

## Beszámoló a 3. Európai Fizikai Diákolimpiáról

Immár harmadik alkalommal, 2019. május 31. és június 4. között rendezték meg az Európai Fizikai Diákolimpiát (EuPhO) Rigában, Lettország fővárosában. A versenyen 27 európai és 9 Európán kívüli ország összesen 169 diákja vett részt. A verseny nehézségét mutatja, hogy mindössze 13 aranyérmes osztottak ki. Örvendetes, hogy az egyik magyar diák is aranyérmes szerzett, *Csepányi István* az abszolút 6. helyen végzett.

A csapat és eredményeik:

**Csepányi István** (Egri Szilágyi Erzsébet Gimn. és Koll., 12. oszt.) *aranyérmes* (30,6 pont), felkészítő tanára: *Szabó Miklós*;

**Póta Balázs** (Győr, Révai Miklós Gimn. és Koll., 12. oszt.) *ezüstérmes* (23,3 pont), felkészítő tanárai: *Juhász Zoltán, Bognár Gergely* és *Sávoly Zsolt*;

**Fajsi Bulcsú** (Budapesti Fazekas Mihály Gyak. Ált. Isk. és Gimn., 11. oszt.) *bronzérmes* (20,1 pont), felkészítő tanárai: *Csefkó Zoltán* és *Horváth Gábor*;

**Elek Péter** (DRK Dóczy Gimnáziuma, 12. oszt.) *bronzérmes* (16,9 pont), felkészítő tanára: *Tófalusi Péter*;

**Fitos Bence** (Budapest, Németh László Gimnázium, 12. oszt.) *dícséret* (11,3 pont), felkészítő tanárai: *Szászvári Irén* és *Dégen Csaba*.

A magyar csapat vezetője *Vankó Péter* volt, *Vigh Máté* pedig a zsűriben, a második elméleti feladat szerzőjeként képviselte hazánkat. Az alábbiakban közöljük a verseny feladatait, a megoldások a verseny honlapján érhetők el:

<https://eupho2019.lv>.

### Kísérleti feladat: Rádióhullámok terjedése

Az elektromágneses hullámok fontos szerepet játszanak az életünkben. Sok fejlett technológia épül ezeknek a hullámoknak a terjedési tulajdonságaira. Ebben a mérésben a rádióhullámok terjedését fogod vizsgálni vízben, levegőben és hullámvezetőben.

#### Eszközök

- Monokromatikus rádióhullám kibocsátó (adó) vízálló házban (a frekvenciája a 200 MHz–5 GHz tartományban van), az 1. ábrán *A*-val jelölve. A hullámforrás helyét az ábrán szaggatott vonal jelzi. Mellette a *B*-vel jelölt vevő, amely méri a vett elektromágneses hullám *P* teljesítményét, és az eredményt decibelben mutatja. 1 decibel =  $10 \log_{10} \left( \frac{P}{1 \text{ mW}} \right)$ . A vevő által mutatott érték 15 másodpercenként frissül. Az érzékelő helyét egy piros háromszög jelzi az eszközön.



1. ábra

**FIGYELEM! A vevő nem vízálló! Az adó háza vízálló és zárt, nem szabad kinyitni!**

- Különböző átmérőjű fémcsövek ( $C$ ). A belső átmérők:  $d_1 = 41$  mm,  $d_2 = 46$  mm,  $d_3 = 59$  mm,  $d_4 = 100$  mm.
- Egy műanyag cső ( $D$ ), amelynek egyik vége egy kupakkal le van zárva.
- Egy lapos fenekű műanyag doboz ( $E$ ). A doboz falain áthaladó rádióhullámok fáziseltolódása elhanyagolhatóan kicsinek tekinthető.
- Egy tekercs alumíniumfólia ( $F$ ).
- Négy darab habszivacs ( $G$ ), amelyekből egy árnyékolt tartót építhetsz az adónak, ahogy ez a 2. ábrán látható.
- Egy vonalzó ( $H$ ).
- Egy műanyag vödör vízzel ( $I$ ), egy mérőpohár ( $J$ ), egy műanyag pohár ( $K$ ), papírzsebkendők ( $L$ ).
- Egy vékony madzag ( $M$ ), egy csipesz ( $N$ ), egy tekercs ragasztószalag ( $O$ ), gumik ( $P$ ), és egy farúd ( $Q$ ).



2. ábra

Az adód párosítva van a vevővel, és a vevő kiszűri az összes többi adó jelét. Azt azonban ne felejtse el, hogy a rádióhullámok a teremben lévő minden tárgyról (és az emberekről is) visszaverődnek, amely a hullámok interferenciájához vezet. Így ha a fejedet közelebb tartod a vevőhöz, vagy elmozdulsz, megváltozhat a vevő által mutatott érték. A vett teljesítmény függ az adó és a vevő irányítottságától is. Légy óvatos az alumíniumfóliából készült árnyékolással is: kis lyukak és rések a hullámok kiszökését okozhatják.

Az egymástól független 1–4. kérdésre tetszőleges sorrendben adhatsz választ. Készíts vázlatrajzot minden mérési elrendezésről, amit használsz, hangsúlyozva a fontos részleteket! Írd le az összes használt összefüggést, készíts táblázatot minden mért adatról, és készíts grafikonokat, ahol szükséges! Nem kell hibaszámítást végezned, de törekedj a mérések minél pontosabb elvégzésére!

**1. A vevő érzékenysége.** Mekkora a legkisebb mérhető vett teljesítmény (mW-ban)?

**2. A hullámhossz vízben.** Határozd meg a rádióhullámok hullámhosszát vízben! Használd a 2. ábrán látható összeállítást.

A következő feladatokban a hullámok terjedését valamilyen közeggel (vízzel vagy levegővel) töltött fémcsövekben fogod tanulmányozni. Ekkor

$$(1) \quad \vec{E} = \vec{E}_0(r, \varphi) e^{-\alpha z} e^{i(kz - \omega t)},$$

ahol  $\vec{E}$  az elektromos térerősség vektora,  $\alpha$  írja le a közeg által okozott csillapítást (vízben  $\alpha > 0$ , levegőben  $\alpha = 0$ ), és az  $r$ ,  $\varphi$ ,  $z$  hengerkoordinátákat használjuk.

Az  $\vec{E}_0(r, \varphi)$  függvény egy állóhullámot ír le a hullámvezető keresztmetszetében. Különböző állóhullámok a keresztmetszetben a hullámvezetőben terjedő hullám különböző *terjedési módjainak* felelnek meg. A diszperziós reláció egy a hullámvezetőben terjedő hullámra így adható meg:

$$(2) \quad \omega^2 = (k_*^2 + k^2)c^2,$$

ahol  $c$  a fénysebesség a hullámvezetőt kitöltő közegben,  $k_*$  pedig egy pozitív konstans, amely csak a cső átmérőjétől és a terjedési módtól függ. A kísérletedben minden terjedési mód elhanyagolható a legkisebb  $k_*$  értékkel jellemzett terjedési módot kivéve. Vedd figyelembe, hogy egy hullám csak akkor terjedhet egy hullámvezetőben csillapítás nélkül (valós értékű  $k$  hullámszámmal), ha a rezgés frekvenciája elég nagy,  $\omega \geq ck_*$ . Az (1) és (2) egyenletek érvényben maradnak alacsonyabb frekvenciákon is, tisztán képzetes  $k = i\mu$  hullámszámot eredményezve, amely az exponenciálisan csökkenő (eltűnő) módnak felel meg.

**3. Csillapítás vízben.** Határozd meg az  $\alpha$  csillapítási együtthatót vízben! *Tanács:* A rádióhullámok akkor tudnak terjedni a műanyag csőben, ha az meg van töltve vízzel és körbe van tekerve alumínium fóliával. Használj ragasztószalagot a cső rögzítésére.

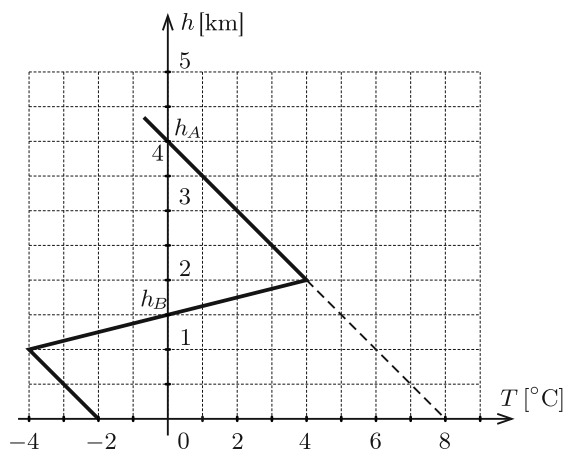
**4a. Exponenciálisan csökkenő mód levegővel töltött hullámvezetőkben.** Tedd az adót a  $d_1 = 46$  mm átmérőjű alumínium csőbe, és tanulmányozd, hogyan változik a vevővel érzékelt hullám  $P$  teljesítménye a cső végénél az adó és a cső vége közötti  $z$  távolság függvényében! Mérési eredményeiből (a  $P$  teljesítmény a  $z$  távolság függvényében) határozd meg a  $\mu$  paramétert az exponenciálisan csökkenő módban!

**4b.** Végezz el egy mérésorozatot annak meghatározására, hogyan függ a  $\mu$  paraméter a cső  $d$  átmérőjétől! Javasolj egy függvénykapcsolatot ezen paraméterek között, és igazold feltevéseidet kísérletileg!

**5. Hullámhossz levegőben és a víz törésmutatója.** Határozd meg a rádióhullámok hullámhosszát levegőben, és számítsd ki a víz törésmutatóját a rádióhullámokra vonatkozóan!

### Elméleti feladatok

**1. Jégdara.** Érdekes időjárási jelenség fordulhat elő, ha a légkör hőmérsékleti profiljában *inverzió* alakul ki. A vastag, folytonos vonal a 3. ábrán mutatja a hőmérsékleti profilt. Az inverzió az 1 km és 2 km közötti magasságban alakul ki.



3. ábra. A légkör  $T$  hőmérséklete a talajtól mért  $h$  magasság függvényében

Ilyen körülmények között a légkörön át hulló hó (részben) megolvad a melegebb rétegben, és (részben) újra megfagy „jégdara” formájában mielőtt eléri a földfelszínt.

Tegyük fel, hogy egy kicsi, gömb alakú jégcsepp majdnem teljesen elolvad, miközben átesik a légkör  $h_A$  és  $h_B$  magasság közötti rétegén, ahol a hőmérséklet fagyponthoz felelt meg.

- Határozd meg, hogy a csepp tömegének hányad része fagy meg, mielőtt eléri a földfelszínt!
- Határozd meg a lehető legpontosabban mekkora lenne a csepp hőmérséklete a talajszinten, ha nem volna hőmérsékleti inverzió, és a hőmérsékleti profil a 2 km-es magasság alatt a szaggatott vonalat követné!

Hanyagold el a párolgást, a kicsapódást és a csepp méretváltozását. Feltételezd, hogy a víznek és a jégnek nagyon nagy a hővezetési tényezője, és hogy a légkör sűrűsége állandó a magasság függvényében.

*Adatok:* a víz fajhője  $c_{\text{víz}} = 4,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$ , a jég fajhője  $c_{\text{jég}} = 2,1 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$ , a jég olvadáshője  $L = 334 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$ .

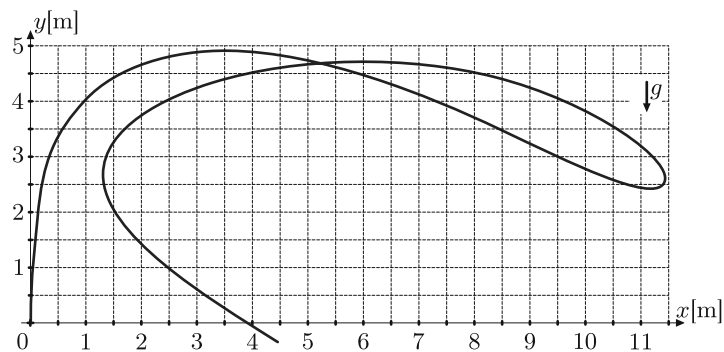
**2. feladat. Egy töltött golyó mozgása.** Egy tömör, homogén, gömb alakú,  $m$  tömegű és  $R$  sugarú golyó szigetelő anyagból készült és  $Q$  töltése van a térfogatában egyenletesen elosztva. A golyót egy nagy, vízszintes felületre helyezük, és csúszás nélkül gördülő mozgásba hozzuk úgy, hogy a középpontjának kezdetben  $v_0$  vízszintes sebessége legyen. Az egész elrendezés egy, a felületre merőleges,  $B$  nagyságú, homogén mágneses térben van. A tapadási súrlódási együttható elég nagy ahhoz, hogy megakadályozza a golyó megcsúszását. A golyó tehetetlenségi nyomatéka a középpontján áthaladó tengelyre vonatkozóan  $2mR^2/5$ .

- Írd le a golyó középpontjának mozgását és a pályájának az alakját!

*Segítség:* A megközelítésedtől függően szükség lehet a következő, bármely három  $\vec{a}$ ,  $\vec{b}$  és  $\vec{c}$  vektorra érvényes azonosságra:

$$\vec{a} \times (\vec{b} \times \vec{c}) = \vec{b}(\vec{a} \cdot \vec{c}) - \vec{c}(\vec{a} \cdot \vec{b}).$$

**3. Locsolócső.** Egy vízsugár állandó, ismeretlen  $v$  sebességgel lép ki egy locsolócső végéből. Egy gyerek játszik a locsolócsővel: véletlenszerűen forgatja egy rögzített, függőleges  $x-y$  síkban. A cső vége mindig az  $x = y = 0$  pontban van, és a csővég tengelyének vízszintessel bezárt szöge soha nem kisebb  $45^\circ$ -nál. A vízsugárnak a levegőben minden pillanatban egy szabálytalan alakja van. Egy adott pillanatban ezt az alakot a 4. ábra mutatja.



4. ábra. A vízsugár alakja egy adott időpillanatban

- Ezt az ábrát használva határozd meg a víz  $v$  kilépési sebességét, ha a nehézségi gyorsulás  $g = 9,8\text{m/s}^2$ .