



**LATVIJAS  
UNIVERSITĀTE**  
ANNO 1919

**IEGULDĪJUMS TAVĀ NĀKOTNĒ**



Materiāls izstrādāts ESF Darbības programmas 2007. - 2013.gadam „Cilvēkresursi un nodarbinātība” prioritātes 1.2. „Izglītība un prasmes” pasākuma 1.2.1. „Profesionālās izglītības un vispārējo prasmju attīstība” aktivitātes 1.2.1.2. „Vispārējo zināšanu un prasmju uzlabošana” apakšaktivitātes 1.2.1.1.2. „Profesionālajā izglītībā iesaistīto pedagogu kompetences paaugstināšana” Latvijas Universitātes realizētā projekta „Profesionālajā izglītībā iesaistīto vispārizglītojošo mācību priekšmetu pedagogu kompetences paaugstināšana” (Vienošanās Nr.2009/0274/1DP/1.2.1.1.2/09/IPIA/VIAA/003, LU reģistrācijas Nr. ESS2009/88) īstenošanai.

# **Makropasaules fizika STAROJUMI**

**Jānis Harja**

**Īss atskats starojumu vēsturē**

**Rīga, 2011**



Visi e-kursa "Fizika: Vispārizglītojošā e-fizika (VeF)" materiāli ir licencēti. Autoru kolektīvs, vadītājs Andris Broks. E-kursa "Fizika: Vispārizglītojošā e-fizika (VeF)" materiālus ir licencējuši ar Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 Unported licenci.

## Īss atskats starojumu vēsturē



1879.gadā austriešu fiziķis Jozefs Stefans (Josef Stefan, 1835-1893), apkopojot eksperimentālos datus, nonāca pie secinājuma, ka ķermeņa starojums (starojuma plūsmas blīvums) ir proporcionāls ķermeņa absolūtās temperatūras ceturtajai pakāpei.



Dažus gadus vēlāk vācu fiziķis Ludvigs Bolcmans (Ludwig Boltzmann, 1844-1906) šo sakarību precizēja un pamatoja, izmantojot Maksvela teoriju un termodinamikas likumus. Šobrīd to sauc par Stefana – Bolcmaņa likumu:

$$I = \sigma \cdot T^4, \quad (1)$$

kur proporcionalitātes koeficients  $\sigma = (5,6697 \pm 0,0029) \frac{\text{W}}{\text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}}$  tiek saukts par Stefana – Bolcmaņa konstanti.



1893.gadā vācu fiziķis, Nobela prēmijas laureāts Vilhelms Vīns (Wilhelm Wien, 1864-1928, Nobela prēmija piešķirta 1911.gadā) parādīja, ka maksimālais viļņa garums, pie kura melna ķermeņa starojums sasniedz maksimumu, atkarībā no temperatūras izmainās šādi:

$$\lambda_{max}T = 2,8978 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K} \quad (2)$$

Palielinoties temperatūrai, starojuma viļņa garums samazinās. Šo likumu sauc par Vīna pārbīdes likumu. Tas labi saskan ar eksperimentālajiem novērojumiem īso viļņu diapazonā, taču atšķiras garo viļņu diapazonā.

## Ultravioletā katastrofa: Releja - Džīnsa likums

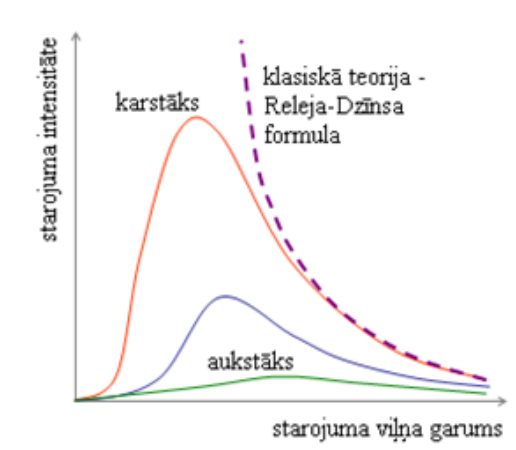


Ir bijuši daudzi mēģinājumi atrast analītisku izteiksmi melna ķermeņa starojumam. Tie tika veikti, balstoties uz klasiskās fizikas pieņēmumiem, ka absolūti melnā ķermenī svārstošies oscilatori (atomi) izstaro nepārtrauktus elektromagnētiskos viļņus. Balstoties uz šādiem priekšstatiem, angļu fiziķi - lords Relejs (Lord Rayleigh, 1842-1919) un sers Džeims Džīns (Sir James Hopwood Jeans, 1877-1946) formulēja sakarību, kas labi aprakstīja starojumu garo viļņu diapazonā, taču nesaskanēja ar eksperimentālajiem datiem īso viļņu apgabalā:

$$u_{\lambda,T} = \frac{2\pi}{\lambda^4} ckT. \quad (3)$$

Šajā formulā  $c$  ir gaismas ātrums vakuumā,  $k = 1,381 \cdot 10^{-23} \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$  – Bolcmaņa konstante,  $\lambda$  - starojuma viļņa garums,  $T$  – absolūtā temperatūra.

Ja starojuma viļņa garums samazinās, tad jāpalielinās starojuma enerģijai. Starojuma frekvencei tiecoties uz bezgalību, arī starojuma enerģija tiecas uz bezgalību. Šo parādību nosauca par „ultravioleto katastrofu”.



1. att.: Starojuma eksperimentālās līknes pie atšķirīgām temperatūrām un klasiskās teorijas secinājumi (Releja – Džinsa formula).

### Nespēja izskaidrot starojumu iezīmēja klasiskās fizikas krīzi.



Lai izietu no situācijas, vācu fiziķis Makss Planks (Max Karl Ernst Ludwig Planck, 1858-1947) piedāvāja pilnīgi negaidītu risinājumu: atteikties no klasiskās fizikas priekšstatiem un pieņemt, ka atomi absorbē un izstaro enerģiju nevis nepārtraukti, bet gan diskrētām porcijām. Tādējādi starojuma enerģiju var veidot tikai veseli daudzkārtņi no atsevišķu kvantu enerģijām. Viena tāda elementārstarotāja enerģija  $E$  ir tieši proporcionāla starojuma frekvencei  $\nu$  :

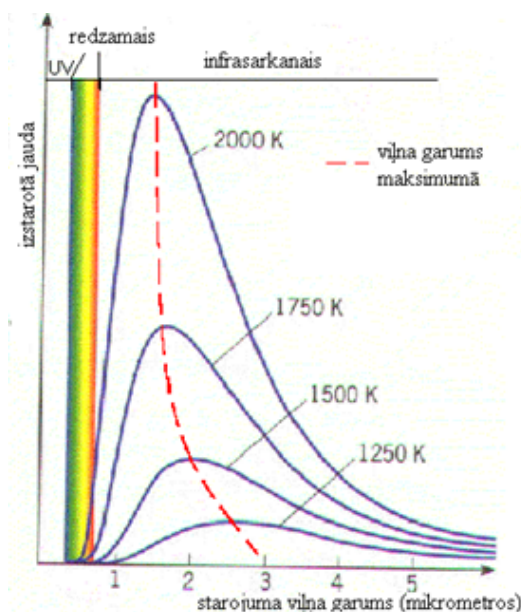
$$E = h \cdot \nu \quad (4)$$

kur  $h = 6,62607 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$  – Planka konstante.

1905.gadā Alberts Einšteins šo hipotēzi paplašināja, izsakot apgalvojumu, ka gaisma ne tikai tiek izstarota kvantu formā, bet tā saglabā kvantu īpašības arī izplatoties telpā. Gaismas kvants vēlāk tika nosaukts par fotonu. Parasti gaismas viļņu fronte satur ļoti lielu fotonu skaitu. Gaismas kvantu īpašības šai situācijā tiek paslēptas viļņu īpašībās. Šīs gaismas kvantu īpašības neparādās intensīvā gaismas vilnī, tieši tāpat kā atsevišķu atomu īpašības neparādās makroskopisku ķermeņu īpašībās.

Atsakoties no klasiskajiem priekšstatiem, Plankam izdevās iegūt sakarību, kura precīzi saskanēja ar eksperimentiem gan garo, gan īso viļņu diapazonā, gan pie dažādām temperatūrām:

$$u_{\lambda,T} = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{\exp\left(\frac{hc}{\lambda kT}\right) - 1} \quad (5)$$



2. att. Starojuma jauda atkarībā no viļņa garuma un temperatūras.

Tādējādi mēģinājumi izskaidrot starojumu 20.gadsimta sākumā noveda pie kvantu fizikas izveidošanās. Tas nebija vienkārši - nācās pieņemt, ka mikropasaulē notiekošos procesus iespējams prognozēt tikai ar noteiktu varbūtību. Tā bija pretruna ar klasisko mehāniku, kur precīzi varēja aprēķināt planētu kustību un noteikt planētu stāvokli gan daudzus gadus atpakaļ, gan prognozēt simtiem gadu uz priekšu. Hans Reichenbaha, vācu filozofs un loģiķis,

jaunajai zinātnei veltīja asus vārdus: “Notikumi Dabā vairāk līdzinās ripojošam spēļu kauliņam nekā rotējošām zvaigznēm; tos pārvalda varbūtības, bet ne cēloņsakarības, un zinātnieks vairāk līdzinās spēlmanim nekā pravietim”. Taču gāja gadi, cilvēki pamazām pierada pie domas par neviennozīmību. Šobrīd kvantu fizika sadzīvo ar klasisko fiziku – zinātnieki lieto gan klasiskās, gan kvantu fizikas likumus.