

C8930 - Metody plazmochemické konzervace

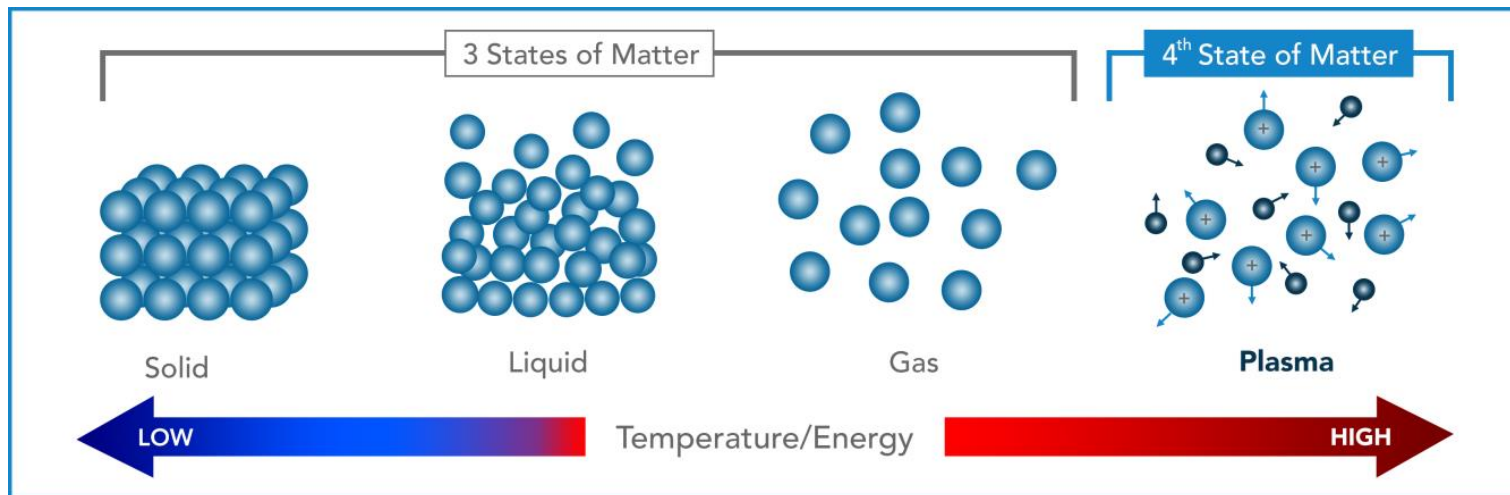
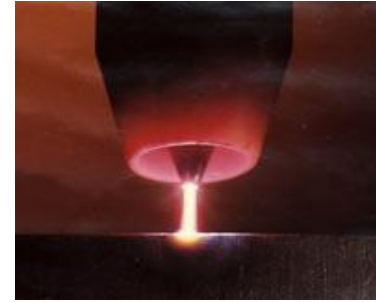
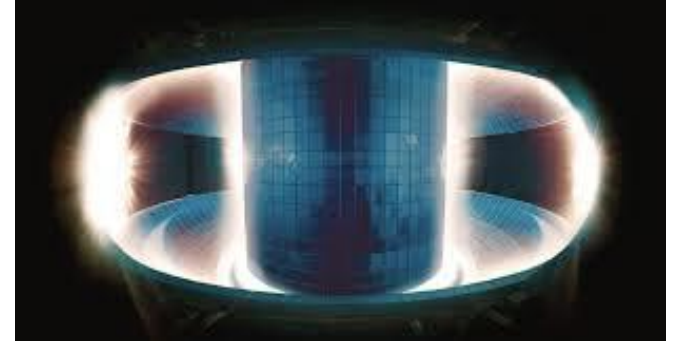
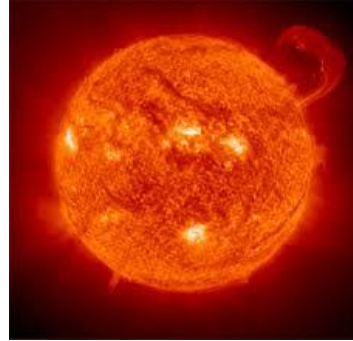
Definice plazmatu, charakteristika výboje v
plynu a v kapalinách

D.Pavliňák 2019

Definice plazmatu

- 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)

Plazma - čtvrté skupenství hmoty

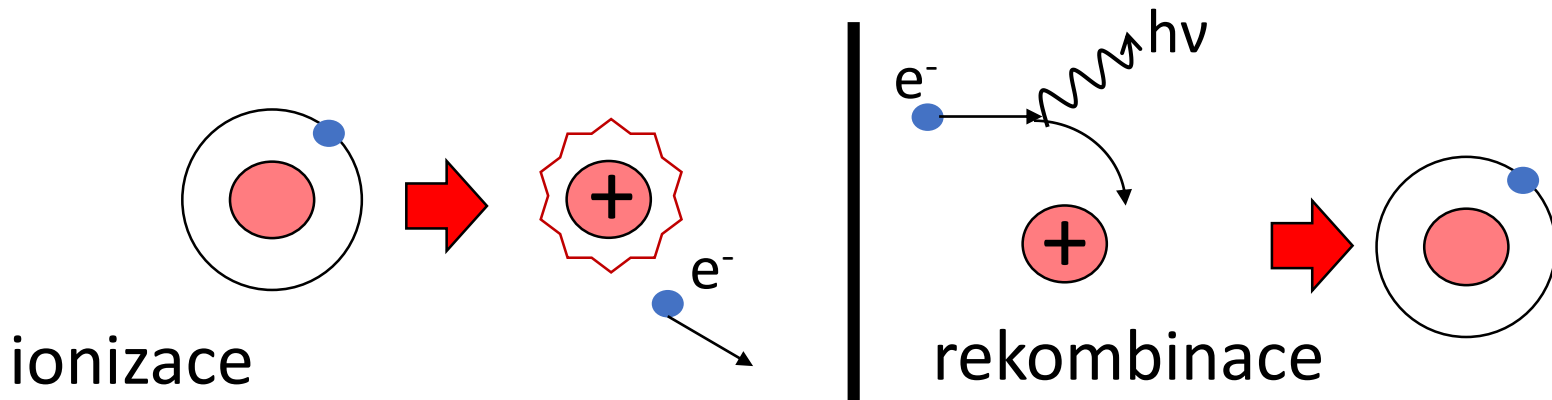


Výboje v plynech - plazma

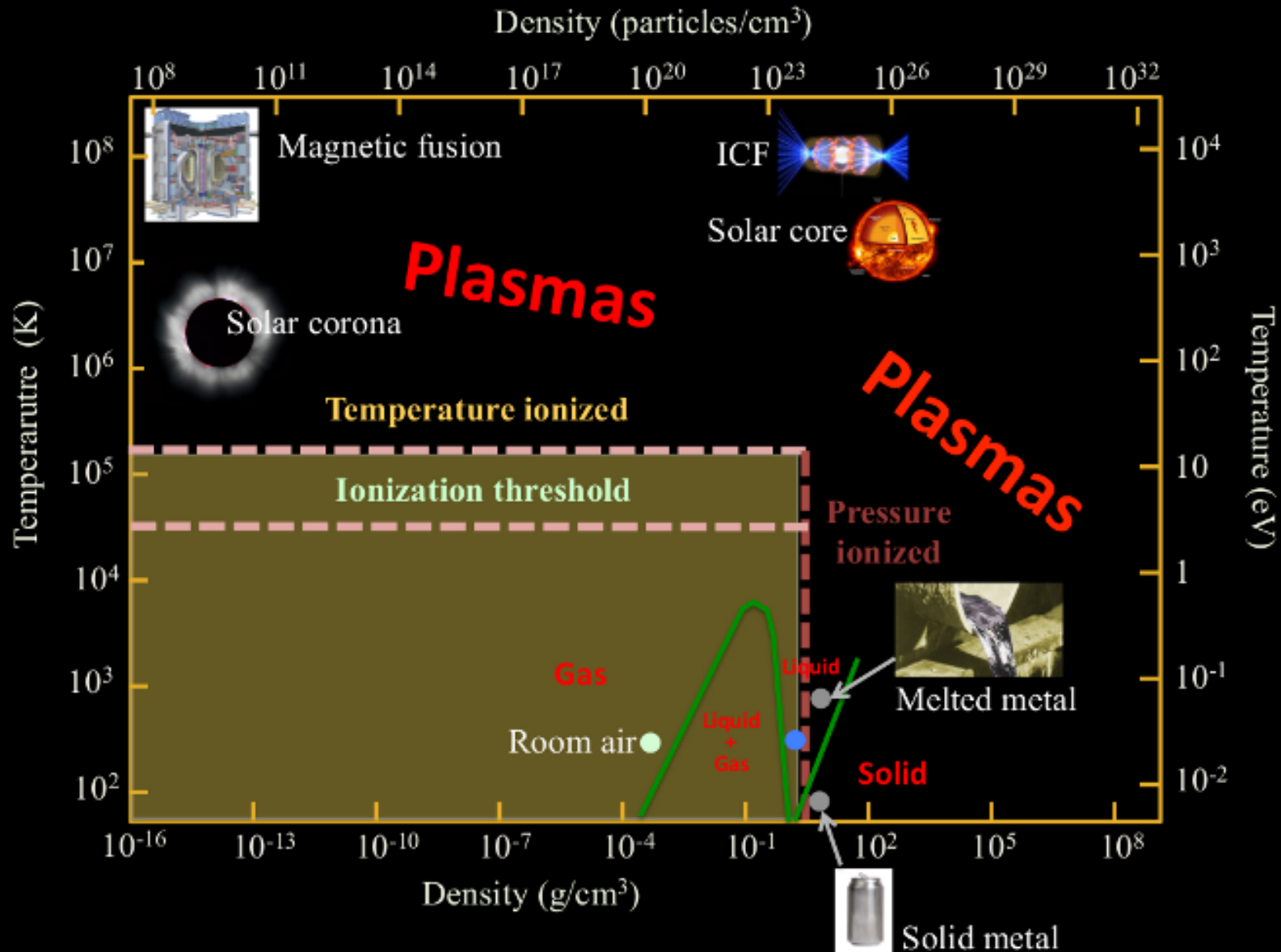
- Výbojem v plynu rozumíme:
 - *„Vedení elektrického proudu plynem díky pohybu nabitých částic. Nabité částice vznikají především srážkovými procesy. Typickým srážkovým procesem je srážka elektronu s neutrální částicí plynu (atomem, molekulou) a vytvoření iontu + dalšího elektronu.“*
 - Problém - plyn je za normálních podmínek nevodič (vzduch: $\sigma \approx 10^{-14}$ S/cm, stříbro: $\sigma = 6 \cdot 10^7$ S/cm, Ar plazma: $\sigma > 10^3$ S/cm)
- Otázka zní jak přimět nevodivý plyn vést elektrický proud?
 - Odpověď: **IONIZACÍ PLYNU**

Výboje v plynech - plazma

- Ionizace plynu – ionizovat plyn znamená vytvořit dostatečné množství volných nosičů náboje (elektron, ion) a udržet je „aktivní“ po dostatečně dlouhou dobu.
 - Problém spočívá v reaktivnosti nabitých částic. Částice mohou reagovat mezi sebou (rekombinace) nebo se stěnami reaktoru (neutralizace). Pokud potřebujeme tyto ztráty vyrovnat a držet v systému dostatečný počet částic - **musíme do systému neustále dodávat energii.**



Jak přimět nevodič vést elektrický proud? – Dodáním tepelné energie!



Ionizace plynu – dodání ionizační energie

- Zvyšováním teploty plynu

- Nepružné srážky částic plynu vedou ke generaci nabitých částic – ionizace plynu tepelnou energií. (*ohřev/hoření, fokusace laserových paprsků do jednoho bodu*)

- Absorpcí vysokoenergetického záření částicí plynu

- Absorpcí UV, X-ray, kosmického záření může dojít k ionizaci + odtržení elektronu a vytvoření dvojice elektron-ion.

- Urychlením nabité částice v elektrickém poli

- Elektrické pole začne urychlovat nabité částice (především má vliv na volné elektrony). Získá-li částice (elektron) dostatečnou rychlost (kinetickou energii), může při srážce dojít k ionizaci neutrální částice.

Ionizace plynu – zvyšováním teploty plynu

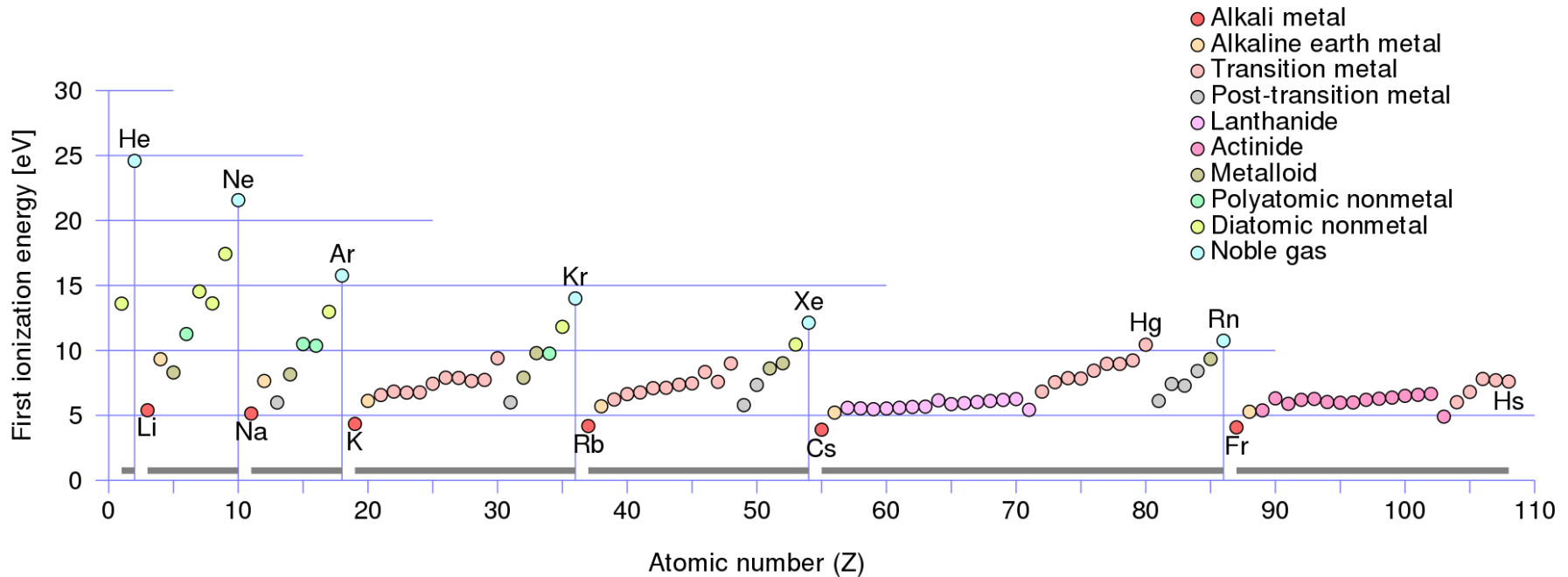
- *Sahova rovnice:*

$$\frac{n_e^2}{n - n_e} = CT^{3/2} \exp\left(-\frac{U_i}{kT}\right)$$

- *Kde: $n_e = n_i$, $n = n_0 + n_i$, $C \approx 2,4 * 10^{21} \text{ m}^{-3}$, k - Boltzmanova konst., T – teplota plynu, U_i - ionizační potenciál*
- Za termodynamické rovnováhy se proces generace párů nabitých částic s rostoucí teplotou dá popsat statisticky pomocí Sahovy rovnice.

Ionizace plynu – zvyšováním teploty plynu

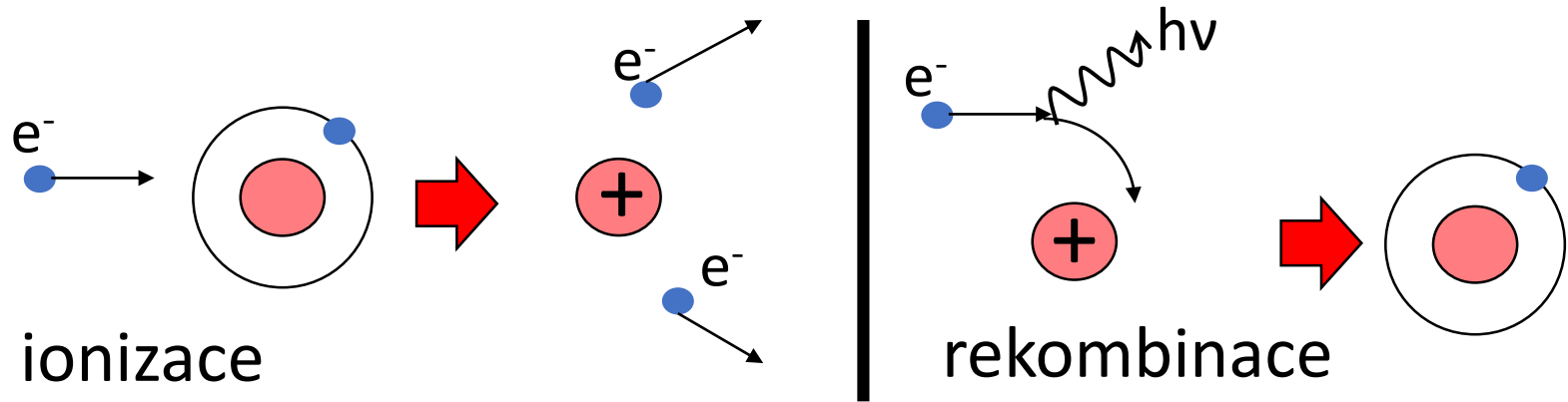
Ionizační potenciál - U_i



Ukázka stupně ionizace vodíku a helia v závislosti na teplotě:

http://csep10.phys.utk.edu/OJTA2dev/ojta/c2c/ordinary_stars/harvard/ionization_ic/frame.html

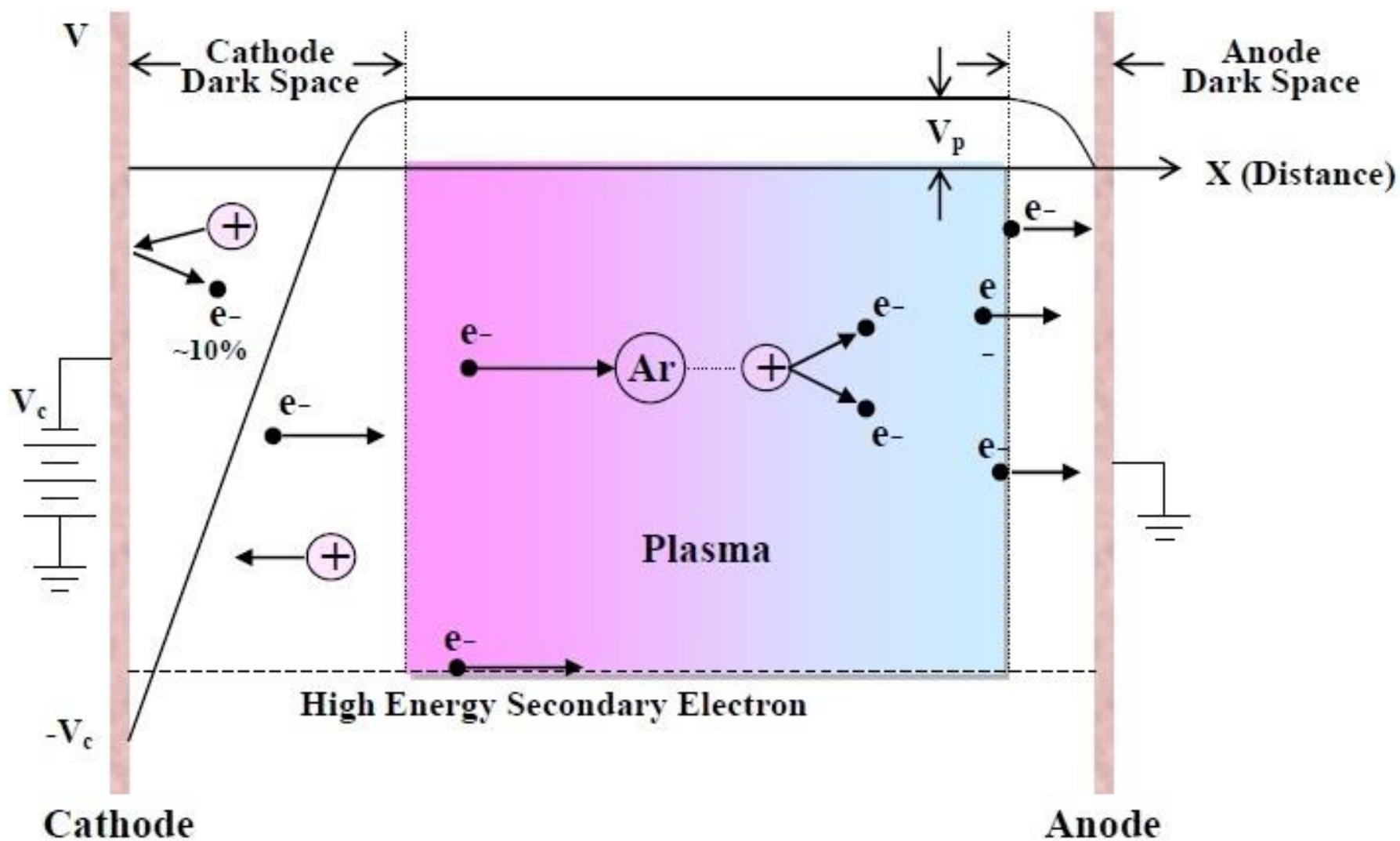
Ionizace plynu – srážky molekul plynu (elektrické plazma)



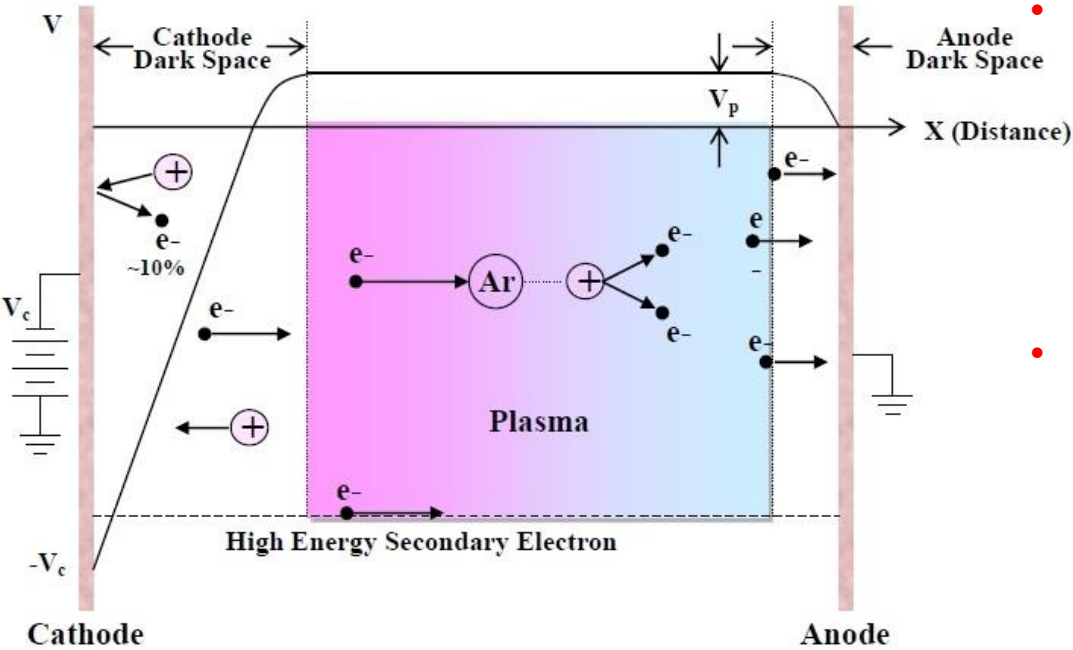
Elektrické plazma – nejčastější laboratorní a průmyslové plazma)

- Podle metody (CCP, ICP, GD, DBD, plasma jet atd.)
- Podle průběhu napětí (AC/DC, pulzní/sinus., MW, kHz, GHz)

Elektrické plazma – výbojová trubice



Výboje v plynech



Podmínka existence plazmatu:

- **Kvazineutralita plazmatu (Debeyova délka)**

$$h = \sqrt{\frac{\epsilon_0 k}{e^2 n_0} * \frac{T_+ * T_-}{T_+ + T_-}}$$

- (rozměr plazmatu musí být mnohem větší než Debyeova délka)

- **Počet částic v Debyeově kouli**

$$N_D = \frac{4\pi}{3} h^3 n_0 \geq 1$$

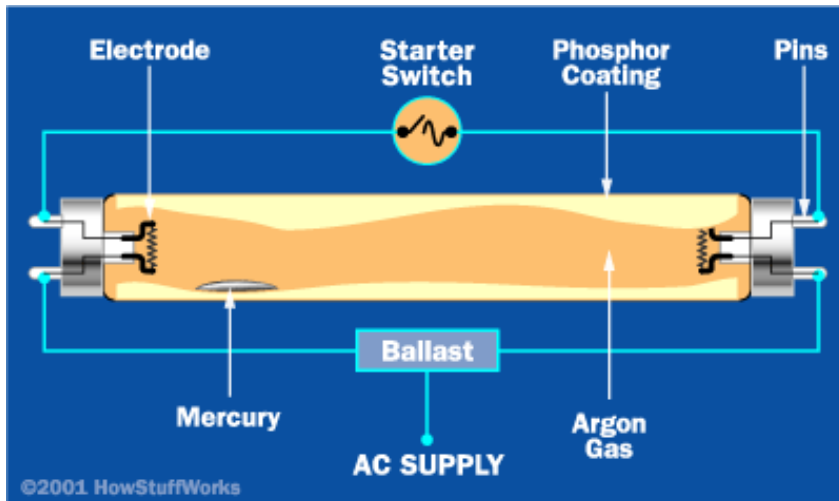
- (hustota nabitých částic v Debyeově kouli musí být statisticky významná, aby se uplatnilo jejich kolektivní chování)

- **Plazmová frekvence je vyšší než srážková frekvence**

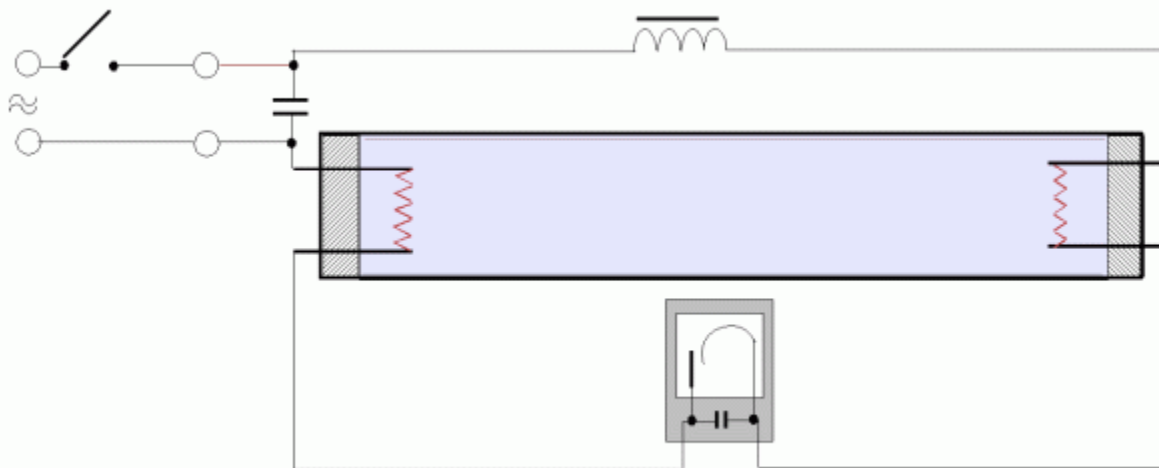
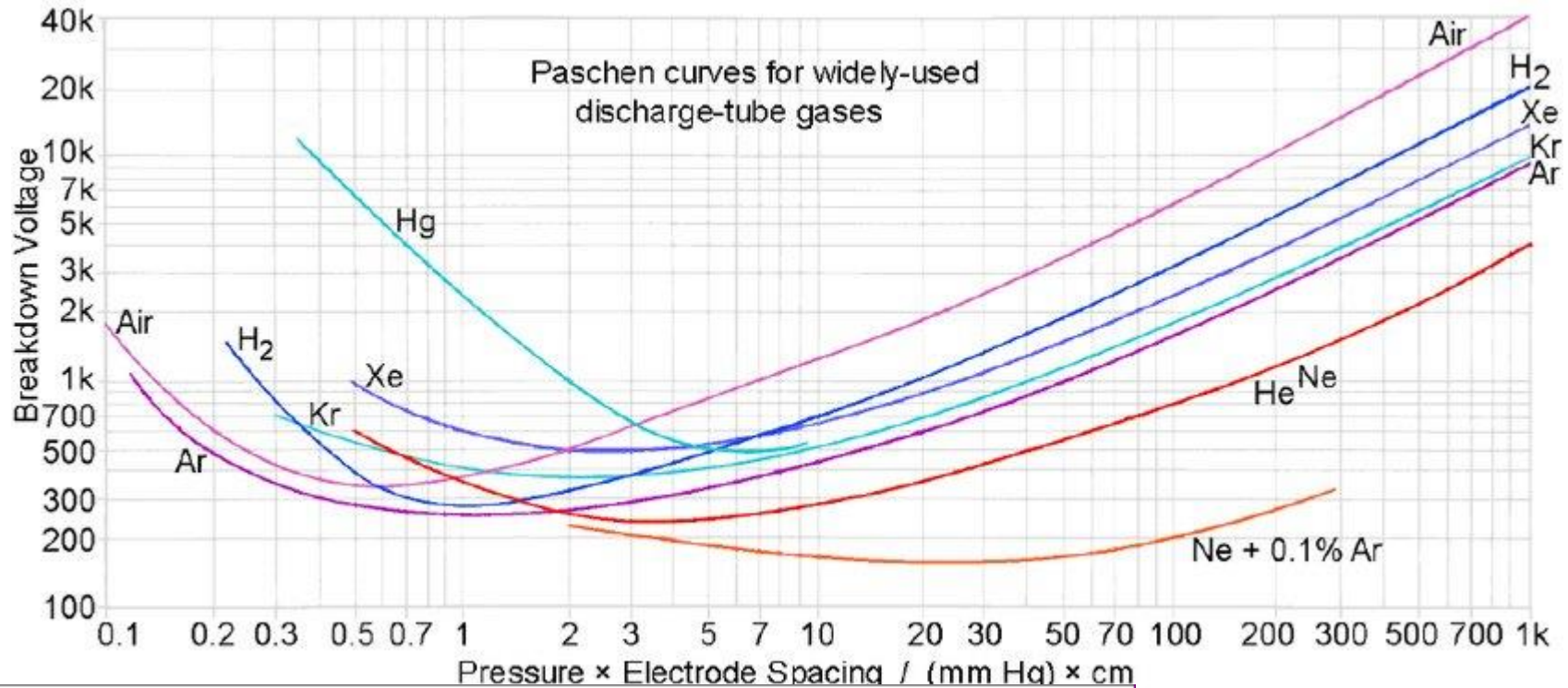
$$\omega_p = \sqrt{\frac{e^2 n_0}{\epsilon_0 m_-}}$$

$$\nu_- < 2\omega_p$$

- (v opačném případě by se totiž nabitě částice vzájemně neovlivňovaly elektromagnetickými silami, ale pohybovaly pod vlivem srážek s neutrálním plynem)



Výboje v plynech – Paschenova křivka



Pracovní tlak a zápalné napětí u zářivky:
400 Pa, 100-120V

Výboje v plynech

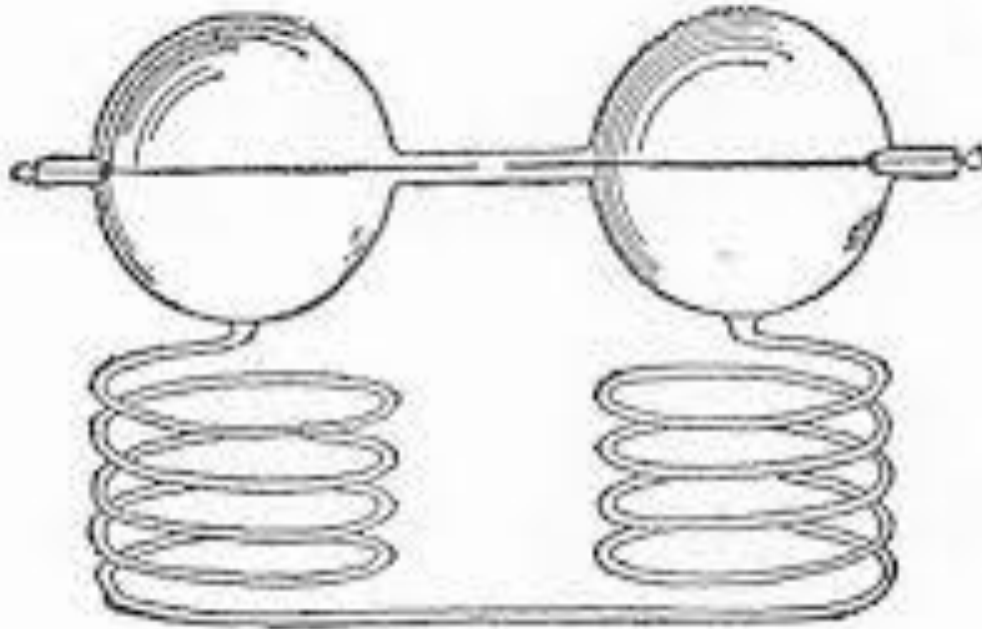
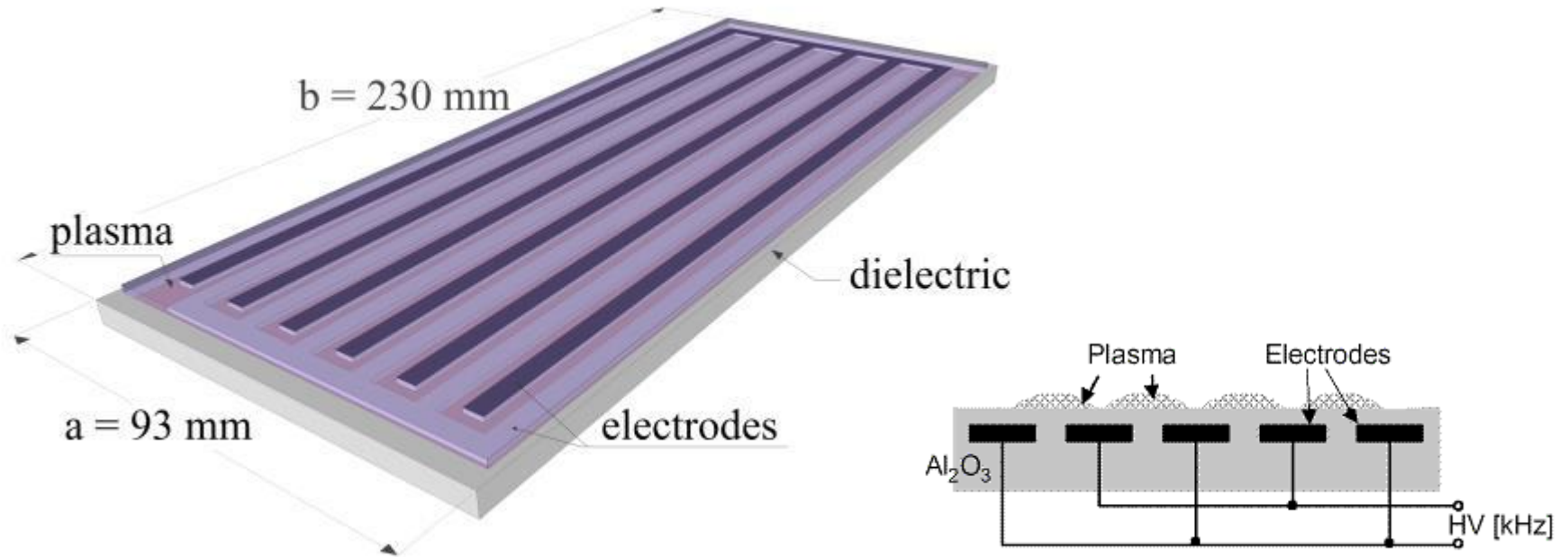


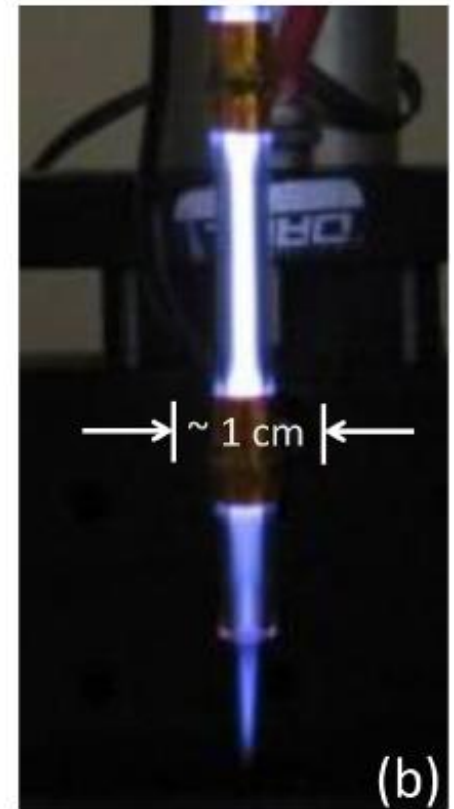
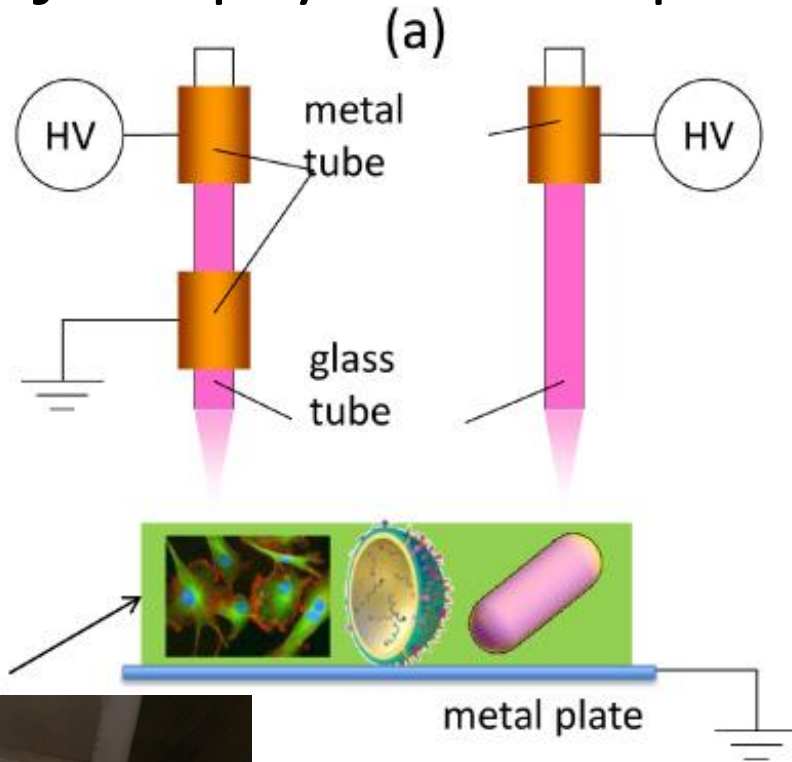
Fig. 2. Demonstration of the Paschen effect. When the pressure of the gas in the bulbs was reduced, the discharge took place through the long tube and not across the small gap between the metal electrodes.

Demonstration of the Paschen effect. When the pressure of the gas in the bulb was reduced, the discharge took place through the long tube and not across the small gap between the metal electrodes.

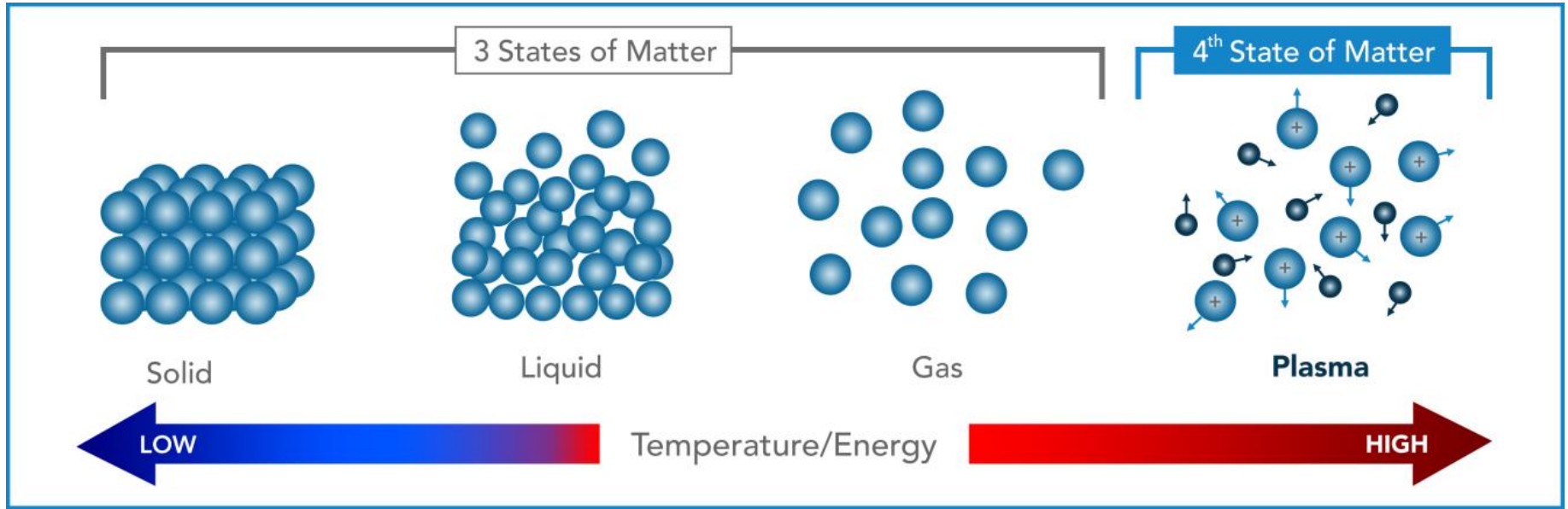
Výboje v plynech - DBD



Výboje v plynech - plasma jet



Výboje v kapalinách



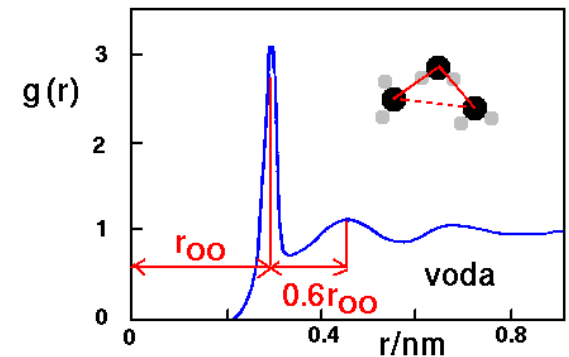
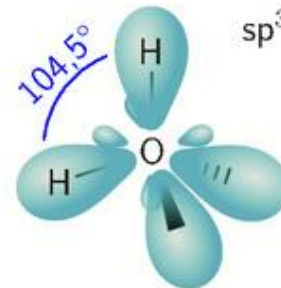
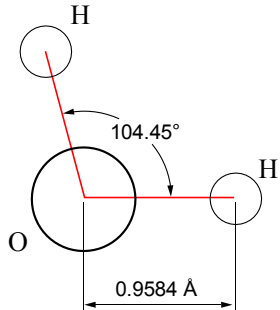
Střední vzdálenost mezi molekulami /atomy je:

0,2-0,3 nm

0,2 nm

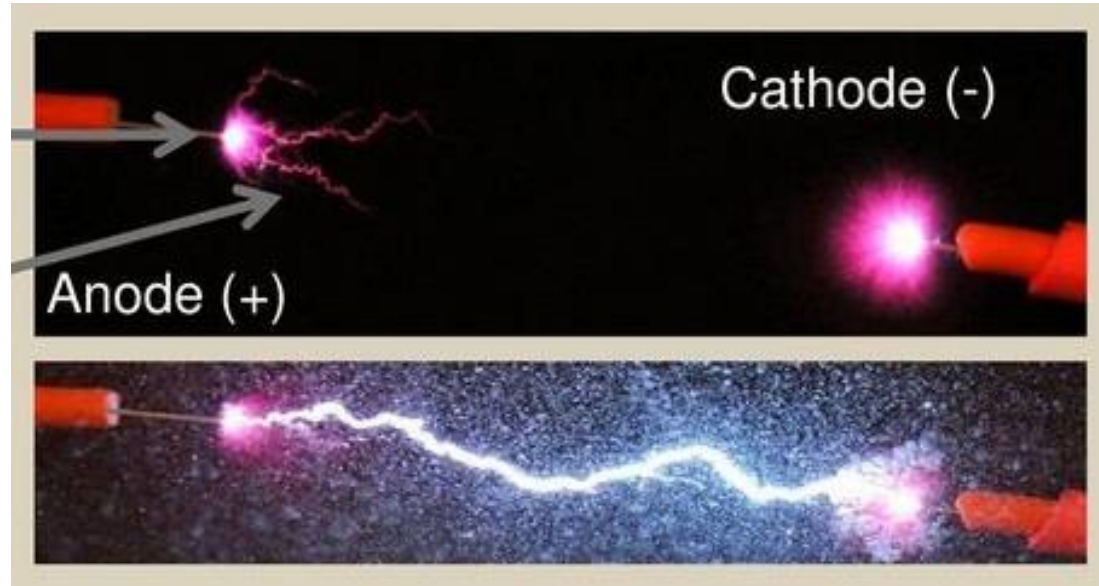
2-3 nm

Vzdálenosti pro molekulu vody:



Výboje v kapalinách

Primární streamer
Sekundární streamer



Propagace výboje v kapalině:

1. Iniciace

1. Elektrolýza kapaliny
2. Var a vytvoření „bubliny“ (Jouleův ohřev)
3. Kavitace kapaliny

2. Propagace - průraz

1. Primární streamer
2. Sekundární streamer
3. Průraz (jiskra)

3. Vytvoření vodivého kanálu – termalizace

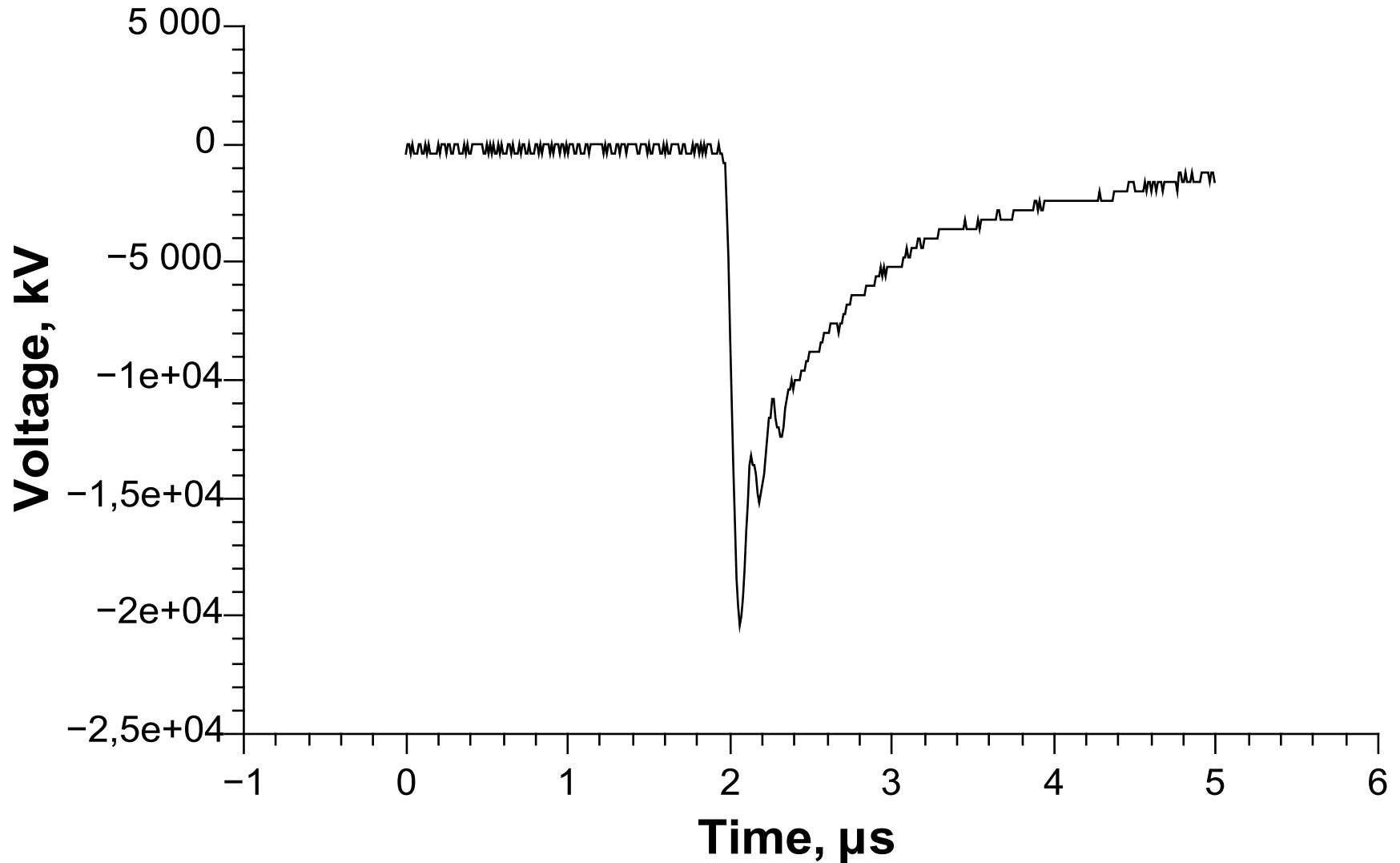
4. Relaxace a zánik vodivého kanálu

Problém:

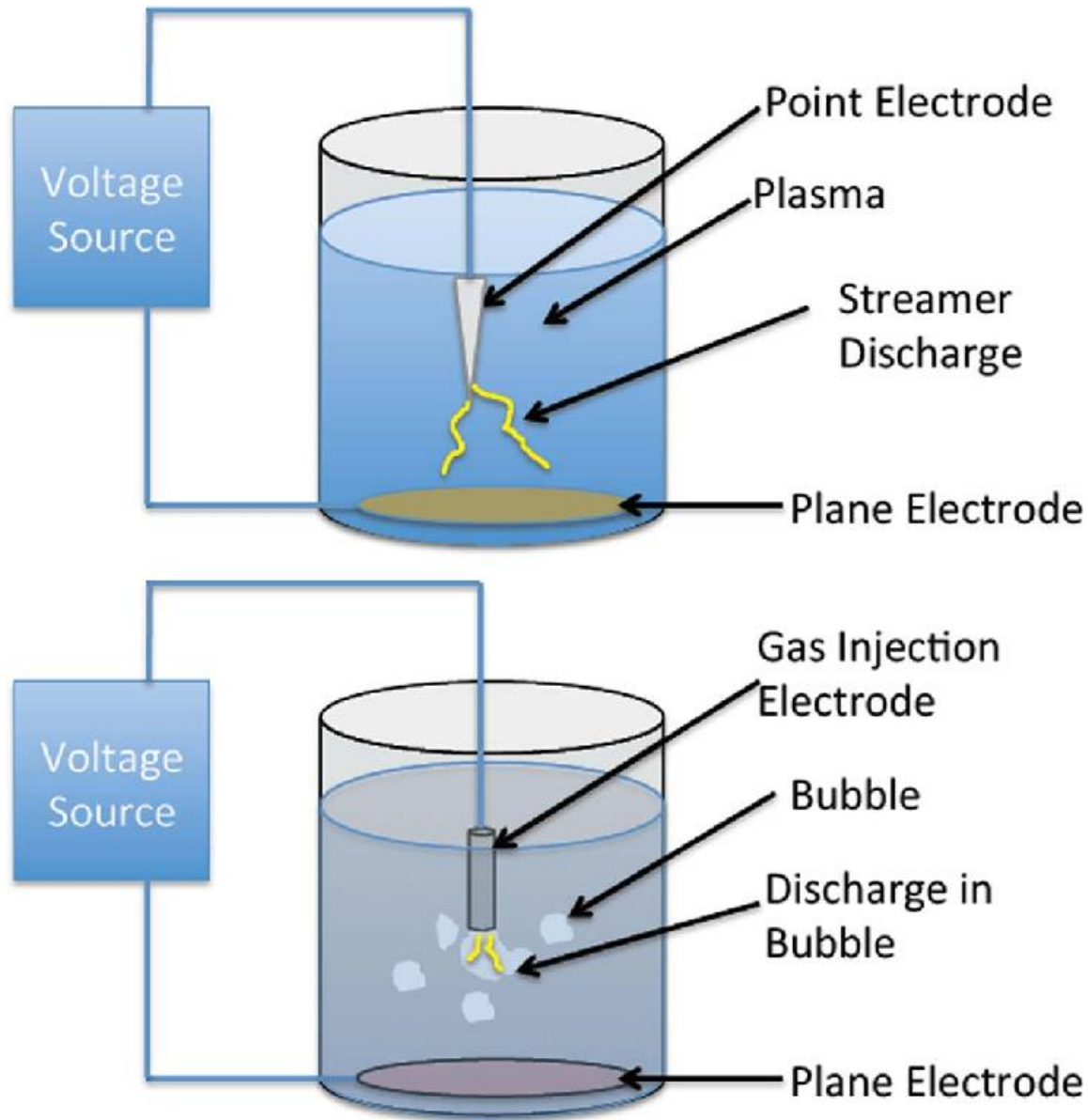
- K iniciaci výboje je zapotřebí vysokého napětí a je potřeba dodat velké množství energie (vysoké ztráty způsobené ohřevem kapaliny).
- Řeší se použitím pulzních generátorů o poskytující vysoké napětí (kV) v krátkém čase.

Pulzní zdroje

Thyratron pulsed power supply (up to 25 kV)



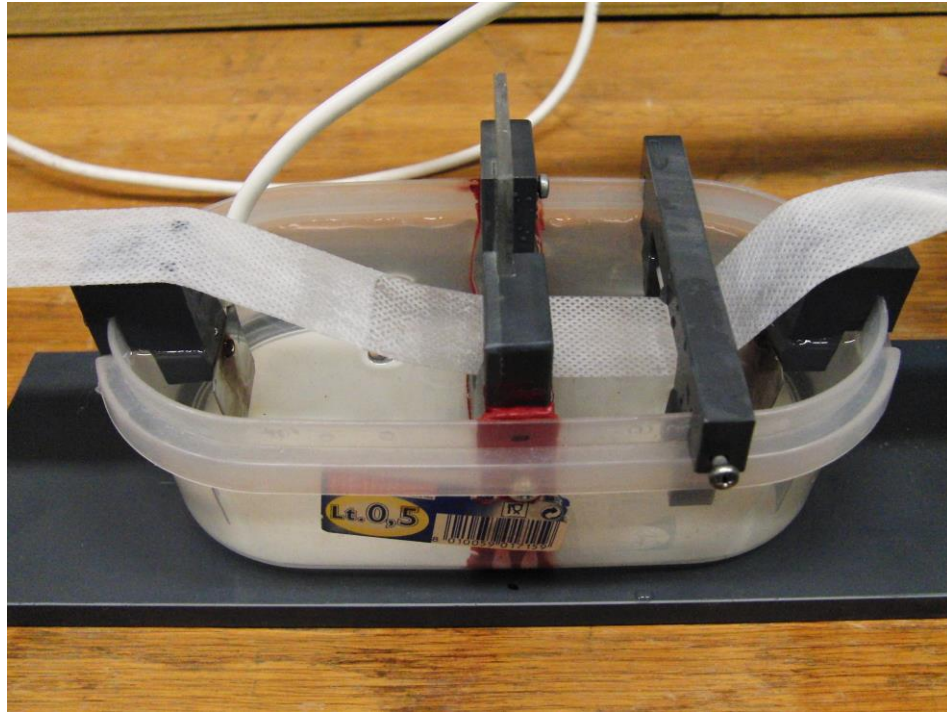
Výboje v kapalinách – A) Přídavek plynu



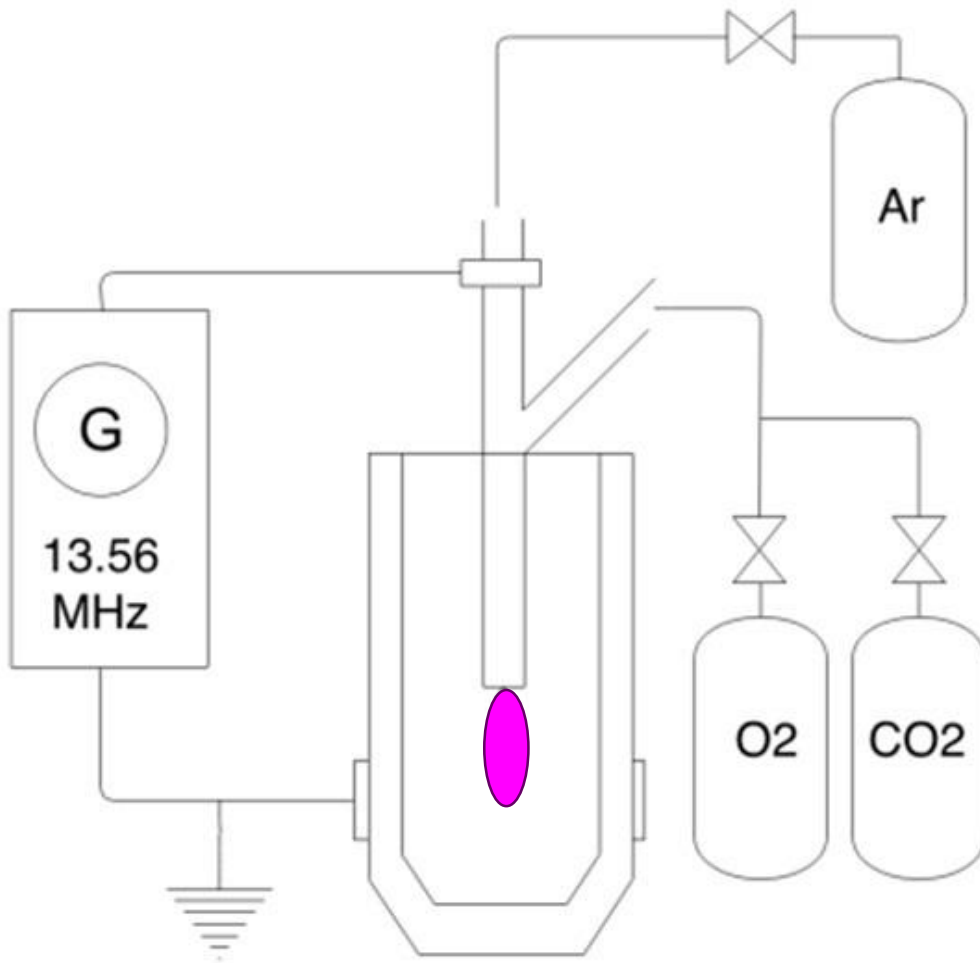
Výboje v kapalinách – B) Výboje na štěrbině

Aparatura na opracování plošné textilie pomocí výboje na štěrbině

Pulzní zdroj – 10Hz, 50kV/10ns (á 5J na výboj)



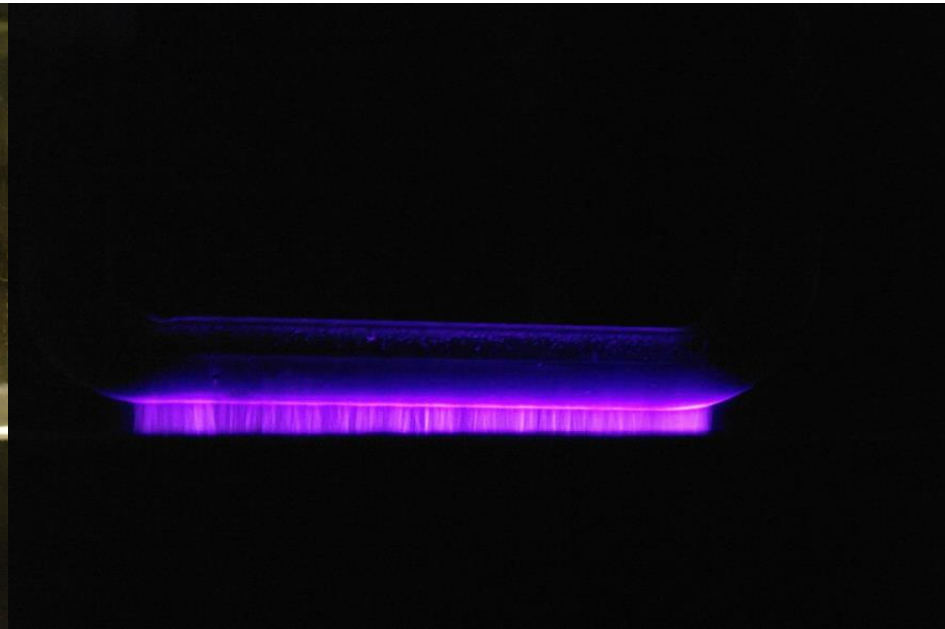
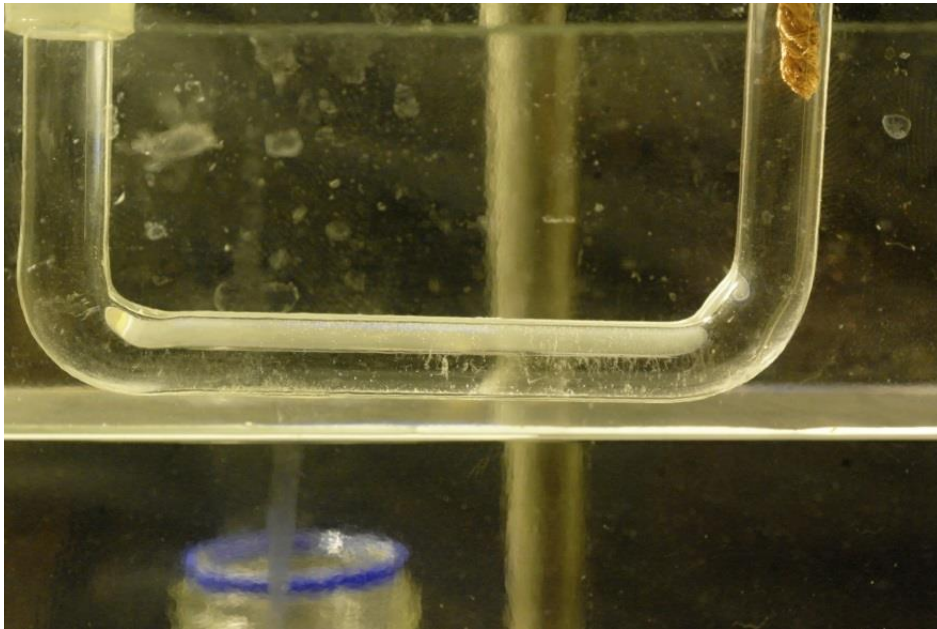
Výboje v kapalinách – B) Plazmová tryska v kapalině



Výboje v kapalinách – C) Výboje nad hladinou kapaliny

Aparatura na opracování plošné textilie pomocí výboje nad hladinou kapaliny

DBD zdroj – sinus 15 kHz, 20kV

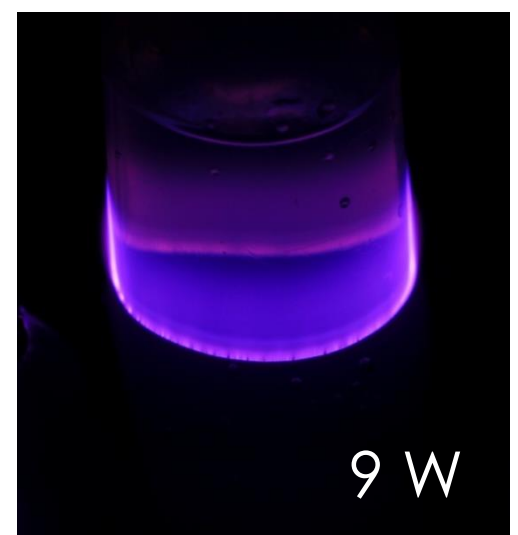
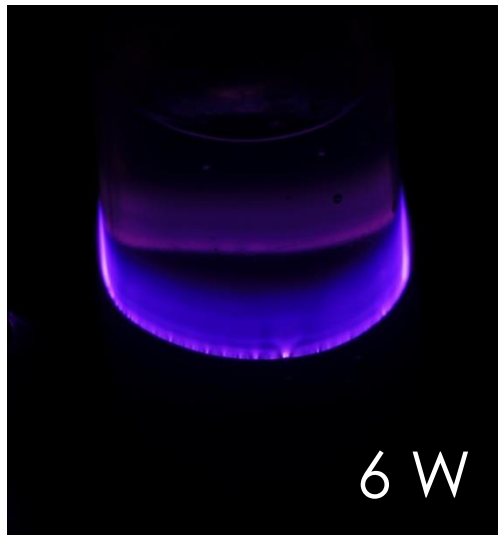
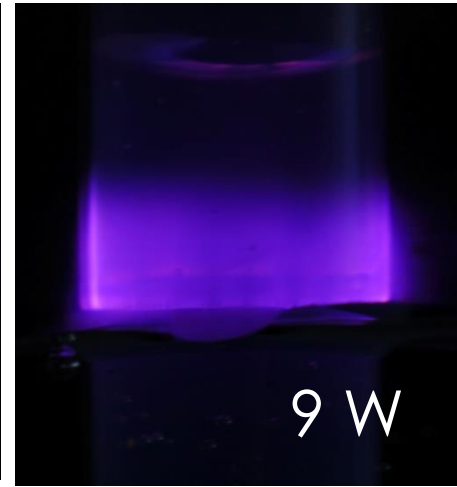
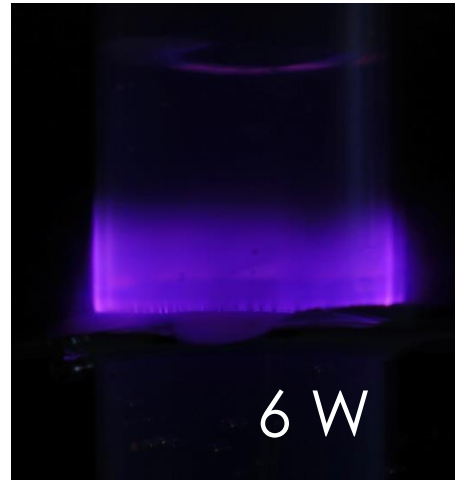
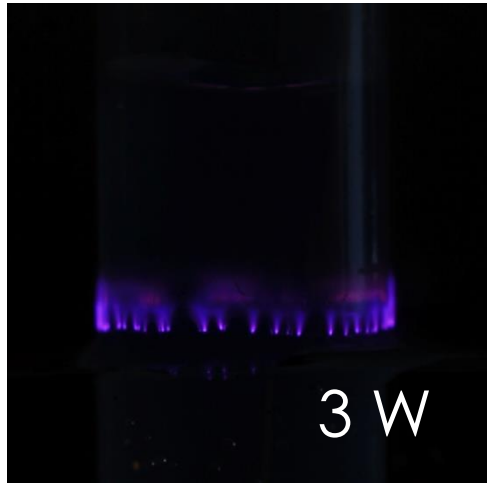
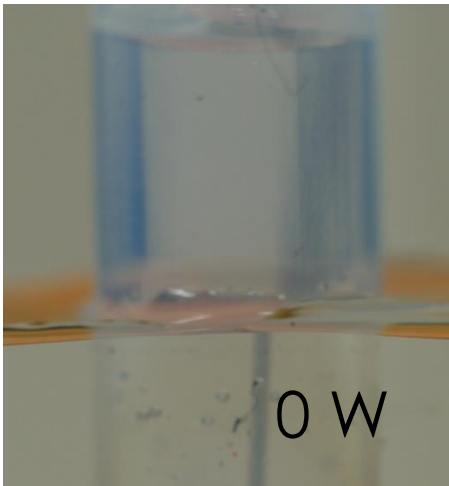


Výboje v kapalinách – C) Výboje nad hladinou kapaliny



Výboje v kapalinách – D) Hladinové výboje

Zvláštní případ DBD výbojů – 15kHz, 20kV



Děkuji za pozornost