



MASARYK UNIVERSITY



CEPLANT



Brno **Ph.D. Talent**

Diagnostika plazmy

Víkendový fyzikální seminář 2017

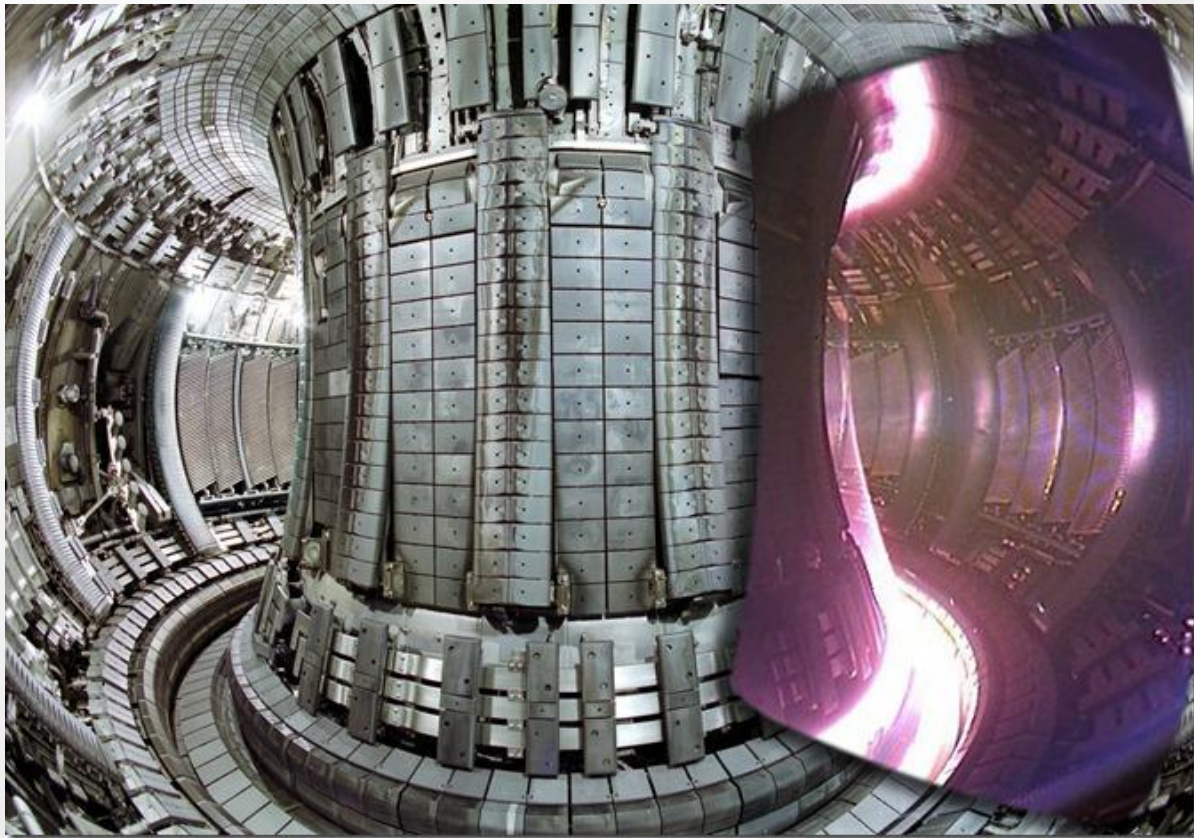
Matej Fekete

mfekete@mail.muni.cz

Motivácia

Aplikácie:

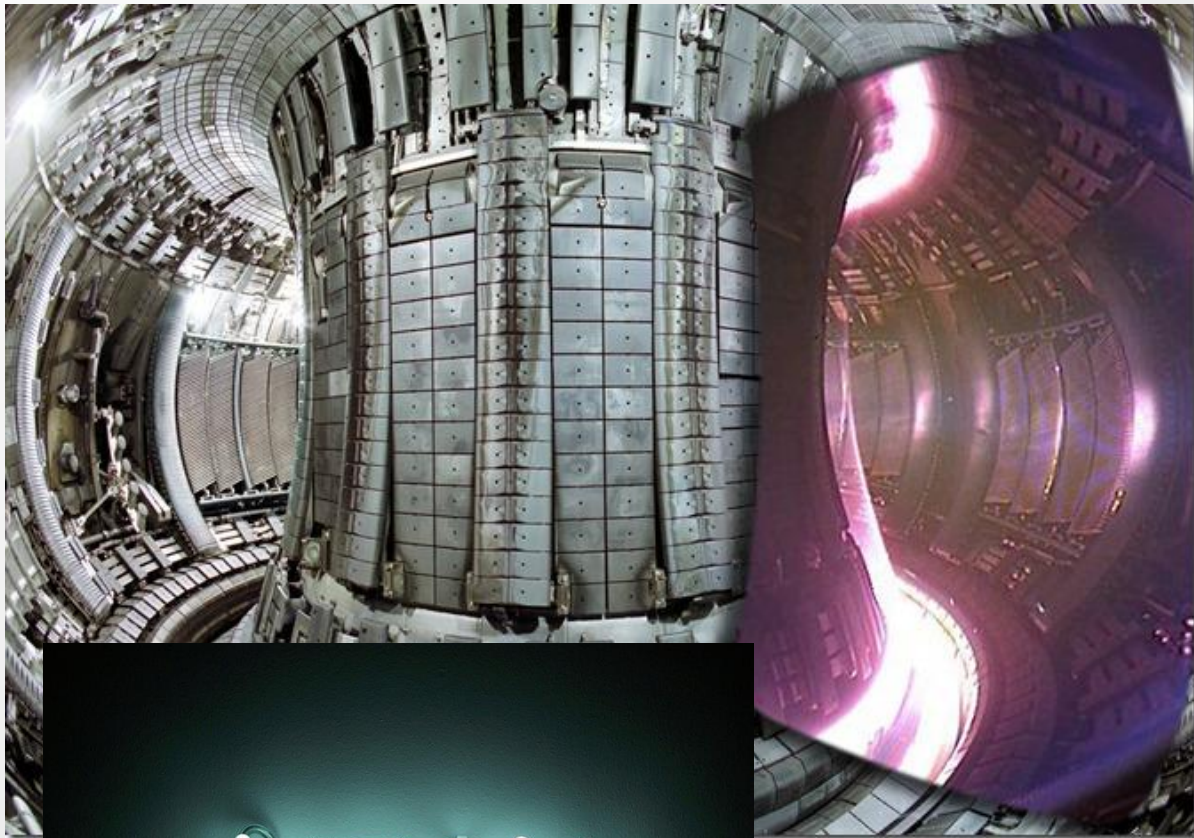
- fúzia



Motivácia

Aplikácie:

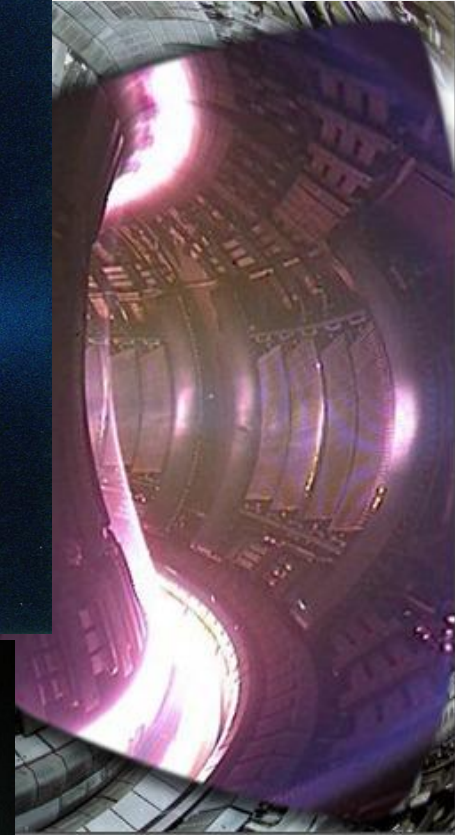
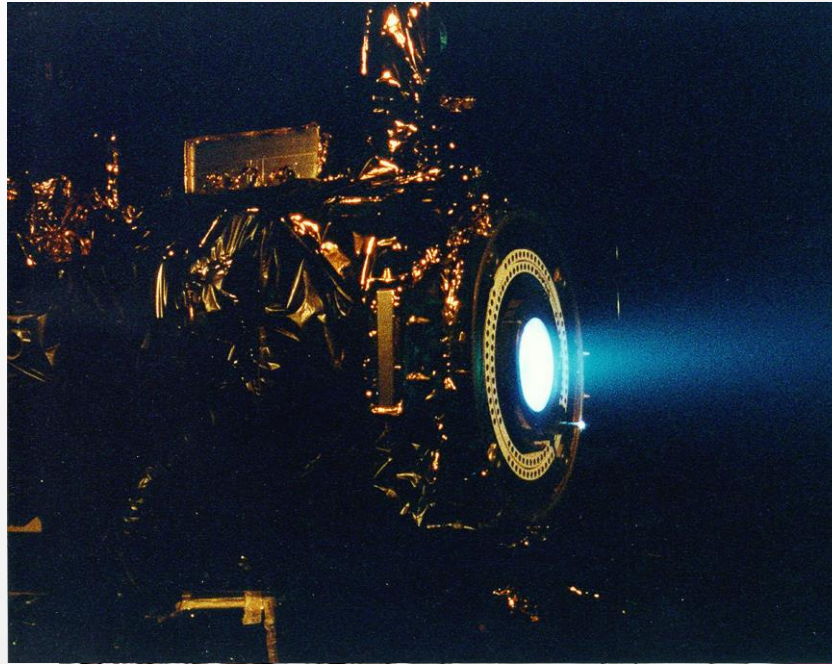
- fúzia
- svetelné zdroje



Motivácia

Aplikácie:

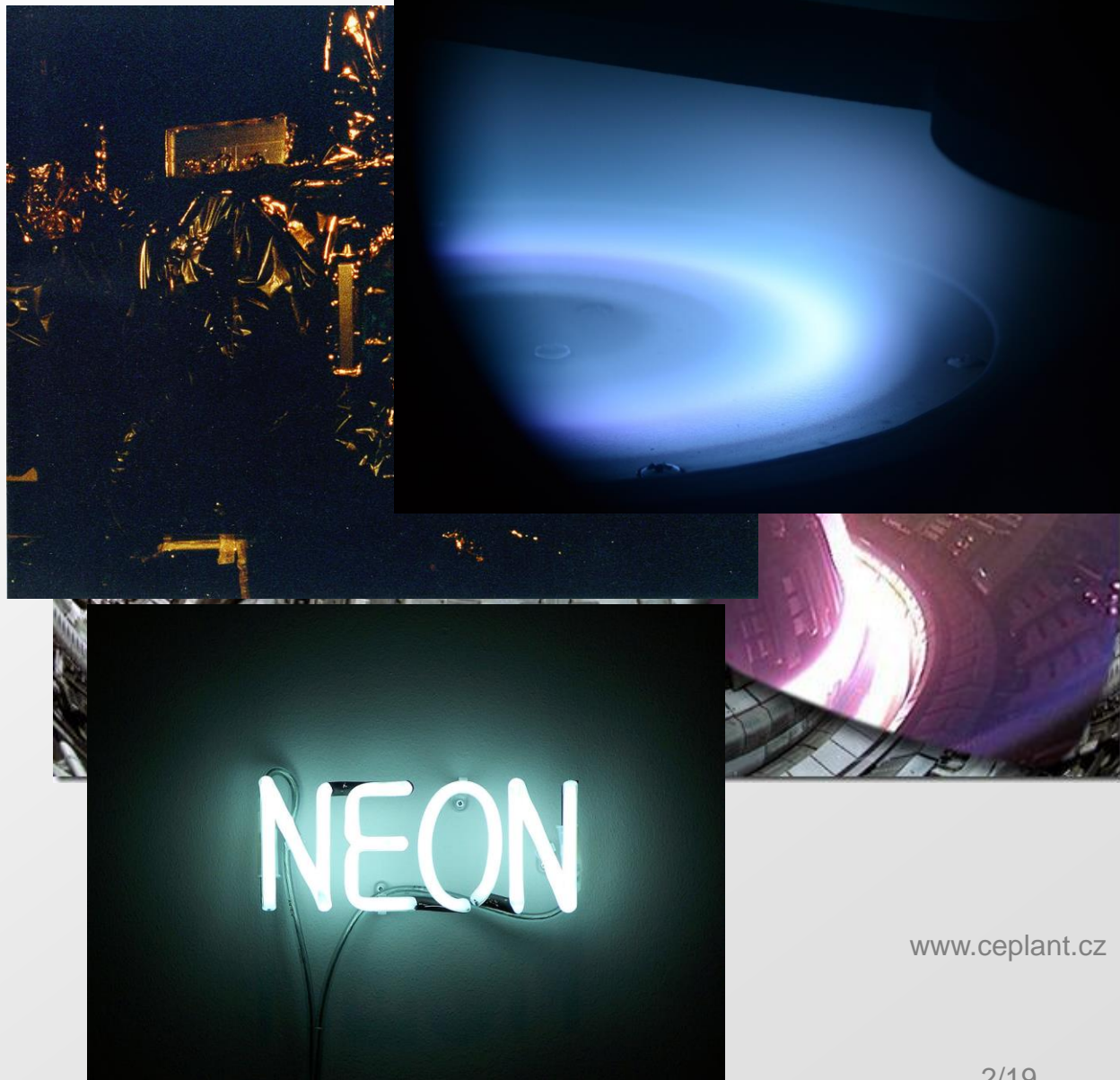
- fúzia
- svetelné zdroje
- iónové motory



Motivácia

Aplikácie:

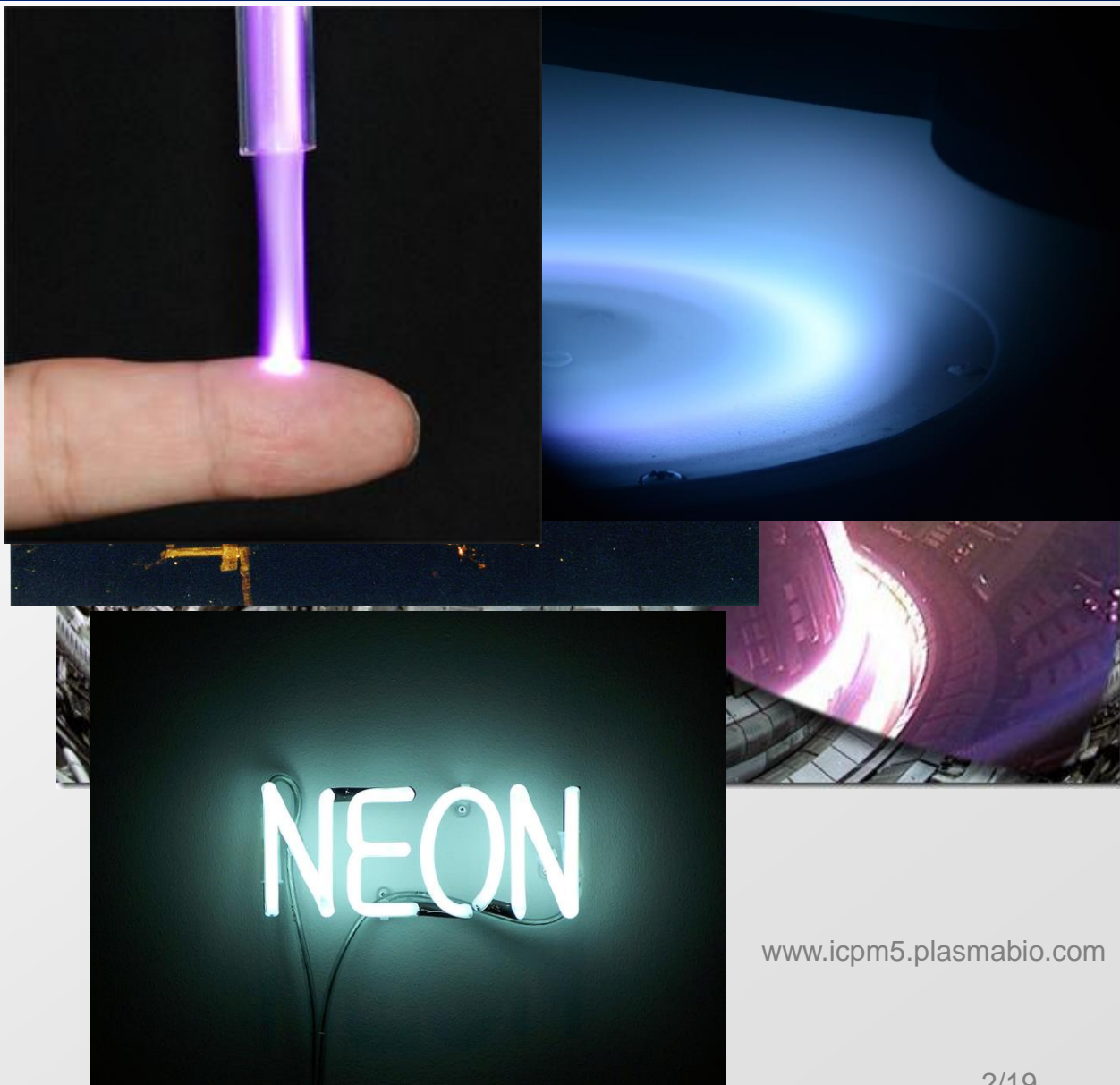
- fúzia
- svetelné zdroje
- iónové motory
- depozícia



Motivácia

Aplikácie:

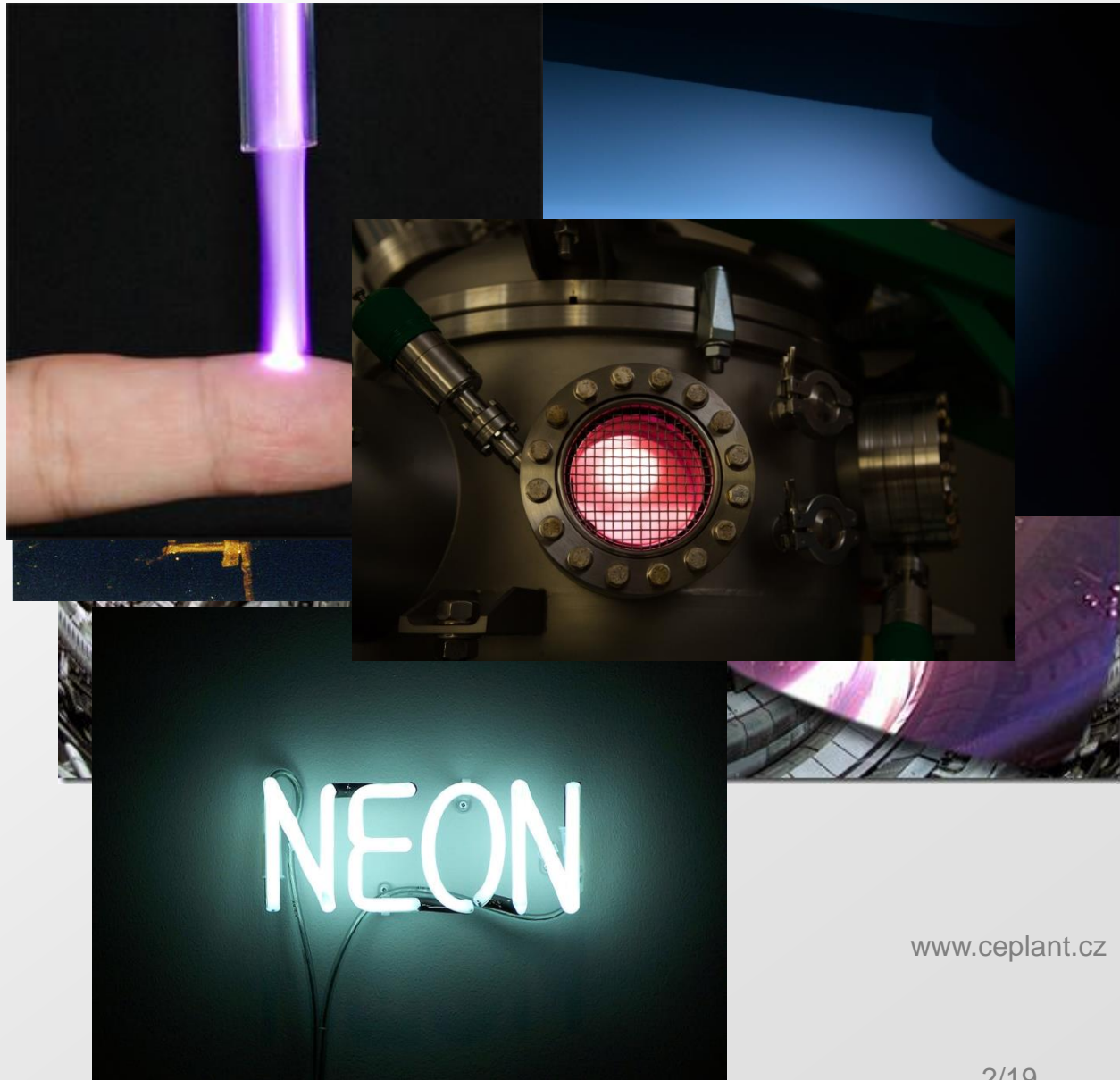
- fúzia
- svetelné zdroje
- iónové motory
- depozícia
- sterilizácia



Motivácia

Aplikácie:

- fúzia
- svetelné zdroje
- iónové motory
- depozícia
- sterilizácia
- leptanie



Motivácia

Aplikácie:

- fúzia
- svetelné zdroje
- iónové motory
- depozícia
- sterilizácia
- leptanie
- plazmové rezanie



Motivácia

Aplikácie:

- fúzia
- svetelné zdroje
- iónové motory
- depozícia
- sterilizácia
- leptanie
- plazmové rezanie
- povrchové úpravy



www.ceplant.cz

Výboje:

- korónový



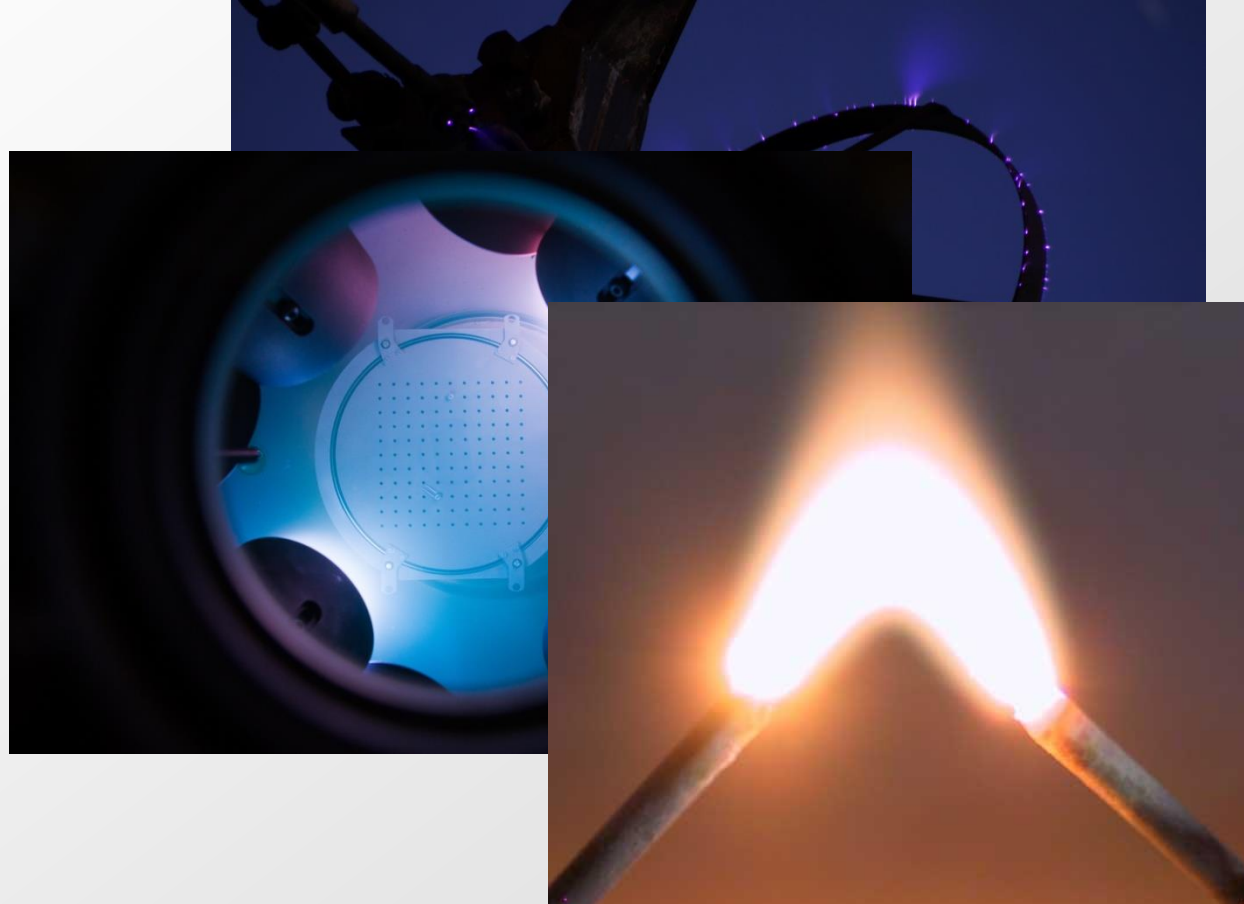
Výboje:

- korónový
- tlečí



Výboje:

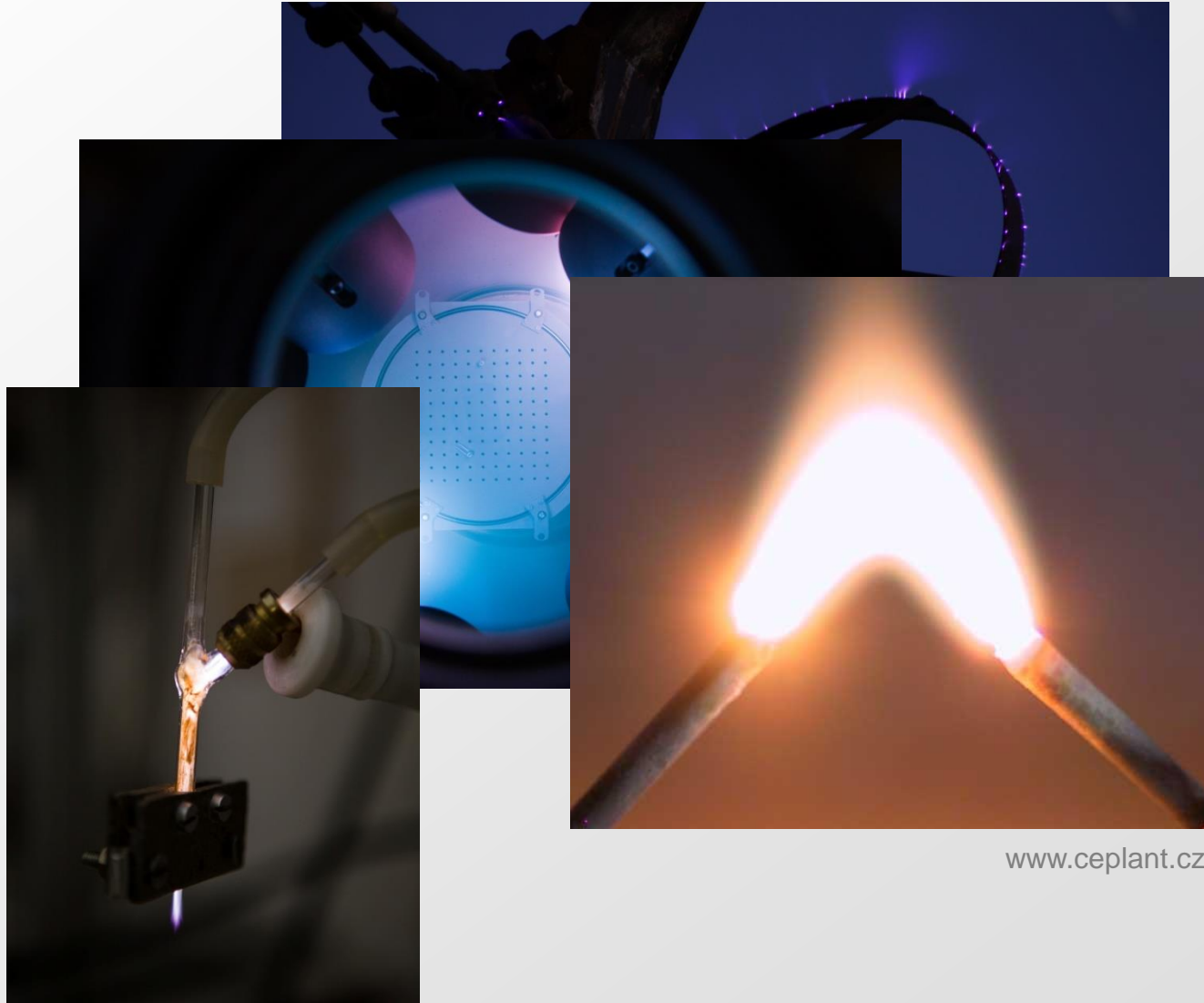
- korónový
- tlecí
- oblúkový



www.wikipedia.org

Výboje:

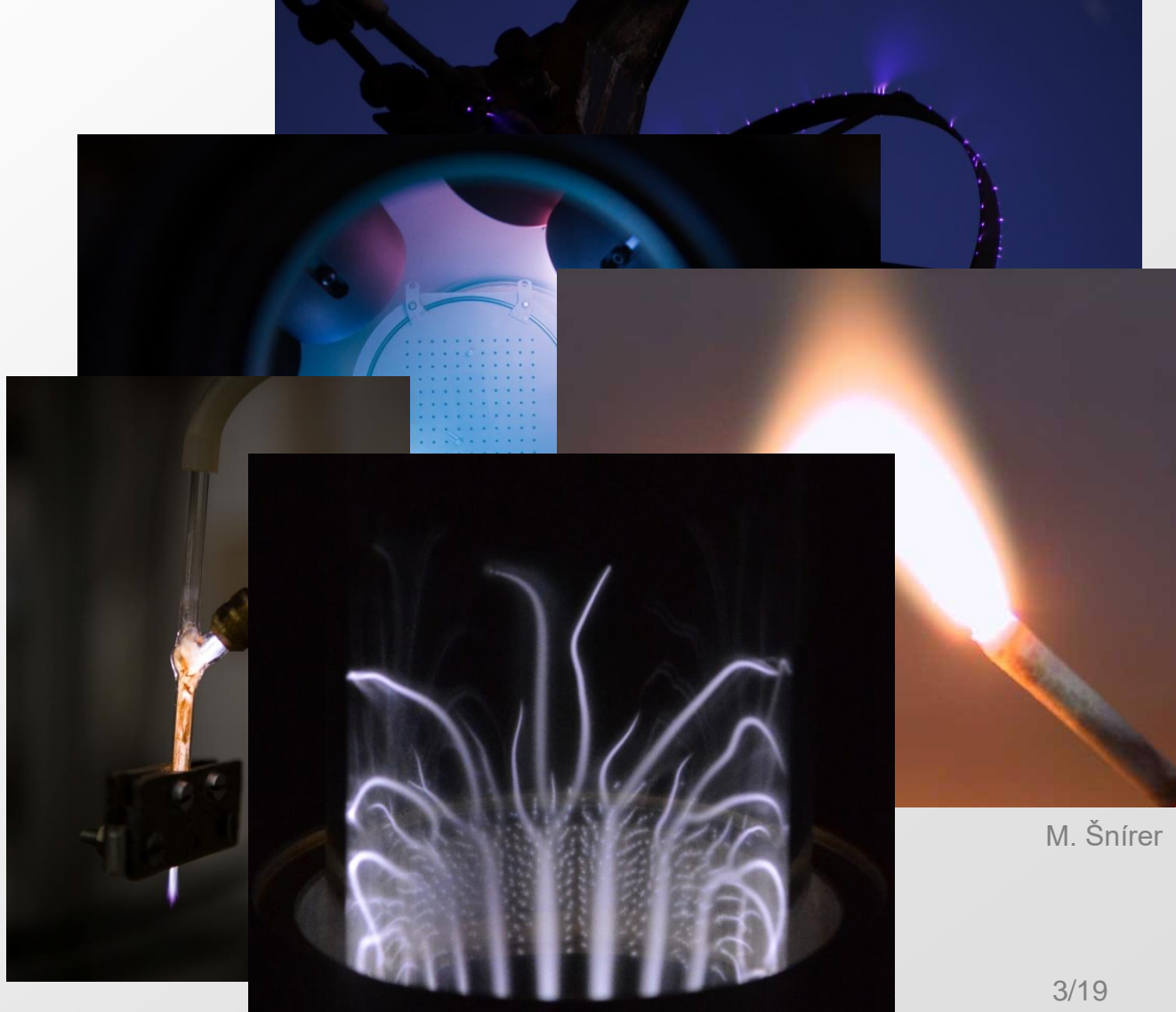
- korónový
- tlecí
- oblúkový
- RF



www.ceplant.cz

Výboje:

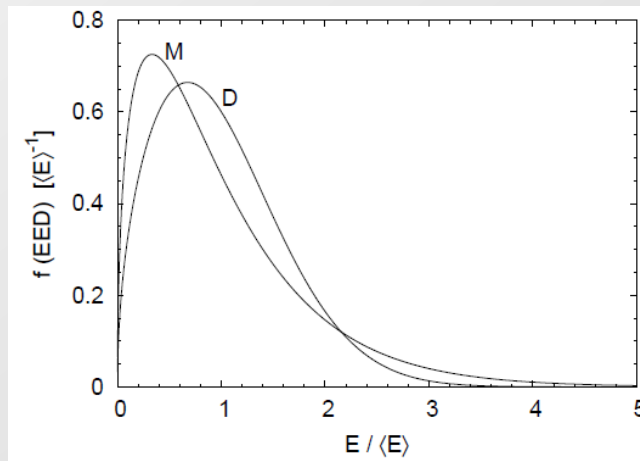
- korónový
- tlecí
- oblúkový
- RF
- mikrovlnný
- atd'.



M. Šnírer

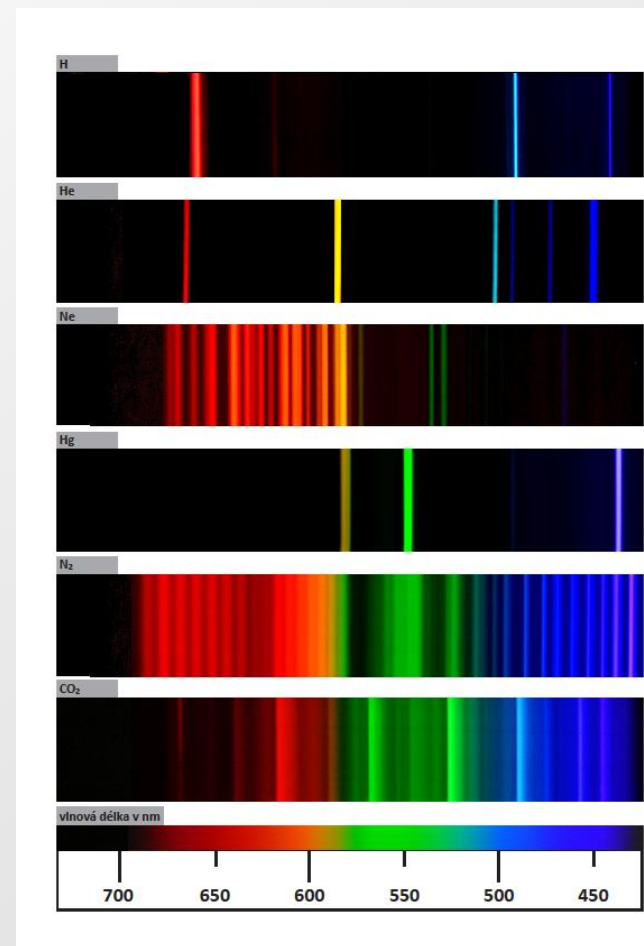
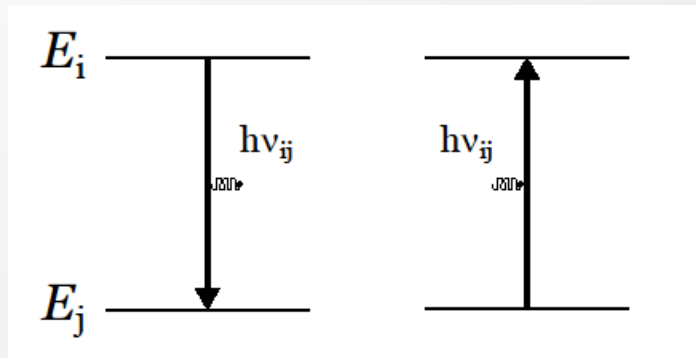
Skúmané parametre

- zloženie plazmy
- tlak
- koncentrácia neutrálov a nabitých častíc
- teplota elektrónov, plynu
- rozdeľovacia funkcia
- intenzita elektrického a magnetického poľa



Diagnostické metody

- optická spektroskopie
emisná, absorpční



T. Nečas

Diagnostické metody

- optická spektroskopie
emisná, absorpční

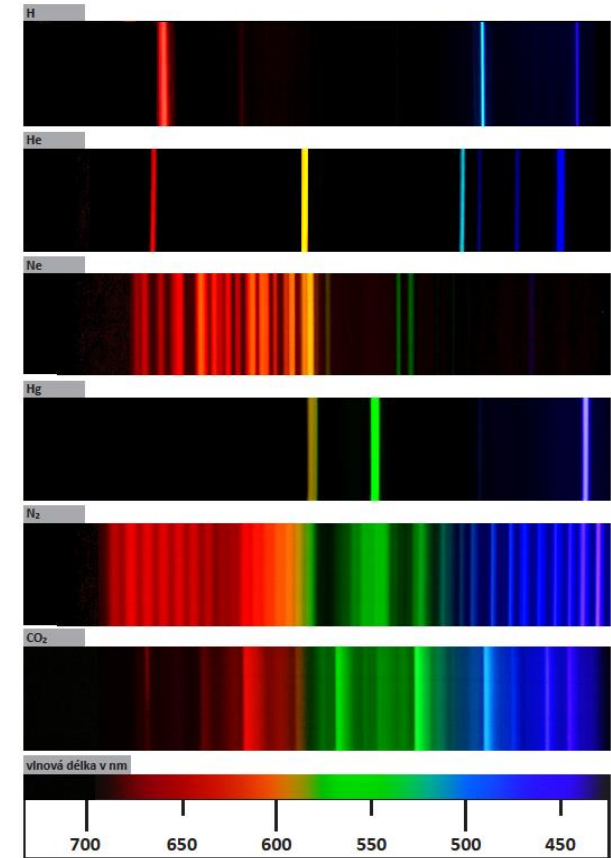
koncentrace elektronů

teplota elektronů

teplota plynu, rotační, vibrační, excitační

koncentrace neutrálov

koncentrace ionů



T. Nečas

Diagnostické metody

- optická spektroskopie
- laserem indukovaná fluorescencence

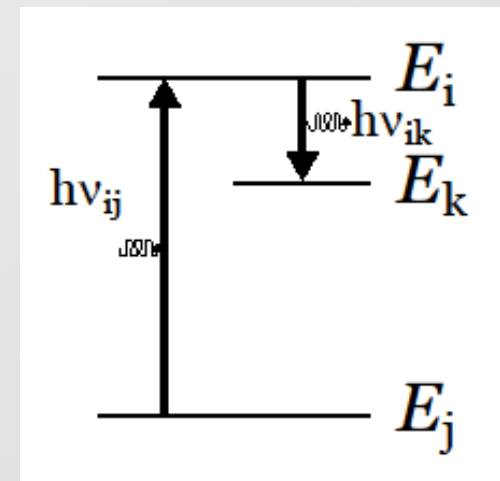
koncentrace neutrálov

koncentrace ionů

rozdělovací funkce rychlostí neutrálov, ionů



www.ceplant.cz



Diagnostické metódy

- optická spektroskopia
- laserom indukovaná fluorescencia
- sondy

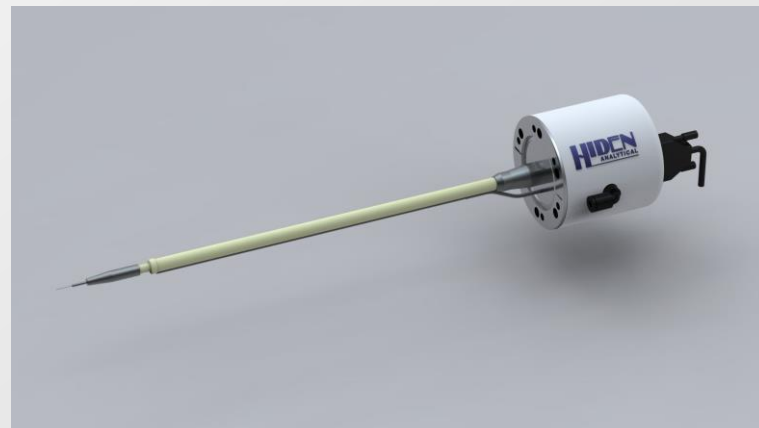
Langmuirova, dvojitá, emisná

koncentrácia elektrónov

teplota elektrónov

koncentrácia iónov

rozdeľovacia funkcia energie elektrónov



www.directindustry.com

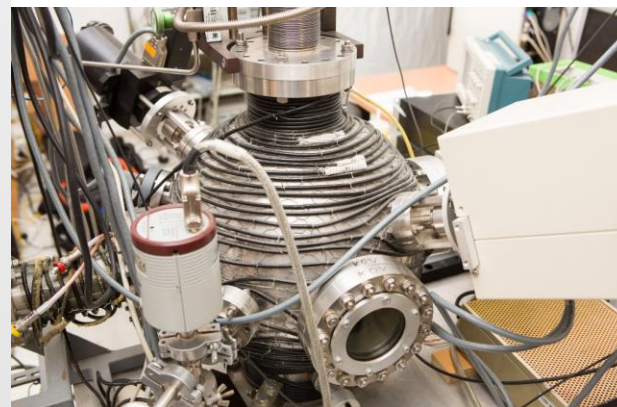
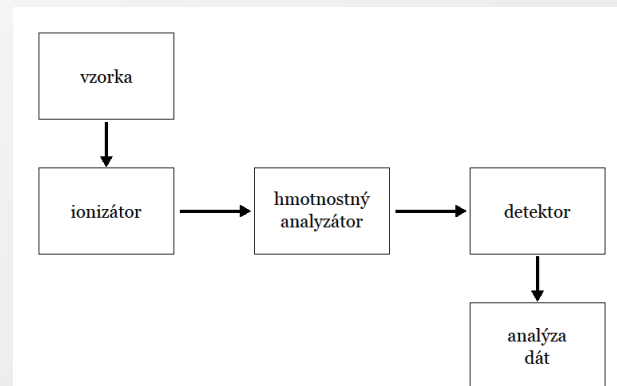
Diagnostické metody

- optická spektroskopie
- laserom indukovaná fluorescencia
- sondy
- hmotnostná spektrometrie

koncentrácia neutrálov

koncentrácia molekúl

rozdeľovacia funkcia energií neutrálov, molekúl

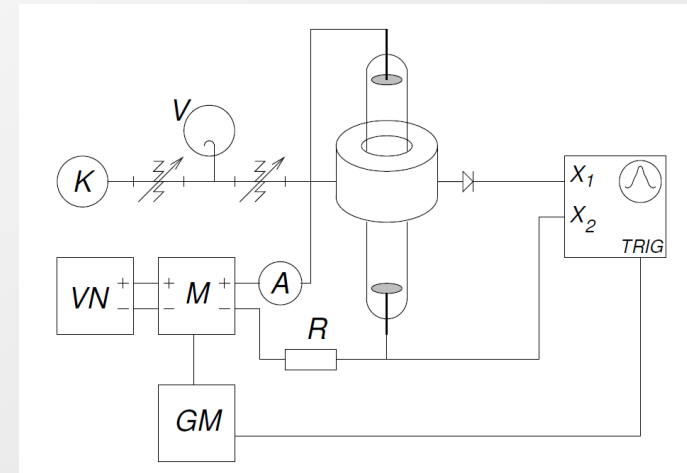


www.ceplant.cz

Diagnostické metody

- optická spektroskopie
- laserom indukovaná fluorescencia
- sondy
- hmotnostná spektrometrie
- mikrovlnná diagnostika
rezonátorová metóda, interferometria

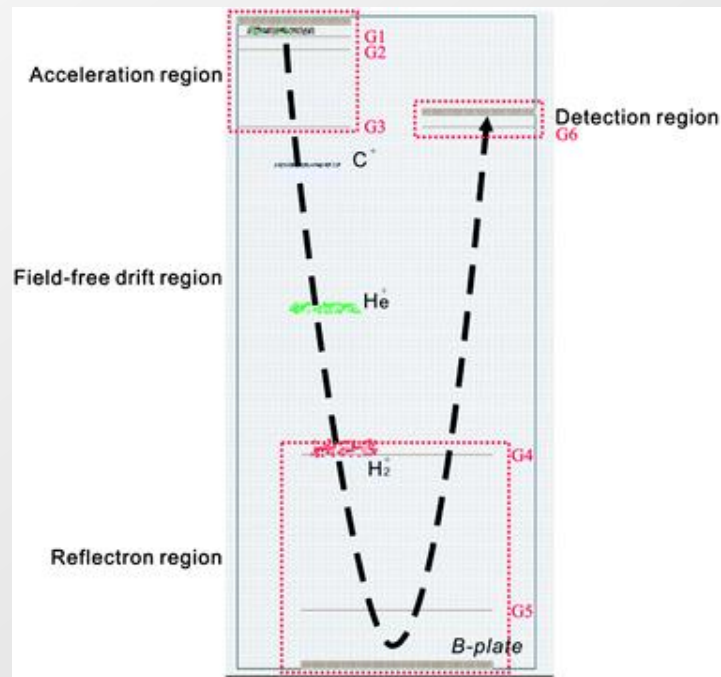
koncentrácia elektrónov



F8720

Diagnostické metody

- optická spektroskopie
- laserom indukovaná fluorescencia
- sondy
- hmotnostná spektrometrie
- mikrovlnná diagnostika
- energetické analyzátory



www.pubs.rsc.org

rozdeľovacia funkcia energií neutrálov, iónov

Diagnostické metody

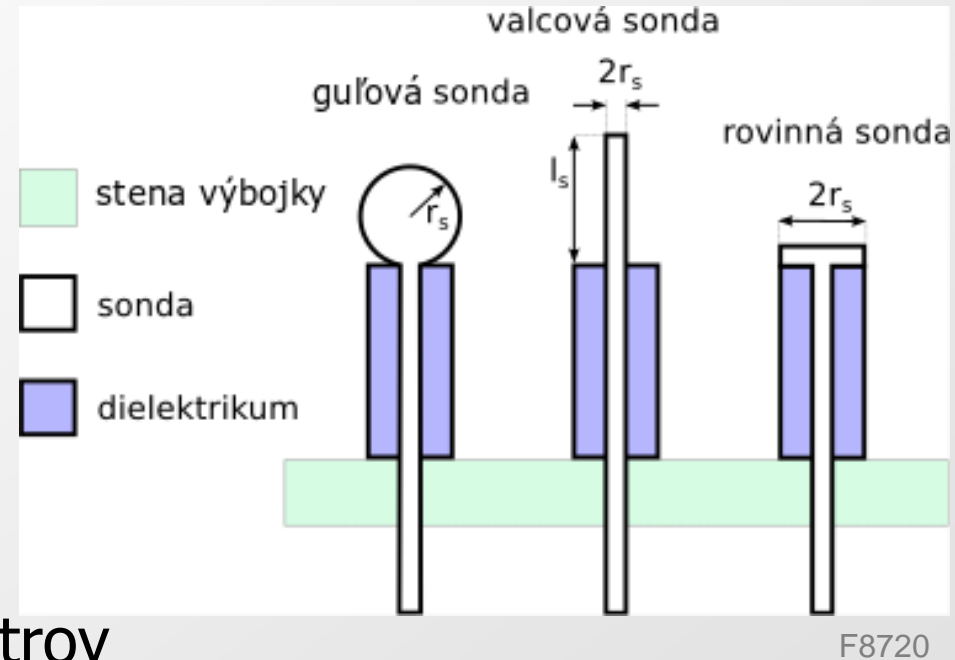
- optická spektroskopie
- laserem indukovaná fluorescencence
- sondy
- hmotnostná spektrometrie
- mikrovlnná diagnostika
- energetické analyzátory
- manometre
 - Pirani, studená/horúca katóda, kapacitný



www.thinfilmscience.com

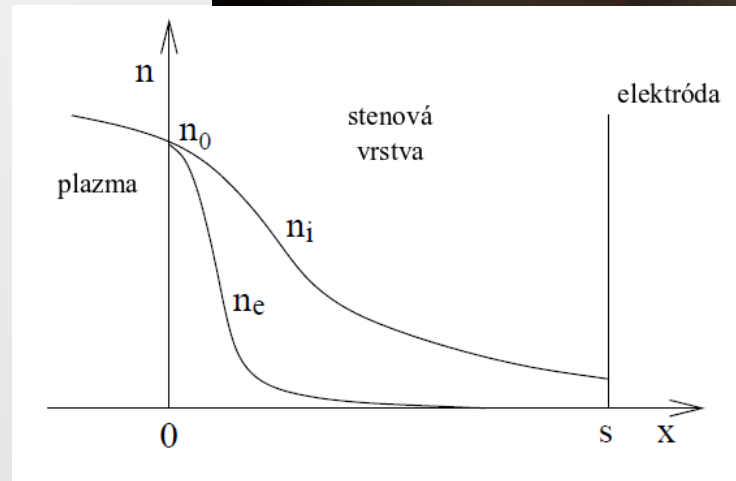
Langmuirova sonda

- n_e , T_e , $n_{i/}$, EEDF, Φ_p , Φ_{fl}
- výhody:
 - jednoduchá
 - lacná
 - určenie viacerých parametrov
 - priestorovo rozlíšené meranie
 - časovo rozlíšené meranie
- nevýhody:
 - ovplyvňuje plazmu



Langmuirova sonda - princíp

- Mo, W, C, Au, Pt, ...
- stenová vrstva
 $n_e \neq n_i$
- predpoklad:
bezzrážková
 $x > s$ neovplyvňuje
- I_s



www.ceplant.cz

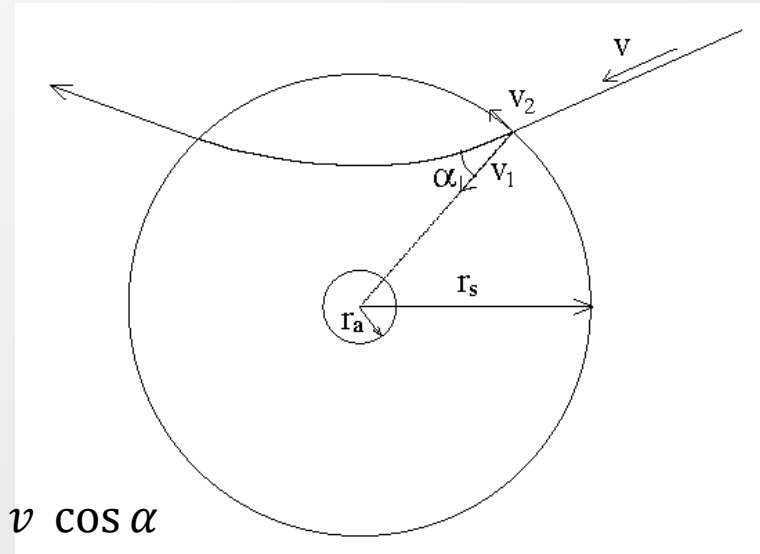
Langmuirova sonda - teória

Tok odpudzovaných častíc

$$\frac{1}{2} m v^2 \geq q U_s, U_s = \Phi_a - \Phi_p$$

$$m r_s v_2 = m r_a v_a$$

$$I = q S_s \int_{v_{min}}^{\infty} dv \int_0^{2\pi} d\varphi \int_0^{\alpha_m} d\alpha v^2 \sin \alpha g(v) v \cos \alpha$$



F8542 P. Dvořák

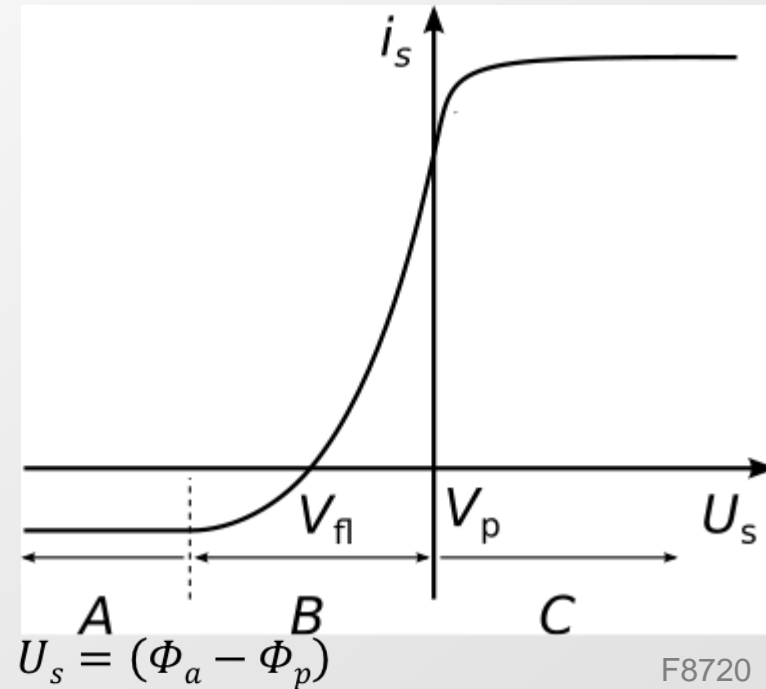
Maxwellovo rozdelenie

$$I = q S_s \frac{1}{4} n \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}} e^{-\frac{qU_s}{kT}}$$

Tok priťahovaných častíc

Langmuirova sonda - VAC

- A = iónová oblasť
silne negatívna sonda
elektróny odpudzované
ióny priťahované
temný priestor

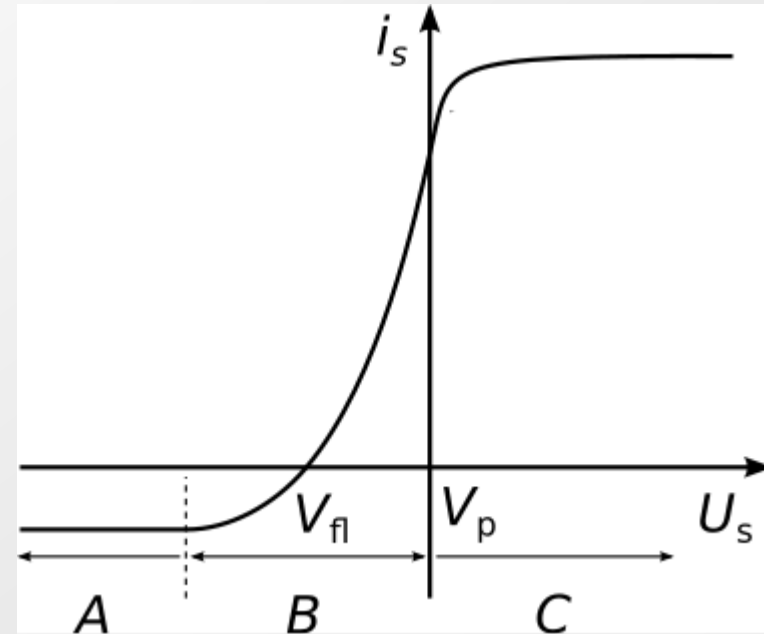


Langmuirova sonda - VAC

- B = prechodová oblast'

elektróny aj ióny

$$V_{fl} = \Phi_{fl} (\Gamma_e = \Gamma_i)$$



F8720

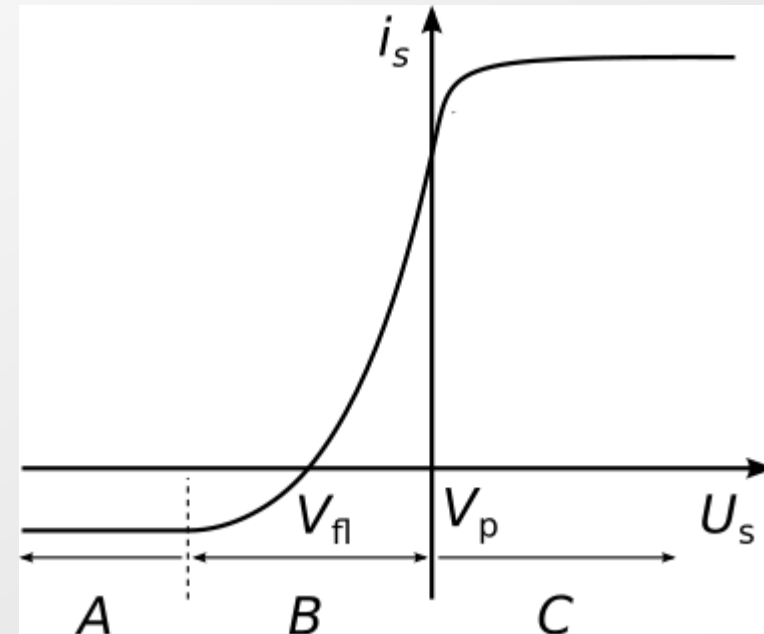
Langmuirova sonda - VAC

- C = elektrónová oblasť

kladná sonda

elektróny priťahované

ióny odpudzované



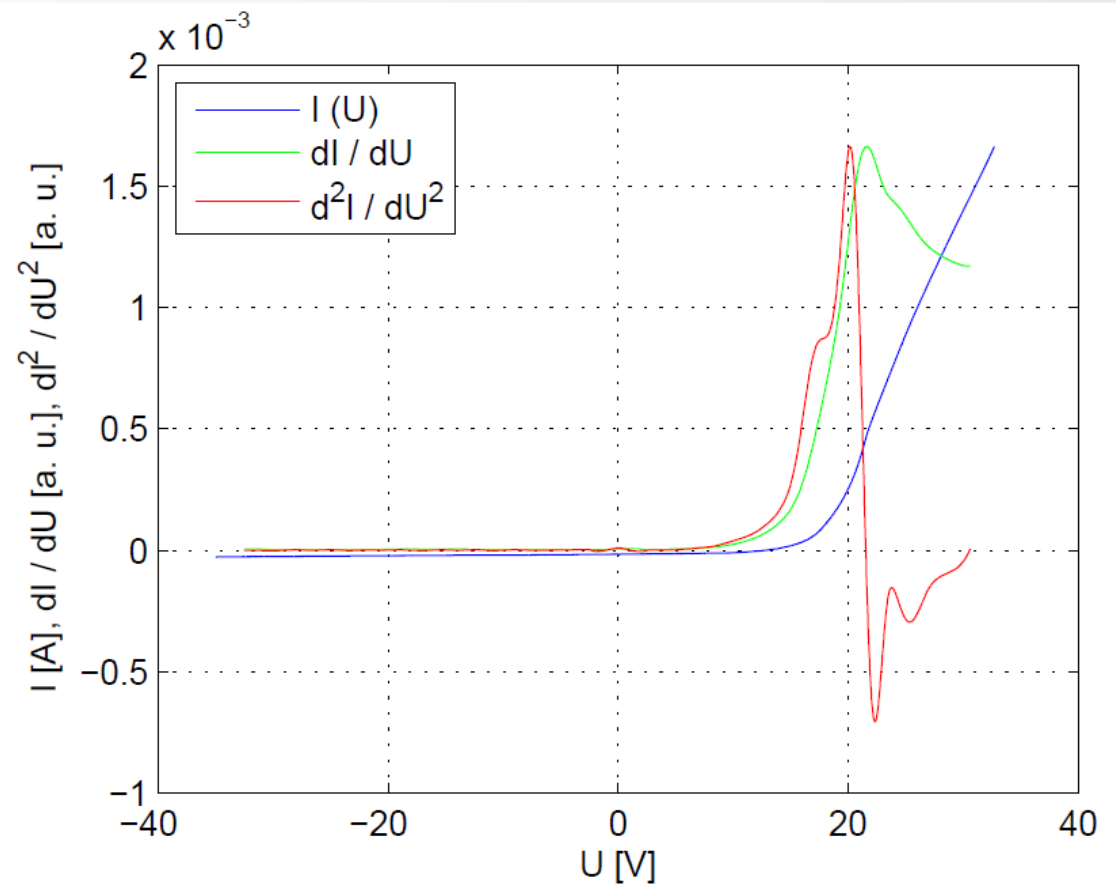
F8720

Langmuirova sonda – Φ_p , Φ_{fl} , T_e

$$I = qS_s \frac{1}{4} n \sqrt{\frac{8kT_e}{\pi m}} e^{-\frac{q(\Phi_a - \Phi_p)}{kT_e}}$$

logaritmus

smernica



Langmuirova sonda – EEDF, n_e

$$I = I_e + I_i$$

logaritmus I_e

priamka \rightarrow Maxwellovská EEDF

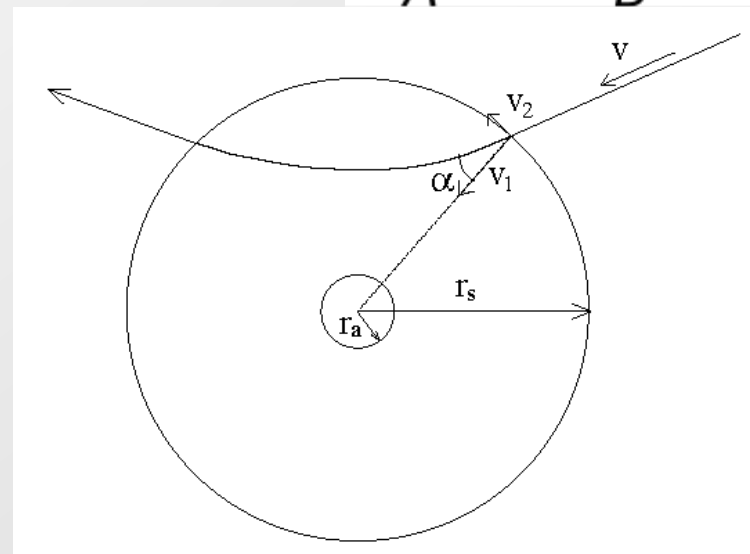
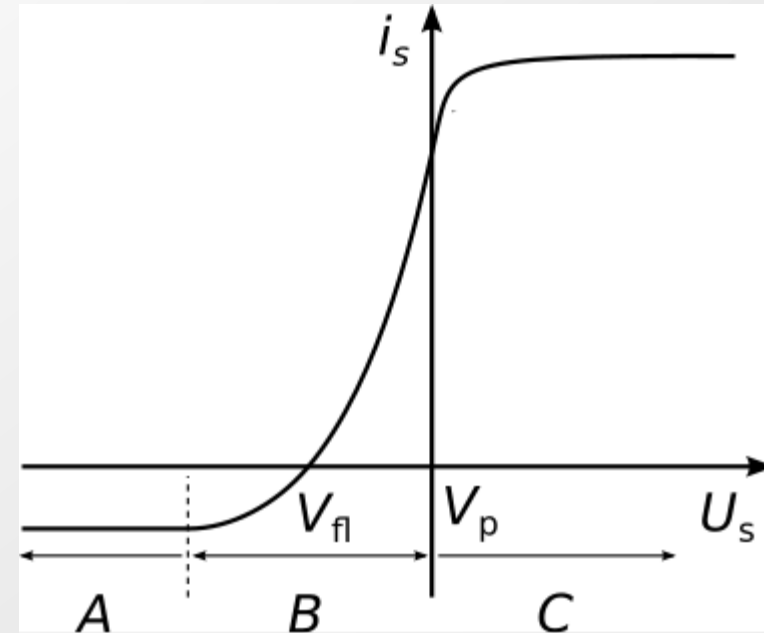
nie je priamka \rightarrow Druyvesteynov vzt'ah

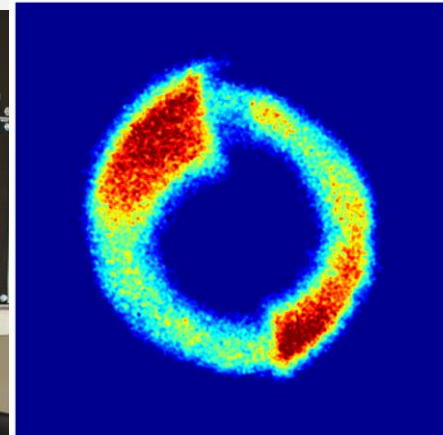
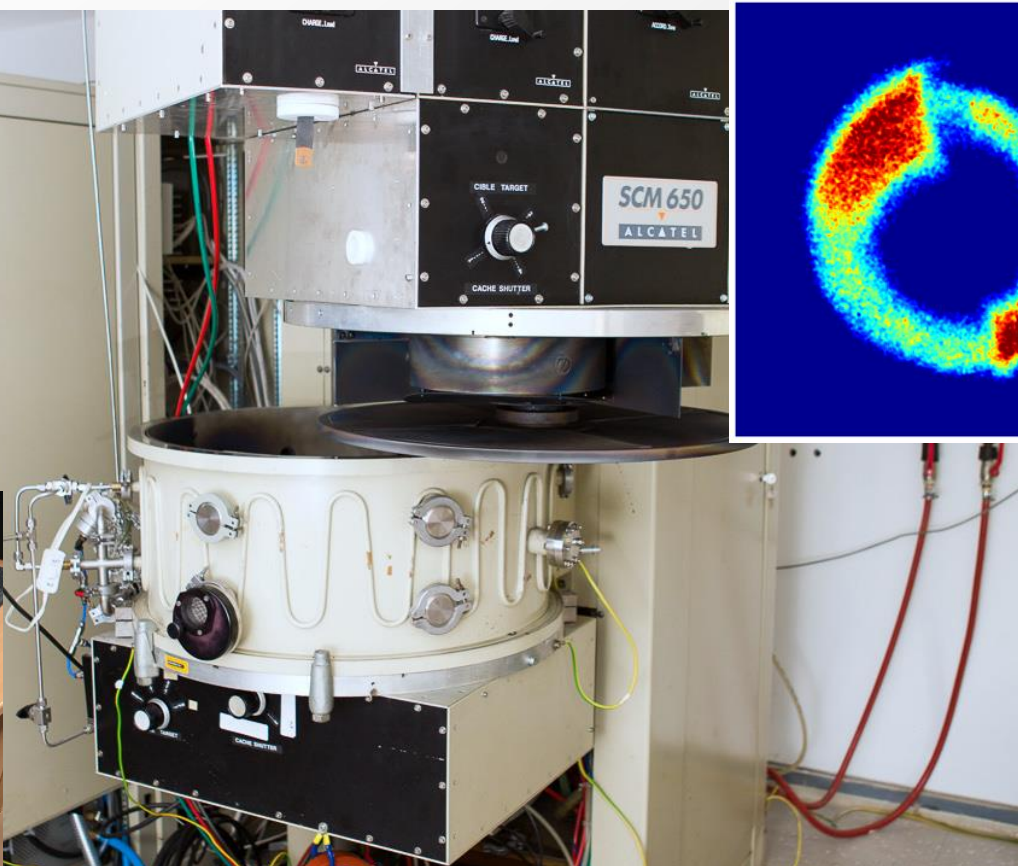
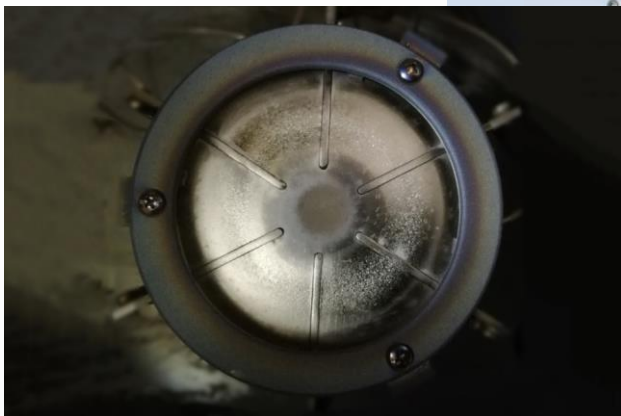
$$f_e(E) = \frac{-2\sqrt{2m|U_s|}}{q^{5/2}S_s} \frac{d^2I_e}{dU_s^2}$$

$$n_e = \int_0^\infty f_e(E) dE$$

Langmuirova sonda

- $X_e \rightarrow$ odpočítat' I_i
- $|U_s| \gg 0 \rightarrow$ sonda = elektróda
- $p_{\max} \approx 100$ Pa
- $I_s \ll I_v$
- $\Phi_{fl} \rightarrow T_e$





Ďakujem za pozornost'!

<http://physics.muni.cz/~magnetron/>

Matej Fekete je štipendista programu Brno Ph.D. talent – financuje štatutárne mesto Brno.