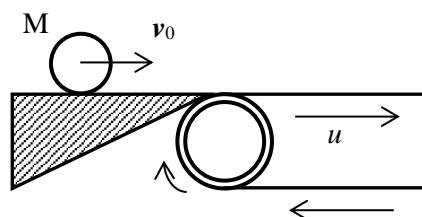


65. ročník Fyzikálnej olympiády
v školskom roku 2023/2024
krajské kolo kategória A
Text úloh

1. Valec na páse

Tenkostenný valec s hmotnosťou M sa valí bez prešmykovania po vodorovnej podložke rýchlosťou v_0 a plynule prejde na vodorovný pohyblivý pás, ktorý sa pohybuje rovnakým smerom rýchlosťou u (obr. A-1). Koeficient trenia medzi valcom a pásom je f .

- Za aký čas t_0 po prechode na pohyblivý pás sa začne valec valiť po páse bez prešmykovania?
- Aká bude výsledná rýchlosť valca vzhľadom na pás a uhlová rýchlosť jeho otáčania?
- Určte zmenu kinetickej energie valca za čas t_0 a teplo, ktoré vznikne za čas t_0 v dôsledku trenia valca o pás?



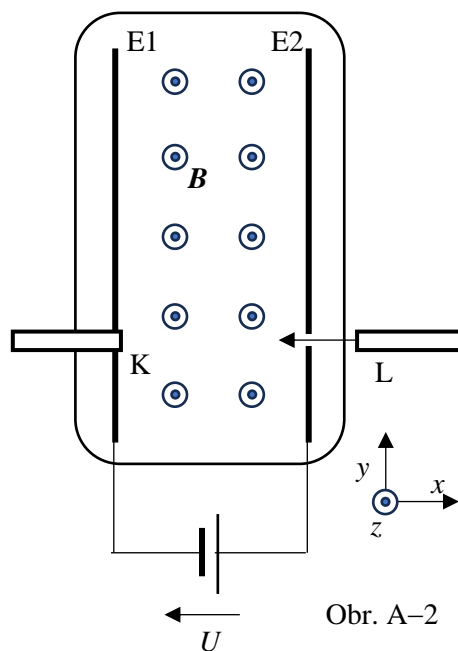
Obr. A-1.

Valivý odpor valca na danom povrchu neuvažujte.

Pozn.: Moment zotrvačnosti tenkostenného valca vzhľadom na jeho os rotácie $I = MR^2$.

2. Elektrón v EM poli

Na obr. A-2 je znázornené experimentálne zariadenie, ktoré je tvorené vákuovou bankou, v ktorej sa nachádzajú dve rovnobežné ploché elektródy E1 a E2 so vzájomnou vzdialenosťou d . Do elektródy E1 je vložená fotokatóda K s výstupnou prácou elektrónov W_K . Proti katóde je v elektróde E2 malé okienko, ktorým preniká lúč lasera dopadajúci na fotokatódu K. Celá sústava sa nachádza v homogénnom magnetickom poli B rovnobežnom s elektródami s onačeným smerom osi z . Medzi elektródami E1 a E2 je homogénne elektrické pole, napätie medzi elektródami je U . V dôsledku dopadu svetla lasera na fotokatódu sa uvoľňujú z jej povrchu elektróny s nulovou rýchlosťou, ktoré sa dostávajú do kombinovaného elektrického a magnetického poľa.



Obr. A-2

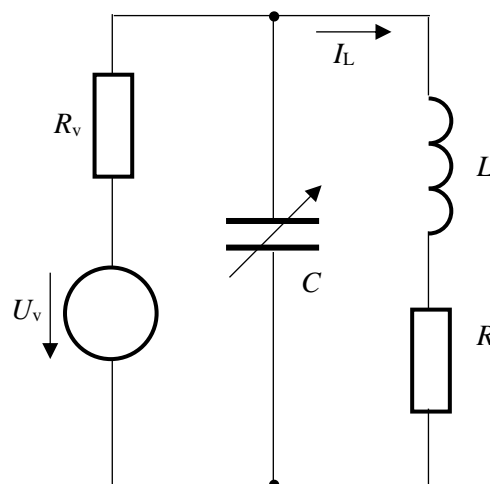
- Určte vlnovú dĺžku λ svetla lasera, aby sa z fotokatódy uvoľňovali elektróny s nulovou rýchlosťou.
- Uvoľnené elektróny sú v elektrickom poli vťahované medzi elektródy a pohybujú sa v kombinovanom $E - B$ poli. Napíšte pohybovú rovnicu elektrónu a jej zložkový tvar pre smery x a y . Zistite, o aký pohyb ide a určte jeho parametre. Nakreslite približne tvar trajektórie za predpokladu, že elektrón nedosiahne elektródu E2 a označte v ňom parametre pohybu.
- Určte najväčšiu vzdialenosť d_m elektród, pri ktorej elektrón dosiahne elektródu E2. Určte vzdialenosť y_m v smere osi y bodu dopadu elektrónu na elektródu E2 pri tejto vzdialenosti elektród d_m .

Výstupná práca katódy $W_K = 1,60 \text{ eV}$, Planckova konštanta $h = 6,626 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$, elementárny náboj $e = 1,602 \times 10^{-19} \text{ C}$, hmotnosť elektrónu $m = 9,1 \times 10^{-31} \text{ kg}$, rýchlosť svetla vo vákuu $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, $U = 100 \text{ V}$, $B = 500 \text{ }\mu\text{T}$.

3. Elektrický obvod

Indukčnú cievku s indukčnosťou $L = 10 \text{ mH}$ a vnútorným odporom $R = 50 \Omega$ pripojíme na zdroj striedavého prúdu s vnútorným napätím s efektívnou hodnotou $U_v = 24 \text{ V}$, vnútorným odporom $R_v = 2,0 \Omega$ a frekvenciou $f = 2,5 \text{ kHz}$. Paralelne k cievke je pripojený kapacitor s meniteľnou kapacitou C , ktorý umožňuje meniť prúd I_L cievky, obr. A–3.

- Určte kapacitu C_m kapacitora, pri ktorej má prúd cievky maximálnu efektívnu hodnotu $I_{L \max}$.
- Určte činný výkon P_m zdroja, ak má kapacitor kapacitu C_m .



Obr. A–3

4. Jadro Slnka

Jadro Slnka je oblasť okolo stredu s polomerom 175 tis. km. V jeho časti s polomerom 140 tis. km sa uskutočňuje termojadrová syntéza, ktorá je zdrojom energie pre celú Slnčnú sústavu. Základným procesom, pri ktorom sa energia uvoľňuje je fúzia štyroch jadier vodíka ^1H za vzniku hélia ^4He (protón–protónový cyklus). Primárnou reakciou je fúzia dvoch protónov za vzniku deuterónu ^2D pri vysokej teplote a vysokom tlaku.

Uvažujme jednoduchý model fúzie. Dva protóny sa pohybujú proti sebe s rovnakými rýchlosťami. Aby sa spojili na jadro deutéria, musia sa priblížiť tak, aby sa uplatnila nukleárna sila, ktorá prekoná elektrickú odpudivú silu.

- Určte začiatočnú rýchlosť v_1 protónov, ktoré sa navzájom približujú z veľkej vzdialenosti, ktorá je potrebná na priblíženie stredov protónov na vzdialenosť ich priemeru $d_1 = 1,68 \times 10^{-15} \text{ m}$.
- Predpokladajte, že protóny predstavujú plazmu v stave termodynamickéj rovnováhy, pre ktorú platí Boltzmannova štatistika rozdelenia energie. S použitím ekvipartičnej teóremy určte teplotu T_1 plazmy, pri ktorej je stredná kvadratická rýchlosť protónov rovná rýchlosti v_1 .

Teplota T_1 je nereálne vysoká a hľadalo sa teoretické zdôvodnenia podstatne nižšej reálnej teploty, pri ktorej dochádza k fúzii protónov. Problém sa vyriešil tak, že plazma predstavuje kvantový systém, v ktorom sa uplatňuje princíp neurčitosti, resp. tunelový jav.

- Uvažujte zjednodušený model, podľa ktorého dôjde k fúzii dvoch protónov, ak sa priblížia na najkratšiu vzdialenosť rovnú $\frac{1}{2} \lambda$, kde λ je pôvodná de Broglieho vlnová dĺžka protónov pred ich vzájomným priblížením. Určte začiatočnú rýchlosť v_2 protónov, ktoré sa navzájom priblížia na najmenšiu vzdialenosť $d_2 = \frac{1}{2} \lambda > d_1$.
- Určte teplotu T_2 plazmy tak, aby sa voľné protóny so strednou kvadratickou rýchlosťou v_2 priblížili na najmenšiu vzdialenosť $\frac{1}{2} \lambda$.

Pri riešení úlohy použite hodnoty: elementárny náboj $e = 1,602 \times 10^{-19} \text{ C}$, hmotnosť protónu $m_p = 1,67 \times 10^{-27} \text{ kg}$, elektrická konštanta $\epsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12} \text{ F} \cdot \text{m}^{-1}$, Boltzmannova konštanta $k_B = 1,38 \times 10^{-23} \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$, Planckova konštanta $h = 6,626 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$.

Fyzikálna olympiáda – 65. ročník – úlohy krajského kola kat. A

Autori úloh: Lubomír Konrád 1, 2, Ivo Čáp 3, 4

Recenzia úloh: Aba Teleki, Lubomír Mucha

Redakcia: Ivo Čáp

Úlohy preložil: Aba Teleki

Vydal: Slovenská komisia fyzikálnej olympiády

Národný inštitút vzdelávania a mládeže, Bratislava 2024