

# KÍSÉRLETEK MÁGNESEKKEL ÉS MÁGNESES INGASORRAL

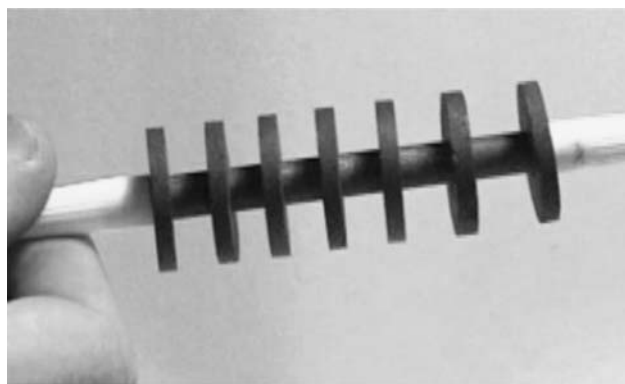
Márki-Zay János

nyugalmazott középiskolai tanár, Hódmezővásárhely

A világ azért szép, mert hatnak benne a fizikai erőhatások. A szépség és a rend összefüggő fogalmak. A természetben tapasztalható rend mögött fizikai erőhatások állnak. Ezt érdemes bemutatni. Előbb néhány kísérletet mutatok be állandó mágnesekkel, majd a különböző fizikai jelenségek szemléltetésére kifejlesztett mágneses ingasor sokoldalú felhasználási lehetőségét ismertetem.

## Első kísérlet

Egy műanyag csőre egyforma, taszító helyzetű, gyűrű alakú mágneseket helyeztünk el (1. ábra). A cső forgatásával (a súrlódást csökkentve) és a csövet vízszintes helyzetben tartva a mágnesek egymástól azonos távolságban kerülnek egyensúlyi állapotba. A csövet függőleges helyzetbe hozva a mágnesek közötti távolság lefelé rendre csökken, amit ahhoz hasonlíthatunk, ahogy a Földet körülölelő levegőoszlop is összenyomódik a saját súlya alatt (barometrikus magasságformula!).

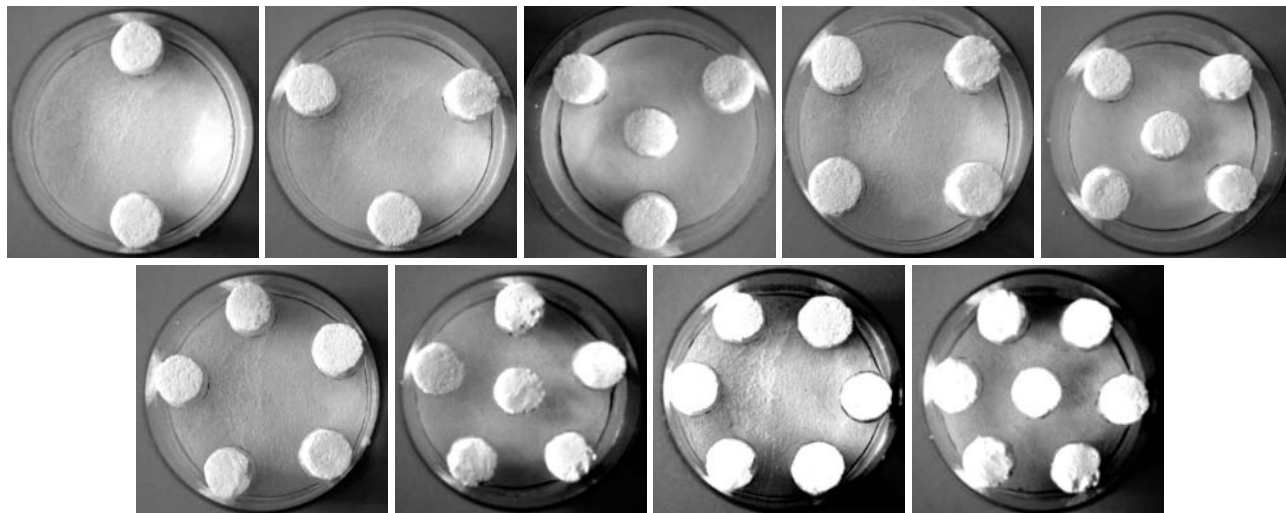


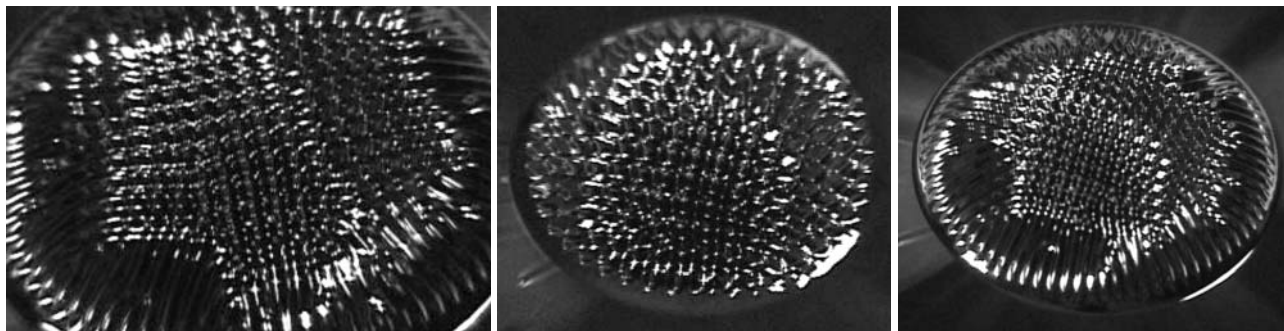
1. ábra. Gyűrű alakú, egymást taszító mágnesek elhelyezkedése műanyag rúdon.

## Második kísérlet

Egyforma, taszító helyzetű mágnesek – a rájuk ragasztott habosított műanyagnak köszönhetően (2. ábrán látható felvételek) úsznak a kör keresztmetzetű edény vízében. Egyensúlyi helyzetben a mág-

2. ábra. Vízben úszó, egymást taszító mágnesek szabályos alakzatban való elrendeződése.





3. ábra. Mágneses folyadék tűskéinek szabályos elrendeződése.

nesek igyekeznek egymástól minél messzebb kerülni (vagy szabályos sokszöget formáznak, vagy az edény közepén elhelyezkedő mágnes az edény szélein lévő mágnesekkel összekötő képzeletbeli egyenes szakaszok egymással azonos szögeket zárnak be).

Ezt a kialakult szabályos rendszert megzavarhatja, ha a fenti alakzatban elhelyezkedett két edényt egymás mellé rakunk. Ekkor mindkét edényben az edény szélén elhelyezkedő, egymást taszító mágnesek a taszító hatás következtében az edény belseje felé mozdulnak el (kölcsonös deformáció).

### Harmadik kísérlet

A 3. ábra képein látható, ahogy a mágneses folyadék (más néven: ferrofluid) tűskéi szabályos rendezettséget mutatnak, amit akár egy köbös kristályrács kétdimenziós modelljének is tekinthetünk. Az eltérő rendezettségű tűskék egy-egy szemcsét modelleznek, amit szemcsehatár választ szét.

Az 50 Hz-es váltakozó árammal táplált elektromágnes hatására létrejövő struktúrák az áram erősségének és frekvenciájának függvényében folytonos változásban vannak (újrakristályosodás).

### Eljárások longitudinális hullámok modellezésére

#### Szemléltetés Newton-bölcsővel

Amíg a transzverzális hullámok modellezésére számos és meglehetősen jó eljárás áll a tanárok rendelkezésére, addig az ugyancsak jelentős longitudinális hullámokról ezt nem állíthatjuk. (Megjegyzés: Folyadékokban és gázokban csak longitudinális hullámok keletkezhetnek, szilárd anyagokban a hullámterjedés mindkét módja lehetséges.)

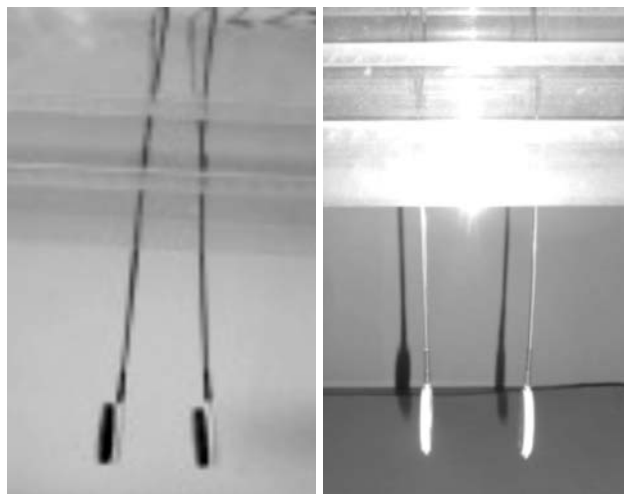
Igen elterjedt az azonos méretű acélgolyókból álló Newton-bölcsőnek nevezett rendszer, ami szorosan illeszkedő rugalmas golyókból (labdákból) álló pontsort modellez. E rendszerre érvényes az energia-megmaradás és a lendület-megmaradás törvénye, ami magyarázatul szolgál arra, hogy az egyik végen kilendített golyók száma megegyezik a másik végen kilendü-

lő golyók számával. Tudjuk azonban, hogy az anyagot a valóságban felépítő atomok vagy molekulák között nincs szoros illeszkedés. A longitudinális hullámokat szokás még rugalmasan csatolt ingákkal szemléltetni, ahol az egyes elemeket a valóságtól eltérő módon súlyozott cérnákkal, gumival vagy rugókkal stb. hozzák kapcsolatba.

#### Szemléltetés mágnes rudakkal

Műanyag-élre taszító helyzetben, párhuzamosan, hosszú mágnesrudakat helyezünk fel (vagy ennek hiányában apró mágnesgyűrűk összeragasztásával létrehozott mágnesrudakat síklapra helyezünk), és a sor egyik végén a mágnesrudat rögzítjük. A sor másik végén fekvő rudat a többihez képest ütemesen közelítve, majd távolítva longitudinális hullámok terjedését szemléltethetjük. (Vigyázat! A szomszédos mágnesek oldalirányú elmozdulása következtében a taszító erőt vonzóerők válthatják fel, és a szomszédos elemek összetapadhatnak.) Egyensúlyi helyzetben a középső mágneses rudak egymástól azonos távolságban vannak. A két szélső mágnesrúd között észrevehető kisebb távolság annak következménye, hogy a szélső mágnesrúdnak csak az egyik oldalon van taszító szomszédja. A jelenség feltárja azt a különleges helyzetet, amely egy rendszer szélét, vagy felületét megkülönbözteti a belsejétől.

4. ábra. Ennek a rendszernek csak széle van! Két ingaelem a) taszító és b) vonzó helyzetben.



**Az ingaelemek jellemző adatainak átlagértéke**

inga jellemzői	rövid inga	közepes hosszúságú	hosszú inga
hossza	16,35 cm	19,5 cm	23,1 cm
tömege	20 gramm	22 gramm	24 gramm
súlypontjának távolsága a forgástengelytől	10,95 cm	13,35 cm	14,95 cm
súlypontjának távolsága a forgástengelytől + 1 mágnessel	12,25 cm	14,75 cm	17,95 cm
súlypontjának távolsága a forgástengelytől + 2 mágnessel	13 cm	15,5 cm	18 cm
sajátfrekvencia	1,4 Hz	1,28 Hz	1,14 Hz
saját rezgésidő	0,715 s	0,781 s	0,874 s
saját rezgésidő + 1 mágnessel	0,721 s	0,791 s	0,884 s

Szemléltetés a sokoldalúan felhasználható, lineáris felépítésű, mágnesesen csatolt ingasorral

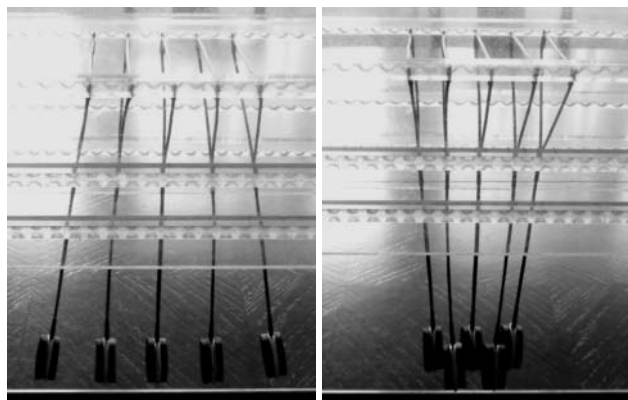
Úgy gondoltuk, hogy a modellként használt ingasor és a valóság egymáshoz közelítése érdekében az elemek közötti csatolást a valósághoz közelebb álló módon a mágneses erőter segítségével oldjuk meg. (Megjegyzés: Az ingák lengése során figyelembe kell venni a helyzeti és mozgási energiák változását is.)

Megemlítjük, hogy az egyes ingák külön-külön is felhasználhatók kísérletezésre és mérésre. Az elemek számát növelve és az egyes ingák milyenségét változtatva a kapott ingasor viselkedése egyre bonyolultabbá válik. Ha csak két ingát helyezünk fel taszító (4.a ábra) vagy vonzó (4.b ábra) helyzetben, akkor olyan ingasort kapunk, amelynek csak szélé van. Az erőhatások egyensúlya esetén az ingák súlypontja magasabbra kerül, ami különösen taszító helyzetben mutatkozik meg markánsan.

Ha az ingák csatolását igen szorossá tesszük (5.a és 5.b ábra), akkor egyre nagyobb szerephez jutnak az oldalirányú kitérést okozó erők, amelyek a szomszédos ingák összetapadásához vezethetnek.

Az általunk létrehozott mágnesesen csatolt ingasor három különböző hosszúságú ingát tartalmaz (6. ábra). A rézdrótból készült ingaelemek felső végükön 9,4 cm-re szétterpeszkedő végeikkel plexilemezen kialakított félkör alakú lyukakra illeszkedve len-

5. ábra. Öt ingaelem szoros csatolása (a) és az ingaelemek összekapcsolódása (b).



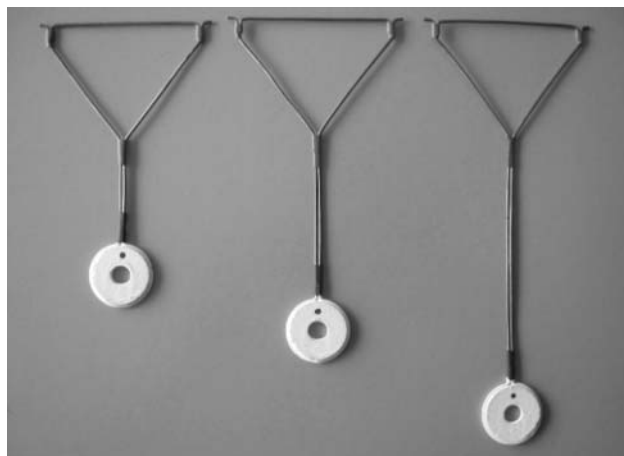
genek. Az ingák alsó végükön egy 3 cm átmérőjű és 0,4 cm vastag, kör alakú mágnesben végződnek, amelyeket taszító helyzetben rendezhetünk sorba. Az ingák felhelyezését elősegíti, hogy az egyik pólust piros pötty jelzi. A 0,64 m hosszú plexilapok tartószerkezete rézcsövekből készült. A tartószerkezet mérete: 76 cm hosszú, 37 cm magas és 10 cm széles. A három sorban, vízszintesen elhelyezkedő lyuksorok egymástól mért távolságai kiegyenlítik az ingák közötti magasságkülönbségeket. Ezzel érjük el, hogy a különböző hosszúságú ingák mágnesei alaphelyzetben azonos magasságban helyezkedjenek el. A lyukak egymástól 1 cm távolságban követik egymást, miáltal a felhelyezett ingaelemek egymástól való távolságát a centiméter egész számú többszörösének választhatjuk.

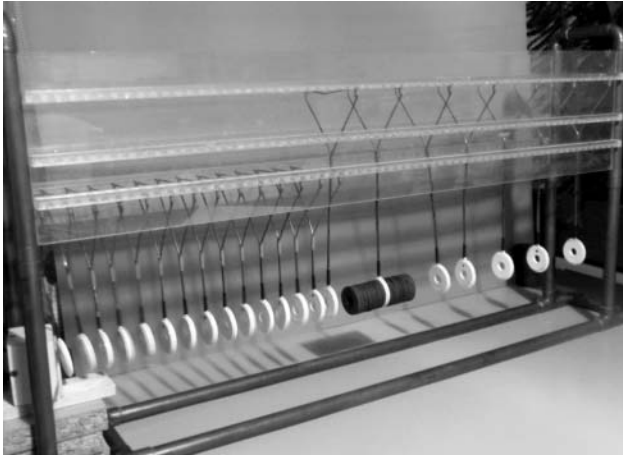
A kétoldali plexilemezek egyike egybefüggő, míg a másikat a háromféle inga felrakásának megkönnyítése érdekében négy részre bontottuk.

Az egyes ingaelemeket egymáshoz közelebb helyezve a csatolás erősebb (szorosabb), míg egymástól távolabb helyezve gyengébb (lazább) lesz. Az ingák lazább csatolásakor a lengésidő jelentősen növekszik.

Az egyes ingák tömegét, az inga súlypontját és a közöttük ható erők nagyságát egyidejűleg is változtatjuk, ha az ingaelemek alján elhelyezkedő mágnesek mellé további mágneseket helyezünk. (Egy-egy

6. ábra. A három különböző hosszúságú inga.





7. ábra. Mágnesesen csatolt ingasor egy lehetséges összeállítása.

mágnes 11 gramm tömegű.) A mágneset leszámítva az inga többi része rézdrótból készült (az ingák össztömege 20-22-24 gramm, a hosszúságtól függően). Tömegeloszlását tekintve az inga távol áll az ideális matematikai ingától, ezért az egyes jellemzők megváltoztatásakor csak a tendenciák állapíthatók meg. A tömeg növelésével a lengésidő csak igen lassan növekszik (7. ábra).

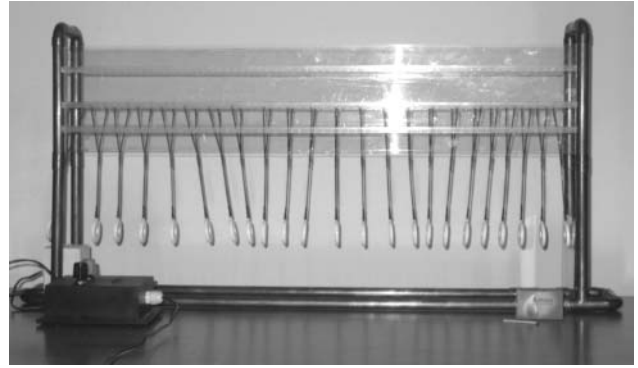
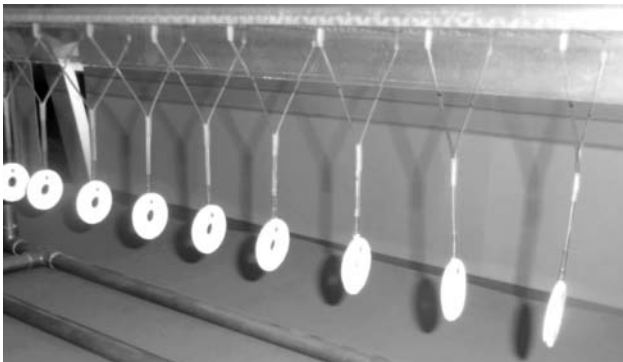
A könnyen összeállítható mágneses ingasor előnye, hogy a longitudinális hullámok sokirányú szemléltetésére alkalmas, és a hullámtan valamint a rezgések tanításához kényelmes és látványos lehetőséget nyújt (8. ábra).

Az eszköz lehetőséget ad állóhullámok kialakítására is, és a longitudinális hullámok szabad és rögzített végről való visszaverődésének tanulmányozására, továbbá lehetőségünk van arra, hogy az ingasor mindkét végén egyidejűleg zavart keltsünk. Így a hullámok találkozását is tanulmányozhatjuk. A hullámhosszt a  $\lambda = v/f$  összefüggés alapján számíthatjuk.

Érdekességként megemlíthetjük, hogy az ingasor akkor is működik, ha nem vagy nem csak taszító erők hatnak az ingaelemek között (10. ábra).

Ha az ingákat vonzó helyzetben helyezzük el (9. ábra), akkor a köztük lévő távolságot olyan nagyra kell hagyni, hogy a szomszédos ingaelemek össze ne kapaszkodjanak. Az így létrejött igen laza kapcsolat miatt a zavar csak igen lassan és nagy csillapodással

9. ábra. Vonzó helyzetű ingákból összeállított lazán csatolt mágneses ingasor.



8. ábra. A mágneses ingasoron létrehozott longitudinális hullám.

terjed tovább, de a valóságban a longitudinális hullámok terjedését elsősorban az elektronfelhők között fellépő taszító erők segítik elő.

**Összefoglalva:** A gyűrű alakú mágnesekből létrehozott lineáris ingasor előnyei: az egyes elemek közötti csatolást stabil (mágneses) erőter biztosítja. Nagy mértékben változtatható az egyes ingák hossza, tömege, az ingák egymástól való távolsága, a csatolás erőssége. A zavar elindítása és az energiavesztés pótlása történhet manuálisan és elektromágnes alkalmazásával is. Élethűen modellezhetjük vele a longitudinális hullámokat. Tanulmányozható a hullámok visszaverődése (szabad és rögzített végről) és törése stb.

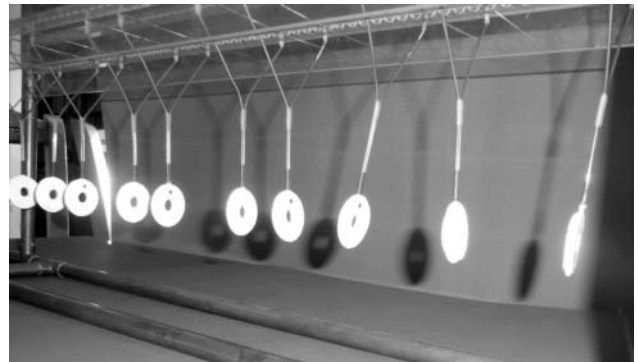
Az eszköz jelenlegi formája még tovább tökélesíthető. Egyebek között változhat az eszköz mérete és elképzelhető különböző erősségű mágnesek, vagy változtatható erősségű elektromágnesek alkalmazása is. Az ingasor gerjesztésére alkalmazott eszközt is fejleszthetjük.

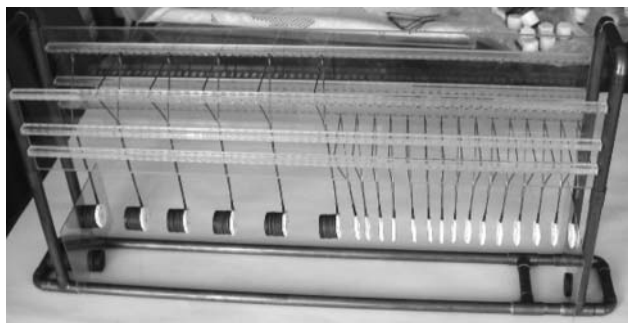
A mágneses ingasor néhány további alkalmazási lehetősége

1. Megfigyelhetjük a kollektív állapotok kialakulását, mert a rendszert magára hagyva, egy idő múlva szinkronban mozognak, mivel aszinkronos rezgéseik részben kompenzálják egymást.

A kollektív állapot azt jelenti, hogy sok egység csoportos mozgása jelentősen eltér egy egységétől. Ezzel magyarázható például a mintázatok, hálózatok képződése és a szinkronizáció.

10. ábra. Felváltva vonzó és taszító helyzetű ingákból összetett mágneses ingasoron elindított zavar.





11. ábra. A határfelületek szigetelő hatásának szemléltetése mágneses ingasorral.

2. A 11. ábrán látható összeállításban a 60 cm hosszú tartószerkezetre 15 darab egymástól 2-2 cm-re lévő (szoros csatolással) rövid ingát és 6 egymástól 6-6 cm-re lévő (lazább csatolással) hosszú ingát helyeztünk el úgy, hogy az utolsó rövid inga a vele szomszédos első hosszú ingától 2 cm-re legyen. A rövid ingák felől elindított viszonylag nagy frekvenciájú rezgés a két közeg határfelületén csak igen gyenge határfokkal képes áthaladni. Ez az összeállítás érthetővé teszi a határfelület szigetelő hatását a longitudinális hullámként terjedő hanggal szemben. Például az épületek falai a magas frekvenciájú hangrezgéseket jó határfokkal kiszűrik (elnyelik), míg az alacsonyabb frekvenciájú rezgéseket alig gyengítve átengedik. Az egyre fokozódó zajártalom elleni védekezés fontossága aktuálissá teszi a hangszigetelés szemléltetését.

A longitudinális hullám a közeghatárnál egyrészt visszaverődik, másrészt behatol az új közegbe, miközben megváltozik a hullám terjedési sebessége és hullámhossza. Minél nagyobb a sajátfrekvenciák különbözősége, annál jobb a szigetelés. A visszaverődés, illetve behatolás mértéke erősen függ a közeghatárnál fennálló különbségek mértékétől.

Ha a két közeg akusztikai keménysége (az anyagsűrűség és a hang terjedési sebességének szorzata) közel azonos, akkor a hullám majdnem teljesen áthalad a határon, és gyakorlatilag nincs visszavert hullám. A gázok ( $10^2$  kg/m<sup>3</sup>s) és a szilárdtestek ( $10^7$  kg/m<sup>3</sup>s) akusztikai keménysége mintegy öt nagyságrenddel eltér egymástól. Ezért, ha azt akarjuk, hogy a hang egyik közegből a másikba behatoljon, akkor a két közeg között átmeneti folyadékot ( $10^5$  kg/m<sup>3</sup>s) célszerű alkalmazni.

3. Az egészségügyben és az anyagmegmunkálásban nélkülözhetetlen UV-tartományban működő lézerek működése a frekvenciakonverzió alapszik. A mágneses ingával ezt a jelenséget is szemléltetni lehet. Ehhez hosszabb lengésidejű (egymástól nagyobb távolságra elhelyezett hosszabb és nehezebb) ingákból álló sort hozunk kapcsolatba rövidebb lengésidejű (egymástól kisebb távolságra telepített, rövidebb és könnyebb) ingákból álló sorral (11. ábra). Az így összeállított ingasornál látványosan megmutatkozik a két rész eltérő frekvenciával történő rezgése. A hosszabb lengésidejű ingákat meglökve a rövidebb lengésidejű ingák rezgési periódusa felgyorsul (frekvenciasokszorozódás).

A fordított irányú jelenség annak modellje lehet, hogy az Ősrobbanást követő állóhullámokból hogyan alakult ki a kozmikus háttérsugárzás.

## Megjegyzések

1. Első mágneses ingasoromat 1983-ban építettem meg. 2002-ben a hollandiai Noordwijckban szervezett Physics on Stage konferencián szívószálas kísérleteimmel 450 európai tanár közönségsvavazata alapján második díjat szereztem. A pénzjutalom lehetőséget biztosított arra, hogy egyebek között a mágneses ingasort tökéletesítsem. 2003-ban az ugyanitt szervezett Physics on Stage konferencián egy osztrák kollégánól méltatlankodva említette, hogy az édesapja is készített hasonló ingát. Csak akkor hallgatott el, amikor elmondtam, hogy első mágneses ingámat én már 1984-ben kiállítottam a veszprémi Középiskolai Fizikatanári Ankéton. Nem állíthatom, hogy elsőként fejlesztettem ki mágneses ingasort, de azt igen, hogy tanári pályafutásom alatt – sem az interneten, sem azon a négy európai (Physics on Stage és Science on Stage) konferencián, amelyen részt vettem – nem találkoztam hasonló, variálható és számos kísérlet szemléltetésére alkalmas eszközzel.

Többször megkísérleltem ingasor sorozatgyártását, de tanári munkám és vidéki helyzetem ezt nem tette lehetővé. Eszközzeimmel több hazai tanszergyártót megkerestem, de nem kaptak rajtuk. Az egyik tanszergyártó (akinek egy másik ötletemet javasoltam megvalósításra) hozzájárulásom nélkül kezdte el az ingasort gyártani. Kiengesztelésként ígéretet tett, hogy utólag 50 000 Ft-ot fizet. Ezt persze sohasem kaptam meg. Röviddel ezután sajnos az illető felhagyott a szemléltetőeszközök gyártásával.

Aktív tanári tevékenységem végén már mindent saját eszközeimmel szemléltettem. A gyorsuló időben ma sem tudok jobb módszert a reánk zúduló információáradat ellen, mint a szemléltetés határfokának állandó javítását. A vizuális kép rövidebb idő alatt is tartósabb és mélyebb megismerést eredményez.

Nemzetközileg is elismert szemléltető eszközeim – sokszor talán éppen előnyös egyszerűségük és az ezzel összefüggő kisebb gyártási profit miatt – nem kerültek szélesebb körben elterjesztésre és gyártásra. Meggyőződésem, hogy a magyar oktatás számára hosszabb távon az jelent tartósabb eredményt, ha az alkalmazott szemléltető eszköz minél egyszerűbben szolgálja a megismerést. Kinek a feladata ezt képviselni, ha nem oktatásunk irányítóinak és az oktatásban részt vevő pedagógusoknak?

2. Sajnálattal tapasztaltam, hogy az újtómozgalom, amely mércét jelentett és rangot adott az innovatív tevékenységet folytató magyar pedagógusoknak még a rendszerváltás előtt csődbe ment. A példamutatón demokratikus mozgalom előnye a helyébe lépő pályázatokkal szemben, hogy sem a résztvevők körét, sem a témát nem szűkítette le, és ezzel bárkinek bármilyen területen lehetőséget kínált arra, hogy előrevívő ötletei ne sikkadjanak el, hanem a felszínre kerüljenek. Biztos vagyok benne, a legjobb újítási ötletek megvalósításával a megtakarításokat ma is milliókban mérhetnénk. Jelenleg iskoláink a szertárfejlesztésre kapott támogatás jelentős részét – megfelelő hazai választék híján – méregdrágán importált eszközökre költik el, amelyek gyakran alig egy-két jelenség szemléltetésére alkalmasak. Mennyivel gazdaságosabb lenne a szűkös anyagi támogatás felhasználását átgondolni, és azt esetenként a hazai, felkarolásra és elterjesztésre méltó szemléltetőeszközökre fordítani. Magyarország felzárkózását segítené elő az innovatív tevékenység intézményes ösztönzése és a legjobb ötletek megvalósításának támogatása.