

# C8930 - Metody plazmochemické konzervace

Úvod, definice plazmatu, základní  
charakteristika

D.Pavliňák      2019

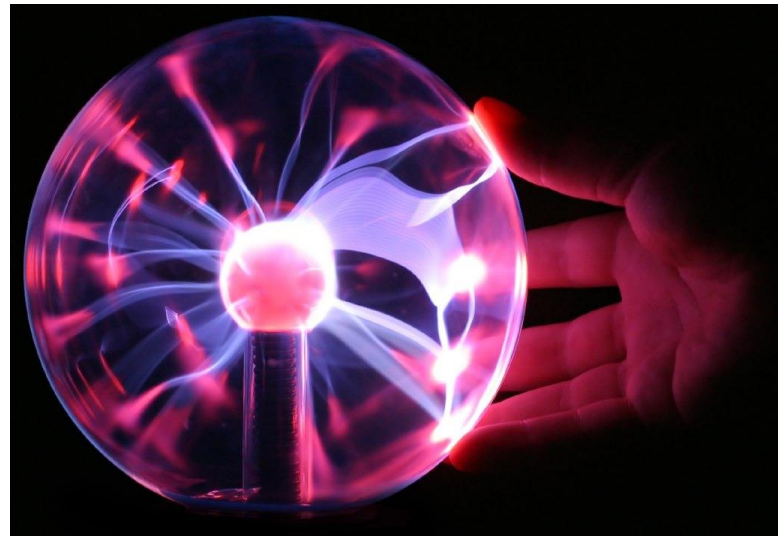
# C8930 – „Velmi lehký úvod do fyziky plazmatu“

1. Úvod: definice plazmatu a základní pojmy (srážkové procesy, Debyeův poloměr, plazmová frekvence, charakteristiky plazmatu, Boltzmannova kinetická rovnice).
2. Transportní procesy v plazmatu a jeho elektromagnetické vlastnosti (koeficient difúze a vodivost plazmatu, dielektrické vlastnosti plazmatu, permitivita a index lomu, šíření elmg. vln v plazmatu)
3. Výboje v plynech (Townsendova teorie růstu lavin a podmínka zapálení el. výboje, Paschenův zákon, podmínka zapálení vysokofrekvenčního výboje)
4. Typy a charakteristiky výbojů (základní rozčlenění na nízkotlaké a vysokotlaké výboje, stejnosměrné, nízkofrekvenční, vysokofrekvenční a mikrovlnné výboje)
5. Nízkotlaké výboje (vysokofrekvenční kapacitní a induktivní výboj, mikrovlnné výboje)
6. Vysokotlaké výboje (oblouk, povrchové a bariérové výboje, klouzavý výboj, koróna, pochodňový výboj, plazmová tužka, plazmatron)
7. Plazmová chemie (rychlost plazmochemické reakce a typy těchto reakcí)
8. Interakce plazmatu s pevnou látkou a s kapalinou
9. Diagnostické metody plazmatu (optická a hmotnostní spektrometrie, elektrická měření, sondová měření, optická mikroskopie)
10. Plazmochemická redukce (kovy)
11. Plazmochemické nanášení vrstev, aktivace-pasivace povrchu (kov, sklo, keramika, textil, papír)
12. Plazmová tužka (úprava povrchu v kapalině a na volné atmosféře - kov, sklo, keramika, papír)
13. Laser (princip, druhy laserů)
14. Laserová ablace (kov, kámen, papír)

# Úvod: Plazma vs. Plazma

1) **Plazma**, -y (**ž.**), (6. j. -u) (z řec.) (1) biol. *bioplazma*, *protoplazma*, buněčná p.; (2) krevní p. (jen -y ž.) tekutá složka krve

2) **Plazma**, -matu (**s.**), fyz. vysoce ionizovaný plyn vznikající vysokou teplotou, zářením apod.

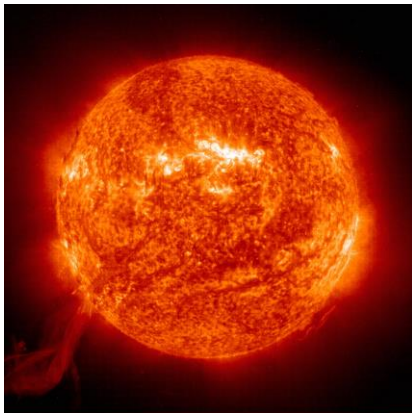


# Definice plazmatu

- Plazma je čtvrté skupenství hmoty a také nejrozšířenější forma látky – tvoří 99% viditelné hmoty vesmíru.
- Plazma je ionizovaný plyn složený z elektronů a iontů (případně i neutrálních molekul a atomů).
- Abychom mohli ionizovaný plyn považovat za plazma musí splňovat jisté vlastnosti – tzv. kritéria plazmatu. (Kolektivní chování a kvazineutralitu)

# Základní charakteristika plazmatu:

- Stupeň ionizace – (V plazmatu dochází neustále ke srážkám částic mezi sebou – elektrony, ionty a neutrálních částice. Podle převládajícího typu srážek dělíme plazma na dva druhy.)
  - Silně (Plně) ionizované plazma - v plazmatu je většina molekul (atomů) ionizováno na elektron a ion. (Převládají srážky elektron-ion,  $\underline{v_{ei}} > \underline{v_{en}}$ )
  - Slabě ionizované plazma - v plazmatu je většina molekul (atomů) neionizovaných. (Převládají srážky elektron-neutrál,  $\underline{v_{ei}} < \underline{v_{en}}$ )

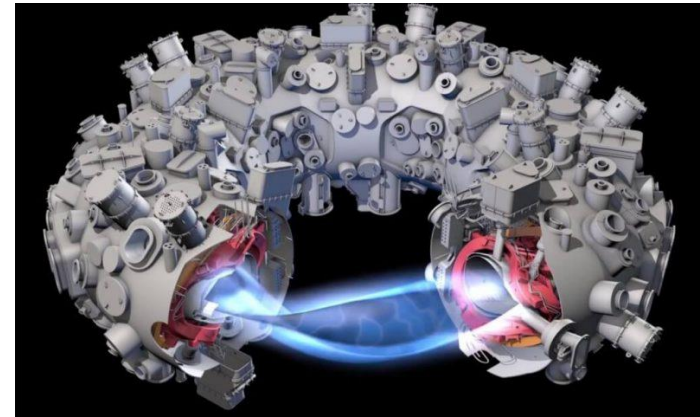


Ukázka silně ionizovaného plazmatu (plazma v jádru slunce) a slabě ionizované plazma (výboj v neonové trubici).



# Základní charakteristika plazmatu:

- Teplota plazmatu – podle teploty rozlišujeme plazma na vysokoteplotní a nízkoteplotní.
  - Vysokoteplotní (termické) – má střední energii částic větší než 100 eV (teplota je více jak milión °C). Je to plazma, které se nachází ve hvězdách nebo ve fúzních reaktorech. Zpravidla se jedná o silně ionizované plazma, kde je teplota elektronů rovna teplotě iontů ( $T_e = T_i$ ). Takové plazma nazýváme také jako izotermické.
  - Nízkoteplotní (studené) – je většinou slabě ionizované plazma, kde je teplota lehkých částic (elektronů) je o několik řádů vyšší než teplota těžkých částic (neutrály, ionty), plazma označujeme jako neizotermické ( $T_e \gg T_i = T_n$ ).



Greifswald - Wendelstein 7-X



Brno - DCSBD

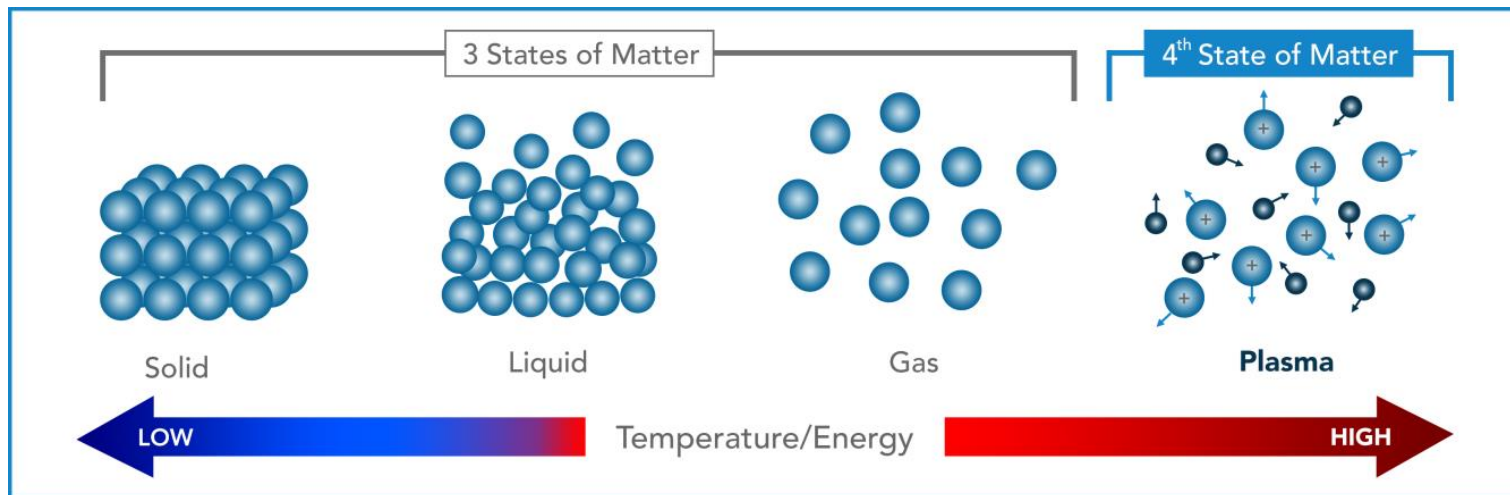
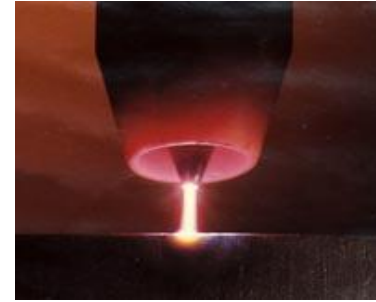
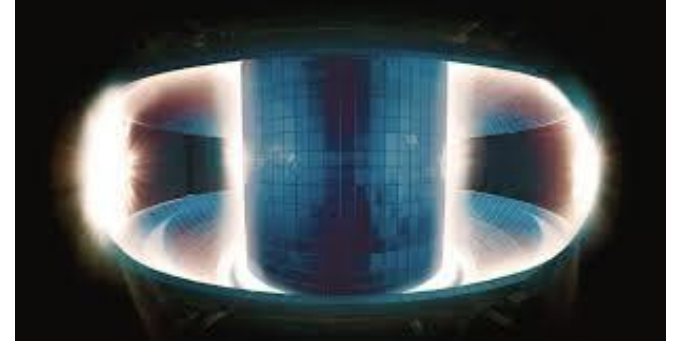
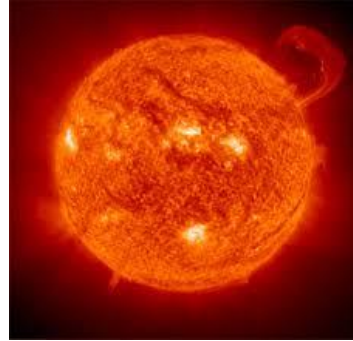
Ukázka termického plazmatu (plazma ve fúzním reaktoru) a studeného neizotermického plazmatu (DCSBD), kde je sice teplota elektronů cca 10 000 K, ale teplota těžkých částic je na úrovni okolní teploty. (Zjednodušeně: díky malé hmotnosti elektronu (cca 1/1000 hmotnosti protonu) má elektron i nízkou kinetickou energii, a tudíž při srážkách není schopen efektivně předávat/přeměnit kinetickou energii na teplo = plazma je studené.)

# Další dělení

- Dle původu:
  - Přírodní – korona slunce, blesk, polární záře...
  - Umělé – zářivka, elektrické výboje v laboratoři...
- Dle tlaku pracovního plynu:
  - Nízkotlaké – magnetrony, CCP – leptání/povlakování...
  - Atmosférické – DBD, ozonizátory, plazmové jety...
- Dle způsobu generování:
  - Elektrické – CCP, ICP, DBD, MW, korona, oblouk...
  - Fúzní – termojaderný reaktor, fúze uvnitř hvězd
  - Tepelné – produkované laserem, raketové trysky

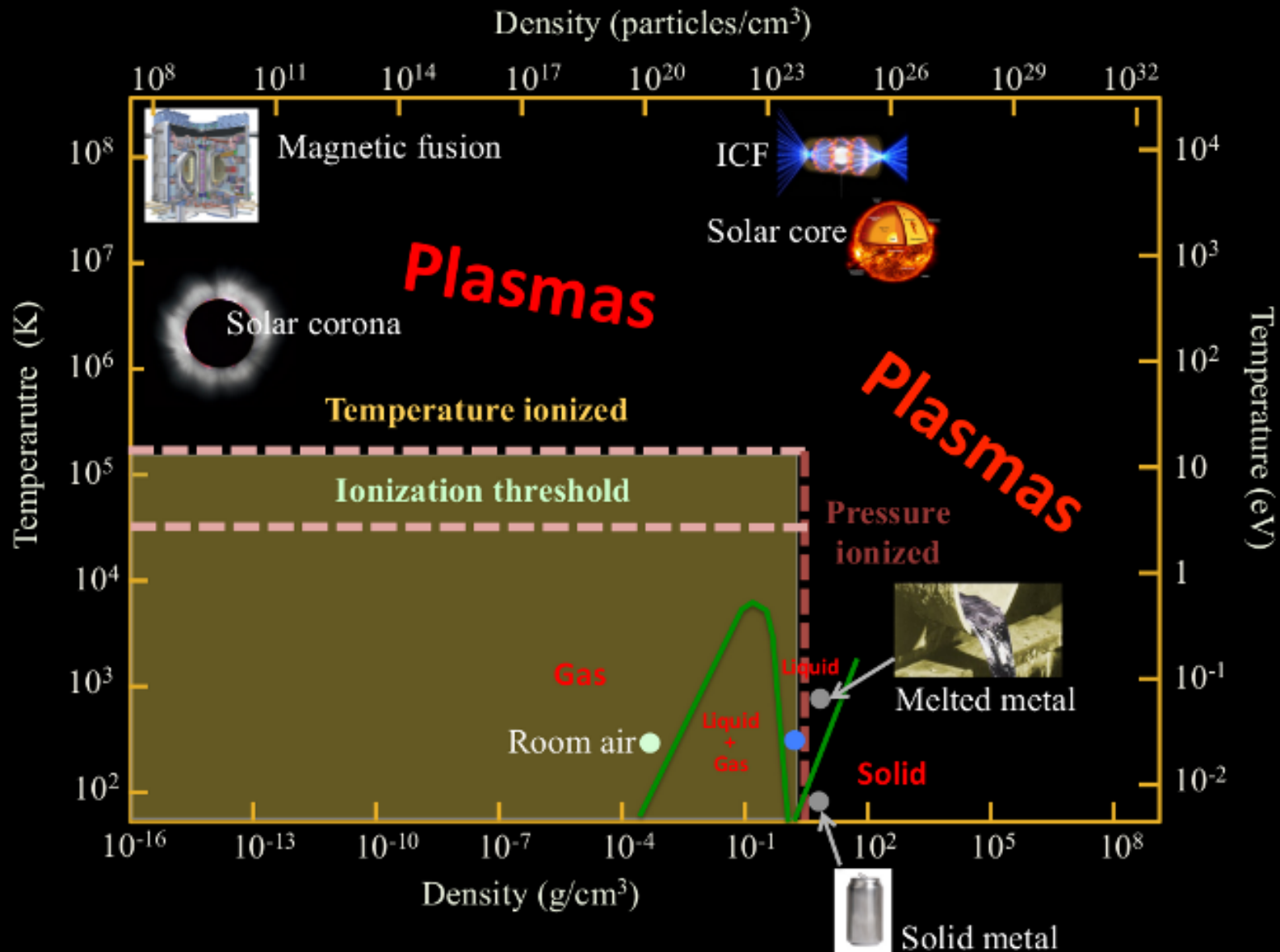


# Plazma - čtvrté skupenství hmoty

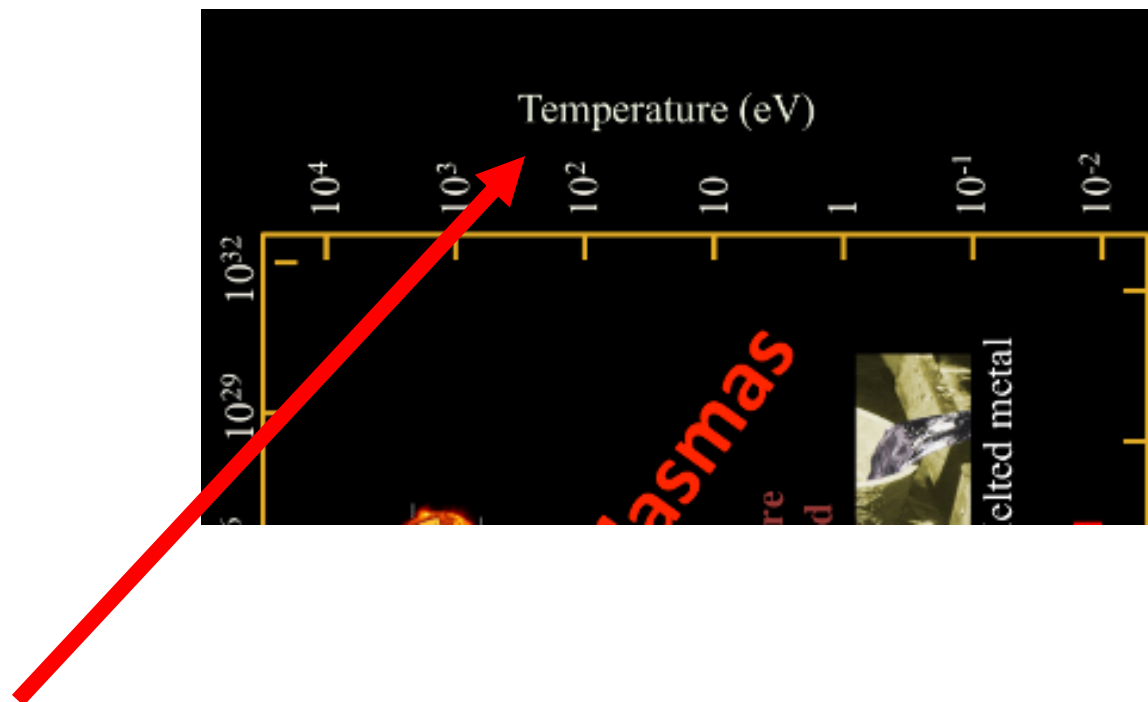




# Rozdělení plazmatu dle teploty a hustoty



# Rozdělení plazmatu dle teploty a hustoty



Teplota plazmatu v eV??? (eV = elektronvolt)  
Potřeba nadefinovat nové jednotky.

# Elektronvolt

- Elektronvolt (eV) je jednotka práce a energie. Není jednotkou SI. (Odpovídá kinetické energii, kterou získá elektron urychlený ve vakuu napětím 1V.) Má hodnotu jednoho voltu vynásobeného elementárním nábojem:

$$1\text{eV} = 1\text{V} * 1\text{e} = 1(\text{J/C}) * 1\text{e}$$

(elementární náboj je roven velikosti náboje elektronu,  $e = 1,602 * 10^{-19} \text{ C}$ )

- Z definice plyne: Energie 1eV =  $1,602 * 10^{-19} \text{ J}$

# Elektronvolt

- Jednotka elektronvolt se ve fyzice také často používá pro vyjádření hmotnosti, teploty, času vzdálenosti.
- Např. vyjádření hmotnosti v eV:
  - z rovnice  $E=mc^2$  se dá vyjádřit hmotnost 1 eV jako:  
$$1\text{eV}/c^2 = (1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 1\text{V}) / (2,99 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1})^2$$
$$= 1,783 \cdot 10^{-36} \text{ kg}$$
  - (z toho plyne, že hmotnost elektronu a protonu lze přibližně vyjádřit jako 1 MeV, respektive 1 GeV)

# Elektronvolt - teplota

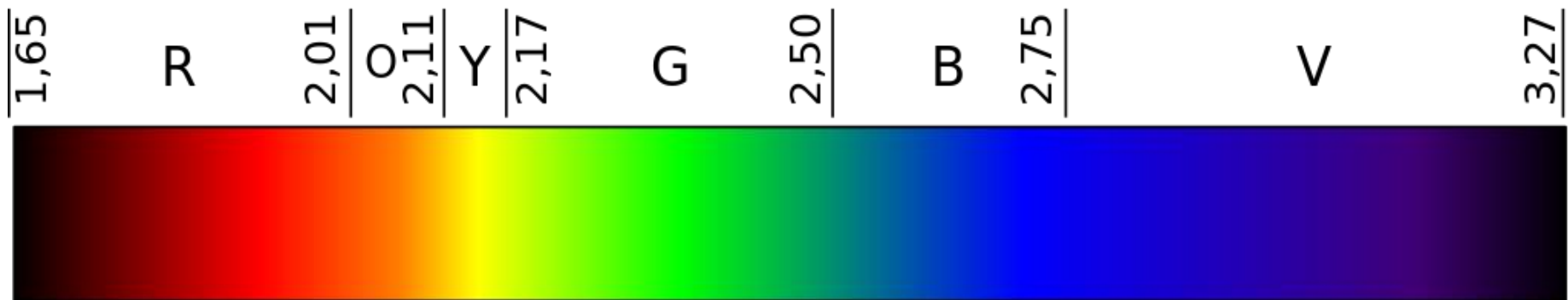
- Ve fyzice plazmatu se často teplota vyjadřuje v eV pomocí definice na Boltzmannovu konstantu ( $k_B = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ JK}^{-1}$ ):

$$1\text{eV} = 1\text{eV}/k_B = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J} / 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ JK}^{-1} = 11\,604 \text{ K}$$

- ( v praxi se často používá jen jednotka eV)
- Teplota 20°C (290 K) tedy odpovídá (290/11604): 0,025 eV
- Teplota plazmatu ve fúzním reaktoru ITER: 8-9 keV = 100 mil.°C
- Výhodou je možnost odvodit střední kinetickou energii částic:  
 $E_K = 3/2 \cdot T(\text{eV})$

# Elektronvolt – vlnová délka záření

- Převod energie na vlnovou délku záření:
- $E = h\nu = hc/\lambda$
- $h$  – Planckova konstanta  $4,135 \cdot 10^{-15}$  eVs,  $\nu$  – frekvence Hz (respektive  $s^{-1}$ ),  $\lambda$  – vlnová délka m,  $c$  – rychlost světla  $= 299 \cdot 10^6$   $ms^{-2}$
- $1eV = 1240$  nm (241,8 THz)



Typ záření		značka	frekvence	vlnová délka	vlnočet	Energie
Gamma		$\gamma$	300 EHz	1 pm		1.24 MeV
X-ray		HX	30 EHz	10 pm		124 keV
		SX	3 EHz	1 nm		12.4 keV
UV		EUV	30 PHz	10 nm		124 eV
		NUV	3 PHz	100 nm		12.4 eV
visible		blue	788 THz	380 nm	$26 \cdot 10^3 \text{ cm}^{-1}$	3.2 eV
		yellow	599 THz	500 nm	$20 \cdot 10^3 \text{ cm}^{-1}$	2.5 eV
		red	394 THz	760 nm	$13 \cdot 10^3 \text{ cm}^{-1}$	1.6 eV
Infra		NIR	300 THz	1 $\mu\text{m}$	$10^3 \text{ cm}^{-1}$	1.24 eV
		MIR	30 THz	10 $\mu\text{m}$	$1000 \text{ cm}^{-1}$	124 meV
		FIR	3 THz	100 $\mu\text{m}$	$100 \text{ cm}^{-1}$	1.24 meV
Radio	Wi-fi	MW	5 GHz	59 mm		21 $\mu\text{eV}$
	mikrovlnka	MW	2.45 GHz	12 cm		10.3 $\mu\text{eV}$
	mobil	UKV	915 MHz	3 dm		4 $\mu\text{eV}$
	rádio	VKV	100 MHz	3 m		0.4 $\mu\text{eV}$
	RFID	HF	13.56 MHz	22 m		599 neV

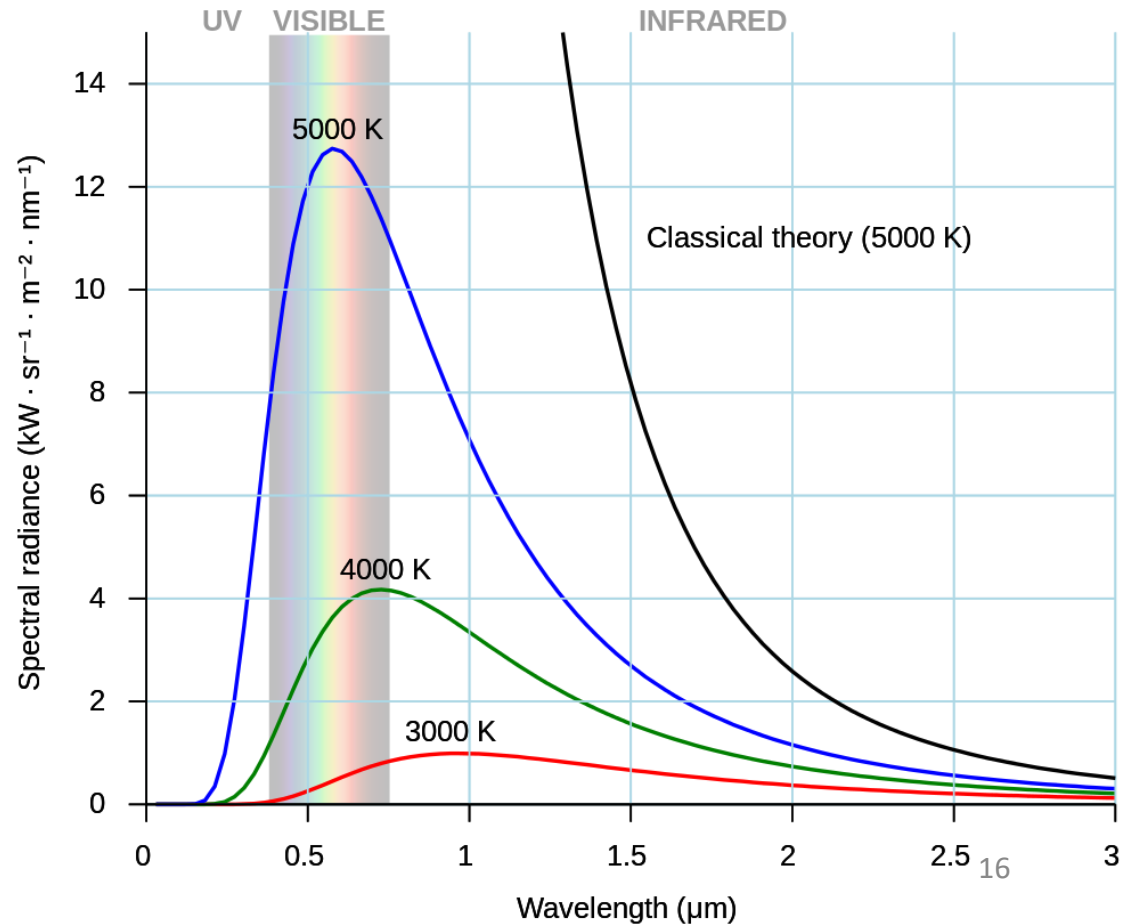


# Záření černého tělesa

- **Pozor:** U těles produkující záření se pro výpočet teploty záření používá aproximace záření černého tělesa tzv. Wienův posunovací zákon. (čím teplejší je těleso, tím více vyzařuje v maximu na kratších vlnových délkách)

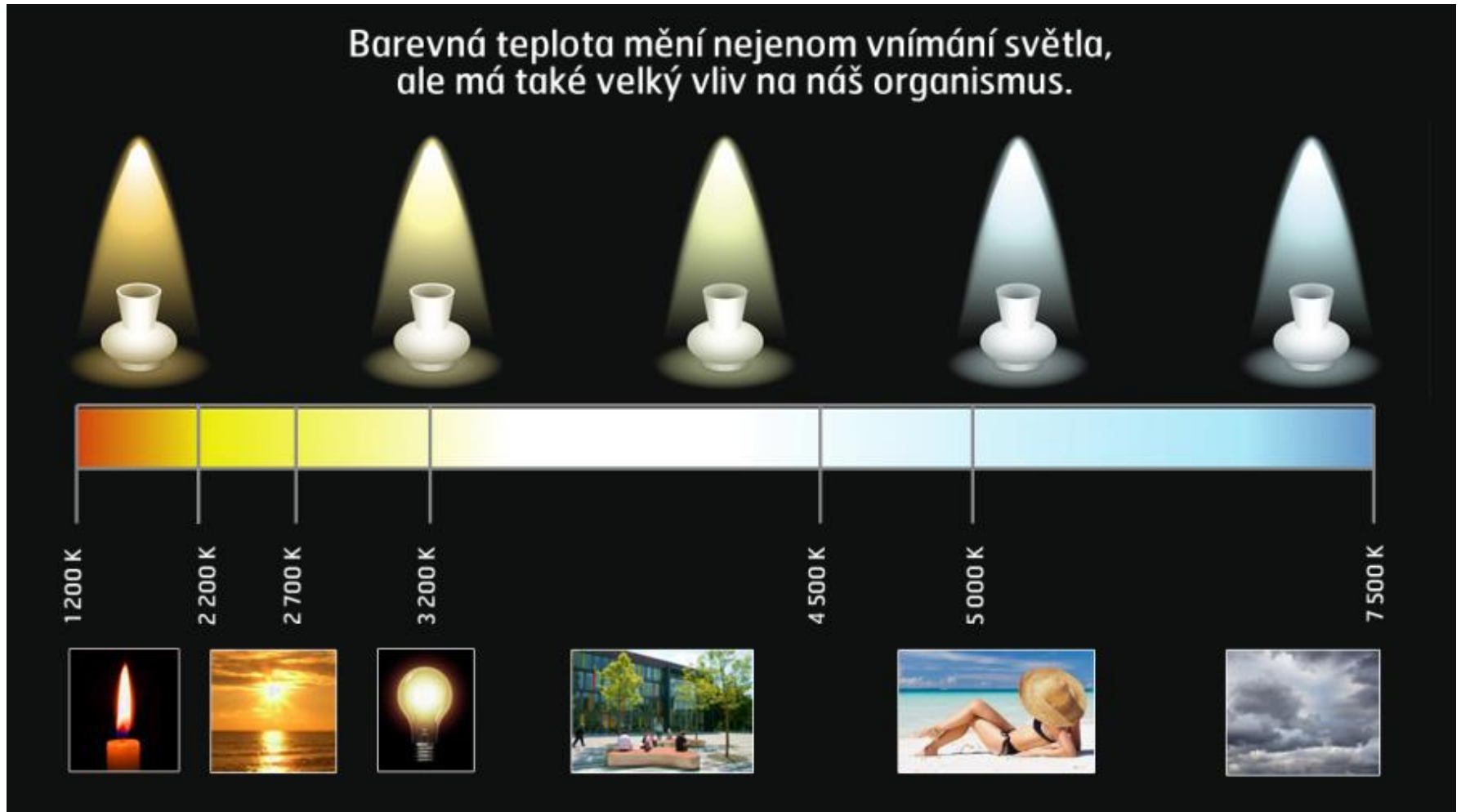
$$\lambda_{\text{max.}} = b/T$$

kde:  $b = 2,898 \cdot 10^{-3} \text{ mK}$



# Praktické využití: Světelné zdroje – teplota barev

Barevná teplota mění nejenom vnímání světla, ale má také velký vliv na náš organismus.



1800K

4000K

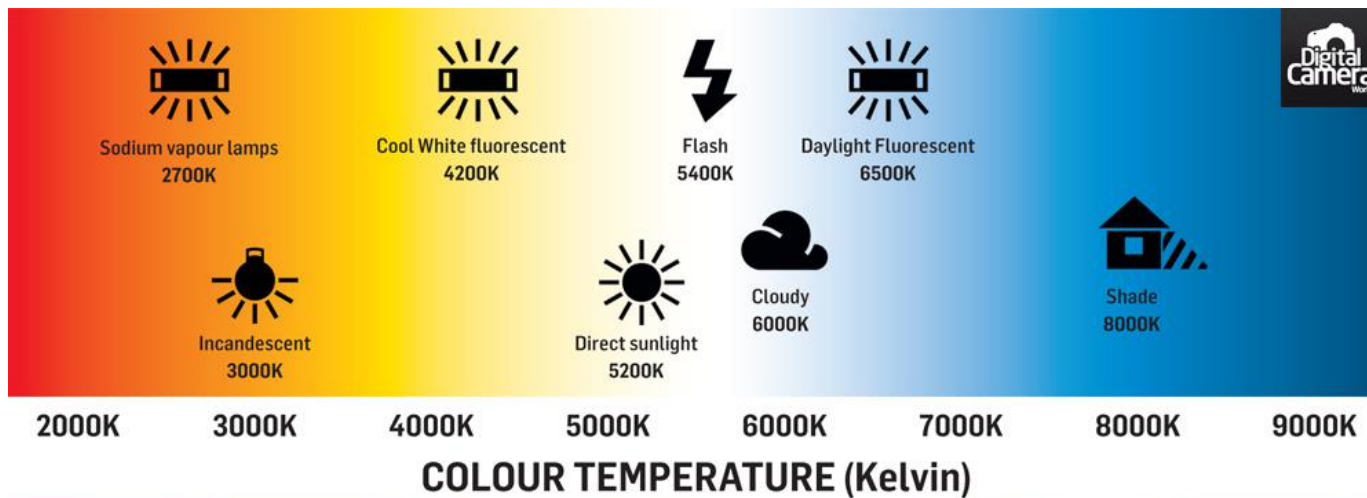
5500K

8000K

12000K

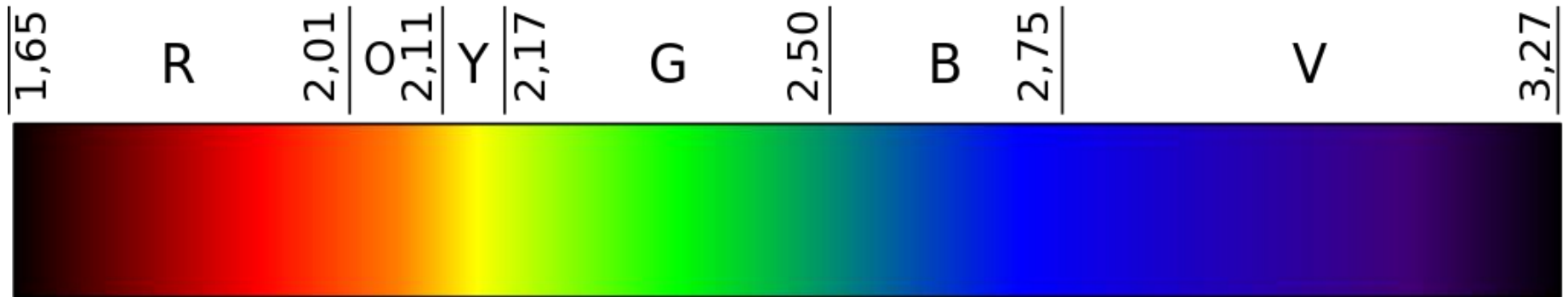
16000K

# Praktické využití: Fotografie - teplota barev/vyvážení bílé



# Úkol:

- Jakou barvu, frekvenci a energii v eV, má světlo o vlnové délce 532 nm?
- Jaká je povrchová teplota slunce, pokud vyzařuje v maximum při 500 nm?



$$c = \lambda/\tau = \lambda \cdot \nu; E = h \cdot \nu; \lambda_{\max.} = b/T, 1\text{eV} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$$\text{Wienova konstanta } \mathbf{b = 2,898 \cdot 10^{-3} \text{ mK}}$$

$$\text{Rychlost světla } \mathbf{c = 2,998 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1}}$$

$$\text{Planckova konstanta } \mathbf{h = 6,6262 \cdot 10^{-34} \text{ Js}}$$