

BÉKÉSY GYÖRGY FIZIKA EMLÉKVERSENY

Härtlein Károly
BME Fizikai Intézet

A verseny kiemelt témái a névadó munkásságából adódóan az akusztika, a fénytán és a villamosságtan. A verseny elméleti és kísérleti részből áll. A méréseknek kiemelt szerepet szánunk, ezért az első napon elméleti előadást és kísérleti bemutatót is tartunk. A versenyre elsősorban a téma iránt érdeklődő tanulók jelentkezését várjuk, a 9., 10. és 11. évfolyamokról.

A középiskolai tanulók 11. évfolyama számára 12. alkalommal meghirdetett Békésy György Fizika Emlékverseny ebben az évben is a megszokott feszes, de nem barátságtalan rend szerint zajlott le a meghirdetett és betartott alábbi program szerint.

Péntek május 20.

- 14 óra érkezés a Puskás Technikumba, regisztráció
- 14 óra 30 írásbeli feladatrészt
- 17 óra 30 írásbeli vége
- 17 óra 30 és 18 óra között indulás a szálláshelyre (Táncsics kollégium)

Szombat május 21.

- 8 óra Puskás Technikumban az írásbeli eredmények ismertetése és a kísérlet megkezdése,
- 8 és 10 óra között a döntőbe nem jutottak számára *Tóth Pál*, a Fizibusz vezető tanára tartott előadást
- 10 óra gyakorlati feladatok védeése
- 12 óra szünet
- 13 óra eredményhirdetés, feladatmegoldások ismertetése

Az írásbeli feladatok

1. feladat

kitűző: *Nagy Márton*, Sopron

Egy mechanikai hullám egyik közegből a másik közegbe lép át. Melyek változnak meg az alábbi, hullámmozgást jellemző fizikai mennyiségek közül?

- periódusidő,
- hullámhossz,
- fázisszög,
- frekvencia,
- terjedési sebesség.

2. feladat

kitűző: *Wiedemann László*, Budapest

Adott egy $U = 2000$ V feszültségre feltöltött, elszigetelt síkkondenzátor. Egyik lemeze rögzített, a másik vízszintes irányban, önmagával párhuzamosan és az első lemezre merőlegesen elmozdulhat. Ehhez vízszintesen egy D direkción erejű finom rugó csatlakozik, amelynek másik vége rögzített. A lemez elmozdulása a rugó hosszának változását eredményezi. Kezdetben a rugó feszítetlen, a lemezek távolsága d , egy lemez felülete A és tömege m . Minden súrlódástól eltekintünk.

a) A rugóval kapcsolt lemez rögzítését feloldva mekkora lesz a lemezek maximális távolsága, ha feltöltés után a feszültségforrást a kondenzátorról lekapcsoljuk?

b) Milyen mozgást végez a szabad lemez?

c) Mennyi idő alatt következik be a mozgó lemez maximális elmozdulása?

A lemezek között működő merőleges vonzóerő:

$$F = \frac{1}{2} \epsilon E^2 A,$$

$$W = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C}$$

ahol $\epsilon = 8,86 \cdot 10^{-12}$ As/Vm, E a lemezek közti homogén elektromos tér térerőssége, A egy lemez felülete.

Adatok: $d = 1$ cm, $A = 100$ cm², $D = 0,1$ N/m, a mozgó lemez tömege $m = 10$ g.

3. feladat kitűző: Kotek László, Pécs

Nem hullámzó, mély tóban egy pontszerű fényforrás halad függőlegesen lefelé $v = 0,8$ m/s sebességgel. A víz törésmutatója $n = 4/3$. Mekkora sebességgel mozog vízszintes irányba a víz felszínén lévő fényfolt határa?

4. feladat kitűző: Härtlein Károly, Budapest

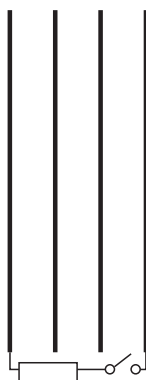
Az európai szabvány szerint működő videokamerák másodpercenként 25 képet rögzítenek. Milyen fordulatszámoknál látszik állónak annak a fűrógépnek a tokmánya, amelyik három pofával szorítja meg a befogott csigafűrőt?

5. feladat kitűző: Kotek László, Pécs

Négy darab azonos felületű, egymással szemben lévő, párhuzamos fémlamezt az ábrán látható módon elhelyeztünk, a középső fémlamezeknek $+Q$ és $-Q$ töltést adtunk, a szélső fémlamezek pedig töltetlenek. A lemezek azonos távolságra vannak egymástól, ez a távolság a lemezek méreteihez képest kicsi.

a) Mennyi töltés halad át a fogyasztón, ha a kapcsolót zárjuk?

b) Mekkora hő fejlődött a fogyasztón, ha ismert, hogy két szomszédos fémlamezből kialakított síkkondenzátor kapacitása C ?



Ami nem állt a diákok rendelkezésére

Ami a versenyen nem állt a diákok rendelkezésére, itt egy-egy lehetséges megoldás is megtekinthető.

A 2. feladat megoldása

A lemezek vonzása következtében a rugóval kapcsolt lemez elmozdul. Mivel a kondenzátor töltése változatlan marad, azért bármely helyzetben az E térerősség változatlan. Ez három összefüggésből következik:

$$Q = CU, \quad C = \epsilon \frac{A}{d-x}, \quad \text{és} \quad E = \frac{U}{d-x}.$$

Ezekből

$$Q = \epsilon AE.$$

Tehát az E térerősség a pillanatnyi lemeztávolságtól független állandó. Mivel a lemez elmozdulásával a kondenzátor kapacitása növekszik (csökken a lemezek távolsága), a kondenzátor energiája a

képlet alapján csökken, ezért a lemezek között működő vonzóerő munkája a kondenzátor energiájából táplálkozik:

$$\frac{1}{2} \epsilon E^2 A x_{\max} = \frac{1}{2} D x_{\max}^2,$$

tehát

$$x_{\max} = \frac{\epsilon E^2 A}{D}.$$

A mozgásra nézve azt állítjuk, hogy a lemez harmonikus rezgőmozgást végez. Ennek belátására írjuk fel bármely t időre nézve a mozgásegyenletet:

$$m a = F - D x, \quad \text{kiemelve:} \quad m a = -D \left(x - \frac{F}{D} \right).$$

Bevezetve az

$$y = x - \frac{F}{D}$$

új változót, az előbbi mozgásegyenlet y -ban harmonikus rezgőmozgást ír le eltolt egyensúlyi helyzettel:

$$a = -\frac{D}{m} y.$$

Ezek szerint

$$\omega^2 = \frac{D}{m}$$

körfrekvenciájú harmonikus rezgést végez a rugóhoz kötött lemez. A legnagyobb kitérést fél periódus alatt éri el a lemez az indulástól számítva.

A képletekbe való behelyettesítés után a legnagyobb kitérés $x_{\max} = 3,5$ cm, $\omega = 10$ s⁻¹, $T/2 = 0,314$ s.

A legnagyobb kitérés úgy is számítható, hogy felírjuk a munkatételt, vagy az energiamegmaradás törvényét a rugóból és a mozgó lemezből álló rendszerre.

Más megfontolás: mozgás közben a térerő munkája által folyton cserélődik az energia a rugó potenciális és a kondenzátor elektrosztatikai energiája között.

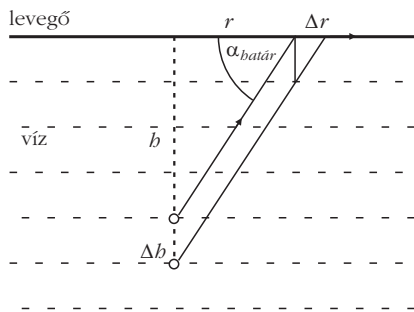
A 3. feladat megoldása

Legyen a fényforrás b távolságra a víz felszínétől! Ebben a pillanatban a víz felszínén egy kör alakú fényfolt van. A kör r sugarát a teljes visszaverődés $\alpha_{\text{batár}}$ határszögének ismeretében határozhatjuk meg.

$$\frac{\sin \alpha_{\text{batár}}}{\sin 90^\circ} = \frac{1}{n}, \quad \rightarrow \quad \sin \alpha_{\text{batár}} = \frac{1}{n}.$$

Innen a kör sugara:

$$r = b \operatorname{tg} \alpha_{\text{batár}} = b \frac{\sin \alpha_{\text{batár}}}{\sqrt{1 - (\sin \alpha_{\text{batár}})^2}}.$$



Az $\alpha_{batár}$ szögre kapott kifejezést behelyettesítve:

$$r = b \frac{\frac{1}{n}}{\sqrt{1 - \left(\frac{1}{n}\right)^2}} = b \frac{1}{\sqrt{n^2 - 1}}$$

Legyen a fényfolt határának sebessége u ! Tegyük fel, hogy a fényforrás Δt idő alatt Δb -val mozdul el, azaz v sebességére igaz, hogy $v = \Delta b / \Delta t$. Eközben a kör sugara r -ről $r + \Delta r$ értékre növekszik. A háromszögek hasonlóságából:

$$\frac{r}{b} = \frac{\Delta r}{\Delta b}, \quad \rightarrow \Delta r = \frac{r}{b} \Delta b.$$

A keresett u sebesség:

$$u = \frac{\Delta r}{\Delta t} = \frac{r}{b} \frac{\Delta b}{\Delta t} = \frac{r}{b} v.$$

A kör r sugarára kapott kifejezést behelyettesítve:

$$u = \frac{v}{\sqrt{n^2 - 1}} = 0,91 \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

A 4. feladat megoldása

A megoldáshoz ismerni kell a stroboszkopikus hatást, megoldásként nem egy fordulatszámot kapunk, hanem egy sorozatot. A legalacsonyabb fordulatszám, amelyenél állónak látszik a fűrógép tokmánya:

$$n = \frac{\frac{1}{3} \text{ fordulat}}{\frac{1}{25} \text{ s}} = \frac{25}{3} \frac{1}{\text{s}}.$$

E fordulat egész számú többszöröse is megoldások.

Az 5. feladat megoldása

a) 1. megoldás. A kapcsoló zárása után legyen az 1. számú lemez töltése $-q$, ekkor a 4. számú lemez töltése $+q$, és q töltés halad át a fogyasztón a kapcsoló zárása után. A q töltés abból a feltételből határozható meg, hogy az 1. számú lemez és 4. számú lemez között a potenciálkülönbség zérus. Határozzuk meg az egyes töltött lemezek által létrehozott térerősségeket! Legyen a Q töltésű lemez által keltett mezőt jellemző térerősség E_0 , a q töltésű által keltetté pedig E_1 , ahol:

$$E_0 = \frac{1}{2} \frac{1}{\epsilon_0} \frac{Q}{A} \quad \text{és} \quad E_1 = \frac{1}{2} \frac{1}{\epsilon_0} \frac{q}{A}.$$

Kihasználva, hogy az 1. számú lemez és 4. számú lemez között a potenciálkülönbség zérus:

$$-2 E_1 d + 2 E_0 d - 2 E_1 d - 2 E_1 d = 0$$

$$\rightarrow E_1 = \frac{1}{3} E_0,$$

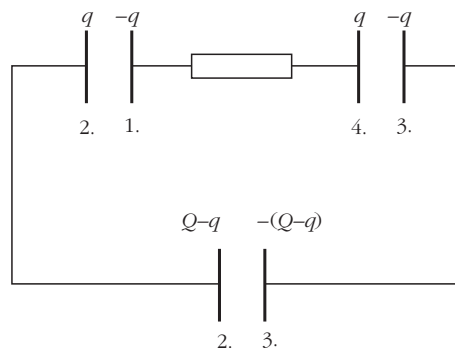
innen és a térerősségek kifejezéséből:

$$\frac{1}{2} \frac{1}{\epsilon_0} \frac{q}{A} = \frac{1}{3} \frac{1}{2} \frac{1}{\epsilon_0} \frac{Q}{A},$$

amiből a fogyasztón áthaladó töltés:

$$q = \frac{1}{3} Q.$$

a) 2. megoldás. Rajzoljuk át a kapcsolást, figyelembe véve, hogy a 2. számú lemez és 3. számú lemez két kondenzátor alkotásában vesz részt!



Használjuk fel a töltésmegmaradást, továbbá azt, hogy zárt hurokban a feszültségek előjeles összege zérus, azaz

$$\frac{q}{C} + \frac{q}{C} - \frac{Q-q}{C} = 0,$$

amiből a keresett töltés:

$$q = \frac{Q}{3}.$$

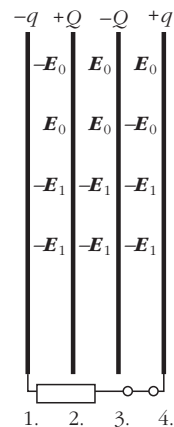
b) A ΔW fejlődő hő a rendszer kezdeti W_1 és végállapotbeli W_2 energiáinak különbsége adja.

$$W_1 = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C},$$

$$W_2 = \frac{1}{2} \left(\frac{2}{3} \frac{Q}{C} \right)^2 + 2 \frac{1}{2} \left(\frac{1}{3} \frac{Q}{C} \right)^2 = \frac{1}{3} \frac{Q^2}{C}.$$

A fejlődött hő:

$$\Delta W = W_1 - W_2 = \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{3} \right) \frac{Q^2}{C} = \frac{1}{6} \frac{Q^2}{C}.$$



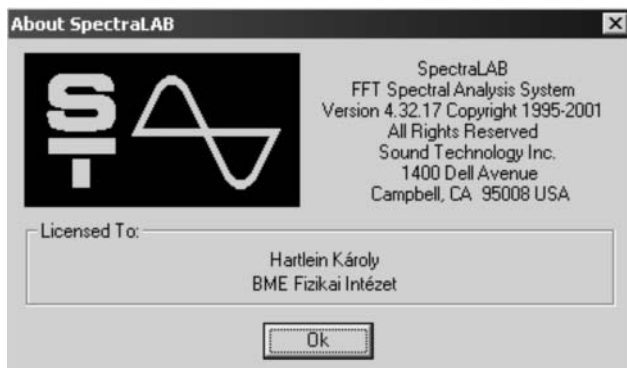
Kísérleti feladat

kitűző: Hartlein Károly, Budapest

Az asztalon található rudak segítségével határozd meg a longitudinálisan terjedő hullám terjedési sebességét alumíniumban!

Eszközök:

- 2 darab különböző hosszúságú 10 mm átmérőjű alumínium pálcá,
- mérőszalag,
- számítógép mikrofonnal,
- spektrumanalizáló szoftver (SpectraLab).



A pálcák több féle módon hozhatók rezgésbe. Ennek megfelelően álló hullámok keletkeznek, amelyek frekvenciája függ a rúd geometriai méretétől, és az anyagminőségtől. Más és más hangon fog megszólalni ugyanaz a pálcá, ha longitudinális vagy transzverzális, esetleg csavarási állóhullámot gerjesztünk. A számítógépen futtatható egy program (SpectraLab), amely segítségével hangfrekvenciás tartományban lehet frekvenciát mérni. A spektrumanalizáló szoftver valós idejű hanganalízist, frekvencia- és intenzitásmérést tesz lehetővé. Elindításakor az alapbeállítások segítségével a függőleges tengelyen a hang erősségét, a vízszintes tengelyen a frekvenciát lehet leolvasni.

Ezen kívül a számítógép desktopján (asztal) található egy film, amelyben megtekintheted az alumínium pálcá „énekeltetésének” módját. Itt leírásokat is találhatsz a pálcákon kialakuló állóhullámokról.

Az egyik kézzel hüvelyk- és mutatóujj-jal kell tartani a pálcát. A másik kéz mutató- és hüvelykujját kell gyanaporrall bekenni. Ezzel a kézzel – hosszanti irányban dörzsölve – kell rezgésbe hozni a pálcát.

A rendelkezésre álló idő 1 óra 50 perc. A mérés elvégzése után a zsűri, a kísérőtanárok és a döntőbe nem jutott diákok előtt, kiselőadás formájában kell ismertetni a mérést!

A mérés során bármilyen könyv és számológép használható! Jó munkát!

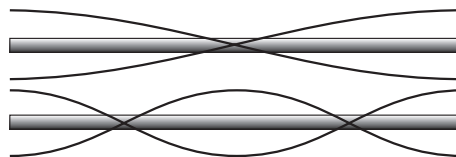
Megoldás

A mérés elvégzéséhez a versenyen szokásos módon segítségként további információkat találhattak a versenyzők. Filmeket, amelyek a megszólaltatást mutatták be, és mivel nem törzsanyag a pálcák rezgései és a rajtuk kialakuló állóhullám, erről leírást. (<http://jedlik.phy.bme.hu/bekesy2011>)

Egy 500 és egy 750 mm hosszú pálcá állt rendelkezésre. A pálcá rezgésbe hozásával hallható hangot gerjesztünk, amelynek frekvenciáját kell megmérni. Ezen kívül meg kell mérni a pálcá hosszát, így már csak a jól ismert

$$v = f_1 \lambda_1$$

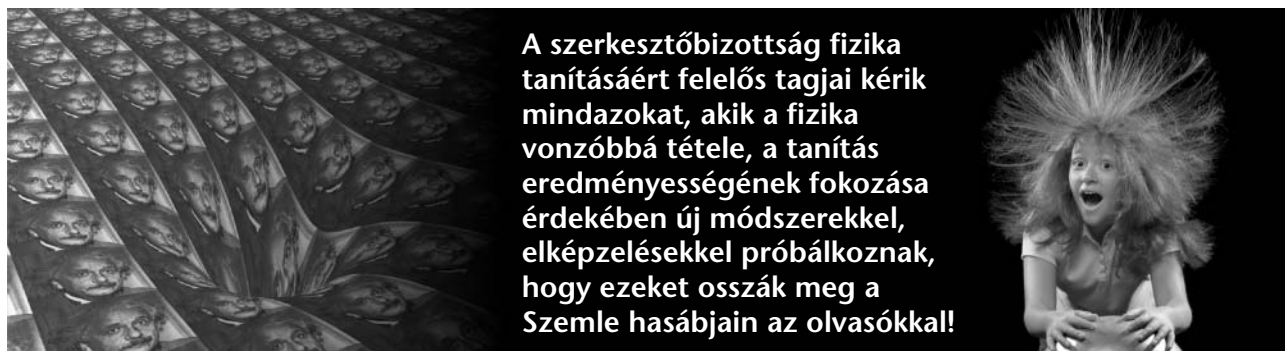
képletbe – f_1 a mért frekvencia, λ_1 az állóhullám hullámhossza – kell a mért adatokat behelyettesíteni.



A pálcá megszólaltatása akkor lesz sikeres, ha tartó kezünkkel a csomópontot fogjuk, és gerjesztő kezünkkel a duzzadó helyet gerjesztjük. Mindkét pálcán az alapl móduson kívül az első felharmonikust is meg lehetett szólaltatni.



Az eredményhirdetésnél kiderült, hogy az első helyet *Broda Balázs*, a miskolci Földes Ferenc Gimnázium tanulója, *Gregánné Hursán Zsuzsanna* és *Zámborszky Ferenc* tanítványa szerezte meg, míg *Sápi András*, a hódmezővásárhelyi Bethlen Gábor Református Gimnázium tanulója, *Nagy Tibor* tanítványa lett a második és *Pölöskei Péter Zsolt*, a szigetszentmiklósi Batthyány Kázmér Gimnázium tanulója, *Jubász Róbert* tanítványa a harmadik helyet érdemelte ki.



A szerkesztőbizottság fizika tanításáért felelős tagjai kéri mindazokat, akik a fizika vonzóbbá tételé, a tanítás eredményességének fokozása érdekében új módszerekkel, elképzelésekkel próbálkoznak, hogy ezeket osszák meg a Szemle hasábjain az olvasókkal!