

58. ročník Fyzikálnej olympiády
v školskom roku 2016/2017

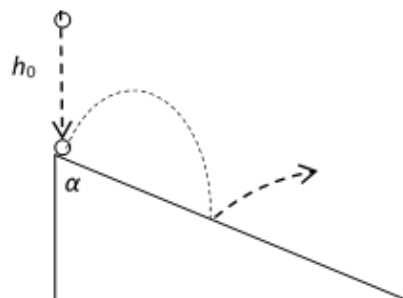
Kategória B – domáce kolo
Text úloh v maďarskom jazyku

1. A golyó elpattanása a ferde síkról

Egy kisméretű acélgolyót h_0 magasságból ejtünk egy L hosszúságú ferde felületre, amely α szöget zár a függőleges irányjal (B–1 ábra: az ábrán a golyó a ferde felületre merőleges síkban mozog). A golyó elpattan a felülettől, és a ferde felület alja irányában pattog.

A feladat megoldásakor tételezzék fel, hogy a golyó és a ferde felület között nem lép fel súrlódás, valamint, hogy a golyó és a felület ütközése tökéletesen rugalmas!

a) Készítsenek a golyó ütközését és elpattanását ábrázoló vázlatos rajzot, majd jelöljék be rajta a feladat megoldásához szükséges mennyiségeket! Írják le, hogy mi következik a súrlódás mentesség, valamint a tökéletesen rugalmas ütközés feltételeiből!



B–1 ábra

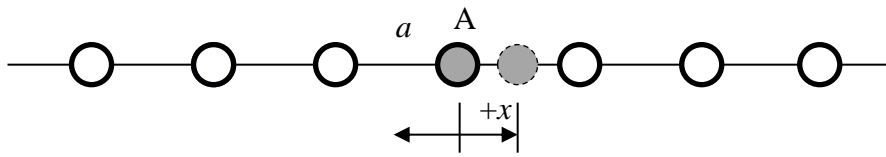
b) Határozzák meg az elpattanás utáni n -ik röpte tartamát, valamint az elpattanási pont és az azt követő becsapódási pont közti d_n távolságot (a távolságot a ferde sík mentén mérjük)!

c) Határozzák meg $\alpha = 75^\circ$, $L = 2,0$ m és $g = 9,8$ m \cdot s $^{-2}$ értékeknél: mekkora h_0 magasságból kell elengedni a golyót, hogy az ötödik röpte utána a ferde felület alsó végébe csapódjon be; mennyi idő (T_5) telik el a golyó első becsapódásától a ferde sík alsó végén való becsapódásáig; mekkora (a ferde felülethez viszonyított) α_5 szög alatt csapódik be a golyó a ferde felület alsó végébe!

2. Az ion rezgése az egy dimenziójú kristályrácsban

A kristályos anyagok atomjai szabályos rácsot alkotnak. Elhelyezkedésüket a rácsban a köztük ható elektromos erők határozzák meg. Minden atom egyensúlyi helyzetben van, amely körül kis rezgéseket végez.

A kristályban fellépő erőhatások általános kiszámítása aránylag bonyolult. Első megközelítésben különböző egyszerűsítések használatosak. A legegyszerűbb modell egy ionokból álló egydimenziós végtelen rács, úgy nevezett *lineáris rács*, ahol az atomok egyetlen egyenes mentén rendeződnek kristályrácsba. Képzeljük el pozitív egy vegyértékű ionok láncolatát egy egyenesen, ahol a szomszédok közti távolság a (B–2 ábra). Válasszunk ki egy iont (A), és vizsgáljuk a mozgását a többi ion erőhatása alatt, amelyek nyugalomban vannak az egyensúlyi helyzetükben!



B–2 ábra

- Figyelembe kell venni a feladat megoldásában az ionok közt fellépő gravitációs erőket? Indokolják meg a válaszukat!
- Vezessék le az A ionra ható F eredő erőt, ha x távolságra kitérítjük az egyensúlyi helyzetéből (lásd B–2 ábra)!
- Vezessék le az F erő nagyságát közelítőleg megadó összefüggést, mint az x változó lineáris függvényét, ha $x \ll a$! Határozzák meg a p arányossági tényezőt 1 %-os relatív pontossággal! Határozzák meg a legközelebbi ionpárok N számát (az A ion két oldalán levő ionpárral kezdve), amelyeket számításba kell venni, hogy elérjék a p arányossági tényező megkövetelt pontosságát!
- Szerkesszék meg az A ionra ható erő F nagyságának grafikonját x függvényében N ionpár esetében a b) részfeladat szerint! Határozzák meg a grafikonból a p arányossági tényezőt, valamint értékének relatív eltérését a c) részfeladatban kiszámított értékhez viszonyítva!

A kristály ionjai egyensúlyi helyzetük körül rezegnek. Az elektromosan rezgő részecskék olyan elektromágneses teret sugároznak ki, melynek frekvenciája megegyezik az ionok rezgőmozgásának frekvenciájával.

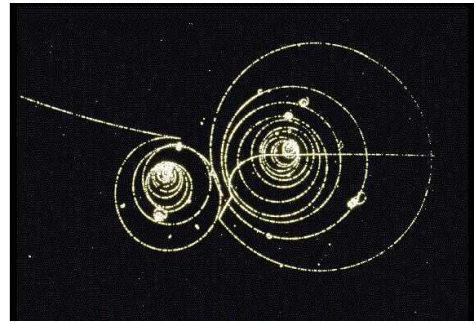
- Határozzák meg a vizsgált ion rezgőmozgásának f frekvenciáját, valamint a kisugárzott elektromágneses hullámok λ hullámhosszát! Határozzák meg, hogy az elektromágneses sugárzások milyen sávjába tartozik az ion által keltett sugárzás!

A feladatot oldják meg általánosan, a c) és d) részfeladatokat pedig a következő értékekre is: $a = 3,2 \times 10^{-10}$ m, $m = 4,1 \times 10^{-26}$ kg (az A ion tömege). A további szükséges állandókat keressék ki táblázatokban!

A grafikon megszerkesztéséhez használjanak megfelelő számítógépes programot!

3. Ködkamra

A ködkamra elektromos töltéssel bíró elemi részecskék és ionizált atomok mozgásának megjelenítésére szolgál. A kamrában telített pára van, amely a töltött részecskék hatására kondenzálódik. Így egy nyom keletkezik a részecskék pályája mentén. Ha a ködkamrát homogén mágneses térbe helyezzük, az elektromosan töltött részecskék görbe pályán mozognak. A B–3 ábrán látható felvétel részecskék ütközését rögzítette egy CERN-i gyorsítóban. A pályák elemzésével meghatározhatók a részecskék, és vizsgálhatók a részecskék közti kölcsönhatások.



B–3 ábra

Vizsgáljunk egy ködkamrát, amelyben elektromosan neutrális radioaktív ^{226}Ra atomok is vannak. A rádium ezen izotópja α sugárforrásként használatos. Tételezzék fel, hogy a részecske a mágneses tér indukció vektorára merőleges irányban lett kisugározva az atommagból!

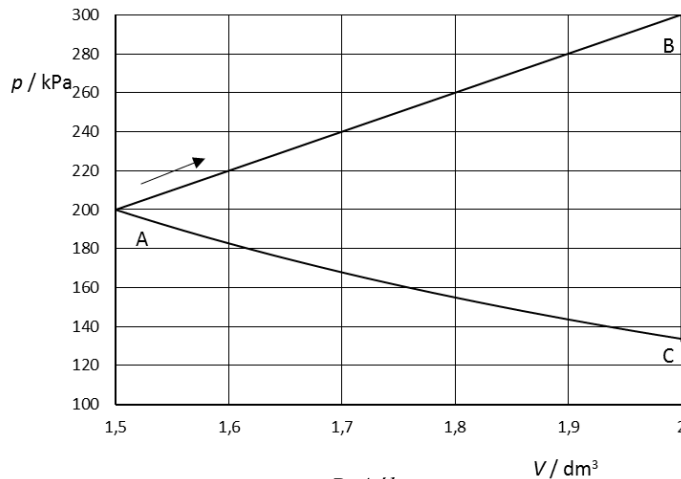
- Tételezzék fel, hogy a részecske az atommagot v sebességgel hagyta el! Írják le a részecske pályáját, és határozzák meg az alapjellemzőit Magyarázzák meg, hogy miért hagy a részecske spirális alakú nyomot a ködkamrában (B–3 ábra)! Határozzák meg a mágneses tér irányát, ha a B–3 ábrán látható felvétel jobb oldalán található spirális pálya pozitív részecske pályája – a válaszukat fizikai alapokon indokolják meg!
- Írják le azt a magreakciót, amelyben a ^{226}Ra atom egy α részecskét sugároz ki! Hogyan hívjuk a keletkezett atomot?

Az említett magreakcióban $E = 4,87 \text{ MeV}$ energia szabadul fel. Tételezzék fel, hogy a felszabadult E teljes energia az α részecske és a maradék atom mozgási energiájává alakult!

- A ködkamrában, amely $B = 10 \text{ T}$ mágneses indukciójú homogén mágneses térben van, megjelenik az α részecske és a keletkezett ion pályájának nyoma! Határozzák meg mindkét nyom kezdeti görbületét, valamint mindkét részecske kezdeti szögsebességét

4. Termodinamikai folyamat

A laboratóriumban termodinamikai folyamatok egy új szabályozó rendszerének tesztelésébe kezdtek. Elkészítettek egy vízszintes, S belső keresztmetszetű hengerből álló modellt, egyik végén egy mereven álló dugattyúval, másik végén egy számítógép által vezérelt mechanikai meghajtással mozgatható dugattyúval. A hengerbe zárt levegőt Peltier-elemmel melegítik/hűtik, az elemen folyó áram nagyságát és polaritását a számítógép vezérli. A hengerben egy érzékelő méri a levegő T hőmérsékletét. A számítógép lejegyezi a mozgatható dugattyú x elmozdulását és a levegő hőmérsékletét a hengerben.



B-4 ábra

Az automata szabályozórendszer úgy szabályozza a gáz T hőmérsékletét, és egyidejűleg a henger x elmozdulását, valamint a henger elmozdulásának sebességét, hogy a Peltier-elem képes legyen a megkövetelt hőmérsékletet biztosítani.

a) Írják le tömören a Peltier-elem működési elvét! Milyen esetben hűt az elem, és mikor melegít?

A szabályozórendszert a B-4 ábrán látható termodinamikai körfolyamaton tesztelték. Az A állapotból (p_1 nyomás, V_1 térfogat, T_1 termodinamikai hőmérséklet) kiindulva lineárisan növelték a rendszer p nyomását és a henger V térfogatát egészen a B állapotig, amikor a nyomás p_2 és térfogat V_2 volt. Ezt követően a rendszer izochor folyamatban átment a C állapotba, majd adiabatikus folyamatban a kezdeti A állapotba.

b) Határozzák meg a B és C állapotok szükséges ismeretlen termodinamikai jellemzőit!

A folyamat szabályozásához megadták a T hőmérséklet függését az x elmozdulástól.

c) Vezessék le a T hőmérsékletet az x elmozdulás függvényeként a körfolyamat AB, BC és CA szakaszaira! Rajzolják le a termodinamikai körfolyamatot a $T \sim x$ koordinátarendszerben!

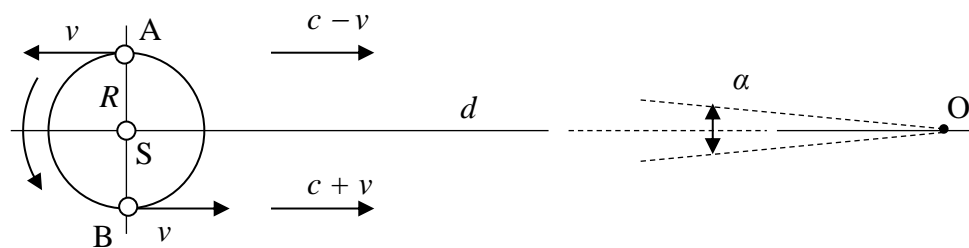
d) Határozzák meg a dugattyú mechanikai meghajtása által végzett W teljes mechanikai munkát, valamint a Peltier-elem által leadott/felvett Q hőt egy körfolyamat alatt!

A feladatot oldják meg általánosan, majd a B-4 ábrán feltüntetett grafikon értékeire; a levegő adiabatikus állandója $\kappa = 1,40$, $T_1 = 300$ K, $S = 1,00$ dm³! Tételezzék fel, hogy a mozgatható dugattyúnál fellépő súrlódás, valamint a henger falán és a dugattyúkon átlépő hő elhanyagolhatóan kicsi! A hengerbe zárt levegőről tételezzék fel, hogy ideális gáz!

5. A Ritz-paradoxon

A speciális relativitáselmélet (SRE) abból az állításból indul ki, hogy a fény sebessége a vákuumban azonos minden inerciális vonatkoztatási rendszerben, függetlenül a fényforrás sebességétől. Ritz ballisztikus elmélete azonban azt feltételezi, hogy a hullámzás sebessége összeadódik a forrás sebességével.

Walter Ritz (1878-1909), svájci elméleti fizikus kritizálta Maxwell elektromágneses elméletét, valamint a SRE-t. Az ő nevéhez fűződik a Ritz-féle paradoxon, amely klasszikus elképzelésekre épül. Induljunk ki a B-5 ábrán látható helyzetből, ahol az S Nap körül R sugarú körpályán kering a Föld v sebességgel. Az O megfigyelő, aki a Föld pályasíkjában van, nagy $d \gg R$ távolságból figyeli a Földet. A megfigyelő nyugalomban van a Nap inerciális vonatkoztatási rendszerében. A Föld A és B szélső pozíciói, az O megfigyelő szempontjából, egymással α szöveget zárnak.



B-5 ábra

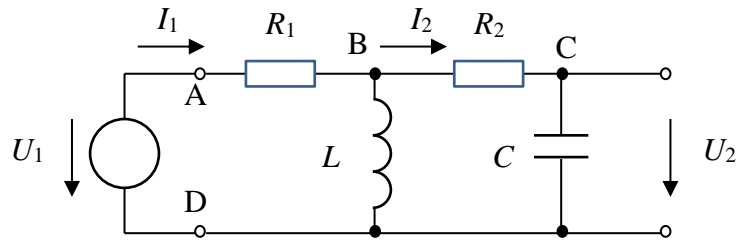
Tételezzék fel, hogy a fény c terjedési sebessége összeadódik a fényforrás, a Föld sebességével.

- Vezessék le a Föld v pályasebességét és határozzák meg az értékét!
- Határozzák meg a d távolságot, amelynél a Föld által az A és a B pontból kisugárzott fény egyszerre érne el a megfigyelőt. Mit látna ekkor a megfigyelő?
- Írják le, hogyan vannak meghatározva a következő távolságegységek: 1 ly (Light Year – fényév), 1 AU (Astronomical Unit – csillagászati egység), 1 pc (parsec – parszek)! Fejezzék ki a d távolságot ly, AU és pc egységekben! Keressenek olyan csillagot, amely közelítőleg ebben a távolságban található!
- Mekkora $\Delta\varphi$ felbontású távcsővel kéne rendelkeznie a megfigyelőnek, hogy a Föld két pozícióját két külön pontként láthassa? Megfigyelhetné a Ritz-paradoxont egy földönkívüli, ha a Hubble űrtávcső $\Delta\varphi_H = 0,05''$ (szögmásodperc) felbontásának megfelelő távcsővel rendelkezne?
- Írják le, mitől függ egy távcső felbontóképessége, és igazolják $\Delta\varphi_H$ értékét számítással!

A számításokhoz szükséges értékeket keressék ki táblázatokban vagy az interneten!

6. Elektromos szűrő

A B-6 ábrán látható áramkör R_1, R_2 ellenállású rezisztorokból, L indukciójú tekercsből és C kapacitású kondenzátorból összeállított elektromos szűrőt ábrázol. A szűrő bemenetéhez U_1 effektív feszültségű f frekvenciájú váltakozó feszültségű áramforrást csatlakoztatunk.



B-6 ábra

A szűrő két (R_1L és R_2C) feszültségosztóból áll. A feszültségosztók jellemző f_1 és f_2 frekvenciái a következő féleképpen vannak meghatározva:

$$\omega_1 = 2\pi f_1 = R_1/L, \quad \omega_2 = 2\pi f_2 = 1/(R_2C)$$

a) Vezessék le, és fejezzék ki az $A_U = U_2/U_1$ feszültség átviteli tényezőt, az I_1 és I_2 áramot és a P valós teljesítményt az f, R_1, R_2, f_1, f_2 változókkal kifejezve!

Itt U_1, U_2, I_1, I_2 a megfelelő mennyiségek effektív értékei.

b) Határozzák meg a szűrő f_r rezonancia frekvenciáját – rezonanciánál a bemeneti U_1 feszültség és I_1 bemeneti áramerősség közti fáziskülönbség nulla! Itt U_1 és I_1 a megfelelő mennyiségek fázorai (komplex amplitúdói).

c) Szerkesszék meg az A_U, I_1, I_2 és P mennyiségek grafikonjait az áramforrás f frekvenciájának függvényeként a 0-20 kHz frekvenciatartományra! Határozzák meg a grafikonból a feszültség átviteli tényező $A_{U,max}$ maximális értékét, valamint az ennek megfelelő f_A frekvenciát! Határozzák meg a valós teljesítmény P_{min} minimális értékét is, és az ennek megfelelő f_P frekvenciát!

A feladatot oldják meg általánosan, a b) és c) részfeladatokat pedig a következő értékekre:: $U_1 = 10 \text{ V}, R_1 = 9,0 \text{ k}\Omega, R_2 = 1,0 \text{ k}\Omega, f_1 = 10 \text{ kHz}, f_2 = 30 \text{ kHz}$!

A feladatok megoldásában használják a komplex amplitúdók, fázorok módszerét!

Vékony réteg galvanikus kialakítása– kísérleti feladat

A nagyfrekvenciájú áram nem oszlik el egyenletesen a vezető teljes keresztmetszetében, hanem a vezető külső felületéhez összpontosul. Ezt a jelenséget hívjuk *skin-effektusnak*. Az effektív rétegnek (amelyben az áram legnagyobb része folyik) a vastagsága a *behatolási mélység*, és értékét a következő összefüggés adja meg

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\omega\mu\gamma}}, \quad (1)$$

ahol ω az áram körfrekvenciája, μ a vezető permeabilitása, γ pedig a vezetőképessége.

A lehető legjobb vezetőképesség eléréséhez drágafémeket használnak, mint az ezüst és az arany. A skin-effektusnak köszönhetően elégséges a drága fémeket vékony rétegben felvinni olcsó alapra, pl. vasra. Ilyen rétegek kialakításának egyik módszere az elektrolitikus fémbevonás.

1. feladat – a szükséges réteg vastagságának megállapítása

Határozzák meg a réz δ behatolási mélységét $f = 100$ Mhz frekvenciájú áramnál!

2. feladat – a fémbevonási eljárás elemzése

A feladat, rézbevonatot létrehozni egy vashengeren. Erre megfelel az építkezéseken használatos vasszög (7×200 mm² – a szög átmérője 7 mm, hossza 200 mm) – könnyen beszerezhető vaskereskedésben. Mérjék meg pontosan a fémhenger méreteit, és határozzák meg a fémbevonattal ellátandó felület S nagyságát (1 cm-t hagyjanak a henger rögzítésére). Határozzák meg a rézbevonat elkészítéséhez szükséges Q töltés nagyságát, ha kialakítandó rézréteg vastagsága az első részfeladatban kiszámított δ behatolási mélység háromszorosa!

3. feladat – a szög fémbevonatának kialakítása

Készítsenek normál rézgálic (CuSO₄) oldatot a fémbevonáshoz – 1 mol CuSO₄ egy (1) liternyi oldatra! Egy forralóedény belső falát béleljék ki vezető réteggel (Alobal/Alupak fóliával) – ez lesz az egyik elektróda! Ebbe a forralóedénybe öntsék a rézgálic oldatot! A másik elektródát, a vasszöveget, rögzítsék egy állványban úgy, hogy a forralóedény tengelyében legyen! Mielőtt a vasszöveget rögzítenék az állványban, mérjék meg a tömegét pontos analitikai mérlegen! Az elektródákhoz csatlakoztassanak állandó feszültségű egyenáramú áramforrást, sorosan kapcsolt reosztáttal és amperméterrel! Döntsék el, az áramforrás melyik pólusát kell a vasszöghöz csatlakoztatni! Határozzák meg az I áramerősséget, amelynél a fémbevonattal ellátandó vasszög S nagyságú felületén az áramsűrűség $i = 5$ A · dm⁻² lesz! Határozzák meg, a Q töltésből és az I áramerősségből, hogy mennyi ideig (t) kell a fémbevonást végezni! Zárják az áramkört, a reosztáttal állítsák be a szükséges I áramerősséget, és indítsák el a stopperórát! Ellenőrizzék az áramerősség állandóságát!

A fémbevonás befejezése után a bevont vasszöveget óvatosan vegyék ki, szárítsák meg légárammal (ne törölgessék a felületét, hogy ne töröljék le a rézréteget). Mérjék meg a rézzel bevont szög tömegét, és számítsák ki a kialakított rézréteg d vastagságát! A kapott értéket hasonlítsák össze a megkövetelt 3δ értékkel!