



# Letom plazmovým svetom

Peter Klein

Ústav fyzikálnej elektroniky

Valašské Meziříčí

4.11.2017

# Obsah

- Čo je plazma?
- Plazma v prírode
- Fyzika výbojov

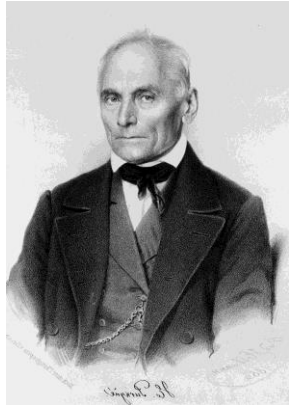
# Viac sa dozviete

- [F5170](#) Úvod do fyziky plazmatu
- [F8242](#) Fyzika plazmatu 2
- [F3180](#) Výboje v plynoch

You  kanál:

- Maxwellovi démoni

# Čo je plazma?



**Jan Evangelista Purkyně** (1787-1869) použil v polovici 19. storočia grécke slovo plazma (v preklade „dávajúci tvar“ alebo „dávajúci formu“), aby označil čistú tekutinu, ktorá ostáva po odstránení všetkých pevných častí z krvi

V češtine : ta plazma

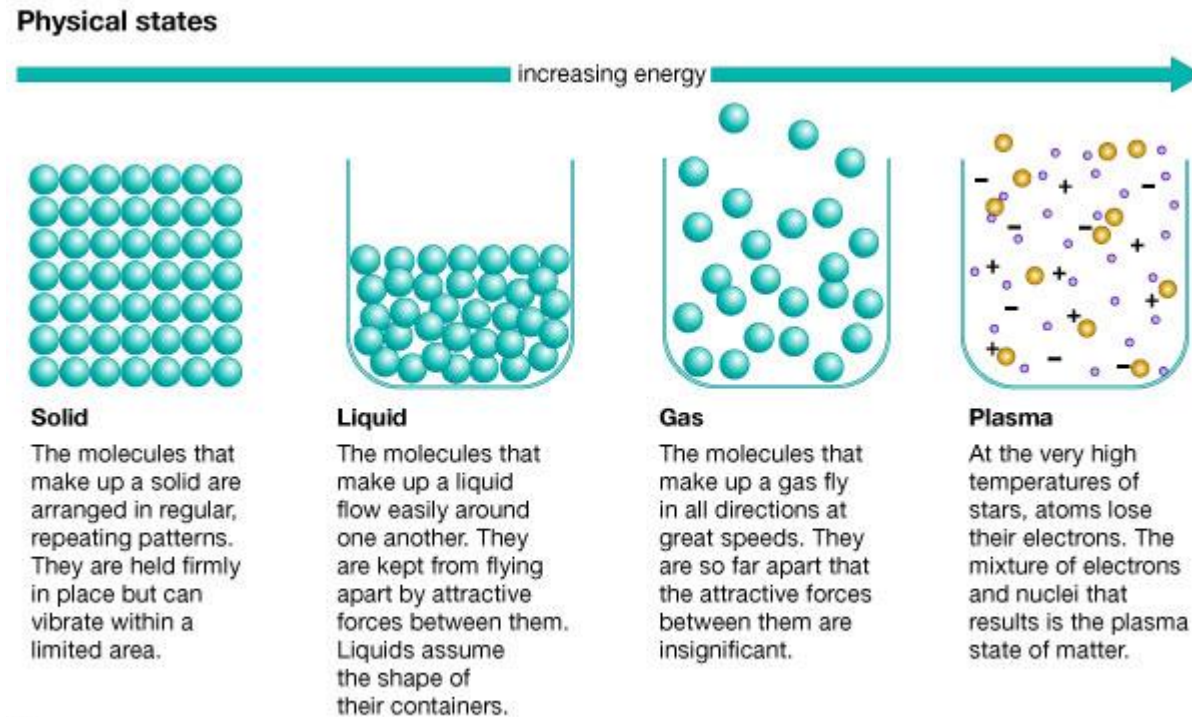


**Irving Langmuir** (1881-1957) v roku 1922 vyslovil hypotézu, že elektróny, ióny a neutrály v ionizovanom plyne sú súčasťou nejakého kvapalného média, štruktúra mu pripomínala krv, a preto nazval toto médium plazmou.

V češtine : to plazma

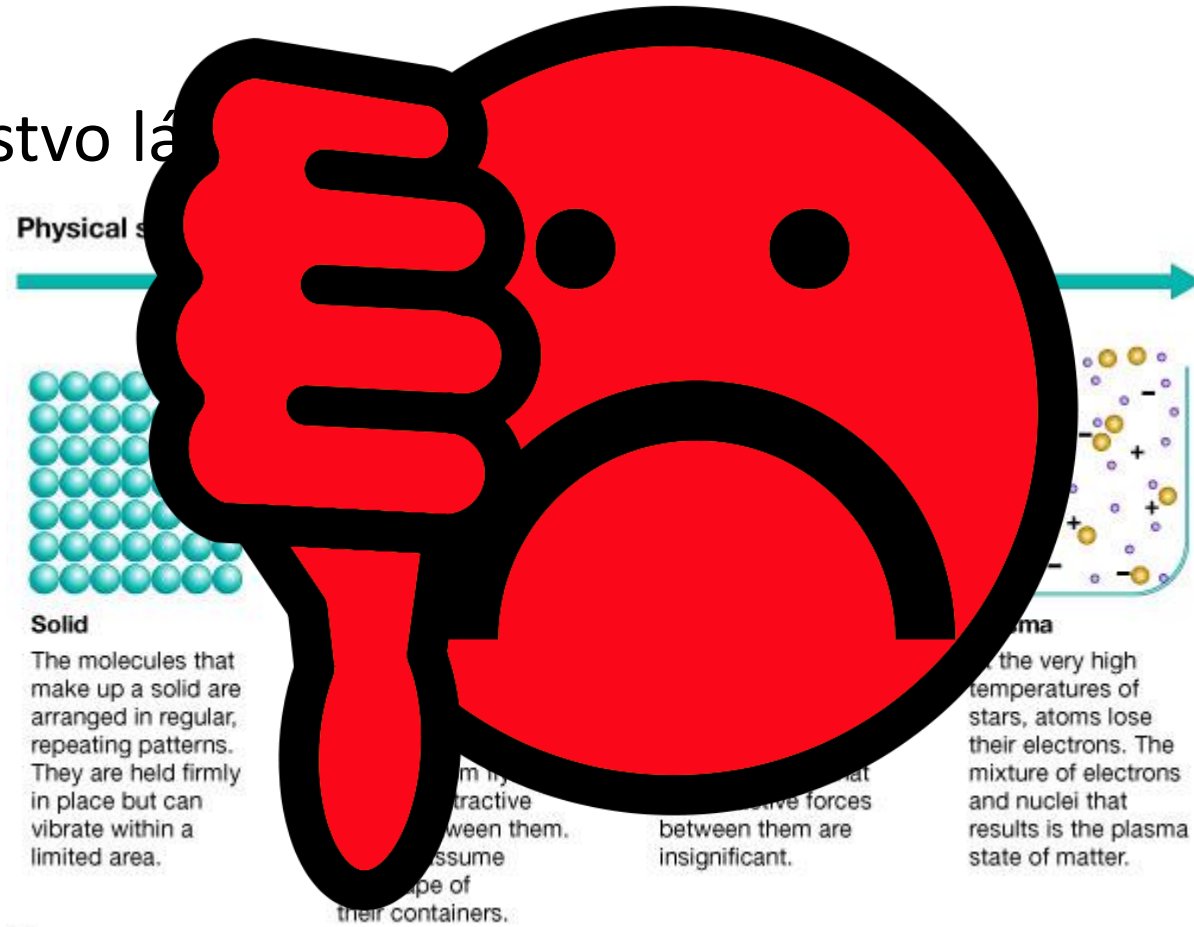
# Čo je plazma?

- 4. skupenstvo látky?!



# Čo je plazma?

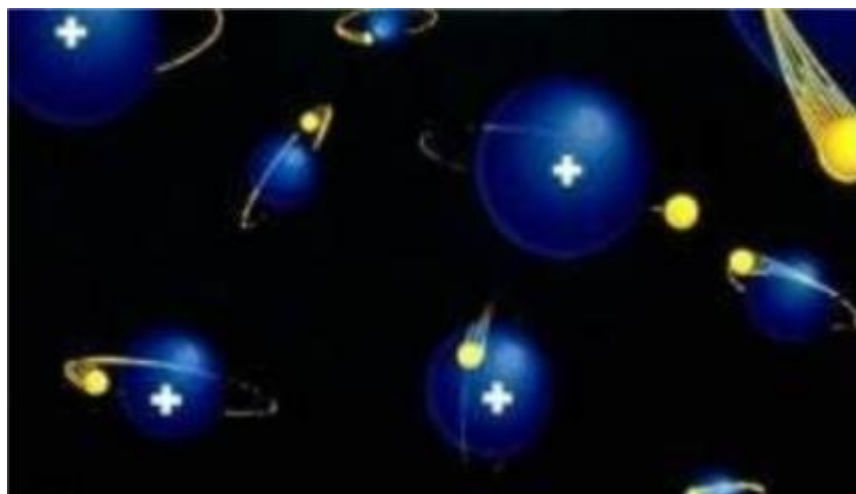
- 4. skupenstvo lá



# Čo je plazma?

- Nie je to fázový prechod pri konštantnej teplote
- Spotreba energie je pozvoľná
- Najprv disociácia molekúl
- Neskôr ionizácia = vznik iónov a voľných elektrónov

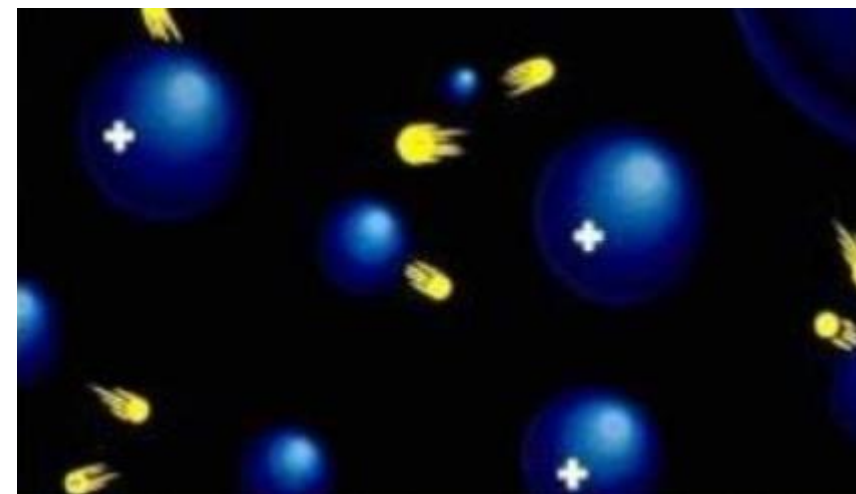
**Neutrálny plyn**



**Energia**



**Ionizovaný plyn**



# Čo je plazma? – verzia pre širokú verejnosť

- Makroskopicky neutrálna substancia
- Obsahuje veľké množstvo interagujúcich elektrónov a ionizovaných atómov, prípadne ionizované molekuly.
- Vykazuje kolektívne správanie vďaka Coulombovským silám



# Čo je plazma? – verzia pre fyzikov

- Existujú 4 kritéria pre popis plazmy pre ich popis však musíme definovať Debyovskú dĺžku a plazmovú frekvenciu
- Plazma je makroskopicky neutrálna (kvazineutrálna) , v opačnom prípade vzniká veľká Coulombova sila ktorá obnovuje kvazineutralitu.
- Odchýlky od kvazineutrality sú len na vzdialenostiach na ktorých je elektrostatickú potenciálnu energiu možné vyvážiť tepelný pohyb molekúl
- Táto vzdialenosť Debyova dĺžka

$$\lambda_D = \left( \frac{\epsilon_0 k T}{n_e e^2} \right)^{1/2}$$

# Čo je plazma? – verzia pre fyzikov

Debyova dĺžka  $\lambda_D$

Výboje v plynoch

$$T = 10^4 \text{ K a } n_e = 10^{16} \text{ m}^{-3} \rightarrow \lambda_D = 10^{-4} \text{ m}$$

Ionosféra

$$T = 10^3 \text{ K a } n_e = 10^{12} \text{ m}^{-3} \rightarrow \lambda_D = 10^{-3} \text{ m}$$

Medzihviezdna plazma

$\lambda_D$  niekoľko metrov

# Čo je plazma? – verzia pre fyzikov

- Ak je plazma vychýľovaná z rovnovážneho stavu, vzniká kolektívny pohyb častíc na obnovenie nábojovej neutrality
- Plazmová frekvencia definuje charakteristické časové merítko takéhoto deja

$$\omega_{pe} = \left( \frac{n_e e^2}{m_e \epsilon_0} \right)^{1/2}$$

# Čo je plazma? – verzia pre fyzikov

4 kritéria pre popis plazmy

- Kvazineutralita

$$n_e = \sum_i n_i$$

- Dostatok priestoru na Debyeho tienenie

$$L \gg \lambda_D$$

- Dostatok častíc v Debyovej guli

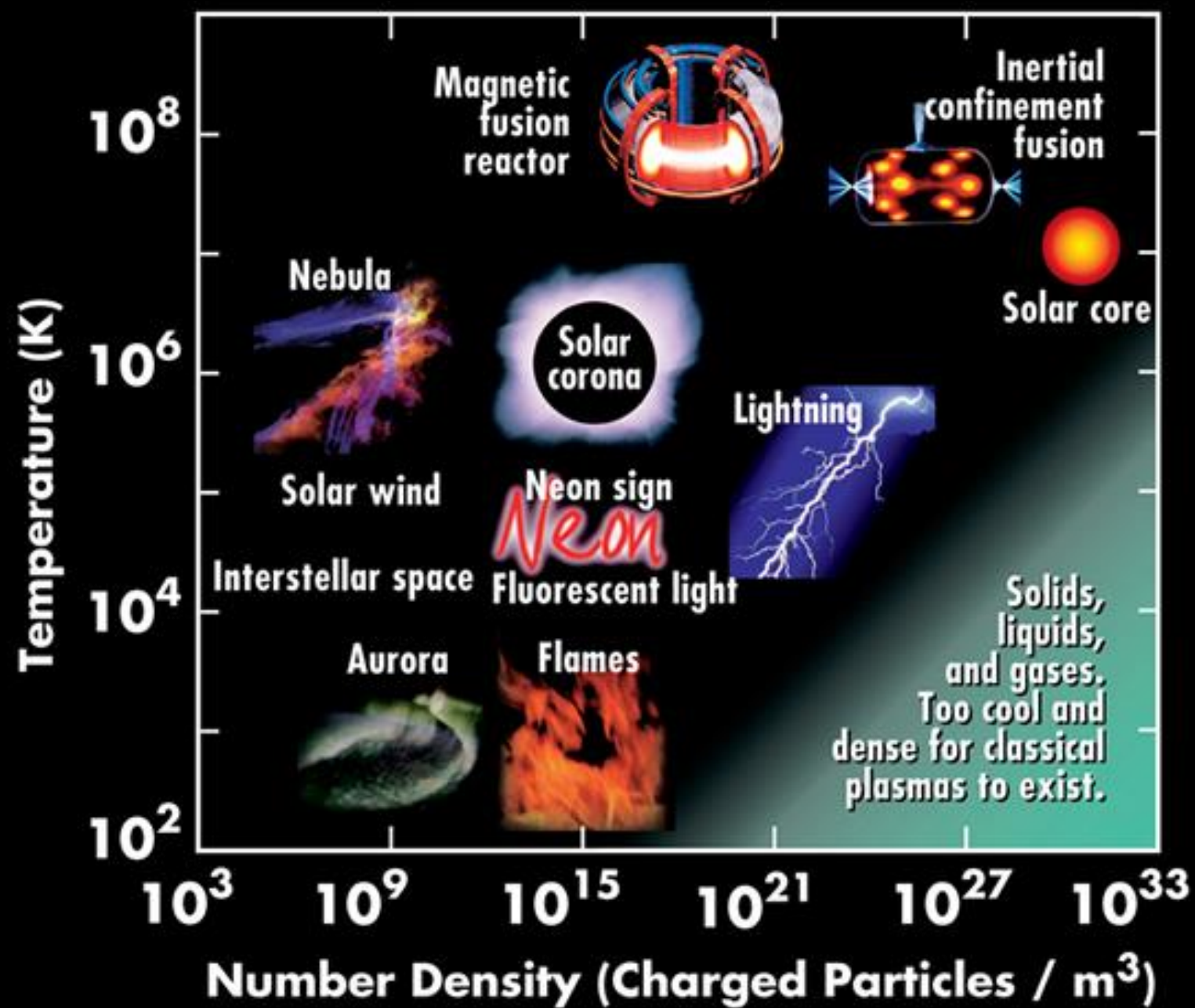
$$n_e \lambda_D^3 \gg 1$$

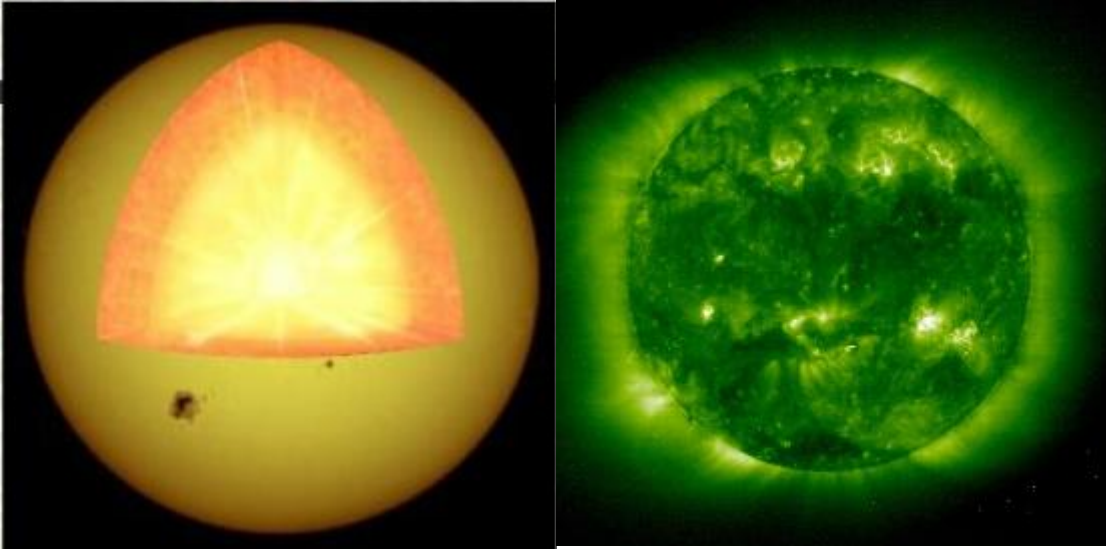
- Zrážky medzi elektrónmi a neutrálmi nesmú príliš tlmiť plazmové oscilácie

$$\nu_{pe} > \nu_{en}$$

Kde najdeme plazmu?



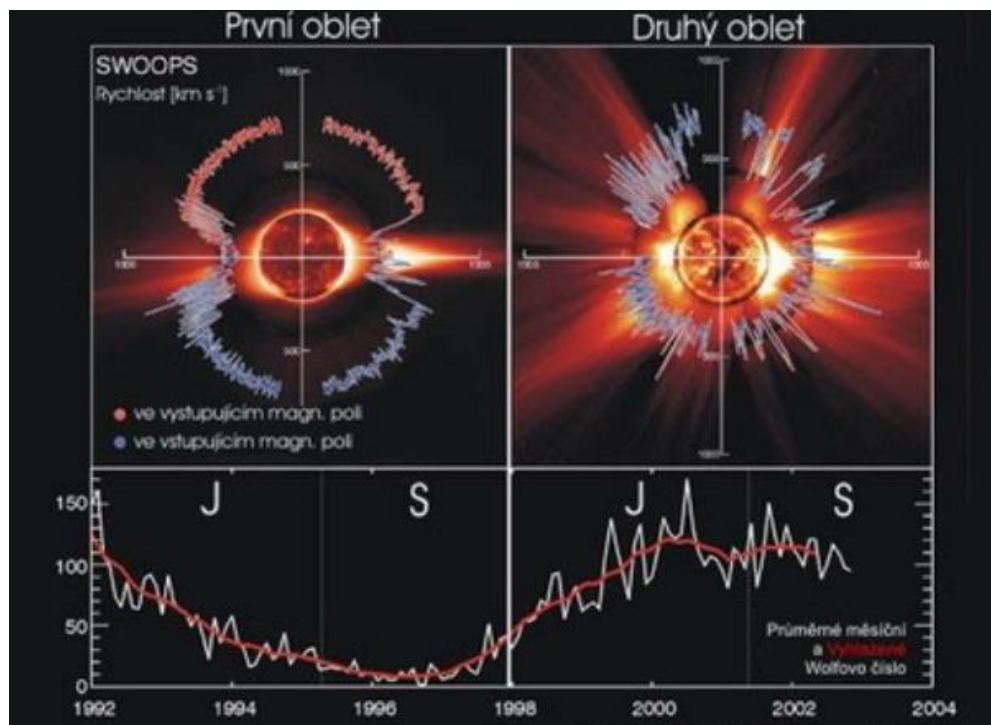




# Plazma v prírode

Hviezda:

- Termonukleárny reaktor ktorý je udržovaný pomocou gravitácie
- Teplota v jadre je viac ako  $10^7$  K
- Generuje slnečný vietor ktorého hlavnou zložkou sú protóny a elektróny

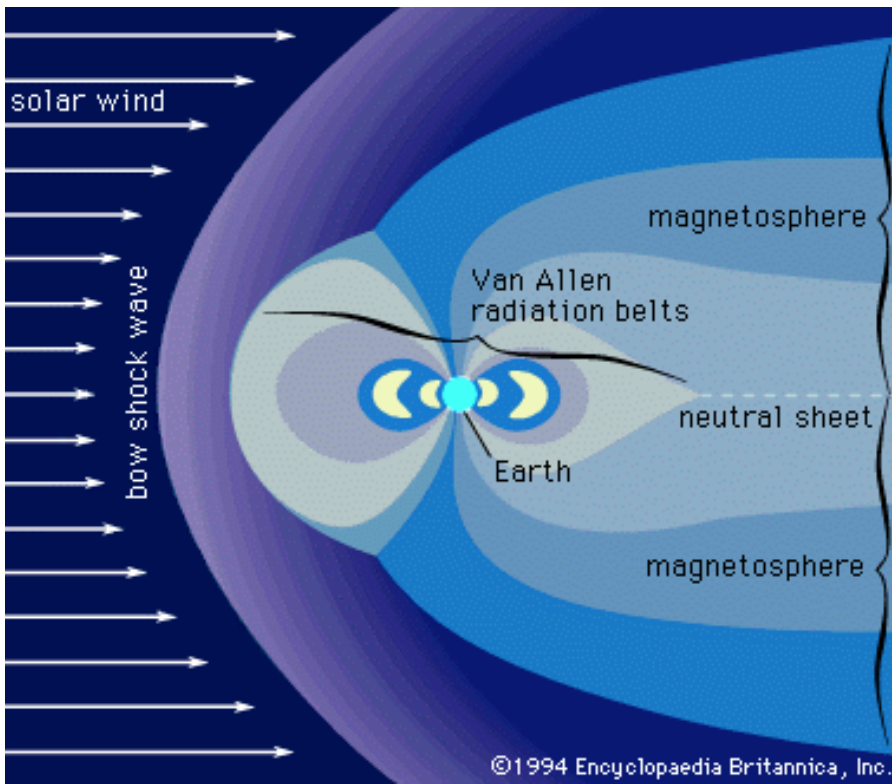


# Plazma v prírode

Van Allenove radiačné pásy :

- Vo vnútri magnetosféry sú zachytené nabité častice hlavne zo slnečného vetra

Pri dostatočnej poruche magnetosféry solárnym vetrom je možné vidieť polárnu žiaru





# Plazma v prírode

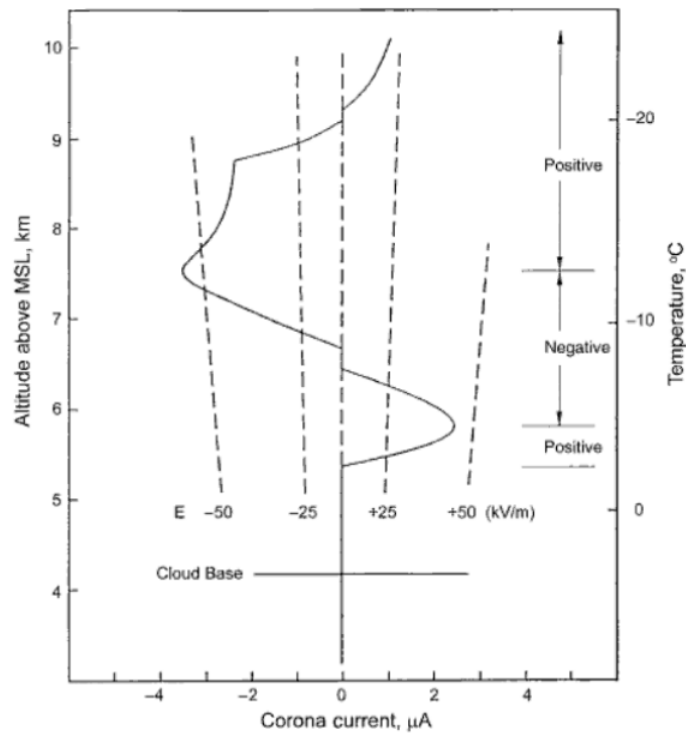
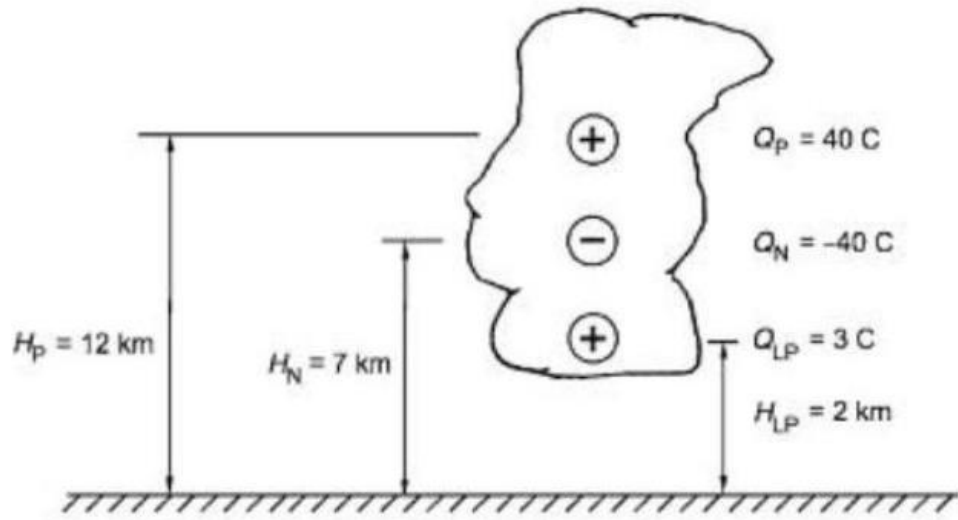
Blesk vzniká nahromadením sa náboja v oblaku

Známe mechanizmy zisku náboja:

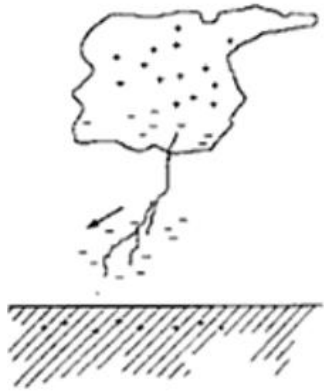
- Trenie kúskov ľadu s kvapkami vody
- Triešenie kvapiek
- Kozmické žiarenie

• Má niekoľko etáp šíri sa streamermi

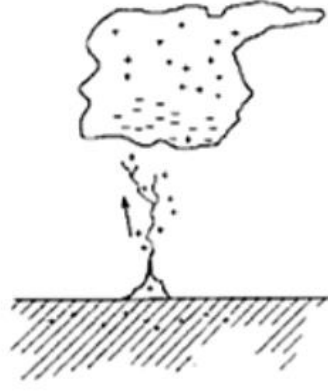
<https://www.youtube.com/watch?v=rMUcxcorQp4>



# Plazma v prírode



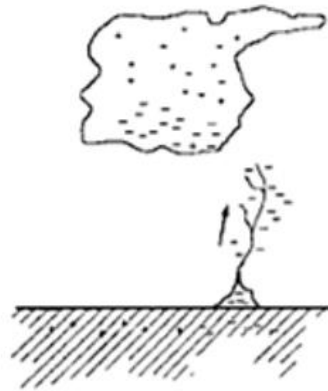
(a) Downward negative lightning



(b) Upward negative lightning



(c) Downward positive lightning



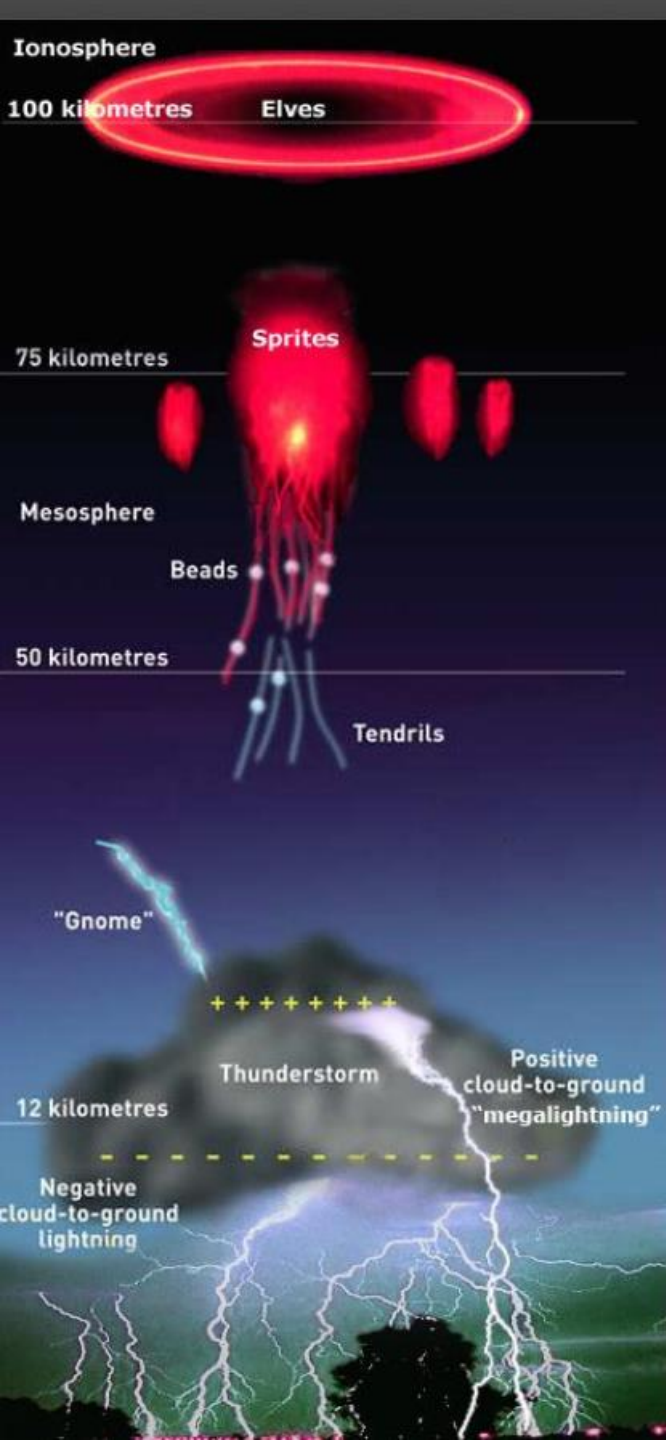
(d) Upward positive lightning

Záporný blesk:

- 95% prípadov
- 30kA, 100 MV, 15 C

• Kladný blesk

- 5% prípadov
- 300kA, 1 GV , 300 C,
- Trvá 10x dlhšie
- tzv. blesk z čistého neba



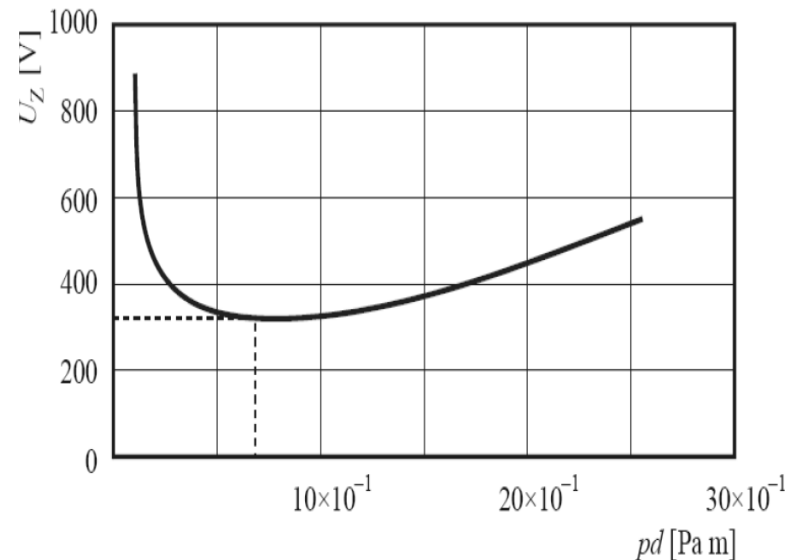
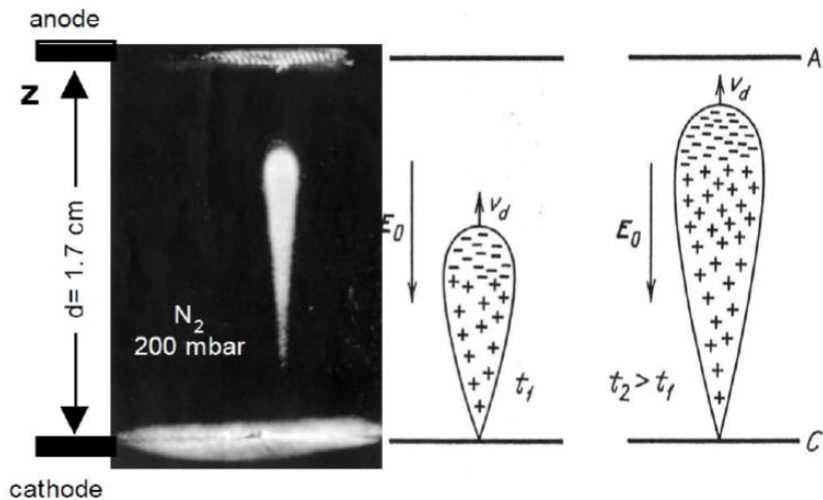
# Plazma v prírode

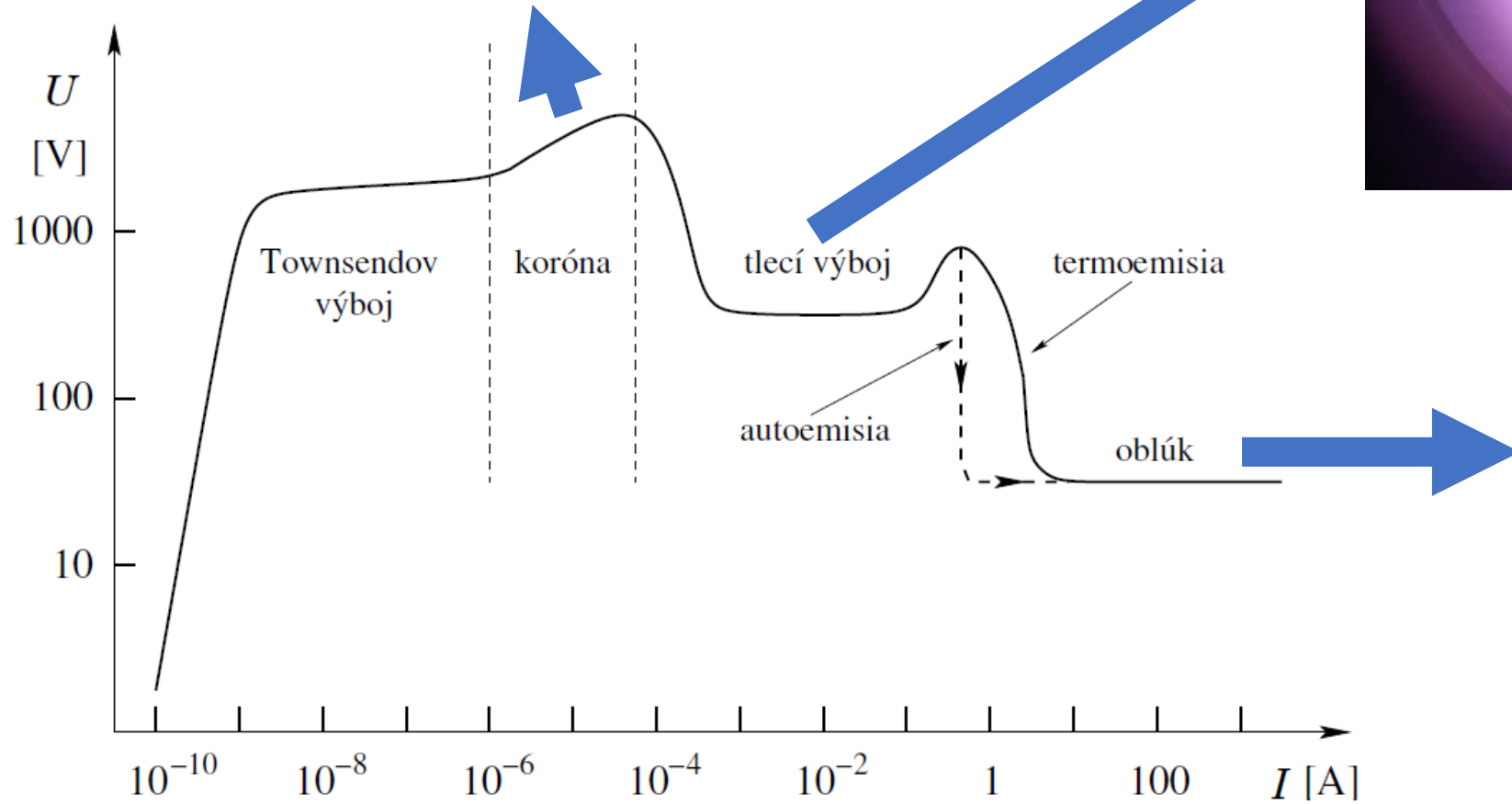
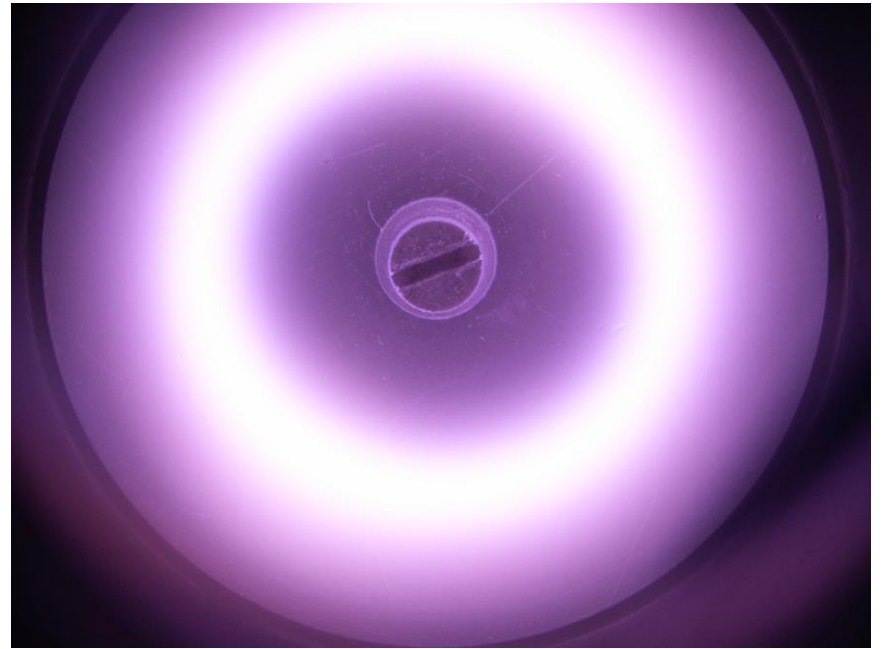
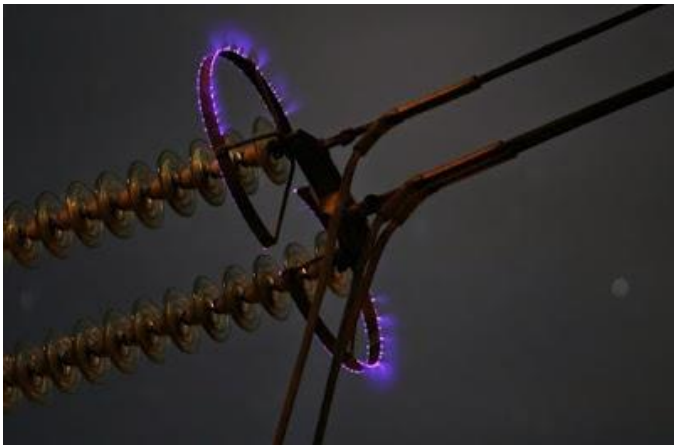
Blesky v hornej atmosfére:

- T.L.E -Transient Luminous Events
- 50–100 km,
- červený sprite (škriatok) (N2 – 1989)
- korelácia s kladným bleskom
- hlavnými podozrivými sú kozmické X žiarenia a nízky tlak
- Blue jet (Gnome je jasnejší a kratší) 1994
- Elfovia –pravdepodobne EMP z blesku v troposfére dokáže vyvolať expandujúci disk v ionosfére

# Elektrické výboje

- Najjednoduchší spôsob generácie plazmy je pomocou tvorby elektrického poľa
- Elektrické výboje delíme na
  - nesamostatné – nutné zabezpečiť vonkajšie ionizačné činidlo
  - samostatné – tlecí, iskrový, korónový ,oblúkový vysokofrekvenčný







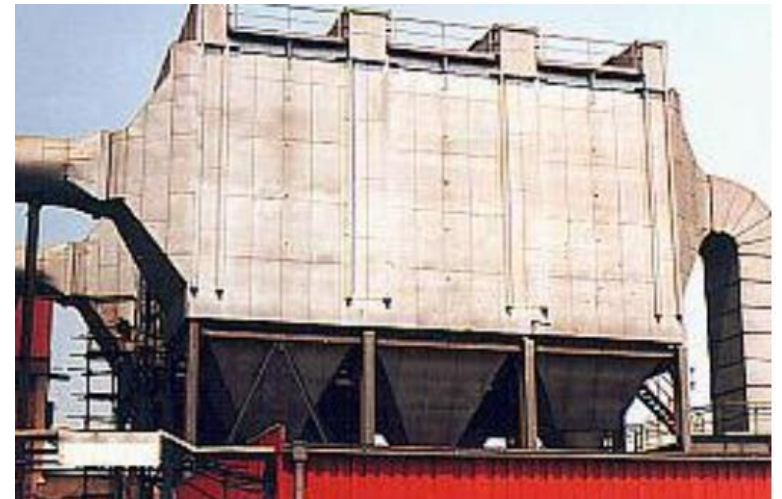
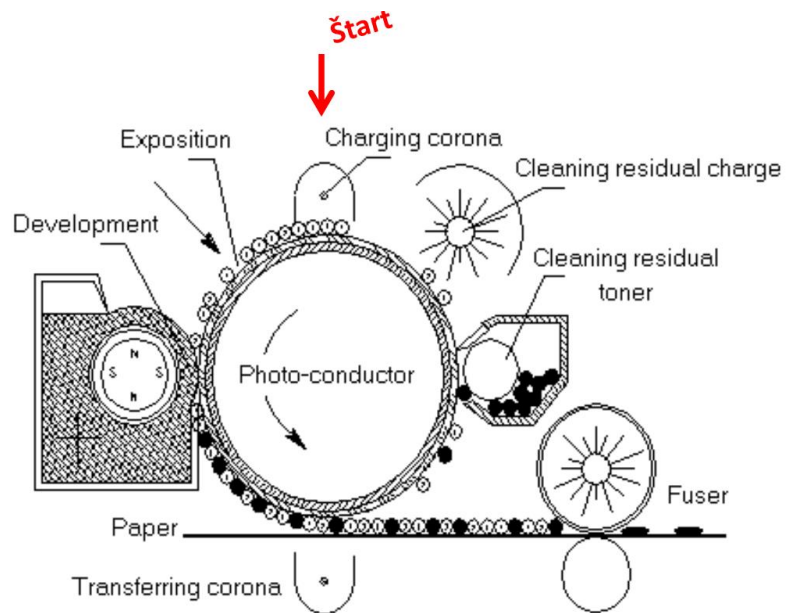
# Koróna

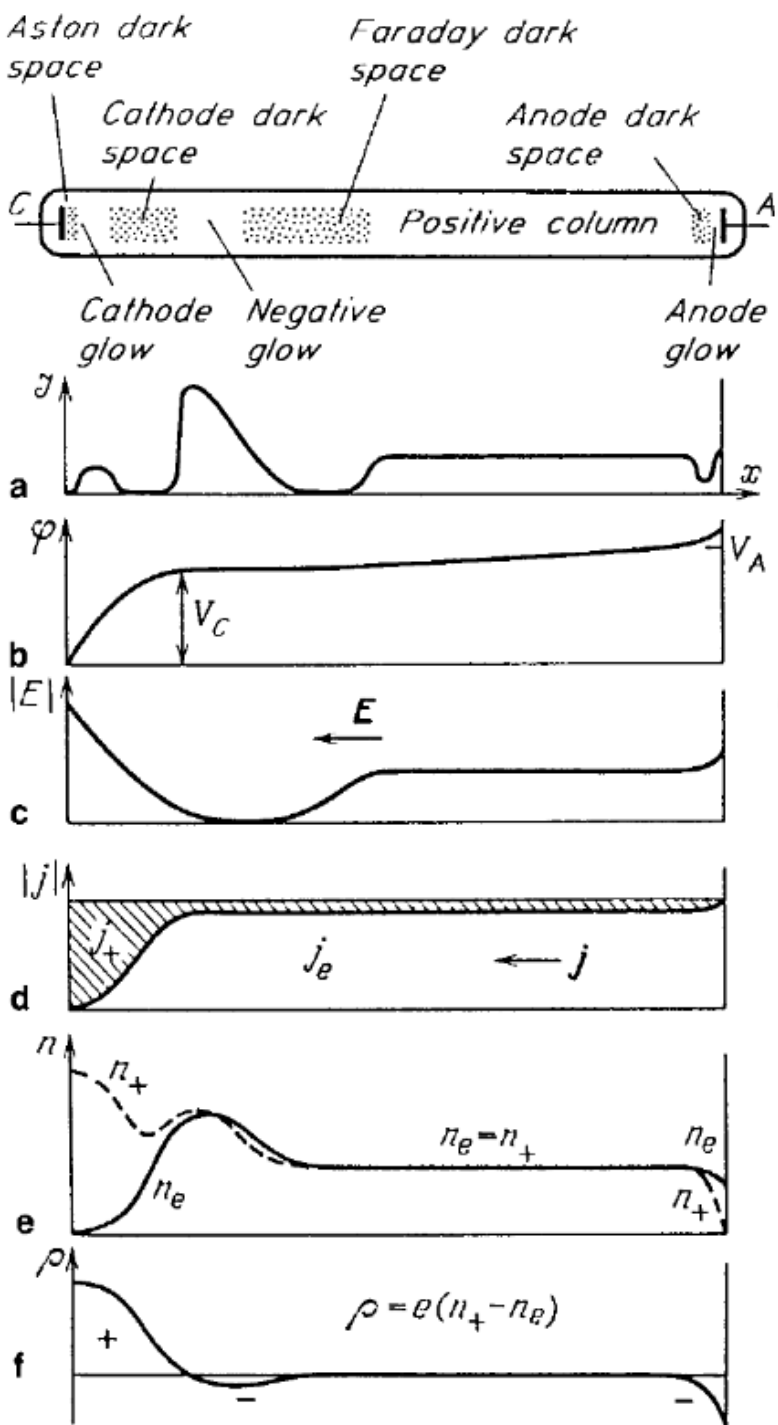
- Elektrický výboj v silne nehomogénnom poli
- Tlecí výboj pri vysokom tlaku
- Kladná - spätná väzba cez fotoionizáciu
- Záporná
- Požitie čističky vzduch, ozonizátory, čističe vzduchu, xerografia a iné
- Negatíva – strata energie vo vedení



(-)

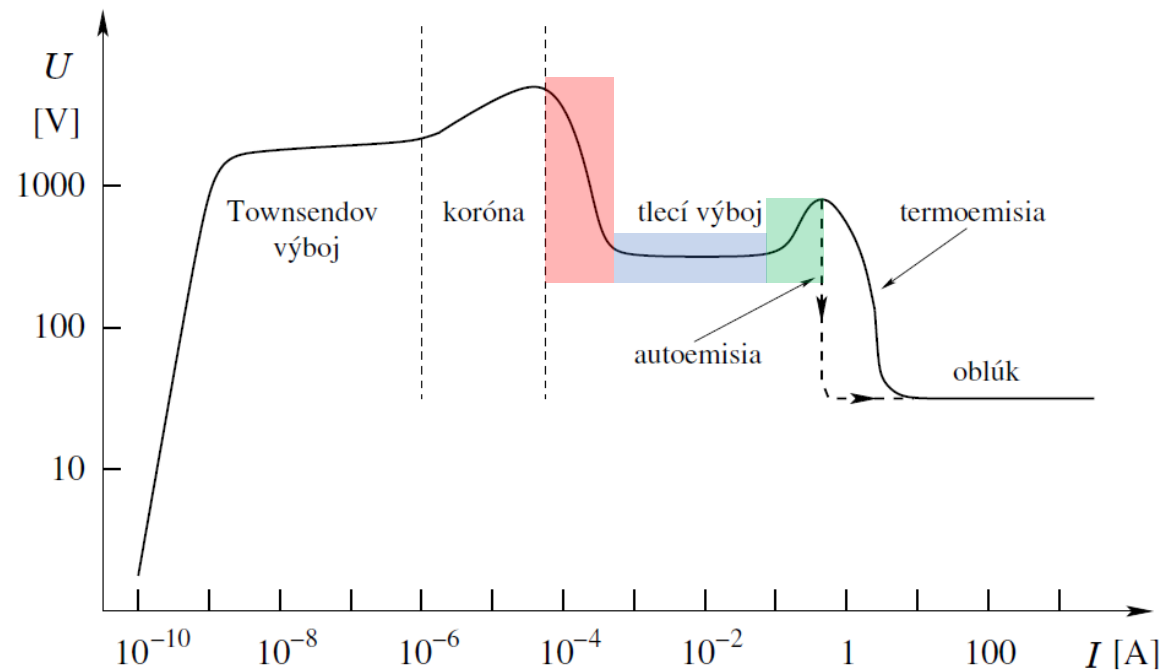
(+)



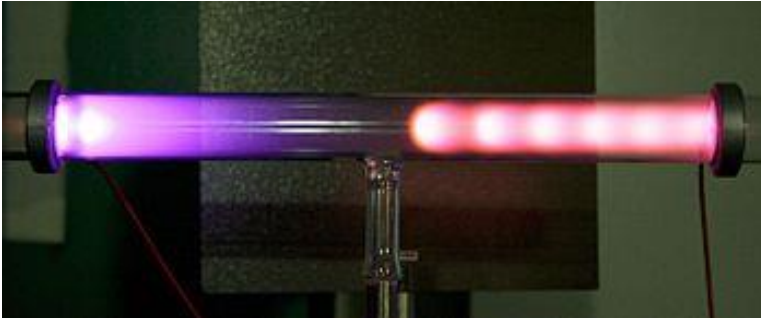


# Tlecí výboj

- Samostaný výboj
- Typický katódovým spádom (Niekoľko 100 V)
- Rozlišujeme **subnormálny**, **normálny** a **abnormálny**



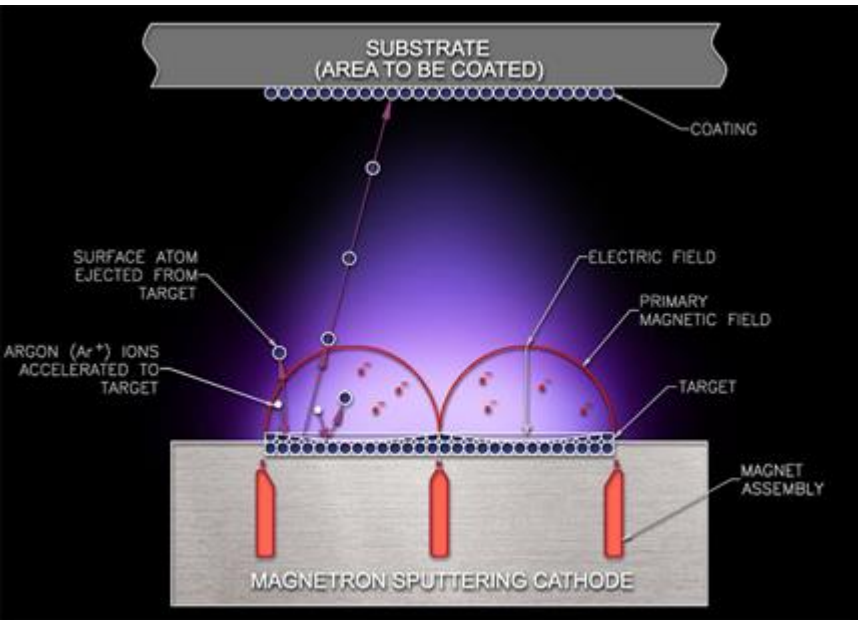
# Tlecí výboj



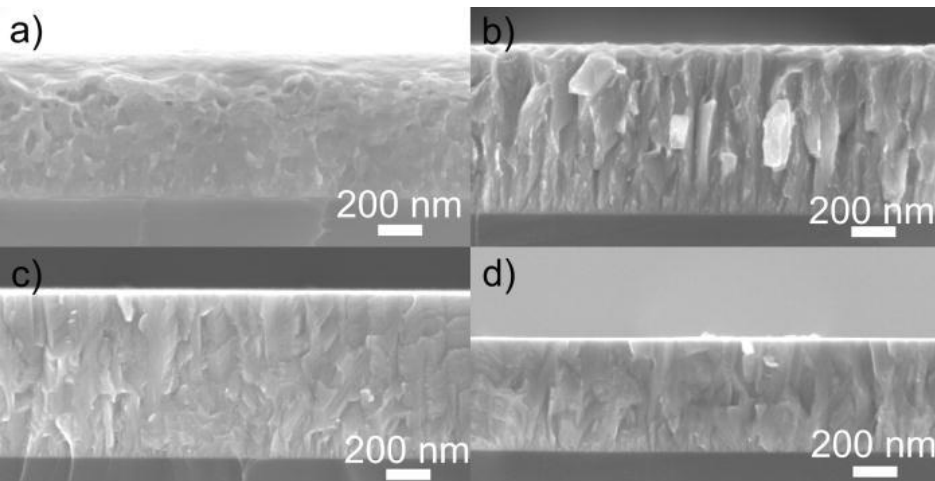
- Dusík - fialový, Helium - modrý, Sodík – žltý, Bór - zelený, Neon –červený
- Tlecí výboj sa vyznačuje výraznou nerovnováhou, kedy teplota elektrónov dosahuje 1,5 - 7 eV (15000 - 80 000 K) a teplota iónov a neutrálov je izbová, 300 K
- Katódu bombardujú ióny z výboja ktoré generujú elektróny, ale zároveň sa katóda odprašuje

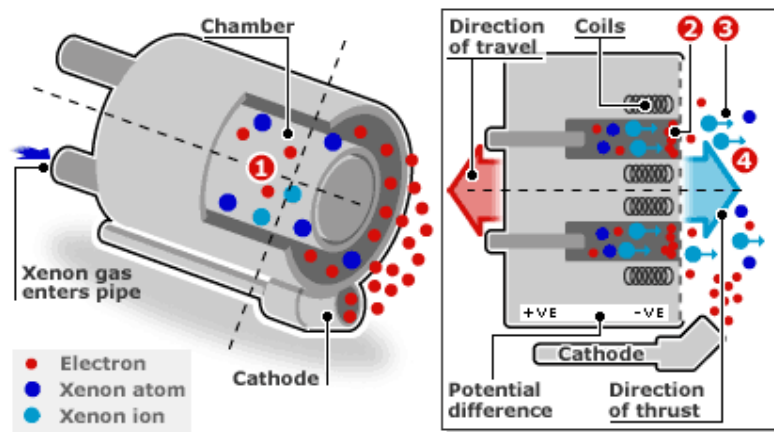


# Tlecí výboj



- Aplikácia vo vytváraní tenkých vrstiev
- Pridaním magnetického poľa zhustujeme plazmu, zvyšujeme iónový bombard – efektívnejšie odprašovanie
- Odprášené atómy dopadajú na substrát a tvoria tenkú vrstvu so špecifickými vlastnosťami





# Tlecí výboj

- Princíp magnetrónu sa používa aj v tzv. Hallových motoroch
- Majú veľkú efektívnosť, ale nízky ťah

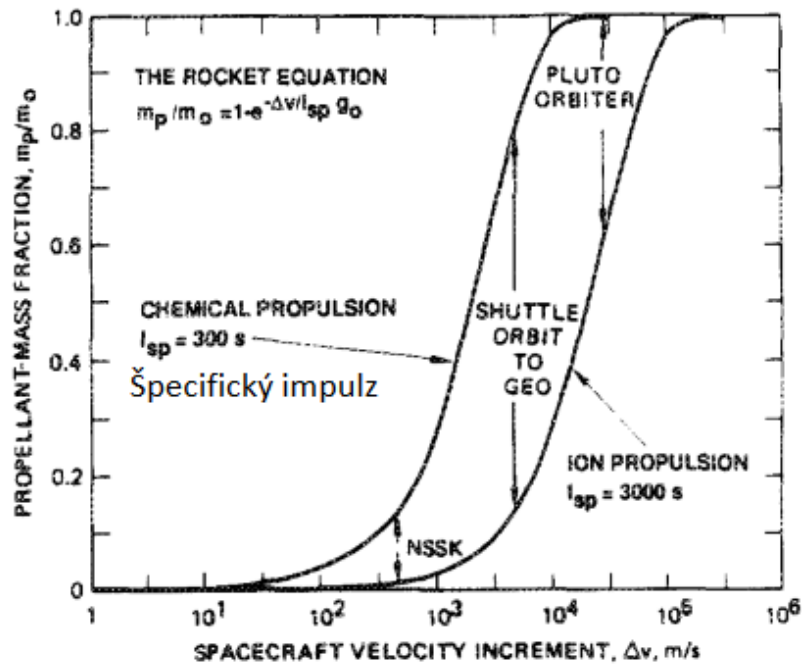
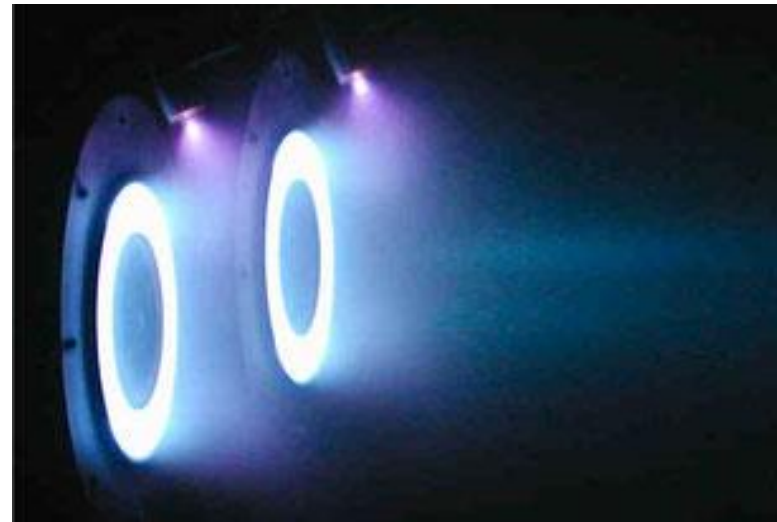
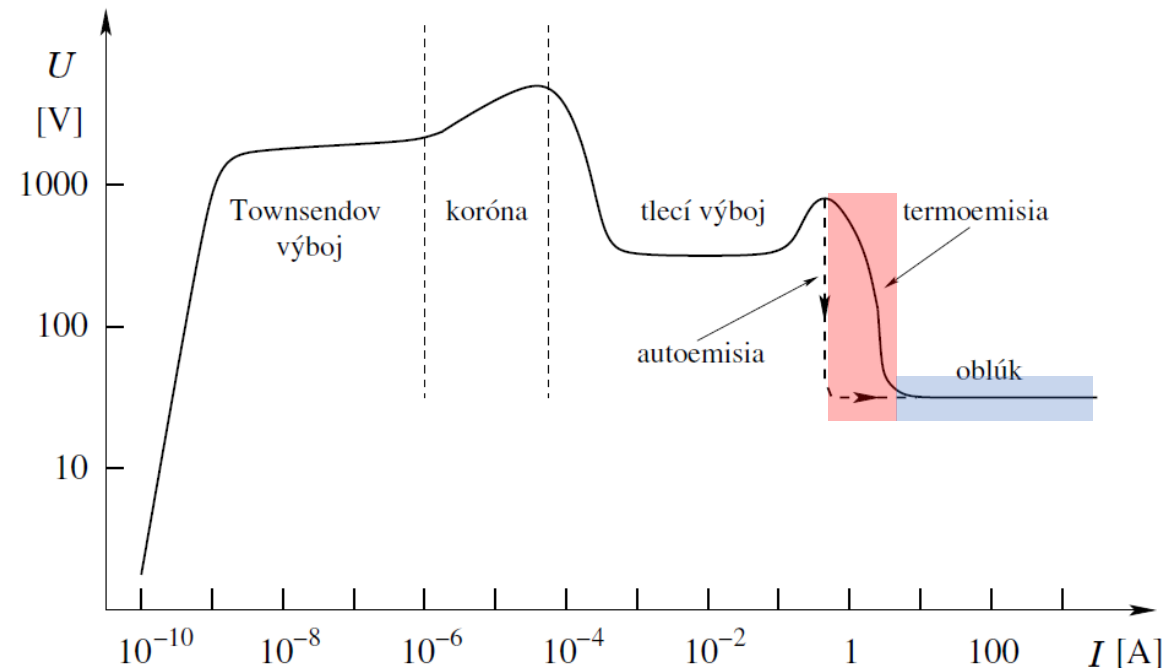


FIG. 1. Propellant-mass advantage of ion propulsion compared to chemical propulsion.

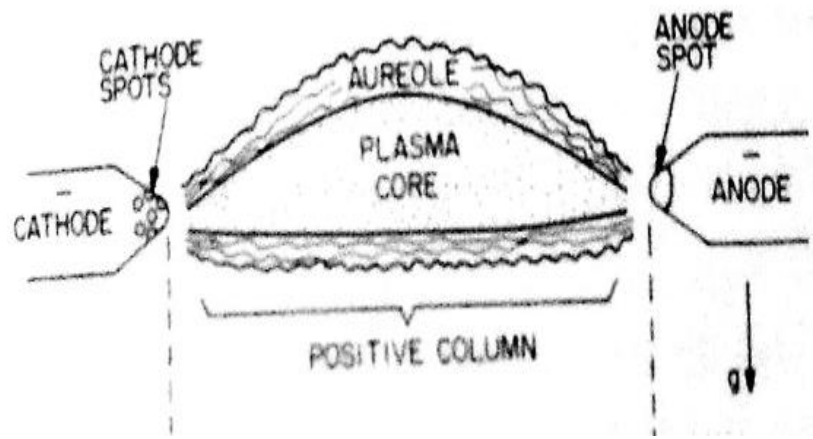


# Oblúčkový výboj

- **Neizotermický oblúk**,  $T_{\text{gas}} < T_{\text{electron}}$ , termoemisie elektrónov
- **Termický oblúk**,  $T_{\text{gas}} = T_{\text{electron}}$ , emisia poľom

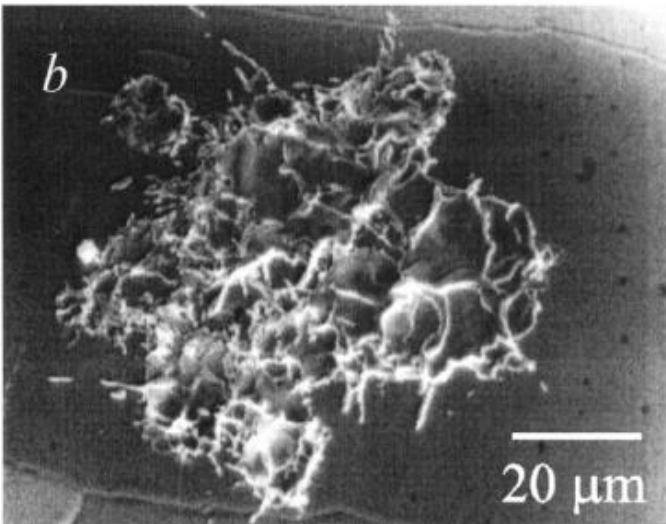
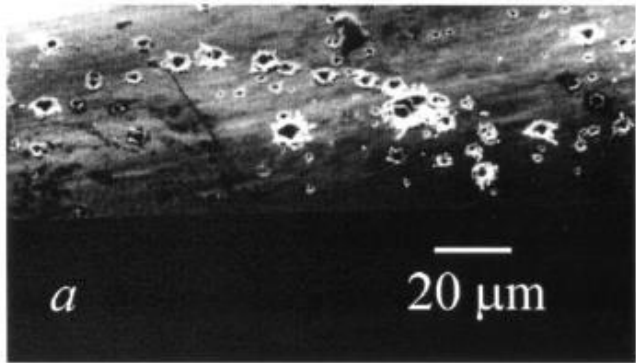


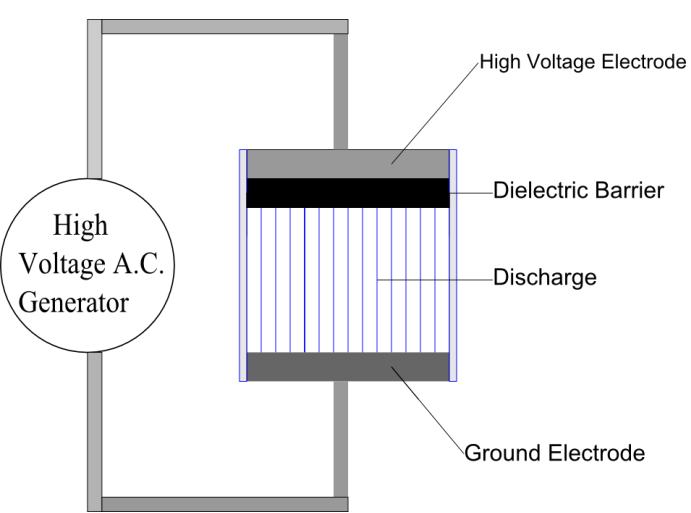




# Oblúkový výboj

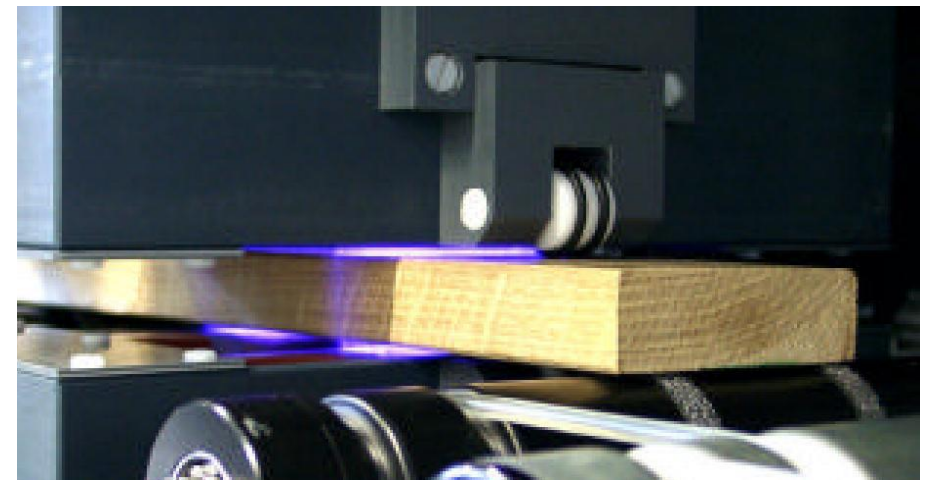
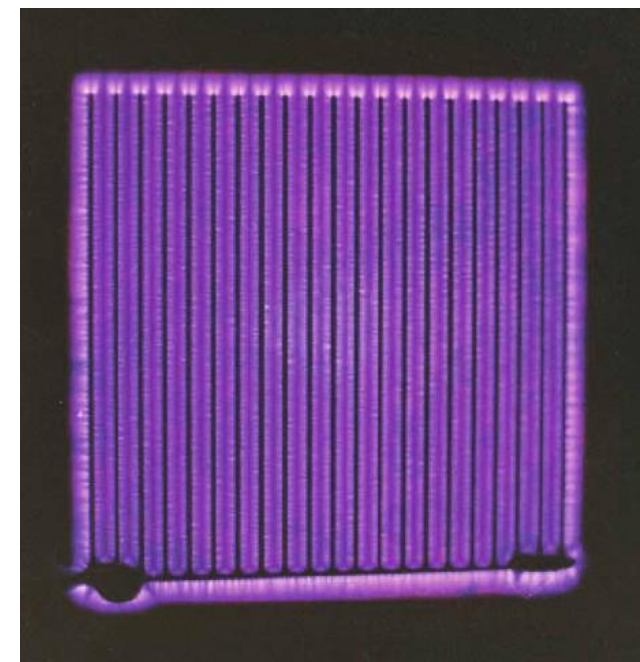
- Charakteristický škvrkami na elektródach
- Viacero katódových škvŕn, len jedna anódová (ale teplejšia)
- Katódový spád cca. 10 V
- Použitie vytváranie tenkých vrstiev, žiarivky, zváranie.





# Dielektrický bariérový výboj

- Výboj horí na dielektriku, často za atm. tlaku
- Elektrický výboj horí vo forme malých mikrofilamentov - veľmi početné
- Krátka doba života filamentov (< 10 ns)
- Aplikácia v ozonizátoroch, plazmovom opracovávaní, excimérové svetlá





# Viac sa dozviete

- [F5170](#) Úvod do fyziky plazmatu
- [F8242](#) Fyzika plazmatu 2
- [F3180](#) Výboje v plynoch

You  kanál:

- Maxwellovi démoni