

# Iontový pohon

Zajan Ondřej, Popelová Dominika

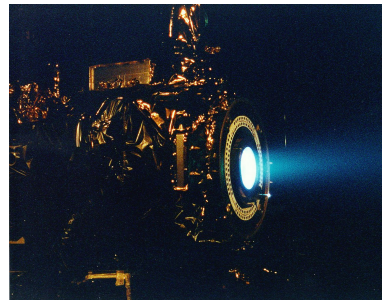
České vysoké učení technické v Praze  
Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská

27. Dubna 2017



# Obsah

- 1 Úvod
  - Historie
  - Vlastnosti pohonu
- 2 Typy
  - Elektrostatický pohon
  - Hallův pohon
- 3 Ionizace
  - Ionizace srážkou s elektronem
  - Ionizace za vzniku záporných iontů
  - Ionizace elektrickým polem
- 4 Výboje v plynech
  - Voltampérová charakteristika výboje
  - Samostatný výboj
  - Obloukový výboj
  - Jiskrový výboj
  - Koróna
  - Doutnavý výboj
  - Paschenův zákon
- 5 Experiment
  - Konstrukce
  - Zdroj
- 6 Reference



Obr.: Iontový pohon



# Historie

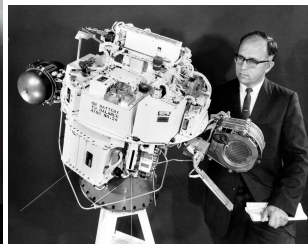
- 1906 - R. H. Goddard - První myšlenka, patent
- 1911 - K. E. Ciolkovskij - Oficiální autor
- 1964 - H. R. Kaufman - První iontový motor



Obr.: R. H. Goddard



Obr.: K. E. Ciolkovskij



Obr.: H. R. Kaufman



# Základní vlastnosti

- Pohon kosmických lodí a sond
- Akce a reakce
- Urychlení iontů na desítky km/s
- Napětí okolo 5 kV

$$v = \sqrt{\frac{2qU}{m}} \quad (1)$$



# Výhody a nevýhody

## Výhody

- Elektrická energie
- Hmotnost
- Vyšší specifický impuls –  $30 \frac{kN \cdot s}{kg}$  – 10x více než u klasických pohonů
- Životnost

## Nevýhody

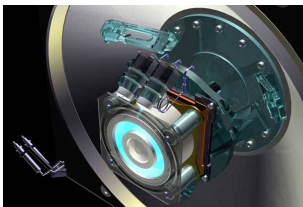
- Nízká tahová síla



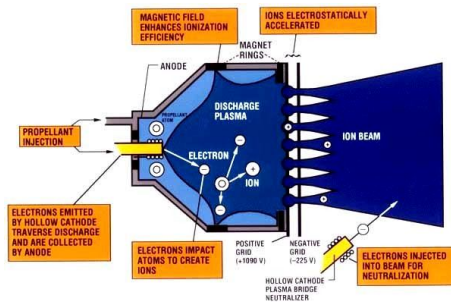
# Elektrostatický pohon

## ■ Princip

- Vstřikování atomů hnacího plynu
- Ostřelování energetickými elektrony
- Ionty se pohybují k mřížkám
- Neutralizátor



Obr.: Elektrostatický pohon

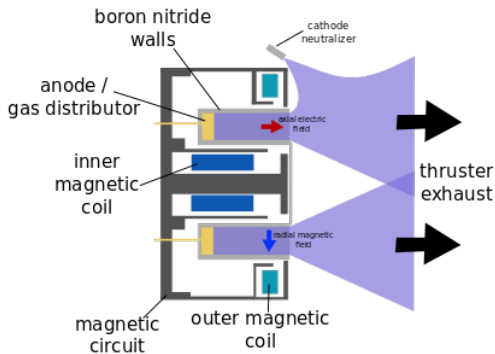


# Životnost

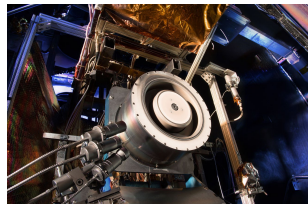
- Životnost je snižována nárazy iontů
- Zvýšení doby životnosti – výběr vhodného paliva
  - Na počátku rtuť a cesium – byly silně korozivní
  - Přejít na xenon
  - Motory NSTAR pracují již 16 000 hodin (1,8 roku), nejví známky snížení výkonu



# Hallův pohon



Obr.: Hallův pohon



Obr.: Hallův pohon





# Ionizace

- Tvorba kladných nebo záporných iontů
- Menší energie -> excitace
- Druhy
  - Ionizace srážkou s elektronem
  - Ionizace za vzniku záporných iontů
  - Ionizace srážkou s atomem nebo iontem
  - Ionizace elektrickým polem
  - Fotoionizace



# Ionizace srážkou s elektronem

- Probíhá ve většině iontových pohonů
- Snadné urychlení elektronů ve vakuu
- Energie elektronu musí překročit ionizační potenciál
- Atom je již excitován -> stačí nižší energie k ionizaci



# Ionizace za vzniku záporných iontů

- Srážka elektronu s elektronegativní částicí
- Může dojít k excitaci
- Záchyt elektronu -> uvolnění energie – elektronová afinita
  - Menší než ionizační energie
  - Pro molekulu  $O_2$  ionizační energie – 12,2 eV, elektronová afinita – 0,44 eV.



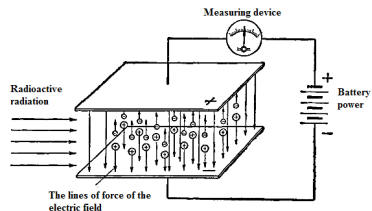
# Ionizace elektrickým polem

- Elektron nemusí získat ionizační potenciál
- Tunelování – kvantově mechanický jev
- Valenční elektron je "uvězněn" v potenciálu kladného jádra
- V přítomnosti vnějšího elektrického pole se potenciálová bariéra mění
- Využití – Kosmologie, tunelová dioda, řádkovací tunelový mikroskop



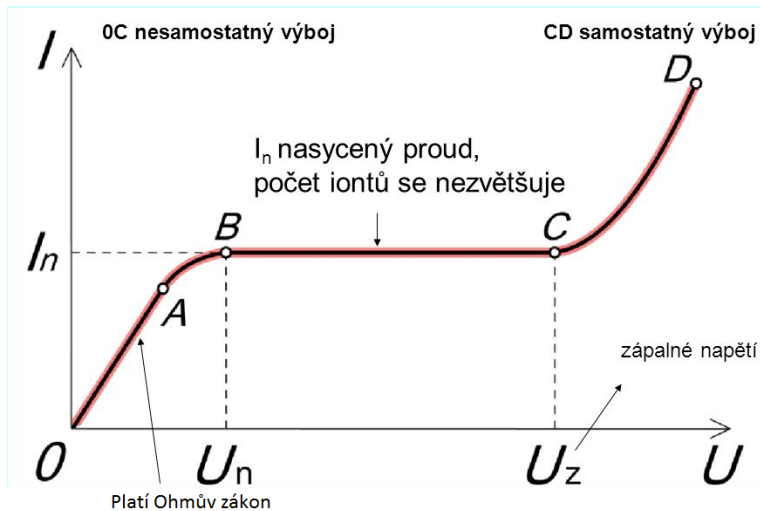
# Výboje v plynech

- Dobrý izolátor
- Ionizační čidla
  - Ultrafialové záření
  - Rentgenové záření
  - $\gamma$  záření
  - Kosmické záření
  - Vysoká teplota
  - Silné elektrické pole
  - Částice s vysokou energií
  - Tunelový jev
- $1\text{ cm}^3$  - 10 iontů za sekundu
- Ionizační komora



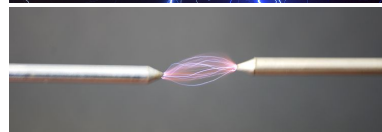
Obr.: Ionizační komora





# Samostatný výboj

- Obloukový výboj
- Jiskrový výboj
- Koróna
- Doutnavý výboj



# Obloukový výboj

- Tepelná ionizace
- Výbojky
- Obloukové sváření kovů





# Jiskrový výboj

## ■ Krátká doba trvání



# Koróna

- Trsovitý výboj
- Nehomogenní elektrické pole
- Eliášův oheň



# Doutnavý výboj

- Malý tlak
- Malý proud
- Nízká teplota elektrod
- Lavinová ionizace
- Doutnavky
- Zářivky



Obr.: Zářivka



Obr.: Doutnavka



Obr.: Zářivka



# Paschenův zákon

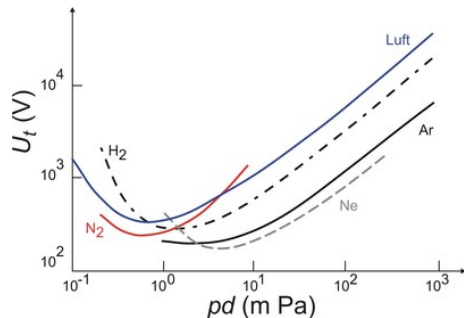
$$U = \frac{Bpd}{\ln \frac{Apd}{\ln \frac{1}{\gamma}}}$$

$$A = 11,25 \frac{1}{\text{Pa} \cdot \text{m}}$$

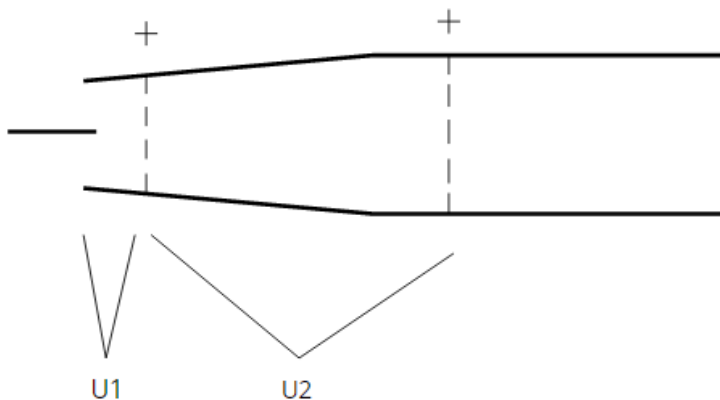
$$B = 273,75 \frac{\text{V}}{\text{Pa} \cdot \text{m}}$$

$$\gamma \approx 0,01$$

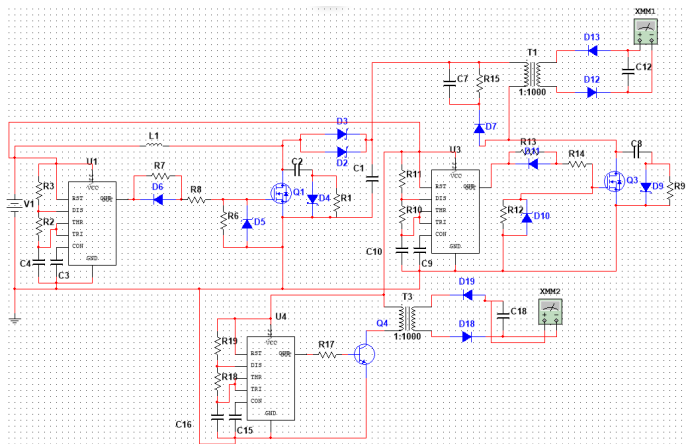
- Udává průrazné napětí jako funkci tlaku a vzdálenosti elektrod
- Pro vzduch – průrazné napětí na vzdálenost 1 metru – 3,4 MV
- Nejmenší průrazné napětí – 327 V na  $7,5 \mu\text{m}$  ->  $43 \frac{\text{MV}}{\text{m}}$  – 13x větší intenzita než při 1 metru



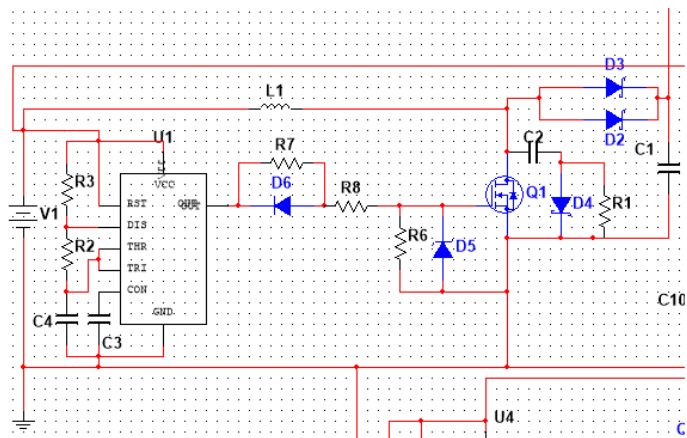
## Konstrukce



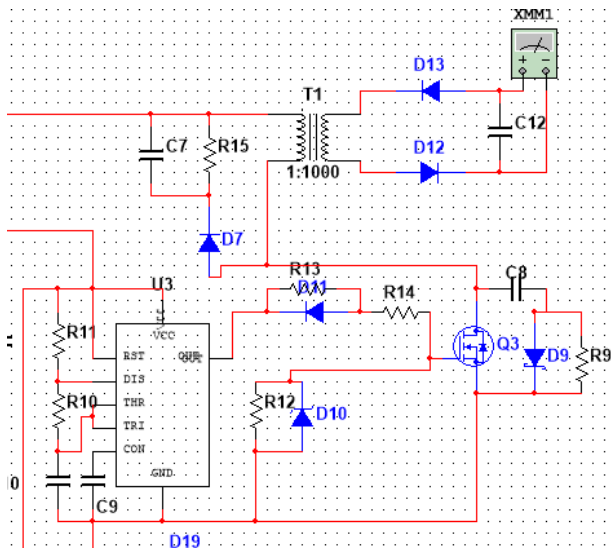
## Zdroj



## Zdroj

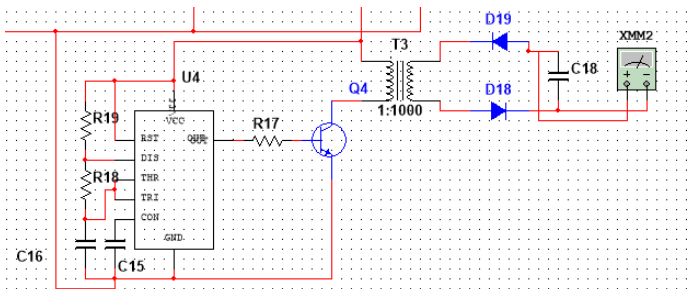


## Zdroj





## Zdroj



# Reference

[http://www.aldebaran.cz/bulletin/2012\\_47\\_pla.php](http://www.aldebaran.cz/bulletin/2012_47_pla.php)  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Paschen%27s\\_law](https://en.wikipedia.org/wiki/Paschen%27s_law)  
[https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=87069](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=87069)  
[http://www.aldebaran.cz/bulletin/2012\\_24\\_pla.php](http://www.aldebaran.cz/bulletin/2012_24_pla.php)  
<http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/282-nesamostatny-a-samostatny-vyboj-v-plynu>  
<https://cs.wikipedia.org/wiki/Ionizace>  
<http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/283-samostatny-vyboj-v-plynu-za-atmosferickeho-a-za-snizeneho-tlaku>  
<https://www.cez.cz/edee/content/microsites/elektrina/fyz8.htm>  
[https://cs.wikipedia.org/wiki/Iontov%C3%BD\\_motor](https://cs.wikipedia.org/wiki/Iontov%C3%BD_motor)  
[https://is.muni.cz/el/1431/jaro2015/F8720/um/Paschenuv\\_zakon.pdf](https://is.muni.cz/el/1431/jaro2015/F8720/um/Paschenuv_zakon.pdf) [http://www-eng.lbl.gov/~shuman/XENON/REFERENCES&OTHER\\_MISC/paschen\\_report.pdf](http://www-eng.lbl.gov/~shuman/XENON/REFERENCES&OTHER_MISC/paschen_report.pdf)

