

Elméleti verseny¹

1. feladat. Relativisztikus részecske

A speciális relativitáselmélet alapján egy m_0 nyugalmi tömegű szabad részecske E energiája és p lendülete között a következő összefüggés érvényes:

$$E = \sqrt{p^2 c^2 + m_0^2 c^4} = m \cdot c^2.$$

Ha egy részecske konzervatív erőterben van, a részecske teljes energiája, ami a $\sqrt{p^2 c^2 + m_0^2 c^4}$ tag és a potenciális energia összege, állandó marad. Ha a részecske energiája nagyon nagy, a nyugalmi energiája elhanyagolható (az ilyen részecskét ultrarelativisztikusnak nevezzük).

1. Tekintsük egy nagyon nagy energiájú részecske (melynek nyugalmi energiája elhanyagolható) egydimenziós mozgását, amelyre állandó f nagyságú, centrális, vonzóerő hat. Tegyük fel, hogy a részecskét a $t = 0$ kezdőpillanatban p_0 kezdeti lendülettel az erőcentrumba helyezzük. Írd le a részecske mozgását két különböző módon: először a p lendületet ábrázold az x térkoordináta függvényében, majd x -et ábrázold t függvényében, legalább a mozgás egy periódusában. Határozd meg a fordulópontok koordinátáit a p_0 és az f paraméterek segítségével, valamint nyilakkal ábrázold a mozgás irányát a $p - x$ diagramon.

Megjegyzés. A mozgás közben lehetnek olyan rövid idő-intervallumok, amikor a részecske nem ultrarelativisztikus. Ezeket az időtartamokat azonban hanyagoljuk el!

2. A mezonok két kvarkból felépülő részecskék. A mezon M nyugalmi tömege megegyezik a 2-kvark rendszer teljes energiájának c^2 -ed részével.

Tekintsük egy nyugalomban lévő mezon olyan egydimenziós modelljét, amelyben a 2 kvarkról feltesszük, hogy az x tengely mentén mozognak, és állandó nagyságú f erővel vonzzák egymást. Azt is feltételezzük, hogy egymáson szabadon áthatolhatnak. A kvarkok nagyenergiájú mozgásának leírásakor a kvarkok nyugalmi tömege elhanyagolható.

A $t = 0$ kezdőpillanatban mindkét kvark az $x = 0$ helyen található. Add meg a 2 kvark mozgását grafikusán az $x - t$ és a $p - x$ diagramokon. Határozd meg a fordulópontok koordinátáit M és f segítségével. Jelöld be a folyamat irányát a $p - x$ diagramon, és végül határozd meg a 2 kvark közötti maximális távolságot!

3. Az előző alkérdésben használt vonatkoztatási rendszert S rendszernek nevezzük. Az S' -vel jelölt laboratóriumi vonatkoztatási rendszer a negatív x irányba mozog $V = 0,6c$ állandó sebességgel. A két vonatkoztatási rendszerben a koordinátákat úgy választjuk meg, hogy az $x = 0$ pont essen egybe az S' -beli $x' = 0$ ponttal a $t = t' = 0$ kezdőpillanatban.

Ábrázold grafikusán a 2 kvark mozgását az $x' - t'$ grafikonon, határozd meg a fordulópontokat M , f és c segítségével, és végül számítsd ki a két kvark között az S' laboratóriumi rendszerben észlelhető maximális távolságot!

Megjegyzés. Az S és az S' koordináta-rendszerek között a Lorentz-transzformáció teremti kapcsolatot:

$$\begin{cases} x' = \gamma (x + \beta ct) \\ t' = \gamma \left(t + \beta \frac{x}{c} \right), \end{cases}$$

ahol V a két koordináta-rendszer sebessége, $\beta = V/c$ és $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}}$.

4. Egy mezon nyugalmi energiája $Mc^2 = 140$ MeV, sebessége pedig $0,6 c$ az S' laboratóriumi rendszerhez viszonyítva.

Határozd meg az S' laboratóriumi rendszerben a mezon E' energiáját!

Megoldás. 1. A vonzócentrumot az $x = 0$ pontba helyezve a potenciális energia $U(x) = f|x|$ módon adható meg. A teljes energia ekkor

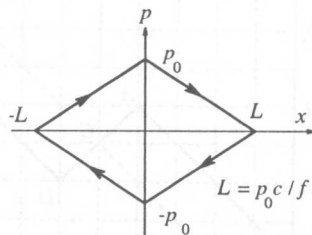
$$E = \sqrt{p^2 c^2 + m_0^2 c^4} + f|x|,$$

ami ultrarelativisztikus határesetben: $E = |p|c + f|x|$. Ez az összefüggés egyben a részecske „fázisgörbéje” a $p - x$ síkon. (1. ábra). A részecske összenergiáját az

$$E(x = 0, p = p_0) = p_0 c$$

összefüggés, a fordulópontot pedig az $E(|x| = L, p = 0) = p_0 c$ egyenlet adja meg: $L = p_0 c / f$.

¹ A rendelkezésre álló idő: 5 óra.

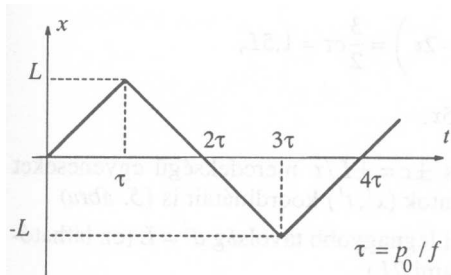


1. ábra

Ultrarelativisztikus ($E \gg m_0 c^2$) határesetben a részecske $p = \frac{m_0 v}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$ lendülete csak úgy lehet véges nagyságú, ha $|v| \approx c$. Ugyanerre a következtetésre juthatunk az $F = \Delta p / \Delta t$ Newton-egyenletből is:

$$|v| = \left| \frac{\Delta x}{\Delta t} \right| = \left| \frac{\Delta p}{\Delta t} \right| \cdot \left| \frac{\Delta x}{\Delta p} \right| = f \cdot \frac{L}{p_0} = c.$$

A részecske tehát $v \approx \pm c$ sebességgel mozog $x = \pm L$ pontok között (leszámítva a fordulópontok közelében eltöltött rövid időt), ahogy az a 2. ábrán látható. A periódikus mozgás negyed periódusideje: $\tau = L/c = p_0/f$.

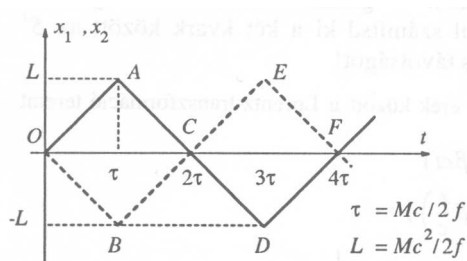


2. ábra

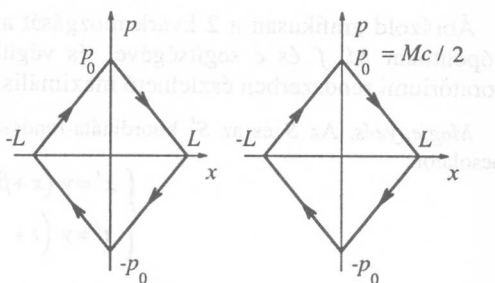
2. A két kvarkból álló rendszerre az energiatétel:

$$Mc^2 = |p_1|c + |p_2|c + f|x_1 - x_2|,$$

ahol x_i és p_i az egyes kvarkok helye, illetve lendülete ($i = 1, 2$).



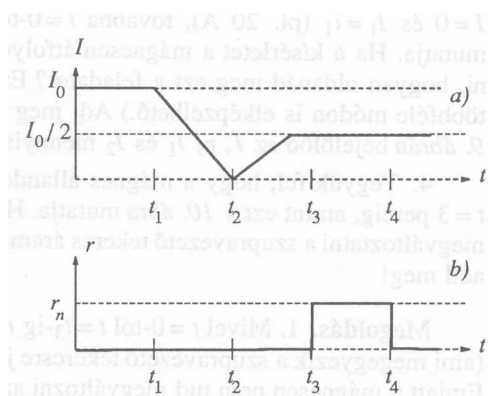
3. ábra



4. ábra

hogy nagy mágneses teret hoznak létre, miközben nincsen Joule-hő okozta energiaveszteség, mivel a szupravezető drót elektromos ellenállása nullává válik, amikor a mágnes 4,2 K hőmérsékletű folyékony héliumba mártjuk. A mágneshez rendszerint hozzátartozik egy speciális szupravezető kapcsoló, amint ezt a 6. ábra mutatja. A kapcsoló r ellenállása szabályozható: vagy $r = 0$ szupravezető állapotban, vagy $r = r_n$ normál állapotban van. Amikor a kapcsoló szupravezető állapotban van, a mágnesen állandó erősségű áram folyik, amelynek nagysága akármekkora lehet. A szupravezető állapotba hozott kapcsolóval elérhetjük, hogy még hosszú idővel a külső áramforrás kikapcsolása után is állandó mágneses mező maradjon a tekercsben.

A szupravezető kapcsoló részletei nem láthatók a 6. ábrán. Ez általában egy rövid szupravezető huzal, amelyet fűtőszál vesz körül, és megfelelően hőszigetelve van a folyékony héliumtól. Fűtés hatására a szupravezető huzal hőmérséklete növekszik, így normál állapotú ellenállássá változik. Az r_n tipikus értéke néhány ohm, esetünkben 5 ohm. A szupravezető mágnes önindukciós együtthatója a méretétől függ, a 6. ábrán látható mágnes esetében tekintsük 10 H-nek. A teljes I áramot az R ellenállás segítségével változtatjuk.

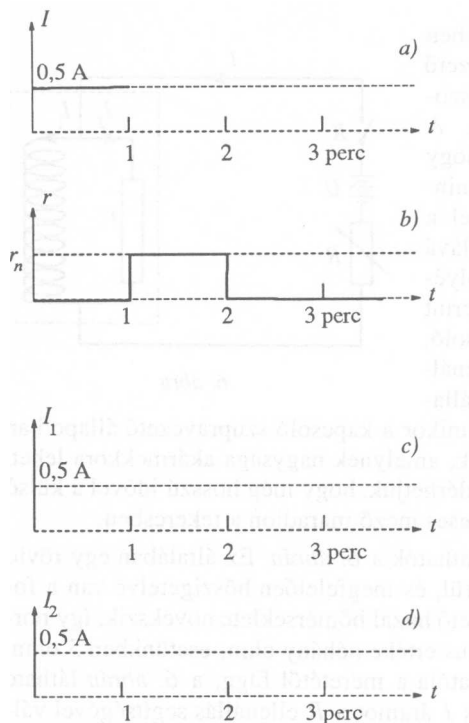


7. ábra

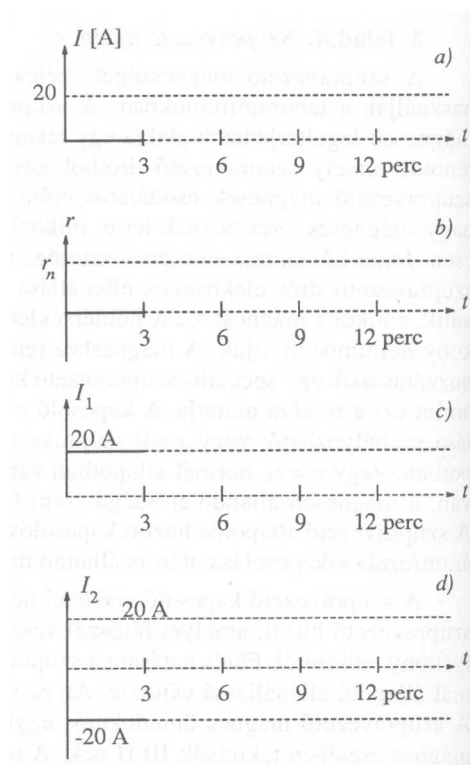
A nyilak az I , I_1 és I_2 pozitív irányait jelölik.

1. Ha a teljes I áramot és az r ellenállású szupravezető kapcsoló áramát a 7(a) és 7(b) ábrán látható módon változtatjuk, és feltehetjük, hogy a mágnesen és a kapcsolón átfolyó I_1 és I_2 áramok kezdetben egyenlők voltak, határozd meg, hogyan változnak ezek időben t_1 -től t_4 -ig. A válaszodat hasonló ábrákon tüntetsd fel. (Ezen feladat értékelésénél csak az általad megadott grafikonokat veszik figyelembe!)

2. Tegyük fel, hogy a K tápfeszültségkapcsolót a $t = 0$ pillanatban bekapcsoljuk, amikor $r = 0$, $I_1 = 0$ és $R = 7,5 \Omega$, továbbá a teljes I áram 0,5 A. A K kapcsoló zárvatartása mellett a szupravezető kapcsoló r ellenállása a 8(b) ábra szerint változik. Add meg a 8(a), 8(c), 8(d) ábrákon a megfelelő I , I_1 és I_2 áramok időbeli változását!



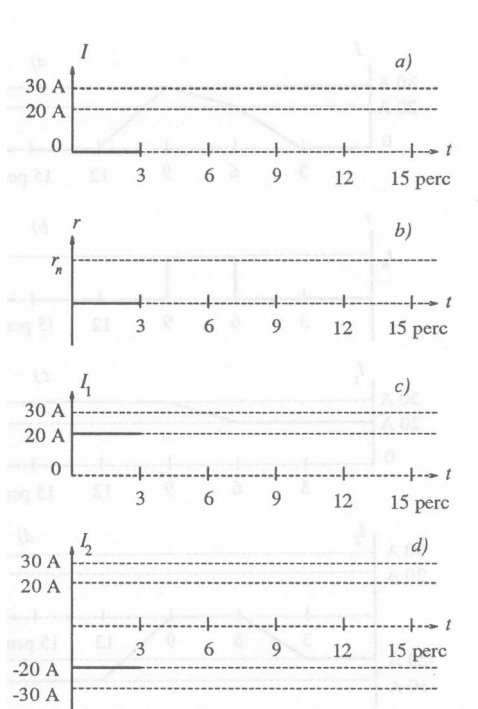
8. ábra



9. ábra

3. Normál állapotban a szupravezető kapcsolón csak kis áramok folyhatnak át, nevezetesen csak 0,5 A-nél kisebb, mert máskülönben a nagy áramok kiégetik a kapcsolót. Tegyük fel, hogy a szupravezető mágnes állandósult (bekapcsolt) állapotban van, azaz $I = 0$ és $I_1 = i_1$ (pl. 20 A), továbbá $t = 0$ -tól $t = 3$ percig $I_2 = -i_1$, amint ezt a 9. ábra mutatja. Ha a kísérletet a mágnesen átfolyó áram zérusra csökkentésével be kell fejezni, hogyan oldanád meg ezt a feladatot? Ezt néhány lépésben teheted meg. (Az eljárás többféle módon is elképzelhető.) Adj meg egy lehetséges megoldást oly módon, hogy a 9. ábrán bejelölöd az I , r , I_1 és I_2 mennyiségek időbeli változását.

4. Tegyük fel, hogy a mágnes állandó, 20 A-es áramerősséggel működik $t = 0$ -tól $t = 3$ percig, amint ezt a 10. ábra mutatja. Hogyan tudnád az említett feltétel betartásával megváltoztatni a szupravezető tekercs áramát 30 A-re? Válaszodat a 10. ábrán grafikusán add meg!



10. ábra

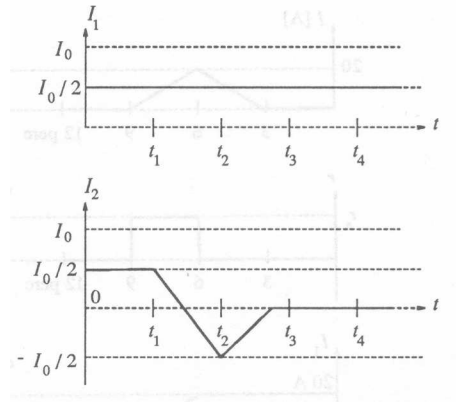
Megoldás. 1. Mivel $t = 0$ -tól $t = t_3$ -ig $r = 0$, a szupravezető kapcsolón eső feszültség (ami megegyezik a szupravezető tekercsre jutó LdI_1/dt feszültséggel) nulla kell legyen. Emiatt a mágnesen nem tud megváltozni az áramerősség, tehát

$$I_1(t) = I_1(t_0) = \frac{1}{2}I_0,$$

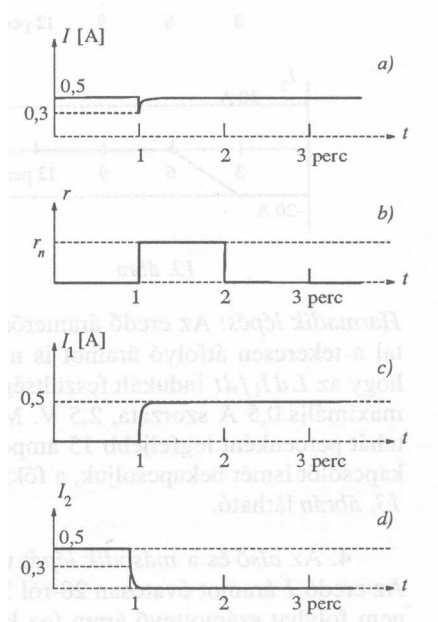
illetve

$$I_2(t) = I(t) - I_1(t) = I(t) - \frac{1}{2}I_0.$$

Mivel $t = t_3$ -kor $I_2 = 0$, a kapcsoló normál állapotba kerülése után sem esik feszültség rajta, tehát a tekercs árama a továbbiakban sem változik (11. ábra).



11. ábra



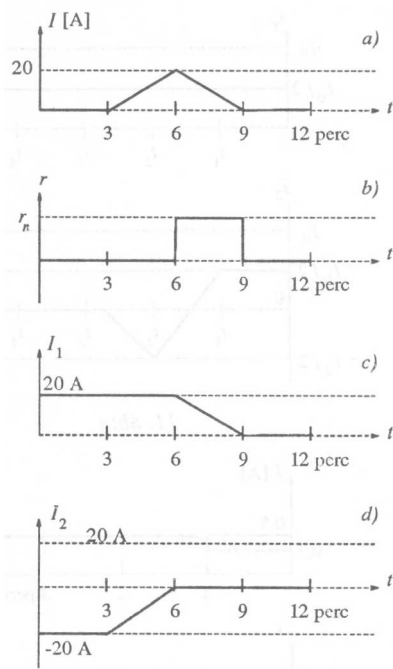
12. ábra

2. Az első 1 percben I_1 nem tud megváltozni (hiszen $r = 0$), s mivel a teljes I sem változik, I_2 is konstans marad. $t = 1$ percnél r hirtelen felugrik 0-ról r_n -re, I lecsökken U/R -ról $U/(R+r_n)$ -re, a megadott szám adatokkal 0,3 A-re. $t = 1$ és 2 perc között I , I_1 és I_2 fokozatosan tart az egyensúlyi állapotnak megfelelő értékekhez (ezek: $I = U/R = 0,5$ A, $I_1 = I = 0,5$ A és $I_2 = 0$). Az időállandó

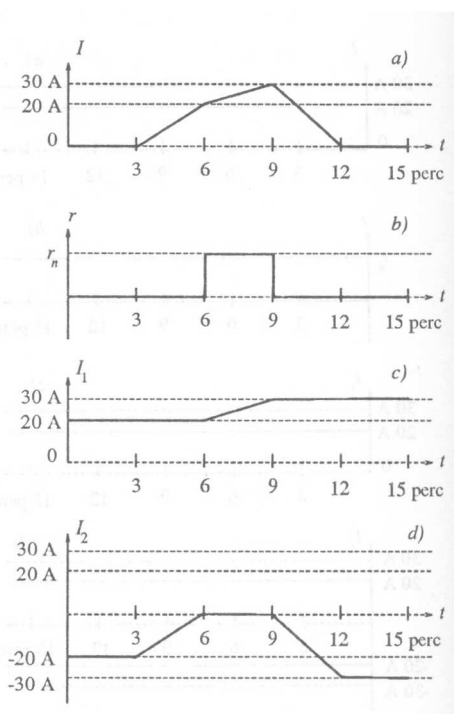
$$\tau = \frac{L(R+r_n)}{Rr_n} = 3 \text{ s},$$

ami elég rövid ahhoz, hogy $t = 2$ perckor (60 s múlva) az áramerősségeket már az egyensúlyi értékekkel azonosnak tekinthessük. Ezután a szupravezető kapcsoló ismét $r = 0$ ellenállású lesz, de ez nem változtat a konstans áramértékeken, hiszen rajta úgysem esett feszültség (12. ábra).

3. *Első lépés:* A K főkapcsoló zárt állása mellett fokozatosan megnöveljük az áramkör teljes I áramát 20 A-re. Mivel a szupravezető kapcsoló $r = 0$ állapotban van, a tekercs árama nem változhat meg, tehát I_2 20 amperrel megnő, bagyis -20 A-ról nullává válik. *Második lépés:* A szupravezető kapcsolót kikapcsoljuk ($r = r_n$ normál állapotba hozzuk). *Harmadik lépés:* Az eredő áramerősséget fokozatosan nullára csökkentjük, ezzel egyúttal a tekercsen átfolyó áramot is nullává tesszük. A csökkentés ütemét az korlátozza, hogy LdI_1/dt indukált feszültség nem lehet nagyobb, mint $r_n = 5 \Omega$ és a megengedett maximális 0,5 A szorzata, 2,5 V. Mivel $L = 10$ H, $dI_1/dt < 0,25$ A/s. A tekercs árama tehát percenként legfeljebb 15 ampertit változhat. *Negyedik lépés:* Az r szupravezető kapcsolót ismét bekapcsoljuk, a főkapcsolót pedig kikapcsoljuk. Az egész folyamat a 13. ábrán látható.



13. ábra

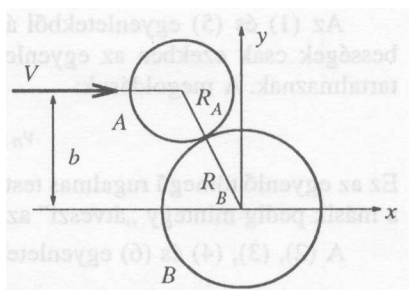


14. ábra

4. Az *első* és a *második lépés* ugyanaz, mint az előző kérdésnél. *Harmadik lépés:* Az eredő I áramot óvatosan 20-ról 30 amperesre növeljük. A normál állapotú kapcsolón nem folyhat számottevő áram (ez korlátot szab az áramváltoztatás ütemére), az összes áram gyakorlatilag a tekercsen folyik keresztül. *Negyedik lépés:* A szupravezető kapcsolót $r = 0$ állapotba hozzuk (vagyis a tekercs áramát „befagyasztjuk”). *Ötödik lépés:* I -t nullára csökkentjük (ezt most gyorsan is megtehetjük, mert a kapcsoló szupravezető állapotban van). Mivel I_1 nem változhat, az r -en átfolyó áram fog 30 A-t csökkenni. *Utolsó lépés:* Kikapcsoljuk a K főkapcsolót. A kívánt változást megvalósító folyamat a 14. ábrán látható.

3. feladat. Korongok ütközése felületi súrlódással

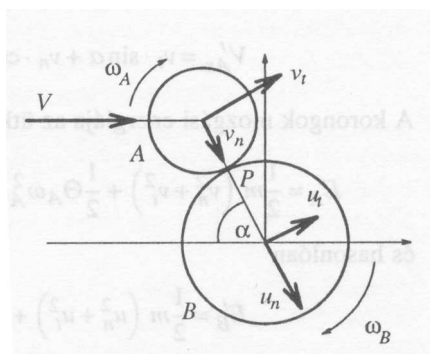
Egy A jelű, m tömegű, R_A sugarú, tömör, homogén korong V sebességű transláció (azaz forgás nélküli) súrlódásmentes mozgást végez a sima vízszintes $x-y$ síkban, x irányban, b távolságban az x tengelytől. Összeütközik egy B jelű, kezdetben nyugvó, ugyancsak m tömegű, azonos vastagságú, de R_B sugarú, tömör, homogén koronggal, amely kezdetben a koordináta-rendszer origójában áll (15. ábra). Feltehetjük, hogy az érintkező felületek ütközés alatti súrlódása következtében az érintkezési pontban a korongok sebességének érintő irányú összetevője az ütközés után egyenlő lesz. Azt is feltehetjük, hogy a korongok középpontját összekötő egyenes mentén a korongok relatív sebességének nagysága az ütközés előtt és az ütközés után megegyezik.



15. ábra

1. Határozd meg az ilyen ütközés esetén a két korong ütközés utáni sebességeinek x és y komponenseit, azaz V'_{Ax} ; V'_{Ay} ; V'_{Bx} ; V'_{By} értékét m , R_A , R_B , V és b ismeretében!

2. Határozd meg az A korong ütközés utáni E'_A és a B korong ütközés utáni E'_B mozgási energiáját m , R_A , R_B , V és b ismeretében!



16. ábra

Megoldás. Az ütközés során (amely nyilván csak akkor következik be, ha $b < R_A + R_B$), megmarad a rendszer x , illetve y irányú impulzusa (lendülete), vagy ami ezzel egyenértékű: a P ütközési pontban húzott érintő irányú (tangenciális), valamint az arra merőleges sugár irányú (normális) impulzuskomponensekre is felírhatunk megmaradási törvényt. A 16. ábra jelöléseivel

$$(1) \quad mV \cos \alpha = m(u_n + v_n)$$

$$(2) \quad mV \sin \alpha = m(u_t + v_t)$$

Igaz továbbá, hogy a P pontra vonatkoztatva *külön – külön* megmarad a két korong perdülete, hiszen az ütközés során fellépő erőknek nincs forgatónyomatéka erre a pontra. Vegyük figyelembe, hogy a perdület a tömegközéppont haladó mozgásából származó impulzusnyomatékból és a tömegközéppont körüli forgás $\Theta\omega$ sajátperdületéből tehető össze:

$$(3) \quad mR_A \cdot V \sin \alpha = mR_A v_t + \Theta_A \omega_A,$$

$$(4) \quad 0 = mR_B u_t - \Theta_B \omega_B,$$

ahol $\Theta_A = mR_A^2/2$, illetve $\Theta_B = mR_B^2/2$. Ezek a megmaradási tételek 4 egyenletet adtak, de az ismeretlenek száma 6 (2 + 2 sebességkomponens és 2 szögsebesség). (A mechanikai energia megmaradása most nem teljesül, hiszen az ütközés rugalmatlan.) A hiányzó két egyenletet a relatív sebességekre megadott megszorítások szolgáltatják. (Ezek lényegében azt fejezik ki, hogy az ütközés sugár irányban tökéletesen rugalmas, érintő irányban pedig tökéletesen rugalmatlan. Kérdéses, hogy léteznek-e olyan kiterjedt testek, melyek ütközése — legalább jó közelítéssel — így írható le.)

$$(5) \quad V \cos \alpha = u_n - v_n,$$

$$(6) \quad v_t - R_A \omega_A = u_t + R_B \omega_B.$$

Az (1) és (5) egyenletekből álló rendszer önmagában zárt, a normális irányú sebességek csak ezekben az egyenletekben fordulnak elő, más ismeretlent viszont nem tartalmaznak. A megoldásuk:

$$v_n = 0, \quad u_n = V \cos \alpha.$$

Ez az egyenlő tömegű rugalmas testek ütközésének jól ismert esete: az egyik test megáll, a másik pedig mintegy „átveszi” az eredetileg mozgó test sebességét.

A (2), (3), (4) és (6) egyenletekből álló rendszer megoldása:

$$v_t = \frac{5}{6} V \sin \alpha$$

$$u_t = \frac{1}{6} V \sin \alpha$$

$$R_A \omega_A = R_B \omega_B = \frac{1}{3} V \sin \alpha.$$

Ezek ismeretében valamennyi keresett sebességkomponens könnyen számítható:

$$V'_{Ax} = v_t \cdot \sin \alpha + v_n \cdot \cos \alpha = \frac{5}{6} V \sin^2 \alpha = \frac{5Vb^2}{6(R_A + R_B)^2} \text{ stb.}$$

A korongok mozgási energiája az ütközés után:

$$E'_A = \frac{1}{2} m (v_n^2 + v_t^2) + \frac{1}{2} \Theta_A \omega_A^2 = \frac{1}{2} m V^2 \cdot \frac{27}{36} \sin^2 \alpha = \frac{1}{2} m V^2 \cdot \frac{3b^2}{4(R_A + R_B)^2},$$

és hasonlóan

$$\begin{aligned} E'_B &= \frac{1}{2} m (u_n^2 + u_t^2) + \frac{1}{2} \Theta_B \omega_B^2 = \frac{1}{2} m V^2 \cdot \left(1 - \frac{11}{12} \sin^2 \alpha \right) \\ &= \frac{1}{2} m V^2 \cdot \left(1 - \frac{11b^2}{12(R_A + R_B)^2} \right). \end{aligned}$$

Kísérleti verseny²

1. feladat. Egy átlátszó dielektrikum felület fényvisszaverő-képességének meghatározása.

Kísérleti berendezés:

1. He–Ne lézer (kb. $\sim 1,5$ mW). A lézerből kijövő fény önmagában nem polarizált.
2. Két polárszűrő, amelyek fokbeosztású skálával vannak ellátva, az egyik (az A jelű polarizátor) a lézer előtt helyezkedik el, míg a másikat szükség esetén rajzszögek segítségével a rajztábla megfelelő helyére rögzítheted.
3. Két fényintenzitás-mérő detektor, amelyek fotocellából és mikroampermérőből állnak.
4. Fénynyaláb-osztó kör alakú üveglemez.
5. Átlátszó dielektrikum lemez (a továbbiakban *mint*a). Ennek a mintának a fényvisszaverő-képességét és törésmutatóját kell meghatározni.
6. Mintatartó állvány félkör alakú szögmérőre erősítve, mozgatható karral.
7. Rajzszögek.
8. Rész és ernyő a lézernyaláb vízszintes belállítására és az optikai elemek besabályozására.
9. Gyurma, amely az optikai elemek finom rögzítésére szolgál.
10. Fa rajztábla.
11. Milliméterpapírok.

Kísérleti feladatok:

² A rendelkezésre álló idő: $2 \times 2,5$ óra.

1. Határozd meg a minta R reflexióképességét (fényvisszaverő-képességét) a fénysugár beesési szögének függvényében a p -komponensre vonatkoztatva. (A p -komponens a lézervény azon összetevője, amelyben az elektromos tér párhuzamos a beesési síkkal.)

a) Határozd meg (p -komponens mérés segítségével), hogy az (A) polarizátor átírtési iránya hány fokos szöget zár be a polarizátoron lévő jelzéshez képest! (Az átírtési irány az átmenő fény elektromos térerősség vektorának rezgési irányát jelenti.)

b) Válaszd az egyik fényintenzitás-mérő detektort, és igazold alkalmas méréssel, hogy a fény intenzitása egyenesen arányos a mikroampermérő jelével. Rajzold le vázlatosan a mérésekhez használt optikai elrendezést! A mérési adatokat, továbbá az azokból számított értékeket (a számítási formulával együtt) foglald táblázatba! Ábrázold a lineáris kapcsolatot grafikusán!

c) Határozd meg a minta fényvisszaverő-képességét a beesési szög függvényében a p -komponensre vonatkoztatva! Rajzold le vázlatosan az optikai elrendezést! Mérési adataidat, továbbá a számított fényvisszaverési képességet (a számítási formulával együtt) foglald táblázatba! Ábrázold a fényvisszaverő-képességet a beesési szög függvényében!

2. Határozd meg a minta törésmutatóját a lehető legpontosabban!

Útmutatás:

1. Ne nézz közvetlenül a lézervénybe!

2. A lézervény kimenő fényteljesítménye időben változhat! A kilépő fény intenzitásának változását állandóan követned kell a mérés alatt, és a kísérleti eredményeidet ennek figyelembevételével **korrigálnod** (helyesbítened) kell!

3. A lézervény állandóan működni kell! Még a kísérlet befejezése után, a terem elhagyásakor sem szabad kikapcsolnod a lézert!

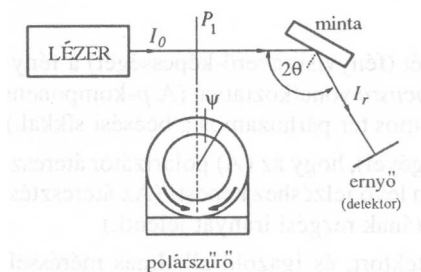
4. A visszavert fény egy bizonyos Θ_B beesési szögnél teljesen lineárisan polárossá válik. Erre a szögre a $\tan \Theta_B = n$ összefüggés érvényes, ahol n a törésmutató.

Megoldás. 1. a) az útmutatás szerint egy bizonyos szögnél, az ún. Θ_B Brewster-szögnél a visszavert fény teljesen polárossá válik. Visszaverő felületként az ismeretlen törésmutatójú mintát választva, annak elforgatásával, illetve a mintára eső lézervény útjába tett polárszűrő egyidejű forgatásával elérhetjük, hogy a visszavert fény intenzitása nulla legyen (a fénymérő detektor nem jelez). Ennél az elrendezésnél (17. ábra) a polárszűrő csak a p -komponenst engedi át. Az adott esetben az $\Theta_B = 56,3^\circ$ -os szögnél és a polarizátor $\psi = 140,5^\circ$ -os állásánál következett be.

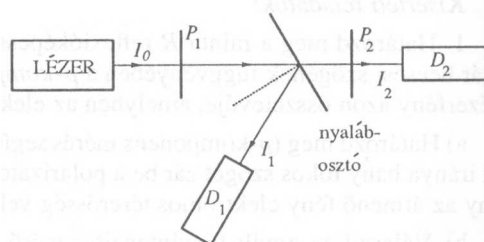
b) A nyálábosztó segítségével a 18. ábrán látható módon a lézervényt két részre oszthatjuk. Ha a P_1 polárszűrő rögzített állása mellett a P_2 polárszűrőt φ szöggel elforgatjuk, a D_2 detektorba jutó fény intenzitása az

$$I(\varphi) = I_0 \cos^2 \varphi$$

függvény szerint változik (ez az $I_{\text{fény}} \sim E^2$, és $|\mathbf{E}_{\text{szűrt}}| = |\mathbf{E}| \cdot \cos \varphi$ összefüggések következménye). Amennyiben a fénymérő detektor I árama arányos a detektorra eső fényintenzitással, így az $I_{\text{áram}} \sim I_{\text{fény}} \sim \cos^2 \varphi$ lineáris kapcsolatnak kell teljesülnie, feltéve, hogy a mérés közben a lézer teljesítmény nem változott. Ha ez utóbbi bekövetkezne, a D_1 detektor árama is megváltozik, s a változás mértékéből korrigálni lehet az adatokat. A mérések szerint jó közelítéssel lineáris a kapcsolat a fénymérő árama és a ráeső fény intenzitása között.



17. ábra

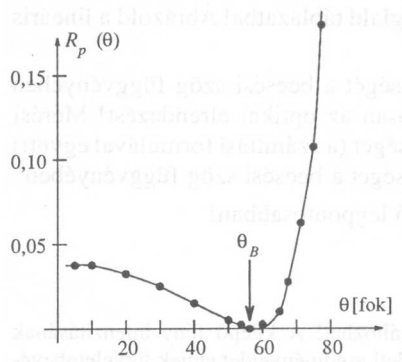


18. ábra

c) Az előző alkérdésben igaznak bizonyult linearitás ismeretében különböző beesési szögeknél (5° -tól 85° -ig) mérni lehet a visszavert fény relatív intenzitását (a lézer ingadozásait figyelembe véve és korrekciós faktorról helyesbítve).

2. A legkisebb visszaverőképeség (gyakorlatilag nulla) az említett Brewster-szögnél tapasztalható, ennek mért értéke $\Theta_B = 56,3^\circ \pm 0,5^\circ$. Mivel az anyag n törésmutatója éppen $\tan \Theta_B$ -vel egyenlő, innen $n = 1,50 \pm 0,02$ adódik.

A mérési adatokat a 19. ábra mutatja.



19. ábra. A p -komponensre vonatkoztatott reflexió-képeség a beesési szög függvényében

Aki ismeri azt az összefüggést, hogy merőleges beesésnél (bármilyen polarizációjú fényre) a fényvisszaverőképeség:

$$R(\Theta = 0) = \frac{n - 1}{n + 1},$$

ebből — a mérési adatokat a technikai okokból megvalósíthatatlan 0° -os esetre extrapolálva — az $R(0) \approx 0,028$ adatból a törésmutatóra az $n = 1,48 \pm 0,04$ értéket kapta.

2. feladat. Fekete doboz

Adott egy „fekete doboz”, amelyen két egyforma kivezetés van. A fekete dobozban legfeljebb 3 passzív elem található. Határozd meg a kivezetések közötti áramkörben lévő elemek adatait! *A dobozt nem szabad kinyitni!*

Kísérleti berendezés:

1. Kétsugaras oszcilloszkóp, továbbá egy mellékelt magyarázat a készüléken lévő gombokról.
2. Hangfrekvenciás jelgenerátor, továbbá egy mellékelt magyarázat a készüléken lévő gombokról.
3. 100 ohm ($\leq \pm 0,5\%$) értékre beállított ellenállásdoboz.
4. Csatlakozó-vezetékek.
5. A koaxiális kábelek. A fekete színjelzésű vezetékek a koax-csatlakozónál földelvek.
6. Különböző (lineáris-, log-, és log-log) milliméter-papírok.

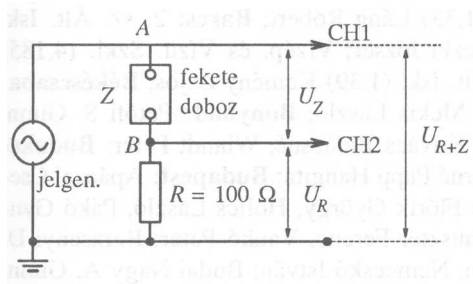
Megjegyzés: Azok a gombok, amelyek nincsenek feltüntetve a műszermagyarázatokon, a helyes állásba vannak beállítva. Ezekhez ne nyúlj!

Kísérleti feladatok:

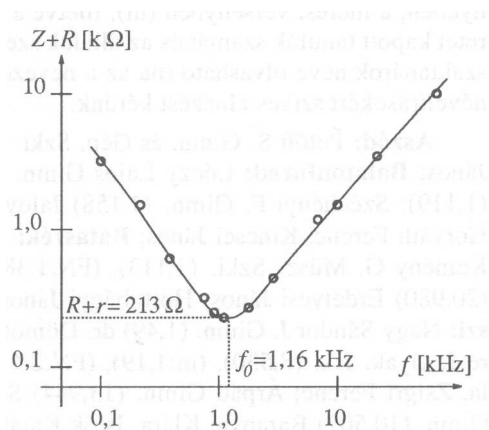
1. Rajzold le az általad összeállított áramkört!
2. Add meg az általad mért és számított adatokat táblázatos alakban! A kapott eredményeket ábrázold megfelelően választott milliméter-papíron. (Jelöld be, hogy mit ábrázolsz a grafikonon és a tengelyeken is jelöld a mennyiségeket mértékegységükkel együtt!)
3. Rajzold le a fekete dobozban lévő áramkört, és add meg az áramköri elemek nevét és adatait! (Írd le, hogy milyen formulák alapján számoltál!)

Megoldás. 1. A 20. ábrán látható kapcsolásban az R ellenálláson eső U_R feszültség mérésével meghatározhatjuk a fekete dobozon áthaladó áramot, az ellenállásból és a fekete dobozon együttesen eső U_{Z+R} méréséből pedig következtethetünk a dobozban eső feszültségre. Mindkét mennyiséget a kétsugaras oszcilloszkópon egyszerre mérhetjük, a jelgenerátoron a beállított f frekvencia függvényében. (U_R és U_Z mérése nem célszerű, mert akkor a B pont lenne az oszcilloszkóp viszonyítási pontja, nem pedig a közös „földelés”, s emiatt a hálózati 50 Hz zavaró hatása lényegesen erősebb lenne; gyakorlatilag mindig „brummot” látnánk az oszcilloszkópon a mérendő jel helyett!)

2. A mérési adatokat, pontosabban a $Z + R$ impedanciának a frekvenciafüggését a 21. ábrán tüntettük fel, log-log skálát használva. Látható, hogy nagy frekvencián pedig $Z \sim 1/f$ (a meredekség -1).



20. ábra



21. ábra

3. A mérési adatok arra utalnak, hogy a fekete dobozban sorosan kapcsolt tekercs, kondenzátor és ellenállás található. A rezonancia-frekvenciánál, $f_0 = 1,16$ kHz-nél az eredő impedancia 213Ω , innen $r = 113 \Omega$. Nagy frekvencián $Z_C \approx 0$, $Z \approx L\omega = L \cdot 2\pi f$, alacsony frekvencián pedig $Z \approx 1/(2\pi fC)$. A kétsugaras oszcilloszkóp segítségével a két feszültség fáziskülönbsége is mérhető, s ennek ismeretében az R ellenállás ismert értéke is figyelembe vehető. A mérési adatokból $C \approx 0,58 \mu\text{F}$ és $L \approx 31,8$ mH adódott. Valamennyi mért mennyiség hibája 10% körüli érték.

Gnädig Péter