

# Úvod do fyziky plazmatu

Lenka Zajíčková, Ústav fyz. elektroniky

---

## Doporučená literatura:

- J. A. Bittencourt, Fundamentals of Plasma Physics, 2003 (3. vydání)  
ISBN 85-900100-3-1

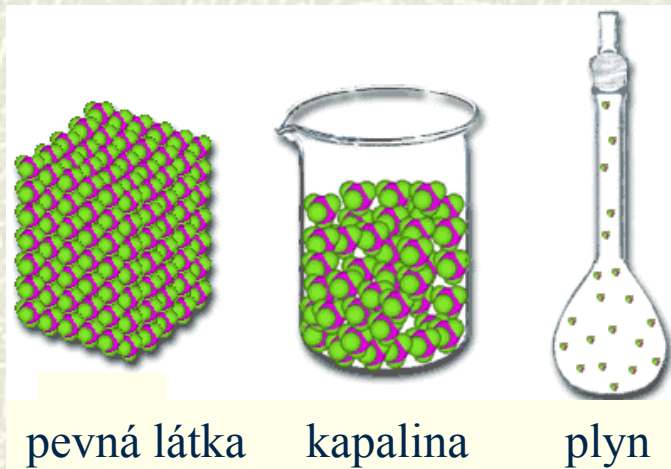
## Navazující a související přednášky:

- Technologie depozice tenkých vrstev a povrchových úprav (jarní sem.)
  - Fyzika plazmatu 1 (podzim. sem.)
  - Fyzika plazmatu 2 (jarní sem.)
-

# 1. Co je plazma?

## 1.1 Plazma je čtvrté skupenství hmoty

Tři dobře známá skupenství hmoty:



✓ Tato skupenství se **odlišují silou vazeb**, které drží částice látky pohromadě – relativně silné v pevných látkách, slabé v kapalinách a téměř úplně chybí v plynech.

✓ Důležitou fyzikální veličinou je vnitřní kinetická energie (**tepelná energie**) částic látky, tj. její teplota. Rovnováha mezi touto tepelnou energií částic a vzájemnými vazebnými silami určuje skupenství látky.

✓ **Zahříváním pevné nebo kapalně látky** získávají její částice více tepelné energie až do okamžiku, kdy jsou schopné překonat vazebnou potenciální energii  
⇒ **dochází k fázovému přechodu** při konstantní teplotě.

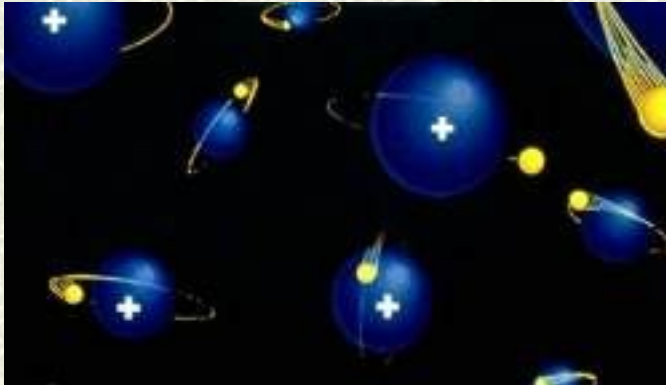
[http://www.harcourtschool.com/activity/states\\_of\\_matter/](http://www.harcourtschool.com/activity/states_of_matter/)

# Co je plazma?

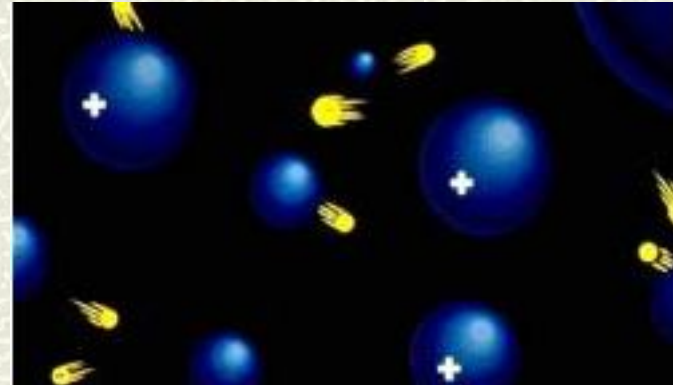
Plazma je čtvrté skupenství hmoty  
- ionizovaný plyn

Co se děje, když zahříváme plyn?

*neutrální plyn*



*ionizovaný plyn - plazma*



- ✓ Dodáním dostatečné energie molekulárnímu plynu dochází k jeho **disociaci na atomy** v důsledku srážek těch částic, jejichž tepelná energie překračuje vazebnou energii molekuly.
- ✓ Ještě větší dodaná tepelná energie způsobí překonání vazebných sil elektronů k jádru  $\Rightarrow$  **ionizace**, tj. vznik volných elektronů a iontů  $\Rightarrow$  **plazma**

# 1. Co je plazma?

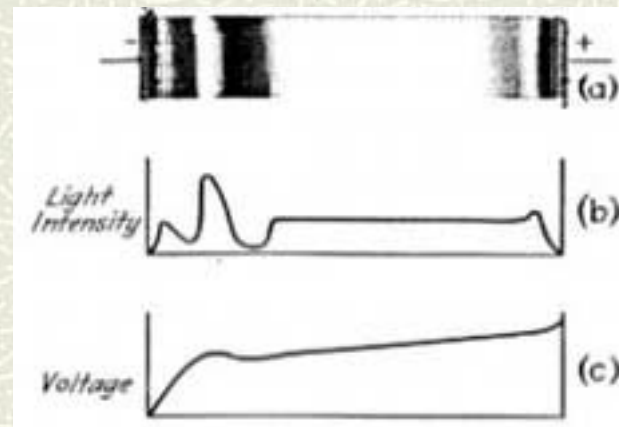
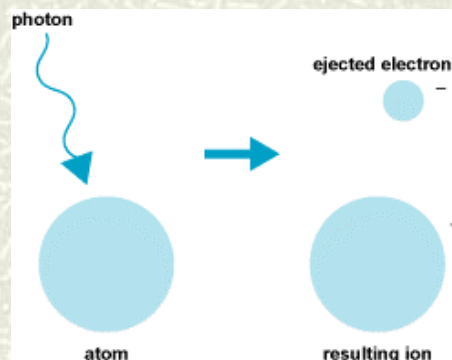
## 1.2 Vytváření plazmatu

✓ **Dostatečným zvýšením teploty:** Pak jde o systém v termodynamické rovnováze. Elektronová teplota a stupeň ionizace jsou svázány **Sahovou rovnicí**. V laboratoři neobvyklé, ale v přírodě časté (astrofyzikální plazma).

✓ **Pomocí ionizačních procesů zvyšujících mnohonásobně stupeň ionizace nad jeho rovnovážnou hodnotu** (po vypnutí zdroje ionizace dojde k dohasínání plazmatu díky rekombinaci):

- **fotoionizace** – ionizační potenciál např. atom. kyslíku je 13,6 eV  $\Rightarrow$  foton o vlnové délce 91 nm (daleká UV oblast). Ionosféra Země - přírodní fotoionizované plazma.

- **elektrický výboj v plynu** – el. pole urychluje volné elektrony na energii dostatečné k ionizaci atomů, laboratorní plazma.



# Co je plazma?

## 1.3 Zjednodušená kritéria pro definici plazmatu

Plazma ...

- je makroskopicky neutrální substance
- obsahuje mnoho interagujících elektronů a ionizovaných atomů nebo molekul
- vykazuje kolektivní chování díky dalekodosahovým Coulombovským silám

Dynamika částic je dána

- externě aplikovanými poli a
- vnitřními poli (výsledek existence a pohybu částic)

Rozlišujeme interakci:

- dvou nabitých částic
- mezi nabitou částicí a neutrálem

Dle převažujících vzájemných interakcí dělíme plazma na silně a slabě ionizované.

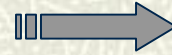
# 1.4 Historie pojmu „plazma“

Proč musí fyzikové vysvětlovat, že nezkoumají krev



*J. E. Purkyně  
(1787-1869)*

**Jan Evangelista Purkyně** použil v polovině 19. století řecké slovo *plazma* (v překladu „dávající tvar“ nebo „dávající formu“), aby označil čistou tekutinu, která zůstává po odstranění všech pevných částíček z krve.

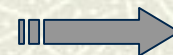


v češtině „ta plazma“  
v angličtině „plasma“



*I. Langmuir  
(1881-1957)*

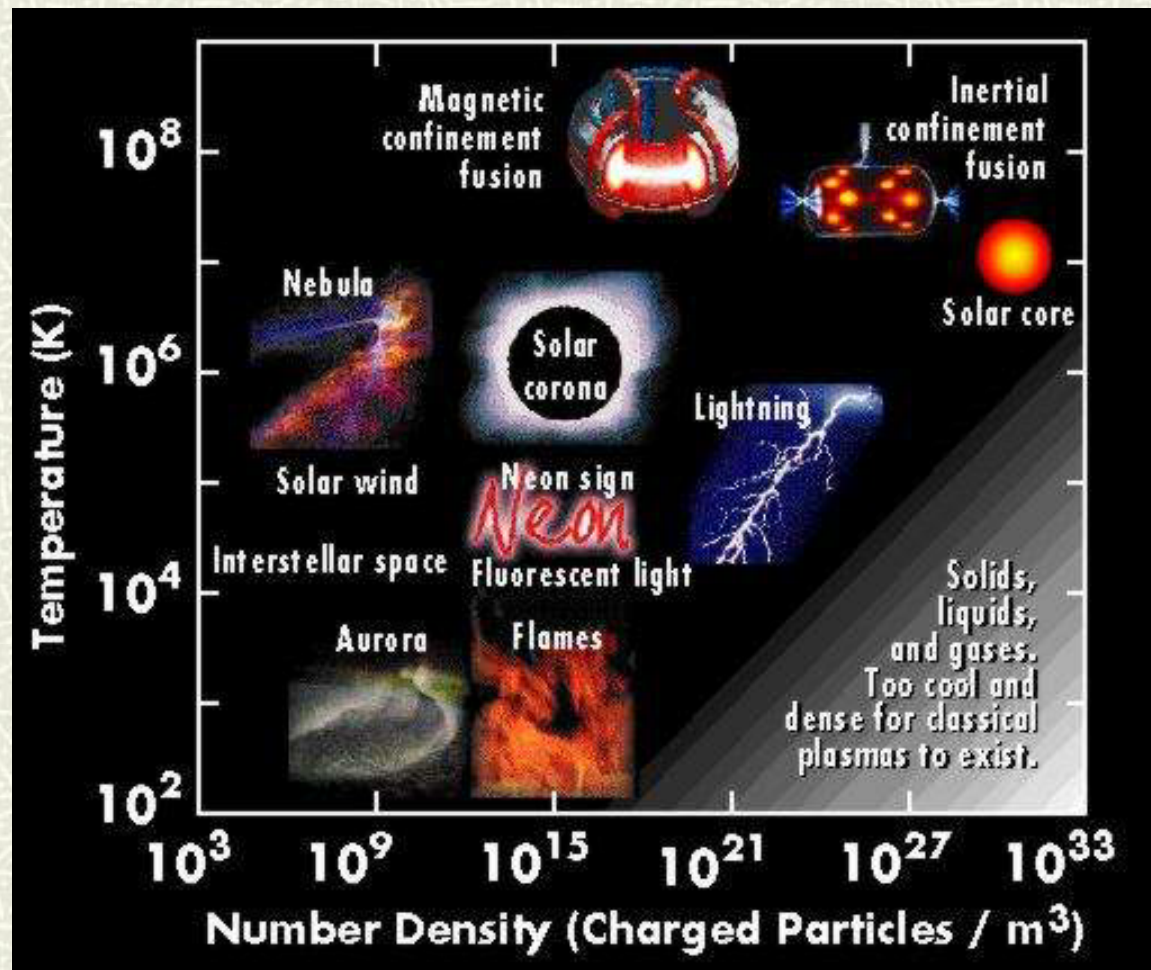
**Irving Langmuir** v roce 1922 vyslovil hypotézu, že elektrony, ionty a neutrály v ionizovaném plynu jsou součástí nějakého kapalného média, a protože mu struktura takto navržené substance připomínala krev, nazval toto médium *plazma*.



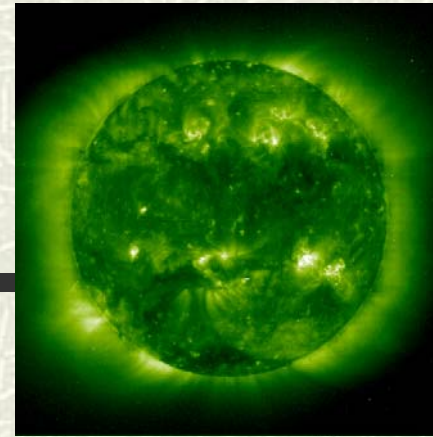
v češtině „to plazma“  
v angličtině „plasma“

# 1.5 Kde plazma najdeme?

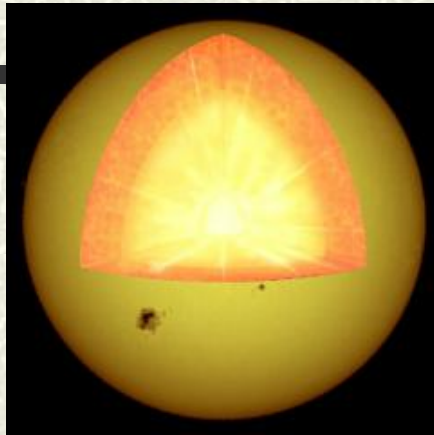
Díváme se na něj celý den!



# Plazma v přírodě

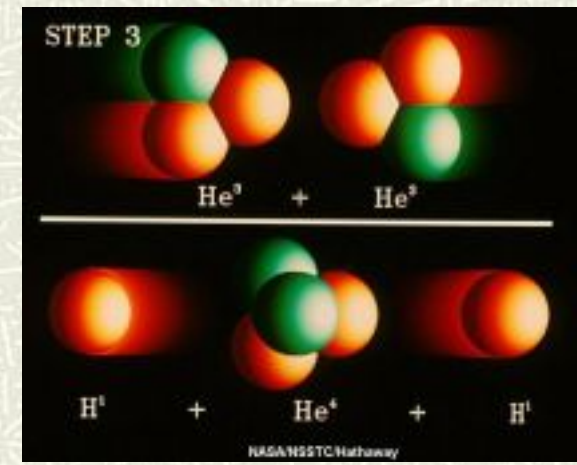
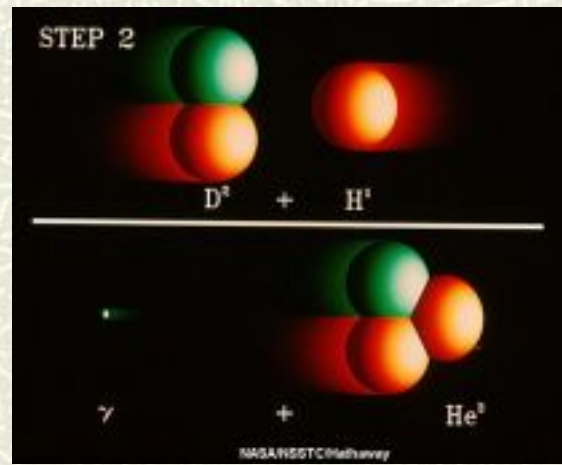
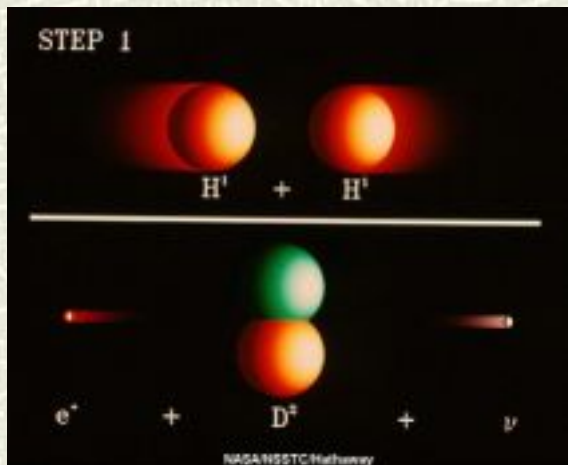


Slunce



Díky velké hmotnosti ( $2 \times 10^{30}$  kg) brání gravitační síla Slunce úniku částic a záření z **horkého středu**.

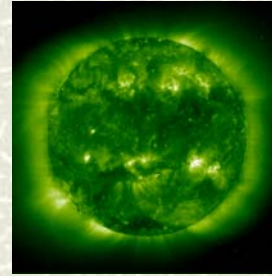
Slunce je obrovský **termonukleární reaktor**, který hluboko uvnitř vytváří z atomů vodíku helium  $\Rightarrow$  teplota více jak  $1,6 \times 10^7$  K, silné magnetické pole.



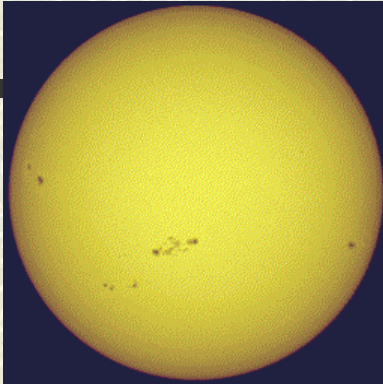
<http://solarscience.msfc.nasa.gov/>



# Plazma v přírodě

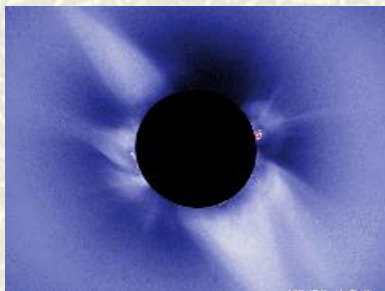
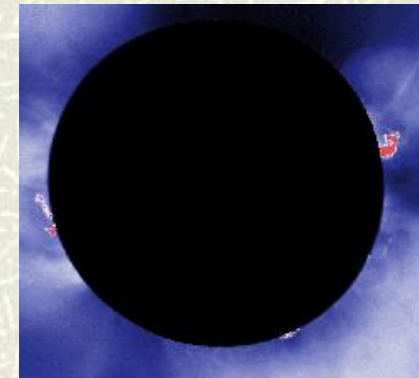
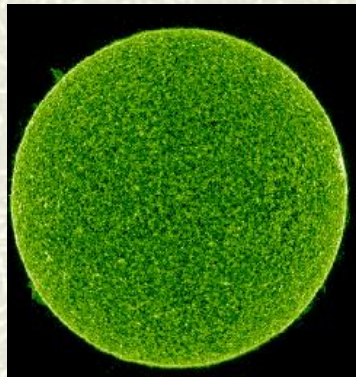


Sluneční atmosféra

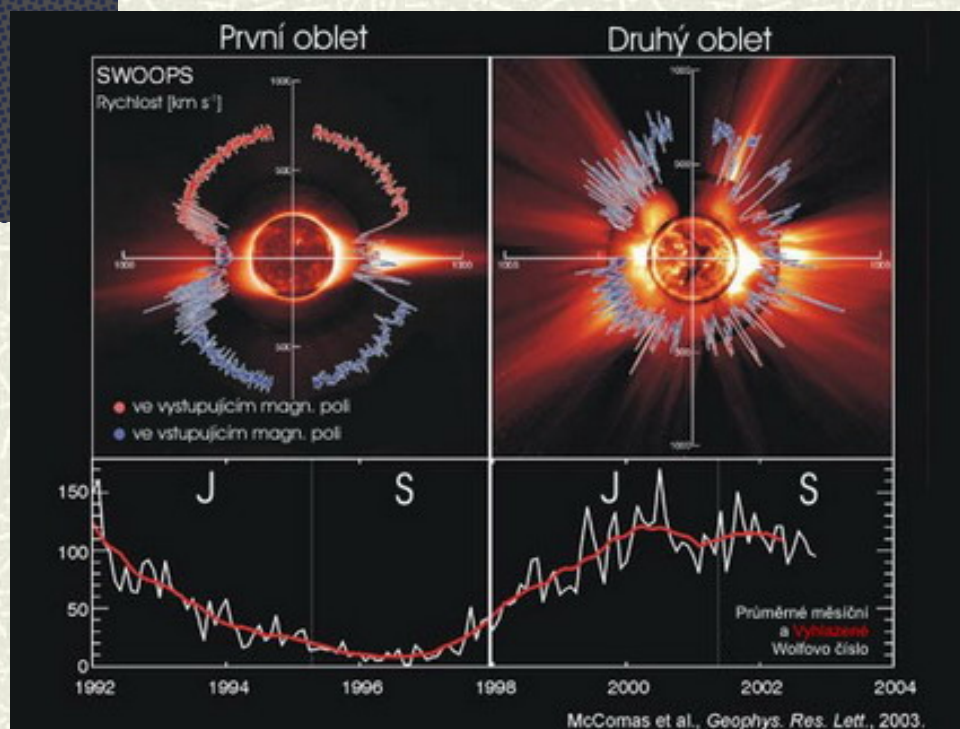


viditelná část Slunce se nazývá sluneční atmosféra (od centra):

- **fotosféra** – viditelný povrch,  $T \cong 6000 \text{ K}$ , tloušťka cca 100 km, sluneční skvrny.
- **chromosféra** – nepravidelná vrstva, teplota roste až na 20 000 K, při těchto teplotách vodík emituje (září) v červené oblasti spektra (čára  $H_\alpha$ ).
- **přechodová vrstva** – velmi nepravidelná vrstva, teplota roste až na 1 000 000 K, vodík je ionizovaný, ionty C IV, O IV a Si IV emitují v ultrafialové oblasti spektra.
- **korona** – je vnější atmosféra viditelná při úplném zatmění jako perleťově bílá koruna obklopující Slunce. Pozorujeme mnoho různých jevů jako výběžky, díry a smyčky. Teplota je až 2 000 000 K. Díky tomu korona září v široké oblasti spektra včetně UV a RTG.



# Plazma v přírodě



Rychlost slunečního větru měřená sondou Ulysses. V levé části výsledky z prvního obletu, v pravé z druhého. Dole je sluneční aktivita z posledních let charakterizována počtem slunečních skvrn.

## Sluneční vítr

Hlavní složkou jsou **protony a elektrony**, je zde zastoupeno ionizované He a stopové množství těžších iontů. Nese s sebou i „zamrzlé“ **magnetické pole**. Díky rotaci Slunce a radiálnímu pohybu větru jsou siločáry stáčeny do Archimédových spirál.

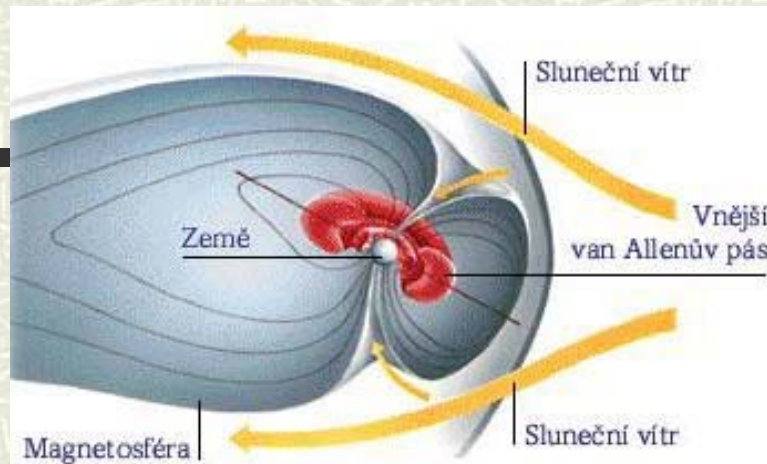


Rychlost slunečního větru velmi souvisí se sluneční aktivitou.

Nad koronovými děrami dosahuje rychlosti 800 km/s, nad výběžky jen 300 km/s.

# Plazma v přírodě

Magnetosféra Země, Van Allenovy radiační pásy, ionosféra



**Magnetosféra** je oblast, kde vliv magnetického pole Země převládá nad slunečním.

**Magnetopauza** je horní hranice magnetosféry – odděluje oblast slunečního větru od magnetosféry.

**Van Allenovi radiační pásy** se nacházejí uvnitř magnetosféry. Zde jsou zachyceny energetické nabitě částice (zejména elektrony a protony), které se pohybují po komplikovaných trajektoriích, spirálách kolem geomagnetických siločar, a zároveň pomalu driftují kolem Země. Vnitřní pás se přisuzuje vlivu kosmického záření. Vnější pás je udržován plazmatem vyvrhovaným čas od času Sluncem.

**Ionosféra** – ve výšce nad 60 km na Zemi, až do vzdálenosti několik tisíc km. Vidíme ji jako modrou barvu oblohy. K ionizaci dochází díky absorpci UV a rtg záření.

# Plazma v přírodě



Blesk

Jednoduché vysvětlení:

