

# 1. ŠVIESA

Didžiąją dalį žinių apie aplinką mes gauname regos organais, kurie veiksmingi tik esant šviesai. Rytuose virš horizonto pakilusi Saulė skleidžia šviesą, kuri išryškina daiktų formą ir spalvą. Šviesą skleidžia žvaigždės, lempos ir kitokie dirbtiniai šviesos šaltiniai. Tokie kūnai vadinami šviečiančiais. Kiti daiktai – medžiai, žolė, šios knygos puslapiai ir t. t. – patys nešviečia, tačiau yra matomi dėl to, kad jie atspindi į žiūrinčiojo akis juos apšviečiančio kūno skleidžiamą šviesą. Analizuodama atspindėtą šviesą akis gauna labai daug informacijos apie aplinką, ir taip žmogus pažįsta pasaulį. Dažnai vyksta gerokai sudėtingesni šviesos sąveikos su medžiaga reiškiniai, kurie gali daug pasakyti ne tik apie šviesos savybes, bet ir apie medžiagą, į kurią krinta šviesa, atskleisti jos vidines savybes, suteikti informacijos apie jos sandarą. Būtent šios šviesos savybės ir naudojamos biologinių objektų tyrimams ir medicinos diagnostikai. Prieš aptardami biomedicinoje taikomus optinius diagnostikos metodus trumpai susipažinsime su šviesos savybėmis ir šviesos sąveikos su biologiniais objektais dėsningumais.

## 1.1 Šviesos prigimtis

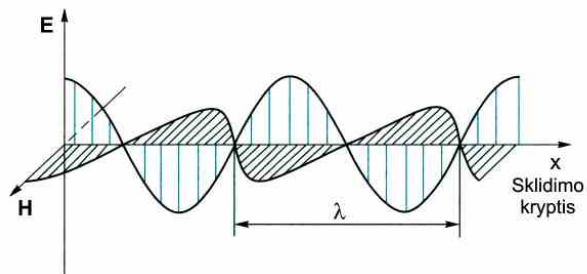
Antikinės Graikijos mąstytojai Aristotelis, Platonas ir Euklidas pirmieji suformulavo pagrindinius šviesos sklidimo ir atspindžio dėsnius. 1590 metais Z. Jansenas sukonstravo pirmąjį dviejų lęšių mikroskopą, o G. Galilėjus 1609 metais išrado teleskopą. Šviesos sklidimo skaidria aplinka ir atspindžio nuo įvairių paviršių bei lūžio pereinant dviejų medžiagų ribą dėsnius suformulavo V. Snelijus (1620 metais) ir R. Dekartas (1637 metais). Ferma principo suformulavimas (1660 metais) tarsi pabaigė fundamentinę geometrinės optikos aprašymą.

Tolesnis optinių reiškinių tyrimas buvo susijęs su šviesos spindulių difrakcijos ir interferencijos atradimais, kuriuos 1665 metais aprašė F.M. Grimaldis, dvigubo šviesos lūžio reiškiniu, kurį 1669 metais pastebėjo E. Bartolinis, ir su I. Niutono, R. Huko bei Č. Hiugenso darbais. Niutonas išplėtojo korpuskulinės šviesos prigimties teorijos sampratą teigdamas, kad šviesos spinduliai yra dalelės, o Č. Hiugensas padėjo pagrindus banginės šviesos prigimties sampratai, tačiau nesukūrė nuoseklios teorijos, kuri būtų galėjusi

konkuruoti su I. Niutono korpuskuline teorija. Tik vėlesni T. Jungo ir A.J. Frenelio darbai argumentuotai pagrindė banginę šviesos prigimtį ir tapo lygiaverčiai korpuskulinės šviesos prigimties teorijai. Visi tuo metu žinomi optiniai reiškiniai buvo aiškinami pagal banginę šviesos teoriją. Šviesa buvo suprantama kaip skersinė banga, sklindanti tampria aplinka – eteriu. Eterio idėja padėjo paaiškinti daugelį optinių reiškinų, tačiau sukėlė ir naujų problemų, kurias išsprendė J.C. Maksvelo elektromagnetinio lauko teorija.

Remdamasis Faradėjaus atradimais, J.C. Maksvelas padarė išvadą, kad šviesa – tai ne skersinės bangos, sklindančios tamprioje aplinkoje, o elektromagnetinės bangos. Tačiau elektrodinaminė teorija, pagrindusi šviesos kaip elektromagnetinės bangos sampratą, vis dėlto nesugebėjo paaiškinti šviesos sugerties ir emisijos dėsnų. Tik dvidešimtojo amžiaus pradžioje M. Plankas, nagrinėdamas absoliučiai juodo kūno spinduliavimą, priėjo išvadą, kad šviesa sugeriama ir išspinduliuojama kvantais – tam tikromis porcijomis, kurios proporcingos šviesos dažniui. A. Einšteinas šviesos kvantams suteikė impulsą ir masę, šviesai gražindamas korpuskulinės prigimties įvaizdį. Šie atradimai padėjo suprasti anksčiau nepaaiškinamus šviesos reiškinus, ir dvidešimtajame amžiuje korpuskulinė ir banginė šviesos prigimtis buvo sujungta į vientisą teoriją, pagrįstą kvantine mechanika ir kvantine elektrodinamika. Tad šiandien šviesa aprašoma kvantinės dalelės – fotono, pasižyminčio banginėmis savybėmis, samprata.

Taigi šviesa yra elektromagnetinė spinduliuotė, kurią jaučia žmogaus akis ir kuria pagrįstas mūsų vaizdinis visatos suvokimas. Daugelis šviesos savybių, pasireiškiančių jai veikiant materialius kūnus, tokių kaip sugertis, atspindys, lūžis, sklaida, interferencija ar difrakcija, aprašomi bangų parametrais – jie rodo banginę spinduliuotės kilmę. Elektromagnetinė banga suprantama kaip du erdvėje sklindantys kintamieji laukai – elektrinis ir magnetinis, kurie



1.1 pav. Elektromagnetinės spinduliuotės elektrinio ir magnetinio lauko dedamosios: H – magnetinė; E – elektrinė

statmeni vienas kitam (1.1 pav.). Visų ilgių elektromagnetinės bangos vakuume sklinda vienodu greičiu ( $c = 2,997925 \cdot 10^8$  m/s). Spinduliuotės sklidimo greitis kitose terpėse ( $v$ ) yra skirtingas ir priklauso nuo terpės lūžio rodiklio  $n$ , kuris lygus sklidimo greičių vakuume ir tam tikroje terpėje santykiui:

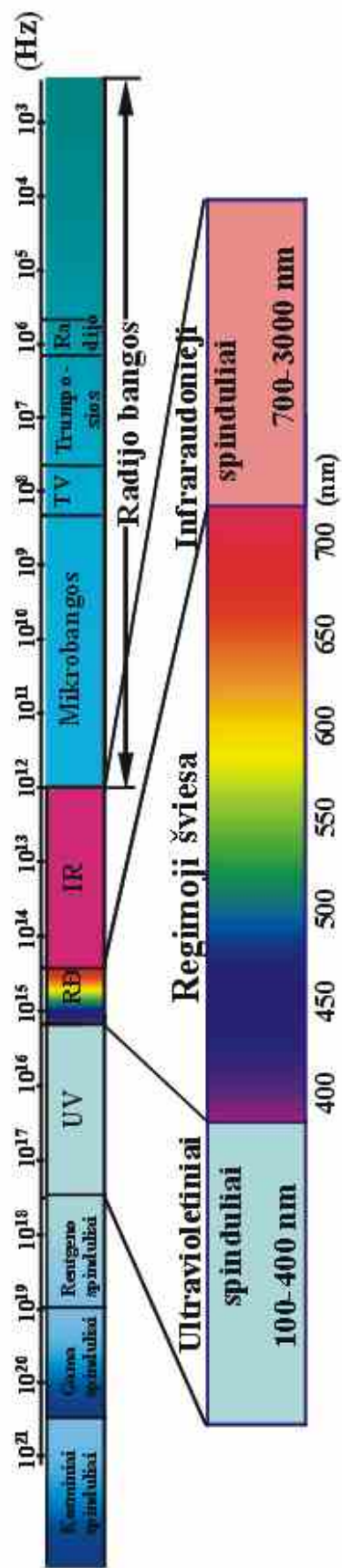
$$\begin{aligned} \text{šviesos greitis vakuume}/\text{šviesos greitis terpėje} &= c/v = n \\ \text{arba } v &= c/n. \end{aligned} \tag{1.1}$$

Taigi lūžio rodiklis nusako terpės pasipriešinimą šviesos sklidimui. Kuo didesnis lūžio rodiklis, tuo lėčiau sklinda šviesa.

## 1.2 Elektromagnetinių bangų spektras

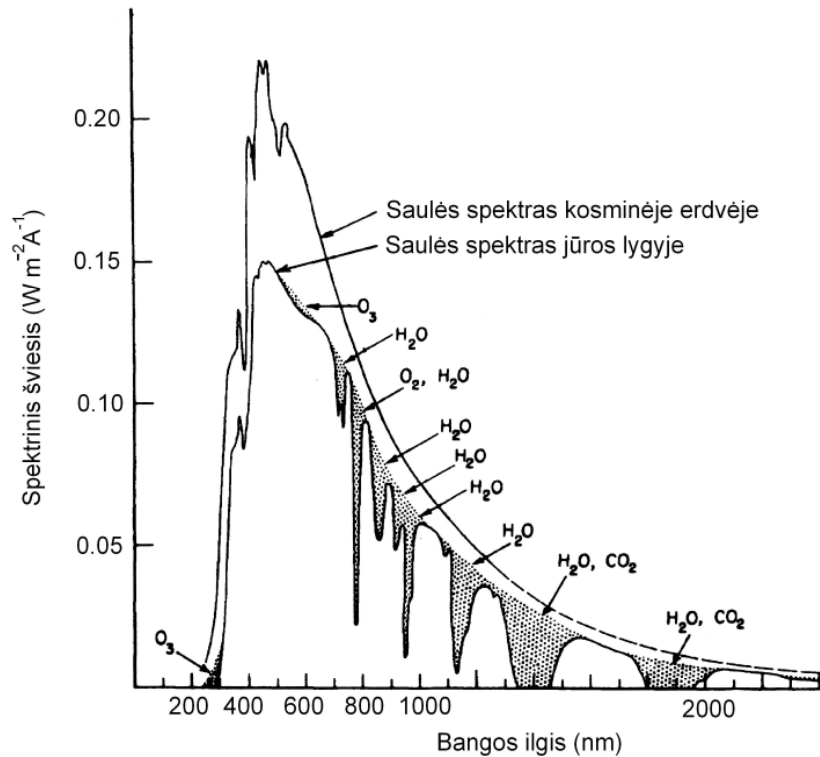
Elektromagnetinės spinduliuotės visų bangos ilgių (dažnių) visuma vadinama elektromagnetinių bangų spektru. Jis apima sritį nuo radijo bangų ( $\lambda = 10^{-3}$ – $10^4$  m) iki  $\gamma$  spindulių ( $\lambda < 4 \cdot 10^{-10}$  m) (1.2 pav.) Spektras skirstomas į atskirus ruožus pagal bangų ilgį. Ruožas nuo tolimosios infraraudonosios srities iki tolimosios ultravioletinės srities vadinamas optinių bangų diapazonu. Terminas “šviesa” dažniausiai vartojamas turint galvoje regimosios šviesos sritį, kuri apima bangų ilgius nuo 400 iki 780 nm. Taigi regimoji šviesa sudaro tik nedidelę elektromagnetinės spinduliuotės dalį. Artimojo ultravioleto (UV) ruožui priskiriama bangų ilgių sritis nuo 300 iki 400 nm, o artimajai infraraudonajai sričiai – nuo 760 iki 1400 nm ( $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m} = 10^{-3} \mu\text{m}$ ).

Saulės energija yra Žemės gyvybės šaltinis. Saulės spinduliuotės spektras apima platų bangų diapazoną nuo 220 nm iki 11000 nm (1.3 pav.). Žemės paviršių pasiekia tik ilgesni nei 290 nm spinduliai, nes trumpesnius (UV-C srities) spindulius – pražūtingus gyviems organizmams – sugeria stratosferoje esančios ozono ( $\text{O}_3$ ) molekulės. Anglies dioksidas ir vandens garai sugeria įvairių bangos ilgių Saulės šviesą plačiame ruože nuo 700 nm iki 2000 nm (1.2 pav.).



1.2 pav. Elektromagnetinių bangų spektras

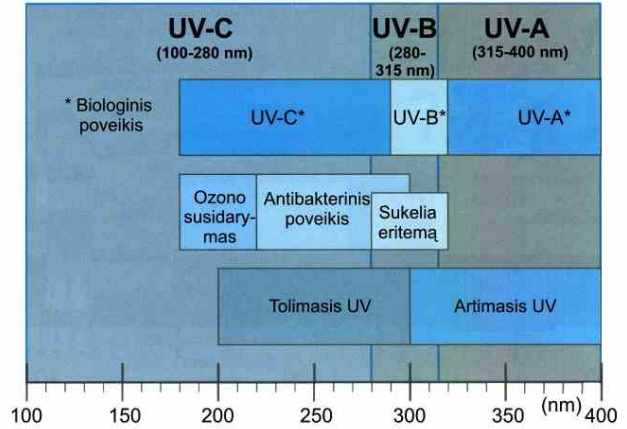
Saulės šviesa dalyvauja daugelyje biosferos vyksmų. Augalų chlorofilas sugeria šviesą – taip augalai gauna energijos fotosintezei. Žmogaus kūne vyksta įvairios šviesos sukeltos cheminės ir biologinės reakcijos. Pati svarbiausia jų – regėjimas, pagrįstas akyse esančių fotoreceptorių gebėjimu sugerti šviesą. Odos įdegis – organizmo apsauga nuo pavojingų trumpųjų Saulės spektro spindulių.



1.3 pav. Saulės spektras kosminėje erdvėje ir jūros lygyje. Užtęsuoti ploteliai nurodo atmosferos komponentų sugertį

Ultravioletinis spektro ruožas, kurio spinduliai daro itin didelį poveikį biologiniams objektams, savo ruožtu skirstomas į tris sritis (1.4 pav.). UV-A srities spinduliai yra mažiausiai kenksmingi ir dėl to plačiausiai pritaikomi. Šio diapazono šviesa naudojama endogeninių fluoroforų fluorescencijai žadinti, kai kurioms fototerapinėms procedūroms ir soliariumų vonioms. UV-B srities šviesa yra labiausiai kenksminga, nes turi pakankamai energijos biologiniams audiniams ardyti, o atmosfera ją ne visą sugeria. UV-B diapazono spinduliuotė gali sukelti odos vėžį. Manoma, kad pastaraisiais metais padidėjęs sergamumas odos vėžiu susijęs su atmosferos ozono

sluoksniu plonėjimu. Trumpiausių bangų UV-C srities spindulius beveik visiškai sugeria stratosferos deguonis. UV-C srities fotonai, susidūrę su deguonies atomais, atiduoda jiems savo energiją sudarydami ozono molekules. Kadangi šie spinduliai yra labai greitai sugeriami atmosferos, Žemės paviršiuje jie neaptinkami. Jų energijos pakanka bakterijoms naikinti, tad UV-C diapazono spinduliuotė naudojama oro ir vandens sterilizavimui švitinant specialiomis antibakterinėmis lempomis.



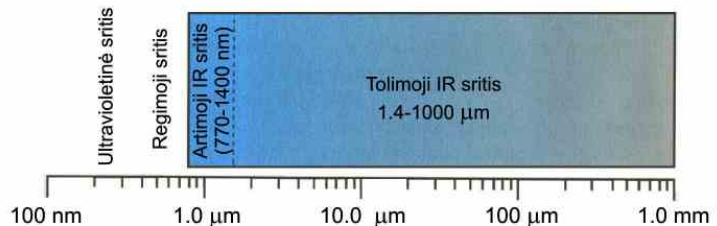
1.4 pav. Ultravioletinis spektro ruožas

1.1 lentelė. Spalvas atitinkantys bangų ilgiai

Spalva	Bangų ilgių ruožas (nm)
Violetinė	400–455
Mėlyna	455–492
Žalia	492–577
Geltona	577–597
Oranžinė	597–622
Raudona	622–780

Regimosios šviesos srities skirtingų bangos ilgių šviesą akis supranta kaip skirtingų spalvų šviesą. Žmogaus akis gali atskirti spalvas labai individualiai, intervalais nuo 20 nm iki 160 nm. Taigi spalvos yra ne šviesos savybė, o subjektyvus fiziologinis ir psichologinis atsakas į šviesą. Regimosios šviesos spektras skirstomas į spalvas pagal bangų ilgius (1.1 lentelė). Visų spalvų mišinį mūsų regos organai fiksuoja kaip baltą spalvą.

Ilgesnės už regimąją šviesą bangos ( $\lambda > 760$  nm) priklauso infraraudonajam (IR) spektro ruožui, o šis skirstomas į artimąjį ir tolimąjį (1.5 pav.). Šios srities šviesos fotonai turi mažiau energijos nei regimosios šviesos kvantai, tad jų



1.5 pav. Infraraudonasis spektro ruožas

sukeliamas biologinis poveikis yra terminis. Natūralūs atomų ir molekulių virpesiai vyksta IR spektriniame ruože, todėl infraraudonųjų spektrų susidarymas susijęs su molekulės atomų virpesiais ir spektrų signalai priklauso įvairioms funkcinėms grupėms. Taigi IR spektrai gali padėti identifikuoti molekules, nustatyti, kokios cheminės grupės sudaro molekulę ir kaip jos tarpusavyje sujungtos.

### 1.3 Fotono energija

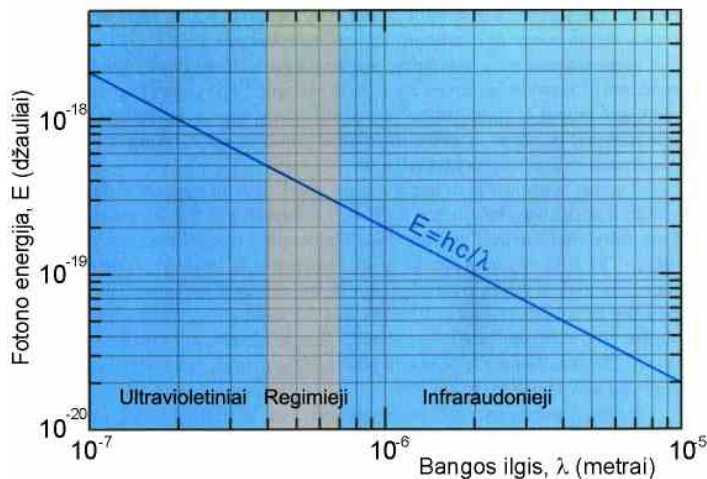
Aprašant kai kurias šviesos savybes patogiau šviesą traktuoti kaip elektromagnetines bangas, tačiau kitais atvejais labiau tinkama šviesos kaip dalelės – *fotono* – sąvoka.

Fotono energijos išraiška (1.2) sujungia abi šviesos prigimtis:

$$E = h\nu = h c/\lambda. \quad (1.2)$$

Kiekvieno fotono energija ( $E$ ), išreikšta džauliais (J), yra tiesiog proporcinga spinduliuotės dažniui ( $\nu$ ) (t. y. atvirkščiai proporcinga bangos ilgiui  $\lambda$ ). Proporcingumo konstantos:  $h$  – Planko konstanta ( $6,63 \cdot 10^{-34}$  J s) ir  $c$  – šviesos greitis vakuume ( $3 \cdot 10^8$  m/s).

Kuo trumpesnės bangos tuo daugiau energijos turi fotonas. “Mėlyni” fotonai turi daugiau energijos nei “raudoni” (1.6 pav., 1.2 lentelė). Kai elektromagnetinės



spinduliuotės srautas sąveikauja su medžiaga, poveikį lemia fotono energija. Pavyzdžiui, rentgeno spinduliai gali išplėšti elektronus iš vidinių atomo orbitalių, o regimojo ruožo spinduliai gali paveikti tik daug silpniau su branduoliu sujungtus molekulių išorinių orbitalių valentinius elektronus.

1.6 pav. Fotono energijos priklausomybė nuo bangos ilgio

**1.2 lentelė**

## Elektromagnetinės spinduliuotės spektras

<b>Spektro ruožas</b>	<b>Bangų ilgių intervalas</b>	<b>Fotono energija, eV</b> <b>1eV = 1,6 x 10<sup>-19</sup> J</b>
Mikrobangos	100 – 0,1 cm	10 <sup>-6</sup> – 10 <sup>-3</sup>
IR tolimasis	1000 – 3 μm	0,001 – 0,4
IR vidurinysis	3 – 1,4 μm	0,4 – 0,9
IR artimasis	1,4 – 0,76 μm	0,9 – 1,6
Regimasis	760 – 400 nm	1,6 – 3,1
UV-A	400 – 320 nm	3,1 – 3,9
UV-B	320 – 280 nm	3,9 – 4,4
UV-C	280 – 100 nm	4,4 – 12,4
Vakuumo UV	100 – 10 nm	12,4 – 124
Rentgeno spinduliai	10 – 0,01 nm	10 <sup>2</sup> – 10 <sup>5</sup>
Gama spinduliai	0,1 – 0,0001 nm	10 <sup>5</sup> – 10 <sup>7</sup>