

A már korábban meghatározott frekvenciájú hangvilla segítségével a víz felületén létrehozott interferenciaképet a vetítőlapon jelenítjük meg (3. ábra). Erről a diákok digitális fényképet készítenek, a legjobb több példányban kinyomtatjuk. Az interferenciakép, valamint a hangvilla szárai közötti távolság ismeretében a tanulók meghatározzák a körhullámok hullámhosszát. Ehhez a tanulók megméri a szárok közötti  $d$  távolságot (esetünkben 2,0 cm), megállapítják a hullámvölgyek vagy -hegyek számát és kiszámolják a  $\lambda$  hullámhosszat:

$$d = 8\lambda + \frac{1}{2}\lambda = \frac{17\lambda}{2},$$

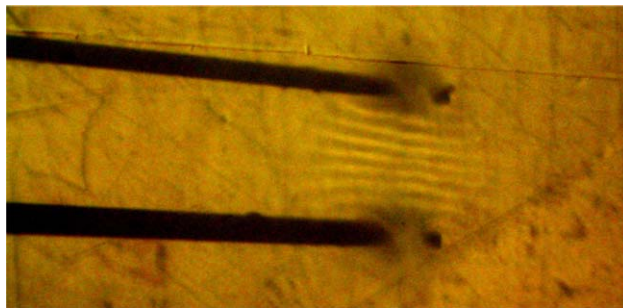
ebből

$$\lambda = \frac{2d}{17} = 0,235 \text{ cm} \approx 0,24 \text{ cm}.$$

A hangvilla ismert frekvenciájának (61,27 Hz) és a víz hullámok hullámhosszának ismeretében annak  $v$  terjedési sebessége is kiszámolható:

$$v = \lambda f = 14,7 \text{ cm/s} \approx 15 \text{ cm/s}.$$

Kérdés, hogy a víz felszínére érintett hangvilla frekvenciája megváltozik-e a szabad levegőn mért értékhez képest. Esetünkben masszív fémnyelű, a végük felé keskenyedő 3 mm vastagságú acél szárokkal rendelkező hangvillát használtunk, amelynek frekvenciája a szárok közötti hullámhosszát – mint azt külön mérések igazolták – hibahatárokra belül változatlanul 61,27 Hz maradt, és így nem befolyásolta a sebességmeghatározást.



3. ábra. Interferenciakép a hangvilla szárai között.

## Konklúzió

Az órai szemléltetések, a fizikai mennyiségek mérése, a jegyzőkönyvek készítése, a megfelelő házi feladatok és a megoldások ellenőrzése, valamint mindezek rendszeres megbeszélése alapján mindinkább megfigyelhető, hogy a tanulók között egyre több szó esik a közös munkáról – a fizika beszédtemává válik még a szünetekben is, és ez az egyik fontos állomás a fizika megkedveltetése során. Ily módon még a gyengébb tanulók is mindinkább aktív részeseivé válnak a tanulási folyamatnak, ami náluk is sikerélményhez vezet.

A kísérleti mérések kidolgozása általában az „Érdekes fizika” szakkörös diákok részvételével, hasznos ötleteik figyelembevételével történtek. Így a szakköri foglalkozások témakörei is többször – az iskola szeretőiben fellelhető és a tanórákon használatos szemléltető eszközök felhasználásával – fizikai mennyiségek mérésére irányultak.

# AKUSZTIKUS LEBEGTETÉS ÉS MÁS KÍSÉRLETEK ARDUINO FELHASZNÁLÁSÁVAL

– avagy ne féljünk tanulni diákjainktól

Komáromi Annamária, Nagy Dániel  
Balassi Bálint Nyolcévfolyamos Gimnázium, Budapest

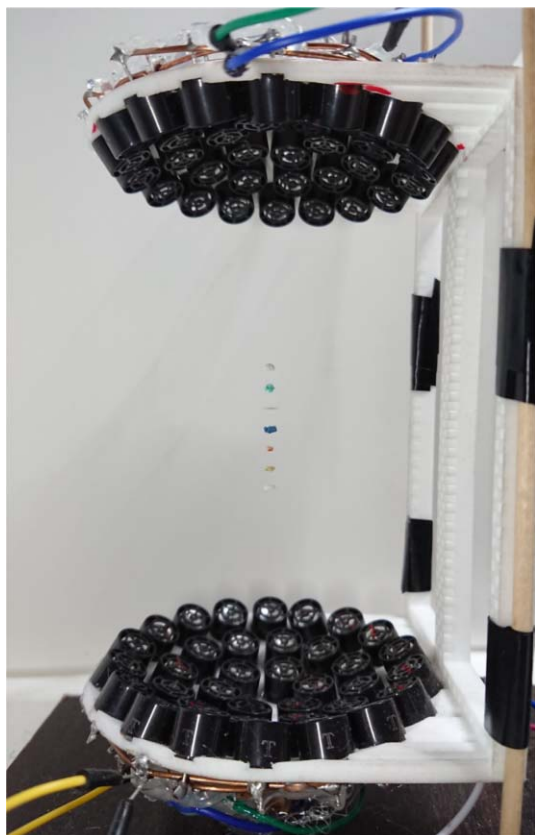
## A kezdet

Néhány éve még csak hallomásból ismertem az Arduinót, de nem használtam. Idegenkedtem a mikroelektronikától – gondolom sok kollégámhoz hasonlóan –, hiszen nem volt dolgom vele, soha sem volt szükségem rá. Az Arduino egy viszonylag olcsó mikrokontroller, amely Magyarországon és külföldről is beszerezhető. C++ programnyelvben magunk írhatunk rá programokat, és nagy előnye, hogy az interneten rendkívül sok segítség található hozzá. Egyik végzős diákom, *Nagy Dániel* még augusztusban azzal keresett meg, hogy akusztikus lebegtetőt szeretne építeni. Nagyon megörültem, mert e témával korábban, régebbi tanítványaim is foglalkoztak, de ők a Bay Zoltán Tudomány- és Technikatörténeti Alapítvány és a

BME Egyesült Innovációs és Tudásközpontja által meghirdetett verseny döntőjében az akusztikus lebegtetőt még csak elméletben ismertették. Nagy Dániel az interneten nagyon jól használható leírást talált a megvalósításhoz, és hozzáfogott egy lebegtető szerkezet elkészítéséhez. Ezzel egy sor Arduino-alkalmazásra épülő kísérleti berendezés készítése kezdődött el.

## Akusztikus lebegtetők

Az akusztikus lebegtető megépítésének első nehézsége a felül és alul 36-36 ultrahangos jeladó elhelyezése alkalmas tartóelem 3D-s nyomtatása volt. Sok utánajárás követően egy cég ingyen vállalta a nyomtatását. Diákom kitartó munkával összerakta a berende-



1. ábra. A levitátor működés közben.



2. ábra. Saját készítésű adagoló csanakok.



3. ábra. Saját tervezésű lebegető.

zést, elvégezte a szükséges forrasztásokat, de elsőre nem sikerült a várva várt lebegés. A leírás ismételt alapos elolvasása után néhány forrasztást szétbontott, majd újraforrasztva az eszköz működőképesé vált (1. ábra). Apró hungarocell- és papírdarabkák lebegtek egymás alatt az ultrahangos jeladók által létrehozott állóhullámok csomópontjai alatt.

A második nehézséget a rendkívül kicsi (1-2 mm) tárgyak lebegtetőbe helyezése jelentette. Kézzel nem nyúlhatunk a lebegtetőbe, mert az befolyásolja a hanghullámokat. Dániel ezért készítette el a 2. ábrán látható eszközöket, amelyek – a kísérlet szempontjából – lényeges része a hurkapálca végére rögzített szűnyoghálódarab. Ezek segítségével a hanghullámok torzítása nélkül, és sokkal könnyebben lehet elhelyezni a tárgyakat a lebegtetőben.

A tanulmány elkészítését a Magyar Tudományos Akadémia Tárgy-pedagógiai Kutatási Programja támogatta.



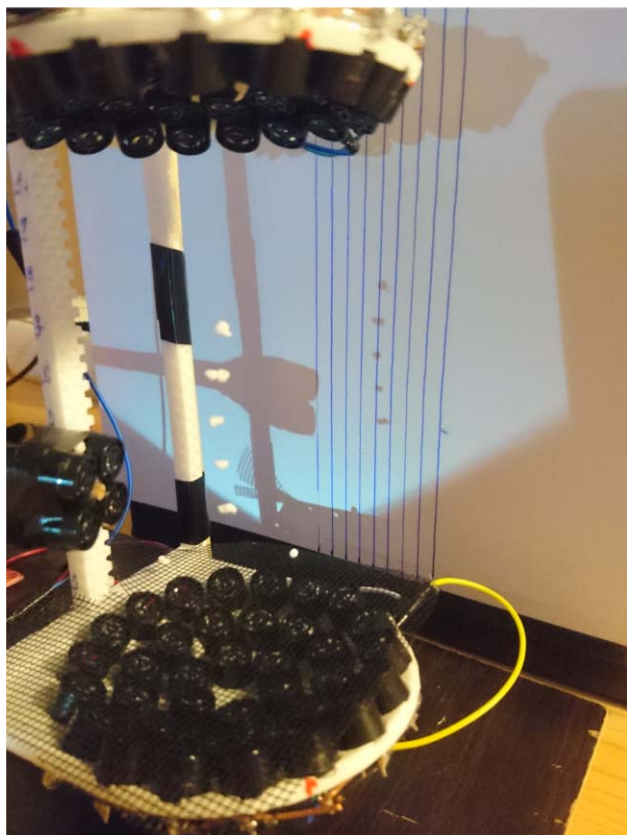
*Komáromi Annamária* a budapesti Balassi Bálint Nyolcévfolyamos Gimnázium matematika-fizika szakos tanára és az ELTE Fizika Tanítása Doktori Iskola hallgatója. Az ELTE-MTA Fizika Tanítása Kutatócsoport tagja.

Az eredeti eszközt tanítványom továbbfejlesztette. Ő már korábban is dolgozott Arduinóval, így neki nem okozott problémát megtervezni és kivitelezni egy tv-távírányítóval vezérelt Arduino-motorral meghajtott kart, amellyel különböző magasságokba tudta behelyezni e kis tárgyakat. Emellett egy kisebb levitátort is készített (3. ábra), amelyet ultrahangos pálcának nevezett el. Ez az eszköz is képes kisebb tárgyakat lebegtetni. Sőt ezen ultrahangos pálca közelítésével és távolításával mozgatni próbálta a tárgyakat, ami szintén sikerült.

Az IYPT versenyen e tanévben a választható témák között az akusztikus lebegtetés is szerepelt. Így ő a versenyre készüléskor saját eszközével tudott különböző kísérleteket végrehajtani. A nemzetközi verseny magyarországi válogatójára 3 jelentősebb kísérletet végzett el a levitátorral, amelyeket előadásában részletesen be is mutatott az akusztikus lebegés általa kidolgozott elméletével együtt. Ezen kísérleteket ott-



*Nagy Dániel* 2018-ban érettségizett a Balassi Bálint Nyolcévfolyamos Gimnáziumban, jelenleg a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem első éves mechatronikai mérnök szakos hallgatója. A 2018. májusban, Belgrádban megrendezett Ifjú Kutatók Nemzetközi Konferenciáján (ICYS) III. díjat, bronzérmet szerzett. 2018 júliusában Pekingben, a bronzérmes magyar csapat tagjaként részt vett az Ifjú Fizikusok Nemzetközi Versenyén (IYPT).

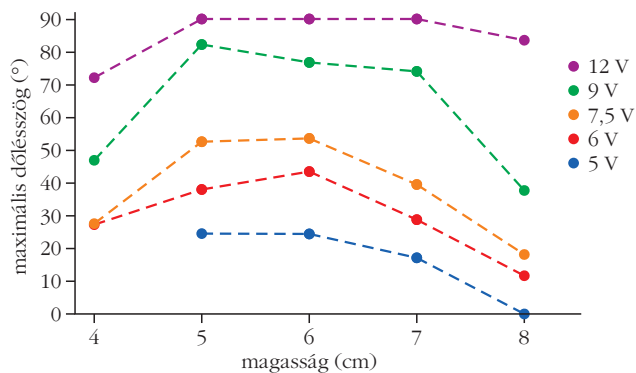


4. ábra. A lebegő tárgyak árnyékának vizsgálata.

hon vagy az iskolában, osztálytársai közreműködésével végezte el. A 4. ábrán láthatjuk, hogy miként vizsgálta a tárgyak árnyékát. A levitátortól távol elhelyezett egy zseblámpát, majd a lebegtető mögött közvetlenül egy 5 mm-es beosztású papírlapot (4. ábra). Látható, hogy az árnyékok és így a lebegő tárgyak közötti távolság állandó. Ezt megmérve (4,25 mm) kiderült, hogy ez pontosan – és persze várhatóan – a jeladók által kibocsátott ultrahang 8,5 mm-es hullámhosszának fele.

Sokan kérdezték tőle, hogy a megdöntött a levitátorban is lebegnek-e a kis hungarocelldarabok. Az ezzel kapcsolatban végzett kísérlet eredményeit az 5. ábra grafikonja mutatja. Láthatjuk, hogy a feszültség növelésével egyre meredekebben dönthetjük a levitátort anélkül, hogy a tárgy kiesne. Továbbá megfigyelhető, hogy a lebegtető tér közepén (6 cm közelében) elhelyezett tárgyak stabilabban lebegnek, néhány esetben még 90°-os dőlésszög mellett sem estek le. Dániel az IYPT csapatba kerülve – ELTE-n tanító mentora, *Ispánovity Péter Dusan* segítségével – az akusztikus levitáció elméletét részletesebben kidolgozta, és számos új kísérletet végzett el. Például sikerült a lebegtetőben lévő nyomáskülönbségeket láthatóvá tenni.

Iskolánk majd minden évfolyamán fizikaórai előadást tartott kísérleteiről, amelyeknek komoly motiváló hatása volt a fiatalabbakra. Például két diák elhatározta, hogy a fizikaszakkörön drónt épít Arduino segítségével.

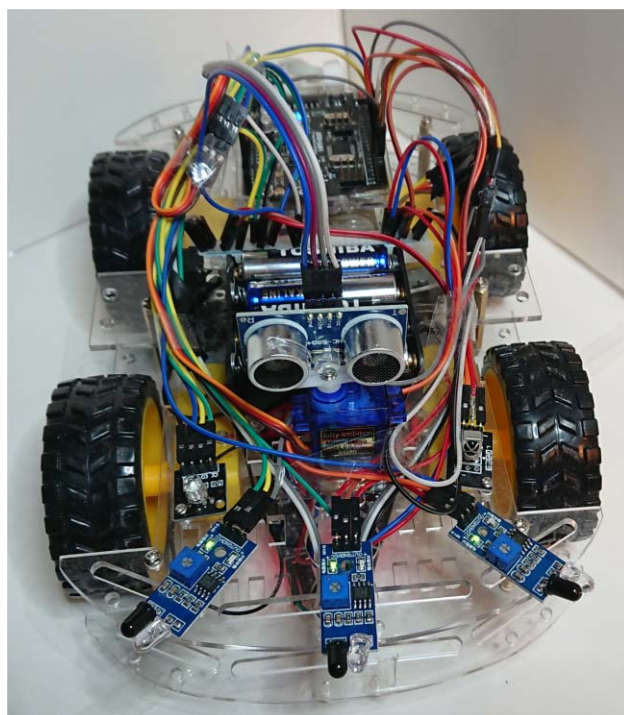


5. ábra. A levitátor elforgatásának maximális szöge, amikor még nem esnek ki a lebegtetett hungarocelldarabkák, azok behelyezési magasságának függvényében, az ultrahangos jeladókra adott különböző feszültségek mellett.

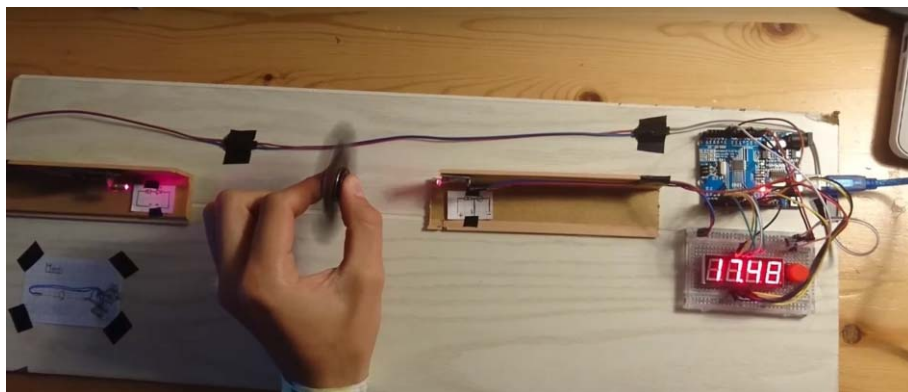
## Járművek és robotok

Dániel – az IYPT versenyre való készülés mellett – az Arduino mikrokontroller segítségével egy „autonóm” járműmodellt is készített (6. ábra). Az általa épített jármű legfontosabb tulajdonsága, hogy egy kijelölt irányt, az útba eső akadályok kikerülésével önmaga képes tartani. Továbbá követni tudja a vonalakat vagy a falakat, de kézzel is irányítható. A jármű elejére 3 infravörös érzékelőt – amelyek kis távolságról képesek észlelni az eléjük kerülő tárgyakat – helyezett el. A jármű alján két feketeszín-érzékelő szenzor található, ezeket a vonalkövetésnél használja. A környezet pontosabb felméréséhez egy forgatható, ultrahangos távolságmérőt – ez centiméteres pontossággal képes meghatározni a legközelebbi tárgy távolságát – is tartalmaz a modell. A modell elkészítésének legnehe-

6. ábra. A szenzorokkal teletűzdelt, önműködő autó.







7. ábra. Fidget-spinner fordulatszámának mérése Arduino segítségével.

tük lévő kapcsolatot. A kísérlet egy általa kidolgozott eszközre épült, amely – egy Arduino és egy lézer segítségével – az előbb említett játék forgási frekvenciáját képes megmérni. Azon a délelőttön egy egyszerűsített változatot építettek, hiszen az automatikus adatelemzés elkészítése túlságosan időigényes lett volna. A kísérlet során lézerrel egy fényérzékelő szenzort világítunk meg, amelynek elektromos ellenállása ekkor

zebb része a programozás volt, hiszen össze kellett hangolni a szenzorok működését, és a programnak egyszerre több funkciót is tartalmaznia kellett. Tanítványom e modellel bekerült a Tudományos Diákkörök Kárpát-medencei Konferenciájának döntőjébe, és ott első díjat kapott.

## Arduino-délelőtt az iskolában

Szerettem volna, ha iskolánkban Arduinóval későbbiekben is foglalkozó diákcsoport alakulna. Ezért megbeszéltem Dániellel, hogy az egyik tanítás nélküli munkanapot Arduino-délelőttnek hirdetem meg, és e napon intenzív, interaktív bemutatót tart az Arduino használatáról. Megbeszéltük, hogy a tanulók több csoportban fognak dolgozni.

A foglalkozás előtt jópár nappal megkaptam tőle, hogy milyen eszközökre lesz szüksége, ugyanis a délelőtt végére minden csoporttal egy-egy kész kísérleti összeállítást tervezett készíteni, majd fizikai mérést végezni velük. Prezentációval is készült, amelyben nagyon jól felépített ismertetés és tematikus összeállítás volt az Arduinóról. Lépésről lépésre mutatta be az Arduino lehetőségeit és programozásának elvét.

A foglalkozás végére a csoportok egy-egy fidget-spinner (néhány fordításban kézi bűgöcsiga) fordulatszámát mérték meg az Arduino, egy zseblámpa és egy fényérzékelő szenzor segítségével (7. ábra). Az értékeket számítógépre vitték, és ott elemezték a közöt-

megváltozik. A lézer útjába helyezett és megpörgetett kézi bűgöcsiga bizonyos időközönként kitarolja a lézert, illetve átengedi a fényt, ekkor a fényérzékelőn eső feszültség megváltozik, amit az Arduino képes érzékelni. A csoportok egy-egy ilyen, 500 adatból álló kísérletet végzett el – az Arduino 1 milliszekundumonként mért és szolgáltatott egy adatot. A grafikonon az egyik mérés eredménye látható (8. ábra).

A diákok megszámozták, hogy 500 ms alatt hány kitarulás történt, így megkapták a forgási frekvenciát, majd abból a fidget-spinner kerületi sebességét.

A fiatalabb diákok egy részét annyira elbűvölte a foglalkozáson hallottak, hogy hazaérve többen kérték szüleiket, rendeljenek Arduino-tartozékokat. Azóta egyikük fényorgonát készített Arduino felhasználásával. Itt jegyzem meg, hogy aki érdeklődik, az a hivatalos <http://arduino.cc> weboldalon további angol nyelvű információt találhat, de egyre több leírás magyarul is elérhető. További jó hír, hogy az Arduino-termékek már Magyarországon is megvásárolhatók.

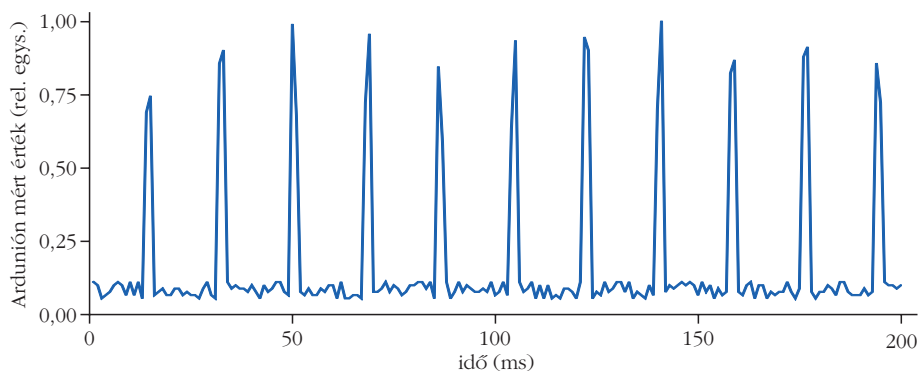
## Arduino és LEGO

Az Arduino mellett iskolánkban diákok robotikával is foglalkoznak. Egy háromfős hetedik osztályos csapatunk – LEGO EV3 robot segítségével – akváriumtisztító robotot épített (9. ábra). A robot nem vízálló, így tervezésekor a legnagyobb fejtörést az okozta, hogyan védjék meg a víztől. A fizikateremben meglátott apró mágnesek adták az ötletet: egy belül kivájt szivacsba

mágnes tesznek, a szivacs belülről tisztítja az akváriumot, a szivacsot pedig a benne lévő mágnes segítségével az akvárium külső oldaláról irányítja a robot.

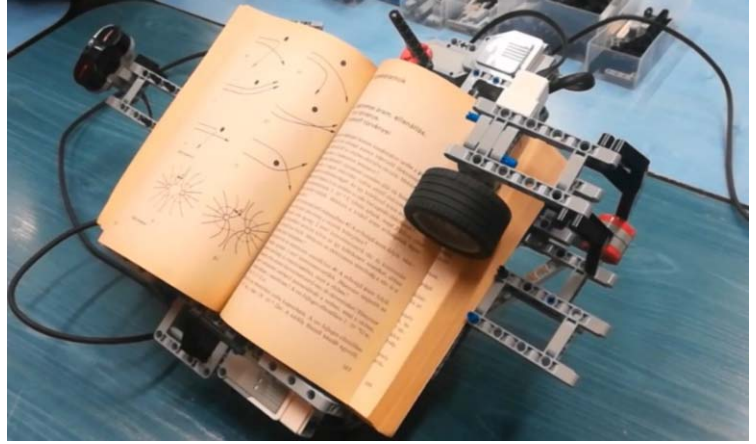
Egy másik, szintén hetedik-es csapat ugyanilyen LEGO robot felhasználásával kezle-gyintéssel vezérelt könyvlapozó robotot készített (10. ábra). A nehézséget egyrészt a statikai problémák, másrészt a precíz – valóban csak egyla-

8. ábra. A fidget-spinner forgásából adódó, fényérzékelőn mérhető feszültség-idő grafikon.

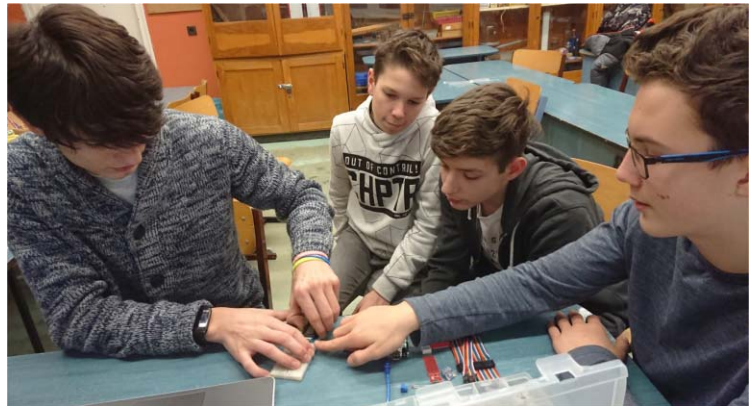




9. ábra. Az akváriumtisztító robot működés közben.



10. ábra. Könyvlapozó robot.



11. ábra. A 12-es diák és a 7-es diákok meteorológiai állomást készítenek.

pos lapozás – megvalósítása jelentette. A LEGO robotot Arduino segítségével még további funkciókkal egészítették ki. Fotoszenzorral nézi a fényerősséget, és ha túl sötét van, akkor bekapcsolja a világítást, hogy jobban lehessen látni a betűket. Arduinóval összekötve robotukat okos könyvjelzővel is kiegészítették.

## Meteorológiai adatgyűjtő állomás

Iskolánkban *Pető Mária* sepsiszentgyörgyi fizikatanár kollégánk útmutatása alapján – ismét más diákok bevonásával – meteorológiai állomás is készült. A fizikatanítás során kollégáimmal majd jól tudjuk használni, illetve – a tervek szerint – későbbiekben, az adatokat továbbítva, egy nemzetközi programba is be tudunk kapcsolódni. A meteorológiai állomást a kisebbek közreműködésével készítette el Nagy Dániel (11. ábra). Az eszköz egy Arduino Mega mikrokontrollerre épül, és egy külső, valamint egy szobai egységből áll. A kinti egység hőmérő, páratartalom-mérő, UV-fényérzekező és csapadékérzekező szenzort tartalmaz. A bent pedig hőmérőt, nyomásmérőt, illetve egy, a mért adatokat megjelenítő kijelző található. Tervezzük, hogy az adatokat USB porton keresztül lehessen lementeni, illetve, hogy az adatok a későbbiekben interneten keresztül is elérhetőek legyenek.

## Összefoglalás

Az elmúlt hónapok során egyik bámulatból a másikba estem diákjaim ügyessége, kreativitása láttán. Ez a tapasztalat engem két nagyon fontos dologról győzt meg. Nekünk, fizikatanároknak az a feladatunk, hogy koordináljuk diákjainkat, bátorítsuk őket ötleteik végrehajtásában, és ha elakadnak, találjuk meg a segítség módját, vagy azt akitől segítséget tudunk kérni. A megfelelő csatornák léteznek, hiszen például az ELTE Fizika Tanítása Doktori Iskola előadásai nyilvánosak, itt tanácsot kérhetünk, hogy egy-egy konkrét témában kihez forduljunk segítségért, ha elakadunk. Másik fontos tapasztalat, hogy a fiatalabb diákokra rendkívül jó hatással van, ha idősebb társuk példáját látják. Nekünk, tanároknak kell összehoznunk a különböző korosztályokat, hogy a tapasztaltabb diáknak lehetősége legyen átadni ismereteit a fiatalabbaknak. Tehát sokszor nem célravezető az gyakorlat, hogy teljesen elkülönítjük a kisebbeket a nagyobbaktól, mert például e területen nagyon hálásak, ha lehetőséget kapnak együtt gondolkodni, egymástól tanulni.

### Irodalom

<http://www.instructables.com/id/Measuring-the-Speed-of-a-Fidget-Spinner>  
<http://www.instructables.com/id/Acoustic-Levitorator>