

Klidová hmotnost protonu	$1,67 \cdot 10^{-27}$ kg
Klidová hmotnost elektronu	$9,109 \cdot 10^{-31}$ kg
Elementární náboj	$1,602 \cdot 10^{-19}$ C
Boltzmannova konstanta	$1,38 \cdot 10^{-23}$ J K <sup>-1</sup>
Teplota ve středu Slunce	$1,5 \cdot 10^7$ K
Teplota na povrchu Slunce	5800 K
Teplota sluneční koróny	$1,5 \cdot 10^6$ K

## 1 Plazmová frekvence

Uvažujme, že na počátku máme rovnoměrné plazma, ve kterém je hustota elektronů i iontů stejná a rovna  $n_0$  (plazma je elektricky neutrální). Nyní předpokládejme, že se elektrony na ploše  $y, z$  nějakým vnějším vlivem ze svých rovnovážných poloh posunuly o malou hodnotu  $s$  ve směru osy  $x$ .

(a) Použitím Gaussova zákona ukažte, že elektrické pole, které vznikne mezi náboji je dáno vztahem

$$E_x = \left( \frac{n_0 e}{\epsilon_0} \right) s .$$

(b) Ukažte, že pohybová rovnice pro každý elektron pod vlivem tohoto elektrického pole je

$$\frac{d^2 s}{dt^2} + \left( \frac{n_0 e^2}{m_e \epsilon_0} \right) s = 0 .$$

Dokažte, že toto je rovnice harmonického oscilátoru s frekvencí

$$\omega_{pe} = \left( \frac{n_0 e^2}{m_e \epsilon_0} \right)^{1/2} .$$

## 2 Moment magnetické síly

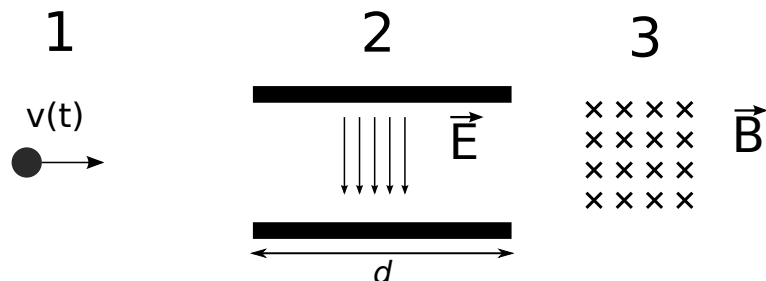
Otáčivé účinky vnějšího pole na magnetický dipól můžeme vyjádřit jako moment magnetické síly

$$\vec{M} = \vec{\mu} \times \vec{B} .$$

Magnetický dipól  $\vec{\mu} = (3, 4, 1)$  A m<sup>2</sup> (malý tyčový magnet) je umístěn v externím magnetickém poli  $\vec{B} = (-1, 0, 2)$  T.

- Určete moment magnetické síly, která působí na magnetický dipól.
- Určete velikost momentu magnetické síly.

### 3 Elektron ve vakuu natřikrát



Obrázek 1: Schéma dráhy elektronu

a) Časovou závislost polohy elektronu  $x(t)$  v prvním úseku popisuje funkce  $x(t) = \frac{1}{8}t^4 + \frac{1}{2e}e^t + \pi$ , elektron se na tomto 1. úseku pohybuje po dobu jedné sekundy. Spočítejte velikost rychlosti  $v_x$ , kterou bude mít elektron na konci prvního úseku.

b) Poté elektron vstoupí rychlostí  $v_x$  do vychylujícího homogenního elektrického pole  $\vec{E}$  o velikosti  $2 \cdot 10^6 \text{ N C}^{-1}$ . Toto pole na elektron působí mezi deskami kondenzátoru, které mají délku  $d = 1 \text{ m}$ . Jaká je svislá odchylka elektronu od původního směru na úrovni konce desek kondenzátoru? Řešte nejprve obecně. (Tíhová síla působící na elektron je malá vzhledem k elektrostatické síle a můžeme ji zanedbat.)

c) Nakonec vlétne elektron do homogenního magnetického pole  $\vec{B}$  o velikosti  $20,6 \mu\text{T}$  (tato hodnota je stejná, jako velikost horizontální složky magnetické indukce geomagnetického pole v Brně). Spočítejte Larmorův poloměr a cyklotronovou frekvenci.

d) Jak by se výsledek lišil pro proton a neutron?

### 4 Zákon zachování

Z Maxwellových rovnic odvoďte rovnici pro zachování náboje

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot \mathbf{J} = 0 .$$

Tento výsledek ukazuje to, že zachování elektrického náboje přímo vyplývá z Maxwellových rovnic.

## 5 Kinetická energie v magnetostatickém poli

Dokažte, že v magnetostatickém poli je celková kinetická energie  $W_k$  konstantní.

$$W_k = konst$$

## 6 Srážka protonů (HRW str. 1164)

Považujme proton za kouli o poloměru  $R \approx 1$  fm. Dva protony jsou proti sobě vystřeleny stejnou kinetickou energií  $E_k$ .

a) Jakou hodnotu musí mít  $E_k$ , aby se částice vlivem odpuzování coulombovskou silou zastavily právě v okamžiku, kdy se vzájemně “dotknou”? Tuto hodnotu  $E_k$  můžeme považovat za vhodnou míru výšky Coulombovy potenciálové bariéry.

b) Považujeme-li protonový plyn za ideální, můžeme jako střední kinetickou energii vzít  $\bar{E}_k = \frac{3}{2}kT$ . Vyjádřete  $T$  a dosad'te  $E_k$ . Je teplota  $T$  menší než teplota ve středu Slunce?