

Megoldás:

1. A rakétakísérlet az impulzus-megmaradás törvényével értelmezhető. Az impulzus-megmaradás tétele szerint, ha a nagy tömegű víz lefelé lökődik, akkor a lényegesen könnyebb palacknak nagy sebességgel fel kell repülnie.

2. a) Működne, de alig emelkedne fel. A palack emeléséhez szükséges a kiáramló víz tömege.

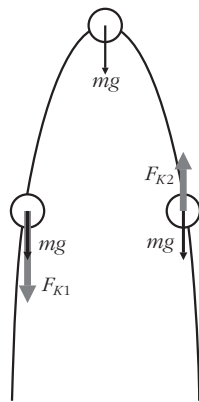
b) Nem. Túl nagy lenne a kezdeti össztömeg, illetve túl kicsi a bezárt levegő mennyisége ahhoz, hogy a vizet kellő sebességgel kinyomja a palackból.

3. Lásd az *ábrát!*  $F_{K1}$  és  $F_{K2}$  a sebességtől négyzetesen függő közelegellenállási erő.

4. A palack emelkedési magasságát a teljes vízmennyiség kilökődésekor értendő kezdősebesség, az üres palack tömege és a légellenállás hatása szabja meg. A kezdősebesség a palackba töltött víz és levegő mennyiségi arányától és a bepumpált levegő maximális nyomásától függ. A maximális nyomást a palackot lezáró dugó sűrűdása szabja meg.

5. Ha a légellenállástól eltekintünk, akkor 20 m-es emelkedéshez

$$v_0 = \sqrt{2hg} = 20 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$



A pálya az erőkkal.

kezdősebesség kellene. A légellenállás miatt azonban ennél jóval nagyobb kezdősebesség szükséges. Mivel felfelé menetben a lassulás abszolút értéke nagyobb (mind a gravitáció, mind a légellenállás lassítja), mint lefelé jövet a gyorsulás (a gravitáció gyorsítja, de a légellenállás ellene dolgozik), ezért földet éréskor kisebb a sebesség, mint kilövéskor.

*Megjegyzés:* a vizesrakéta-kísérletet érdemes videóra venni. A felvétel segítségével (utólag az iskolában) méréseket is végezhetünk. A videót kockánként vetítve (a felvételi sebesség ismeretében) mérhető a víz kiömlési ideje, az emelkedés és a visszaesés időtartama, becsülhető a rakéta emelkedési magassága (ezt a parallaxishiba nehezíti). Az idő és az egymást követő kockákon mérhető elmozdulásból meghatározható a rakéta maximális sebessége is.

#### Irodalom

1. Öveges J.: *Kísérletezzünk és gondolkozzunk*. Móra Kiadó, 2011.
2. Budó Á.: *Kísérleti fizika*. Tankönyvkiadó, 1970.
3. *Fizikatanítás tartalmasan és érdekesen*. ELTE, Fizika Doktori Iskola, 2010.
4. <http://www.ikispal.hu/fizikustabor.htm>
5. <http://tlc.howstuffworks.com/family/fun-physics-activities-for-kids.htm>
6. <http://www.northwestu.edu/photo/#/outdoor-physics-experiment>
7. <http://www.iopblog.org/outdoor-physics-grounds-learning-conference>
8. [http://www.outlab.ie/forums/documents/the\\_outdoor\\_physics\\_project\\_as\\_curriculum\\_development\\_for\\_students\\_oleg\\_popov\\_532.pdf](http://www.outlab.ie/forums/documents/the_outdoor_physics_project_as_curriculum_development_for_students_oleg_popov_532.pdf)
9. [http://www.science-on-stage.de/media/materialien/pos\\_gesamt/Apell\\_outdoor\\_physics\\_full\\_text.pdf](http://www.science-on-stage.de/media/materialien/pos_gesamt/Apell_outdoor_physics_full_text.pdf)

## EGY TOVÁBBFEJLESZTETT HULLÁMKÁD

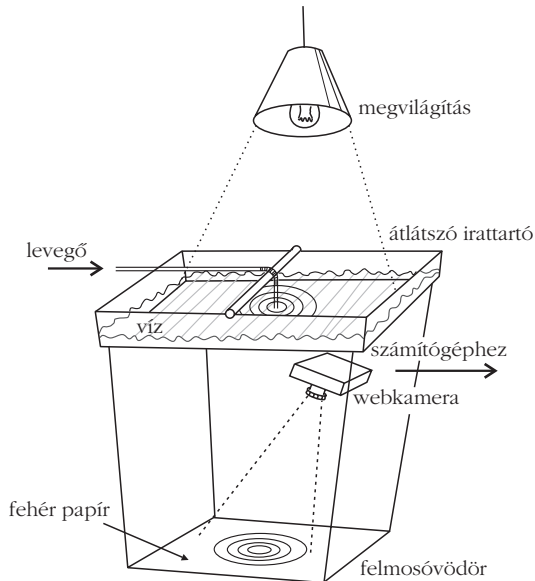
Piláth Károly  
ELTE Trefort Ágoston Gyakorlóiskola

A győri Fizikatanári Ankéton mutattam be egy olyan hullámkádat, amelyben egy hagyományos hullámkádat házasítottam össze a modern multimédiás lehetőségekkel. Az alábbi cikkben számolnék be a berendezés elkészítésének részleteiről és felhasználásának lehetőségeiről.

Tanítási gyakorlatomban azt tapasztaltam, hogy a tanulók nagyon szeretik, és általában meg is értik a hagyományos hullámkádakkal bemutatott kísérleteket, de a vetített képek láthatósága egy egész osztály számára általában már nem megfelelő. Azt gondoltam, hogy ezen könnyen segíthetek, ha a vetítőernyő képét egy webkamera és egy projektor segítségével nagy méretben kivetítem. Az ötlet azonban nem váltotta be a hozzá fűzött reményeimet, ezért terveztem egy olyan hullámkádat, amely házilagosan is könnyen elkészíthető és a fizikaórákon is kényelmesebben használható, mint egy hagyományos hullámkád. Külön előnye, hogy e házilagos eszköz előállítási költsége csak töredéke a profi berendezések árának.

A kád egy víztiszta műanyagból készült, A4-es méretű lapok tárolására használható irattartó tálca. A berendezés váza egy téglalap alapú műanyag felmosóvödör, amelynek olyan a mérete, hogy az irattartó lefedje a tetejét. A vetítőernyő egy, a vödör aljára helyezett A4 méretű fehér írógéppapír. A berendezés vázlatos rajza az *1. ábrán* látható.

Az átvilágítást egy 220 V, 5 W teljesítményű LED-es spotlámpával oldottam meg (*2. ábra*). A hullámkelétről a számítógéphez csatlakoztatható hangszórókból kivezetett levegő nyomáshullámai gondoskodnak. A hangszórókat egy hanggenerátor-program segítségével vezéreljük. A kivetítés a felmosóvödörbe szerelt, a vetítőernyőt néző webkamera segítségével történik. Így stroboszkópra sincs szükség, mert a webkamera mintavételezésének a hanggenerátorhoz történő szinkronizálásával mindig a megfelelő pillanatban készíthető felvétel. Külön előny, hogy a webkamera képe egy erre a célra írt programmal tovább elemezhető, így az interferenciahelyek intenzitáseloszlása is megrajzolható.

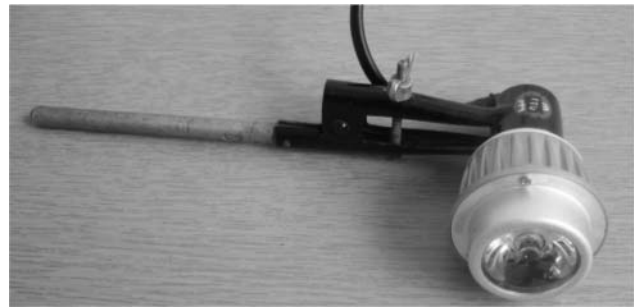
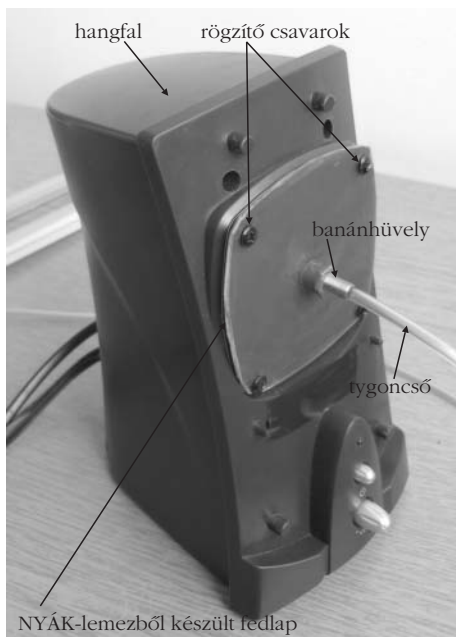


1. ábra. A berendezés elvi vázlata.

## A rezgékeltő

Az általam tervezett hullámkád lelke a rezgékeltő, amely mechanikus gerjesztés helyett számítógéppel vezérelt hangszórók által keltett nyomáshullámokkal gerjeszti a vizet. Ezt úgy alakítottam ki, hogy a számítógépekhez kapható hangfalak előlapját leszereltem és a hangszórók elé – egy a hangszórók méretéhez illeszkedő – hermetikusan záró lapot illesztettem. E lapok anyagukat tekintve 1 mm vastag plexiből, vagy NYÁK-lemezből készülhetnek. Ezt a fedőlapot a hangszórók rögzítéséhez használt négy csavarral erősítettem a hangszórók elé. A fedőlapok súlypontjába egy 6 mm átmérőjű lyukat fúrtam, amelybe egy 4 mm belső átmérőjű banánhüvelyt csavaroztam. Ehhez a banánhüvely-

3. ábra. A rezgékeltő.



2. ábra. A vetítőlámpa.

hez csatlakoztatható az a flexibilis, tyongumiból készült cső, amely a hangszórók által keltett nyomáshullámokat eljuttatja a vízhez (3. ábra). Arra azért ügyeljünk, hogy a banánhüvely hangszóró felőli oldala ne akadályozza a hangszórómembrán szabad mozgását.

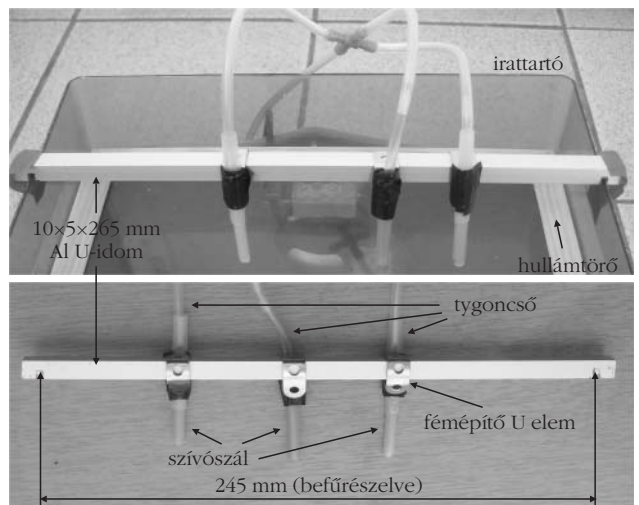
## Körhullámok gerjesztése

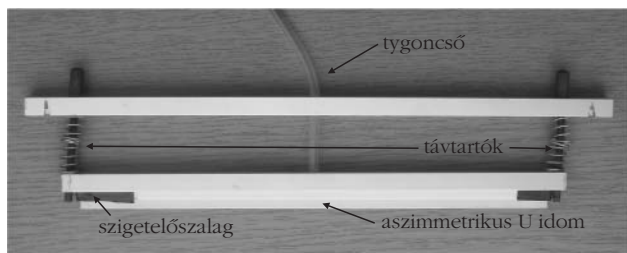
Körhullámok gerjesztéséhez a hangszóróból kivezetett tygoncső egy – az irattartóra befűrészelésekkel rögzíthető – 5×10×265 mm U alakú alumínium idomhoz rögzített szívószálhoz vezet. A szívószálat rögzítjük egy fémépítő U eleméhez, így a hullámkeltő helyzete az alumínium sínen kényelmesen változtatható (4. ábra). A szívószál(ak) hossza legyen körülbelül 3 cm, átmérőjük pedig olyan, amelyben a tygoncső könnyen mozgatható. A banánhüvelyhez és a szívószálhoz egyaránt jól illeszkedő, 4 mm külső átmérőjű tygoncsövet akvarisztikai szakboltokból szerezhetünk be.

## Síkhullámok előállítása

Síkhullámokat is előállíthatunk megfelelő hullámkeltő kialakításával. Ilyet egy műanyagból készült aszimmetrikus U elemből készíthetünk. A tygoncsövet légzáró módon vezetjük be az U idom felső részén. Az idom két végét szigetelőszalaggal zárjuk le, hogy a

4. ábra. Hullámgenerátor körhullámokhoz.





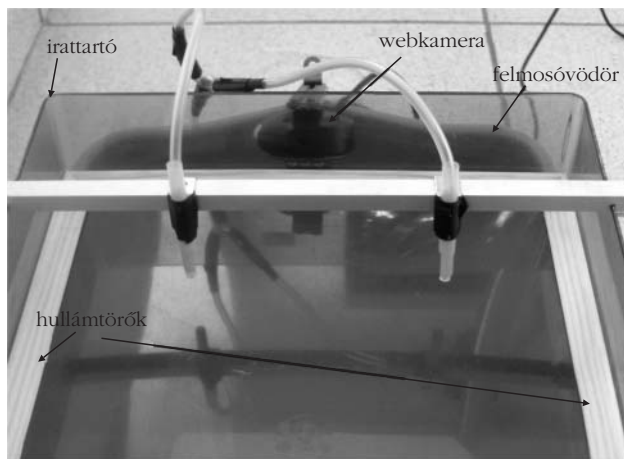
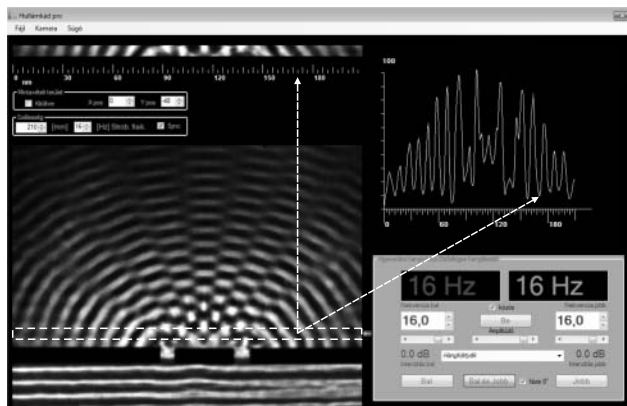
5. ábra. Hullámgenerátor síkhullámokhoz.

levegő a két végen ne távozhasson. Az állíthatóságot két, csavarra helyezett rugós távtartóval érhetjük el. A hullámkeltéskor az U idom hosszabb szára merüljön a víz alá, a rövidebb szár pedig éppen csak érintkezzen a víz felszínével (5. ábra).

## Beüzemelés

Miután a fő elemeket elkészítettük, állítsuk össze a hullámkádat, majd próbáljuk ki a berendezést üzem közben. A felmosóvödörbe építsünk be egy olyan webkamerát, amely a vödör aljába helyezett papírlapot jól látja. A felmosóvödörré helyezett irattartóba töltünk körülbelül 0,5 cm mély vizet. A tygoncső segítségével kapcsoljuk össze a rezgékeltőt a hullámgenerátorral. A hangfalakat csatlakoztassuk a számítógéphez és egy hanggenerátor program segítségével adjunk a hangfalakra 10-30 Hz frekvenciájú szinuszos jelet. Kapcsoljuk be az irattartó tálcá fölé 1,5 m magasságban elhelyezett spotlámpát. Mozgassuk addig a szívószálat, amíg a vízbe érő vége optimális hullámokat gerjeszt. Ekkor a vödör alján – szabad szemmel is jól kivehetően – megjelennek a vetített fénykörök. Ezeket a köröket a vödörbe épített webkamera segítségével kivetíthetjük egész osztálynak egy projektor segítségével. Állóképet úgy érhetünk el, hogy a webkamera képkockasebességét (frame rate) ugyanakkorának választjuk, mint a gerjesztő hang frekvenciája. A hullámok amplitúdója a hang erősségével szabályozható. Ha szeretnénk elkerülni, hogy a hullámok visszaverődjenek az irattartó faláról, építsünk be olyan hullámtörőket is, amelyek képesek megakadályozni a hullámok visszaverődését. Az összeállított hullámkád a 6. ábrán látható.

7. ábra. A program működés közben.



6. ábra. Összeállított hullámkád.

## Interferencia bemutatása

Interferencia bemutatásához használjunk két szívószálat. Ezek kapcsolódhatnak ugyanahhoz a hangszóróhoz is egy Y elosztó segítségével, de kihasználhatjuk azt is, hogy a számítógépekbe sztereó hangrendszer van beépítve, így a szívószálakba egymástól független hangforrásról is juttathatunk nyomáshullámokat. A hagyományos hullámkádokban a hullámforrások független vezérlésre nincs lehetőség. Hullámkádunk működtethető a neten megtalálható szabad hozzáférésű hanggenerátor-programokkal is, de írtam egy olyan programot, amelybe integráltam egy hanggenerátort és a webkamerás megjelenítőt. Az általam írt program azt is lehetővé teszi, hogy a webkamera képét analizáljuk. Ily módon e programmal elemezhető például két hullámforrásból származó hullámok interferenciája a hely függvényében (7. ábra).

A 7. ábrán a program ablakát láthatjuk futás közben. Az ablak jobb felső részében a hullámok amplitúdójának változása látható a webkamera képének a nyíllal megjelölt helyén. A programból az interferenciaképet és az eloszlás is elmenthető, illetve megosztható a tanulókkal. Lehetőségünk van arra is, hogy egy folyamatot mentünk el egy videófájlba. Erre láthatunk példát a <http://youtu.be/FpVGMuUBeYQ> címen a YouTube videómegosztón, ahol az interferencia képének változását láthatjuk, miközben a két szívószál távolságát változtatom.

A program letölthető weblapomról: <http://pilath.fw.hu/setupok/setupwavetank2012.rar>. A program telepítése előtt telepíteni kell egy megfelelő Directx-et is <http://pilath.fw.hu/setupok/dxwebsetup.exe>. Tapasztalataim szerint ez a demonstrációs eszköz nagyon sokoldalúan felhasználható, és ami talán a legfontosabb, hogy a gyerekek is nagyon kedvelik ezt a felmosóvödörré alapozott technológiát.

## Irodalom

1. <http://www.physicstutorials.org/home/waves/water-waves>
2. Hullámtani alapjelenségek vizsgálata hullámkád segítségével <http://fiz-kem.sze.hu/~fizlabor/hullamkad.pdf>