

## 67. ročník Fyzikálnej olympiády

v školskom roku 2025/2026

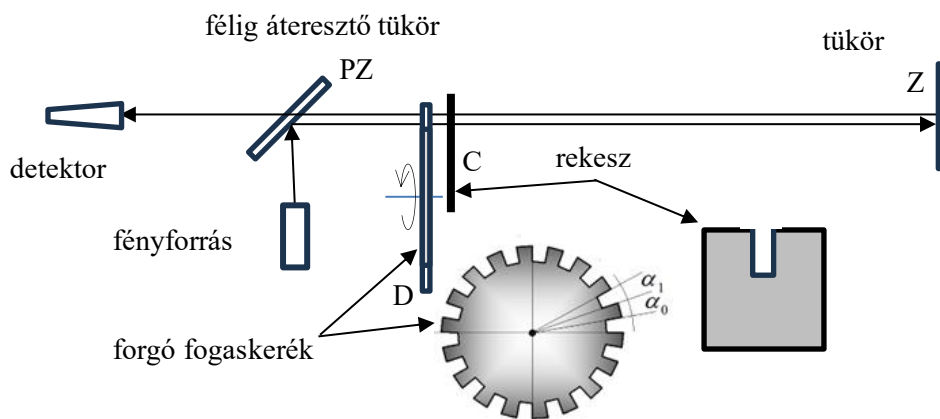
kategória B

text úloh domácej prípravy v maďarskom jazyku

### 1. A fény terjedési sebessége

A 17. század elején az volt az általánosan elfogadott nézet, hogy a fény terjedési sebessége végtelenül nagy. A fénysebesség első becslését 1676-ban Ole Christian Rømer végezte a Jupiter Io holdjának megfigyelése alapján, és körülbelül 240 ezer km/s értéket kapott. Az első sikeres mérést azonban csak 1849-ben a francia fizikus Fizeau hajtotta végre.

A kísérlet sematikus vázlatja az alábbi ábrán látható. Egy nagy teljesítményű fényforrásból származó keskeny fénysugár a félig áteresztő tükörről (PZ) irányul, amelyről visszaverődik, és a forgó fogaskerék (D) fogai között áthaladva egy távoli tükörről (Z) visszaverődik. A tüköröket úgy kell beállítani, hogy a tükörről visszavert fénysugár ugyanazon az egyenesen haladjon vissza, mint a beérkező sugár, tehát a forgó tárcsa fogazott peremére essen. Mivel a sugár fokozatosan szélesedik, a forgó tárcsa elé C rekeszt helyeznek, amelynek nyílása éppen akkora szélességű, mint a tárcsa egy foga, így a fénysugár bizonyos pillanatokban teljesen le van takarva. A tárcsa (D) peremén lévő rések között áthaladó visszavert fényt optikai detektor érzékeli. A tárcsa fordulatszámának fokozatos növelésével változik a detektorra jutó fény intenzitása. Tegyük fel, hogy a fog és a rés szögméreteinek aránya  $\alpha_0/\alpha_1 = 1$ .



B-1 ábra

- Magyarázza meg, miért változik a detektorra jutó fény intenzitása a fordulatszám változásával, és hogyan lehet ezt a jelenséget a fénysebesség meghatározására felhasználni!
- A C rekesz jelenléte miatt a fény intenzitása változik (adott fordulatszám mellett). Rajzolja fel kvalitatívan a detektorra jutó fénysugár intenzitásának időbeli függését azon esetekre, amikor a detektorra jutó fény átlagos intenzitása maximális, illetve minimális.
- Határozza meg a tárcsa fordulatszámait, amelyeknél a detektorra jutó fény átlagos  $I_D$  intenzitása maximális ( $I_{D\max}$ ) és amikor minimális ( $I_{D\min}$ ), valamint számítsa ki ezek  $p = I_{D\max}/I_{D\min}$  arányát!
- Fizeau kísérletében a tükörök közötti távolság  $L = 8\,630$  m volt (két hegycsúcs között), és a tárcsa fogainak száma  $N = 720$ . A tárcsa fordulatszámának fokozatos növelésekor a visszavert fény intenzitásának minimumát  $n = 12,5\text{s}^{-1}$  fordulatszámnál figyelte meg. Mekkora fénysebességet mért Fizeau?

## 2. Vákuumballon

Más bolygók kutatásával kapcsolatban a 2000-es évek körül merült fel egy űrvákuumballon ötlete, amelyet a bolygók légkörének vizsgálatára lehetne használni. Előnye az lenne, hogy nem igényelne gázt (például héliumot), mivel az űrbe csak a könnyű burkolatot kellene eljuttatni. A „felfúvás” a gáz helyett elektromos töltéssel történne, amelyet a ballon belső vezető felületére juttatnának. A ballon a taszító elektromos erő hatására gömb alakot venne fel.

A nagyon vékony, vezető grafénréteg külső felületén, amely a töltés hordozója, egy vékony rugalmas dielektrikumréteg (POM – polioximetilén) található, amelynek relatív permittivitása  $\epsilon_r = 3,8$  és elektromos szilárdsága  $E_p = 40 \text{ kV/mm}$ . Ez a réteg biztosítja a mechanikai szilárdságot, és megakadályozza a vezető réteg kisülését a légkörbe. Tegyük fel, hogy a ballon burkolatának felületi sűrűsége  $\rho_B = 70 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ .

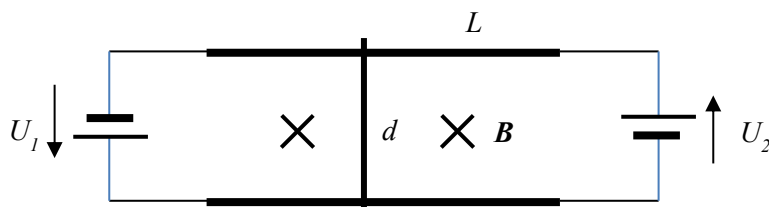
Vizsgáljuk elméletileg a ballon viselkedését a Föld felszínén!

- a) Határozza meg a ballon  $R$  sugarát, amely az  $m_z = 20 \text{ kg}$  tömegű teherrel együtt a  $\rho_a = 1,3 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  sűrűségű légkörben éppen lebegne! A teher térfogatát ne vegye figyelembe!
- b) Határozza meg azt az  $U$  feszültséget, amellyel a ballon vezető rétegét fel kell tölteni, hogy a ballon  $R$  sugarú gömb alakot vegyen fel, ha a ballon belsejében vákuum van, és a külső levegő nyomása  $p_a = 101 \text{ kPa}$ .
- c) Vizsgálja meg, hogy a ballon feltöltésekor kialakuló elektromos tér átüti-e a POM szigetelőréteget!
- d) Ismétlje meg az a), b) és c) részfeladatokat a Marsra, ahol a légkör sűrűsége  $\rho_M = 0,020 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  és a légköri nyomás  $p_M = 620 \text{ Pa}$ ! Értékelje a bevezetésben ismerttetett ötlet megvalósíthatóságát!

### 3. A vezető rezgőmozgása mágneses térben

Az ábrán egy párhuzamos sínekből álló rendszer látható, ahol a sínek hossza  $L$ , egymástól mért távolságuk  $d$ , és vízszintes alapon helyezkednek el. A sínekhez két, állandó feszültségű forrás csatlakozik,  $U_1$  és  $U_2$ , polaritásuk ellentétes.

A sínekre egy rövidzárként működő csúszka van helyezve, amelynek tömege  $m$ . A teljes rendszer homogén mágneses térben helyezkedik el, amely merőleges a sínek síkjára, és  $B$  indukciója állandó.



B-2 ábra

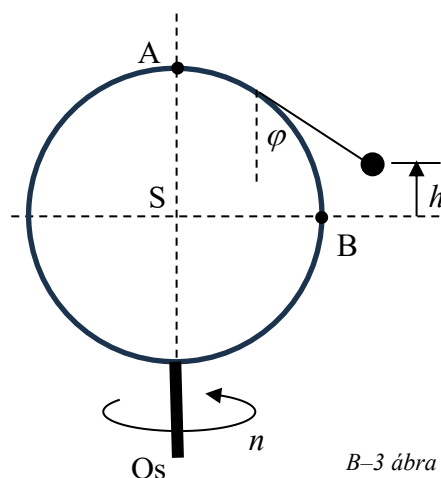
Tegyük fel, hogy a csúszka és a sínek közötti súrlódás elhanyagolhatóan kicsi! A sínek egyenlyi hosszúságára eső ellenállás  $\rho_1$ , a csúszkáké pedig  $\rho_2$ .

- Határozza meg a csúszka egyensúlyi helyzetét!
- Határozza meg a csúszka egyensúlyi helyzete körüli kis rezgéseinek frekvenciáját!
- A feladatot oldja meg általánosan, majd a következő értékekre:  
 $U_1 = 6,0 \text{ V}$ ,  $U_2 = 8,0 \text{ V}$ ,  $\rho_1 = 9,2 \Omega \cdot \text{m}^{-1}$ ,  $\rho_2 = 12,4 \Omega \cdot \text{m}^{-1}$ ,  $L = 60 \text{ cm}$ ,  $d = 10 \text{ cm}$ ,  
 $m = 40 \text{ g}$ ,  $B = 250 \text{ mT}$ .

#### 4. Inga a gömbön

Az  $R$  sugarú gömb rögzítve van a középpontján áthaladó függőleges tengelyhez. A gömb legfelső pontjához egy fonál van erősítve, amelynek végén egy kis fémgolyó található.

A nyugvó gömb esetében a golyó a B pontban van, amely a gömb középpontjának magasságában helyezkedik el. Amikor a gömb forogni kezd a függőleges tengelye körül, a fonál a golyóval eltávolodik a nyugalmi helyzetéből – ekkor a golyó körpályán mozog. A fonál egyenes része a függőleges iránnyal  $\varphi$  szöget zár be, lásd a B–3 ábrát. A teljes fonál mindig abban a függőleges síkban marad, amelyben a gömb forgástengelye fekszik, és ez a sík a gömbbel együtt forog.



- a) Fejezze ki a golyó körpályának  $r$  sugarát és hogy mekkora  $h$  magasságban van a gömb középpontján áthaladó vízszintes sík fölött. Mindkét mennyiséget fejezze ki, mint a  $\varphi$  szög függvényét!
- b) Fejezze ki a gömb  $\omega$  szögsebességét a  $\varphi$  szög függvényeként!

A továbbiakban legyen:  $R = 20 \text{ cm}$ ,  $g = 9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ .

- c) Készítse el a  $\varphi$  szög grafikonját a gömb fordulatszámának  $n$  függvényében, és határozza meg a  $\varphi_1$  szöget, amely az  $n_1 = 60 \text{ min}^{-1}$  fordulatszámnak felel meg!
- d) Határozza meg a golyó  $r_1$  pályájának sugarát  $h_1$  az  $n_1$  fordulatszámnál!

## 5. A véráram

Az emberi szervezet szerveit, azok szerkezetének, ultrahanggal (UH) is szokták vizsgálni. A legegyszerűbb az érben áramló vér sebességének mérése.

A bőr felszínére, az ér fölé ferdén UH-szondát helyeznek, amelynek átalakítója ultrahanghullámot bocsát a szövetbe. Az UH behatol az érbe, ahol vörösvértestek (eritrociták) találhatók. Ezek szóróközpontként viselkednek az ultrahang számára.

Egy embernek átlagosan  $V_k = 5,5$  liter vére van, és 1 liter vér körülbelül  $N_1 = 5 \times 10^{12}$  vörösvérsejtet tartalmaz. A vörösvérsejtek lapos korong alakúak, átmérőjük  $d_e = 7,2 \mu\text{m}$ , maximális vastagságuk  $h_e = 2,1 \mu\text{m}$ , térfogatuk pedig körülbelül  $V_e = 80 \text{ fl}$  (femtoliter).

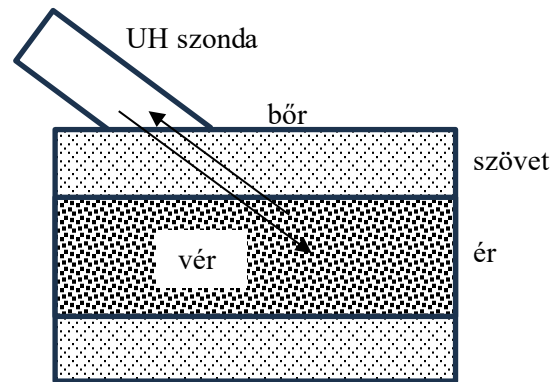
- a) Határozza meg a vörösvérsejtek közötti átlagos  $\ell$  távolságot, valamint a vértérfogatnak azt a  $p$  hányadát, amelyet a vörösvérsejtek töltenek ki (*hematokrit*).

Az ultrahanghullám a mozgó vörösvértestekről minden irányba szóródik, beleértve a szondához visszaverődő irányt is. A szonda a kibocsátó átalakítón kívül vevőátalakítót is tartalmaz, amely az eritrocitákon szórt UH-t érzékeli. A szórás annál hatékonyabb, minél inkább megfelel a hullámhossz a vörösvértest méretének.

- b) Az UH a szövetben  $c = 1450 \text{ m/s}$  sebességgel terjed. Határozza meg az ultrahang  $f$  frekvenciáját, ha a hullámhossz megegyezik a vörösvértest  $d_e$  átmérőjével.

Egy vizsgálat során az érben áramló vért  $d_c = 5,46 \text{ mm}$  átmérőjű érben vizsgálták,  $f_m = 10 \text{ MHz}$  frekvenciájú ultrahanggal. A szonda a bőr felszínével, és így az érrel is,  $\alpha = 30^\circ$  szöget zárt be. A készülék a visszavert és kibocsátott jel frekvenciájának különbségét  $\Delta f = f_{\text{prij}} - f_{\text{vys}} = 9,81 \text{ kHz}$  értékűnek mérte.

- c) Magyarázza meg, mi okozza a visszavert és a kibocsátott frekvencia különbségét! Milyen irányban áramlik a vér?
- d) Határozza meg a vér  $Q_V$  térfogatáramát az érben liter/perc egységben!



B-4a) ábra

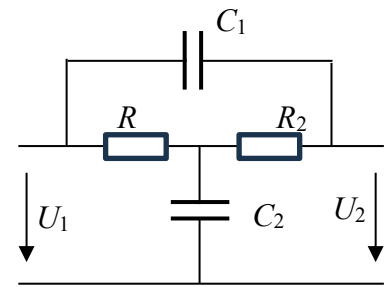


B-4b) ábra

## 6. A filter

A fiúk az iskolában elektromos jel szűrőkről tanultak. Egyes frekvenciasávok szelektív elnyomására általában LC-szűrőket használnak. Ők azonban szerették volna bebizonyítani, hogy szelektív szűrőt kizárólagosan RC-alkatrészekből is lehet készíteni. Valahol találtak egy hídba kötött T-elem kapcsolási rajzot, és úgy döntöttek, kipróbálják. A kísérlethez a B-5 ábra szerinti kapcsolást használták.

A bemenetre változó feszültségű váltakozó áramú forrást csatlakoztattak, a kimeneten pedig nagy bemeneti ellenállású multiméterrel mérték a feszültséget. Mivel tudták, hogyan viselkednek az ellenállások és kondenzátorok nagyon alacsony és nagyon magas frekvenciákon, arra következtettek, hogy létezik egy frekvencia, amelynél az amplitúdóátvitel minimális értéket vesz fel.



B-5 ábra

- Határozza meg, a szűrő kapcsolási rajzát megvizsgálva, milyen lesz az amplitúdóátvitel az  $f \rightarrow 0$  és  $f \rightarrow \infty$  frekvenciák esetén, és milyen elv alapján következtettek arra, hogy az amplitúdó-karakterisztikának van egy minimuma. Magyarázza meg fizikai alapon a jelenséget!
- Vezesse le az elektromos áramkör megoldásával az amplitúdó- és fázisátviteli karakteristika összefüggéseit:  $A = \frac{U_2}{U_1}$ ,  $\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$ , ahol  $U_1, \varphi_1$  a bemeneti feszültség amplitúdója és fázisa,  $U_2, \varphi_2$  pedig a kimeneti feszültség amplitúdója és fázisa.
- Határozza meg azt az  $f_m$  frekvenciát, amelynél az amplitúdóátvitel minimális értéket vesz fel, valamint határozza meg az ennek megfelelő  $\Delta\varphi_m$  fáziseltolódást és  $A_m$  amplitúdóátvitelt!
- Készítse el a szűrő amplitúdó- és fáziskarakterisztikájának grafikonját a frekvencia függvényeként, a frekvenciatengelyen (logaritmikus skálát alkalmazva) az alábbi értékekre:  $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$ ,  $R_2 = 2,0 \text{ k}\Omega$ ,  $C_1 = 250 \text{ nF}$ ,  $C_2 = 2,0 \text{ }\mu\text{F}$ !  
Hasonlítsa össze az elméleti eredményeket a (c) rész eredményeivel, és nevezze meg, milyen típusú szűrőről van szó!

## 7. A tál görbületének mérése. (kísérleti feladat)

### Feladat

Határozza meg egy homorú gömbfelület görbületi sugarát a golyó egyensúlyi helyzete körüli gördülő rezgőmozgásának periódusidejéből.

### Eszközök:

Megfelelő, gömb alakban hajlított felület (pl. laboratóriumi tál, lámpabúra stb.), néhány jó minőségű, különböző átmérőjű golyó (pl. csapágygolyók), tolómérő, stopperóra.

### Eljárás:

A mérés azon a jelenségen alapul, hogy ha egy  $r$  sugarú golyót egy  $R$  görbületi sugarú homorú gömbfelület lejtős részére helyezünk, akkor a golyó elengedése után legurul a legalacsonyabb pont felé, majd azt elérve (kis kilengések esetén) a legalacsonyabb helyzet körül rezgőmozgást végez. A mozgás egy függőleges síkban zajlik, és kis kitérések esetén a mozgás csúszás nélküli gördülésnek tekinthető.

1. Vezesse le elméletileg a golyó rezgésidejére vonatkozó következő összefüggést:

$$(1) T = 2\pi \sqrt{\frac{7}{5} \frac{R-r}{g}}$$

2. A mérendő, gömb alakban hajlított felületet, erősen rögzítse, hogy a golyó mozgása ne tudja azt elmozdítani!
3. Helyezze a golyót a felület lejtős részére, engedje el, és mérje meg a rezgések periódusidejét az egyensúlyi helyzet körül. (A lehető legnagyobb pontosság elérése érdekében több rezgés időt mérjen, és az eredményt ossza el a rezgések számával.) Ismételje meg a mérést különböző átmérőjű golyókkal! Határozza meg a felület görbületi sugarát az (1) képlet felhasználásával, és hasonlítsa össze a különböző golyókkal kapott eredményeket!
4. Becsülje meg a mérés pontosságát!
5. Próbálja meg a felület görbületi sugarát más módszerrel is meghatározni, például szferométerrel, és hasonlítsa össze az eredményeket!

*Megjegyzés: A mérés hengeres felületen is elvégezhető, ha a golyó a henger tengelyére merőleges síkban gördül. A méréshez golyó helyett henger is használható, de ebben az esetben az (1) képletet módosítani kell.*

---

## Fyzikálna olympiáda – 67. ročník – úlohy domácí přípravy kat. B

Návrh a spracovanie úloh: Lubomír Konrád, Aba Teleki (2), Ivo Čáp

Recenzia úloh: Aba Teleki, Lubomír Mucha

Redakcia: Ivo Čáp

Úlohy preložil: Aba Teleki

Vydalo: Slovenská komisia fyzikálnej olympiády

Národný inštitút vzdelávania a mládeže, Bratislava 2025