

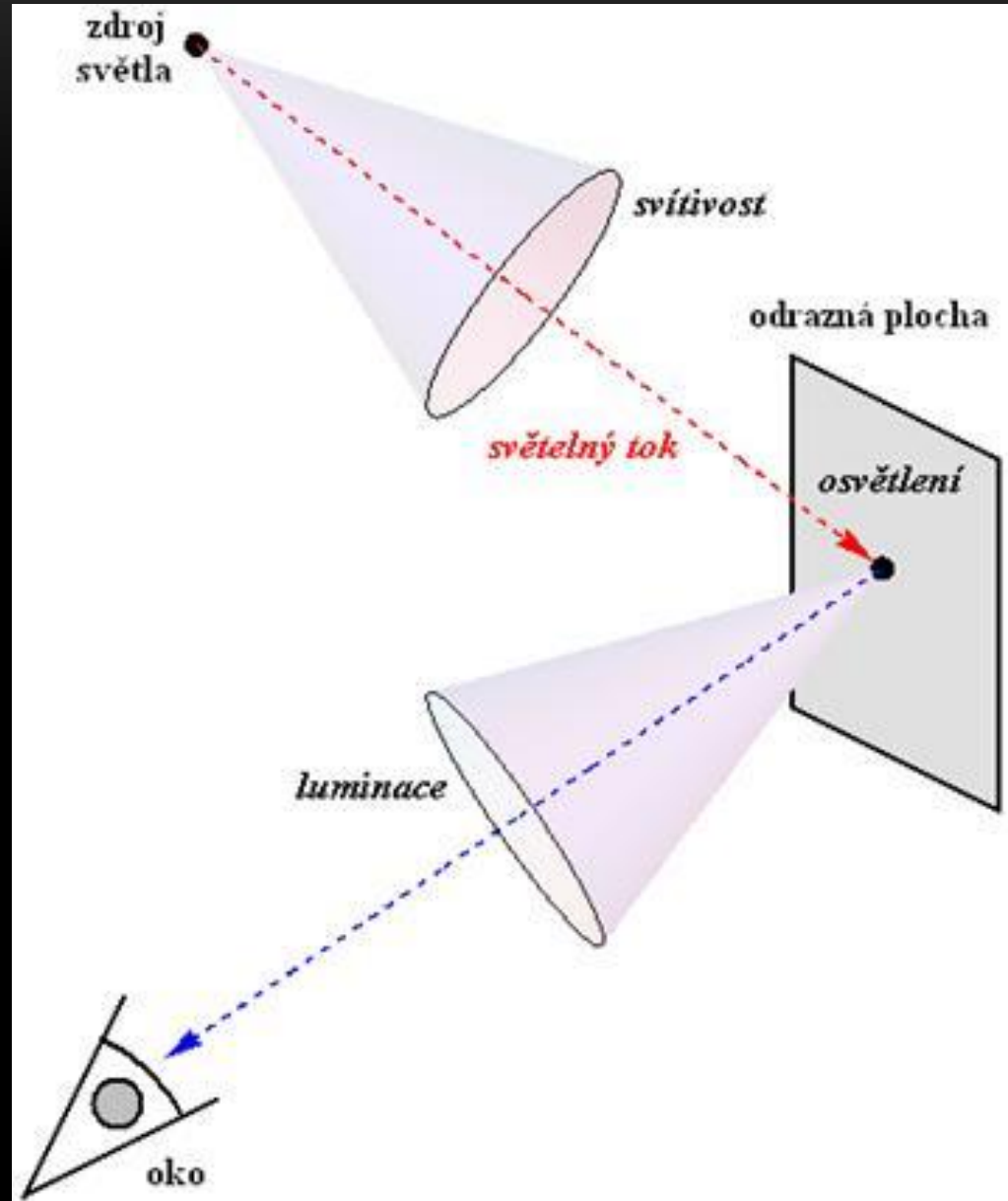
# ELEKTROMAGNETICKÉ ZÁŘENÍ A JEHO ENERGIE

---

# 1. PŘEHLED ELEKTROMAGNETICKÉ ZÁŘENÍ

<b>Druhy záření</b>	<b>Vlnová délka ve vzduchu</b>
Rádiové	30km – 30 $\mu$ m
Infračervené	3mm – 760 nm
Světlo	760nm – 390nm
Ultrafialové	400nm – 10nm
Rentgenové	10nm – 1 $\mu$ m
Gama	<300 $\mu$ m

## 2. PŘENOS ENERGIE ZÁŘENÍM



# FOTOMETRIE

- **Fotometrie** je část optiky, která zkoumá světlo z hlediska jeho působení na zrakový orgán.
- Veličiny, které určují velikost tohoto působení na lidské oko, se označují jako **fotometrické veličiny**.

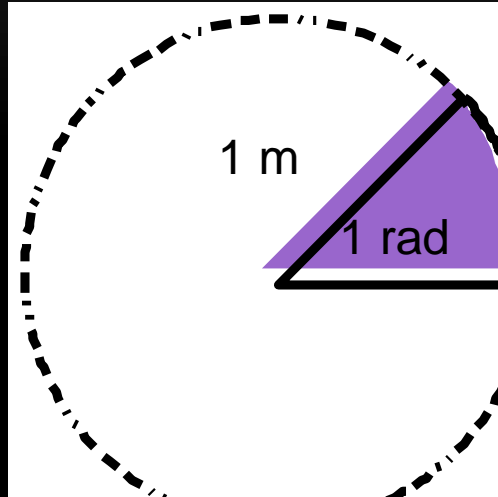
# RADIOMETRIE

- **Radiometrie** je část optiky, která se zabývá měřením elektromagnetického záření, včetně světla.
- Radiometrie se zabývá **absolutními veličinami**, zatímco fotometrie studuje obdobné veličiny, avšak z hlediska jejich působení na lidské oko (astronomie).

# JEDNOTKY ÚHLŮ

- rovinný úhel  $\varphi$

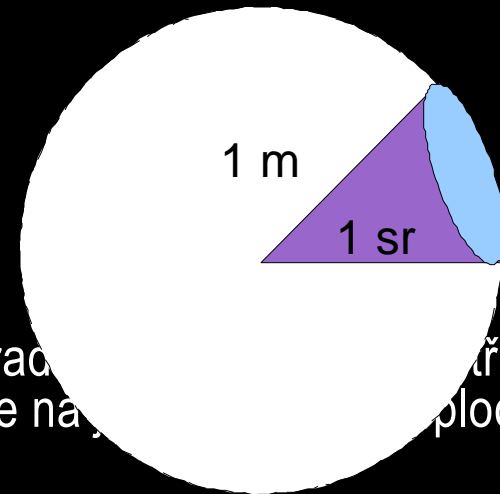
- 1 rad



- 1 radián – úhel, který vytkne na jednotkové kružnici oblouk o délce 1 m

- prostorový úhel  $\omega$

- 1 sr



- 1 steradián – úhel, který vytkne na jednotkové kouli plochu 1 m<sup>2</sup>

# PŘEHLED VELIČIN

- Radiometrické
- Zářivý tok:

$$\Phi_e = \frac{\Delta E}{\Delta t}$$

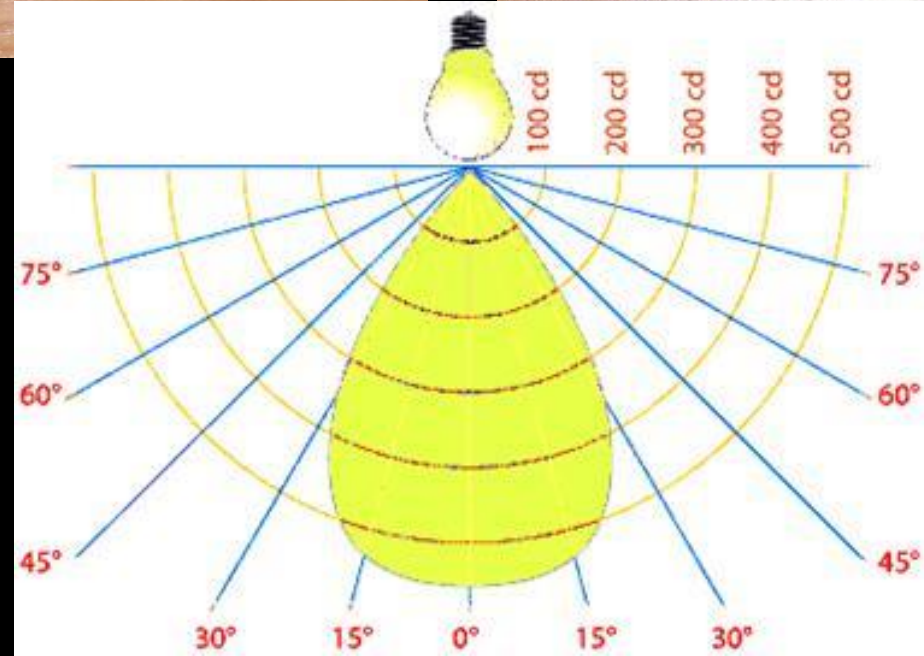
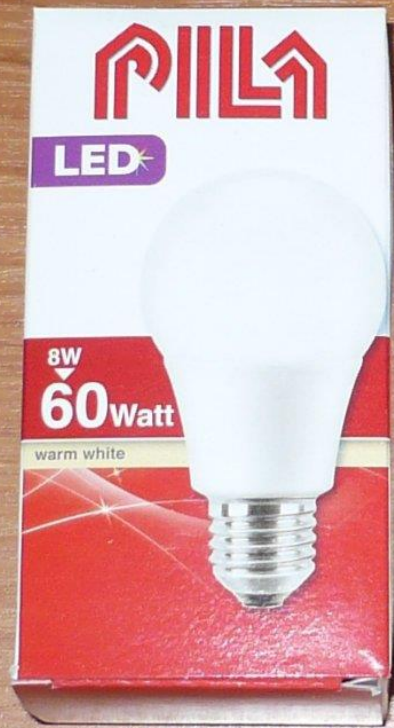
Jednotka: W (watt)

- Fotometrické
- Světelný tok:

$$\Phi = \frac{\Delta E}{\Delta t}$$

Jednotka: lm (lumen)

- Záření o určité energii vyzářené za jednotku času do prostorového úhlu způsobí určitý zrakový vjem
- v něm se vyjadřuje **výkon projektorů** (typická velikost 2200 ANSI lumenů)





# PŘEHLED VELIČIN

- Radiometrické
- Zářivost:

$$I_e = \frac{\Delta\Phi_e}{\Delta\Omega}$$

Jednotka: W / sr (watt na steradián)

- Fotometrické
- Svítivost:

$$I = \frac{\Delta\Phi}{\Delta\Omega}$$

Jednotka: cd (candela)

➤ candle = svíčka, lat. *candela* = svíčka

Všesměrový zdroj:

$$[lm] = [cd] \cdot 4\pi$$

$$1 \text{ cd} = 12,6 \text{ lm}$$

Žárovky:

$$1 \text{ cd} = 6,5 \text{ lm}$$

Zdroj	Svítivost (cd)	Světelný tok (lm)
svíčka	1	12,6
100 W klasika	200	1300
70 W halogen	200	1300
23 W úsporná	200	1300
15 W LED	200	1300

# SROVNÁVACÍ TABULKA ZDROJŮ

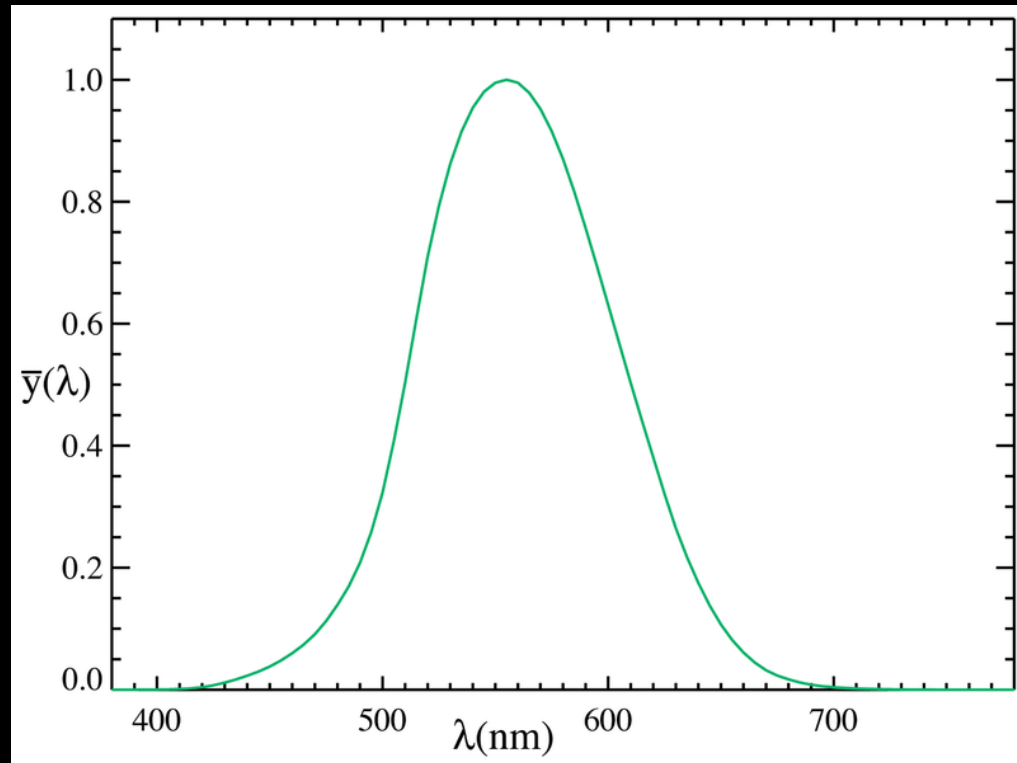
Klas. žárovka	halogenka	úsporná zářivka	LED žárovka	Světelný tok (lm)	Svítivost (cd)
25 W	18 W	5 - 9 W	6 W	217 - 249 lm	35
40 W	20 či 28 W	7 - 11 W	7 - 8 W	410 - 470 lm	70
60 W	30 či 42 W	11 - 15 W	12 W	702 - 806 lm	115
75 W	52 - 53 W	15 - 18 W	14 W	920 - 1055 lm	150
100 W	70 W	20 - 23 W	15 W	1326 - 1521 lm	200
150 W	105 W	24 - 33 W	18 W	2137 - 2452 lm	350

1 Kandela je svítivost světelného zdroje, který v daném směru emituje (vyzařuje) monochromatické záření o frekvenci  $540 \times 10^{12}$  hertzů a jehož zářivost (zářivá intenzita) v tomto směru činí  $1/683$  wattů na jeden steradián.

# DEFINICE KANDELY – ZÁKLADNÍ JEDNOTKA SI

**1 Kandela je svítivost** světelného zdroje, který v daném směru emituje (vyzařuje) monochromatické záření o **frekvenci  $540 \times 10^{12}$  Hz** a jehož zářivost (zářivá intenzita) v tomto směru činí  **$1/683$  wattů na jeden steradián**.

V definici zvolená frekvence 540 THz se nachází přibližně **uprostřed oblasti viditelného spektra**, blízka světlu **zelené barvy** při **vlnové délce 555 nm**. Jedná se o vlnovou délku, pro kterou je lidské oko při denním vidění nejcitlivější.



# BARVY SVĚTELNÝCH ZDROJŮ



1,000



2,000



3,000



4,000



5,000



6,000



7,000



8,000



9,000



10,000 K

Warm



COLOR TEMPERATURE SCALE



Cool

# PŘEHLED VELIČIN

- Radiometrické
- Intenzita ozáření:

$$E_e = \frac{\Delta\Phi_e}{\Delta S}$$

Jednotka: W / m<sup>2</sup>

Kolmý dopad světla:

$$E = \frac{I}{r^2}$$

- Fotometrické
- Osvětlení:

$$E = \frac{\Delta\Phi}{\Delta S}$$

Jednotka: lx (lux)

➤ lat. *lux* = světlo

Zdroj	Osvětlení (lx)
Slunce v létě/zimě	100 000 / 10 000
Hranice tmy/šera	0,1 / 1
Měsíc v úplňku	0,2
Osvětlení pro čtení (hygiena)	500
Osvětlení schodiště (hygiena)	15

# MĚŘENÍ OSVĚTLENÍ

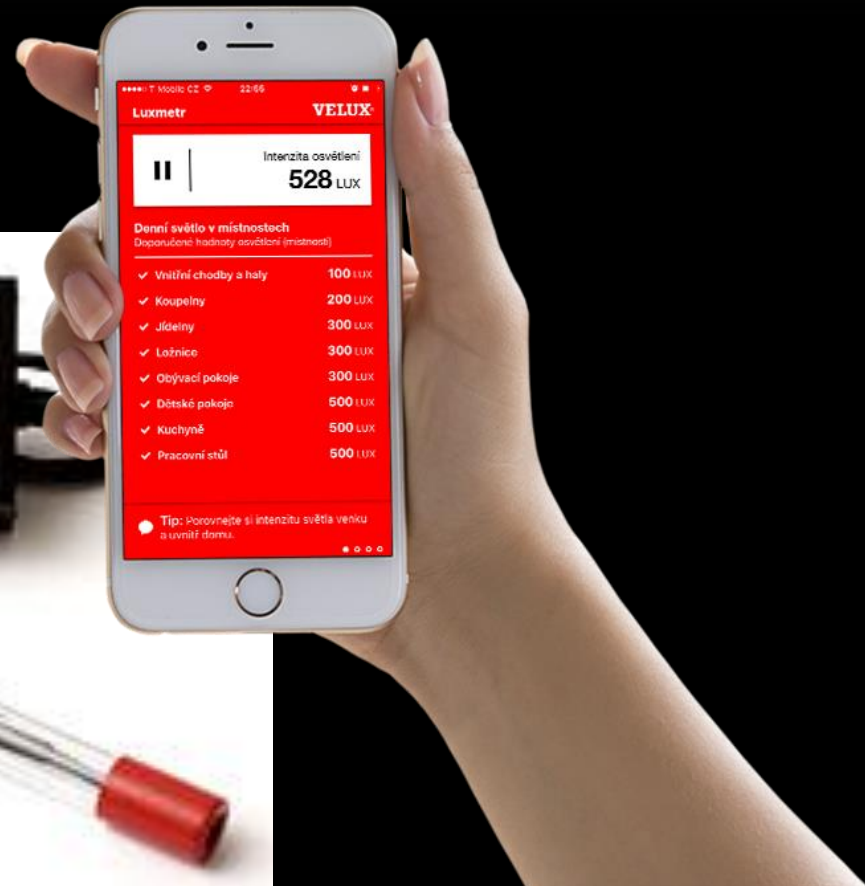
➤ Luxmetr – přístroj pro měření osvětlení



Profi



Vernier



Android

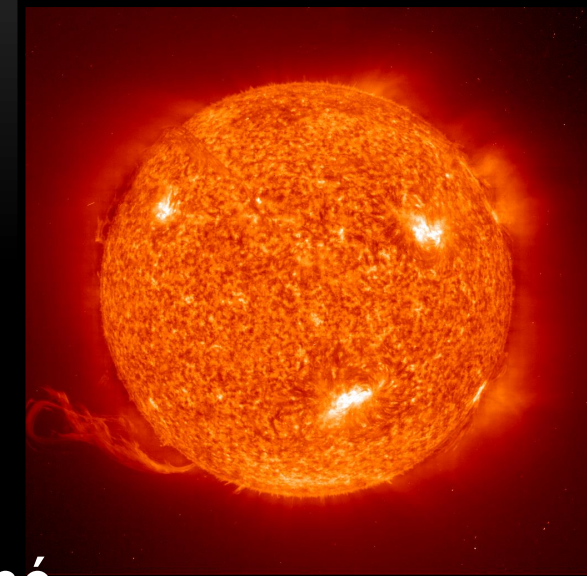
# 3. ZÁŘENÍ ABSOLUTNĚ ČERNÉHO TĚLESA

- Elektromagnetické záření vydávají v přírodě všechna tělesa.
- Příčinou je tepelný pohyb atomů zdroje – záření označujeme jako **tepelné záření**.
- Chladná vyzařují okem neviditelné infračervené záření, **zahřátá tělesa (asi nad 500 °C) pak záření viditelné**.
- Při dopadu záření na těleso může toto těleso záření:
  - pohltit (absorbovat)
  - odrazit

# ABSOLUTNĚ ČERNÉ TĚLESO

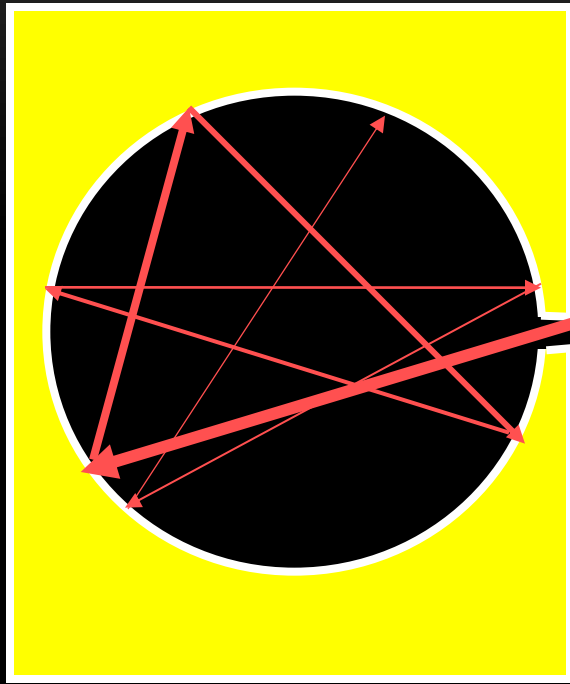
## Absolutně černé těleso

- neexistuje, je pouze abstrakcí
- pohlcuje všechnu energii na něj dopadající
- nedochází k žádnému odrazu záření
- za nízkých teplot se nám jeví dokonale černé
- jeho vlastnostem se nejvíc blíží dutina, jejíž vnitřní povrch tvoří matná černá plocha; poté je otvor dutiny černým tělesem
- pozorujeme-li rozžhavené absolutně černé těleso, jeví se nejprve jako **černé**, **červené**, se vzrůstající teplotou jako **oranžové**, **žluté** a bílé.

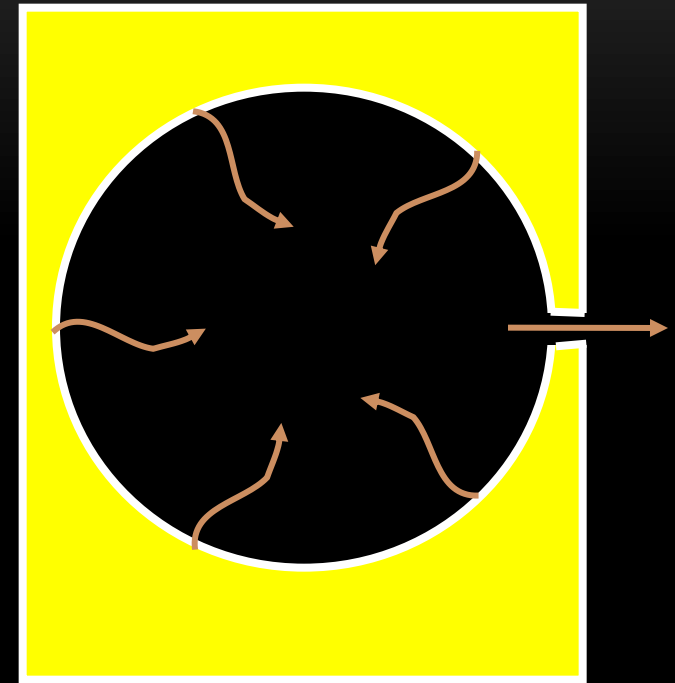




# ABSOLUTNĚ ČERNÉ TĚLESO



Záření dopadající z vnějšku je dokonale pohlceno (podobně jako u oka, ale i Slunce).



**V absolutně černém tělese je v rovnováze vyzařování a pohlcování záření.**

**Vlnová délka vycházejícího záření závisí pouze na teplotě tělesa.**

# STEFANŮV-BOLTZMANNŮV ZÁKON

➤ určuje hodnotu celkové energie, kterou zdroj záření vyzáří za 1 s

$$M_e = \sigma \cdot T^4$$

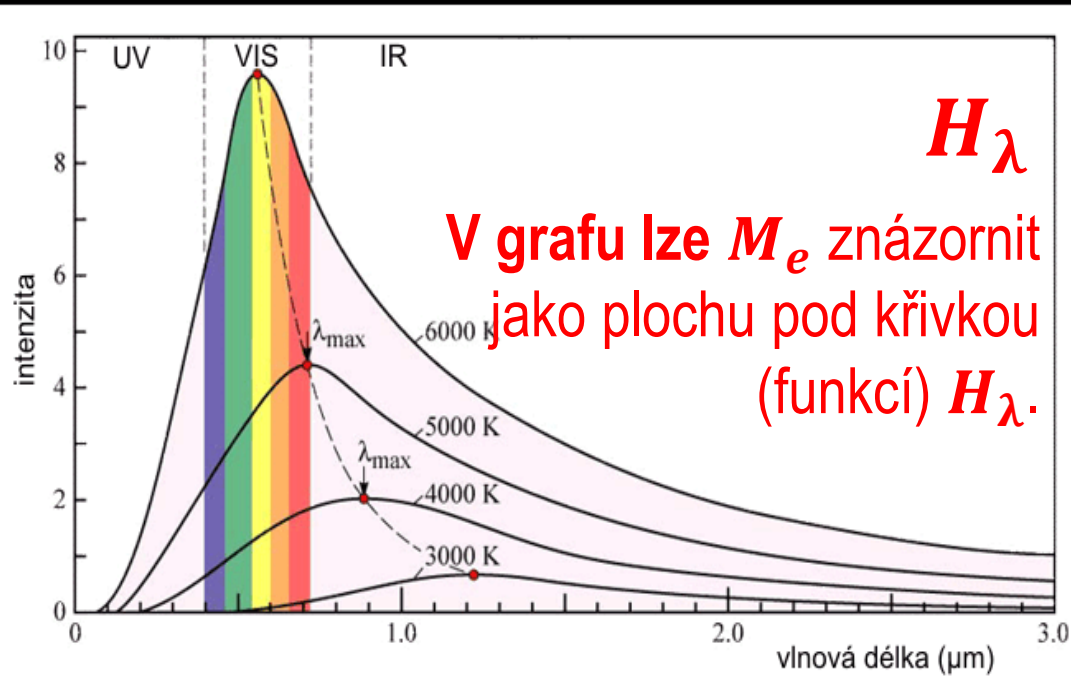
$M_e$  – celková intenzita tepelného záření AČT

$$[M_e] = \text{W m}^{-2}$$

$T$  – termodynamická teplota

$$[T] = \text{K (kelvin)}$$

$\sigma$  – Stefan-Boltzmannova konstanta  $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$

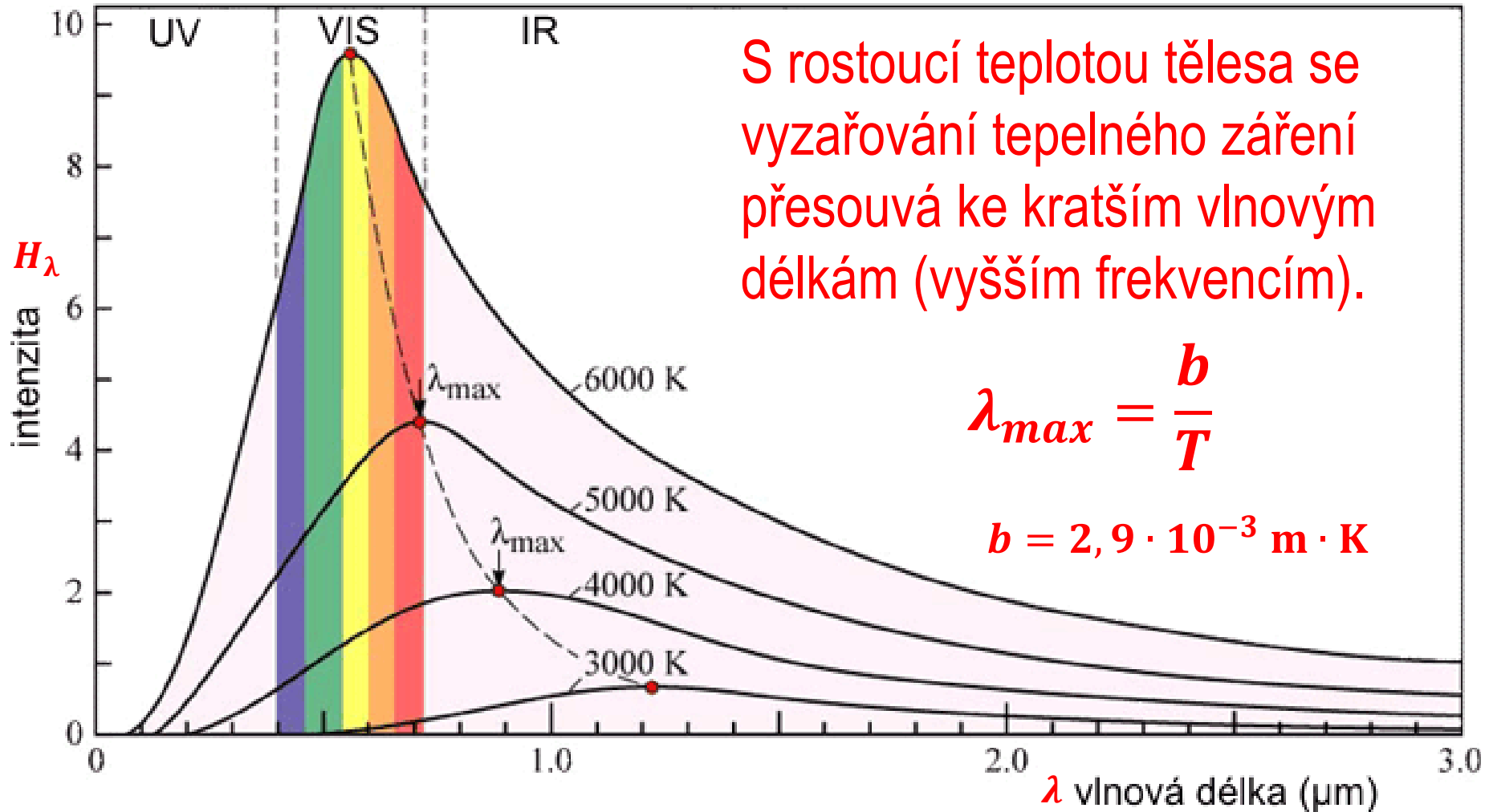


... spektrální hustota vyzařování

$$H_\lambda = \frac{\Delta M_e}{\Delta \lambda} \quad \text{pro konstantní } T$$

# WIENŮV POSUNOVACÍ ZÁKON

Fyzikální zákon, který konstatuje, že při záření AČT je **maximální energie vyzařována na vlnové délce  $\lambda_{max}$ , která se s rostoucí teplotou snižuje.**



# HLEDÁNÍ VZORCE PRO $H_\lambda$

1896 – Wienův zákon – platí v krátkovlnné oblasti a pro nízké teploty

$$H_\lambda \sim \frac{e^{-\lambda T}}{\lambda^5}$$

$$u(\lambda, T) = \frac{8\pi hc}{\lambda^5} \exp\left(-\frac{hc}{\lambda k_B T}\right)$$

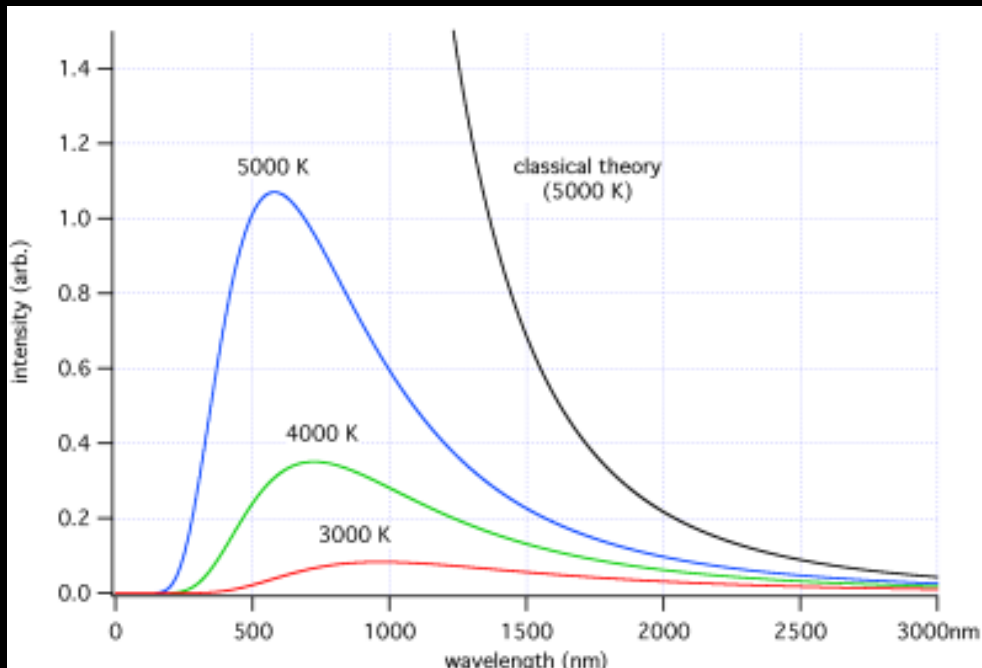
1900 – Rayleighův-Jeansův zákon – platí v dlouhovlnné oblasti a pro vysoké teploty

$$H_\lambda \sim \frac{T}{\lambda^4}$$

$$u(\lambda, T) = \frac{8\pi}{\lambda^4} k_B T$$

➤ Selhání pro krátké vlnové délky - **UV katastrofa**

$$\lim_{\lambda \rightarrow 0} U(\lambda) = \infty$$



# HLEDÁNÍ VZORCE PRO $H_\lambda$

1900 – **Planckův zákon** – platí univerzálně (Max Planck, 1858 – 1947)

$$H_\lambda \sim \frac{e^{-\frac{1}{\lambda T}}}{\lambda^3}$$

$$H = \frac{2h}{c^2} f^3 \cdot e^{-\frac{hf}{kT}}$$

$$u(\lambda, T) = \frac{8\pi hc}{\lambda^5} \frac{1}{\exp\left(\frac{hc}{\lambda k_B T}\right) - 1}$$

Limita Planckova zákona pro  $hc/(\lambda k_B T) \gg 1$  je Wienův vzorec, pro

$hc/(\lambda k_B T) \ll 1$  vyjde Raleighův-Jeansův zákon

- rozpor vyřešil hypotézou, že AČT nevyzařuje spojitě, ale po určitých kvantech energie, které jsou celistvým násobkem energie dané jako

$$E = nhf$$

$h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$  ... Planckova konstanta

$f$  ... frekvence záření,  $n = 1,2,3,4, \dots$

- položil tak základ nové oblasti fyziky – **kvantové fyziky**
- **1905 A. Einstein na základě kvantové hypotézy vysvětlil fotoelektrický jev (1921)**

# 4. SPEKTRA LÁTEK

**Emisní** – látka vyzařující určitou část elmag. záření

**Absorpční** – vzniká pohlcením světla některých vlnových délek při průchodu látkou

**Čárová** – spektra vyzařovaná atomy prvků

**Pásová** – vyzařují je molekuly

**Spojité spektra** – obsahují určitý rozsah vlnových délek

– jsou vyzařována rozžhavenými pevnými tělesy



Ne - emisní



Hg - emisní

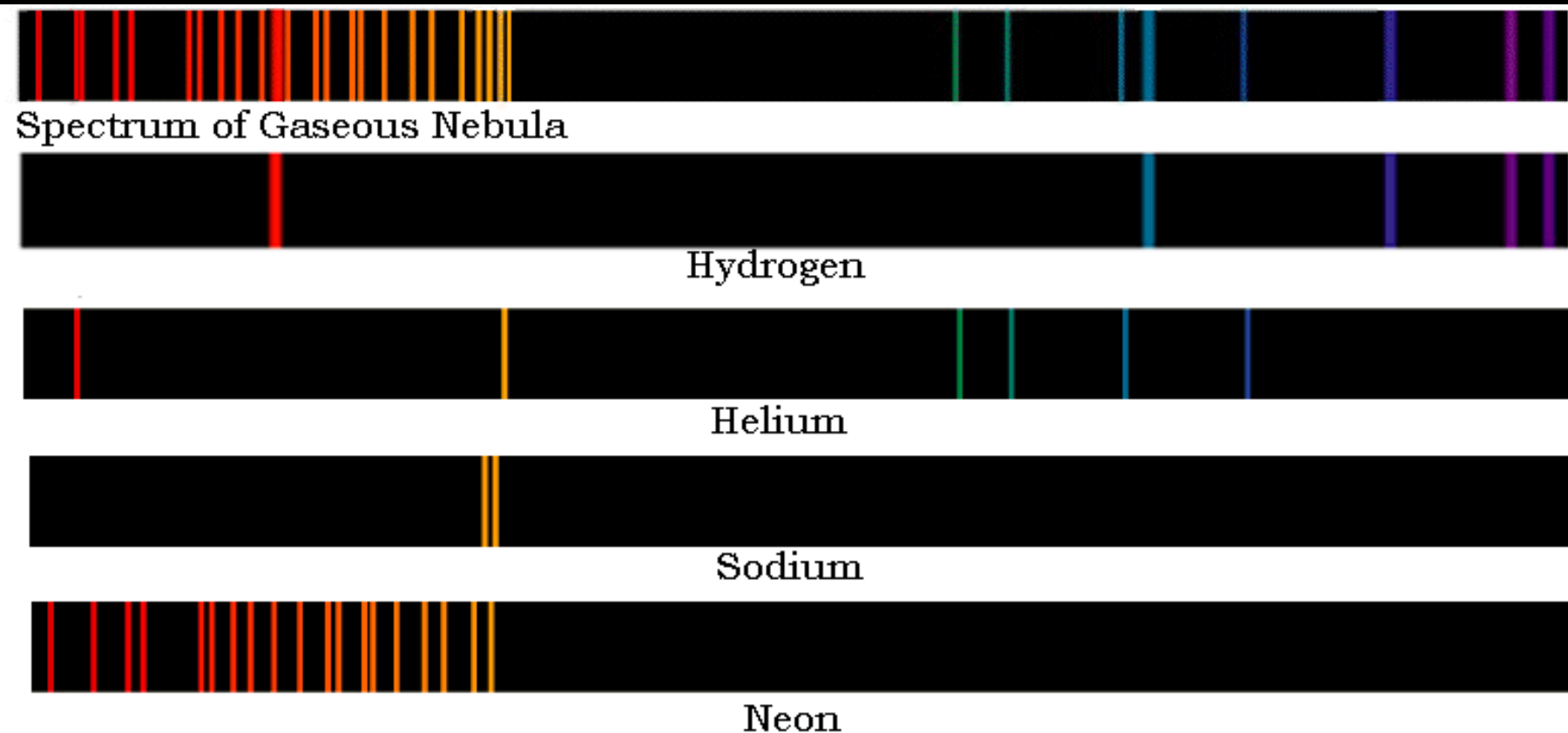
# SPEKTRÁLNÍ ANALÝZA – EMISNÍ SPEKTRA PRVKŮ

## Spektrální analýza

– důležitý zdroj informací o složení látky

## Spektroskop

– přístroj založený na rozkladu světla hranolem nebo difrakční mřížkou



# SPEKTROSKOPY

## Hranolový spektroskop



## Mřížkový spektroskop

