

FEJLESZTÉSEK ÉS KÍSÉRLETEK A »VÍZSUGÁRRAKÉTÁVAL«

Pál Zoltán
Gödrei Körzeti Általános Iskola

A 2012-es Fizikatanári Ankét szervezőbizottsága egy újítással színesítette a fizikatanárok nyári továbbképzési programját *Maratoni Show* – 10 perces kísérleti bemutató néven. A két szakcsoport fizikatanáraitól 22-en jelentkeztek rá, köztük jömagam két kísérlettel. Az egyik az *Egy búron pen(rez)dülök* néven meghirdetett, a hangtan témaköréből vett kísérlet. A másik a mechanika témaköréből, Newton harmadik törvényét demonstráló „rakétaelv” néven is ismert kísérlet volt. Ezt a törvényt sokan és sokféle módon bemutatták már, elsősorban bent, fizikai előadó teremben, például felfújt léggömböt elengedve az rakétaként repül el. Ennél látványosabb megoldás, amikor egy szódás szifon patronját kilyukasztva, két fal között kifeszített drótra erősítve, nagy sebességgel repül egyik faltól a másikig.

A megoldás merészebb, amikor a szabadba visszük ki ezt a kísérletet. Itt a rakétatest már egy ásványvizes palack – vagy a saját kísérletemnél használt, egyedi módon elkészített szódáspalack –, amit nagy nyomású levegő és bizonyos mennyiségű víz, mint hajtóanyag hoz mozgásba.

Newton harmadik törvénye az általános iskola tananyagában

A 7. osztályos fizikatananyag I. témája a Mechanika, ennek III. fejezete a dinamika alapjai: „Az erő mérése, erő – ellenelő” ([1] 54–55. oldal) címszó alatt találkozunk a kölcsönhatás törvényével, azaz Newton harmadik axiómájával.

Ha az A testre egy B test erőt gyakorol, mi történik a B testtel? A tapasztalatok azt mutatják, ha egy talicskát (A) tolok, akkor felém irányuló (B) erőt érzek, vagy egy vadászpuska elsütésekor a vállam felé ható (a lövedék mozgásirányával ellentétes irányú) erőt érzek.

„Ha egy (pontoszerű) A testre a (pontoszerű) B test erőt ($F_{A,B}$) gyakorol, akkor az A test is hat B -re ugyanolyan nagyságú és ellentétes irányú erővel: $F_{B,A} = -F_{A,B}$ ”. Ez a Newton-féle harmadik axióma, a kölcsönhatás törvénye. (Newton megfogalmazása szerint: „A hatással mindig ellentétes és egyenlő nagy az ellenhatás, vagy két test egymásra való hatása mindig egyenlő nagyságú és ellentétes irányú.”) Az axióma szerint az erők mindig párosával lépnek fel, és ezek az erők – erő (akció) és ellenelő (reakció) – mindig különböző testekre hatnak.

A 7. osztályos tankönyv több képet is hoz a törvény lényegének megértéséhez. Az első képen görkorcsolyán álló két gyerek közül az egyik meglöki a másikat – mindkettő elmozdul (hatás-ellenhatás). A második képen egy sugárhajtású repülőgép látható: a hajtómű-

ből kiáramló gáz (hatás) ellenereje (ellenhatás) hajtja a repülőgépet. A harmadik képen két összeakasztott rugós erőmérő egyenlő nagyságú erőt jelez (erő-ellenelő ugyanakkora).

Az első kép görkorcsolyás kísérletéhez két darab széles, biztonságot nyújtó két-két fix tengelyű fehér, valamint piros bútorlapú görkorcsolyát készítettem. Ezekre állhatnak, vagy ha nem érzik magukat biztonságban, rá is ülhetnek a gyerekek és így lökhetik meg – egyszer az egyik, másszor a másik – egymást.

A második képhez kapcsolódik a „rakétainvázio” az osztályban. A rakétaelvet én is „lufival” vezetem be. „Ez nem nagy durranás” – mondhatja erre egy mai gyerek. De a kísérletet kiviszem a szabadba és egy teljes fizikaórát szánok rá. Mivel 7. osztályban két órában tanítom a fizikát, így mindig jut idő teljes órás kísérletezésre, ilyen a „rakétázás”.

A rakéta elkészítése és fejlesztési fázisai

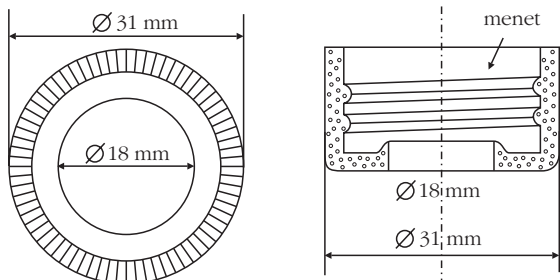
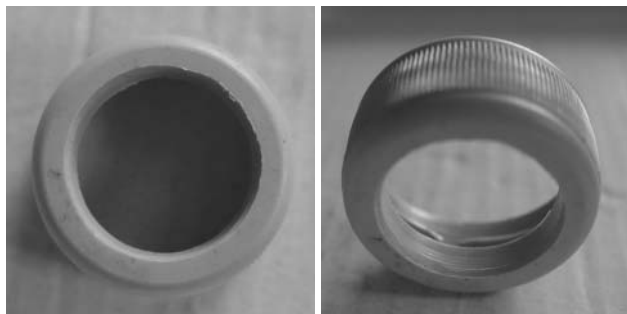
Sok esetben érzi a fizikatanár, hogy egy-egy kísérlet bemutatásához kevés a meglévő eszköz, vagy jó lenne azt mással látványosabban, hatásosabban bemutatni. Ezért fogtam bele a saját elképzelésem szerinti vizes rakéta elkészítésébe, fejlesztésébe.

Az első változat

Ez a rakéta egy autópumpából, egy műanyag szódászifonpalackból és a kettőt összekötő nagynyomású oxigéntömlőből áll (1. ábra). Két ember kell hozzá: az egyik a pumpát, a másik pedig visszafogja a palac-

1. ábra. A vizes rakéta legegyszerűbb összeszerelésben.





2. ábra. A zárókupak és metszeti rajza, illetve ugyanez kilyukasztva.

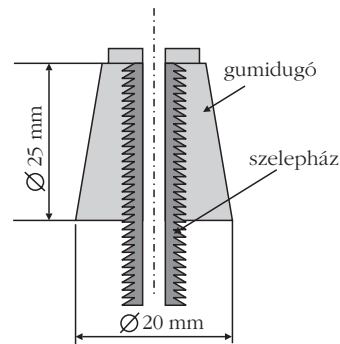
kot, hogy idő előtt ne repüljön el. A nyomás növekedésével egyre nehezebb visszatartani a palackot, hogy kilőve a gumidugót el ne repüljön. Ez körülbelül 2-3 bar nyomásig sikerül. A rakéta fellöhető tisztán levegővel, de nagyobb gyorsulást és magasabb felröppentést víztöltéssel lehet elérni. A legmagasabbra a harmadrészig vízzel töltött palack repül.

Szükséges anyagok:

- 1 db másfél literes, műanyag szódás palack, de ilyen méretű pillepalack is megfelel,
- 1 db autógumi-szelep szeleptű nélkül,
- 1 db zárókupak (a palack zárókupakja),
- 1 db kónuszos, középütt lyukas nyersgumi dugó (a kémiaszertárban fellelhető lombikdugó),
- 1 db autópumpa visszacsapó szeleppel, tömlővel, szorítócsappal.

Először a rakéta fúvókaszerkezetét készítjük el! A palack zárókupakjának belső felén található merevítő gyűrű átmérőjének megfelelő (körülbelül: 18-20 mm)

4. ábra. A szerelt palack közelről.



3. ábra. A szerelt dugó és szelep képe, illetve metszeti rajza.

lyukat vágunk bőrlukasztóval vagy éles késsel (2. ábra). Fontos, hogy ez a lyuk központos legyen, ehhez a kupak belső felén levő merevítő gyűrű vonalát érdemes követni.

A következő lépés a gumidugó és a szelep összeépítése (3. ábra). Ha nincs lyukas gumidugó, akkor bőrlukasztóval egy határozott (nagy) ütéssel vágunk lyukat a dugó közepébe, majd dugjuk bele a szelepet! Fontos a gumi és a szelep közötti tömítettség, ezért a szelep átmérőjénél 2-3 mm-rel kisebb, mintegy 4-5 mm-es lyuk a megfelelő. A gumidugót jó szorosan bedugva a kupakba, majd kupakot a palack menetes szájára csavarva készen van a rakétatest (4. ábra).

Második változat

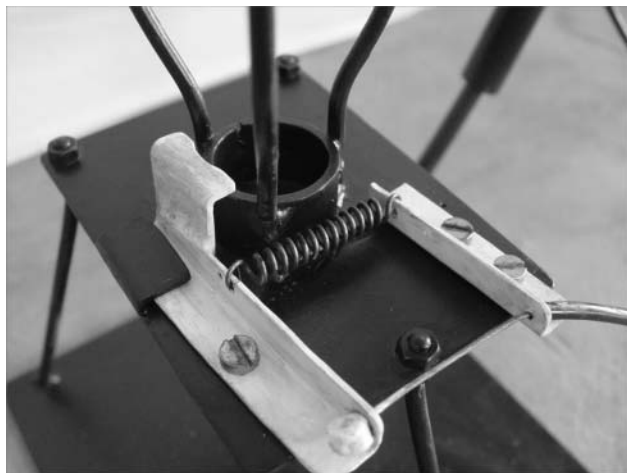
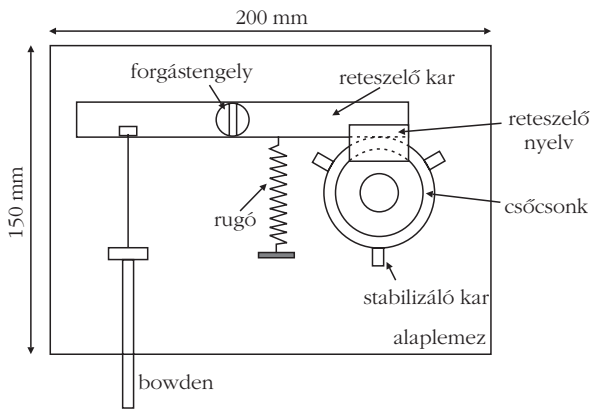
A kézből indítás nem vált be, hiszen jogos igény, hogy „ne a palack mondja meg, mikor röpüljön el!” Kilövő szerkezet kell készíteni, amellyel a palackban lévő levegő nyomása tág határok között szabályozható, annak csak a palack nyomástűrő képessége szabjon határt. A palack maximum 30 bar nyomást bír el, főltte deformálódhat, illetve felrobbanhat. A veszély csak látszólagos, mert kézi autópumpával ekkora nyomást nehéz produkálni.

Vizont egy pumpaalkatrész igencsak lényeges! Visszacsapó szelepet beépíteni (ez a régi Lada-pumpákban van) a pumpa és a palack közé, mert a felfordított palackból – a pumpa felhúzásakor – a levegő, de legfőképp a víz – a nagyobb nyomási tartományokban – erőteljesen visszaáramolna a pumpába.

A kilövő szerkezet

Szükséges anyagok:

- 1 db körülbelül 15×20 cm, 2 mm vastag acéllemez (kilövő állvány alapja),
- 1 db 23 mm hosszú, 31 mm belső átmérőjű acélcsődarab,
- 1 db 20×15×3 mm-es acéllemezdarab (reteszelő nyelv, indítókar),
- 1 db 40 mm hosszú erős acélrugó (reteszelő biztosítására),
- 3 db 6 mm vastag, 15 cm hosszú acélhuzal (a palack stabilizálói),
- 1 db ½ colos, 20 cm hosszú csődarab (indítókar fogantyúja),



5. ábra. A kilövő szerkezet felülnézeti rajza és képe.

1 db gázkar (például fémből készült kapálógép gázkarja),

1 db 150 cm hosszú bowden,

1 db M6-os csavar, körülbelül 15 mm hosszú,

2 db M6-os anyacsavar.

Az indító szerkezetet (5. ábra) nehezebb elkészíteni. A 15×20 cm-es acéllemez közepébe 10 mm átmérőjű lyukat fúrjunk. A lyukkal koncentrikusan hegesztjük a lemezre az acélcső darabot. A lemezre felhegeszthetjük a 3 lábat is. Ezután a palackot a kupakkal és a dugóval – benne az autógumi-szeleppel – fejjel lefelé a csőbe állítjuk. Ebben a helyzetben a szelep gumidugóból kiálló része a 10 mm-es lyukban a lemez alsó felén áll ki, itt csatlakozik majd rá a pumpa szorítóbilincse. A gumidugó a lemez aljának támaszkodik, a palack kiömlő nyílásánál található perem – aminek később nagy szerepe lesz – a csőcsonk szélére ül fel. Ezután meghajlítjuk a 3 db stabilizáló kart, a palack alakjához igazítottan, három egyenlő részre elosztva a palack körül felhegesztjük az alaplapra. Ezek tartják a palackot stabilan pumpáláskor.

A következő lépés a reteszelő kar és a záró nyelv elkészítése. A 20×150 mm-es acéllemezről – az egyik végére egy „L” alakú nyelvet hegesztve – készül a kar, amelyet az alaplemezhez erősítünk a 6-os csavarral úgy, hogy könnyen legyen forgatható.

A rugót enyhén megfeszítve úgy helyezük el a karon, hogy a reteszelő nyelv és a forgástengely közé essen. Így a rugó a kart a nyelvvél együtt nekihúzza a

csőcsonknak, a nyelv pedig ráül a palack peremére. Ez a reteszelés (lezárás) biztosítja, hogy pumpáláskor a palack idő előtt ne szabaduljon el. Az utolsó művelet a bowden méretezése és forrasztása a reteszelő karra és az indító karra.

Az általam alkalmazott palack helyett másfél literes pillepalackot is lehet használni. Ám az nem biztonságos – főleg, ha nagy magasságba szeretnénk lőni –, mert nyomásállósága alacsony (5-6 bar) és -terhelhetősége is palackról palackra szór. Az általam használt palackok nyomáspróbázottak, 30 bar nyomásig teljesen biztonságosak, nem robbannak fel és nem deformálódnak. Másik lényeges paraméter az áramvonalasság, hiszen repüléskor lényeges szempont a légellenállási tényező. Hosszas utánjárással Baján sikerült találnom olyan palackkészítő iparost, aki legömbölyített, áramvonalas palackokat gyártott (6. ábra).

A rakéta indítása

1. Töltsük meg a palackot 1/3-ig vízzel (természetesen csak levegővel is indítható!)

2. Jó erősen nyomjuk a szerelt (szelepes) gumidugót a palackra csavart lyukas kupakba, hogy tökéletes legyen a tömítettség!

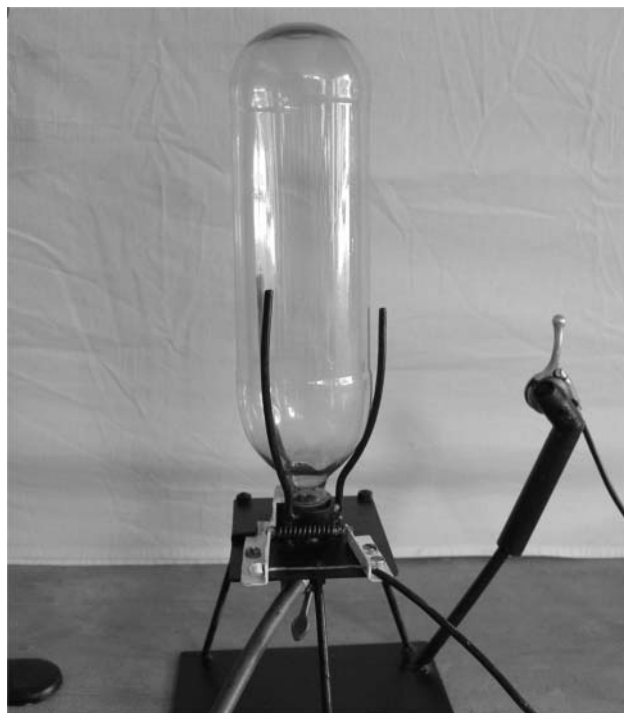
3. A palackot fejjel lefelé helyezük a kilövőszerkezetbe, alulról szorítócsappal csatlakoztassuk a pumpát!

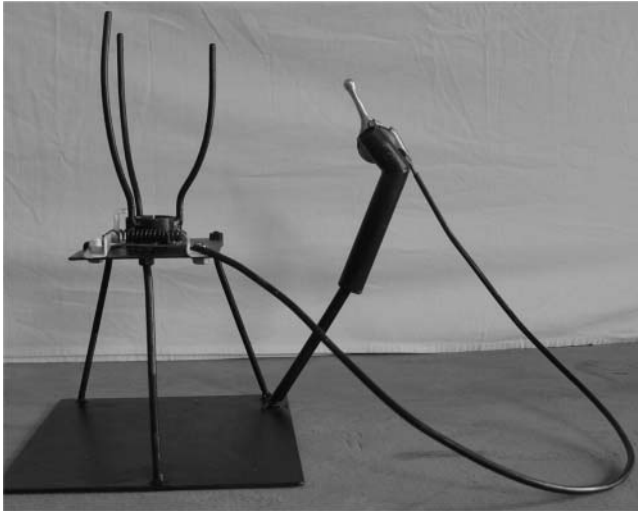
4. Zárjuk a reteszelőt, hogy a palack ne repüljön el idő előtt!

5. Pumpáljuk fel a palackot 4-6 bar nyomásra!

6. Az indítókar meghúzásakor kinyílik a reteszelő kar és a palack szabadra válik, a nagy sebességgel kiáramló víz (levegő) reakcióereje felröpíti a palackot.

6. ábra. A teljesen szerelt vízszugárrakéta.





7. ábra. A régi és az új kilövő szerkezet.

A rakéta ezen változata az első, kézből indítható képest több szempontból fejlettebb:

1. A palackban a levegőnyomást tág határok között lehet változtatni, magasabb nyomás érhető el.
2. Biztonságosabb, nem kell közvetlenül a palacknál tartózkodni.
3. Kényelmesebb az indítás.
4. Ösztönző, hogy a magasabbra lehet vele lőni. Ezért érdemes biztonságos palackot beszerezni, alkalmazni.

Harmadik változat

A sokszor elvégzett, és különösen a sikeres kísérletek arra ösztönzik az embert, hogy tovább fokozza a hatást, a látványt.

Az akár 10 m-es, több mint 3 emelet repülési magasság eléréséhez a korábbiaknál jóval nagyobb gyorsulású rakéta szükséges, fejleszteni kellett. Ehhez megtartottam az eddig beváltakat, azaz:

1. Az áramvonalas palackot.
2. A biztonságos indítást.
3. A zárókupakon levő kiömlő nyílás átmérőjének 18-20 mm-es nagyságát. Különböző átmérők kipróbálása után ez bizonyult optimális nyílásnak.
4. A szódásszifonpalackot, amely akár 30 bar nyomást is elbír.

A fejlesztés két irányban történt:

1. Megfelelő, könnyen hordozható kompresszor (légsűrítő) megépítése.
2. Még biztonságosabb, masszívabb kilövő szerkezet megépítése.

Az autópumpát jóval nagyobb teljesítményű kompresszorra cseréltem. Hátránya, hogy áram nélkül nem működik, de tartaléknak ott van az autópumpa.

A kilövő szerkezet két helyen módosult: a palackot stabilizáló karok helyére olyan acélcső (23 cm hosszú, 9,5 cm belső átmérőjű) került, amelyikbe pontosan befér a palack, ezzel precízebb a kilövés. Másrészt biztonsági szerepet is betölt: az esetlegesen felrobbanó palack nem okozhat sérülést.

A 7. ábra képeit összehasonlítva jól látható a stabilizáló karokat felváltó kétfunkciós acélhenger (cső), valamint a sokkal stabilabb és biztonságosabb palackleszorítást eredményező új reteszelő.

Reteszelő zárszerkezet

A szerkezet (8. ábra) egy 12 cm hosszú, 25×25 mm-es acél zártszelvényből, mint külső házból, valamint egy szintén 12 cm hosszú, 20×20 mm-es zártszelvényből – amelynek a végére egy, a korábbi szerkezetnél is említett „L” alakú záró nyelv van hegesztve – készült. A zártszelvények egymásba csúsztathatók, rendkívül stabilan tartják egymást, biztosítva a reteszelés pontosságát és stabilitását. A belső zártszelvényben elhelyezkedő, erős spirálrugó nyomja a reteszt a palack pereméhez, gondoskodik a biztos zárról. Ezt a zárat a bowdenen keresztül az indítókaral lehet oldani.

Az indító kar mellé nyomásmérő órát is szereltem a palack belső nyomásának ellenőrzésére, ez alaphelyzetben a kompresszorban levő nyomást is mutatja.

Vegyük szemügyre a kompresszort (légsűrítőt)! Alkatrészeit gondosan válogattam, hogy praktikusak, aránylag könnyűek, a kereskedelemben kaphatóak, átláthatóak és egymáshoz illeszthetőek legyenek.

8. ábra. A reteszelő zárszerkezet.





9. ábra. A kompresszor és fő részei.

Négy fő részből áll:

1. kompresszormotor,
2. légtartály,
3. nyomásszabályozó kapcsoló,
4. légszűrő.

A kompresszor (9. ábra) egy 1200 literes hűtőpult motorja, amely – ha kell – akár 35-40 bar nyomást is tud produkálni. Légtartálya egy 5 literes, 50 bar nyomásig terhelhető acéltartály. A kompresszort és a légtartályt összekötő nagy nyomású csőre egy kombinált nyomásmérő óra, valamint nyomásszabályozó kapcsoló is került. Ezzel a kapcsolóval a kompresszor motorjának be- és kikapcsolását lehet szabályozni.

A szívó oldalon elhelyezett légszűrőnek is fontos szerep jut. Azon kívül, hogy megszűri a levegőt az apró, szilárd szennyeződésektől, a páráit is leválasztja. Így a folyamatos szívások alkalmával a vízpára nem tud bejutni a kompresszorba, nem tud abban rendellenes kopást, korróziót előidézni.

Az indító szerkezet és a kompresszor közötti nagy nyomású tömlő gyorscsatlakozókkal kapcsolódik (10. ábra).

Víz sugárrakéta

Miért neveztem el a sokak által csupán „vizes rakétának” említett eszközt *víz sugárrakétának*?

Még főiskolás éveimben mutattam be ezt a kísérletet egy kollókvium keretén belül – több más kísérlet mellett – a szombathelyi Berzsényi Dániel Tanárképző Főiskola ko-

sárlabdapályáján. Mesterem, Kovács László tanár úr indította el a „hangyát” a fejemben: „...jó lenne valami számszerű adatot tudni erről az irgalmatlanul gyors rakétáról!”

Elsőként Budapesten, az Eötvös Loránd Tudományegyetem udvarán kíséreltük meg nyomon követni a felröppenő palackrakétát egy olyan videokamerával, amelyik századmásodpercenként rögzíti a képeket. A palack útját egy klinkertéglás fal mentén mértük, a téglák és fugájai együttesen 10 cm volt. A próbálgatásokon többek között Tasnádi Péter és Sas Elemér tanár urak is jelen voltak, sőt egy-két kilövésben asszisztáltak is! A felvétel ugyan sikerült, de ami fontos lett volna, hogy a palackot követni lehessen – lelassítva, századmásodpercenként, nem jött össze!

Egy újabb ötlet: „...meg kellene vizsgálni vektorszóppal, amely azonnal kiértékeli út-idő, sebesség-idő és gyorsulás tekintetében a rakéta útját, ráadásul térben!” Irány Szeged, ahol a főiskolán volt egy ilyen műszer. Megkaptam, kezelő személyzettel. A rakéta sajnos olyan gyorsan elhagyta a vektorszóp „látóterét”, hogy nem volt kiértékelhető fellövés. Egyben „eredményesek” voltunk: az utolsó próbálkozás alkalmával a rakétatestre erősített ultrahang-jeladó úgy leröpült, hogy nem találtuk meg. 300 dollár volt az ára, amelyet szerencsére a főiskola nem fizetett meg velem. A cél érdekében ennyit feláldozott a „tudomány oltárán”.

10. ábra. A komplett, kilövésre kész rakéta.





11. *ábra.* A rakéta indulásakor (1. képkocka, felül) és a $3 \times 0,02$ s múlva (4. képkocka, alul) rögzített kép.

A megoldást – teljesen véletlenül – analóg videokamerám és egy 6 fejes videólejátszó hozta. Az iskolám sportpályáján a gyerekekkel végeztük ezt a kísérletet. Még a régebbi, „két emberes” rakétával, de már a kilövő szerkezettel. A megoldást az egyik felvétel hozta, amely azóta is féltve őrzött kincsemmé vált!

Mint ismeretes a kamera $0,02$ s-ként rögzíti a képeket. A felvételt átjátszva a 6 fejes videólejátszóra, megpróbáltam képenként visszajátszani azt, hogy megkeressem a kilövés pillanatát. Ekkor jött a csoda! Ez volt az igazi „Heuréka!”. Teljesen véletlenül úgy sikerült elkapnom a felvételt, hogy a kamera a palack elszabadulásának pillanatában kezdte rögzíteni a képeket. Gyönyörűen lehetett látni minden egyes egymás utáni – $0,02$ s-ként – képen a palackot. A fellövés helyéhez közel egy nyárfa állt. A kilövő hely, valamint a fa törzse és ágai közötti távolság megmérése után a fa mérőszalagként szolgált!

És ami tetézte a sikert: a délutáni napsütésben minden képen ragyogóan lehetett látni a kilövellő



12. *ábra.* Rakétakilövés az Országos Fizikatanári Ankét és Eszközbemutató „Maratoni show” – 10 perces kísérletek programján.

vízugarat és annak hosszát. Csodálatos volt, ahogy a vízugar körülből 8 méter hosszán, nyílegyenesen, a kiáramlás vastagságában egyben maradt és csak ezután fröcskölődött szét.

Ez a felvétel mindenért kárpótolt. Ez a 8 m-es víz-sugár adta az ötletet, hogy a vizes rakétát ezek után „vízsugárrakétának” nevezzem.

A felvétel ugyan analóg, de sikerült digitalizálni. Beszámolómban ebből – az indítás pillanatától $0,02$ másodpercenként készült – képsorozatból tudok felvételeket közreadni (11. *ábra*).

A rögzített képek feladatkészítésre készítetik az embert. Ismerve a képek között eltelt időt ($0,02$ s), a „mérőszalagot” (a fa, amely előtt körülbelül 3 m-re van a kilövő állvány és az első, jobbra kinőtt vastag ága a talajtól körülbelül 3 m magasban van), érdekes feladatokat – út-idő, sebesség-idő és gyorsulás-idő – lehet összeállítani.

Ezt a kísérletet (12. *ábra*) és videót mutattam be 2012-es Országos Fizikatanári Ankét és Eszközbemutatón Győrben, és a közönség szavazatai alapján az elsők közé kerültem.

Irodalom

1. *Fizika 7. osztályos tankönyv.* Mozaik Kiadó, Szeged 2005.
2. Budó Ágoston: *Kísérleti fizika I.* Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest 1970.
3. *Saját fejlesztésű eszközeim.* Szakdolgozat, Tormás, 1996.

EMLÉKEZTETŐ

Fizikatanári Ankét és Eszközbemutató

A 2013. évi 56. Fizikatanári Ankét és Eszközbemutató 2013. március 14-től 17-ig kerül megrendezésre Székesfehérváron.

A rendezvény témái: biológiai fizika (hallás, látás, mozgás fizikája, élőlények kollektív mozgása stb.), valamint aktuális oktatáspolitikai kérdések.

A műhelyfoglalkozásokat március 15-én és 16-án délutánra tervezzük. A műhelyfoglalkozások mellett a tavalyi sikeres *10 perces kísérletek* című programot is meg kívánjuk szervezni.

Az ankét 30 órás akkreditált továbbképzés.

ELFT Tanári Szakcsoportjainak vezetőiségei