .

More frequently are used: the *wall plug efficiency*, the ratio of the power of the radiation in the visible range to power consumed by a source,  $E_b = P_L / P_C$ ; and the *wall plug efficacy*, the ratio of luminous flux to power consumed by a source,  $K_b = I_L / P_C$ . In other words, luminous efficacy shows the lumens generated versus the total wattage consumed from the wall plug.

Manufacturers usually provide the  $K_b$  value for a particular lighting product. It takes into account also

## ԷՆԵՐԳԱԱՐԴՅՈՒՆԱՎԵՏ ԼՈՒՍԱՎՈՐՈՒԹՅԱՆ ՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ԵՎ ՏՆՏԵՍԱԿԱՆ ՍԿԶԲՈՒՆՔՆԵՐԸ

Արհեստական լուսավորության համակարգերն արդիականացնելու համար հարկավոր է հաշվի առնել հետևյալ խնդիրները.

1. Էներգաարդյունավետություն,
2. Ավտոմատ համակարգերի ներդրում՝ հարմարավետության և էներգաարդյունավետության բարձրացման նպատակով,
3. Լուսավորության կորելացված (փոխկապակցված) գունային ջերմաստիճանի բարելավում՝ ցիրկադային ռիթմերին համապատասխանեցնելու համար:

Միևնույն ժամանակ, արդիականացումը կարող է նաև ներառել.

4. Լուսավորվածության կամ պայծառության մակարդակների՝ նորմերին ու ստանդարտներին համապատասխանության ապահովման անհրաժեշտությունը,
5. Գեղարվեստական կամ ճարտարապետական նոր նախագծի իրականացման անհրաժեշտությունը:

Էներգաարդյունավետ արդիականացումը հիմնված է այնպիսի հարաչափերի համեմատության վրա, ինչպիսիք են՝ լամպի գինը, նրա աշխատանքային կյանքի տևողությունը (երկարակեցությունը)՝ ըստ նրա սպասվող շահագործման ժամերի, և էներգաարդյունավետության հարաչափերից որևէ մեկը՝ լույսի աղբյուրների լուսարգասիքը կամ ընդհանուր արդյունավետությունը:

Միշտ հնարավոր է լուսարգասիքից անցնել լուսային արդյունավետության, այսինքն օգտակար գործողության գործակցին և հակառակը:

Հիշենք, որ *լուսաարգասիքը* ( $K$ ) սահմանում է լույսի աղբյուրների լուսային արդյունավետությունը: Սա աղբյուրից արձակվող լուսային հոսքի և ճառագայթային հոսքի միջև հարաբերությունն է.  $K = I_L / P_R$ , արտահայտված լմ/Վտ – ուժ:

Լուսային արդյունավետությունը ( $E$ ) կամ լուսային օգտակար գործողության գործակիցը (լուսային ՕԳԳ-ն) սահմանում է լույսի աղբյուրների արդյունավետությունը՝ սովորական տոկոսային հարաբերությամբ (Վտ/Վտ): Սա աղբյուրից արձակվող տեսանելի (լուսային) ճառագայթային հոսքի և ընդհանուր ճառագայթային հոսքի միջև հարաբերությունն է: Այլ կերպ ասած, լուսային արդյունավետությունը ցույց է տալիս ճառագայթման ընդհանուր հզորության համեմատությամբ տեսանելի լույսի վերածվող հզորության բաժինը.  $E = P_L / P_R$ :

Առավել հաճախ, համապատասխանաբար օգտագործվում են *լույսի աղբյուրի արդյունավետությունը* (ՕԳԳ-ն), որպես լուսային տիրույթում ճառագայթման  $P_L$  հզորության (կամ հոսքի) և աղբյուրի կողմից սպառվող  $P_C$  ընդհանուր հզորության հարաբերություն.  $E_b = P_L / P_C$ , և, *աղբյուրի լուսարգասիքը* ցույց է տալիս առաջացած լյումենների քանակությունը՝ ճառագայթ-

power conversion losses, e.g. if an AC to DC or other conversion is needed. If that converter has  $\eta$  efficiency, then the wall plug efficacy  $K_B$  will be luminous efficacy,  $K$ , times  $\eta$ , and this is what one can find in the specs of a manufacturer. If talking in terms of Luminous efficiency, then total efficiency  $E_B$  would be  $\eta E$ . This parameter is very easy to use for calculations of the resulting lighting efficiency.

All these parameters has been described in-depth in Chapter 1.

The logic of the economic calculation as it has been mentioned is based on comparison of the price of the light bulb, its lifetime (or longevity) in operational hours and luminous efficiency of the light sources (Figure 1).

ման աղբյուրի սպառած ընդհանուր հզորության (Վտ) համեմատությամբ.  $K_B = I_L / P_C$ :

Լամպ արտադրողները տվյալ արտադրանքի համար սովորաբար տրամադրում են  $K_B$  արժեքը: Այն հաշվի է առնում նաև էներգիայի փոխակերպման կարուստները, օր.՝ եթե անհրաժեշտ է փոփոխական հոսանքից հաստատուն հոսանքի կամ այլ փոխակերպում: Եթե այն փոխակերպիչն ունի  $\eta$  արդյունավետություն, ապա աղբյուրի լուսարգասիքը՝  $K_B$ , կլինի լուսարգասիքը ( $K$ ) բազմապատկած  $\eta$ -ով, և սա այն է, ինչ կարելի է գտնել արտադրողի մասնագրերում: Լուսային արդյունավետության առումով ընդհանուր արդյունավետությունը կլինի  $\eta E$ : Այս հարաչափը հեշտությամբ հնարավոր է օգտագործել արդյունքում ստացվող լուսային արդյունավետության հաշվարկման համար:

Այս բոլոր հարաչափերը մանրամասն նկարագրվել են Գլուխ 1-ում:

Ինչպես նշվեց, տնտեսական հաշվարկի տրամաբանությունը հիմնված է լամպի գնի, ըստ շահագործման ժամերի նրա կյանքի տևողության (կամ երկարակեցության) և լույսի աղբյուրների լուսային արդյունավետության վրա (Նկար 1):

Figure 1. Comparison parameters between incandescent and fluorescent lightbulbs.

Option 1. Incandescent lightbulb

Տարբերակ 1. Շիկացման լամպ

|                                                                               |
|-------------------------------------------------------------------------------|
| Lifetime, 1500 hours<br>Կյանքի տևողությունը՝ 1500 ժամ                         |
| Luminous efficiency, 1.5%<br>Լուսային արդյունավետությունը (ՕԳԳ)՝ 1.5%         |
| Power consumption rating, 60 W or 0.06 kW<br>Հզորությունը՝ 60 Վտ կամ 0.06 կՎտ |
| Price, US\$ 0.5<br>Գինը՝ 0.5 ԱՄՆ դոլար                                        |

Option 2. Fluorescent lightbulb

Տարբերակ 2. Ֆլուորեսցենտային լամպ

|                                                                   |
|-------------------------------------------------------------------|
| Lifetime, 7500 hours<br>Կյանքի տևողությունը՝ 7500 ժամ             |
| Luminous efficiency, 6%<br>Լուսային արդյունավետությունը (ՕԳԳ)՝ 6% |
| Power consumption rating, 0.012 kW<br>Հզորությունը՝ 0.012 կՎտ     |
| Price, US\$ 3<br>Գինը՝ 3 ԱՄՆ դոլար                                |

Նկար 1. Շիկացման և ֆլուորեսցենտային լամպերի հարաչափերի համեմատություն:

Next section allows combining all parameters into one decision parameter, called the levelized cost of the 1 kWh of outputted radiant visible flux ( $LCOV_{bulb}$ ).

Հաջորդ բաժնում այս բոլոր հարաչափերը համադրվել են որոշում կայացնելու համար անհրաժեշտ մեկ հարաչափում, որը կոչվում է ճառագայթային տեսանելի ելքային հոսքի 1 կՎտ-ի նորմավորված արժեք ( $LCOV_{bulb}$ ):

## 1. Assessment of energy saving benefits of artificial illumination – description of the methodology

A more formal and detailed calculation is described below.

In summary, the parameters that influence the performance of the light sources are the following:

1. Price, \$, AMD, etc.
2. Efficacy, lm/W or efficiency, %
3. Longevity, hours
4. SPD, CRI or CQS – suitability for the application
5. The timing of the lighting – startup time, inertia towards AC frequency

Now let's assume that parameters ## 4 and 5 are satisfied. Then the calculation is straightforward.

Let's denote:

$P_{bulb}$  = the power consumption rating of the lightbulb, kW

$C_{bulb}$  = the cost of the lightbulb of the same particular consumption power rating

$UC_{1kW\ bulb}$  = the cost of the lightbulb of 1 kW consumption power rating, assuming  $UC_{1kW\ bulb} = C_{bulb}/P_{bulb}$  linear relationship

$E_{bulb} = \eta E$ , where  $\eta$  is the conversion efficiency,  $E$  is the luminous efficiency

$H_{bulb}$  = longevity of the lightbulb, hours

$I_{RV}$  = the radiant visible flux,  $I_{RV} = E_{bulb} \times P_{bulb}$ , kW

$OVI_{bulb}$  = the total outputted radiant visible flux of the lightbulb during its whole lifetime,  $OVI_{bulb} = I_{RV} \times H_{bulb}$ , in kilowatt-hours (kWh)

$Pr_{kWh}$  = price of one kWh

$OC_{bulb}$  = the operational cost of the lightbulb during its whole lifetime,  $OC_{bulb} = Pr_{kWh} \times P_{bulb} \times H_{bulb}$

$TC_{bulb}$  = the total cost of the lightbulb purchase and operation

Easy to see that the total cost of the lightbulb purchase and operation is expressing through the following equation:

### Equation 1-1

$$TC_{bulb} = C_{bulb} + OC_{bulb} = C_{bulb} + Pr_{kWh} P_{bulb} H_{bulb}$$

## 1. Արհեստական լուսավորության էներգախնայողության օգուտների գնահատում. մեթոդաբանության նկարագրություն

Ստորև ներկայացված է ավելի ֆորմալ և մանրամասն հաշվարկ:

Այսպիսով, լույսի աղբյուրների արդյունավետության վրա ազդող հարաչափերը հետևյալն են.

1. Գին, \$, ՀՀԴ, այլ
2. Լուսարգասիք՝ լմ/Վտ, կամ արդյունավետություն՝ %
3. Երկարակեցություն, ժամ
4. Հզորության սպեկտրալ բաշխում (ՀՍԲ), ԳԳՑ կամ ԳՈՍ (գույնի որակի սանդղակ)՝ կիրառման համար պիտանիություն
5. Լուսավորության ժամանակային կարգավորում՝ գործարկման սկիզբ, իներցիա փոփոխական հոսանքի հաճախության նկատմամբ

Այժմ եկեք ենթադրենք, թե 4-րդ և 5-րդ հարաչափերը բավարարված են: Այդ դեպքում հաշվարկը պարզ է:

Եկեք սահմանենք.

$P_{bulb}$  = լամպի հզորությունը, կՎտ

$C_{bulb}$  = տվյալ հզորությամբ լամպի արժեքը

$UC_{1kW\ bulb} = 1$  կՎտ հզորությամբ լամպի արժեքը, ենթադրելով  $UC_{1kW\ bulb} = C_{bulb}/P_{bulb}$  գծային կապ

$E_{bulb} = \eta E$ , ընդհանուր արդյունավետություն (ՕԳԳ), որտեղ  $\eta$ -ն էլեկտրական կերպափոխման ՕԳԳ-ն է,  $E$ -ն՝ լուսային արդյունավետությունը

$H_{bulb}$  = լամպի աշխատանքային երկարակեցությունը, ժամ

$I_{RV}$  = ճառագայթային (ռադիոմետրիկ) տեսանելի հոսքի հզորությունը,  $I_{RV} = E_{bulb} \times P_{bulb}$ , կՎտ

$OVI_{bulb}$  = իր ողջ կյանքի ընթացքում լամպի ճառագայթային ընդհանուր տեսանելի էլքային հոսքին համապատասխանող էներգիան,  $OVI_{bulb} = I_{RV} \times H_{bulb}$ , կիլովատտ ժամով (կՎտժ)

$Pr_{kWh}$  = մեկ կՎտժ- էլեկտրաէներգիայի գինը

$OC_{bulb}$  = իր ողջ կյանքի ընթացքում լամպի շահագործման ծախսը,  $OC_{bulb} = Pr_{kWh} \times P_{bulb} \times H_{bulb}$

$TC_{bulb}$  = լամպի գնման և շահագործման ընդհանուր ծախսը

Հեշտ է նկատել, որ լամպի գնման և շահագործման ընդհանուր ծախսը արտահայտվում է հետևյալ հավասարման միջոցով.

### Հավասարում 1-1

$$TC_{bulb} = C_{bulb} + OC_{bulb} = C_{bulb} + Pr_{kWh} P_{bulb} H_{bulb}$$

Let's define also:

$LCOVI_{bulb}$  = the levelized cost of the 1 kWh of outputted radiant visible flux. Since  $OVI_{bulb} = I_{RV} \times H_{bulb}$ , we can define the levelized cost of each 1 kWh of the total outputted radiant visible flux as:

$$\begin{aligned} LCOVI_{bulb} &= TC_{bulb} / OVI_{bulb} \\ &= [C_{bulb} + Pr_{kWh} P_{bulb} H_{bulb}] / [I_{RV} H_{bulb}] \\ &= C_{bulb} / (I_{RV} H_{bulb}) + Pr_{kWh} P_{bulb} / I_{RV} \\ &= C_{bulb} / (I_{RV} H_{bulb}) + Pr_{kWh} / E_{bulb} \\ &= C_{bulb} / (E_{bulb} P_{bulb} H_{bulb}) + Pr_{kWh} / E_{bulb} \\ &= (1 / E_{bulb}) [C_{bulb} / (P_{bulb} H_{bulb}) + Pr_{kWh}] \end{aligned}$$

Thus,

**Equation 1-2**

$$LCOVI_{bulb} = (1 / E_{bulb}) [UC_{1kW\ bulb} / H_{bulb} + Pr_{kWh}]$$

Easy to notice that higher is the longevity, lesser is the contribution of the bulb cost; lower is the efficiency, higher is the levelized cost of the 1 kWh output radiant visible flux.

Using  $LCOVI_{bulb}$  as the single main parameter, allows comparing entirely different types of light sources having different lightbulb costs, longevity and efficiency. This single parameter may serve as the only one to make lighting economic decisions, if other factors, such as aforementioned SPD, CRI or CQS – suitability for the application, the timing of the lighting – startup time, inertia towards AC frequency – are equal.

## 2. Assessment of economic benefits of artificial illumination: examples for LED, CFL and luminescent lights

Now it is easy to perform the comparison of various sources of light by just calculation of the  $LCOVI_{bulb}$ , i.e. the levelized cost of the 1 kWh of outputted radiant visible flux. Table 1 shows the calculation for the incandescent and fluorescent lightbulbs from the example in Figure 1 and adds a LED lightbulb with the related parameters brought in the last column. Note that the all lightbulb cost contribution are approximately the same in the output of visible kWh of light, but due to energy

Եկեք նաև սահմանենք.

$LCOVI_{bulb}$  = ճառագայթային տեսանելի ելքային հոսքի 1 կՎտժ-ի նորմավորված արժեքը: Քանի որ  $OVI_{bulb} = I_{RV} \times H_{bulb}$ , ապա կարող ենք ճառագայթային ընդհանուր տեսանելի ելքային հոսքի յուրաքանչյուր 1 կՎտժ-ի նորմավորված արժեքը սահմանել՝

$$\begin{aligned} LCOVI_{bulb} &= TC_{bulb} / OVI_{bulb} \\ &= [C_{bulb} + Pr_{kWh} P_{bulb} H_{bulb}] / [I_{RV} H_{bulb}] \\ &= C_{bulb} / (I_{RV} H_{bulb}) + Pr_{kWh} P_{bulb} / I_{RV} \\ &= C_{bulb} / (I_{RV} H_{bulb}) + Pr_{kWh} / E_{bulb} \\ &= C_{bulb} / (E_{bulb} P_{bulb} H_{bulb}) + Pr_{kWh} / E_{bulb} \\ &= (1 / E_{bulb}) [C_{bulb} / (P_{bulb} H_{bulb}) + Pr_{kWh}] \end{aligned}$$

Այսպիսով,

**Հավասարում 1-2**

$$LCOVI_{bulb} = (1 / E_{bulb}) [UC_{1kW\ bulb} / H_{bulb} + Pr_{kWh}]$$

Հեշտ է նկատել, որ որքան բարձր է երկարակեցությունը, այնքան ցածր է լամպի արժեքի ներդրումը, որքան ցածր է ՕԳԳ-ն, այնքան բարձր է ճառագայթային տեսանելի ելքային հոսքի 1 կՎտժ-ի նորմավորված արժեքը:

$LCOVI_{bulb}$ -ը որպես մեկ հիմնական հարաչափ օգտագործելը թույլ է տալիս համեմատել լույսի աղբյուրների խիստ տարբեր տեսակներ, որոնք ունեն լամպերի տարբեր արժեքներ, երկարակեցություն և ՕԳԳ: Այս հարաչափը կարող է ծառայել որպես լուսավորության տնտեսական որոշումներ կայացնելու միակ հարաչափ, եթե մյուս գործոնները, ինչպես օրինակ՝ վերոհիշյալ ՀՄԲ, ԳՎՏ կամ ԳՈՍ՝ կիրառման համար պիտանիությունը, լուսավորության ժամանակային կարգավորումը՝ միացման ժամանակը, փոփոխական հոսանքի հաճախության նկատմամբ իներցիան, հավասար են:

## 2. Արհեստական լուսավորության տնտեսական օգուտների գնահատում. լուսադիոդային, կոմպակտ ֆլուորեսցենտային և լյումինեսցենտային լամպերի օրինակներ

Այժմ հեշտ է կատարել լույսի տարբեր աղբյուրների համեմատություն՝ միայն  $LCOVI_{bulb}$ -ի, այն է ճառագայթային տեսանելի ելքային հոսքի 1 կՎտժ-ի նորմավորված արժեքը հաշվելու միջոցով: Աղյուսակ 1-ում ցույց է տրված Նկար 1-ի օրինակում բերված շիկացման և ֆլուորեսցենտային լամպերի հաշվարկը, իսկ վերջին սյունակում ավելացվել է լուսադիոդային լամպ՝ հարակից հարաչափերով: Ուշադրություն դարձրեք, որ բոլոր լամպերի արժեքների ներդրումը լույսի տեսանելի ելքային կՎտժ-ի առումով գրեթե նույնն են, սակայն ֆլուորեսցենտային կամ լուսադիոդային լամպերի էներգաարդյունավետության հետևանքով նրանց

efficiency of fluorescent and LED lightbulbs, their power consumption related costs, i.e. operational costs are much less.

Էներգատարողության հետ կապված ծախսերը, այսինքն՝ շահագործման ծախսերը, շատ ավելի քիչ են:

**Table 1.** Calculation of the levelized cost of the 1 kWh of outputted luminous flux,  $LCOVI_{bulb}$ .

| Indicator                                                                                               | Incandescent<br>Շիկացման | Fluorescent<br>Ֆլուորես-<br>ցենտային | LED<br>Լուսադի-<br>ոդային | Ցուցիչ                                                                                                                  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|--------------------------------------|---------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $E_{bulb}$                                                                                              | 1.50%                    | 6.00%                                | 10.00%                    | $E_{bulb}$                                                                                                              |
| $C_{bulb}$                                                                                              | \$ 0.50                  | \$ 3.00                              | \$ 8.00                   | $C_{bulb}$                                                                                                              |
| $P_{bulb}$ , kW                                                                                         | 0.060                    | 0.012                                | 0.008                     | $P_{bulb}$ , կՎտ                                                                                                        |
| $UC_{1kW\ bulb}$                                                                                        | <b>\$ 8.33</b>           | <b>\$ 250</b>                        | <b>\$ 1,000</b>           | $UC_{1kW\ bulb}$                                                                                                        |
| $H_{bulb}$ , hours                                                                                      | 1500                     | 7500                                 | 25000                     | $H_{bulb}$ , ժամ                                                                                                        |
| $Pr_{kWh}$                                                                                              | \$ 0.10                  | \$ 0.10                              | \$ 0.10                   | $Pr_{kWh}$                                                                                                              |
| $= (1/ E_{bulb}) [UC_{1kW\ bulb}/H_{bulb}]$ , per kWh of luminous energy (lightbulb cost contribution)  | <b>\$ 0.370</b>          | <b>\$ 0.556</b>                      | <b>\$ 0.4</b>             | $= (1/ E_{bulb}) [UC_{1kW\ bulb}/H_{bulb}]$ , լուսային էներգիայի 1 կՎտ-ի համար (լամպի արժեքի ներդրում)                  |
| $= (1/ E_{bulb}) [Pr_{kWh}]$ , per kWh of luminous energy (power rating, i.e. consumption contribution) | <b>\$ 6.667</b>          | <b>\$ 1.667</b>                      | <b>\$ 1.0</b>             | $= (1/ E_{bulb}) [Pr_{kWh}]$ , լուսային էներգիայի 1 կՎտ-ի համար (զորության, այսինքն՝ էլեկտրաէներգիայի սպառման ներդրում) |
| $LCOVI_{bulb} = (1/ E_{bulb}) [UC_{1kW\ bulb}/H_{bulb} + Pr_{kWh}]$ , per kWh of luminous energy        | <b>\$ 7.037</b>          | <b>\$ 2.222</b>                      | <b>\$ 1.4</b>             | $LCOVI_{bulb} = (1/ E_{bulb}) [UC_{1kW\ bulb}/H_{bulb} + Pr_{kWh}]$ , լուսային էներգիայի 1 կՎտ-ի համար                  |

**Աղյուսակ 1.** Լուսային տեսանելի ելքային հոսքի 1 կՎտ-ի նորմավորված արժեքի հաշվարկը,  $LCOVI_{bulb}$

Also follow the transformations in Table 1 to see how the operational hours translate into years of operation.

Հետևեք նաև Աղյուսակ 1-ի փոխակերպումներին տեսնելու համար, թե ինչպես են շահագործման ժամերը վերածվում շահագործման տարիների:

**Table 2.** Years of operation for the three options.

|                   |      |      |      |                           |
|-------------------|------|------|------|---------------------------|
| Daily usage hours | 5    | 5    | 5    | Օրական շահագործման ժամերը |
| Days              | 300  | 1500 | 5000 | Օր                        |
| Years             | 0.82 | 4.1  | 13.7 | Տարի                      |

**Աղյուսակ 2.** Շահագործման տարիները երեք տարբերակի համար:

In this manner, it is extremely easy to compare options. One can compare options also for street, architectural, industrial and any other cases.

Another, simpler approach is presented below.

Այս կերպ չափազանց հեշտ է համեմատել տարբերակները: Այսպես կարելի է նաև համեմատություն կատարել փողոցային, ճարտարապետական, արդյունաբերական և այլ տիպի լուսավորությունների համար:

Ստորև ներկայացված է մեկ այլ՝ ավելի պարզ մոտեցում:

## Upgrade of electric lighting system

Here are the steps to upgrade the electric lighting system:

1. Identify, if there are plans to remodel the building, the space or home. If so, design the lighting as needed. Take into consideration that the interior design has a significant effect on the lighting – e.g. through colors and brightness of the walls, ceiling and the floor. If no plans for remodeling, proceed to the next step.
2. Perform an audit of the existing lighting system, take data for each luminaire for its consumption, operating hours, and purpose – defining special needs for level of illuminance spectrum (color temperature), etc., and create a summary table.

The principle is simple - one needs to start from finding out which lights consume the most of energy with goal to replace them with more efficient ones.

One can start from a floor plan (Figure 2), where all lights are identified and labelled for a very small 1 bedroom apartment.

## Էլեկտրական լուսավորության համակարգի արդիականացում

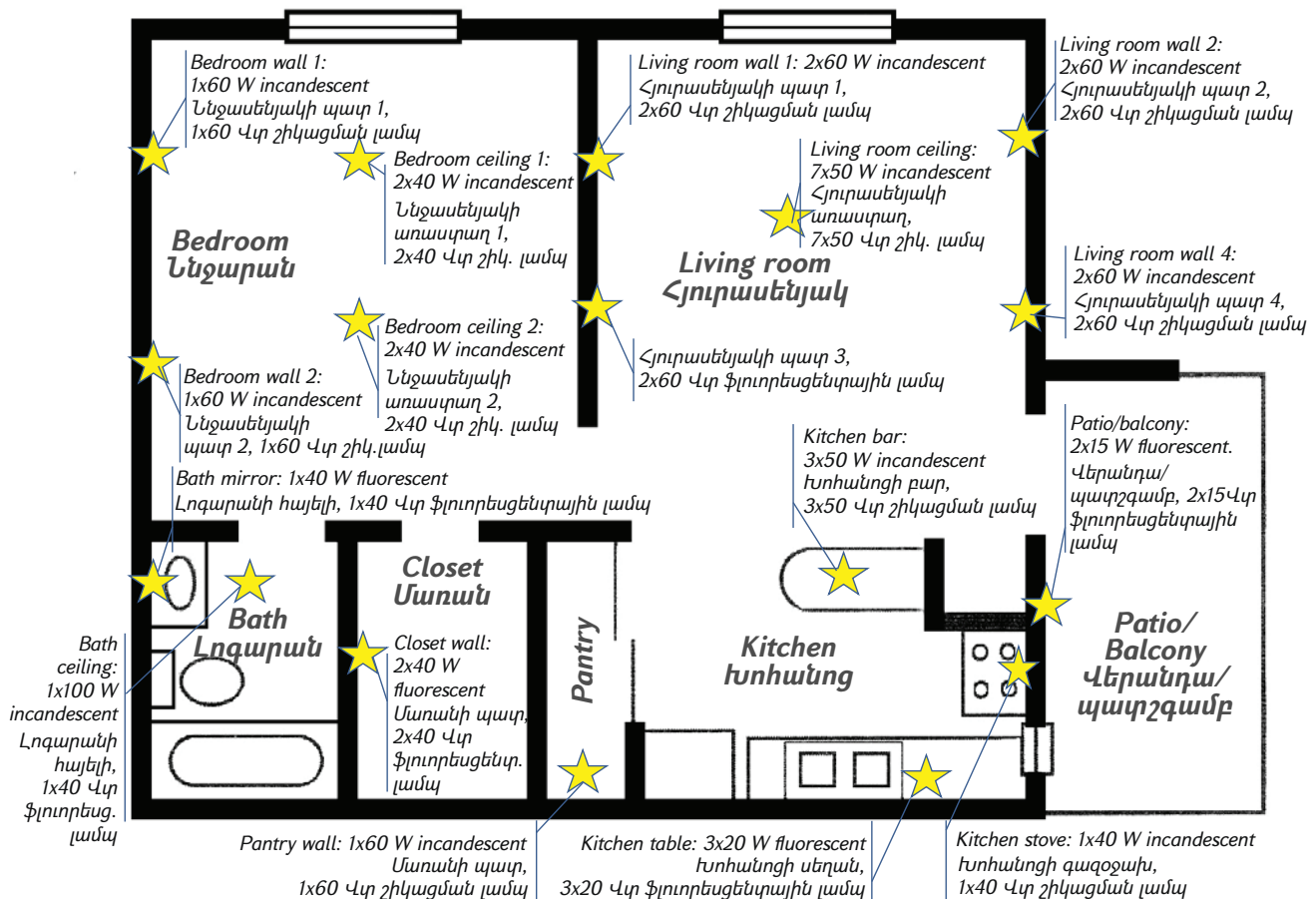
Էլեկտրական լուսավորության համակարգի արդիականացման քայլերն են.

1. Պարզել շենքի, տարածքի կամ տան վերափոխման պլանների առկայությունը: Եթե նման պլաններ կան, ապա լուսավորությունը նախագծել անհրաժեշտ կերպով: Նկատի ունեցեք, որ ներքին ձևավորումը, մասնավորապես՝ պատերի, առաստաղի և հատակի գույների ու պայծառության գործոնները զգալի ազդեցություն ունեն լուսավորության վրա: Եթե վերափոխման պլաններ չկան, ապա անցնել հաջորդ քայլին:
2. Կատարել լուսավորության առկա համակարգի ուսումնասիրություն, գրանցել յուրաքանչյուր լուսատուի տվյալները՝ ըստ սպառման, շահագործման ժամերի և նպատակի՝ սահմանելով լուսավորվածության սպեկտրի (գունային ջերմաստիճանի) մակարդակի առանձնահատուկ կարիքները, և այլն, կազմել ամփոփ աղյուսակ:

Սկզբունքը պարզ է. նախ և առաջ անհրաժեշտ է պարզել, թե որ լուսատուներն են սպառում առավել շատ էլեկտրաէներգիա՝ դրանք առավել արդյունավետ լուսատուներով փոխարինելու նպատակով:

Կարելի է սկսել հատակագծից (Նկար 2), որտեղ բոլոր լուսատուները ընտրված և նշված են մեկ ննջարան ունեցող շատ փոքր բնակարանի համար:

Figure 2. Floor plan of a one bedroom very small apartment with description of the lights.



Նկար 2. Մեկ ննջարան ունեցող շատ փոքր բնակարանի հատակագիծ՝ լուսատուների նկարագրությամբ:

Then comes collection of data on how many hours each luminaire is operating. Filling out a table similar to the one in Table 3, e.g. in MS Excel, will help substantially.

Այնուհետև կատարվում է տվյալների հավաքագրում, թե լուսատուներից յուրաքանչյուրը քանի ժամ է շահագործվում: Օրինակ՝ մեծապես օգտակար կլինի MS Excel-ով Աղյուսակ 3-ի համանման աղյուսակի կազմումը:

Table 3. Example of an apartments lighting simple audit<sup>1</sup>.

| Name of the luminaria, the room, wall or the ceiling | n, # of bulbs | P.kw, power of each bulb | h, Hours of operation | Ed, daily energy needed for luminaria operation, kWh<br>$Ed=nPh$ | Coverage tariff at hours of operation | Cd, daily cost of the luminaria operation, $Cd=EdC$ | % of total expense | Special notes about requirements of the luminaria usage |
|------------------------------------------------------|---------------|--------------------------|-----------------------|------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------------------------|--------------------|---------------------------------------------------------|
| Living room ceiling: 7x50 W incandescent             | 7             | 0.05                     | 5                     | 1.75                                                             | \$0.10                                | \$0.18                                              | 41.5%              | Warm lighting                                           |
| Living room wall: 8x60 W incandescent                | 8             | 0.05                     | 2                     | 0.96                                                             | \$0.10                                | \$0.10                                              | 22.7%              | Warm lighting                                           |
| Bedroom ceiling: 4x40 W incandescent                 | 4             | 0.04                     | 1                     | 0.15                                                             | \$0.10                                | \$0.02                                              | 3.8%               | Warm lighting                                           |
| Bedroom wall: 2x60 W incandescent                    | 2             | 0.05                     | 1                     | 0.12                                                             | \$0.10                                | \$0.01                                              | 2.8%               | Warm lighting                                           |
| Kitchen bar: 3x50 W incandescent                     | 3             | 0.05                     | 4                     | 0.5                                                              | \$0.10                                | \$0.05                                              | 14.2%              | Warm white                                              |
| Kitchen table 3x20 W fluorescent                     | 3             | 0.02                     | 3                     | 0.15                                                             | \$0.10                                | \$0.02                                              | 4.3%               | Warm white                                              |
| Kitchen stove: 1x40 W incandescent                   | 1             | 0.04                     | 3                     | 0.12                                                             | \$0.10                                | \$0.01                                              | 2.8%               | Warm lighting, high CRI needed                          |
| B3th ceiling: 1x100 W incandescent                   | 1             | 0.1                      | 1                     | 0.1                                                              | \$0.10                                | \$0.01                                              | 2.4%               | White light                                             |
| B3th mirror: 1x00 W fluorescent                      | 1             | 0.04                     | 0.5                   | 0.02                                                             | \$0.10                                | \$0.00                                              | 0.5%               | White light High CRI                                    |
| P31 o/balcony: 2x15 W fluorescent                    | 2             | 0.015                    | 5                     | 0.18                                                             | \$0.10                                | \$0.02                                              | 4.3%               |                                                         |
| Pantry wall: 1x50 W incandescent                     | 1             | 0.05                     | 0.5                   | 0.03                                                             | \$0.10                                | \$0.00                                              | 0.7%               | White light High CRI                                    |
| <b>TOTAL Daily</b>                                   |               |                          |                       | <b>4.22</b>                                                      |                                       | <b>\$0.42</b>                                       |                    |                                                         |
| <b>TOTAL Monthly, days per month =</b>               | <b>30.5</b>   |                          |                       | <b>128.71</b>                                                    |                                       | <b>\$12.87</b>                                      |                    |                                                         |

Աղյուսակ 3. Բնակարանի լուսավորության պարզ ուսումնասիրության օրինակ<sup>1</sup>:

| Լուսատուի տեսակը, սենյակը, պատը կամ առաստաղը | Լամպերի քանակը, n | Յուր. լամպի հզորությունը, կՎտ, P | Շահագործման ժամերը, ժամ | Լուսատուի շահագործման համար պահանջվող էլ. էներգիայի օրական քանակը, կՎտժ $Ed=nPh$ | Շահագործման ժամերի միջին սակագինը, C | Լուսատուների շահագործման օրական ծախսը, $Cd=Cd=EdC$ | Ընդհանուր ծախսը, % | Լուսատուների օգտագործման պահանջների մասին հատուկ նշումներ |
|----------------------------------------------|-------------------|----------------------------------|-------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------------------------|--------------------|-----------------------------------------------------------|
| Հյուրասենյակի առաստաղ, 7x50 Վտ շիկացման լամպ | 7                 | 0.05                             | 5                       | 1.75                                                                             | \$0.10                               | \$0.18                                             | 41.5%              | Տաք լույս                                                 |
| Հյուրասենյակի պատ, 8x60 Վտ շիկացման լամպ     | 8                 | 0.06                             | 2                       | 0.96                                                                             | \$0.10                               | \$0.10                                             | 22.7%              | Տաք լույս                                                 |
| Ննջասենյակի առաստաղ, 4x40 Վտ շիկացման լամպ   | 4                 | 0.04                             | 1                       | 0.16                                                                             | \$0.10                               | \$0.02                                             | 3.8%               | Տաք լույս                                                 |
| Ննջասենյակի պատ, 2x60 Վտ շիկացման լամպ       | 2                 | 0.06                             | 1                       | 0.12                                                                             | \$0.10                               | \$0.01                                             | 2.8%               | Տաք լույս                                                 |
| Խոհանոցի բար, 3x50 Վտ շիկացման լամպ          | 3                 | 0.05                             | 4                       | 0.6                                                                              | \$0.10                               | \$0.06                                             | 14.2%              | Տաք սպիտակ                                                |

<sup>1</sup> Certainly the user has the latitude for selection of the CCT, e.g. in general, for kitchen and bathroom the neutral white (4000 K) is preferable for sanitary (hygienic) reasons, but users preference can be taken into consideration as well.

Անշուշտ, օգտագործողն ունի ԿԳՋ-ի ընտրության լայն հնարավորություն, օրինակ՝ ընդհանրապես, խոհանոցի և լոգասենյակի համար, սանիտարահիգիենիկ նկատառումներից ելնելով, նախընտրելի է չեզոք սպիտակ գույնը (4000 Կ), սակայն կարելի է հաշվի առնել նաև օգտագործողների նախասիրությունները:

Աղյուսակ 3. Հարունակություն

| Լուսատուի տեսակը, սենյակը, պատը կամ առաստաղը    | Լամպերի քանակը, n | Յուր. լամպի հզորությունը, կՎտ, P | Շահագործման ժամերը, ժամ | Լուսատուի շահագործման համար պահանջվող էլ. էներգիայի օրական քանակը, կՎտժ $Ed=nPh$ | Շահագործման ժամերի միջին սակագինը, C | Լուսատուների շահագործման օրական ծախսը, Cd $Cd=EdC$ | Ընդհանուր ծախսը, % | Լուսատուների օգտագործման պահանջների մասին հատուկ նշումներ |
|-------------------------------------------------|-------------------|----------------------------------|-------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------------------------|--------------------|-----------------------------------------------------------|
| Խոհանոցի սեղան, 3x20 Վտ ֆլուորեսցենտային լամպ   | 3                 | 0.02                             | 3                       | 0.18                                                                             | \$0.10                               | \$0.02                                             | 4.3%               | Տաք սպիտակ                                                |
| Խոհանոցի գազօջախ, 1x40 Վտ շիկացման լամպ         | 1                 | 0.04                             | 3                       | 0.12                                                                             | \$0.10                               | \$0.01                                             | 2.8%               | Տաք լույս, անհրաժեշտ է բարձր ԳՓՑ                          |
| Լոգարանի առաստաղ, 1x100 Վտ շիկացման լամպ        | 1                 | 0.1                              | 1                       | 0.1                                                                              | \$0.10                               | \$0.01                                             | 2.4%               | Տաք սպիտակ                                                |
| Լոգարանի հայելի, 1x40 Վտ ֆլուորեսցենտային լամպ  | 1                 | 0.04                             | 0.5                     | 0.02                                                                             | \$0.10                               | \$0.00                                             | 0.5%               | Տաք սպիտակ, անհրաժեշտ է բարձր ԳՓՑ                         |
| Վերանդա/պատշգամբ, 2x15 Վտ ֆլուորեսցենտային լամպ | 2                 | 0.015                            | 6                       | 0.18                                                                             | \$0.10                               | \$0.02                                             | 4.3%               |                                                           |
| Մառանի պատ, 1x60 Վտ շիկացման լամպ               | 1                 | 0.06                             | 0.5                     | 0.03                                                                             | \$0.10                               | \$0.00                                             | 0.07%              | Տաք սպիտակ, անհրաժեշտ է բարձր ԳՓՑ                         |
| <b>ԸՆԴԱՄԵՆԸ օրական</b>                          |                   |                                  |                         | <b>4.22</b>                                                                      |                                      | <b>\$0.42</b>                                      |                    |                                                           |
| <b>ԸՆԴԱՄԵՆԸ ամսական, օր ամսում</b>              | <b>30.5</b>       |                                  |                         | <b>128.71</b>                                                                    |                                      | <b>\$12.87</b>                                     |                    |                                                           |

Here a simple case considered when the power tariff is flat across 24 hours. Note that living room ceiling, wall and kitchen bar are consuming together 78.4% of the total power expense, since they are operating longer hours, with higher power consumption of incandescent lightbulbs. Naturally these three areas need to be addressed the first – however they comprise 18 lightbulbs out of total 33 in the apartment. Thus changing around half of the lightbulbs one can achieve up to 70% saving if using modern LED lights with luminous efficacy of 150 Lm/W, which is 10x more economical compared with incandescent lighting that has around 15 Lm/W luminous efficacy. Table 4 shows the detailed result.

Այստեղ դիտարկման համար օգտագործվել է պարզ դեպք, երբ էլեկտրաէներգիայի սակագինը նույնն է 24 ժամվա համար: Ուշադրություն դարձրեք, որ, օգտագործելով բարձր էներգատարությամբ շիկացման լամպեր, հյուրասենյակի առաստաղը, պատը և խոհանոցի բարը միասին սպառում են էլեկտրաէներգիայի ընդհանուր ծախսի 78.4%-ը, քանի որ դրանց շահագործման ժամերն ավելի երկար են: Բնականաբար, այս երեք տարածքներն անհրաժեշտ է առաջինն արդիականացնել, այնուամենայնիվ, դրանց բաժին է ընկնում բնակարանի ընդհանուր 33 լամպերից 18-ը: Այսպիսով, փոխելով լամպերի գրեթե կեսը, կարելի է ապահովել մինչև 70% խնայողություն, եթե օգտագործվեն ժամանակակից լուսադիողային լամպեր՝ 150 լմ/Վտ լուսարգասիքով, ինչը 10 անգամ ավելի տնտեսող է, քան շիկացման լամպը, որն ունի շուրջ 15 լմ/Վտ լուսարգասիք: Արդյունքը մանրամասն ներկայացված է Աղյուսակ 4-ում:

Table 4. The same apartment lighting, with proposed changes.

| Name of the luminaria, the room, wall or the ceiling | n, # of bulbs | P.kw, power of each bulb | h, Hours of operation | Ed, daily energy needed for luminaria operation, kWh $Ed=nPh$ | Coverage tariff at hours of operation | Cd, daily cost of the luminaria operation, Cd=EdC | % of total expense | Special notes about requirements of the luminaria usage |
|------------------------------------------------------|---------------|--------------------------|-----------------------|---------------------------------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------------------|--------------------|---------------------------------------------------------|
| Living room ceiling: 7x5 W LED                       | 7             | 0.005                    | 5                     | 0.175                                                         | \$0.10                                | \$0.02                                            | 14.1%              | Warm lighting                                           |
| Living room wall: 8x6 W LED                          | 8             | 0.005                    | 2                     | 0.095                                                         | \$0.10                                | \$0.01                                            | 7.7%               | Warm lighting                                           |
| Bedroom ceiling: 4x40W incandescent                  | 4             | 0.04                     | 1                     | 0.15                                                          | \$0.10                                | \$0.02                                            | 12.9%              | Warm lighting                                           |
| Bedroom wall: 2x60 W incandescent                    | 2             | 0.05                     | 1                     | 0.12                                                          | \$0.10                                | \$0.01                                            | 9.7%               | Warm lighting                                           |
| Kitchen bar: 3x5 W LED                               | 3             | 0.005                    | 4                     | 0.05                                                          | \$0.10                                | \$0.01                                            | 4.8%               | warm white                                              |

Table 4. continued

| Name of the luminaria, the room, wall or the ceiling | n, # of bulbs | P.kw, power of each bulb | h, Hours of operation | Ed, daily energy needed for luminaria operation, kWh<br>Ed=nPh | Coverage tariff at hours of operation | Cd, daily cost of the luminaria operation, Cd=EdC | % of total expense | Special notes about requirements of the luminaria usage |
|------------------------------------------------------|---------------|--------------------------|-----------------------|----------------------------------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------------------|--------------------|---------------------------------------------------------|
| Kitchen table: 3x20 W fluorescent                    | 3             | 0.02                     | 3                     | 0.1S                                                           | \$0.10                                | \$0.02                                            | 14.5%              | Warm white                                              |
| Kitchen stove: 1x40 W incandescent                   | 1             | 0.04                     | 3                     | 0.12                                                           | \$0.10                                | \$0.01                                            | 9.7%               | Warm lighting, high CRI needed                          |
| B3lh ceiling: 1x100 W incandescent                   | 1             | 0.1                      | 1                     | 0.1                                                            | \$0.10                                | \$0.01                                            | 8.1%               | White light                                             |
| B3lh mirror: 1x00 W fluorescent                      | 1             | 0.04                     | 05                    | 0.02                                                           | \$0.10                                | \$0.00                                            | 1.6%               | White light High CRI                                    |
| Patio/balcony: 2x15 W fluorescent                    | 2             | 0.015                    | 5                     | 0.1S                                                           | \$0.10                                | \$0.02                                            | 14.5%              |                                                         |
| Pantry wall: 1x60 W incandescent                     | 1             | 0.05                     | 05                    | 0.03                                                           | \$0.10                                | \$0.00                                            | 2.4%               | White light High CRI                                    |
| TOTAL Daily                                          | 33            |                          |                       | 1.24                                                           |                                       | \$0.12                                            |                    |                                                         |
| TOTAL Monthly, days per month =                      | 30.5          |                          |                       | 37.85                                                          |                                       | \$3.79                                            |                    |                                                         |

Աղյուսակ 4. Նույն բնակարանի լուսավորությունը՝ առաջարկվող փոփոխություններով:

| Լուսատուի տեսակը, սենյակը, պատը կամ առաստաղը     | Լամպերի քանակ, n | Ցուր. լամպի հզորությունը, P | Շահագործման ժամերը, ժամ | Լուսատուի շահագործման համար պահանջվող էլ. էներգիայի օրական քանակը, կՎտժ<br>Ed=nPh | Շահագործման ժամերի միջին սակագինը, C | Լուսատուների շահագործման օրական ծախսը, Cd<br>Cd=EdC | Ընդհանուր ծախսը, % | Լուսատուների օգտագործման պահանջների մասին հատուկ նշումներ |
|--------------------------------------------------|------------------|-----------------------------|-------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------------------------|--------------------|-----------------------------------------------------------|
| Հյուրասենյակի առաստաղ, 7x5 Վտ լուսադիոդային լամպ | 7                | 0.005                       | 5                       | 1.175                                                                             | \$0.10                               | \$0.02                                              | 14.1%              | Տաք լույս                                                 |
| Հյուրասենյակի պատ, 8x6 Վտ լուսադիոդային լամպ     | 8                | 0.006                       | 2                       | 0.096                                                                             | \$0.10                               | \$0.01                                              | 7.7%               | Տաք լույս                                                 |
| Ննջասենյակի առաստաղ, 4x40 Վտ շիկացման լամպ       | 4                | 0.04                        | 1                       | 0.16                                                                              | \$0.10                               | \$0.02                                              | 12.9%              | Տաք լույս                                                 |
| Ննջասենյակի պատ, 2x60 Վտ շիկացման լամպ           | 2                | 0.06                        | 1                       | 0.12                                                                              | \$0.10                               | \$0.01                                              | 9.7%               | Տաք լույս                                                 |
| Խոհանոցի բար, 3x5 Վտ լուսադիոդային լամպ          | 3                | 0.005                       | 4                       | 0.06                                                                              | \$0.10                               | \$0.01                                              | 4.8%               | Տաք սպիտակ                                                |
| Խոհանոցի սեղան, 3x20 Վտ ֆլուորեսցենտային լամպ    | 3                | 0.02                        | 3                       | 0.18                                                                              | \$0.10                               | \$0.02                                              | 14.5%              | Տաք սպիտակ                                                |
| Խոհանոցի զաօջախ, 1x40 Վտ շիկացման լամպ           | 1                | 0.04                        | 3                       | 0.12                                                                              | \$0.10                               | \$0.01                                              | 9.7%               | Տաք լույս, անհրաժեշտ է բարձր ԳԾՑ                          |
| Լոգարանի առաստաղ, 1x100 Վտ շիկացման լամպ         | 1                | 0.1                         | 1                       | 0.1                                                                               | \$0.10                               | \$0.01                                              | 8.1%               | Տաք սպիտակ                                                |
| Լոգարանի հայելի, 1x40 Վտ ֆլուորեսցենտային լամպ   | 1                | 0.04                        | 0.5                     | 0.02                                                                              | \$0.10                               | \$0.00                                              | 1.6%               | Տաք սպիտակ, բարձր ԳԾՑ                                     |
| Վերանդա/պատշգամբ, 2x15 Վտ ֆլուորեսցենտային լամպ  | 2                | 0.015                       | 6                       | 0.18                                                                              | \$0.10                               | \$0.02                                              | 14.5%              |                                                           |
| Մառանի պատ, 1x60 Վտ շիկացման լամպ                | 1                | 0.06                        | 0.5                     | 0.03                                                                              | \$0.10                               | \$0.00                                              | 2.4%               | Տաք սպիտակ, բարձր ԳԾՑ                                     |
| <b>ԸՆԴԱՄԵՆԸ օրական</b>                           | <b>33</b>        |                             |                         | <b>1.24</b>                                                                       |                                      | <b>\$0.12</b>                                       |                    |                                                           |
| <b>ԸՆԴԱՄԵՆԸ ամսական, օր ամսում</b>               | <b>30.5</b>      |                             |                         | <b>37.85</b>                                                                      |                                      | <b>\$3.79</b>                                       |                    |                                                           |

It might be necessary to model your needs for each season separately, and take the decision as the average either for year or with a priority for a particular season. Note that with the new, more efficient lightbulbs, the consumption percentages are changed.

3. Compare data with the indoor lighting standards and norms, make correction for target illuminance level. Use a lux meter, if possible.
4. Implement the Pareto 20-80 rule to identify the vital sources that consume the most of energy. As it has been shown in Table 3 about 78% of consumption is related to 3 out of 11 total luminaria lines, i.e. 27% - well corresponds to the Pareto rule<sup>2</sup>.
5. Create a proposal for change, compare consumption and comfort before and after. In the proposal, one also needs to identify the costs of the changes, i.e. the costs of the 150 Lm/W lightbulbs. Taking also into consideration the lifetime of the new lightbulbs vs. old lightbulbs one needs to estimate the payback period, performed in the next section.

### 3. Assessment of environmental benefits of artificial illumination, comparison of methods

Let's take a fixed period of time, e.g. 10 years. To calculate the lightbulb replacement costs, we consider only the candidates for replacement derived from the Pareto rule, i.e. for the living room ceiling, wall and kitchen bar of the described example. Thus, we will be comparing the current, incandescent heavy setup, to the proposed case with aforementioned LEDs. Naturally, there are 3650 days in the 10 years. And the number of needed lightbulbs will be equal to the total amount of hours expected usage of the particular luminaire during the 10 years (3650 days x usage hours for each luminaire) divided by the statistical life expectancy of the particular lightbulb type. E.g. if the daily usage is 5 hours, during 10 years we expect to use that luminaire  $5\text{h} \times 3650\text{ days} = 18250\text{ hours}$ . Since the incandescent lightbulb life expectancy

Հնարավոր է կարիքները մոդելավորել յուրաքանչյուր սեզոնի համար առանձին, կամ որոշումը ընդունել տվյալ սեզոնի համար կամ տարվա միջինացված կարիքների համար: Ուշադրություն դարձրեք, որ նոր, ավելի արդյունավետ լուսատուներով սպառման տոկոսային հարաբերակցությունները փոխվել են:

3. Համեմատել տվյալները ներքին լուսավորության ստանդարտների ու նորմերի հետ, կատարել ճշգրտումներ տվյալ վայրում լուսավորվածության մակարդակի համար: Հնարավորության դեպքում օգտագործել լյուքսաչափ:
4. Կիրառել Պարետոյի 20/80-ի կանոնը՝ պարզելու ամենաշատ էներգիա սպառող կարևոր աղբյուրները: Ինչպես ցույց տրվեց Աղյուսակ 3-ում, սպառման շուրջ 78%-ը կապված է ընդհանուր թվով 11 լուսատու գծերից 3-ի, այսինքն՝ 27%-ի հետ, որը բավական լավ համապատասխանում է Պարետոյի սկզբունքին<sup>2</sup>:
5. Կազմել փոփոխության առաջարկ, համեմատել սպառումը և հարմարավետությունը՝ առաջ և հետո: Առաջարկում անհրաժեշտ է նաև պարզել փոփոխությունների առաջացրած ծախսերը, օրինակ՝ 150 լմ/Վտ լամպերի արժեքը: Հաշվի առնելով նաև հին լամպերի համեմատությամբ նորերի երկարակեցությունը՝ հարկավոր է նաև գնահատել փոխհատուցելիության ժամկետը, որը ներկայացված է հաջորդ բաժնում:

### 3. Արհեստական լուսավորության բնապահպանական օգուտների գնահատում, մեթոդների համեմատություն

Վերցնենք ֆիքսված ժամանակահատված, օրինակ՝ 10 տարի: Լամպերի փոխարինման ծախսերը հաշվելու համար մենք դիտարկում ենք միայն Պարետոյի կանոնից բխող լամպերը, այսինքն՝ նկարագրված օրինակում՝ հյուրասենյակի առաստաղի, պատի և խոհանոցի բարի լամպերը: Այսպիսով, մենք համեմատելու ենք ներկայիս շիկացման լամպով տարբերակը լուսադիոդային լամպերով առաջարկվող վերոհիշյալ տարբերակի հետ: Բնականաբար, 10 տարին ունի 3650 օր: Անհրաժեշտ լուսատուների թիվը հավասար է լինելու 10 տարվա ընթացքում տվյալ լուսատուի ակնկալվող օգտագործման ժամերի ընդհանուր թվին ( $3650\text{ օր} \times \text{յուրաքանչյուր լուսատուի օգտագործման ժամերը}$ )՝ բաժանած տվյալ լուսատուի տեսակի կյանքի վիճակագրական տևողության վրա: Օրինակ՝ եթե օրական շահագործման տևողությունը 5 ժամ է, 10 տարում ակնկալվում ենք այդ լուսատուն օգտագործել 5

<sup>2</sup> The Pareto principle (also known as the 80/20 rule, the law of the vital few, or the principle of factor sparsity) states that, for many events, roughly 80% of the effects come from 20% of the causes ([https://en.wikipedia.org/wiki/Pareto\\_principle](https://en.wikipedia.org/wiki/Pareto_principle)).

Պարետոյի սկզբունքը (հայտնի է նաև որպես 80/20-ի կանոն, կամ փոքրաթիվ գործոնների գերիշխող դերը) սահմանում է, որ շատ դեպքերում հետևանքների մոտավորապես 80%-ը բխում է պատճառների 20%-ից ([https://en.wikipedia.org/wiki/Pareto\\_principle](https://en.wikipedia.org/wiki/Pareto_principle)):

is around 1500 hours, we will need  $18250/1500 = 12.17$  lightbulbs. Now it is easy to calculate the total cost of the lightbulbs during the fixed period. The calculation for the current case is summarized in Table 5.

Ժամ  $\times 3650$  օր = 18250 ժամ: Քանի որ շիկացման լամպի կյանքի տևողությունը շուրջ 1500 ժամ է, մեզ անհրաժեշտ կլինի  $18250/1500 = 12.17$  լամպ: Այժմ հեշտ է հաշվել ֆիքսված ժամանակահատվածում լուսատուների ընդհանուր ծախսը: Տվյալ դեպքի հաշվարկը ամփոփ ներկայացված է Աղյուսակ 5-ում:

**Table 5.** Calculation of the number of lightbulbs and related costs for 10 years of exploitation according to the current condition with incandescent lightbulbs.

| Name of the luminaria, the room, wall or the ceiling | n, #of bulbs | P, kW, power of each bulb | H, Hours of operation | Total hours, $h \times 3650$ days | Lightbulb service time | # of lightbulbs needed | Cost of one lightbulb | Total cost of lightbulbs |
|------------------------------------------------------|--------------|---------------------------|-----------------------|-----------------------------------|------------------------|------------------------|-----------------------|--------------------------|
| Living room ceiling: 7x50 W LED                      | 7            | 0.05                      | 5                     | 18250                             | 1500                   | 12.17                  | \$ 1.00               | \$ 85.17                 |
| Living room wall: 8x60 W LED                         | 8            | 0.06                      | 2                     | 7300                              | 1500                   | 4.87                   | \$ 1.50               | \$ 58.40                 |
| Kitchen bar: 3x50 W LED                              | 3            | 0.05                      | 4                     | 14600                             | 1500                   | 9.73                   | \$ 1.00               | \$ 29.20                 |
| <b>TOTAL cost of the lightbulbs</b>                  |              |                           |                       |                                   |                        |                        |                       | <b>\$ 172.77</b>         |

**Աղյուսակ 5.** Լամպերի թվի և հարակից ծախսերի հաշվարկը շահագործման 10 տարվա համար՝ ըստ շիկացման լամպերով ներկա պայմանների:

| Լուսատուի տեսակը, սենյակը, պատը կամ առաստաղը | Լամպերի քանակը, n | Ցուր. լամպի հզորությունը, կՎտ, P | Շահագործման ժամերը, ժամ | Ժամերի ընդհանուր թիվը, ժամ $\times 3650$ օր | Լամպի ծառայության ժամկետը | Անհրաժեշտ լամպերի թիվը | Մեկ լամպի արժեքը | Լամպերի ընդհանուր ծախսը |
|----------------------------------------------|-------------------|----------------------------------|-------------------------|---------------------------------------------|---------------------------|------------------------|------------------|-------------------------|
| Հյուրասենյակի առաստաղ, 7x50 Վտ շիկացման լամպ | 7                 | 0.05                             | 5                       | 18250                                       | 1500                      | 12.17                  | \$1.00           | \$85.17                 |
| Հյուրասենյակի պատ, 8x60 Վտ շիկացման լամպ     | 8                 | 0.06                             | 2                       | 7300                                        | 1500                      | 4.87                   | \$1.50           | \$58.40                 |
| Խոհանոցի բար, 3x50 Վտ շիկացման լամպ          | 3                 | 0.05                             | 4                       | 14600                                       | 1500                      | 9.73                   | \$1.00           | \$29.20                 |
| <b>Լամպերի ԸՆԴՀԱՆՈՒՐ ծախսը</b>               |                   |                                  |                         |                                             |                           |                        |                  | <b>\$172.77</b>         |

Similarly, Table 6 is describing the proposed case with LEDs. Do not worry for the fractional number of the LED lightbulbs – this is statistical number for the taken 10-year period of time. In reality this means that the lightbulbs will work approximately twice the period, i.e. around 20 years or more.

Նույն կերպ, Աղյուսակ 6-ում նկարագրված է լուսադիոդային լամպերով առաջարկվող տարբերակը: Մի անհանգստացե՛ք լուսադիոդային լամպերի կոտորակային թվի համար, սա վիճակագրական թիվ է 10 տարի ժամանակահատվածի համար: Իրականում սա նշանակում է, որ լամպերը մոտավորապես կրկնակի ժամանակահատված են ծառայելու, այսինքն՝ շուրջ 20 տարի և ավելի:

**Table 6.** Calculation of the number of lightbulbs and related costs for 10 years of exploitation according to the proposed replacement with LED lightbulbs.

| Name of the luminaria, the room, wall or the ceiling | n, #of bulbs | P, kW, power of each bulb | h. Hours of operation | Total hours, $h \times 3650$ days | Lightbulb service time | # of lightbulbs needed | Cost of one lightbulb | Total cost of lightbulbs |
|------------------------------------------------------|--------------|---------------------------|-----------------------|-----------------------------------|------------------------|------------------------|-----------------------|--------------------------|
| Living room ceiling: 7x5 W LED                       | 7            | 0.005                     | 5                     | 18250                             | 35000                  | 0.52                   | \$ 7.00               | \$ 25.55                 |
| Living room wall: 8x6 W LED                          | 8            | 0.006                     | 2                     | 7300                              | 35000                  | 0.21                   | \$ 8.00               | \$ 13.35                 |
| Kitchen bar: 3x5 W LED                               | 3            | 0.005                     | 4                     | 14600                             | 35000                  | 0.42                   | \$ 7.00               | \$ 8.76                  |
| <b>TOTAL cost of the lightbulbs</b>                  |              |                           |                       |                                   |                        |                        |                       | <b>\$ 47.66</b>          |

**Աղյուսակ 6.** Լամպերի թվի և հարակից ծախսերի հաշվարկը շահագործման 10 տարվա համար՝ ըստ լուսադիոդային լամպերով փոխարինելու առաջարկվող տարբերակի:

| Լուսատուի տեսակը, սենյակը, պատը կամ առաստաղը     | Լամպերի քանակը, n | Յուր. լամպի հզորությունը, կՎտ, P | Շահագործման ժամերը, ժամ | Ժամերի ընդհանուր թիվը, ժամ x 3650 օր | Լամպի ծառայության ժամկետը | Անհրաժեշտ լամպերի թիվը | Մեկ լամպի արժեքը | Լամպերի ընդհանուր ծախսը |
|--------------------------------------------------|-------------------|----------------------------------|-------------------------|--------------------------------------|---------------------------|------------------------|------------------|-------------------------|
| Հյուրասենյակի առաստաղ, 7x5 Վտ լուսադիոդային լամպ | 7                 | 0.005                            | 5                       | 18250                                | 35000                     | 0.52                   | \$7.00           | \$25.55                 |
| Հյուրասենյակի պատ, 8x6 Վտ լուսադիոդային լամպ     | 8                 | 0.006                            | 2                       | 7300                                 | 35000                     | 0.21                   | \$8.00           | \$13.35                 |
| Խոհանոցի բար, 3x5 Վտ լուսադիոդային լամպ          | 3                 | 0.005                            | 4                       | 14600                                | 35000                     | 0.42                   | \$7.00           | \$8.76                  |
| <b>Լամպերի ԸՆԴՀԱՆՈՒՐ ծախսը</b>                   |                   |                                  |                         |                                      |                           |                        |                  | <b>\$47.66</b>          |

Thus, not only the monthly savings will be around 70%, but also during 10 years one needs to spend only \$173/\$48 = 3.6 times less on the lightbulbs.

Here also the forecast of the price increase for 1 kWh of electric power can be taken into consideration, as well as the forecast of lightbulb degradation with the decrease of the efficiency.

For the environmental benefits, the saved kWh of electric power is the key for the climate change, i.e. CO<sub>2</sub> release calculation. Depending on each country, each kWh saved is equivalent to certain amount of not released CO<sub>2</sub>. Since in the described example we have 70% electric power savings, respectively, we will have monthly saving of more than 90 kWh-s. For Armenia equivalent to savings of 90 kWh x 0.25 kg of CO<sub>2</sub> = 22.5 kg/month for the described replacement in one small apartment.

Այսպիսով, ոչ միայն ամսական խնայողությունը կկազմի շուրջ 70%, այլև 10 տարվա ընթացքում լամպերի վրա կարելի է ծախսել \$173/\$48 = 3.6 անգամ ավելի քիչ:

Այստեղ կարելի է հաշվի առնել նաև էլեկտրաէներգիայի 1 կՎտժ-ի գնի աճի, ինչպես նաև արդյունավետության նվազման հետ մեկտեղ լամպի վատթարացման կանխատեսումը:

Բնապահպանական օգուտների տեսանկյունից էլեկտրաէներգիայի խնայված կՎտժ-ը կլիմայի փոփոխության, այսինքն՝ CO<sub>2</sub>-ի արտանետման հաշվարկի բանալին է: Ըստ տարբեր երկրների՝ խնայված յուրաքանչյուր կՎտժ-ն համարժեք է CO<sub>2</sub>-ի չարտանետված որոշակի չափաքանակին: Քանի որ նկարագրված օրինակում ունենք էլեկտրաէներգիայի 70% խնայողություն, համապատասխանաբար, ամսական խնայողությունը կկազմի ավելի քան 90 կՎտժ: Հայաստանի պայմաններում մի փոքր բնակարանում նկարագրված փոփոխությունների պայմաններում խնայողությունը համարժեք կլինի 90 կՎտժ x 0.25 կգ CO<sub>2</sub> = 22.5 կգ/ամսում, քանի որ Հայաստանում 1 կՎտժ էլեկտրաէներգիայի արտադրությունը արտանետում է 250 գրամ CO<sub>2</sub>:



# ԿԱՆԱԶ ԼՈՒՍԱՎՈՐՈՒԹՅՈՒՆ

Տեսությունը և սկզբունքները ճարտարապետների և ճարտարագետների համար

## GREEN LIGHTING

Theory and Principles for Engineers and Architects

Համբարյան Արտակ, Ղազարյան Վարդան

Artak Hambarian, Vardan Ghazaryan



Empowered lives.  
Resilient nations.



ISBN 978-9939-1-0837-7 © UNDP Armenia, 2018

### CHAPTER 7. Lighting and Ecology



### ԳԼՈՒԽ 7. Լուսավորությունը և էկոլոգիան



## CHAPTER 7: Lighting and Ecology

## ԳԼՈՒԽ 7. Լուսավորությունը և էկոլոգիան

| Contents                                                                     |     | Բովանդակություն                                                                                             |
|------------------------------------------------------------------------------|-----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Mercury containing lamps and their proper management and disposal         | 243 | 1. Սնդիկ պարունակող լամպերը, նրանց պատշաճ տնօրինումը և թափոնահանումը                                        |
| Mercury content in fluorescent lightbulbs                                    | 243 | Սնդիկի պարունակությունը լյումինեսցենտային լամպերում                                                         |
| LED disposal                                                                 | 243 | ԼԴ լամպերի հեռացումը                                                                                        |
| 2. Light pollution: definition, prevention and control                       | 245 | 2. Լուսային աղտոտում. սահմանումը, կանխարգելումը և վերահսկումը                                               |
| Definition:                                                                  | 245 | Սահմանում.                                                                                                  |
| Light pollution and astronomy                                                | 247 | Լուսային աղտոտումը և աստղագիտությունը                                                                       |
| Light pollution and human health                                             | 248 | Լուսային աղտոտումը և մարդու առողջությունը                                                                   |
| Blue hazard                                                                  | 250 | Կապույտ վտանգ                                                                                               |
| Ultraviolet (UV) radiation                                                   | 250 | Ուլտրամանուշակագույն (ՈՒՄ) ճառագայթում                                                                      |
| Light pollution and ecology                                                  | 250 | Լուսային աղտոտումը և էկոլոգիան                                                                              |
| Increase of smog                                                             | 250 | Սմոգի ավելացումը                                                                                            |
| Issues with natural sky polarization for animal navigation                   | 251 | Կենդանիների տեղաշարժի համար բնական լույսի բևեռացման հետ կապված խնդիրներ                                     |
| Insects                                                                      | 251 | Միջատներ                                                                                                    |
| Birds                                                                        | 253 | Թռչուններ                                                                                                   |
| 3. Energy efficient lighting and climate change mitigation: CO2 not released | 254 | 3. Էներգաարդյունավետ լուսավորություն և կլիմայի փոփոխության ազդեցության մեղմում. չարտանետված CO <sub>2</sub> |
| Definition: Taking into account externalities                                | 254 | Արտաքին գործոնների դիտարկում. Սահմանում                                                                     |
| References                                                                   | 254 | Հղումներ                                                                                                    |

Lightings accounts for 1/5 of the world's total demand for electrical energy. Since the electricity generation is responsible for another 1/5 of the world primary energy consumption, thus the lighting is consuming the 4% of the total primary energy. It is responsible for around 2 bln tons of CO<sub>2</sub> release.

There are also a number of ways that artificial lighting affects the environment as well as human health, as described in the sections below.

## 1. Mercury containing lamps and their proper management and disposal

### Mercury content in fluorescent lightbulbs

There is one major negative of compact fluorescent lights (CFL-s) and luminescent lighting related to environment.

The **mercury (Hg) content** in all fluorescent lightbulbs, usually is 3–5 mg per bulb and 1 mg if the lightbulb is labelled “eco-friendly”. This imposes special requirements related to their disposal and recycling. These requirements prescribe to store the old lightbulbs unbroken for further recycling (which I personally do – my closet is filled up by these old linear fluorescent tubes, Figure 1). However, I am not aware of any recycling agency/business in our country. Governmental regulations should be introduced to minimize the environmental hazard.

To recycle,  $Hg + S \rightarrow HgS$  reaction should be performed (“S” is for sulfur). For this purpose, a group of fluorescent tubes is covered with sulfur dust and the tubes are broken. The glass fragments are put into a bag to continue with the reaction. The mercury will combine with sulfur without any other action.

Although, overall CFL use impact on climate change is positive due to decreased CO<sub>2</sub> emissions, one need to take into consideration that the poisoning of underground water with Hg is definitely harmful.

### LED disposal

A study published in late 2010 in the journal Environmental Science and Technology found that LEDs contain **lead**, **arsenic** and a dozen other potentially dangerous substances.

Էլեկտրաէներգիայի համաշխարհային ընդհանուր պահանջարկի 1/5-ը բաժին է ընկնում լուսավորությանը: Քանի որ էլեկտրաէներգիայի արտադրությունը պատասխանատու է աշխարհում ընդհանուր էներգիայի սպառման 1/5-ի համար, կարելի է ասել, որ լուսավորությանը բաժին է ընկնում ընդհանուր էներգիայի սպառման 4%-ը: Այն պատասխանատու է շուրջ 2 միլիարդ տոննա CO<sub>2</sub>-ի արտանետման համար:

Արհեստական լուսավորությունը բացասական ազդեցություն է ունենում շրջակա միջավայրի և մարդկանց առողջության վրա նաև մի շարք այլ ձևերով, որոնք նկարագրված են ստորև ներկայացված բաժիններում:

## 1. Սնդիկ պարունակող լամպերը, դրանց պատշաճ տնօրինումը և թափոնահանումը

### Սնդիկի պարունակությունը լյումինեսցենտային լամպերում

Շրջակա միջավայրի առումով կոմպակտ լյումինեսցենտային լամպերն (ԿԼԼ) ունեն մեկ լուրջ բացասական կողմ:

Բոլոր լյումինեսցենտային լամպերում **սնդիկի (Hg) պարունակությունը** սովորաբար կազմում է 3–5 մգ/լամպ, իսկ եթե լամպն ունի «էկոլոգիապես անվնաս» մակնշում, ապա այն կազմում է 1 մգ: Սա պարտադրում է հատուկ պահանջներ դրանց թափոնահանման և վերամշակման առումով: Այդ պահանջներով սահմանվում է, որ հին լամպերը անհրաժեշտ է պահել անվնաս՝ հետագա վերամշակման համար (ինչն անձամբ ես անում եմ, իմ ձեռնահարկը լիքն է այդ հին բարակ ու երկար լյումինեսցենտային խողովակներով, Նկար 1): Սակայն ես տեղյակ չեմ մեր երկրում որևէ վերամշակող հաստատության/բիզնեսի գոյության մասին: Շրջակա միջավայրի համար վտանգները նվազեցնելու նպատակով կառավարությունը պետք է ներդնի համապատասխան կանոնակարգեր:

Վերամշակումը տեղի է ունենում  $Hg + S \rightarrow HgS$  ռեակցիայի միջոցով («S» նշանակում է ծծումբ): Այդ նպատակով մի խմբաքանակ լյումինեսցենտային խողովակներ պատում են ծծմբի փոշով, և խողովակները կոտրում են: Ապակու կտորները դնում են պարկի մեջ, որպեսզի ռեակցիան շարունակվի: Սնդիկը միանում է ծծմբին՝ առանց որևէ լրացուցիչ գործողության:

Չնայած CO<sub>2</sub>-ի նվազ արտանետումների շնորհիվ, ընդհանուր առմամբ, ԿԼԼ-ների օգտագործումը կլիմայի փոփոխության վրա դրական ազդեցություն ունի, սակայն անհրաժեշտ է հաշվի առնել, որ ստորգետնյա ջրերի թունավորումը Hg-ով միանշանակ վնասակար է:

### ԼԴ լամպերի թափոնահանումը

2010 թվականի վերջերին «Էկոլոգիա և տեխնոլոգիա» (Environmental Science and Technology) գիտական հանդեսում հրատարակված մի ուսումնասիրության միջոցով պարզվել է, որ ԼԴ լամպերը պարունա-

LEDs contain the least lead, but still harbor large amounts of **nickel**, another heavy metal that causes allergic reactions in as many as one in five of us upon exposure.

And the **copper** found in some LEDs can pose an environmental threat if it accumulates in rivers and lakes where it can poison aquatic life (Roddy Scheer, n.d.).

However, one needs to remember that overall LED industry is part of very diverse semiconductor electronic industry, which has very regulated environmental impact.

Thus the overall effect of the wide implementation of LEDs is having a positive impact due to advantages in energy efficiency.

կում են **կապար**, **մկնդեղ** և տասնյակ այլ պոտենցիալ վտանգավոր նյութեր:

ԼԴ-երն ամենաքիչն են սնդիկ պարունակում, սակայն պարունակում են մեծ քանակությամբ **նիկել**՝ մեկ այլ ծանր մետաղ, որի ազդեցությանը ենթարկվելուց հինգից մեկի մոտ ալերգիկ ռեակցիաներ են առաջանում:

Իսկ որոշ ԼԴ-երում հանդիպող **պղինձը** կարող է սպառնալիք դառնալ շրջակա միջավայրի համար, եթե այն կուտակվի գետերում ու լճերում, որտեղ այն կարող է թունավորել ջրային միջավայրը (Roddy Scheer, n.d.):

Ինչևէ, հարկ է հիշել, որ, ընդհանուր առմամբ, ԼԴ արդյունաբերությունը կիսահաղորդչային էլեկտրոնային արդյունաբերության մի մասն է, որի ազդեցությունը շրջակա միջավայրի վրա խիստ կանոնակարգված է:

Այդպիսով՝ ԼԴ-երի լայնածավալ օգտագործումն, ընդհանուր առմամբ, դրական ազդեցություն է ունենում՝ էներգաարդյունավետության առավելությունների շնորհիվ:

Figure 1. Recycling of used CFL and luminescence lightbulbs.



Նկար 1. Օգտագործված ԿՖԼ և լյումինեսցենսային լամպերի վերամշակումը

## 2. Light pollution: definition, prevention and control

### Definition:

*Light pollution is the result of artificial lighting that may cause unwanted levels of illumination that can be a reason for problems related to health or environment, as well as for technical and scientific activities.*

Figure 2 shows the World light pollution. Figure 3 shows the light pollution in Armenia and Figure 4 in the vicinity of Yerevan. One can see that not very far from the capital the light pollution is substantially less. One can go to [www.lightpollutionmap.info](http://www.lightpollutionmap.info) for light pollution map in any area of the world.

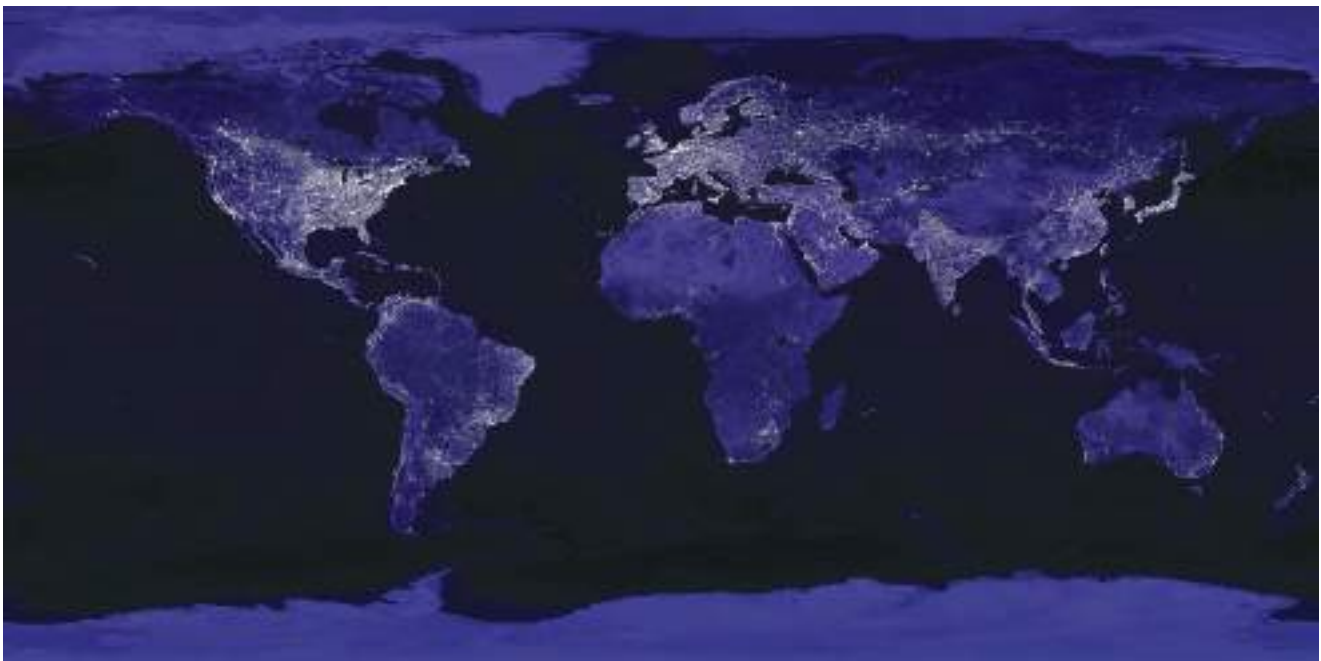
## 2. Լուսային աղտոտում. սահմանումը, կանխարգելումը և վերահսկումը

### Սահմանում.

*Լուսային աղտոտումն արհեստական լուսավորության հետևանք է, ինչը կարող է հանգեցնել լուսավորվածության անցանկալի մակարդակների, որը կարող է առաջ բերել առողջության կամ շրջակա միջավայրի հետ կապված անցանկալի հետևանքներ, ինչպես նաև խնդիրներ ստեղծել տեխնիկական և գիտական գործունեության ասպարեզում:*

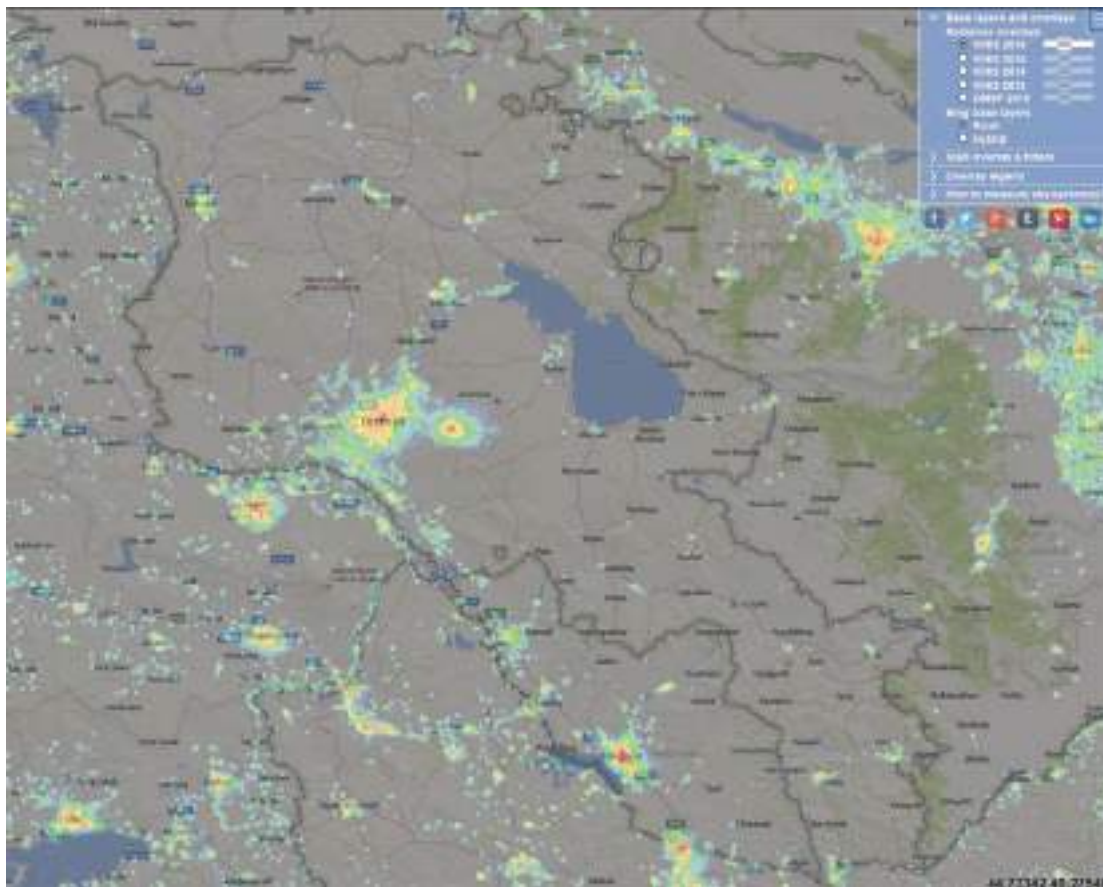
Նկար 2-ում պատկերված է համաշխարհային լուսային աղտոտումը: Նկար 3-ում պատկերված է լուսային աղտոտումը Հայաստանում, իսկ Նկար 4-ում՝ Երևանի մերձակայքում: Կարելի է տեսնել, որ մայրաքաղաքից ոչ շատ հեռու լուսային աղտոտումը զգալիորեն քիչ է: Աշխարհի ցանկացած վայրի լուսային աղտոտման քարտեզը տեսնելու համար կարող եք այցելել [www.lightpollutionmap.info](http://www.lightpollutionmap.info) կայքէջը:

**Figure 2.** Light pollution map. A composite satellite image of the Earth at night. Few naturally dark areas remain on the land surface of the Earth.



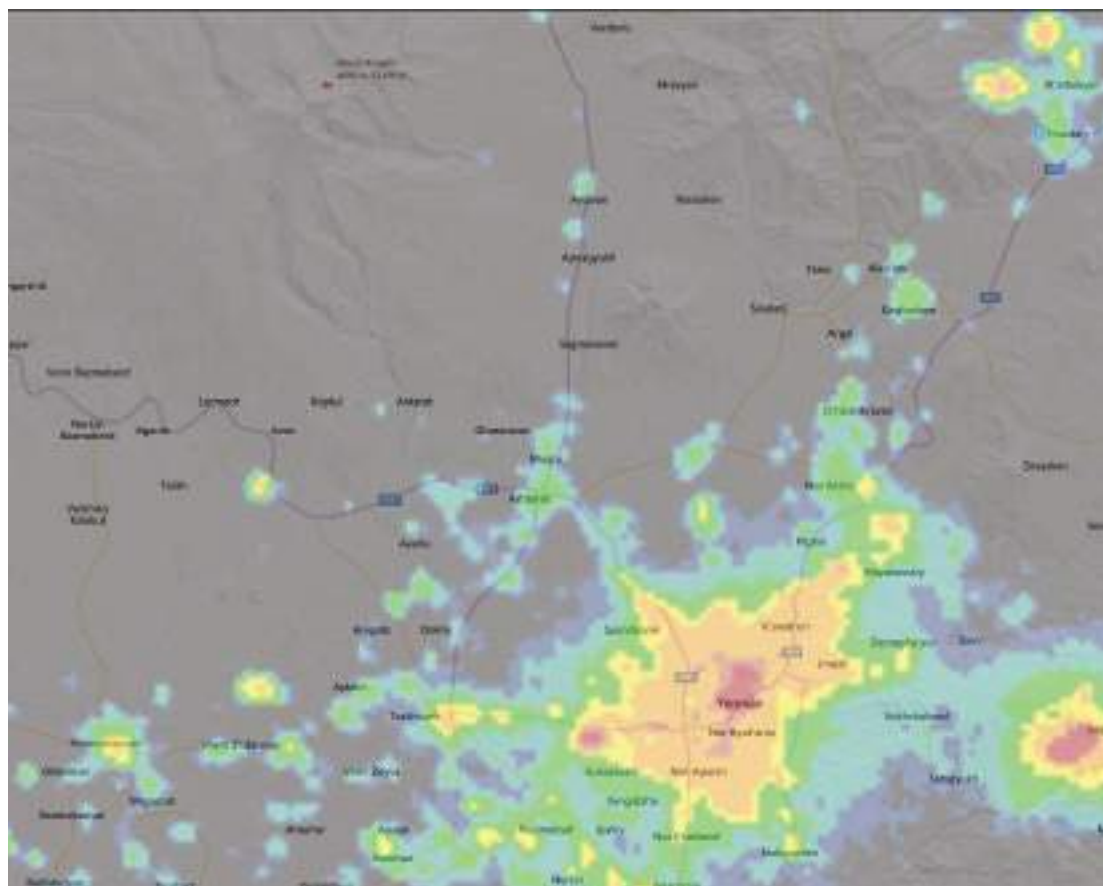
**Նկար 2.** Լուսային աղտոտման քարտեզ: Երկրի գիշերային արբանյակային կազմածո պատկեր: Երկրի ցամաքային մակերևույթի վրա բնական մութ քիչ տարածքներ են մնացել:

Figure 3. Light pollution map of Armenia



Նկար 3. Հայաստանի լուսային աղտոտման քարտեզ

Figure 4. Light pollution in the vicinity of Yerevan.



Նկար 4. Լուսային աղտոտումը Երևանի մերձակայքում

An excerpt from [www.darkskiesawareness.org/faq-what-is-lp.php](http://www.darkskiesawareness.org/faq-what-is-lp.php):

*Light pollution is excessive and inappropriate artificial light. The four components of light pollution are often combined and may overlap:*

- *Urban Sky Glow—the brightening of the night sky over inhabited areas.*
- *Light Trespass—light falling where it is not intended, wanted, or needed.*
- *Glare—excessive brightness, which causes visual discomfort. High levels of glare can decrease visibility.*
- *Clutter—bright, confusing, and excessive groupings of light sources, commonly found in over-lit urban areas. The proliferation of clutter contributes to urban sky glow, trespass, and glare.*

### Light pollution and astronomy

A classical example is related to astronomy, where light pollution substantially decreases the optical performance of telescopes (Figure 5, Figure 6) since it just obscures the night sky scene.

Քաղվածք [www.darkskiesawareness.org/faq-what-is-lp.php](http://www.darkskiesawareness.org/faq-what-is-lp.php) կայքէջից.

Լուսային աղտոտումն ավելորդ և անհարկի արհեստական լույսն է: Դրա չորս բաղադրիչները հաճախ միավորված են և կարող են համընկնել.

- Քաղաքային երկնքի լուսարձակում՝ բնակեցված տարածքների վրա գիշերային երկնքի ողողում լույսով:
- Լույսի ներխուժում՝ լույսի ընկնելն այնտեղ, որտեղ նախատեսված չէ, ցանկալի չէ կամ անհրաժեշտ չէ:
- Շլացնող փայլ՝ ավելորդ պայծառություն, որը պայծառում է տեսողական անհարմարություն: Շլացնող փայլի բարձր մակարդակները կարող են նվազեցնել տեսանելիությունը:
- Լուսային խառնիճաղանջություն՝ լույսի աղբյուրների պայծառ, շփոթեցնող և ավելորդ խմբավորումներ, որոնք սովորաբար գտնվում են գերլուսավորված քաղաքային տարածքներում: Խառնիճաղանջ լուսավորության տարածվածությունը նպաստում է քաղաքային երկնքի լուսարձակմանը, լույսի ներխուժմանը և շլացնող փայլին:

### Լուսային աղտոտումը և աստղագիտությունը

Դասական օրինակ կարելի է բերել աստղագիտության ասպարեզից, երբ լուսային աղտոտումը բացասաբար է ազդում օպտիկական աստղադիտակների աշխատանքի վրա (Նկար 5, Նկար 6), քանի որ այն աղտոացնում է գիշերային երկնքի պատկերը:

Figure 5. Light pollution from a big city – specifically intense at the left side of the picture.



Նկար 5. Լուսային աղտոտում մեծ քաղաքի կողմից. հափկապես զգալի է նկարի ձախ կողմում:

Figure 6. Another case of the Light pollution in the Mt. Palomar observatory.

Source/Աղբյուր՝ <http://palomarskies.blogspot.am/2010/10/astrophoto-friday-milky-way-light.html>



Նկար 6. Լուսային աղտոտման մեկ այլ դեպք. Պալոմար լեռան աստղադիտարանը:

### Light pollution and human health

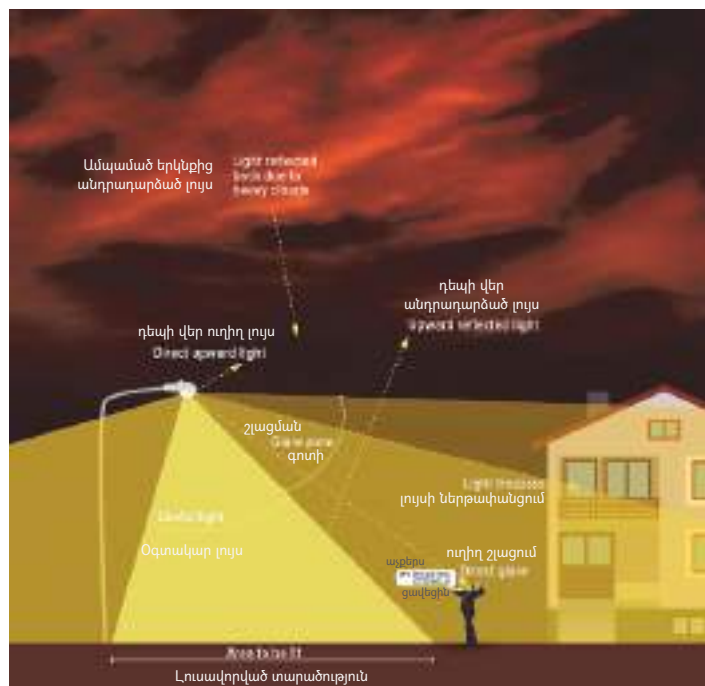
Most “visible” example is if at any particular location artificial lighting is so much excessive that it affects peoples sleep. In these cases, sleep may not be possible without extra investment in special blinds and awnings or of so called “Black out” curtains on the windows (Figure 7).

### Լուսային աղտոտումը և մարդու առողջությունը

Առավել «տեսանելի» օրինակն այն է, երբ որևէ կոնկրետ տեղանքում արհեստական լուսավորությունն այնքան շատ է, որ ազդում է մարդկանց քնի վրա: Նման դեպքերում քնելը հնարավոր չի լինի առանց լրացուցիչ ներդրումների՝ հատուկ շերտավարագույրների և ծածկերի կամ պատուհանների լիակատար մթնեցնող վարագույրների (Նկար 7):

Figure 7. The infographic below illustrates the different components of light pollution and what “good” lighting looks like. Image by Anezka Gocova, in “The Night Issue”, Alternatives Journal 39:5 (2013).

Source/Աղբյուր՝ <http://darksky.org/light-pollution/>



Նկար 7. Վերը բերված ինֆոգրաֆիկան ցույց է տալիս լուսային աղտոտման տարբեր բաղադրիչները և այն, թե ինչպիսին է «լավ» լուսավորությունը (Նկարը՝ Անեզկա Գոքովայի, «Գիշերվա խնդիրը» հոդվածում, «Ալյընտրանքներ» գիտական հանդես, 39:5 (2013 թ.), [Image by Anezka Gocova, in “The Night Issue”, Alternatives Journal 39:5 (2013)]:

There are two main aspects of negative impacts of light pollution for humans:

A - over-illumination,

B - improper spectral composition of light.

Two together or separately may cause:

- Increased headache
- Worker fatigue
- Psychological stress
- Decrease in sexual function
- increased anxiety.

When designing the street lighting, in many cases priority is given to provide daytime-like, i.e. higher correlated color temperature (CCT) lighting, e.g. via modern LED technology. The reasoning is by the fact that it improves visibility and decreases accidents, which in fact is true. However, from the point of view of the human's sensitivity to circadian rhythms of the CCT, and the requirement of having lower CCT at night and higher during daytime, one needs to be very careful in the aforementioned decision-making. The optimal compromise would be to use lower CCT, but higher color rendering index (CRI) lighting – and LED lighting easily allows this.

However, there is another approach too: for road lighting the LEDs with cool white (CW) and neutral white (NW) CCT are more preferable as their peak is shifted to the blue region of spectrum. On the other hand, we know that maximum sensitivity of human eye at nighttime (scotopic vision) shifts to blue region with peak at 505 nm. Thus, the above-mentioned CCTs improve the vision. Also it CW and NW lighting disrupts somnolence of drivers dictated by the circadian rhythms.

Due to the fact that LEDs have light spectrum closer to the daylight, their pollution potential is higher, since humans associate the “warm” spectrum, i.e. red rich illumination with the dark time of the day, while the whiter, daytime light is associated with the naturally lighted hours, causing malfunction of the human “internal clock”.

From: [en.wikipedia.org/wiki/Light\\_pollution#Effects\\_on\\_animal\\_and\\_human\\_health\\_and\\_psychology](https://en.wikipedia.org/wiki/Light_pollution#Effects_on_animal_and_human_health_and_psychology)

*A discussion (2009), written by Professor Steven Lockley, Harvard Medical School, can be found in the CfDS handbook “Blinded by the*

Մարդկանց առողջության համար լուսային աղտոտման բացասական ազդեցություններն ունեն երկու հիմնական կողմ.

ա. գերլուսավորվածություն,

բ. լույսի ոչ պատշաճ սպեկտրալ կազմ:

Երկուսը միասին կամ առանձին կարող են հանգեցնել՝

- գլխացավերի ուժեղացման,
- աշխատանքային հոգնածության,
- հոգեբանական լարվածության,
- սեռական ֆունկցիայի անկման,
- անհանգստության աճ:

Փողոցային լուսավորություն նախագծելիս շատ դեպքերում նախապատվություն է տրվում ցերեկային լուսավորությանը մոտ, այսինքն՝ բարձր կորելացված գունային ջերմաստիճանով (ԿԳՋ) լուսավորությանը, օրինակ՝ ժամանակակից ԼԴ տեխնոլոգիաների միջոցով: Սա հիմնավորում են այն փաստով, որ այն բարելավում է տեսանելիությունը և նվազեցնում է վթարների թիվը, ինչն իրականում ճիշտ է: Այնուամենայնիվ, ԿԳՋ-ի ցիրկադյան ռիթմերի նկատմամբ մարդու զգայնության և գիշերը ավելի ցածր ԿԳՋ, իսկ ցերեկը ավելի բարձր ԿԳՋ ունենալու պահանջի տեսանկյունից շատ ուշադիր պետք է լինել վերոհիշյալ որոշումը կայացնելիս: Օպտիմալ փոխզիջումը կլինի ցածր ԿԳՋ-ով և բարձր գունափոխանցման ցուցիչով (ԳՓՑ) լուսավորության օգտագործումը, որը հեշտությամբ ապահովում է ԼԴ լուսավորությունը:

Սակայն կա ևս մեկ մոտեցում. ճանապարհների լուսավորության համար ավելի նախընտրելի են սառը սպիտակ (ՍՍ) և չեզոք սպիտակ (ՉՍ) ԿԳՋ-ով ԼԴ լամպերը, քանի որ դրանց սպեկտրալ կորի մաքսիմալ արժեքը շեղված է դեպի կապույտ տիրույթ: Մյուս կողմից, մենք գիտենք, որ գիշերը մարդու աչքի զգայնության (գիշերային տեսողություն) մաքսիմումը շեղվում է դեպի սպեկտրի կապույտ տիրույթը՝ 505 նմ ալիքի երկարությամբ: Այդպիսով, վերոհիշյալ ԿԳՋ-ները բարելավում են տեսողությունը: ՍՍ և ՉՍ լուսավորությունը նաև կանխում է վարորդների՝ ցիրկադյան ռիթմերով պայմանավորված քնկոտությունը:

Ելնելով այն փաստից, որ ԼԴ-երի լույսի սպեկտրն ավելի մոտ է ցերեկային լույսին, դրա աղտոտող ներուժն ավելի մեծ է, քանի որ մարդիկ «տաք» սպեկտրը, այսինքն, կարմիր գույնով հարուստ լուսավորվածությունը, պայմանավորում են օրվա մութ ժամերի հետ, իսկ ավելի սպիտակ գույները՝ ցերեկային լույսը, պայմանավորում են բնականորեն լուսավոր ժամերի հետ, և ինչը հանգեցնում է մարդու «ներքին ժամացույցի» գործունեության խախտման:

Մեջբերում [en.wikipedia.org/wiki/Light\\_pollution#Effects\\_on\\_animal\\_and\\_human\\_health\\_and\\_psychology](https://en.wikipedia.org/wiki/Light_pollution#Effects_on_animal_and_human_health_and_psychology) կայքէջից:

*Հարվարդի բժշկական համալսարանի պրոֆեսոր Սթիվեն Լոքլիի ակնարկին կարելի է ծանոթանալ «Կուրանալ լույսից» CfDS ձեռնարկում (2009թ.): Գլուխ 4-ում՝ «Լուսային աղտոտման հետևանքները մարդկանց առողջության վրա», խոսվում է այն մասին, որ «...հավանական է, որ լույսի ներխուժումը, նույնիսկ աղու, կարող է զգալի ներգործություն ունենալ քնի խանգարման վրա»:*

*Light?” Chapter 4, “Human health implications of light pollution” states that “... light intrusion, even if dim, is likely to have measurable effects on sleep disruption and melatonin suppression. Even if these effects are relatively small from night to night, continuous chronic circadian, sleep and hormonal disruption may have longer-term health risks”. The New York Academy of Sciences hosted a meeting in 2009 on Circadian Disruption and Cancer. Red light suppresses melatonin the least.*

### Blue hazard

According to a recent research LEDs have harmful dose of blue radiation from a nearly point source. The harm may be irreversible death of photoreceptors in human retina. However, this is in an active phase of investigation to confirm and validate the results.

### Ultraviolet (UV) radiation

UV radiation – both fluorescent lightbulbs as well as LEDs have some UV radiation, albeit the convention is that the harm from LED is much less as compared to fluorescent bulbs.

UV radiation of CFL lamps is mostly not an issue if the bulbs are 1.5 m away from people. However, for those with sensitive skin, they may be a reason for enhanced irritation and cancer risk, especially in the UVA (so called “black light”, 315–400 nm) and UVC (100–280 nm) ranges. The UV exposure exceeds the current workplace limit set to protect from skin and retinal damage, if the light source is consistently in close vicinity of around 20 cm.

### Light pollution and ecology

The introduction of artificial light at night is one of the most drastic anthropogenic changes to the Earth, comparable to toxic pollution, land use change, and climate change due to increases in the concentration of green house gases. [https://en.wikipedia.org/wiki/Ecological\\_light\\_pollution](https://en.wikipedia.org/wiki/Ecological_light_pollution)

### Increase of smog

It is known that nitrate radicals reduce the atmospheric smog produced by fumes emitted from cars and factories. The bad news is that the light pollution destroys these radicals, thus increasing overall the particles related to atmospheric smog.

րումների և մելաթոնինը ճնշելու վրա: Նույնիսկ եթե այդ ներգործությունը հարաբերականորեն փոքր է, ցիրկադային ռիթմի, քնի և հորմոնալ շարունակական քրոնիկ խանգարումները կարող են երկարատև առողջական ռիսկեր պարունակել»: 2009 թվականին Նյու Յորքի Գիտությունների ակադեմիայում տեղի է ունեցել «Ցիրկադային ռիթմի խանգարումը և քաղցկեղը» թեմայով հանդիպում: Կարմիր գույնն ամենաքիչն է ճնշում մելաթոնին հորմոնի արտադրությունը:

### Կապույտ վտանգ

Համաձայն վերջերս կատարված հետազոտության՝ ԼԴ-երը, որպես համարյա կետային աղբյուր կրում են կապույտ ճառագայթման փնասակար չափաբաժին: Վնասը կարող է լինել մարդու ցանցաթաղանթի լուսընկալիչ բջիջների անդառնալի մահը: Այնուամենայնիվ, սա դեռևս ուսումնասիրության ակտիվ փուլում է, և արդյունքները դեռևս կարիք ունեն հաստատման և վավերացման:

### Ուլտրամանուշակագույն (ՈՒՄ) ճառագայթում

ՈՒՄ ճառագայթում. թե՛ լյումինեսցենտային և թե՛ ԼԴ լամպերը արձակում են որոշ քանակությամբ ՈՒՄ ճառագայթում, չնայած համընդհանուր կարծիքն այն է, որ վերջինիս հասցրած փնասը շատ ավելի քիչ է, քան լյումինեսցենտային լամպերինը:

ԿԼԼ-երի ՈՒՄ ճառագայթումը մեծ մասամբ խնդիր չէ, եթե լամպերը գտնվում են մարդուց 1.5 մ հեռավորության վրա: Սակայն զգայուն մաշկ ունեցողների համար դա կարող է լինել մաշկի գրգռվածության և քաղցկեղի ռիսկի մեծացման պատճառ, հատկապես եթե այն գտնվում է ՈՒՄ A (այսպես կոչված «սև լույս», 315–400 նմ ալիքի երկարություններ) և ՈՒՄ C (100–280 նմ) ճառագայթների միջակայքերում: ՈՒՄ-ի ազդեցությունը գերազանցում է մաշկը և ցանցաթաղանթը փնասվածքից պաշտպանելու սահմանը, եթե աշխատավայրերում լույսի աղբյուրը մշտապես անմիջականորեն գտնվում է շուրջ 20 սմ հեռավորության վրա:

### Լուսային աղտոտումը և էկոլոգիան

Գիշերը արհեստական լուսավորության իրականացումը Երկիր մոլորակի վրա մարդածին փոփոխություններից ամենասաստիկ ներգործություն ունեցողներից մեկն է, որը համեմատելի է թունային աղտոտման, հողօգտագործման փոփոխության և ջերմոցային գազերի արտանետումների աճի հետևանքով առաջացող կլիմայի փոփոխության հետ:

### Սմոգի ավելացումը

Հայտնի է, որ ազոտի նիտրատ ռադիկալները նվազեցնում են մթնոլորտային սմոգը, որն առաջանում է ավտոմեքենաներից և գործարաններից արտանետվող ծխից: Վատն այն է, որ լուսային աղտոտումը ոչնչացնում է այս ռադիկալները՝ այդպիսով ընդհանուր առմամբ ավելացնելով մթնոլորտային սմոգի հետ կապված մասնիկների թիվը:

### Issues with natural sky polarization for animal navigation

From same place:

*In the night, the polarization of the moonlit sky is very strongly reduced in the presence of urban light pollution, because scattered urban light is not strongly polarized. Polarized moonlight can't be seen by humans, but is believed to be used by many animals for navigation.*

Thus, while the moonlight is polarized and serves as a beacon for many animals, the light pollution is not polarized and overlays on the moonlight obscuring the animal orientation (Figure 8). This is in addition to the reflection of polarized artificial lighting from asphalt, windows, and many other surfaces.

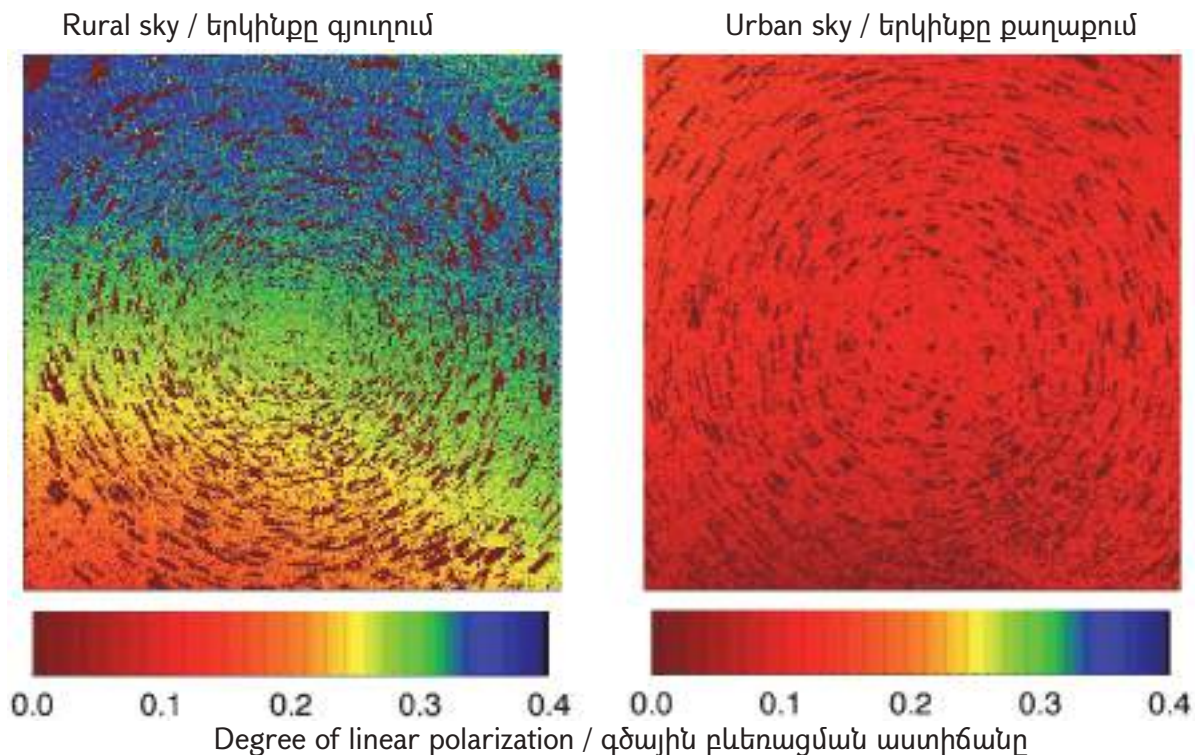
### Կենդանիների տեղաշարժի համար բնական լույսի բևեռացման հետ կապված խնդիրներ

Նույն տեղից.

*Գիշերով, լուսնով լուսավորված երկնքից եկող լույսի բևեռացումը զգալիորեն պակասում է քաղաքային, չբևեռացված լույսով աղտոտվածության շնորհիվ: Լուսնի բևեռացված լույսը մարդկանց համար տեսանելի չէ, սակայն համարվում է, որ շատ կենդանիներ տեղաշարժվելու համար օգտվում են դրանից:*

Այսպիսով, մինչ լուսնի լույսը բևեռացված է և շատ կենդանիների համար ծառայում է որպես ազդանշան, լուսային աղտոտումը բևեռացված չէ և խառնվելով լուսնի լույսին՝ աղտոտացնում է այն, կենդանիների կողմնորոշման համար (Նկար 8): Սրան ավելանում է ասֆալտից, լուսամուտներից և շատ այլ մակերևույթներից բևեռացված արհեստական լուսավորության անդրադարձման գործոնը:

**Figure 8.** Light pollution is mostly unpolarized, and its addition to moonlight results in a decreased polarization signal.



**Նկար 8.** Լուսային աղտոտումը հիմնականում բևեռացում չունի, և Լուսնի լույսին գումարվելով՝ թուլացնում է բևեռացված ազդանշանը:

### Insects

Light pollution can be both beneficial and damaging for insects, especially the flying insects. Attracted by light insects can be trapped in luminaria (Figure 9). Figure 10 shows the insects attracted by artificial light and trapped by the spider webs - an example of a change in ecological balance of areas near lighted roadways.

### Միջատներ

Լուսային աղտոտումը կարող է և՛ օգտակար, և՛ վնասակար լինել միջատների, հատկապես թռչող միջատների համար: Հրապուրվելով լույսով՝ միջատները լուսատուի մեջ կարող են ծուղակն ընկնել (Նկար 9): Նկար 10-ում պատկերված են արհեստական լույսով հրապուրված և սարդոստայնում բռնված միջատներ. սա լուսավորված ճանապարհներին մոտ գտնվող տարածքներում էկոլոգիական հավասարակշռության փոփոխության օրինակ է:

**Figure 9.** Insects killed by attraction to a buried light box.

Source/Աղբյուրը՝ [https://en.wikipedia.org/wiki/Ecological\\_light\\_pollution](https://en.wikipedia.org/wiki/Ecological_light_pollution)



**Նկար 9.** Գեղնին տեղափոխված լուսամուտի լույսով հրապուրված և մահացած միջատներ:

**Figure 10.** Insects trapped by spider webs in or near luminaria.



**Նկար 10.** Լուսամփոփների ներսի կամ մոտակայքի սարֆուսայնում բռնված միջատներ:

One of the commonly noticed phenomena are related to dragonflies on the roads. These insects perceive the polarized light from artificial roadway lighting systems reflected from the asphalt roads as a sign of water surface, which they are looking for drinking or where they mate and lay eggs. Eventually their destiny is the death from hyperthermia and dehydration.

Ամենանկատելի երևույթներից մեկը կապված է ճանապարհների վրա գտնվող ճալուռների հետ: Այս միջատները ճանապարհների ասֆալտապատ ծածկերից բևեռացումով անդրադարձած արհեստական լույսն ընկալում են որպես ջրային մակերևույթ, ինչը նրանք փնտրում են խմելու կամ զուգավորվելու և ծվադրելու համար: Ի վերջո, նրանց վիճակված է սատկել հիպերթերմիայից (օրգանիզմի գերտաքացում) և ջրազրկումից:

**Birds**

Many birds are being disoriented by the city bright lights or searchlights (Figure 11).

**Թռչուններ**

Շատ թռչունների ապակողմնորոշում են քաղաքների պայծառ լույսերը կամ լուսարձակները (Նկար 11):

*Figure 11. Migratory birds disoriented by the World Trade Center memorial searchlights.*



*Նկար 11. Չվող թռչունները՝ ապակողմնորոշված համաշխարհային առևտրի կենտրոնի հուշահամալիրի լուսարձակների պայծառով:*

### 3. Energy efficient lighting and climate change mitigation: CO<sub>2</sub> not released

For the environmental benefits, each saved kWh of electric power is the key for the climate change mitigation, i.e. CO<sub>2</sub> release calculation is needed. Depending on each country, each kWh saved is equivalent to certain amount of not released CO<sub>2</sub>. For Armenia the equivalent is 250 grams of CO<sub>2</sub> per kWh of electric power generated (2016).

#### Taking into account externalities

##### Definition:

In economics, an externality is the cost or benefit that affects a party who did not choose to incur that cost or benefit.

Economists often urge governments to adopt policies that “internalize” an externality, so that costs and benefits will affect mainly parties who choose to incur them.

When externalities are also taken into account, the energy efficiency measures are always having larger positive effect, since now the issues like environmental impact, health, aesthetics and many other are also being improved.

The internalization of externalities in general is a complex and work in progress direction. However, there are methods that are helping to assess the outcome of internalization.

### 3. Էներգաարդյունավետ լուսավորություն և կլիմայի փոփոխության ազդեցության մեղմում. չարտանետված CO<sub>2</sub>

Բնապահպանական օգուտների տեսանկյունից էլեկտրաէներգիայի յուրաքանչյուր խնայված կՎտժը կլիմայի փոփոխության հետևանքների մեղմման բանալին է, այսինքն՝ անհրաժեշտ է կատարել CO<sub>2</sub>-ի արտանետման հաշվարկ: Ըստ տարբեր երկրների՝ խնայված յուրաքանչյուր կՎտժ-ն համարժեք է CO<sub>2</sub>-ի չարտանետված որոշակի չափաքանակի: Հայաստանի պարագայում սա համարժեք է 250 գրամ CO<sub>2</sub>-ի՝ արտադրված յուրաքանչյուր կՎտժ էլեկտրաէներգիայի արտադրության դիմաց (2016թ.):

#### Արտաքին գործոնների դիտարկում Սահմանում.

Տնտեսագիտության մեջ արտաքին գործոնն այն ծախսը կամ օգուտն է, որն ազդեցություն է ունենում այն կողմի վրա, որը չէր նախատեսել նման ծախս կատարելը կամ օգուտ ստանալը:

Տնտեսագետները հաճախ հորդորում են կառավարություններին վարել այնպիսի քաղաքականություններ, որոնք «ներքնացնում» են, այսինքն՝ հաշվի են առնում արտաքին գործոնը, որպեսզի ծախսերն ու օգուտներն ազդեցություն ունենան հիմնականում այն կողմերի վրա, որոնք պատասխանատու են դրանց համար:

Երբ արտաքին գործոնները նույնպես նկատի են առնվում, էներգաարդյունավետության միջոցառումները միշտ ավելի մեծ դրական ազդեցություն են ունենում, քանի որ այդ դեպքում այնպիսի խնդիրներ, ինչպես օրինակ՝ շրջակա միջավայրի վրա ունեցած ազդեցությունը, առողջությունը, գեղագիտական միջավայրը և շատ այլ ոլորտներ նույնպես բարելավվում են:

Ընդհանրապես արտաքին գործոնների հաշվի առնելը բարդ և դեռ զարգացող գործընթաց է: Այնուամենայնիվ, կան մեթոդներ, որոնք օգնում են գնահատել այդ վերջնարդյունքները:

## REFERENCES / ՀՂՈՒՄՆԵՐ

1. <https://www.epa.gov/cfl/recycling-and-disposal-cfls-and-other-bulbs-contain-mercury>
2. <https://www.azocleantech.com/article.aspx?ArticleID=249>
3. <https://darksitefinder.com/>
4. <http://www.darksitesawareness.org/>
5. <http://www.darksites.org/light-pollution/>
6. [https://en.wikipedia.org/wiki/Ecological\\_light\\_pollution](https://en.wikipedia.org/wiki/Ecological_light_pollution)
7. <https://www.newscientist.com/article/dn16380-wildlife-confused-by-polarised-light-pollution/>

