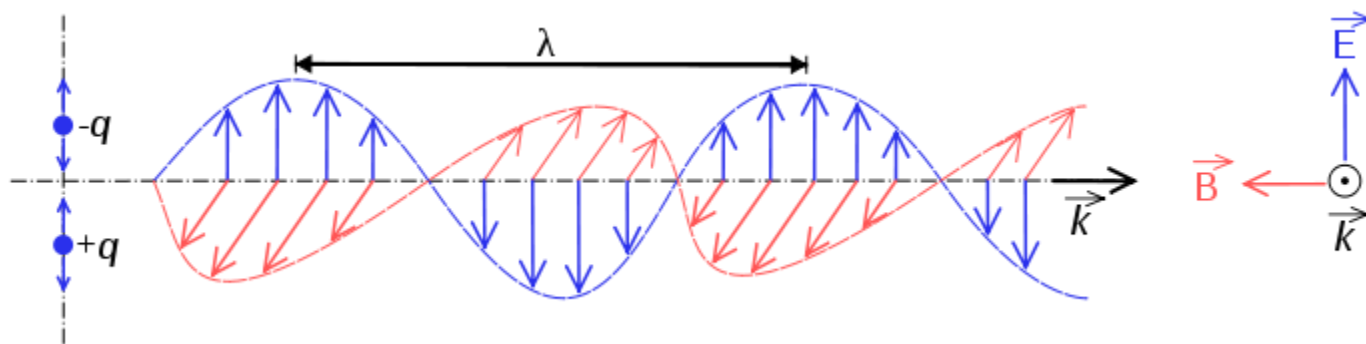
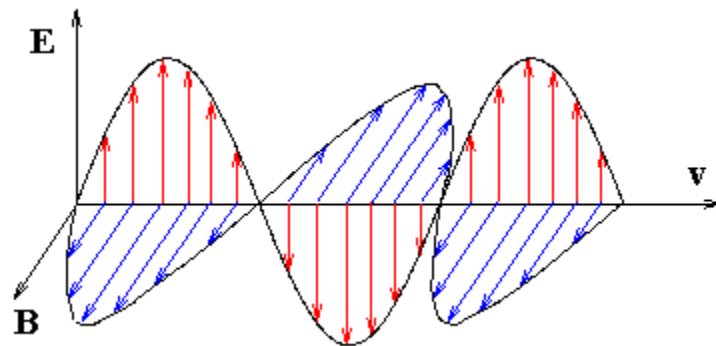


# Optiskā starojuma veidi, to noteikšana un aprēķināšana

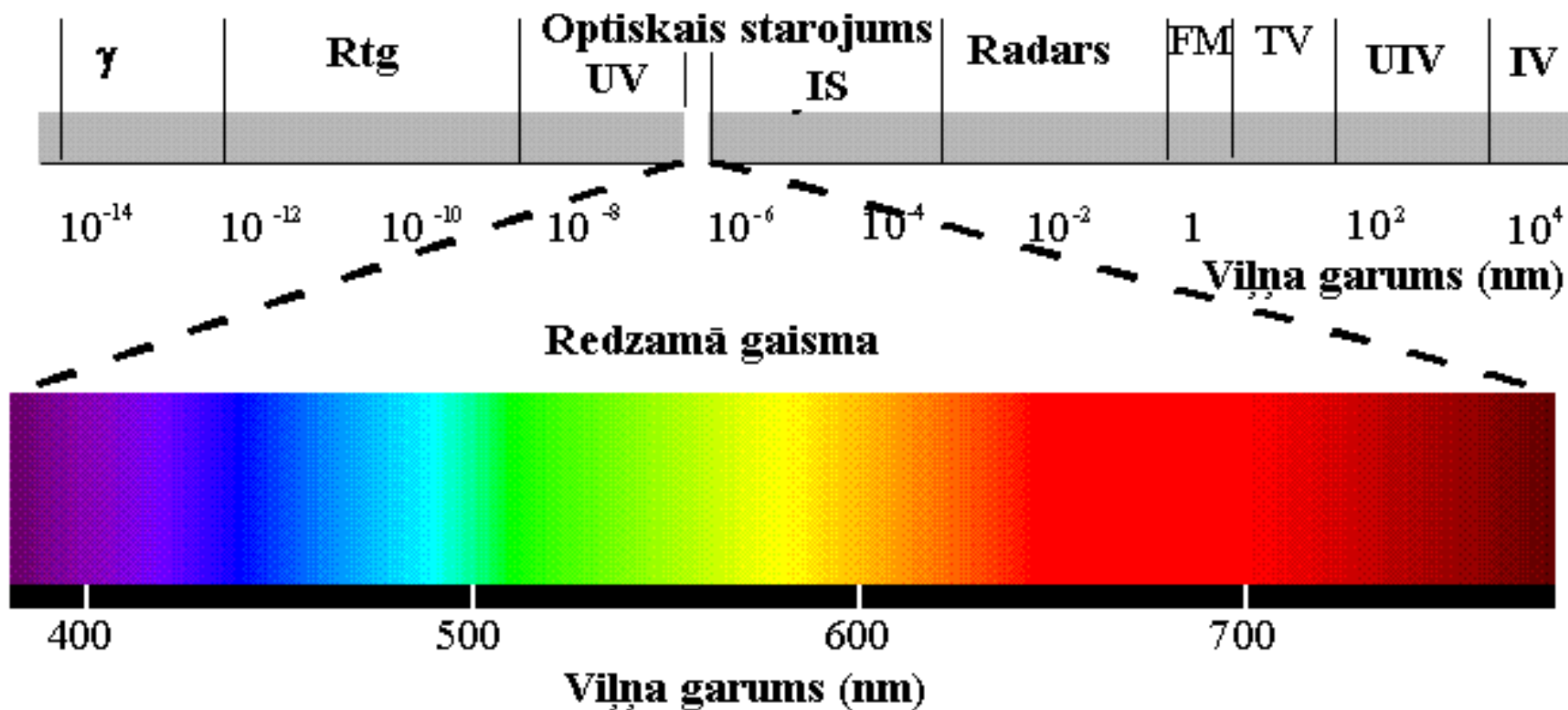
Uldis Teibe

RSU fizikas katedra

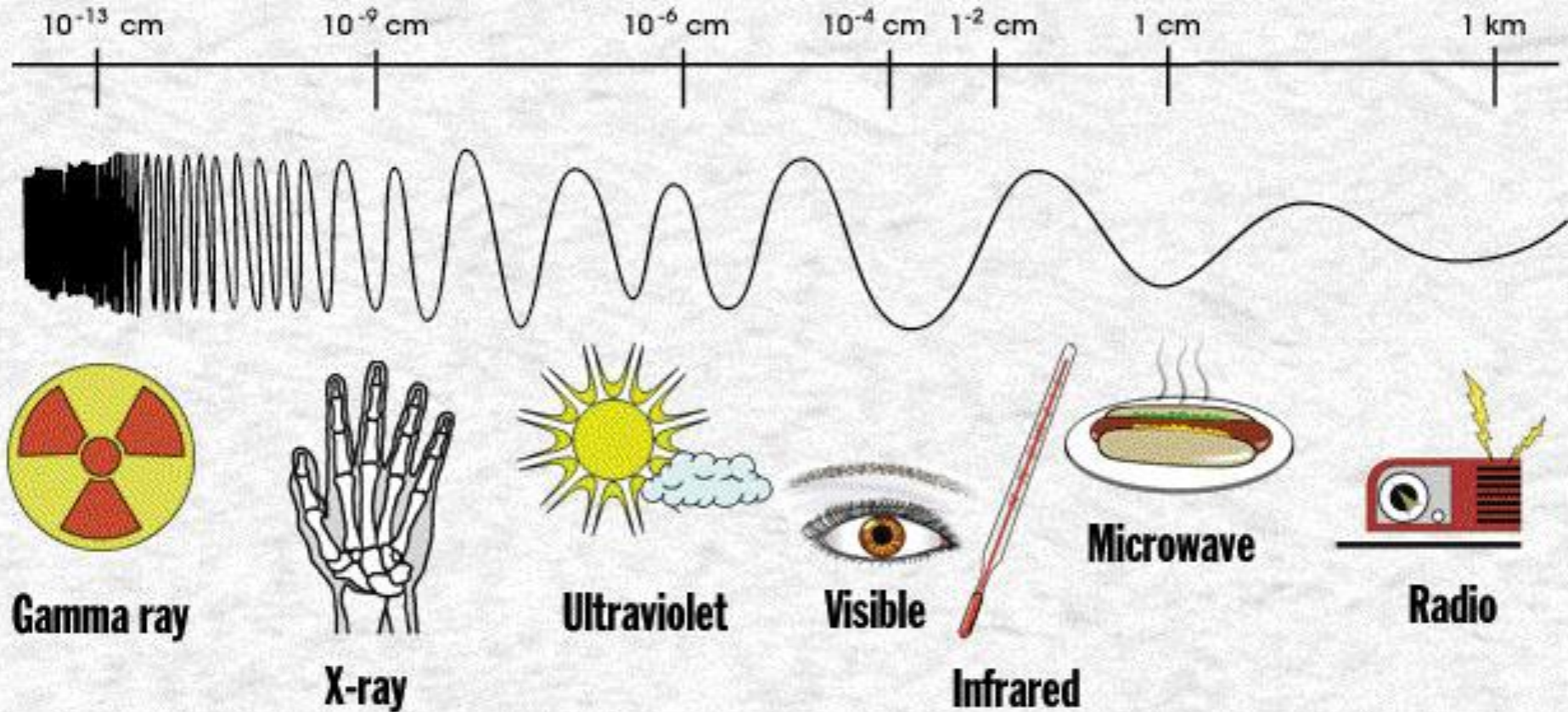
# EM vilnis



# Elektromagnētisko viļņu skala

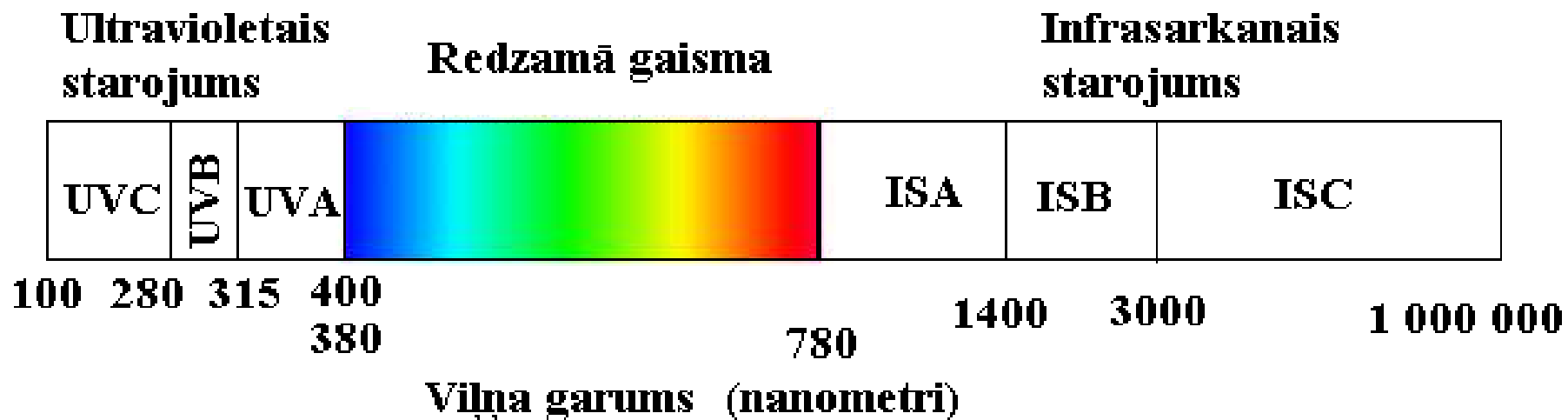


# The Electromagnetic Spectrum



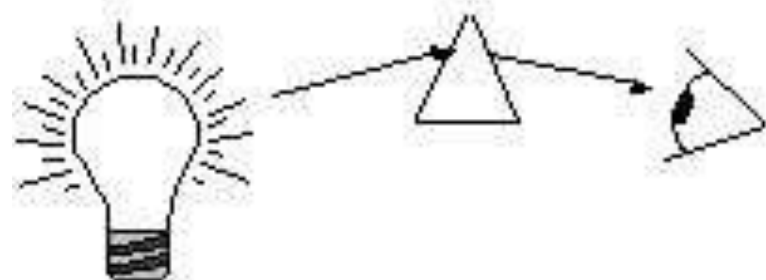
# Optiskais starojums

(mērogs nav vienāds)



**UVA - eritēmais**  
**UVB - baktericīdais**  
**UVC - kancerogēnais**

**ISA - tuvais**  
**ISB - vidējais**  
**ISC - tālais**



**Nepārtraukts spektrs**



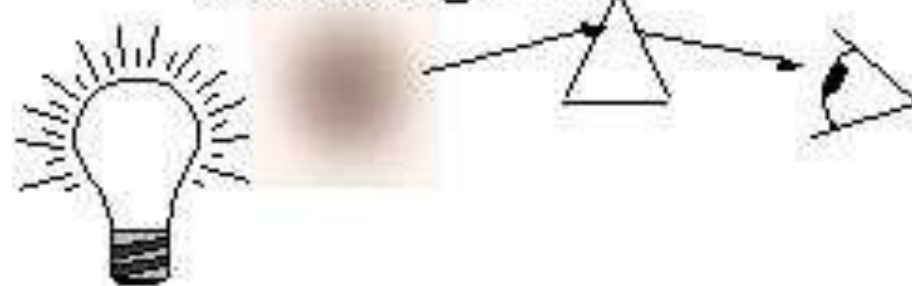
**Karsta gāze**



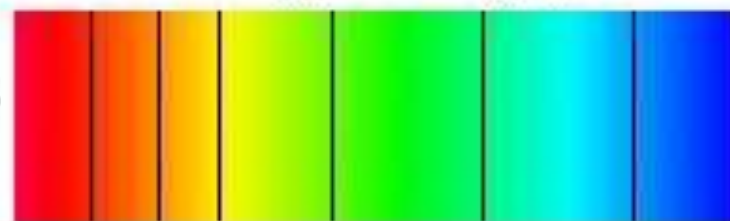
**Emisijas līnjspektrs**



**Auksta gāze**



**Absorbcijas līnjspektrs**



# *Ievads*

- Dabā visizplatītākais elektromagnētiska starojuma veids ir *termiskais* jeb *siltuma starojums*, kas rodas vielas atomu un molekulu termiskās kustības dēļ, t. i., izmantojot vielas iekšējo enerģiju, un tāpēc tā rezultātā ķermenis atdziest.

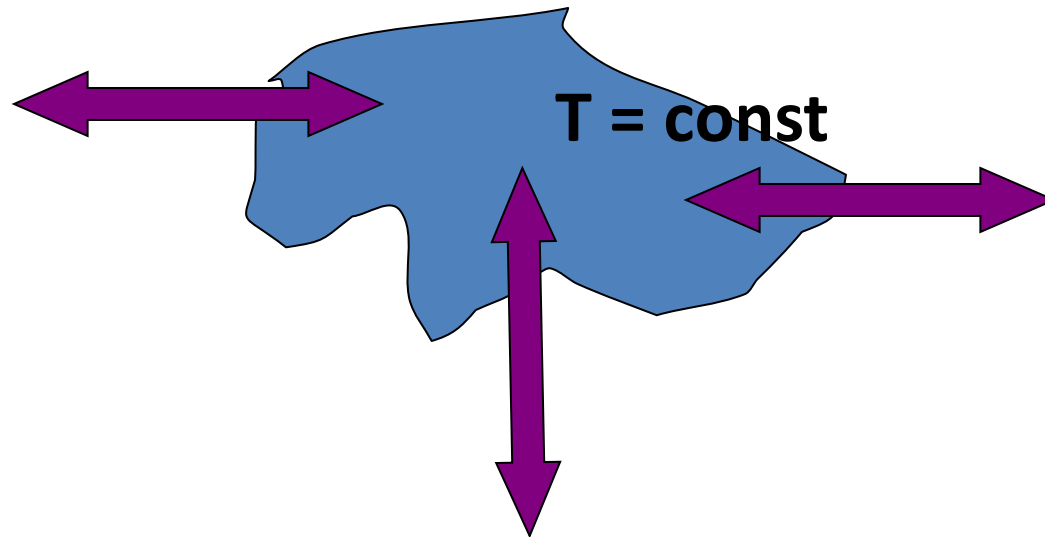
- Termisko starojumu izstaro *visi* ķermeņi, kuru temperatūra **atšķiras no Kelvina nulles**.
- Tā spektrs ir *nepārtraukts*, taču enerģijas sadalījums tajā ir **būtiski atkarīgs no temperatūras** - zemās temperatūrās pārsvarā ir infrasarkanais starojums, augstās temperatūrās – redzamais un ultravioletais starojums.



- *Jebkurš ķermenis, izstarojot pats, vienlaikus absorbē daļu no enerģijas, ko emitē citi (apkārtējie) ķermeņi.*
- Šo procesu sauc par starojuma **absorbciju**, un tā rezultātā ķermenis sasilst.

- Zaudējot enerģiju starojuma emisijas procesā un tajā pašā laikā iegūstot to starojuma absorbcijas procesā, ķermenis galu galā nonāks ***termiskā līdzsvara*** stāvoklī, kurā enerģijas zudumus emisijā kompensē enerģijas ieguvums absorbcijā.
- Šim stāvoklim atbilstošo temperatūru sauc par ***termiskā līdzsvara temperatūru***.

- Termiskais līdzsvars ir parasts tādu ķermeņu stāvoklis, uz kuriem neiedarbojas citi ķermeņi.
- Termiskās emisijas un absorbcijas procesus kvantitatīvi novērtē ar vairākiem parametriem.



# *Definīcijas*

- Ķermeņa *integrālā emisijas spēja (enerģētiskā spīdība)  $E$*  - enerģijas daudzums  $W$ , ko ķermenis emitē no virsmas laukuma vienības  $S$  laika vienībā  $t$

$$*E = W/(S.t)*$$

- Šī lieluma vienība ir vats uz kvadrātmetru ( $W/m^2$ ).

- *Ķermeņa integrālā absorbcijas spēja  $A$  - ķermeņa absorbētās starojuma enerģijas attiecība pret visu uz tā krītošo starojumu enerģiju.*

$$A = W_{abs} / W_{krīt}$$

- Absorbcijas spēja ir bezdimensionāls lielums.
- Lielumu  $E$  un  $A$  vērtības ir atkarīgas no ķermeņa dabas un temperatūras.

- No eksperimentu rezultātiem izriet, ka ķermeņa emitētās (absorbētās) enerģijas daudzums dažādiem viļņa garumiem ir atšķirīgs.
- Tādēļ termiskā starojuma raksturošanai lieto *spektrālās emisijas spējas* (absorbcijas spējas) jēdzienu.

- Par ķermeņa **spektrālo emisijas spēju**  $e(\lambda, T)$  sauc emisijas spēju šaurā viļņu garuma intervālā

$$e(\lambda, T) = dE/d\lambda$$

- Analogiski definē **spektrālo absorbcijas spēju**

$$a(\lambda, T) = dA/d\lambda$$

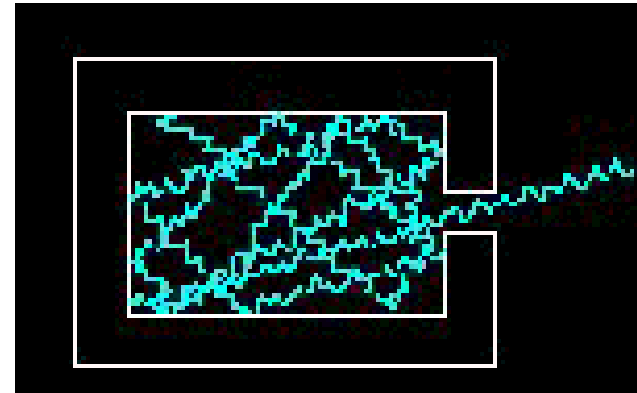
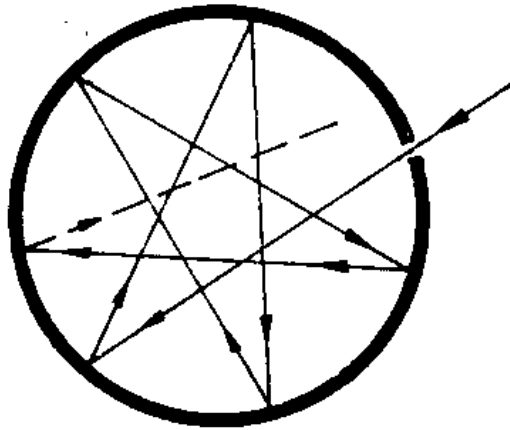
- Starojuma absorbcijas spēja visiem reāliem ķermeņiem ir mazāka par vienu.
- Tā, piemēram, spektra redzamajā daļā alumīnija absorbcijas spēja ir 0,1, vara – 0,5 un ūdens – 0,67.
- *Iedomātu ķermeni, kas jebkurā temperatūrā absorbē visu uz tā krītošā starojuma enerģiju, sauc par **absolūti melnu ķermeni**.*



- Absolūti melna ķermeņa absorbcijas spēja visiem viļņa garumiem vienāda ar vienu

$$a = a(\lambda, T) = 1.$$

- Redzamajai spektra daļai tāds ķermenis, kura īpašības vislabāk atbilst absolūti melna ķermeņa īpašībām, ir sodrēji ( $A = 0,95$ ).



- Praktiski vispilnīgākais absolūti melnais ķermenis ir maza atvere noslēgta dobuma sienīnā, ja dobuma iekšpuse ir melna.
- Stars, kurš nokļuvis atverē, vairākārt atstarojas no dobuma sienīnām un praktiski neizklūst atpakaļ, jo katrā atstarošanās procesā ievērojamu tā enerģijas daļu absorbē sienīņas.

- Absolūti melns ķermenis ne tikai absorbē uz tā krītošo enerģiju, bet vienlaikus arī izstaro.
- Tādēļ zemā temperatūrā dobuma atvere ir melna;
- ja dobums sakarsēts līdz augstai temperatūrai, tad atvere spoži spīd.
- Praktiski absolūti melna ķermeņa piemēri ir **acs zīlīte** un **krāsns kurtuve**.

- Absolūti balts ķermenis ne tikai neabsorbē uz tā krītošo enerģiju, bet vienlaikus arī neizstaro

$$a = a(\lambda, T) = 0$$

***Ja***

$$0 < a = a(\lambda, T) < 1$$

tad ķermenis ir pelēks.

- Iedomāsimies izolētu divu ķermeņu sistēmu, kuriem ir dažādas temperatūras un kuri var apmainīties ar enerģiju tikai emitējot un absorbējot starojumu.
- Pēc kāda laika tādā sistēmā iestājas termiskais līdzsvars.
- Apzīmēsim ķermeņu emisijas un absorbcijas spējas termiskā līdzsvara temperatūrā attiecīgi ar  $E'$ ,  $E''$  un  $A'$ ,  $A''$ .
- Pieņemsim, ka pirmais ķermenis 1 sekundē no  $1 \text{ m}^2$  virsmas emitē  $n$  reizes vairāk enerģijas nekā otrais, t. i.,

$$E' = nE''$$

- Taču tādā gadījumā tam arī jāabsorbē *n* reizes vairāk enerģijas nekā otrajam ķermenim - jābūt spēkā vienādībai

$$A' = nA''$$

- Pretējā gadījumā ķermenis sāk sasilt (vai atdzist) un temperatūra mainīsies, bet tas ir pret nosacījumu.

## ***Kirhhofa likums***

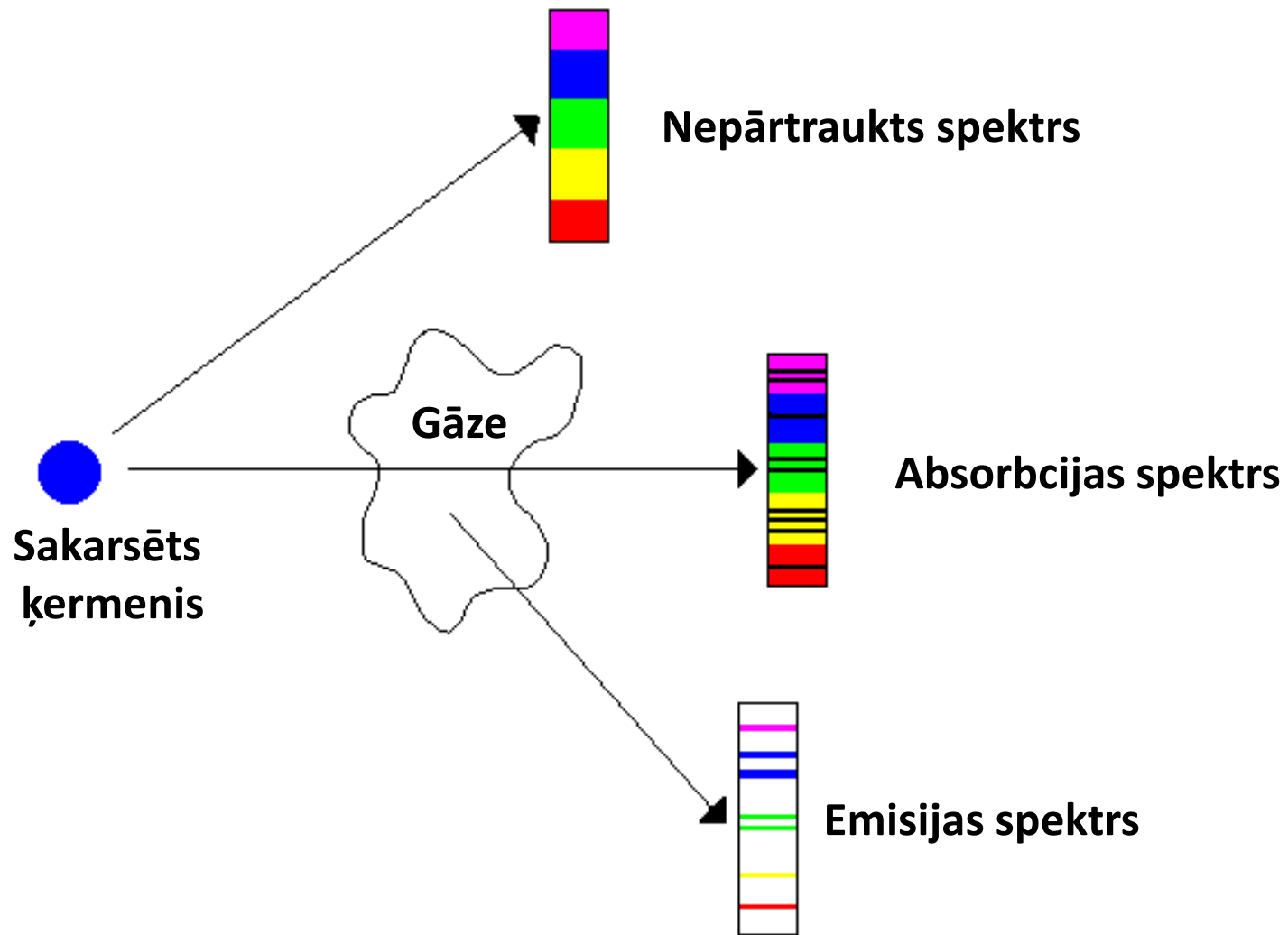
$$\frac{E'}{A'} = \frac{E''}{A''} = \dots = \frac{E^n}{A^n} = E$$

- *Visiem ķermeņiem termiskā līdzsvara temperatūrā emisijas un absorbcijas spēju attiecība ir konstants lielums, kas vienāds ar absolūti melna ķermeņa emisijas spēju tajā pašā temperatūrā.*

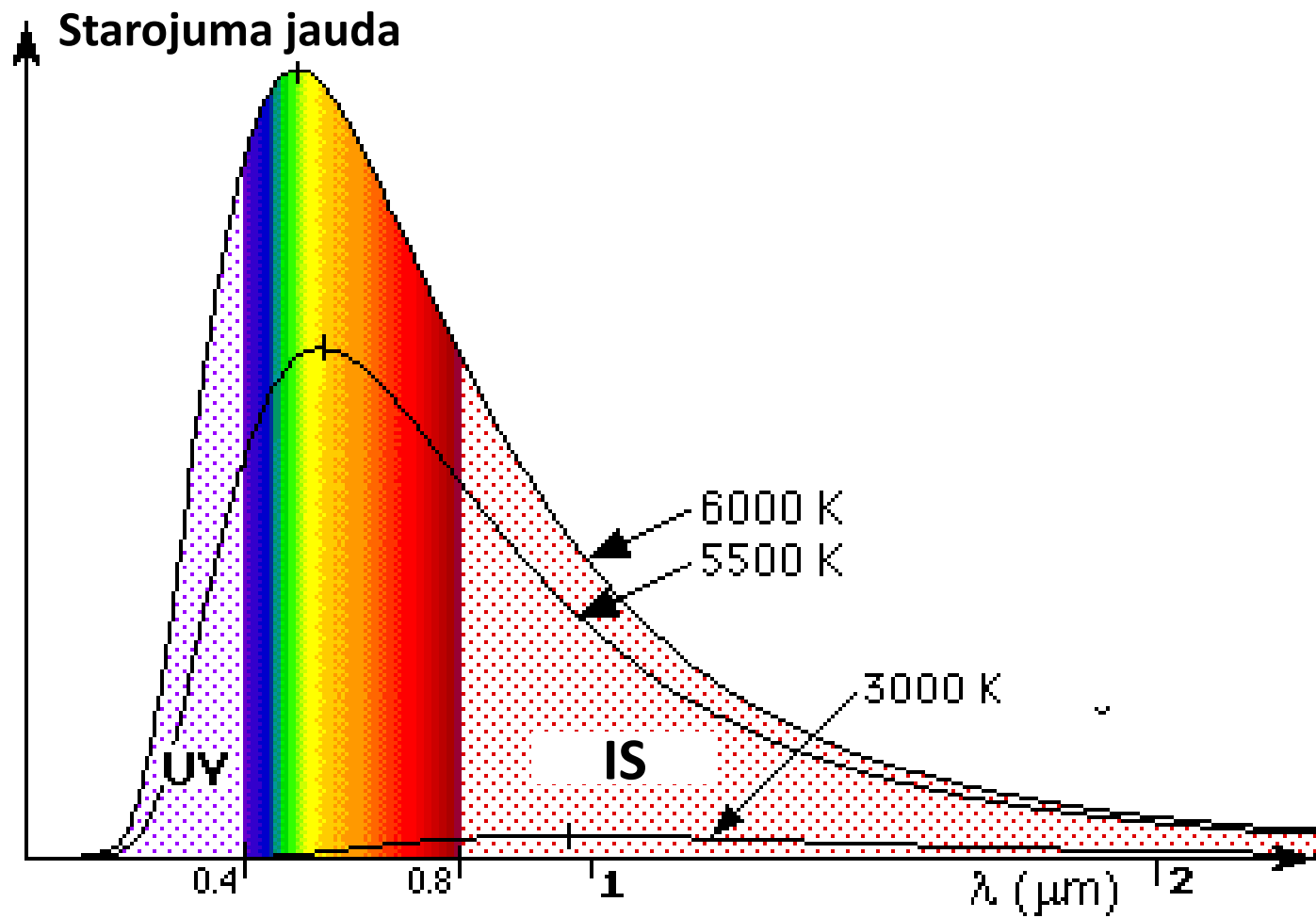
$$\frac{e(\lambda, T)'}{a(\lambda, T)'} = \frac{e(\lambda, T)''}{a(\lambda, T)''} = \dots = \frac{e(\lambda, T)^n}{a(\lambda, T)^n} = \varepsilon(\lambda, T)$$

- Kirhhofa likums ir pareizs arī ķermeņu spektrālajām emisijas un absorbcijas spējām





# ABSOLŪTI MELNA ĶERMEŅA STAROJUMA LIKUMI



- Integrālās emisijas spējas atkarību no temperatūras izsaka **Stefana–Bolcmaņa** likums:
- *Absolūti melna ķermeņa integrālā emisijas spēja ir proporcionāla tā termodinamiskās temperatūras ceturtajai pakāpei:*

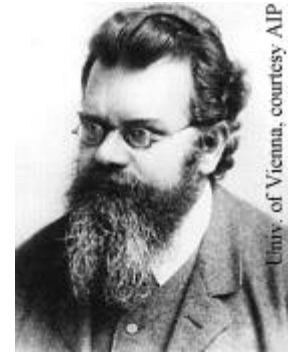
$$E = \sigma T^4$$

kur  $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}^4)$  ir *Stefana–Bolcmaņa konstante*.

- Reālam ķermenim Stefana-Bolcmaņa likums ir

$$E = A\sigma(T^4 - T_0^4)$$

- kur  $A$  - absorbcijas spēja,
- $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}^4)$  ir Stefana–Bolcmaņa konstante,
- $T$  - ķermeņa un
- $T_0$  - apkārtnes termodinamiskā temperatūra.

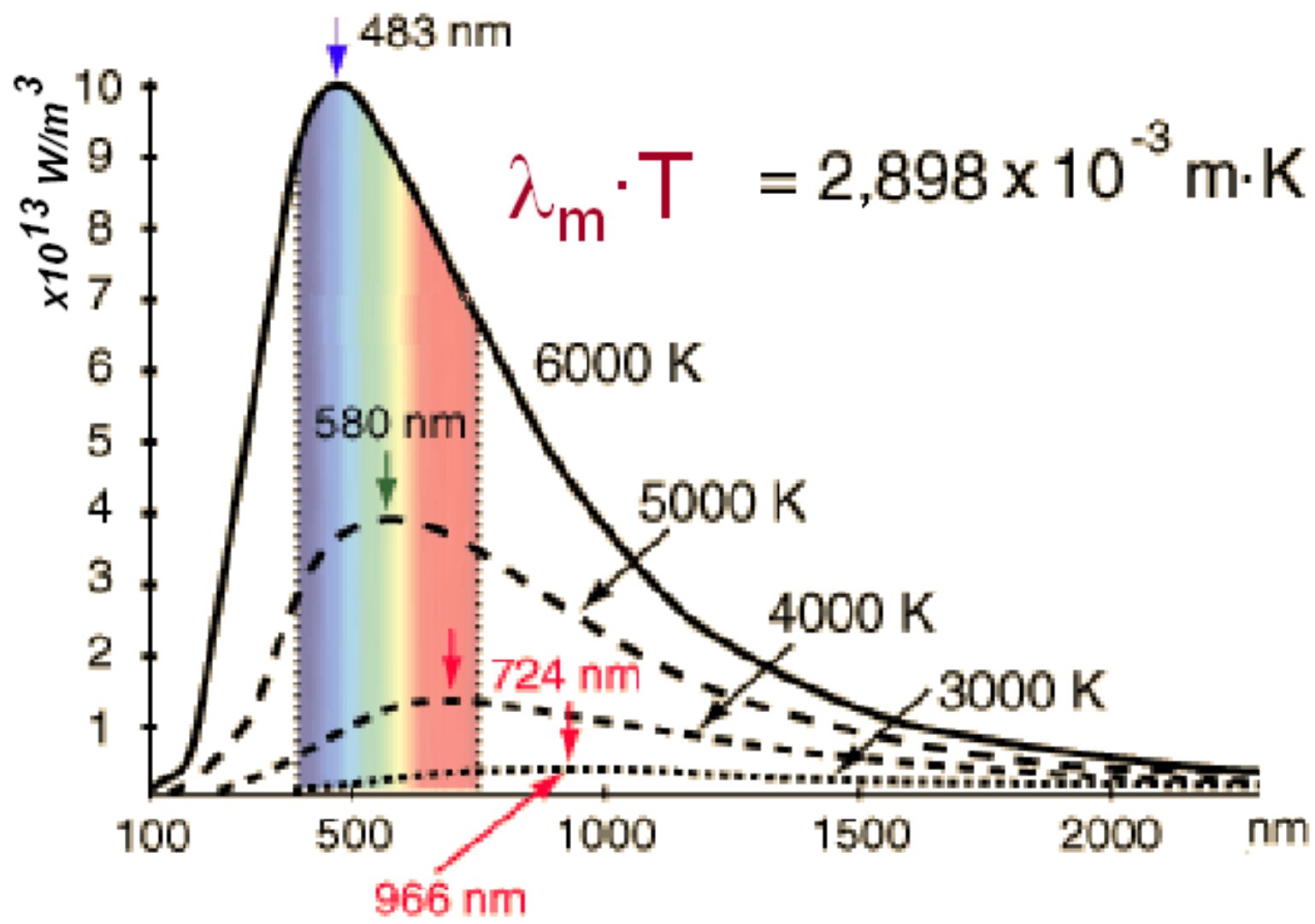


# *Vīna pārbīdes likums*

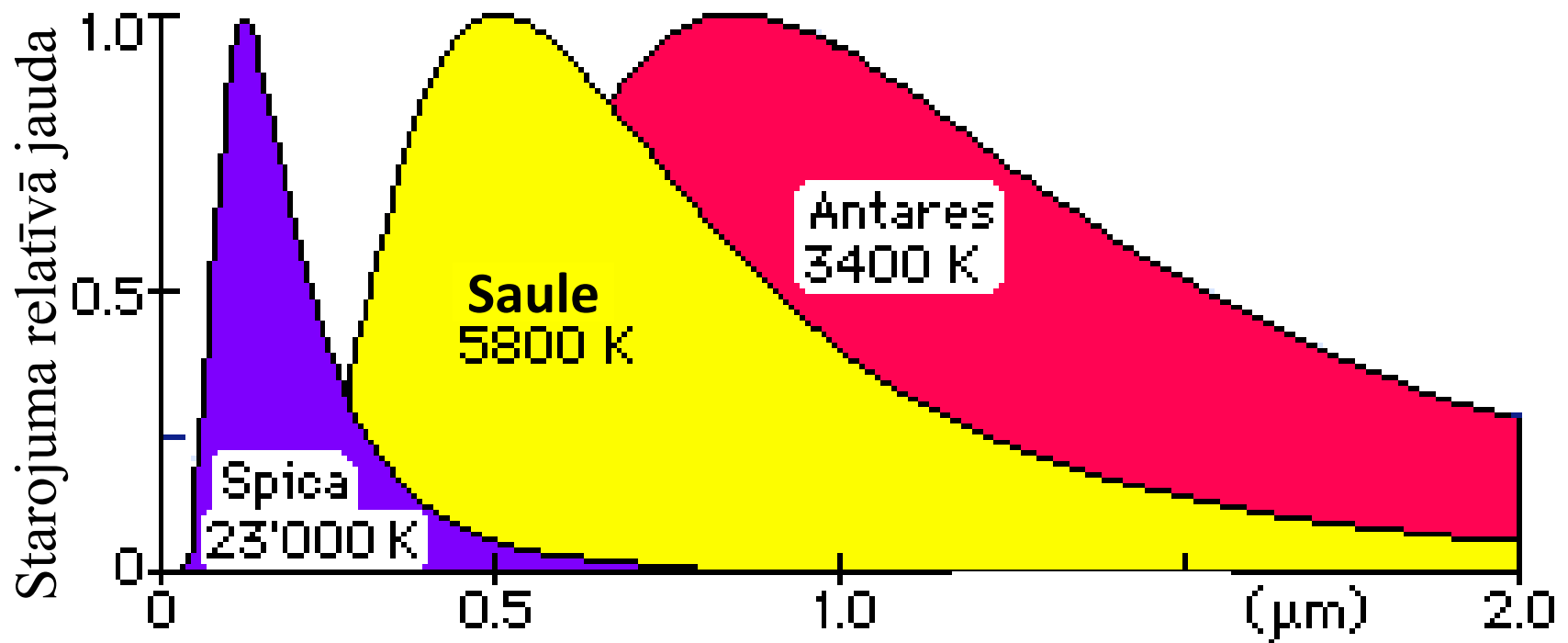
- *Absolūti melna ķermeņa emisijas maksimumam atbilstošais viļņa garums ir apgriezti proporcionāls šī ķermeņa termodinamiskajai temperatūrai:*

$$\lambda_m = b/T,$$

- kur  $b = 2,8979 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}$  ir *Vīna konstante*.



# Zvaigžņu starojums



Betelgeuse  
 $\alpha$  Ori  
~ 2000 K

Bellatrix  
 $\gamma$  Ori  
~25000 K

M42, Nebula in Orion

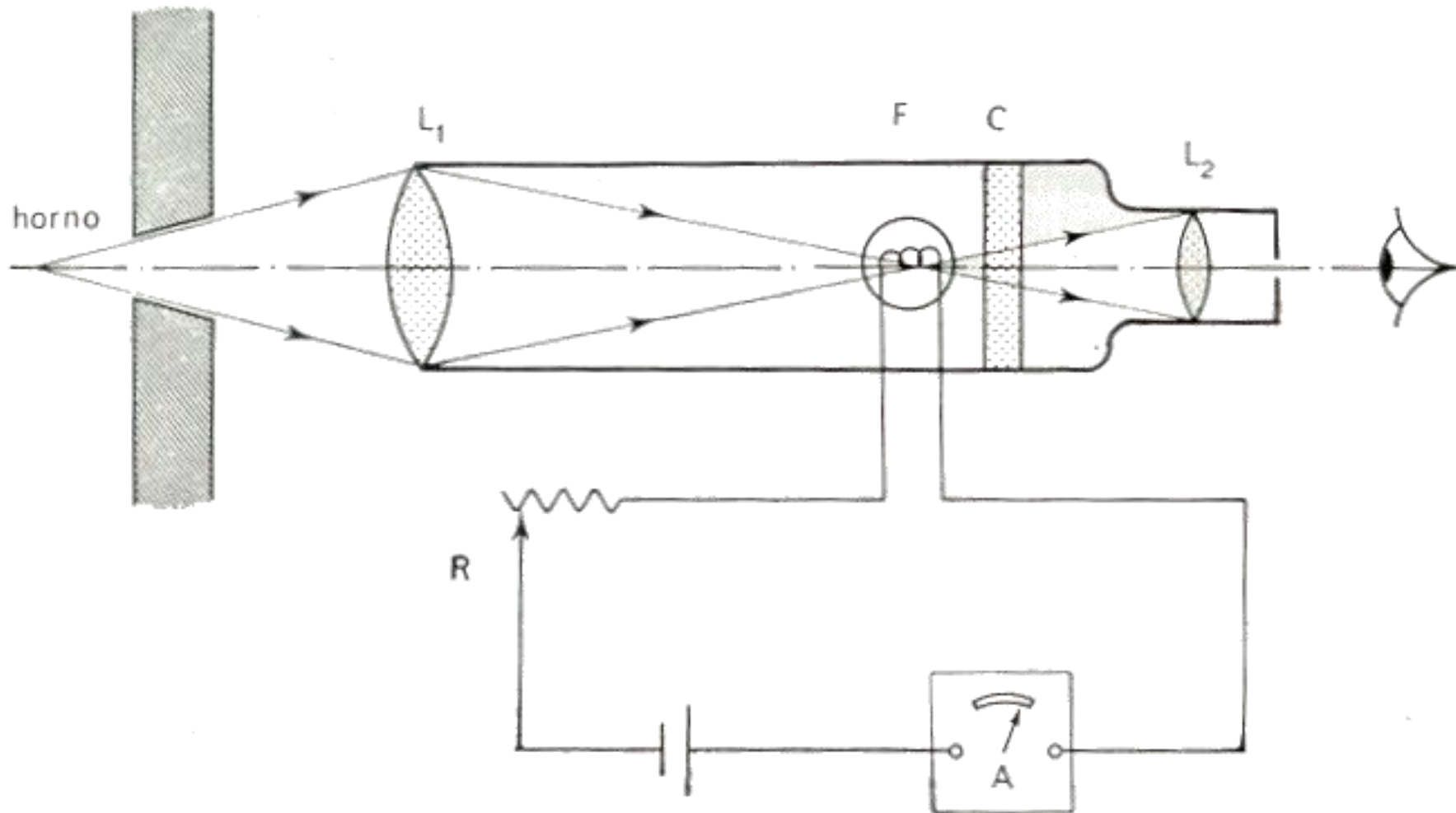
Rigel  
 $\beta$  Ori  
~20000 K



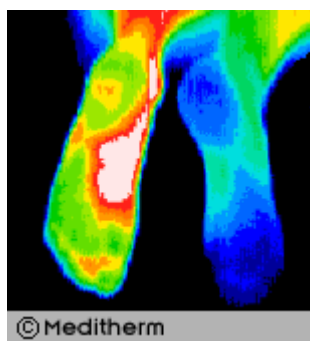
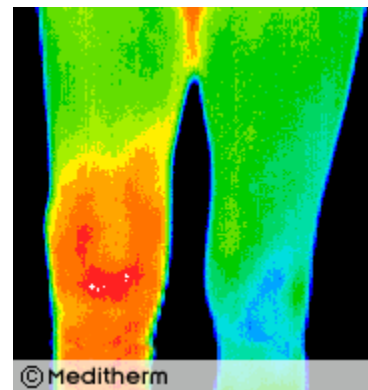
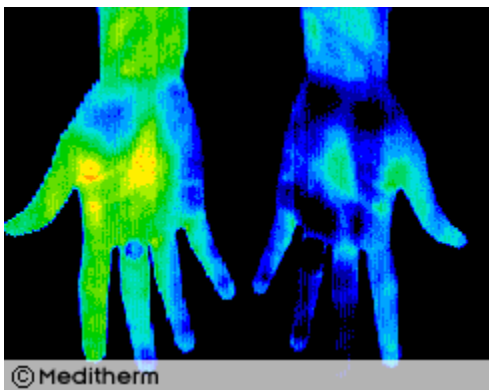


- Vīna likumu izmanto *optiskajā pirometrijā*.
- Tieši ar šo metodi pirmo reizi tika noteikta Saules virsmas temperatūra.
- Saules starojuma enerģijas maksimums atbilst redzamajai gaismai ar viļņa garumu **476 nm**.
- Pēc Vīna pārbīdes likuma, Saules virsmas termodinamiskā temperatūra ir **6160 K**.

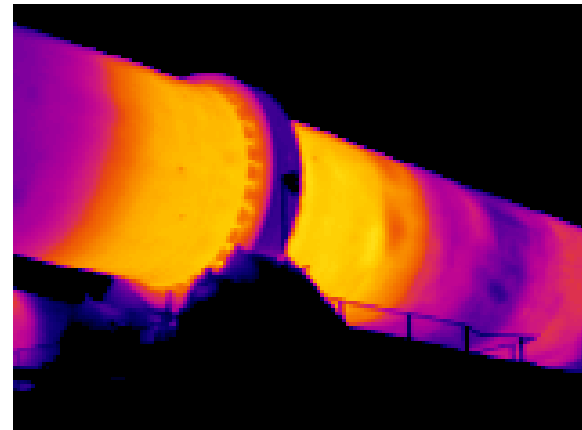
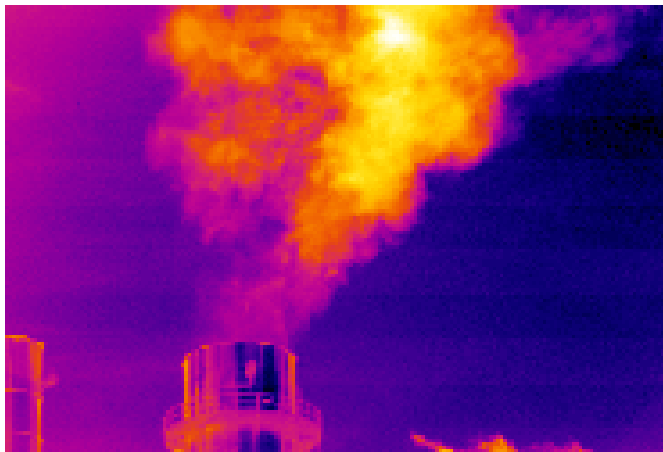
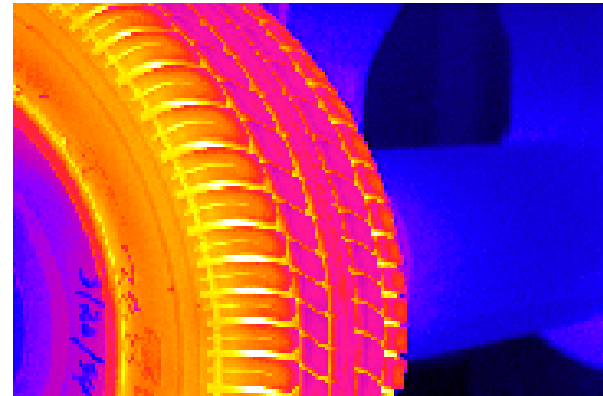
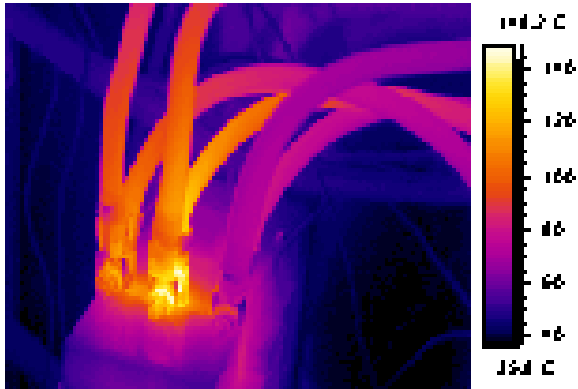
# *Optiskais pirometrs*



# *Termogrāfija medicīnā*



# *Termogrāfija*

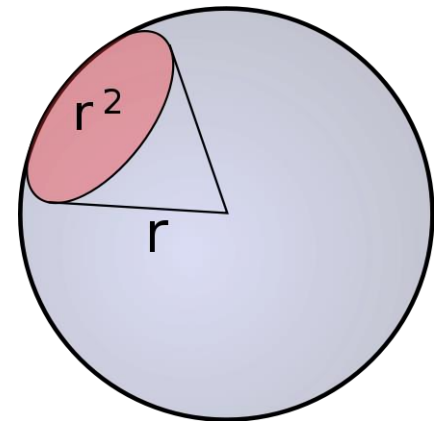


# Fotometrija

- SI pamatvienība ir gaismas (starojuma) stiprumam – svece (kandela) (cd), t.i., gaismas stiprums, ko noteiktos apstākļos izstaro noteiktas konstrukcijas etalona gaismas avots.

# Fotometrija

- Gaismas (starojuma) plūsma ( $F$ ) – enerģija, ko EM vilnis pārnes caur virsmas laukumu ( $S$ ) laika vienībā ( $t$ )
- $F = Q/(S \cdot t) = P/S$
- SI vienība – lumens (lm)
- $F = I\Omega$  [1 lm = 1 cd · 1 sr]



- Par virsmas laukuma ( $S$ ) apgaismojumu ( $E$ ) sauc uz šīs virsmas krītošās starojuma plūsmas ( $F$ ) attiecību pret virsmas lielumu
- $E = F/S$  [ $1 \text{ lm}/1 \text{ m}^2 = 1 \text{ lx}$ ]
- Punktveida starojuma avotam

$$E = \frac{I \cdot \cos \alpha}{R^2}$$

- $\alpha$  - staru krišanas leņķis,  $R$  - attālumš

- Lielu izmēru starojuma avotus raksturo ar spilgtumu ( $B$ )

$$B = \frac{I}{S_0}$$

- $I$  – gaismas avota stiprums,
- $S_0$  – redzamais gaismas avota virsmas laukums
- SI vienība nits ( $\text{nt}$ ) =  $\text{cd}/\text{m}^2$



- Starotāja efektivitāte (lietderības koeficients)

$$\eta = \frac{F}{P}$$

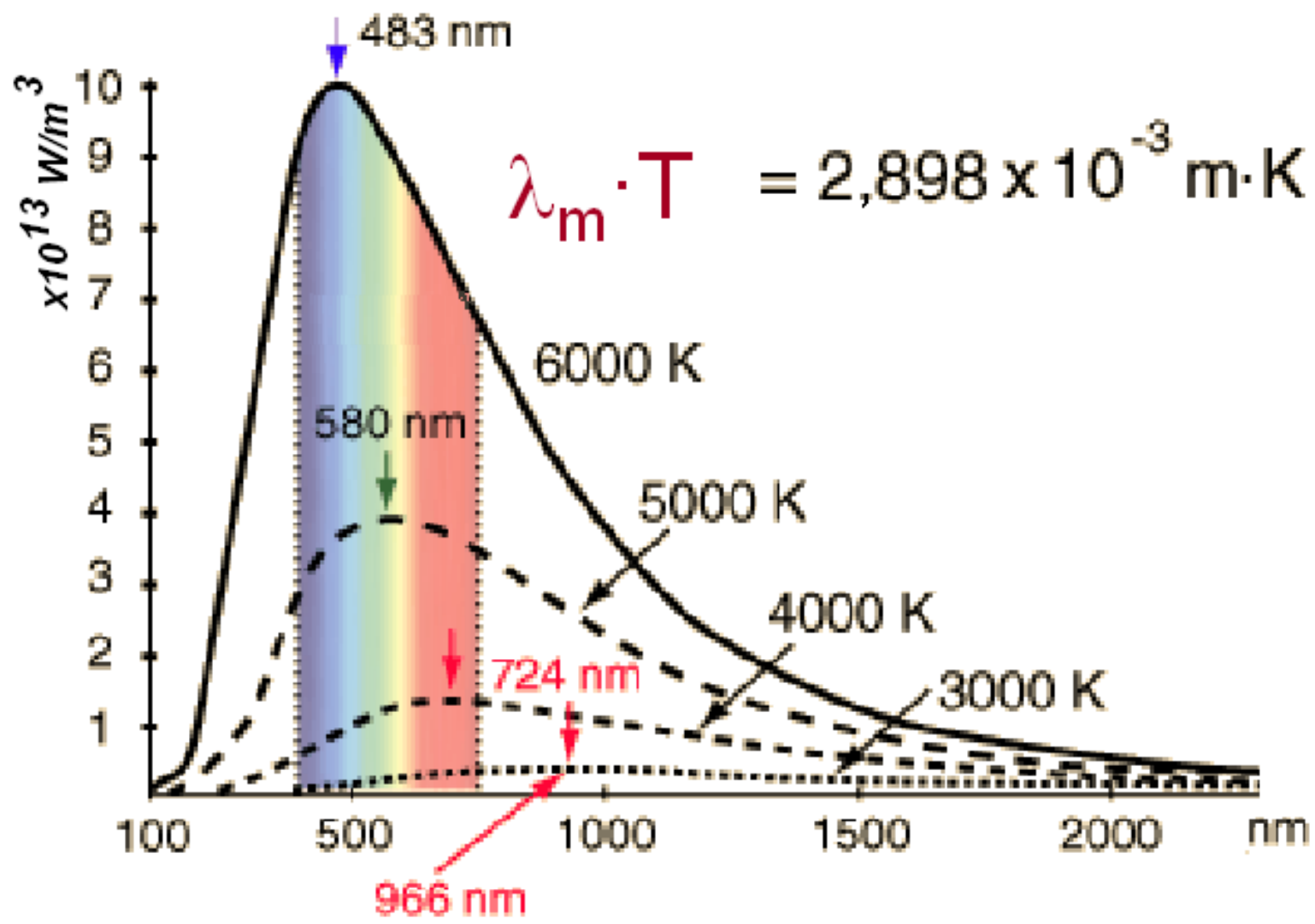
- $F$  – starojuma plūsma,
- $P$  – starotāja jauda
- [lm/W]

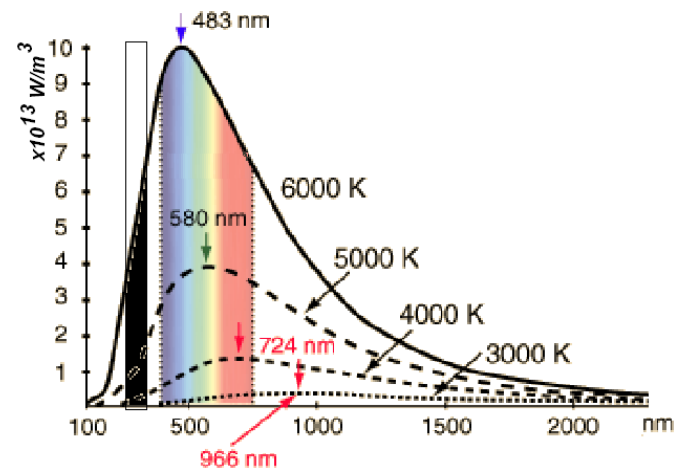
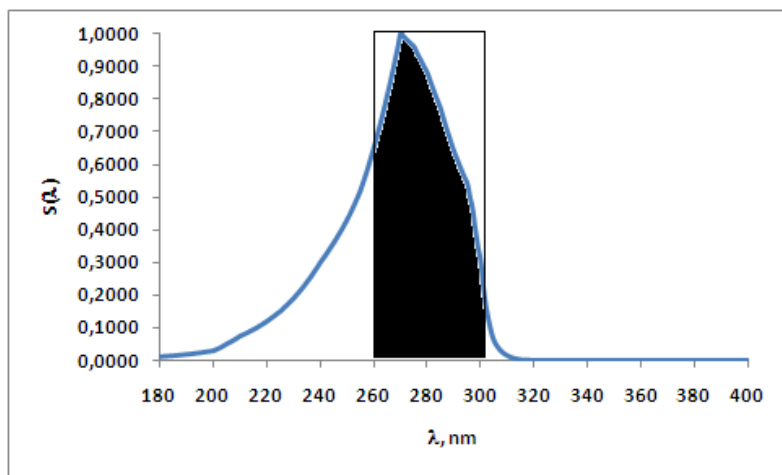
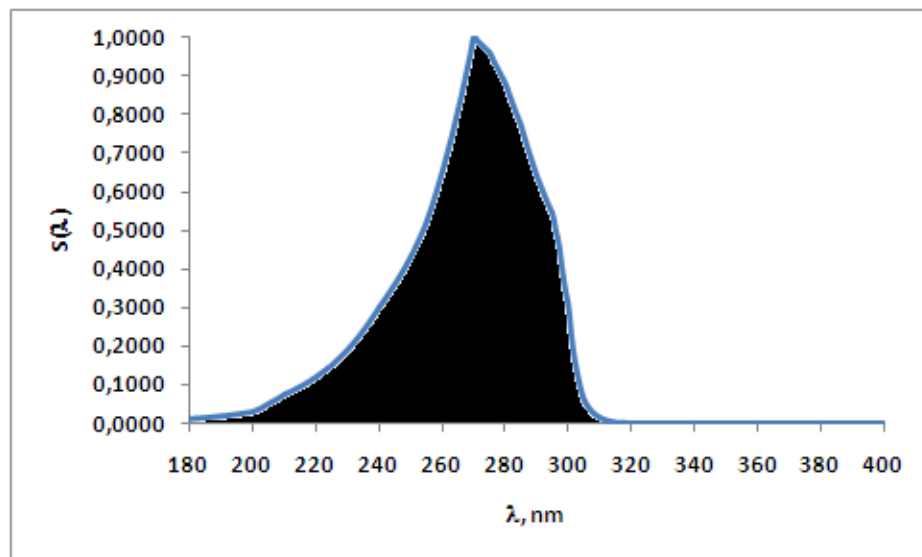
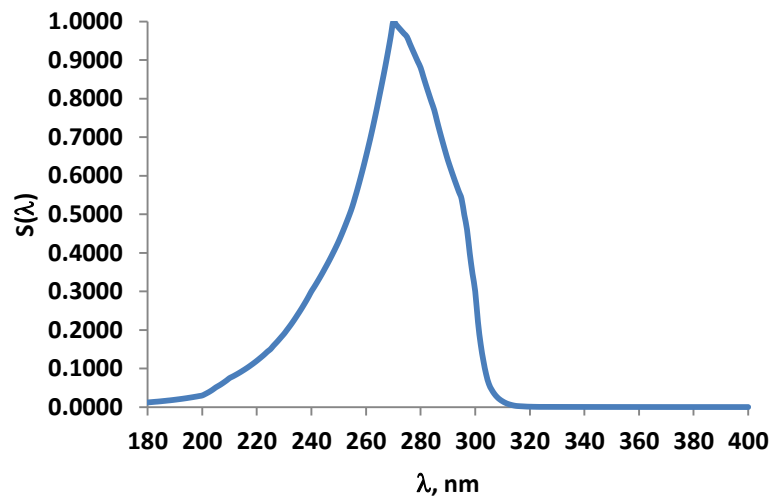
# MK noteikumi Nr. 731

$$H_{eff} = \int_0^t \int_{\lambda=180nm}^{\lambda=400nm} E_{\lambda}(\lambda, t) \cdot S(\lambda) \cdot d\lambda \cdot dt$$

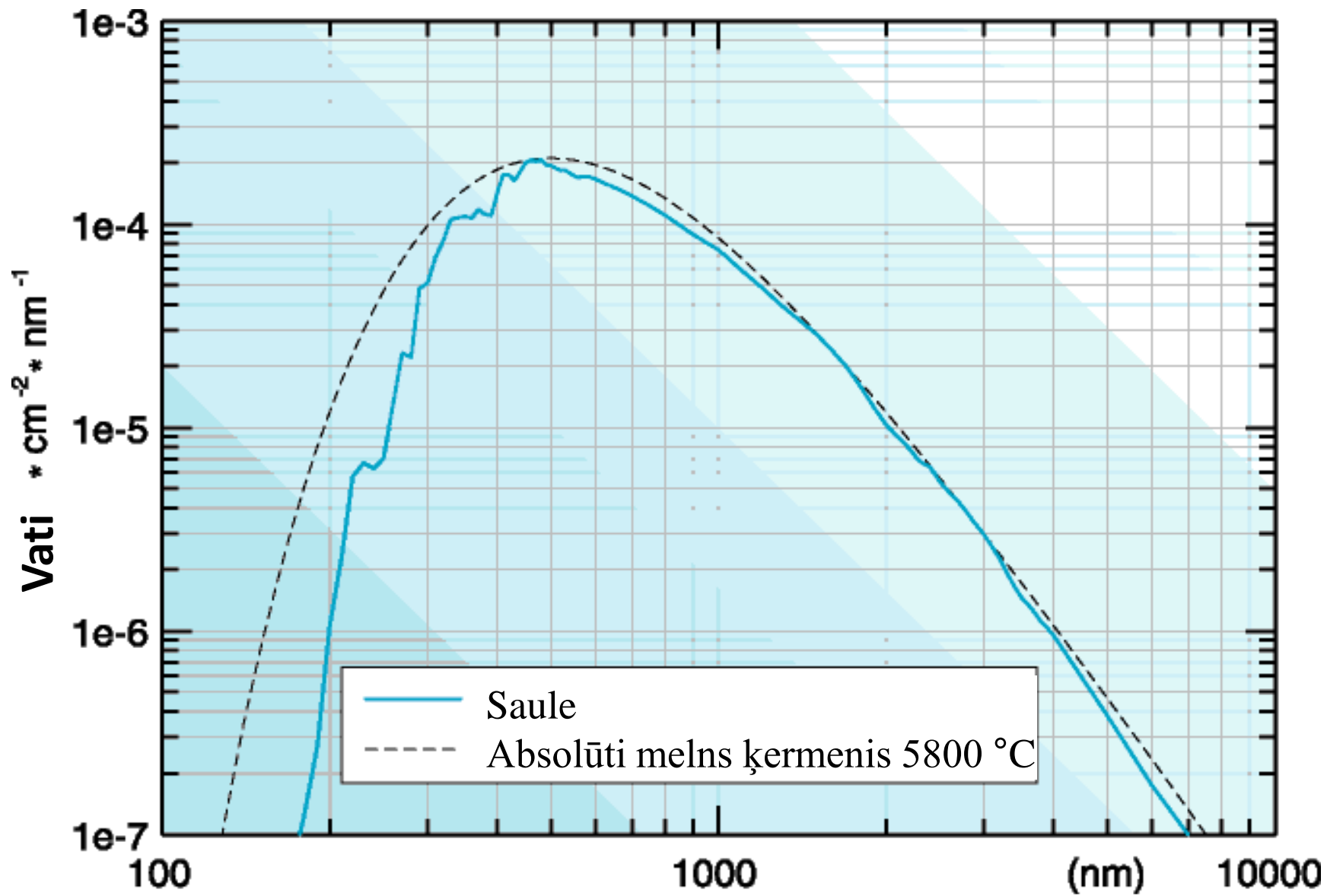
$E_{\lambda}(\lambda, t)$ ,  $E_{\lambda}$  spektra izstarojums vai spektra enerģijas blīvums: starojuma avota jauda noteiktā laika posmā uz virsmas laukuma vienību, izteikta vatos uz laukuma kvadrātmetru un viļņa garuma (nanometros) reizinājumu

$H_{eff}$  faktiskā starojuma avota iedarbība: ar  $S(\lambda)$  spektrāli svērta starojuma avota iedarbība, izteikta džoulos uz kvadrātmetru





Integrāļi ir atbilstošo figūru laukumi, kas formulā jāreizina



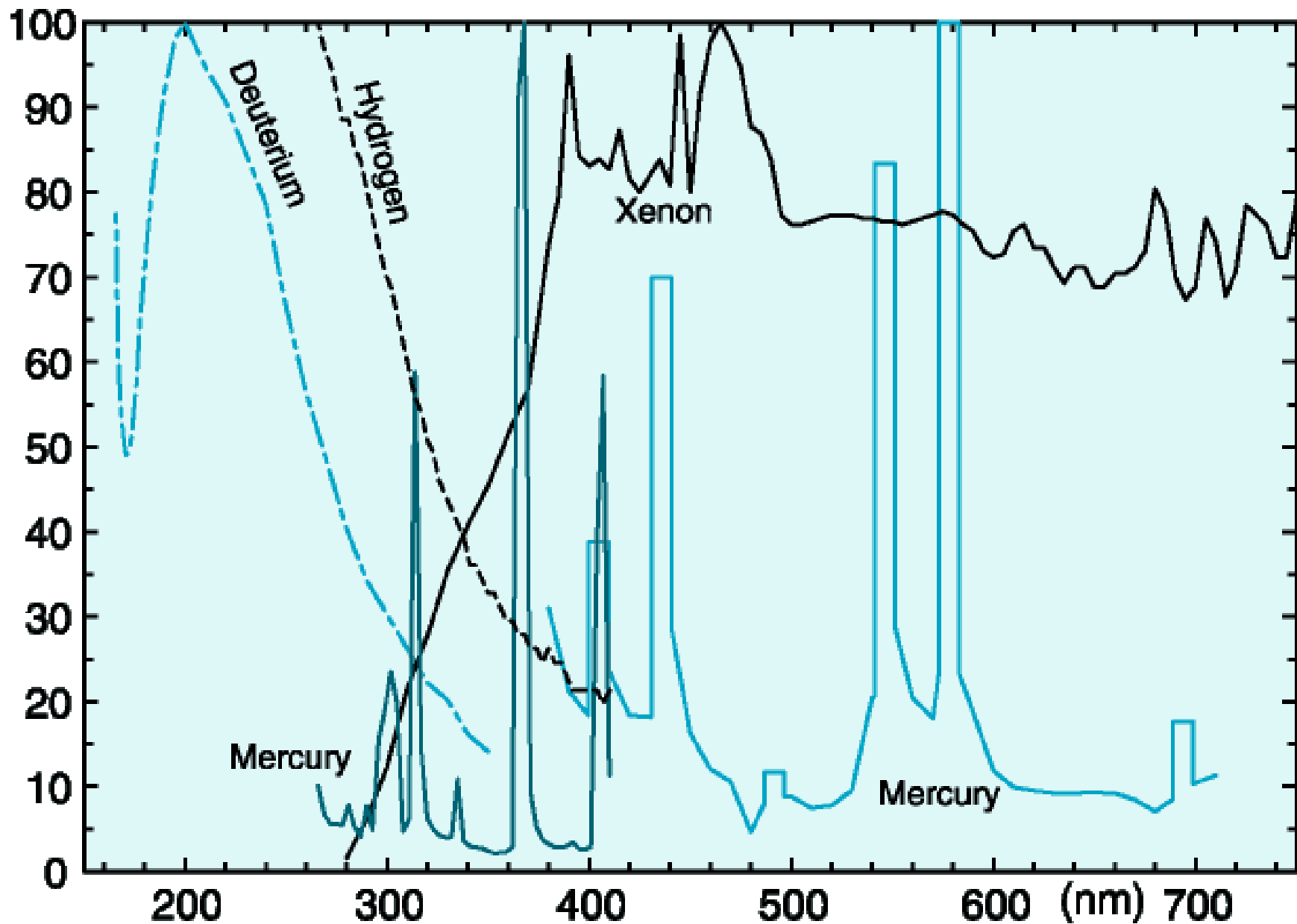
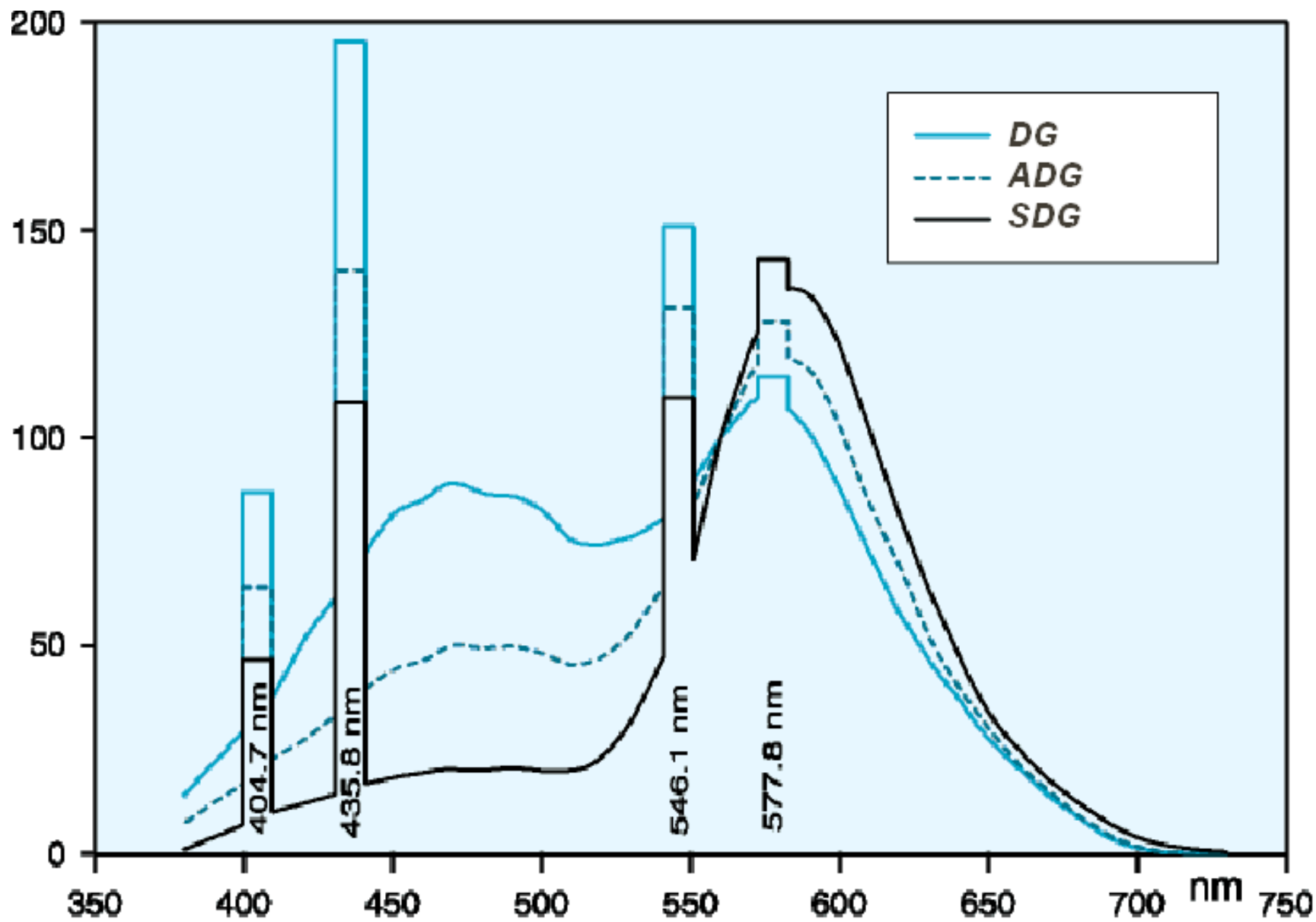


Fig. 5.5 Arc lamps.



# Lāzera optiskais starojums

$$E = \frac{dP}{dA} \left( \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right)$$

$$H = \int_0^t E(t) \cdot dt \left( \frac{\text{J}}{\text{m}^2} \right)$$

$E$  un  $E(t)$  – starojuma intensitāte. Vērtības iegūst mērījumos vai tās var norādīt aprīkojuma ražotājs

$dA$  – virsmas laukums

$t$  – iedarbības ilgums

$H$  – optiskā starojuma iedarbība