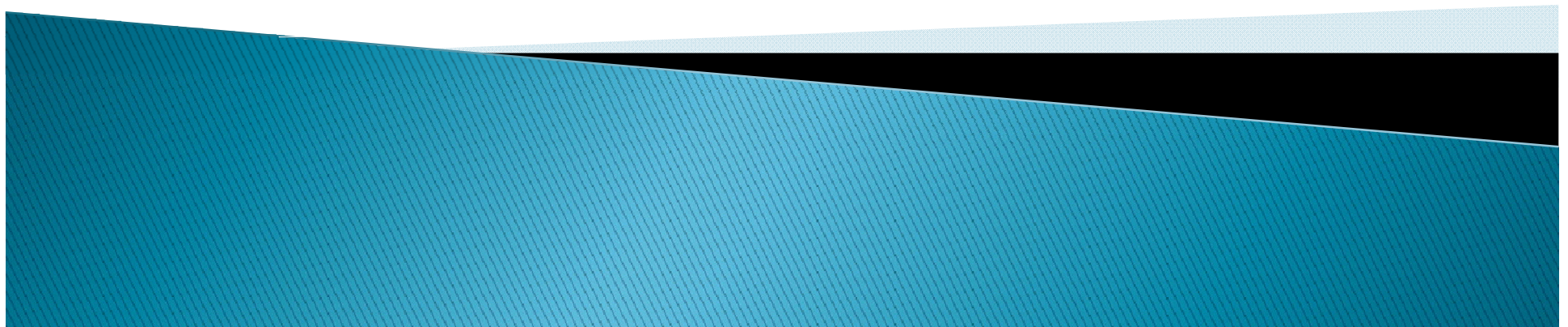
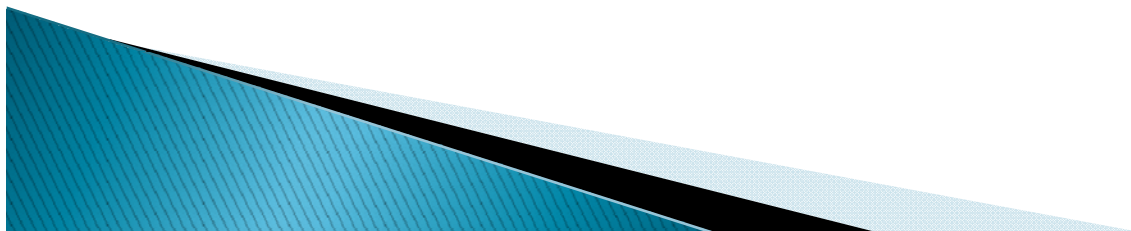


Úvod do fyziky plazmatu



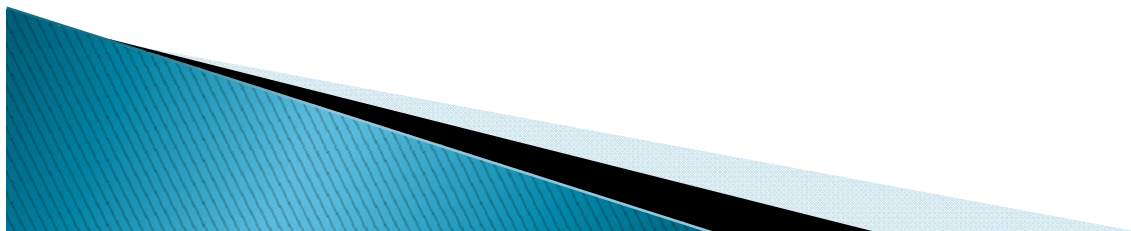
Osnova

- ▶ Výskyt plazmatu v přírodě
- ▶ Izotermické a neizotermické plazma, teplota
- ▶ Debyeovo stínění, kritéria plazmatu
- ▶ Aplikace fyziky plazmatu



Výskyt plazmatu v přírodě

- ▶ Plazma – ionizovaný plyn
- ▶ Přibližně 99 % hmoty ve vesmíru je v plazmatickém stavu
- ▶ Na Zemi se plazma vyskytuje spíše zřídka (blesk, polární záře, v zářivkách...)
- ▶ Stupeň ionizace plynu v tepelné rovnováze udává Saha rovnice



Izotermické plazma

Sahova rovnice:

$$\frac{n_i}{n_n} \approx 2,4 \cdot 10^{21} \frac{T^{3/2}}{n_i} e^{-U_i/kT}$$

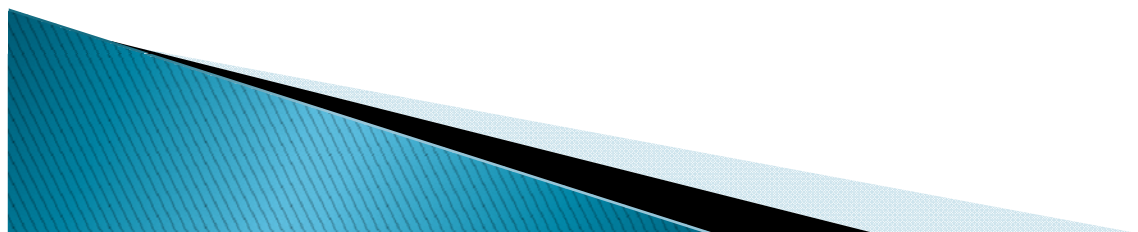
Pro vzduch:

$$n_n \approx 3 \times 10^{25} m^{-3}$$

$$T \approx 300 K$$

$$U_i \approx 14,5 eV$$

$$\Rightarrow \frac{n_i}{n_n} \approx 10^{-122}$$



Teplota

- ▶ Mezi teplotou a střední kinetickou energií je úzký vztah:

$$E_{st} = \frac{1}{2} kT \times \text{počet stupňů volnosti}$$

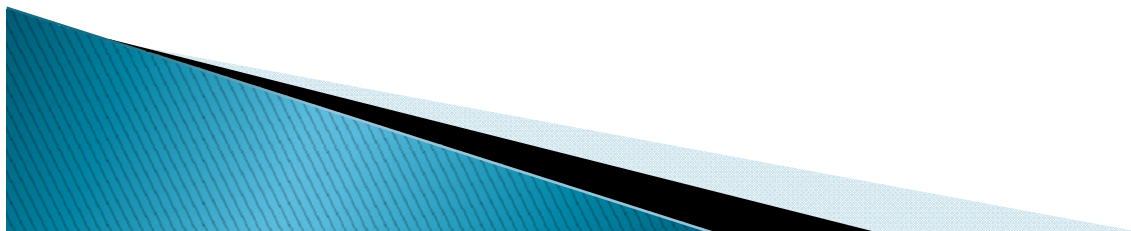
- ▶ Teplota se často udává v jednotkách energie. Pro přepočet se používá vztah $E = kT$, tedy $1 \text{ eV} = 11600 \text{ K}$.
- ▶ Plazma může mít několik teplot současně – neizotermické plazma



Kritéria plazmatu

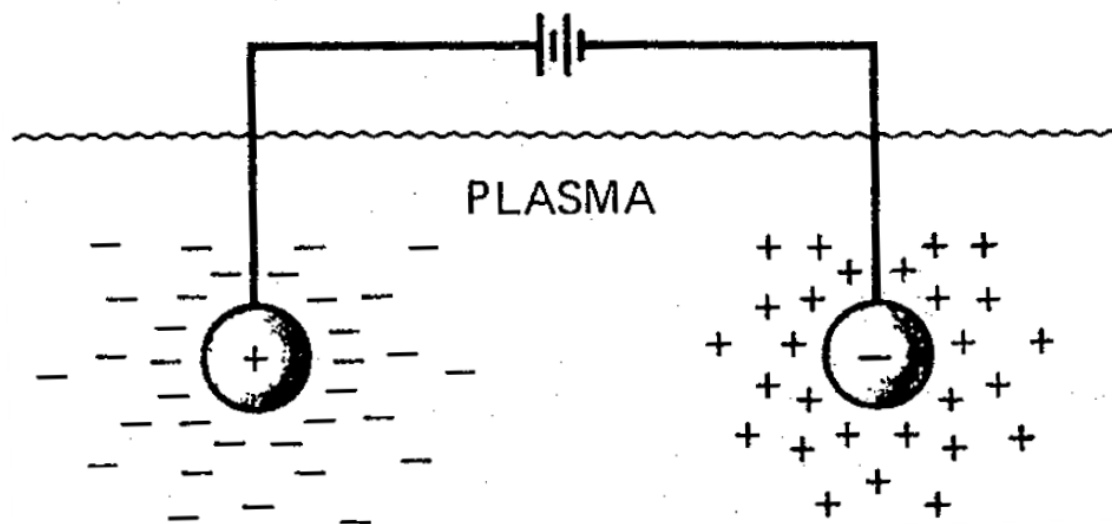
Plazma je kvazineutrální plyn nabitých a neutrálních částic, který vykazuje kolektivní chování.

1. Kvazineutralita
2. Dostatek prostoru pro kolektivní stínící efekt
3. Dostatek částic uvnitř Debyeovy koule
4. Plazmová frekvence větší než srážková frekvence



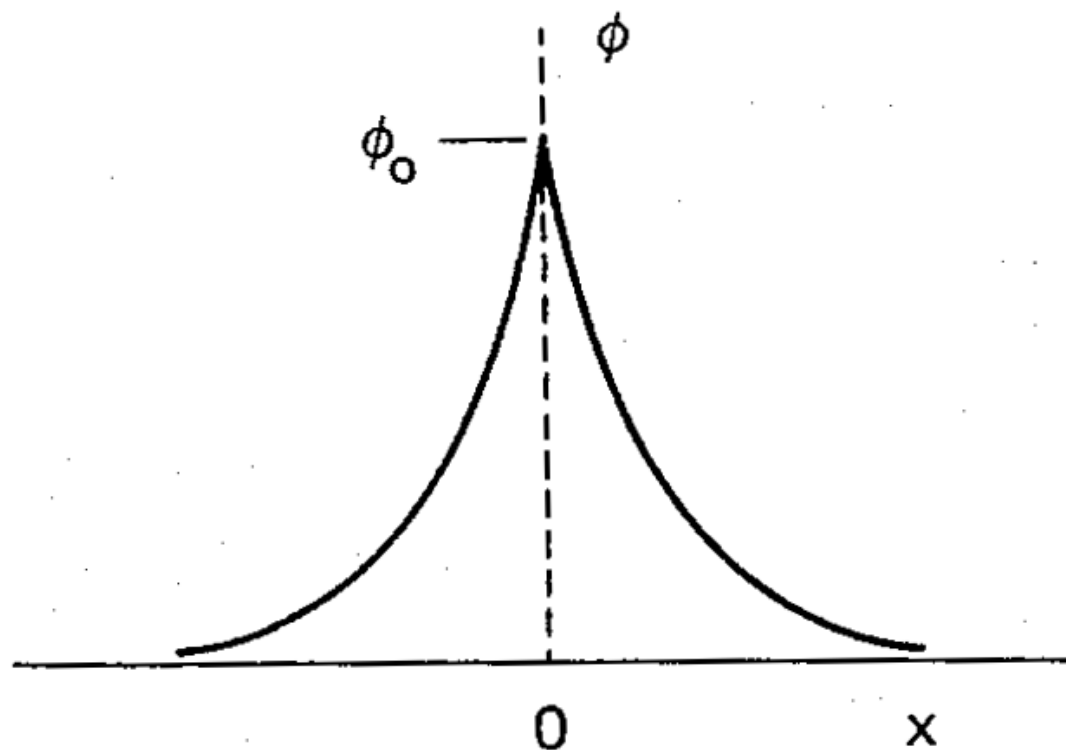
Debyeovo stínění

Základním rysem plazmatu je jeho schopnost odstínit elektrické potenciály, které jsou do něho vloženy



Debyeovo stínění

Vypočteme přibližnou vzdálenost, na kterou působí stínění – Debyovu délku λ_D



Debyeovo stínění

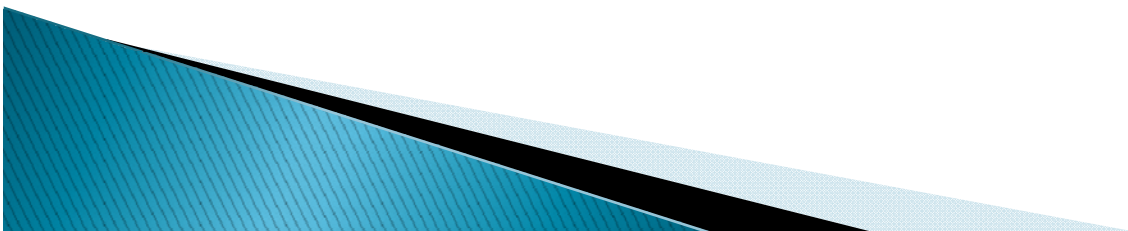
Vyjdeme z Poissonovy rovnice:

$$\nabla^2 \phi(x) = -\frac{e(n_i - n_e(x))}{\epsilon_0}$$

Pro ionty platí přibližně $n_i = n$ (předpokládáme, že se nepohybují)

Pro popis koncentrace elektronů můžeme použít Boltzmannovu rozdělovací funkci:

$$n_e(x) = n \exp(e\phi(x)/kT_e)$$



Debyeovo stínění

Po dosazení koncentrace elektronů a iontů:

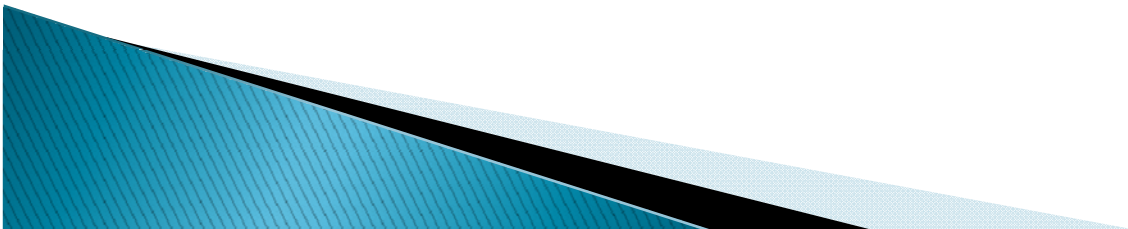
$$\frac{d^2\phi}{dx^2} = \frac{e}{\varepsilon_0} n \left[\exp\left(\frac{e\phi(x)}{kT_e}\right) - 1 \right]$$

Taylorův rozvoj:

$$\frac{d^2\phi}{dx^2} = \frac{e}{\varepsilon_0} n \left[\frac{e\phi(x)}{kT_e} + \frac{1}{2} \left(\frac{e\phi(x)}{kT_e} \right)^2 + \dots \right]$$

Pokud vezmeme pouze lineární člen, řešením rovnice je exponenciála:

$$\phi = \phi_0 \exp\left(-\frac{|x|}{\lambda_d}\right) \quad \lambda_d \equiv \left(\frac{\varepsilon_0 kT_e}{ne^2}\right)^{1/2}$$



Kritéria plazmatu

V plazmatu musí být dostatek místa pro kolektivní stínící efekt.

$$\lambda_d \ll L$$

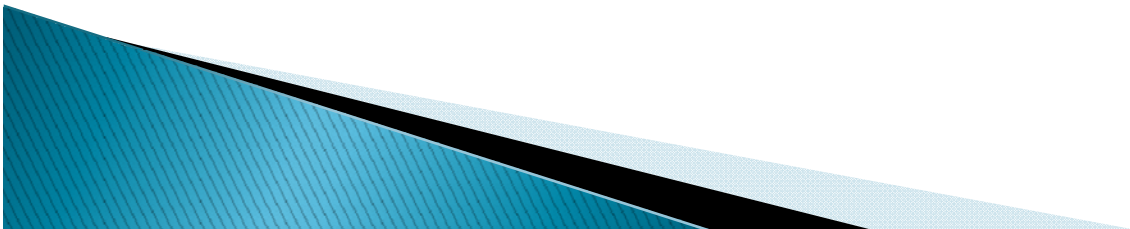
L jsou rozměry plazmatu. Tento vztah vyjadřuje zároveň i podmínku kvazineutrality.



Kritéria plazmatu

Aby fungoval uvedený mechanismus Debyova stínění, musí být v oblasti stínící vrstvy dostatečný počet částic. Koule o poloměru λ_d se nazývá Debyeova koule.

$$n_e \lambda_d^3 \gg 1$$



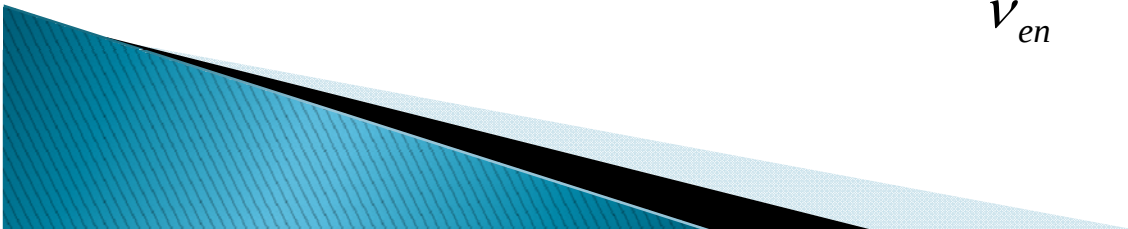
Kritéria plazmatu

V případě že jsou plazmové oscilace příliš potlačovány díky srážkám mezi elektrony a neutrálními částicemi, nejedná se o plazma.

$$\omega_{pe} \tau > 1$$

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

Střední doba mezi srážkami $\tau = \frac{1}{\nu_{en}}$



Kritéria plazmatu

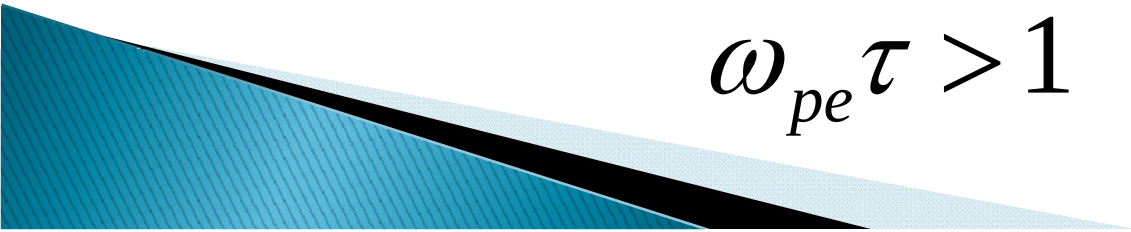
1. Dostatek prostoru pro kolektivní stínící efekt
(+kvazineutralita)

$$\lambda_d \ll L$$

2. Dostatek částic uvnitř Debyeovy koule

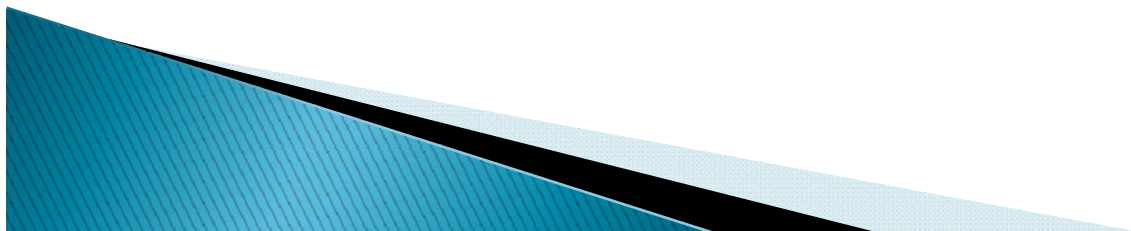
$$n_e \lambda_d^3 \gg 1$$

3. Plazmová frekvence větší než srážková frekvence

$$\omega_{pe} \tau > 1$$


Aplikace fyziky plazmatu

- ▶ Výboje v plynech
- ▶ Řízená termojaderná syntéza
- ▶ Astrofyzika
- ▶ MHD generátor, iontový pohon
- ▶ Plazma v pevných látkách
- ▶ Plynové lasery



Děkuji za pozornost.

