C8930 - Metody plazmochemické konzervace

Úvod, definice plazmatu, základní charakteristika

D.Pavliňák 2023

C8930 – „Velmi lehký úvod do fyziky plazmatu“

Přednášky:
1) Definice a charakteristika plazmatu
2) Elektrické výboje v plynech
3) Typy výbojů a způsob jejich generace
4) Plazmochemické procesy na materiálech
5) Plazmochemické konzervační metody

6) Laser a jeho využití v konzervačních metodách (vyučováno jinde)
7) Lyofilizace a vakuová technika (vyučováno jinde)

6) Analytické techniky pro průzkum vzorků opracovaných plazmatem (SEM/EDX, Konfokální mikroskopie, FTIR, Raman)
7) Pokročilé analytické techniky pro průzkum vzorků opracovaných plazmatem (XPS, SIMS)

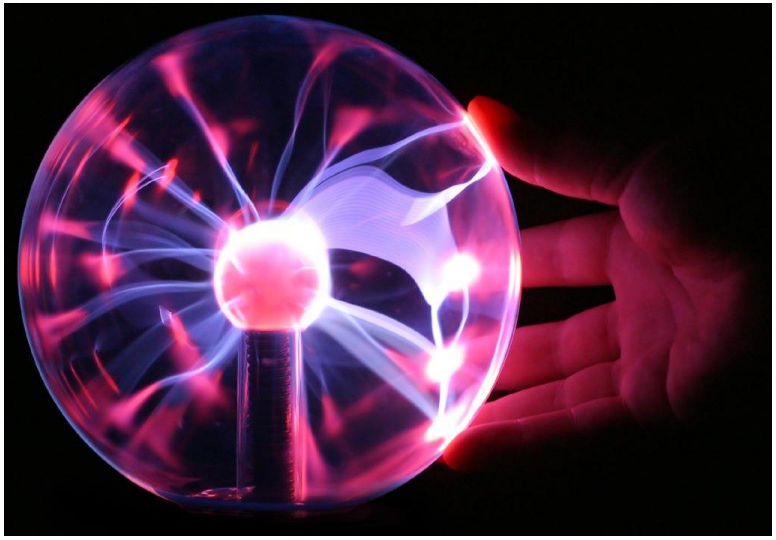
Praktická exkurze na pracoviště plazmových technologií a Analýza materiálů: (3-4h cvičení)
8) Vliv plazmatu na organické a polymerní materiály
9) Vliv plazmatu na anorganické materiály

Předpoklady k absovlování zkoušky: Účast na exkurzích – vypracování protokolu 2x.

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

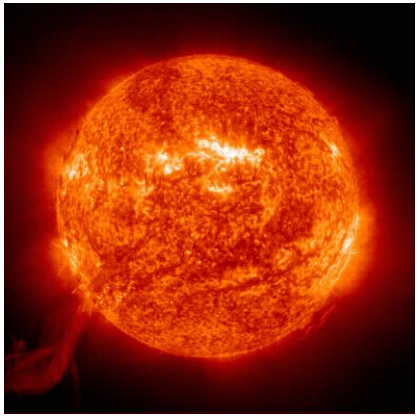
- Plazma je čtvrté skupenství hmoty a také nejrozšířenější forma látky – tvoří 99% viditelné hmoty vesmíru.

- 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:

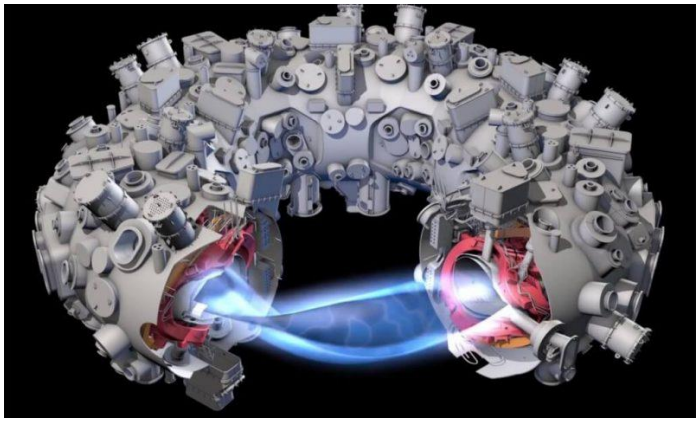
- Stupeň ionizace – (V plazmatu dochází neustále ke srážkám částic mezi sebou – elektrony, ionty a neutrálních částice. Podle převládajícího typu srážek dělíme plazma na dva druhy.)
  - Silně (Plně) ionizované plazma - v plazmatu je většina molekul (atomů) ionizováno na elektron a ion. (Převládají srážky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



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 **($T_e >> T_i = T_n$)**.



Greifswald - Wendelstein 7-X

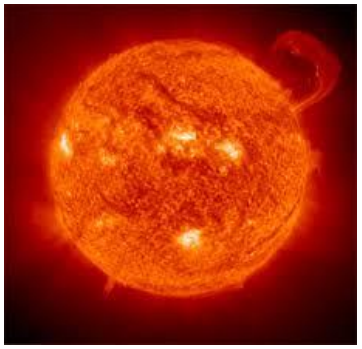
Brno - DCSBD

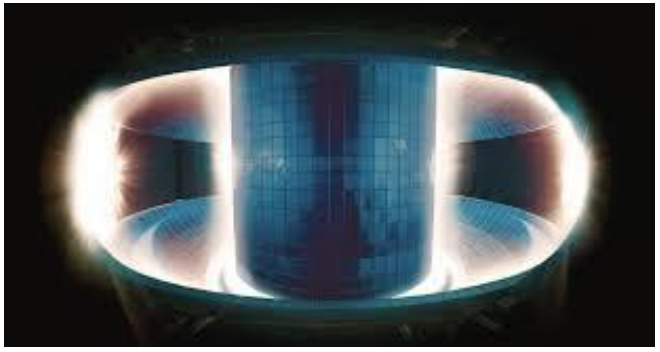
Ukázka termického plazmatu (plazma ve fúzním reaktoru) a studeného neizotermického plazmatu (DCSBD), kde je sice teplota elektronů cca 10 000 K, ale teplota těžkých částic je na úrovní okolní teploty. (Zjednodušeně: díky malé hmotnosti elektronu (cca 1/1000 hmotnosti protonu) má elektron i nízkou kinetickou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

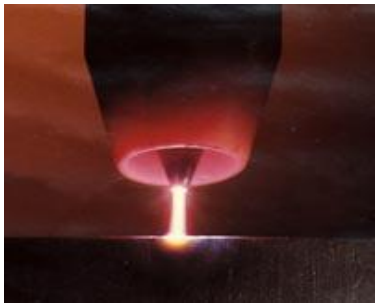
Další dělení

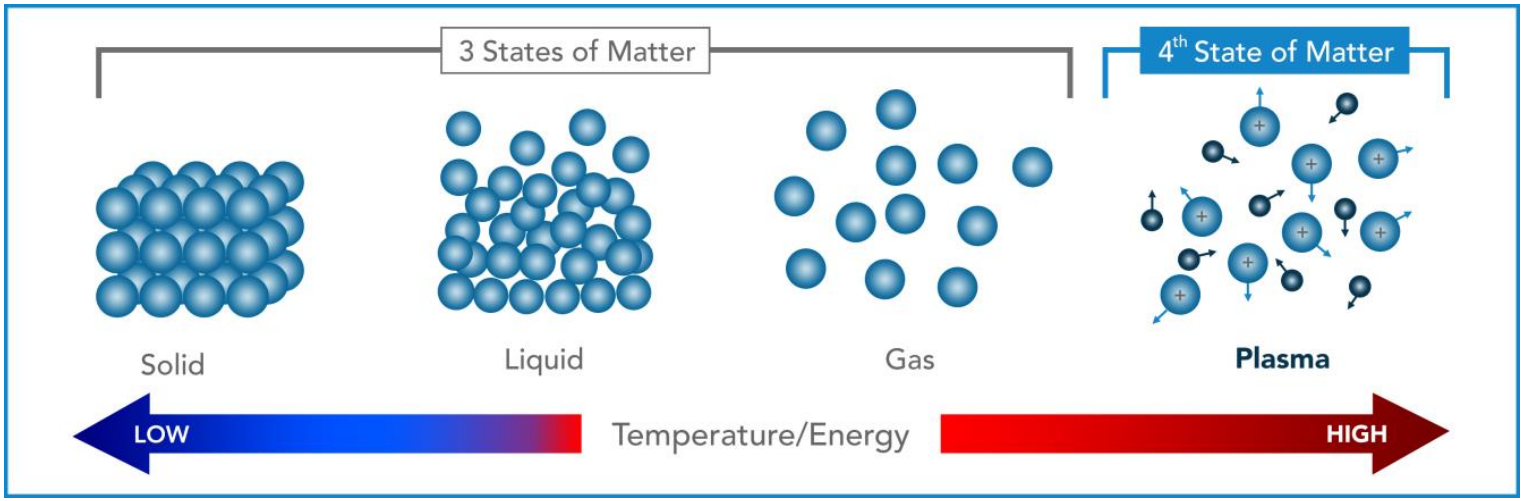
- Dle původu:
  - Přírodní – korona slunce, blesk, polární záře…
  - Umělé – zářivka, elektrické výboje v laboratoři…
- Dle tlaku pracovního plynu:
  - Nízkotlaké – magnetrony, CCP – leptání/povlakování…
  - Atmosférické – DBD, ozonizátory, plazmové jety…
- Dle způsobu generování:
  - Elektrické – CCP,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

Plazma - čtvrté skupenství hmoty

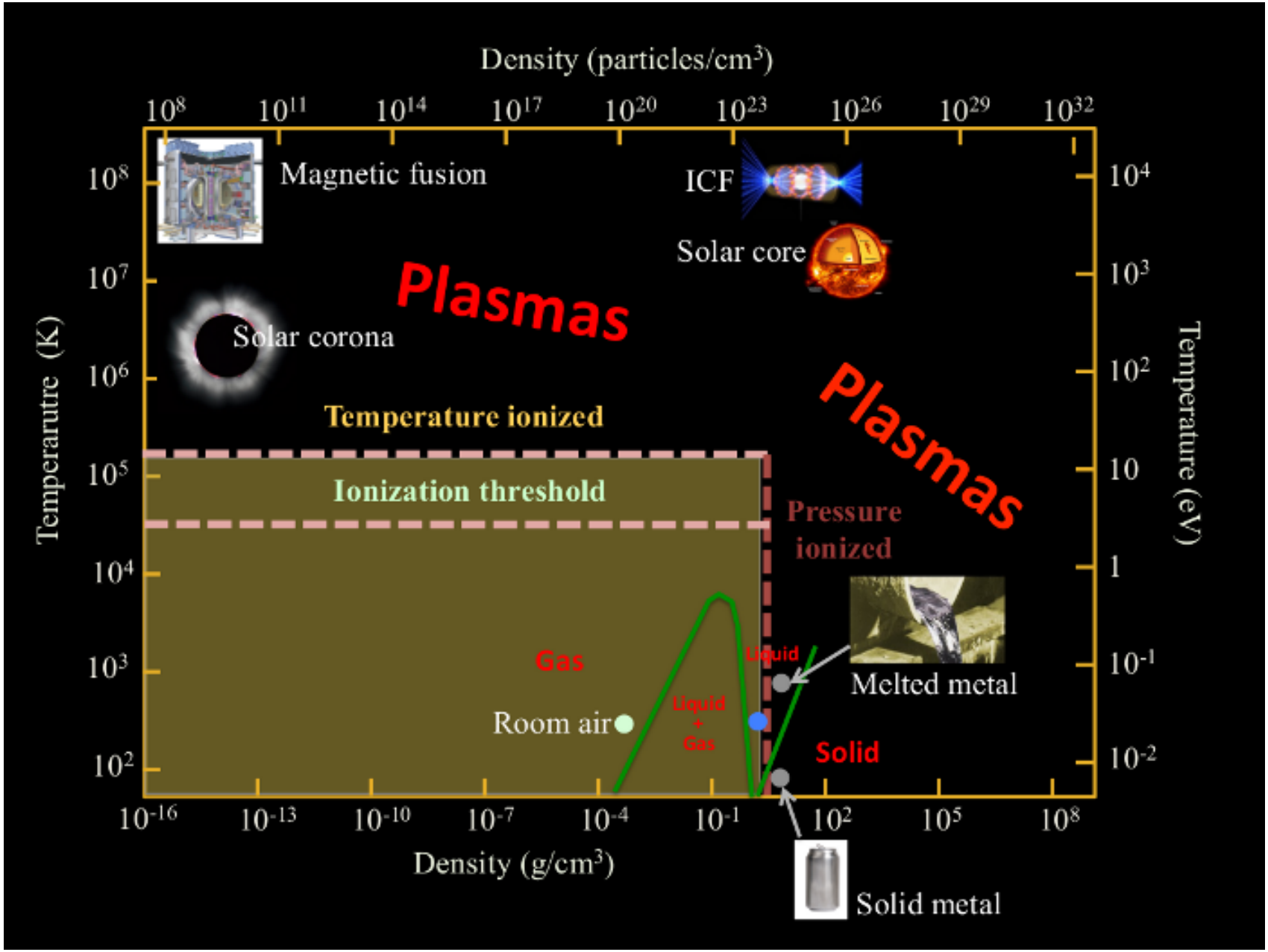




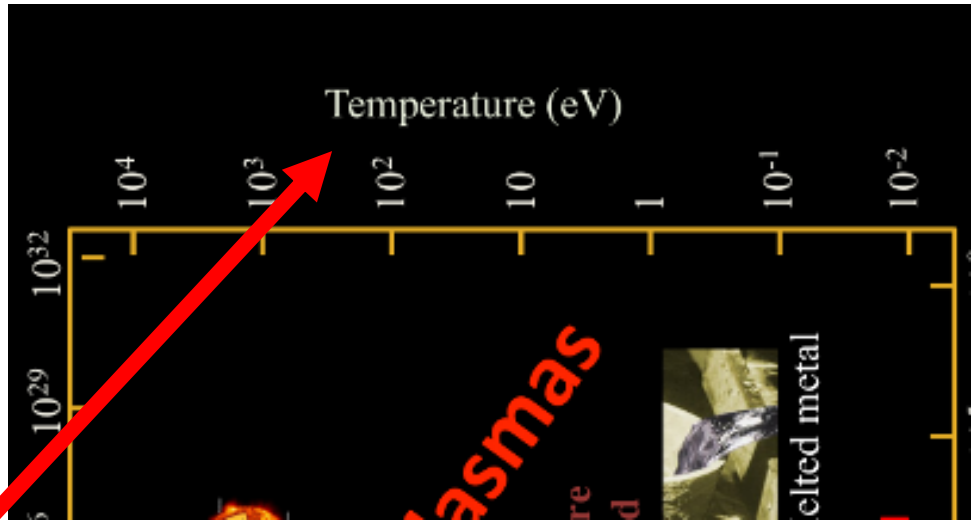




Rozdělení plazmatu dle teploty a hustoty



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:

$$1eV = 1V*1e = 1(J/C)*1e$$

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

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

  $1eV/c^2 = (1{,}602*10^{-19}\ C * 1V)/(2{,}99*10^{8}\ ms^{-1})^2$

  $= 1{,}783*10^{-36}\ kg$
  - (z toho plyne, že hmotnost elektronu a protonu lze přibližně vyjádřit jako 1 MeV, respektive 1 GeV)

Elektronvolt - teplota

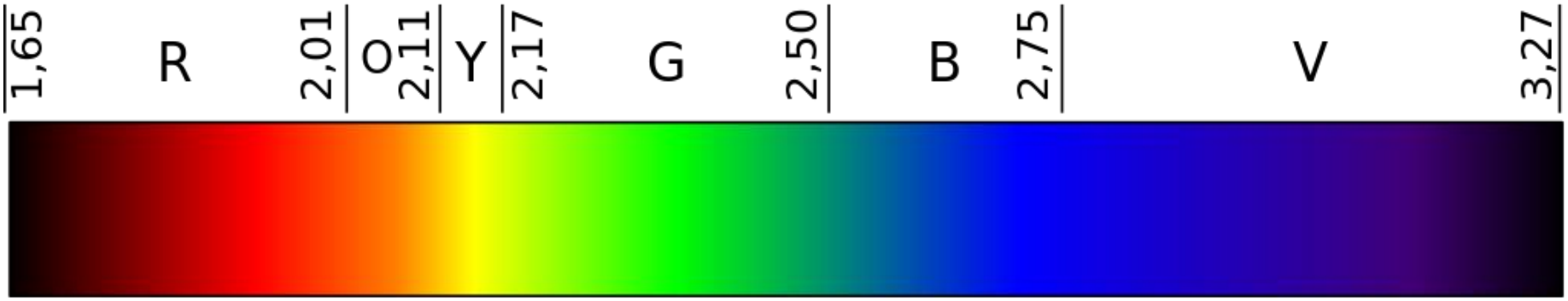
- Ve fyzice plazmatu se často teplota vyjadřuje v eV pomocí definice na Boltzmanovu konstantu (k_B = $1{,}38*10^{-23}$ JK^{-1}):

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

  - (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: $E_K = 3/2*\ T(eV)$

Elektronvolt – vlnová délka záření

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



Energie viditelného světla v eV

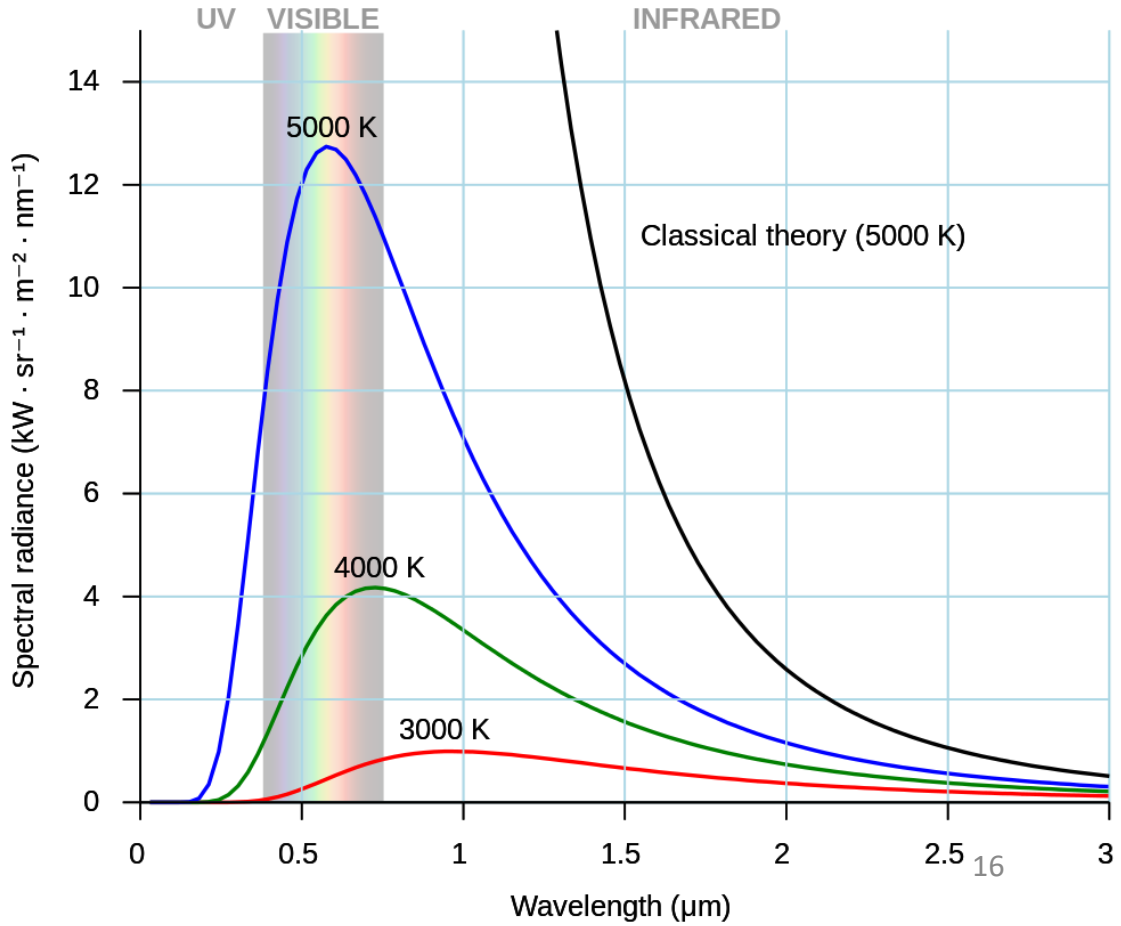
Typ záření		značka	frekvence	vlnová délka	vlnočet	Energie
Gamma		γ	300 EHz	1 pm		1.24 MeV
X-ray		HX	30 EHz	10 pm		124 keV
		SX	3 EHz	1 nm		12.4 keV
UV		EUV	30 PHz	10 nm		124 eV
		NUV	3 PHz	100 nm		12.4 eV
visible		blue	788 THz	380 nm	$26*10^3$ cm^{-1}	3.2 eV
		yellow	599 THz	500 nm	$20*10^3$ cm^{-1}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

Záření černého tělesa

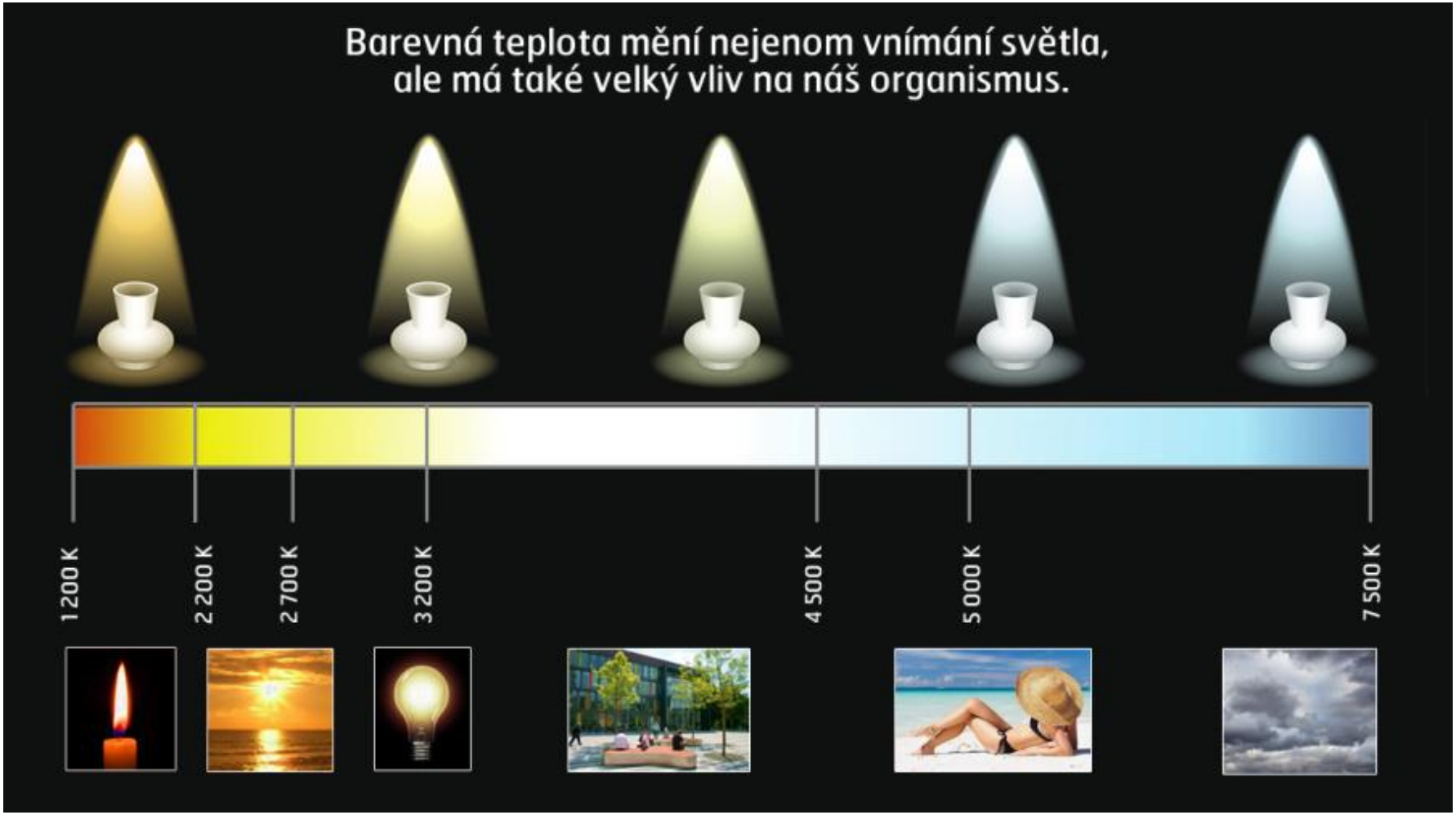
- **<u>Pozor:</u>** U těles produkující záření se pro výpočet teploty záření požívá aproximace záření černého tělesa tzv. Wienův posunovací zákon. (čím teplejší je těleso, tím více vyzařuje v maximu na kratších vlnových délkách)

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

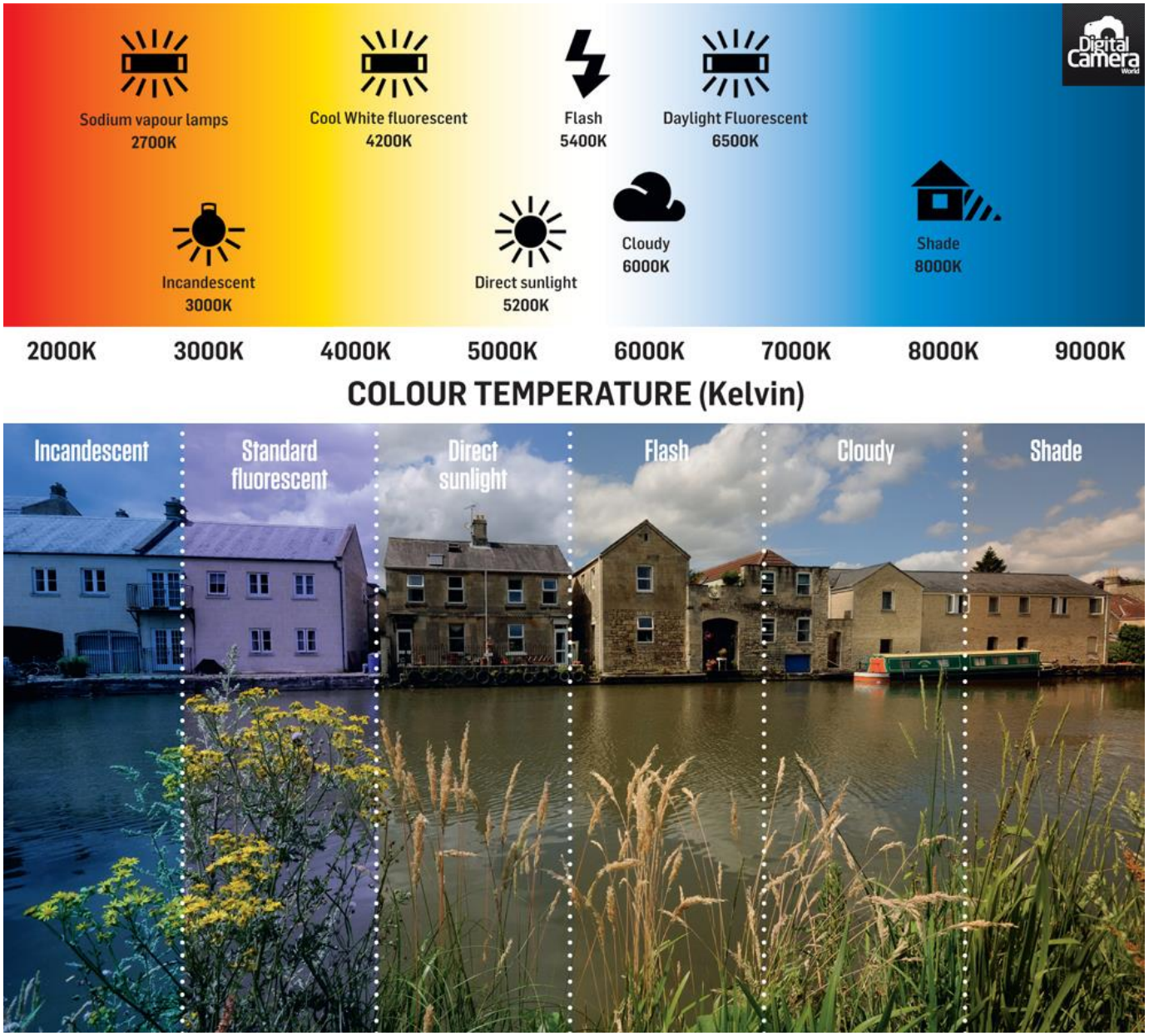
kde: $b = 2{,}898 * 10^{-3}$ mK



Praktické využití: Světelné zdroje – teplota barev

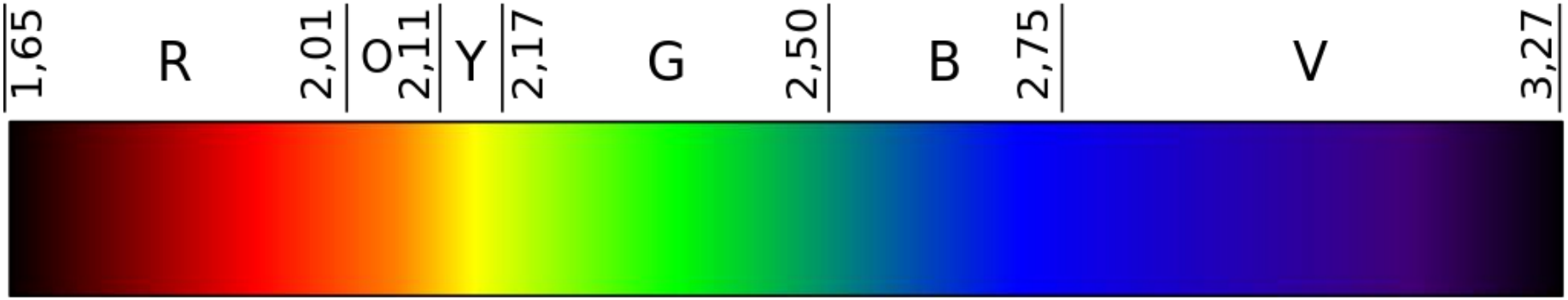


Praktické využití: Fotografie - teplota barev/vyvážení bílé



Úkol:

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



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

Wienova konstanta **$b = 2{,}898 * 10^{-3}$ mK**

Rychlost světla **$c = 2{,}998 * 10^{8}$ ms^{-1}**

Planckova konstanta **$h = 6{,}6262 * 10^{-34}$ Js**