

Nem-hagyományos értelemben vett modern fizika a középiskolában

Doktori értekezés

Baranyai Klára

Témavezető:

Dr. Néda Zoltán egyetemi tanár

Dr. Tél Tamás egyetemi tanár

**Eötvös Loránd Tudományegyetem
Természettudományi Kar**

**Fizika Doktori Iskola
Vezető: Dr. Palla László**

**Fizika Tanítása Doktori Program
Vezető: Dr. Tél Tamás**

2015.

Tartalomjegyzék

Bevezető	4
A „nem-hagyományos értelemben vett modern fizika”	4
A kvalitatív szinten tárgyalható jelenségek fontossága a tanításban.....	5
Az oktatás, ezen belül a tehetséggondozás új formái	7
A doktori értekezés fejezetei	8
1. A hőterjedés jelentőségének bemutatása két környezetfizikai példán	12
1.1 Jégkockák olvadása édes és sós vízben Kísérlet a hosszan úszó jéghegyek olvadásának szemléltetésére	12
1.2 Felülről fűtött folyadékok Kísérlet a tavak, tengerek melegedésének szemléltetésére	15
2. Kilökődési jelenségek vizsgálata	19
2.1 A vizsgált jelenségek	19
• A filteres kávéfőző és a működését bemutató modell	19
• A gyertyahajtású játékhajó működése	21
• A gejzírek működése	22
• Módszertani tapasztalatok	25
2.2 Mérések a kávéfőzőmodellel.....	29
2.3 A modell leírása	32
3. Folyadékfizika a tehetséggondozásban	38
3.1 Lebegés a nyugvó vízfelszínen.....	40
3.2 Vízszög alatt lebegő korong.....	43
• A jelenség és a magyarázata.....	43
• Mérési feladat a Középiskolai Matematikai és Fizikai Lapokban.....	48
• A hidraulikus ugrás elkerülhetetlensége.....	50
4. Önszerveződés és lavinák a szakköri munkában	54
5. Hőkamera a fizikatanításban	62
5.1 A kamera	63
5.2 A vizsgált jelenségek	64
• A mechanikai munka hővé alakulása	64
• Az elektromos áram hőhatása.....	66
• Gáztörvények.....	67
• Halmazállapot-változások	68

• Hőterjedés	69
• Hőoptika	71
• Kémiai reakciók.....	72
• Közlekedés	73
• Iskolai életképek.....	73
5.3 A honlap	74
6. Fizikatábor	77
6.1 Az önképzőkör és a tábor bemutatása	77
6.2 Két önképzőköri projekt bemutatása	83
Összegzés	90
Summary	91
Köszönetnyilvánítás.....	92
Mellékletek	94
A Függelék	94
B Függelék	97
C Függelék	106
• A fizikatáborok programja táblázatos formában	106
• Tábori feladatsorok.....	111

Bevezető

A „nem-hagyományos értelemben vett modern fizika”

Napjainkban a tudomány, és főleg a tudományos eredmények technikai alkalmazása rohamléptekkel halad előre. A bennünket körülvevő modern dolgok egyre bonyolultabbak, a működésük egyre kevésbé érthető az átlagember számára. Az utca embere egyre távolabb kerül a tudományos eredményektől, és bár számtalan ismeretterjesztő csatorna próbálja a tudomány eredményeit eljuttatni a laikusokhoz, általában csak valami homályos érzés marad meg a hallgatóban vagy olvasóban, hogy a dolog olyan bonyolult, hogy csak a nagyon okos emberek érthetik meg. A modern fizika kifejezés hallatán pedig egyenesen az az érzés keríti a laikusok egy részét a hatalmába, hogy valami olyan dologról van szó, ami a tudományos-fantasztikus világ határait súrolja, és már a vizsgálódás tárgyát sem tudja jól elképzelni. A bennük élő kép szerint a fizikusok valami nagyon elvont dologgal, a mikrovilággal vagy a teljes Univerzummal foglalkoznak, és mindezt legalábbis a görbült térben, kvantumugrásokkal és ijesztő fekete lyukakkal körülveve teszik. Nem is gondolnak arra, hogy a ma dolgozó fizikusok jelentős része ismerős, barátságos, kézzelfogható jelenségeket vizsgál. Nagyon sok olyan hétköznapi jelenség vesz körül bennünket, amelyeknek a leírására, magyarázatára csak az utóbbi időben vállalkozhatott a fizika, mert eddig nem volt meg a megfelelő fogalomrendszer, vagy esetleg hiányoztak a mérőeszközei, illetve a gyors adatfeldolgozás és a végigszámolható modellek lehetősége. Ezek a jelenségek mégsem tartoznak a középiskolai tanmenetek „modern fizika” fejezeteibe, hiszen amikor a tanmeneteink kialakultak, a tanítandó ismereteket összegyűjtötték, jóval a számítógépek elterjedése előtt, ezek még nem voltak a fizika vizsgálódásának homlokterében. A ma tanító fizikatanárok képzéséből is hiányoznak ezek a fejezetek. Ezért ezek a témák, amelyek közül nem egy tudományok határterületeire esik, rendszerint meg sem jelennek a fizikaórákon, legfeljebb földrajz-, biológia- vagy számítástechnika-órán kerülnek elő érintőlegesen, mint érdekességek.

A kvalitatív szinten tárgyalható jelenségek fontossága a tanításban

A fizikatanítás egyik problémája, hogy a kevésbé érdeklődő és matematikailag alacsony szinten álló gyerekek csekély motivációja nem teremti meg azt a kitartást, ami elegendő ahhoz, hogy a hagyományos módon eredményesen taníthassuk őket. A megszokott úton haladva a törvények elsajátítása után a számításos feladatokon keresztül jutunk el a mélyebb megértésig, majd visszakanyarodunk a valósághoz, és örömet találunk abban, hogy a leírt jelenségeket megfigyelhetjük a környezetünkben is. A tehetséges, érdeklődő diákok számára ez most is járható út, de nagyon sok olyan csoportot tanítunk, ahol a régen jól bevált módszer nem működik. Iskolámban a humán és nyelvi tagozatos osztályokban nagyon sokszor küszködnek a természettudományokat oktató tanárok ezzel a problémával. Ezekben az osztályokban a számításos feladatokkal való foglalkozás szinte reménytelen. Matematikaórákon megtapasztalhatjuk, hogy az egyik legnagyobb mumus ezekben a csoportokban a „szöveges feladat”, vagyis, amikor a valóság egy kiragadott és leegyszerűsített részletéhez további absztrakcióval matematikai modellt kell társítani, ez alapján egyenleteket kell felállítani, és azokat megoldani. A fizikafeladatok pedig tipikusan ebbe a kategóriába tartoznak, esetleg még azzal is nehezítve, hogy azok az alkalmazott mennyiségek, amelyekről az egyenletek szólnak, maguk is absztrakció útján, sokak számára nehezen érthető módon definiálódnak. (például az energia, munka, hőmennyiség, impulzus...). Ugyanakkor ezekben az osztályokban is nagyon fontos lenne megmutatni, hogy a környezetünkben lejátszódó jelenségeket természeti törvények határozzák meg, és a folyamatokat szigorú ok-okozati összefüggések segítségével érthetjük meg.

A fejlődő technika sok olyan eszközt ad a kezünkbe a kapu távirányítójától kezdve az indukciós tűzhelyen át a számítógépekig, amelyeknek a működését már nem értjük. Rengeteg tudományos és technikai eredmény vezet ezeknek a szerkezeteknek a létrehozásához, a működésüket már csak ezért is reménytelen feladat lenne aprólékosan megérteni. Ha egyáltalán rákérdezzük, a legtöbbször megelégszünk valamilyen elnagyolt magyarázattal, ami mögött érződnek a kidolgozatlan részletek, amelyeknek a feltárása nagyon idő- és energiaigényes feladat lenne. Eközben szaporodnak az olyan „találmányok” is, amelyek kétes alapokra épülnek, nem bizonyított a hatékonyságuk, és működésük magyarázatát szkeptikusan kell fogadnunk. Általában ezek a magyarázatok homályosak, hosszadalmas, tudományos köntösbe bújtatott fejtegetések, amelyek háttérben többnyire valamilyen turpisság áll. A témában járatlan ember számára sokszor nehéz feladat különbséget tenni a valódi és az áltudomány között. Megfelelő tudás híján szakértőkhöz fordulunk ilyenkor, akiknek a

véleményében megbízunk. Diákjainkat arra kell terelnünk, hogy a tudományos alapokon nyugvó magyarázatot tartsák hitelesnek, és ne az áltudósokat tartsák szakértőknek. Ha minél több olyan hétköznapijainkból ismert eszközt, jelenséget mutatunk meg nekik, amelyek a megtanult egyszerű törvények segítségével apró lépésekre bontva megérthetőek, megfejthetőek, még a humán és nyelvi osztályokban is közelebb juthatunk a célunkhoz. Ezekben a csoportokban olyan jelenségeket érdemes választanunk, amelyek kvalitatív módon is tárgyalhatóak. A dolgozat olyan jelenségeket is bemutat, amelyek lehetővé teszik a kvalitatív megközelítést, a magyarázatok megtalálása akár humán érdeklődésű osztályokban is alkalmas a kvalitatív, mégis szigorúan tudományos, logikus gondolkodás fejlesztésére.

A tanítás szempontjából fontos probléma a megértés, a tudás ellenőrzése, és a számonkérés. Néhány évtizede a házi feladatok, fizikadolgozatok jobbra csak számításos feladatokat tartalmaztak. A fizikaversenyek többnyire ma is számításos feladatmegoldó versenyek, ami a tehetséges gyerekek számára megfelelő, ám az alacsony motivációjú csoportokban ez az út nem járható. Ezekben az osztályokban szükség van a kvalitatív tárgyalásmódot leképező feladatok kitalálására. A ma használatos feladatgyűjtemények csak elvétve tartalmaznak ilyen feladatokat. Nem alakult ki még olyan feladatbázis, amely a jelenségek leírásának reprodukálásától a bonyolultabb következtetések levonásáig, a megtanult ismeretek újfajta környezetben történő alkalmazásáig terjed. A kétszintű érettségi bevezetésével a számításos feladatok mellett elterjedtek a feleletválasztós feladatok, középszinten a jelenségértelmezés, illetve az adatok feldolgozására épülő táblázat és grafikonok segítségével megoldható feladat, emelt szinten pedig az esszéírás. Ezek egy része egyszerűen a megtanultak reprodukálását kéri számon, de vannak gondolkodtató, kreativitást igénylő feladatok is. Az ilyen típusú feladatoknak a nem érettségiző, nem műszaki irányban továbbtanuló diákoknál is fontos szerepe lenne, talán még fontosabb, mint a természettudományos, műszaki pályára készülő diákok esetében. Az utóbbi csoporttól ugyanis mind a felsőoktatási intézmények, mind a középiskolai tanárok elvárják, hogy a megfelelő matematikai modellalkotási készséggel rendelkezzenek, vagyis a számításos feladatok terén is jó teljesítményt nyújtsanak. A dolgozat kilökődési jelenségek vizsgálatával foglalkozó fejezetében néhány kvalitatív tárgyalásmódot leképező feladatot találhatunk, a hozzájuk tartozó módszertani tapasztalatok leírásával.

Az oktatás, ezen belül a tehetséggondozás új formái

A tehetséggondozás hagyományosan elterjedt, több generáció számára legjobban bevált formája a feladatmegoldás. A megtanult törvények ismeretlen szituációkban történő rafinált alkalmazása, a felállított egyenletek végigszámolása, az egyre nehezedő problémák megoldása eredményesen fejleszti a fizikai szemléletet és elmélyíti a megszerzett tudást. A feladatmegoldásban a sikerek eléréséhez azonban rutinra, elmélyülésre, és sok időre van szükség.

Tanárként legtöbbször feladatmegoldó szakkör keretében próbálunk megfelelő körülményeket biztosítani mindehhez, és egyre többször tapasztaljuk, hogy a gyerekek, még a legtehetségesebbnek tartottak sem kaphatóak efféle munkára. Gondolhatunk a diákokat terhelő magas óraszámokra, ami a 8-9. órában tartott szakkörök eredményességét csökkenti. De valószínűleg szerepe van a régi módszerek kudarcában a gyerekeket érő hatalmas, állandó információmennyiségnek is, ami talán felszínesebbé tette az átlagos diákok érdeklődését. A gyerekek életmódját és tanulási szokásait megváltoztatta a virtuális világ, ahol rövid, erős impulzusok érik őket, majd egy kattintással már tovább is léphetnek anélkül, hogy megemésztették volna a látottakat. A megváltozott körülmények között a tehetséggondozásban is új módszereket kellett találnunk. A feladatmegoldás, mint a megszerzett tudás elmélyítésének legfontosabb terepe nem került ki a tanári eszköztárból, de mellette új formákat keresünk. A modern, divatos pedagógiai eszközök széles tárházával ismerkedhettek meg a tanárok az elmúlt években a központi oktatásirányítás jóvoltából. Különböző kompetencia-alapú, csoportmunkára építő, informatikai eszközöket felvonultató, felfedezettető, kíváncsiság-vezérelt... módszerek elterjesztésével próbálkoztak az oktatáskutató szakemberek. Ezek közül sokat kipróbáltak a tanárok, és nagyon sok rögtön ki is hullott a gyakorlat rostáján, vagy azért, mert kivitelezhetetlenek a nagy létszámú osztályokban, vagy alacsony hatékonyságúnak bizonyultak a magyar iskolarendszerben, esetleg azért, mert a pedagógusok jelenlegi terhei mellett irreálisan sok előkészületet követeltek volna meg a tanároktól. A próbálkozásokból leszűrhattuk azt a tapasztalatot, hogy csak olyan tanulási formákat érdemes erőltetni, amelyek jól illeszkednek az átadandó tartalomhoz, és nem szabad szem elől tévesztenünk, hogy ebben a kérdésben a tartalomnak kell a meghatározó elemnek lennie az oktatási folyamatban.

A doktori értekezés fejezetei

Doktori dolgozatom első négy fejezetében, néhány olyan bennünket körülvevő, hétköznapi jelenséget jártam körül, amelyekkel a tudomány csak az utóbbi időben foglalkozott behatóbban, vagy ha foglalkozott is korábban, a téma most került az érdeklődés középpontjába. Megvizsgáltam, hogy ezek a „nem-hagyományos értelemben vett modern fizika” fejezetébe sorolható témák hogyan alkalmazhatóak a középiskolai fizikaoktatásban. Tanulmányoztam, hogy az egyes jelenségek hogyan illeszthetők be az általános tanórák menetébe, illetve hogyan használhatóak a tehetséggondozásban. Igyekeztem olyan tanítási egységeket, modulokat létrehozni, amelyek alkalmazhatóak az órákon, szakkörökön. Ennek megfelelően a témák egy része esetén az általános és a tehetséggondozó szintnek megfelelő módszertani ajánlásokat dolgoztam ki.

1. A hőterjedés jelentőségének bemutatása két környezetfizikai példán

A környezeti fizika sok olyan jelenséget kínál, amelyek bár mindennapjainkra hatással vannak, a tudomány csak mostanában kezdett el foglalkozni behatóan velük. Ezek a jelenségek általában földrajzórán kerülnek előtérbe, többnyire leíró jelleggel, vagy elnagyolt magyarázattal. Különösen alkalmasak a középiskolai tárgyalásra a hőterjedéshez kapcsolódó jelenségek, hiszen hétköznapi szemlélettel is megérthetőek, gyakran mégis meglepő vonásokat mutatnak.

Ebben a fejezetben két kísérletet mutatok be, amelyek újszerűek, látványosak, alkalmasak az általános, vagy kifejezetten humán érdeklődésű osztályok figyelmének felkeltésére is. A kísérletekben a hőáramlás láthatóvá válik, az általuk modellezett környezeti jelenségek kvalitatív módon tárgyalhatóak. A fizika iránt mélyebben érdeklődő tanulócsoportokban a megfigyelésen túl méréseket is végeztem a diákokkal.

2. Kilökődési jelenségek vizsgálata

A komplex jelenségek közé sorolhatjuk azokat a kilökődési jelenségeket, melyeket a második fejezet tárgyal. A hétköznapi élet három eltérő területéről kapcsol össze látszólag távol álló jelenségeket: az úgynevezett amerikai, filteres kávéfőzőt, a gyertyahajtású kishajót és a gejzíreket. Mindhárom esetben egy vízzel teli csőben időről időre bekövetkező forrás okozza a kilökődéseket. A jelenségek jobb megértését segíti a három terület együttes tárgyalása, valamint a hozzájuk épített modellek órai bemutatása. Az általános érdeklődésű

osztályokban a jelenségek megértését tűztem ki célul. A jelenségek megértése alapszinten nem tartalmaz számításokat, mégis, komplexitásukkal lehetőséget adnak a fizikai gondolkodás elmélyítésére. Segédanyagként leírásokat készítettem a diákok számára, és olyan számítások nélküli, a kvalitatív tárgyalást leképező feladatokat dolgoztam ki, amelyekkel jól ellenőrizhető, hogy a gyerekek mennyire értették és tanulták meg az órán megbeszélteket.

A tehetséggondozás keretei között a kávéfőző-moddellel méréseket végeztem. A mérési eredmények alapján Néda Zoltán témavezetőm segítségével egy félig empirikus, mechanikai modellt állítottam fel, amelyre számítógépes programot írtam. A mérések egy részét a diákokkal megismételtük. A modell felállítása és a számítógépes szimuláció elkészítése túlmutatott a középiskolai kereteken, de a modell megértése, a szimuláció futtatása, az eredményeinek a mérésekkel történő összevetése a diákokkal közösen is megtörtént.

3. Folyadékfizika a tehetséggondozásban

A folyadékfizika az elmúlt években kiszorult az érettségi követelmények közül, ám a terület gyakorlati jelentősége miatt 2017-től újra visszakerül a követelményrendszerbe. A dolgozat harmadik fejezetében két folyadékfizikai kísérletet mutatok be, amelyek lehetőséget nyújtanak a folyadékfizika alapvető jelenségeinek bemutatására. Emellett találkozhatunk a hidraulikus ugrás jelenségével, amelyet a fizika már egy ideje ismer, ám teljes megértése még mindig a kutatók előtt álló feladat. A kísérletek bemutatása megfigyelése bármely tanulócsoporthoz számára hasznos, de a téma mélyebb körüljárására a tehetséggondozás keretei között nyílt lehetőség. A kísérletek azért is érdekesek, mert leírásuk részben vagy egészben hibás, széles körben elterjedt magyarázatok csapdáját rejtik magukban.

4. Önszerveződés és lavinák a szakköri munkában

A lavinák kialakulásának megértése, modellezése is az utóbbi 30-40 évben lett a fizikai kutatások aktív tárgya. A jelenségekört a kutatók önszerveződő kritikusság gyűjtőnéven emlegetik. Megvizsgáltam, hogy a lavinákat leíró homokdomb-modell hogyan vihető be a középiskolai fizikatanítás keretei közé. A lavina kialakulása kicsiben szépen megfigyelhető a manapság divatos mágneses homokórák működését figyelve. Az óra aljában a kritikus állapotot elérő vasreszelék-halom tetején egyetlen kis szem lepergése a legváltozatosabb méretű lavinákat indíthatja el a halom oldalán. Maga a modell nem igényel mélyebb előismereteket, a működés mechanizmusa könnyen megérthető. A tapasztalat szerint a számítógépes szimuláció programozása sem jelent megoldhatatlanul nehéz feladatot a

számítástechnikát emelt szinten tanuló diákok számára. A tehetséggondozásban projekt munka keretében foglalkoztunk a homokdomb-modellel. Számítógépes programot írtunk diákjaimmal, amely nemcsak megjelenítette a modellben lefutó lavinákat, hanem statisztikát is készített a kialakuló lavinák hosszának eloszlásáról. Így mód nyílt a tudományok egyre több területén felbukkanó hatványeloszlás megismertetésére is.

5. Hőkamera a fizikatanításban

Napjaink egyik széles körben alkalmazott modern és izgalmas mérőeszköze a hőkamera. Az iskolában kipróbált új oktatási forma, az úgynevezett témahét keretén belül egy tizenegyedikes diákcsoporttal három napon át készíthettünk felvételeket egy projekt keretében. Olyan kísérleteket végeztünk el és vizsgáltunk meg a kamerával, amelyek már korábban megtanult törvényeket támasztottak alá. A vizsgált folyamatok nagy részében a hőmérsékletváltozás rövid idő alatt, vagy nagyon kis helyen játszódik le, hagyományos hőmérővel nagyon körülményes a kimutatása. Az érzékeny hőkamera lehetőséget adott arra, hogy az elvont fogalmakkal történő leírás mellett láthatóvá is tegyük a hőmérsékletváltozást. Ez az élmény, bár nem kételkedtünk a tanultakban, mégis megerősítette a megtanult törvények hitelét.

6. Fizikatábor

Iskolámban a tehetséggondozás hagyományos feladatmegoldó szakköri formáján kívül szükségét éreztük új módszerek kipróbálásának is. Fizika munkaközösség-vezetőként kollégáim együttműködésével olyan tehetséggondozó programot dolgoztam ki, amely egyesíti a projektmódszert és a szakmai tábort. A tanév során a diákok kis csoportokban különböző témákon dolgoznak, majd a tanév végén közös táborozáson vesznek részt. A táborban egyéb programok mellett a gyerekek bemutatják egymásnak a munkájuk eredményét, előadásokat tartanak. Ezzel természetes lezárást kapnak a projektfeladatok, ugyanakkor a szakmai tábor programjának aktív alakítóivá, és nem csupán befogadóivá teszi a gyerekeket. A közös munkában a fizika munkaközösség valamennyi tagja részt vesz. A projektfeladatok kijelölésénél általában olyan témákat igyekszünk kiválasztani, amelyek nemcsak a gyerekeknek, hanem nekünk, tanároknak is rejtegetnek újdonságokat. Így a tábort megelőző hónapok és a tábor négy napja igazi műhelymunkával telhet mind a 45 résztvevő diák és a hét fizikatanár számára.

A dolgozat előző fejezetei közül több fizikatábori projektfeladathoz kapcsolódik, emellett ebben a fejezetben még két általam vezetett csoport munkáját mutatom be.

1. A hőterjedés jelentőségének bemutatása két környezetfizikai példán

A hőterjedés sem szerepelt sokáig a középiskolai tantervben és az érettségi követelményrendszerben, de az új kerettantervekben és a 2017-ben életbe lépő érettségi követelmények között már ismét megtalálhatjuk. Fontosságát nehéz lenne vitatni, hiszen a környezettudatosság megalapozásához elengedhetetlen a hőterjedés formáinak ismerete. Példaként említhetjük, hogy a lakossági energiafelhasználás durván fele a lakótér temperálására fordítódik, ezért nagyon fontos a takarékoság lehetőségeinek megismertetése. De a környezetünkben lejátszódó időjárási folyamatok, vagy a mindannyiunkat érintő globális klímaváltozással kapcsolatos hírek megértése sem képzelhető el a hőterjedés formáinak ismerete nélkül.

Az alábbiakban két egyszerű, olcsó eszközökkel elvégezhető, újszerű, látványos kísérletet mutatok be, melyekkel nem találkozhatunk a tanítási gyakorlatban [8]. Mindkettő szorosan kapcsolódik a tengervíz hőmérsékletének alakulásához, kis méretekben szemléltetik a tengerekben kialakuló hőáramlást, annak láthatóvá tétele által szemléletformáló hatásukat emelhetjük ki.

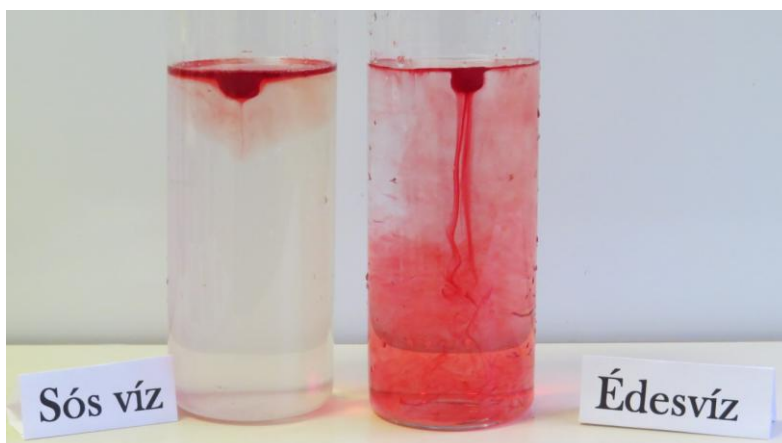
1.1 Jégkockák olvadása édes és sós vízben

Kísérlet a hosszan úszó jéghegyek oladásának szemléltetésére

Egy kémia tanár kolléga észrevette, hogy sós vízben a jégkockák sokkal lassabban olvadnak el, mint azonos hőmérsékletű édesvízben. Az olvadási idők különbsége egy főzőpohárnyi víz esetén akár 15-20 perc is lehet. Miután a jelenséget kipróbáltam, és rájöttem a magyarázatra, olyan kísérletet találtam ki, amellyel a megértés megkönnyítésére láthatóvá tudjuk tenni a jégkockák olvadása közben lejátszódó folyamatokat.

A jelenség okának feltárásához ételfestékekkel színezett jégkockákat fagyasztottam, és ezeket azonos hőmérsékletű vizet tartalmazó, egyforma üvegedénybe helyeztem. Az egyik edényben a vizet alaposan megsóztam. (Az üzletekben kapható piros, kék... ételfesték nem változtatja meg jelentősen sem a víz sűrűségét, sem az olvadáspontját.)

Ha óvatosan egy-egy színezett jégkockát helyezünk mindkét pohárba, a látványt, melyet az 1.1 ábra szemléltet, megfigyelve hamar rájöhethetünk az olvadási idők különbségének nyitjára.



1.1. ábra
Olvadó színes jégkockák sós és édesvízben

Az édesvízbe helyezett jégkocka olvadéka $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ hőmérsékletű, sűrűsége nagyobb a pohárban lévő $15\text{-}20\text{ }^{\circ}\text{C}$ hőmérsékletű vizénél. Ezért lesüllyed a pohár aljára, utat enged a melegebb víznek, amely a jégkockával közvetlenül érintkezve gyorsan olvasztja azt. A pohárban lesüllyedő színezett olvadék láthatóvá teszi a kialakuló konvekciót (2.1. ábra).

A sós vízbe helyezett jégkocka esetén nem alakul ki hasonló áramlás. Az olvadék sűrűsége alacsony hőmérséklete ellenére is kisebb, mint a nálánál melegebb sós vízé. Jól látszik a pohárban, hogy a színezett olvadék a pohár tetején marad, tehát a jégkocka a saját $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ hőmérsékletű olvadékában úszik. Így érthetővé válik, hogy miért tart sokkal tovább a jégkocka elolvadása a sós vízben, mint az édesvízben.

A kísérletet több helyzetben kipróbáltam. Tapasztalataim szerint jól használható frontálisan órán, hiszen a gyerekek minden részét ismerik. Az élénkebb eszű gyerekek a látvány alapján maguktól rájönnek a teljes magyarázatra, de ha jó kérdésekkel vezetjük az osztályt, lépésről lépésre a többiekkel is eljuthatunk a megfejtésig.

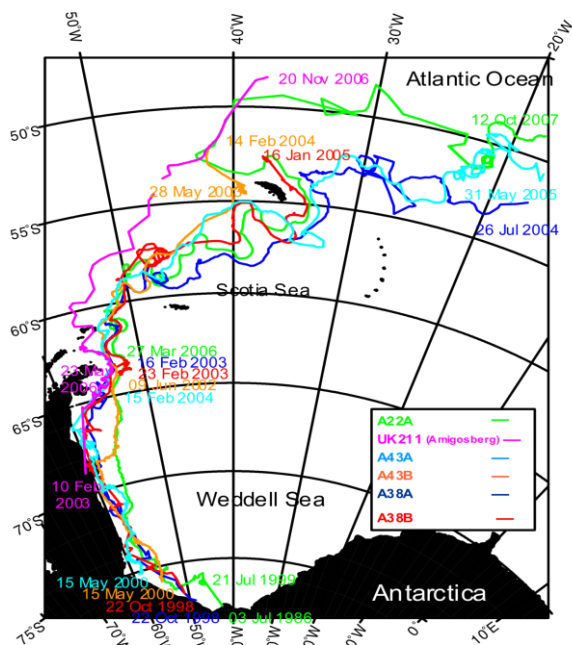
Alkalmaztam tanulókísérleti körülmények között. Itt a gyerekeknek az olvadási időket kellett megmérniük, és meg is kellett magyarázniuk a jelenséget. Segítségül előtte felelevenítettük közösen a sókoncentráció és a hőmérséklet sűrűséget befolyásoló hatását, amit előzőleg már földrajzból is tanultak.

Használtam a kísérletet versenyfeladatként is. Iskolámban két évente rendezzük meg a budapesti XIII. kerület hetedikeseinek fizika csapatversenyét. A verseny célja, hogy minél többet kísérletezzenek, mérjenek maguk a gyerekek, és hogy lehetőleg mindenki sikerélményhez jusson. A háromfős csapatok különböző állomásokat látogatnak végig, ahol kísérletek, mérések, a hozzájuk kapcsolódó feladatlapok várják őket. Minden állomáson nagy gimnazisták segítik a hetedikeseket. A 2009. évi verseny egyik feladata volt ennek a

kísérletnek a megfigyelése, az olvadási idő megmérése, a látvány lerajzolása, és ha tudták, a jelenség megmagyarázása.

Csimár Csaba földrajz szakos kollégámmal összefogva az érettségire készülők földrajz fakultációján is rendszeresen bemutatjuk ezt a kísérletet. A kísérlet segítségével megmagyarázhatjuk azt is, hogy hogyan lehetséges, hogy a sarki jégtakaróról leváló hatalmas jégtömbök évekig sodródnak a tengeri áramlatokkal, míg végül akár az 50. szélességi fokon is túljutnak (1.2 ábra), mire elolvadnak [1]. A tengervizek felszíni hőmérsékletét az 1.3. ábra szemlélteti [2]. Felmerül a kérdés: miért nem olvadnak el a jéghegyek a melegebb tengerekre érve már sokkal hamarabb? Erre a méretük önmagában nem elegendő magyarázat. A kísérlet alapján megérthető, hogy a jéghegyek a sós víz tetején fennmaradó hideg olvadékukban, 0 °C körüli édesvízből álló „pocsolyákban” úsznak, nem érintkeznek közvetlenül a „meleg” tengervízzel.

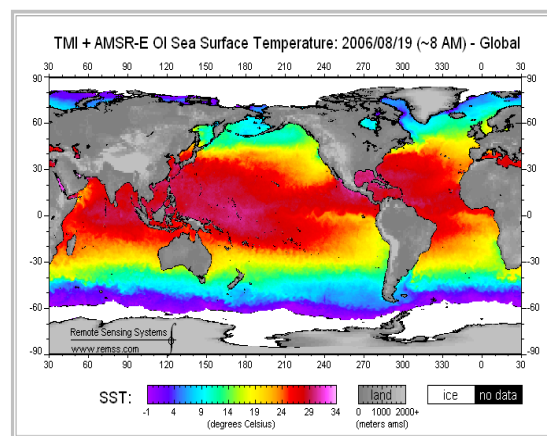
A környezettudatos magatartás kialakítása érdekében a következő gondolatra is érdemes felhívni a diákok figyelmét: a globális felmelegedés következtében a sarki jégtakaró olvadása felgyorsul. Az olvadék a tenger sókoncentrációját csökkenti, ami a kísérlet tanúsága szerint a jéghegyek olvadását is felgyorsítja. Ez egy pozitív visszacsatolású folyamat, a beindítása nagy veszélyeket rejt magában.



1.2. ábra

A különböző színű vonalak a sarki jégtakaróról levált jéghegyek útvonalát mutatják. Feltüntetik a leválás és az elolvadás dátumát is.

Kép forrása: National Snow & Ice Data Center [1]



1.3. ábra

A tengerek felszíni hőmérsékletének térképe 2006. augusztusában. A hőmérsékletek színekódja az ábra alján látható.

Kép forrása: Satelli Eye for Galathea3 [2]

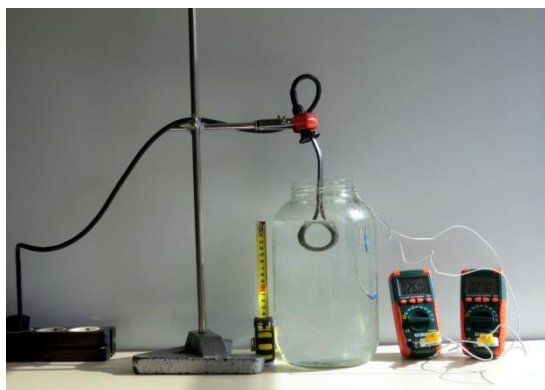
1.2 Felülről fűtött folyadékok

Kísérlet a tavak, tengerek melegedésének szemléltetésére

A másik kísérletet a Quantum című folyóiratból származik [3]. Ez a folyóirat az Amerikai Egyesült Államokban 1990. és 2001. között jelent meg. Az orosz Kvant című folyóirattal együttműködésben – amint erre a Quantum cím is utal – jelentette meg az amerikai National Science Teachers Association, és kifejezetten a középiskolai tehetséggondozást tűzte ki céljául.

A kísérlettel a tengerek és tavak melegedését szemléltethetjük. Akárcsak a természetes vizek nagy részét, amelyeket a napsugárzás felülről melegít, a kísérletbeli vizet is felülről fűtjük. Egy nagy uborkásüvegbe hideg csapvizet engedünk, és közvetlenül a felszín alá besüllyesztünk egy merülőforralót. Az uborkásüveg mellé egy centiméterszalagot is állíthatunk, és különböző magasságokba süllyesztett hőmérőkkel mérhetjük a víz hőmérsékletét (1.4. ábra).

Ha a fűtést bekapcsoljuk, rövid idő múlva a merülőforraló közvetlen környezetében a víz forni kezd. Ha ekkor ételfestéket cseppentünk a vízbe, megfigyelhetjük, hogy a felső vízréteg egyenletesen elszíneződik, és meglepve tapasztalhatjuk, hogy éles határfelület választja el a festetlenül maradt tiszta víztől (1.5. ábra).



1.4 ábra:

A kísérleti elrendezés: vízzel teli uborkásüveg, merülőforraló Bunsen-állványon, két multiméter hőmérő csatlakozóval



1.5. ábra:

Élesen elválík a forró (színes) és a hideg (színtelen) réteg.

Megmérhetjük a víz hőmérsékletét különböző mélységekben. Azt tapasztaljuk, hogy az elszíneződött, felső réteg mindenütt forró, 85-95 °C hőmérsékletű, míg a színezetlenül maradt alsó rétegben a víz mindenhol szobahőmérsékletű maradt. A határfelület két oldala között nagy hőmérsékletkülönbséget mérhetünk, ebben a zónában nagy a hőmérsékleti gradiens.

A határfelület az idő előrehaladtával lassan lejjebb kúszik, de hosszú idő elteltével sem éri el az uborkásüveg alját. (A mi kísérletünkben a merülőforraló karikája alatt 2 centiméterrel megállt.)

A merülőforraló körül a felmelegedést kísérő sűrűségcsökkenés hatására áramlás kezdődik. A forró víz felszáll, helyére oldalról hidegebb víz áramlik. Az uborkásüveg tetején beinduló áramlás egyenletesen színesre festi a vizet, közben ez a réteg a merülőforralóval való érintkezés hatására egyre melegebb lesz. Mivel a forró víz sűrűsége kisebb a hideg vízénél, a konvekció csak a felső réteget érinti. A határvonal akkor kerül lejjebb, ha a határfelület mentén az áramlás elég gyors ahhoz, hogy a hideg rétegből is magával ragadjon egy kis vizet, azt is bevonva az elszíneződött, keveredő rétegbe. A határfelület lejjebb húzódása egy idő után megáll. Ez akkor következik be, amikor a merülőforraló által időegységenként betáplált energia megegyezik a mozgásban tartott vízréteg időegységre eső energiavesztésével.

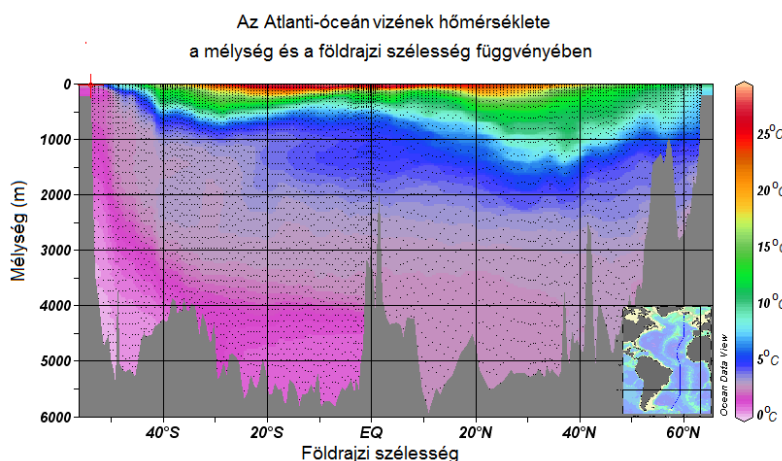
A kísérlet nagyon jól használható frontális órai demonstrációként tetszőleges osztályban, humán érdeklődésű csoportban éppúgy, mint a fizikatagozaton. Tapasztalataim szerint a gyerekek figyelmét könnyű felkelteni vele, általában hamar megértik a jelenség hátterét, és elég sok diák nagyon elcsodálkozik a kézzel is tapintható éles hőmérsékleti ugráson az elszínezett és a színezetlen réteg között. Az óra végén az üveget magára hagyva sokszor megtapasztaltuk, hogy a fűtés kikapcsolása után még sokáig fennmaradt a rétegződés, mindaddig, amíg a felső réteg ki nem hűlt, és a sűrűségkülönbség meg nem szűnt az üvegben. Ez több órát vett igénybe, ami szépen mutatja a diffúzió lassúságát.

A földfelszín vizeit a Nap felülről melegíti. Az uborkásüveghez hasonlóan a tavak és tengerek vizeinél is megfigyelhető az éles határvonal megjelenése. Ha szélcsendes időben olyan helyen fürdünk egy tóban, ahol mások aznap még nem kavarták föl a vizet, a kellemesen langyos felszíni rétegből a lábunkat lejjebb engedve megérezhetjük az éles határt a langyos és a hideg zóna között. A diákok legtöbbször ezt már megtapasztalta, sőt vannak olyanok is, akik búvártanfolyamon vettek részt, és ott tanultak is erről a jelenségről. Ennek a modellnek a segítségével láthatóvá is tudjuk tenni a számukra, ami sokaknak segít a könnyebb megértésben.

A tengerek hőmérsékleti adatait adatbázisokba gyűjtik [2]. Ezek tanúsága szerint a tengereknek még az Egyenlítőnél is csak a felső néhány száz méteres rétege tud átmelegedni (1.6. ábra). Ha lefelé haladunk a tenger mélye felé, a hőmérséklet egyszer csak hirtelen zuhanni kezd, majd eléri a +2 °C körüli értéket, és ez lényegében változatlan marad a tengerfenéig (1.7. ábra). A felső, átmelegített zóna a keveredési réteg, az alsó, hideg zóna a mélységi víz. Azt a réteget, amelyben a hőmérséklet gyorsan változik, termoklin zónának

nevezik [5][6][7]. Ezt a rétegződést a mi uborkásüvegünk szépen modellezi. A megfestett forró víz a keveredési rétegnek felel meg, a festetlen szobahőmérsékletű tartomány a mélységi víz megfelelője, a színes és színezetlen réteg közötti éles határfelület pedig a termoklin zónának felel meg. Az is jól szemléltethető a modellben, hogy a Földet borító tengerek, és hozzájuk hasonlóan a légkör soha nincsenek hőmérsékleti egyensúlyban, mindig rétegzettséget mutatnak.

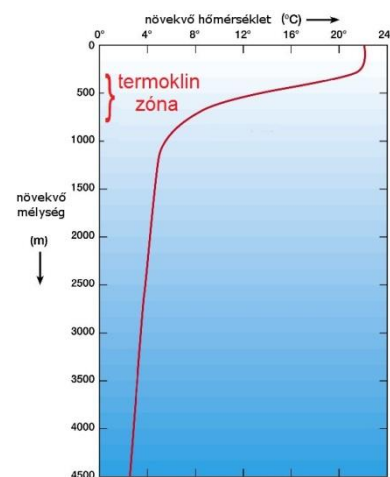
Kollégámmal ezt a kísérletet is többször bemutattuk a korábban már említett földrajz fakultáción. A természetföldrajz tananyagban szerepel a termoklin zóna kifejezés, de csak leíró jelleggel. Kialakulásának szemléltetésére, megértésére nincs idő a földrajzórakon, viszont a fizikaórákat színesíti, jó példát szolgáltatva a tantárgyak közötti kapcsolat erősítésére, jó értelemben vett integrációjára.



1.6. ábra

Az Atlanti óceán vizének hőmérsékleti térképe egy észak-déli irányú függőleges felület (a jobb alsó sarokban) mentén

Kép eredetijének forrása: Satelli Eye for Galathea3 [2]



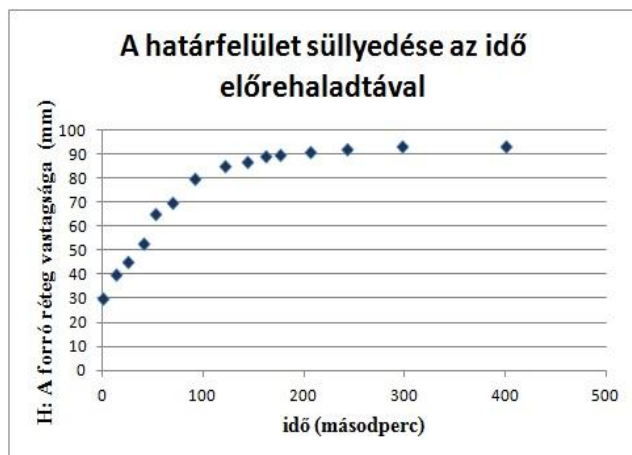
1.7. ábra

A tengervíz hőmérsékletének változása lefelé haladva [5][6][7]

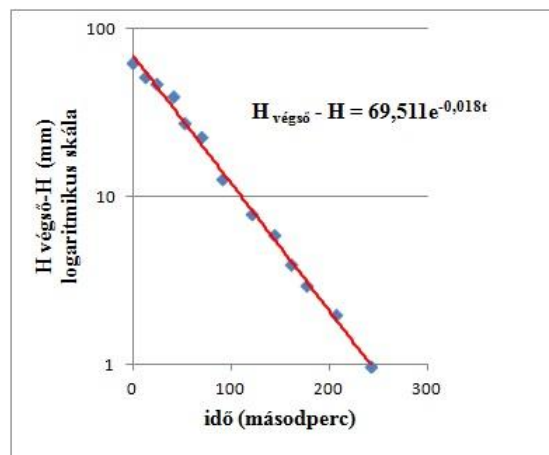
Kép eredetijének forrása:
<http://brucefwebster.com>

Izgalmas kérdés, hogy a határfelület hogyan és meddig süllyed az idő múlásával. Egy szakköri csoporttal méréseket végeztünk, hogy kiderítsük a határréteg süllyedésének időfüggését. A színes réteg $H(t)$ vastagságát ábrázoltuk az idő függvényében az 1.8.a ábrán. A forró réteg vastagságának növekedése lassuló, hosszú idő után eléri a $H_{végső}$ értéket. Többféle sejtés fogalmazódott meg a csoportban arra vonatkozóan, hogy milyen matematikai függvény írhatja le a lassulást. A végső eredmény szerint a határvonal exponenciálisan lassulva közelíti meg az egyensúlyi $H_{végső}$ mélységet. Ennek igazolására a $H(t)-H_{végső}$ értékeket ábrázoltuk az idő függvényében logaritmikus skálán (1.8.b. ábra). Az értékekre illeszkedő trendvonal igazolta sejtésünket. A mérési adatokat Excel programmal dolgoztuk fel. A mi mérésünkben a forró réteg egyensúlyi vastagsága $H_{végső} = 93$ milliméter volt.

A fenti két kísérlet újszerű, a tanítási gyakorlatban nem találkoztam velük [9]. Meglepőek, látványosak, és előnyük, hogy nem igényelnek drága eszközöket, akár otthoni körülmények között is elvégezhetőek. Emellett szorosan kapcsolódnak a környezeti áramlásokhoz, amelyek kutatása a környezeti változások megértéséhez és előre jelzéséhez elkerülhetetlen.



1.8.a ábra



1.8.b ábra

A felmelegített réteg vastagságának időfüggése. A függőleges tengely a bal oldalon normál beosztású, a jobb oldalon logaritmikus.

Hivatkozások

1. National Snow and Ice Data Center:

https://nsidc.org/cryosphere/icetrek/research_updates.html (2015. július 15.)

2. http://galathea3.emu.dk/satelliteeye/projekter/sst/back_uk.html (2015. július 15.)

3. V. Pentegov: Heating Water from the Top; Quantum 1999. Nov/Dec. 41. o.

4. A folyóirat információs oldala: <http://www.nsta.org/quantum/info.asp>

5. <http://www.windows2universe.org/earth/Water/temp.html> (2015. július 15.)

6. Jánosi Imre- Tél Tamás: Bevezetés a környezeti áramlások fizikájába Typotex, 2012.

7. G.K. Vallis: Atmospheric and Oceanic Fluid Dynamics, Cambridge, 2006.

8. Baranyai K.: Olvadó jéghegyek, melegedő tengerek, Fizikai Szemle, 2013. július-augusztus, 267-269. o.

9. Iza É., Baranyai K.: Kísérletek a fizikatáborban, in: Természettudomány tanítása korszerűen és vonzóan ELTE Fizika Doktori Iskola, szerk.: Tasnádi P., Budapest, 2011., 404-409. o.

2. Kilökődési jelenségek vizsgálata

Mint a bevezetőben már említettem, tanítási tapasztalataim szerint sok tanuló számára nehézséget okoznak a számításos feladatok. A dolgok működésének megértése, elmesélése vonzóbb számukra. Egy jelenség alapos megértése persze sokszor csak az első pillantásra tűnik könnyűnek, a működés apró lépésekre bontása, majd ok-okozati sorrendben történő, szabatos elmesélése egyáltalán nem egyszerű. Egy-egy jelenség kvalitatív elemzésével segíthetünk abban, hogy a természettudományos gondolkodásnak számításos feladatok elvégzése nélkül adjunk teret. A hőtan ebből a szempontból különösen hálás terület. A gőzgépek, a hűtőgépek, hőszivattyúk, a természet jelenségei sok kvalitatív módon tárgyalható témát kínálnak. Az alábbiakban három egymásra épülő, forrási jelenségen alapuló kísérletet mutatok be, amelyek különböző szinten tárgyalhatóak az iskolában. A fizika iránt nem különösebben érdeklődő osztályok számára kedvcsináló kísérlet-csokrot mutathatunk be, amely a háztartásban és a természetben lejátszódó jelenségek hátterére mutat rá. A fizika iránt fogékony tanulóknak önálló kísérletezési lehetőséget is kínál a téma.

A három kísérletet az kapcsolja össze, hogy mindháromban egy vízzel teli cső egy szakaszát melegítjük. Ennek következtében a víz az adott szakaszon felforr, és a víz egy része a csőből kilökődik. Így a kísérletekben állandó energiabetáplálás mellett kváziperiodikus jelenségekhez jutunk, amelyekben nem teljesen megegyező, de közel azonos időtartamú szakaszok ismétlődnek.

A kísérletek bemutatására közvetlenül a forrás tanítása után kerül sor, akkor, amikor a diákok már tisztában vannak a forrás mechanizmusával, a forráspont nyomásfüggésével. Eddigre már mérésekkel megvizsgáltuk a kuktafazék működését, és láttunk kísérleteket a forráspont csökkenésére alacsony nyomáson.

2.1 A vizsgált jelenségek

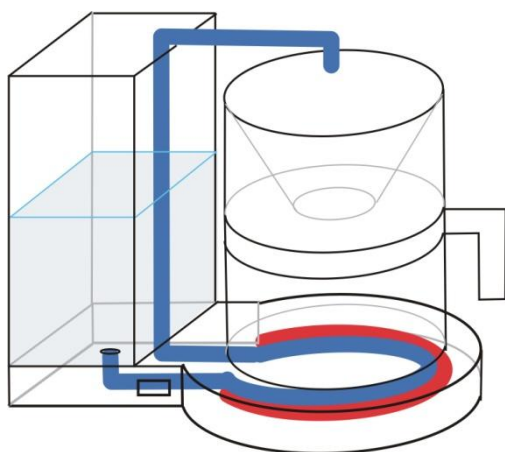
A filteres kávéfőző és a működését bemutató modell

Sok háztartásban van filteres („amerikai”) kávéfőző. Érdekes az órán együtt csendben figyelni a kávéfőző működését egy rövid ideig. A szerkezet jellegzetes, időnként ismétlődő hörgő hangot hallat, és megfigyelhetjük, hogy a víz sem folyamatosan, hanem a hörgéseket megelőzően kisebb adagok kilökődésével, szakaszosan folyik át a filterbe helyezett

kávőrlemlényen. (A jelenség sok modell esetén jobban megfigyelhető a kávőrlemlény és a filtertartó nélkül, de lehet, hogy az osztályra kedvező hatást gyakorol a kávéillat.)

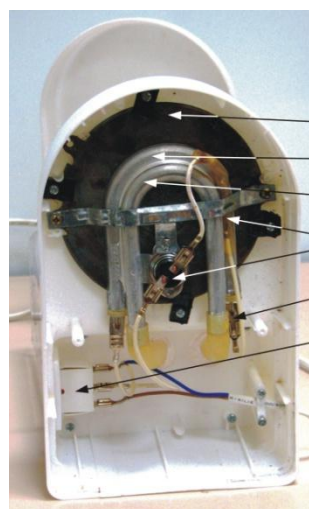
Miért működik szakaszosan a kávéfőző? Tapasztalataim szerint a gyerekek egy része úgy gondolja, hogy egy kis pumpa van a szerkezetbe építve, ez biztosítja a szakaszos működést.

Ha lecsavarozzuk a kávéfőző alját, az 2.1. ábrának megfelelően megfigyelhetjük a szerkezetét [1]. Nem találunk benne pumpát. A kávéfőző felépítésének vázlatát az 2.2. ábra szemlélteti.



2.1. ábra

A filteres kávéfőző szerkezetének vázlata
A víz a késsel jelzett csőben áramlik, a fűtőszálat piros szín jelzi.



2.2. ábra

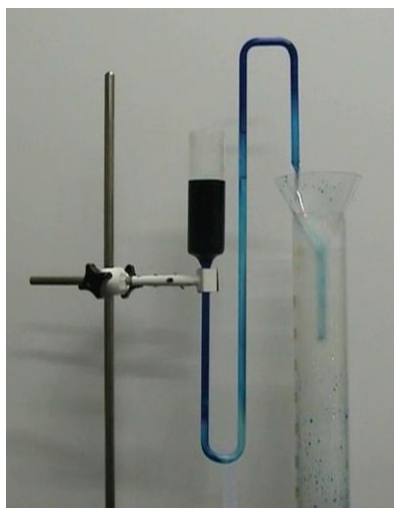
A kávéfőző aljának lecsavarozásakor megfigyelhetjük az alkatrészeket.

- A kancsót melegen tartó fémlap
- Fűtőszál
- Vízvezető cső
- Hőfokszabályozó
- Biztosíték
- Kapcsoló

A víztartály aljából egy cső indul ki (az ábrán kék színű), amely a szerkezet alján egy fűtőszál (az ábrán piros) mellett fut. A cső a fűtőszál mellől felkanyarodik, és a kifolyónyíláshoz vezet, amely a filtertartó felett helyezkedik el. A csőből kifolyó víz a filterbe helyezett kávőrlemlényen át a kancsóba csöpög. A berendezés általában még egy világító kapcsolót és egy biztosítékot tartalmaz, valamint termosztátot, amely a fűtőszálat vezérli, és a kancsót melegen tartó fémlap megfelelő hőmérsékletéről gondoskodik.

A vízzel teli csövet az alsó kanyarulata mellett állandó teljesítménnyel melegíti a fűtőszál. Egy idő után a kanyarulatban a víz forrni kezd. A forrás kezdetekor kis gőzbuborékok szállnak fel a vízzel teli csőben, és a hidegebb vízrétegen áthaladva lehűlnek, a nyomásuk lecsökken, elnyelődnek. Ezzel melegítik a felettük elhelyezkedő vízoszlopot. Ha már hevesebb a kanyarulatban a forrás, nagyobb buborékok keletkeznek. Ekkor a hirtelen térfogatnövekedéssel létrejövő buborékok alulról meglökik a csőben elhelyezkedő

vízoszlopot. Ha elég nagy lökés érte a kanyarulat feletti víztömeget, az eléri a kifolyónyílást, és kilökődik a csőből. A kávéfőzőből kifolyó víz és a gőz keveredik, de a kilökődő víz átlaghőmérséklete jóval a forráspont alatt marad, körülbelül 80 °C. A kilökődés után a tartállyal közlekedőedényt alkotó cső újból megtelik hideg vízzel



2.3. ábra
A kávéfőző-modell

A kávéfőző szerkezete szétszedés nélkül nem látható, ezért a diákok két U-alakú üvegcső és tölcsérek segítségével építettek egy működő kávéfőzőmodellt, melyet később üvegtechnikussal is elkészítettünk olyan változatban is, amely mérések elvégzésére is alkalmas volt (2.3. ábra.)

A kávéfőző-modellt ételfestékkel színezett vízzel töltöttük fel, és Bunsen-égő lángjával melegítettük az alsó kanyarulatánál. A modell jól követhetően szemléltette a kávéfőző működését, jól megfigyelhetővé és érthetővé vált a víz szakaszos

kilökődése. A kezdetben felszálló, elnyelődő és a vízoszlopot melegítő kis gőzbuborékok is jól láthatóak voltak. A folyamat vége felé még a kávéfőzőre jellemző hörgő hangot is hallhattuk.

Érdeemes megjegyezni, hogy a vízoszlopot a keletkező gőz mindkét szárban meglöki, de a tartály oldalán nem tapasztaltunk jelentős vízszintemelkedést. A kávéfőzőben egy visszacsapó szelep akadályozza meg, hogy a tartály felé lökődjön ki a víz a felfűtött csőből.

A kávéfőzőmodell mérésekre is alkalmas volt. Ezek leírását és eredményeit a 2.2. fejezet tárgyalja.

A gyertyahajtású játékhajó működése

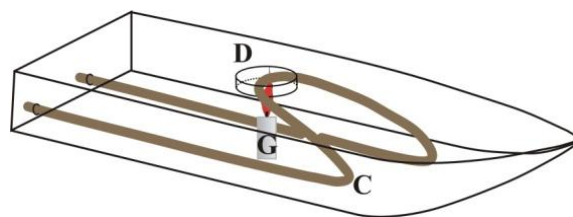
Hasonló jelenség játszódik le a gyertyalánggal meghajtott kis játékhajókban is (2.4. ábra). A kishajó szerkezetét a 2.5. ábra szemlélteti. Egy meghajlított rézcső (C) húzódik a hajó belsejében végig. Ezt a csövet egy cseppentő, vagy fecskendő segítségével fel kell töltenünk vízzel, majd a cső kanyarulata alá egy kicsi gyertyát (G) kell állítanunk. A vízzel teli csőben hasonló jelenség indul meg, mint a kávéfőzőben. A víz a hajlatban forrni kezd, és a gőzbuborék kilöki a csőből a vizet. Ez a lökés az lendületmegmaradás miatt rakétaszerűen

előre löki a kishajót. Az üres, illetve gőzt tartalmazó cső lehül, és a nyomáskülönbség miatt a medencéből újra megtelik vízzel [2], [3].



2.4. ábra

A gyertyafűtésű játékhajó festett vizet lök ki magából



2.5. ábra

A játékhajó szerkezete
C: hajlított, vízzel teli cső, G: gyertya,
D: rugalmas falú fémdoboz

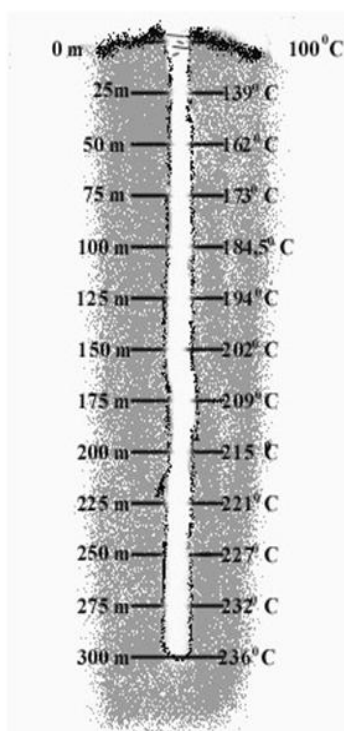
Jogos kérdésként merül föl, hogy amikor ismét teleszívja magát a cső vízzel, miért nem mozdul a kishajó hátra. Míg a kilökődés határozottan hátrafelé történik, a beszíváskor a cső szája felé minden irányból áramlik a víz. Így a beáramló víz eredő lendülete sokkal kisebb lesz, mint a kilökött vízé. A víz ki- és beáramlása tehát összességében előre mutató lendületet kölcsönöz a kishajónak. Ráadásul a kishajó testének kiképezése olyan, hogy nagyobb a közegellenállása, ha tolat, mintha előre halad. Ez utóbbi tényezőt a gyerekek általában maguk is említik.

Külön érdekesség, hogy a hajó haladása közben „krepegő” hangot hallunk, mintha egy igazi hajómotor pöfögne. Ezt a hangot egy kis rugalmas falú fémdoboz (D) hozza létre, amely a cső kanyarulatában helyezkedik el. Bizonyos esetekben a kanyarulatban maga a cső terebélyesedik ki dobozzá, más kishajókban a csövet légmentesen bezárva veszi körül a doboz. A kilökődést követő lehűléskor a nyomás lecsökken, a doboz rugalmas fala behorpad. Forráskor a hőmérséklet megemelkedik, a dobozban megnő a nyomás, a fala kihalasodik. (Ha a cső kiszélesedése maga a doboz, akkor a hirtelen keletkező gőzbuborékok térfogatnövekedése eredményezi a doboz kihalasodását.) Ezt a periodikus ki- és behorpadást kíséri a krepegő hang.

A gejzírek működése

Az állandó fűtőteljesítmény mellett kialakuló majdnem periodikus kilökődésre szép természeti példa a gejzír. A gejzírek működésével földrajzórán találkozunk a gyerekek. Általában néhányan emlékeznek arra, hogy mint utóvulkáni tevékenységről tanultak róla, és hogy a Föld azon pontjain figyelhetjük meg a gejzíreket, amelyeket hot spotnak nevezünk. Itt

az elvékonyodó kőzetlemez alatt a forró magma feláramlásának köszönhetően a kéregben a geotermikus gradiens jóval magasabb az átlagosnál, a talaj lefelé haladva rohamosan melegszik. Példákat is tudnak mondani, általában a Yellowstone-parkot és Izlandot említik. A gejzírek működésének megértése a kávéfőző megfigyelése után már könnyen kezdődik. Fontos azonban, hogy a méretbeli eltérések miatt a gejzír működése bonyolultabb, mint a kávéfőzőé. A gejzírműködés fizikai leírása a KöMaL 1991. márciusi számában olvasható részletesen [4]. Ez a leírás jó alapját szolgálhatja a diákok önálló munkájának is. Mivel a talaj melegedése lefelé haladva lineáris, a víz forráspontjának növekedési üteme pedig lassul, egyszer csak a talaj hőmérséklete eléri az adott mélységhez tartozó forráspontot. Itt egy idő után a víz felforr, és a felszálló buborékok feljebb is az aktuális mélységben érvényes forráspontig melegítik a vizet. Ha ezután a cső tetején a forrás következtében kibuggyan egy kis víz, a nyomás a kürtőben mindenütt lecsökken egy kicsit. Ekkor a folyadék hőmérséklete magasabb lesz, mint az adott nyomáshoz tartozó forráspont, ezért a kürtő teljes hosszában hirtelen beindul a forrás, bekövetkezik a kitörés.



2. 6. ábra

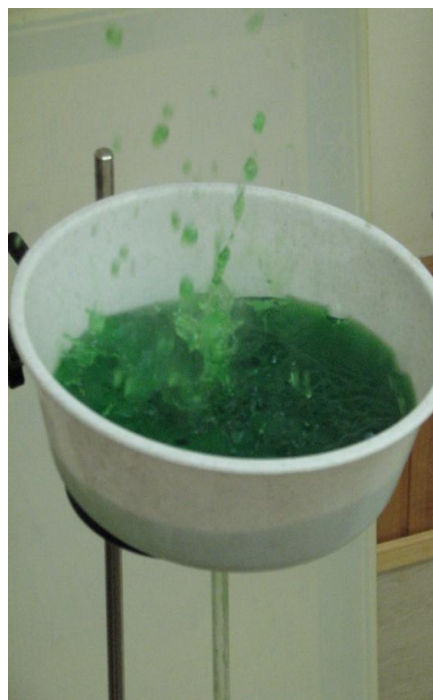
A víz forráspontja (jobb oldalon) a mélységgel (bal oldalon) növekszik.

Cholnoki Jenő (1870-1950.) rajza alapján



2.7. ábra

A megépített gejzír-modell vázlatos rajza



2.8. ábra

A modell által produkált kitörés

Néhány lelkes tanulóval projekt munka keretében megkíséreltünk gejzír-modellt készíteni, ennek sematikus rajza látható az 2.7. ábrán. A megépített modellt kiselőadás keretében bemutatták több osztályban is. Egy gázlánggal fűtött, furatos dugóval lezárt 1,5 literes Erlenmeyer-lombikhoz 1,8 méter hosszú, függőleges üvegcsövet csatlakoztattunk. A cső tetejére egy átfűrt tálat erősítettünk, ebbe gyűlt a kilökődött víz, ami innen visszafolyva újratelítette a rendszert.

A modell alkalmas volt a majdnem periodikus működés bemutatására, és megfigyelhettük a felszálló gőzbuborékok elnyelődését is. A gejzírmodell azonban nem viselkedett elég látványosan, a kilökődő vízszög nem lövellt a várt magassáig, csak kicsi, bágyadt szökőkútszerű vízszögat figyelhettünk meg. Néhány kísérlet során a lombikban keletkező gőz megemelte a teljes vízoszlopot, és a cső tetején a medence félig megtelt vízzel már a kilökődés előtt (2.8. ábra). A modell ráadásul nagyon sérülékeny, különösen az illesztéseknél.

A modell további tökéletesítésre szorul, meg kell vizsgálni, hogy mekkora az ideális lombik mérete, fontos a cső keresztmetszete, és a megfelelő fűtőteljesítmény megválasztása is. Ezek a jövő tervei között szerepelnek.

A gejzír működés kapcsán a földrajz iránt érdeklődő osztályokban általában felmerül a mai Szlovákia területén található ráncfürdői (herlányi) hidegvízű gejzír működése is. Itt a gejzír kürtőben (ami egy geológiai kutatás céljait szolgáló mesterséges furat) lévő vizet a kőzetből feltörő szén-dioxid oldódása telíti. Az oldható mennyiség a hidrosztatikai nyomás növekedésével lefelé nő. Először alul, majd egyre feljebb telítődik a víz, és ha telítetté válik, a buborékok feljövételével kibuggyan, a csőben lecsökken a nyomás, bekövetkezik a kitörés.

Kitekintésként felhívhatjuk a gyerekek figyelmét arra is, hogy gejzír működést nemcsak a Földön, hanem más égitesteken is megfigyeltek az űrtávcsövek, például a Szaturnusz Enceladus nevű holdján, vagy a Neptunusz Triton nevű holdján. Az Enceladuson a felszín alatti víz, a Tritonon nitrogén tör a magasba. Ezen gejzírek működésének még vannak kérdéses pontjai.

Mindhárom jelenség esetén igaz, hogy a működés periodikusnak tűnik, ám szigorúan véve nem az. A gőzbuborékok keletkezésének helye, ideje, a buborékok mérete esetleges, emiatt a jelenség mindig egy kicsit máshogy játszódik le. Nem tudjuk másodpercre pontosan megjósolni, hogy mikorra várjuk a gejzír következő kitörését, a kávéfőző következő víz-kilökését, csupán egy időintervallumot adhatunk meg, amikor a kilökődés várhatóan be fog következni.

Módszertani tapasztalatok

A három jelenséget érdemes egy „modul”-ként kezelni [5]. A kávéfőző működésének alapos megértése segíti mind a kishajó, mind a gejzír működésének megértését. Tapasztalataim szerint a gyerekek egy pillanat alatt átlátják, hogy mi a közös a három jelenségben. Azokban az osztályokban, ahol a tanulók mélyebben érdeklődnek a fizika iránt, maguktól megszületnek azok a működésbeli eltérésre vonatkozó kérdések, amelyekre közösen próbálunk választ találni. A kevésbé érdeklődő osztályokban több tanári irányításra van szükség, rá kell vezetni a gyerekeket a fontos pontokra.

A jelenségértelmezéses tananyagrészek olyan problémákat vetnek fel, amelyekre a hagyományos feladatmegoldásra építő oktatás nincs felkészülve. Bármilyen érdekes is egy tananyag, ha nincsenek a diákok számonkérés elé állítva, nem fognak kellő energiát szentelni a témának. Ezért szükség van mind a jelenségek tárgyalását tartalmazó leírásokra, leckeszövegekre, mind olyan feladatokra, amelyekkel ellenőrizhetjük a gyerekek tudását, vagy a diákok leellenőrizhetik, hogy jól megértették-e a tanultakat. Az A típusú kerettantervek bevezetésével ez a probléma élesen jelentkezik. Ebben az esetben a hagyományos, számításos feladatokat tartalmazó példatárak nem nyújtanak segítséget. A kétszintű érettségi bevezetésével a fizikában is teret kaptak a teszt- illetve jelenségértelmezéses feladatok, valamint fizikai tárgyú fogalmazás írása. Az érettségi bevezetésekor eleinte sok diáknak gondot okoztak az addig szokatlan feladatok kihívásai, és azóta sem születtek megfelelő minőségű feladatgyűjtemények, amelyek ilyen típusú feladatokat megfelelő számban tartalmaznának.

A leckeszöveg hiányának pótlására a fent tárgyalt három jelenség leírását a Berzsényi Gimnázium fizika munkaközösségének honlapján tettem elérhetővé a diákok számára [1], [2], [4].

A megértést ellenőrzendő az alábbi feladatokat tűztem ki a különböző osztályokban:

1. Írd le röviden, egész mondatokat alkotva a filteres kávéfőző működését!

2. Az alább felsorolt mozzanatok a gyertyahajtású kishajó működésének részletei. Rakd őket sorrendbe! Lehetséges, hogy vannak egyszerre játszódó mozzanatok, ezeket jelölheted ugyanazzal a sorszámmal.

- a) A dobozka oldala kidudorodik.
- b) A dobozka oldala behorpad.
- c) A gyertya lángja felforralja a vizet a cső kanyarulatában.
- d) A csőben lehül a telített gőz, lecsökken a nyomás.
- e) A forráskor keletkező buborékok kilökik a csőből a vizet.
- f) A medencéből újra telítődik a cső.
- g) A kilökődő víz a lendületmegmaradás miatt előre löki a hajót.
- h) A gyertya melegíti a cső kanyarulatát.

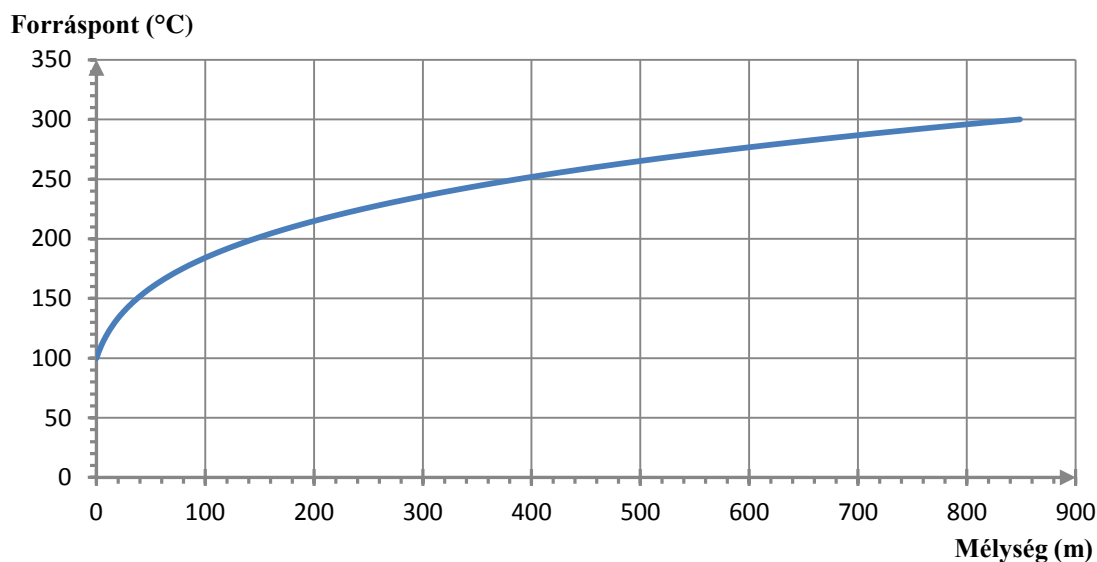
3. Döntsd el, hogy igazak-e az alábbi állítások!

- a) A filteres kávéfőző szakaszos viselkedését a fűtőszál ki-bekapcsolása okozza.
- b) Ha olyan helyen lakunk, ahol csak forralt vizet szabad inni, a víz forralására nem alkalmas a filteres kávéfőző, mert a beleöntött víznek csak egy részét forralja fel.
- c) A kávéfőző csövében megfigyelt, alulról felfelé szálló buborékokat levegő tölti ki.
- d) A kávéfőző csövében és a tartályában kezdetben egyforma magasságig áll a víz.
- e) Egy magas tartály tele van vízzel. A tartály alján magasabb a víz forráspontja, mint a tetején.
- f) A víz forráspontja függ a nyomástól és a hőmérséklettől.
- g) A gejzír kürtőjében csak ott melegszik forráspontig a víz, ahol a talaj hőmérséklete eléri a forráspontot.
- h) A kishajó működését medence nélkül, a száraz asztalon is hosszasan megfigyelhetjük, ám ott a nagy súrlódás miatt a hajó nem halad előre.
- i) A kishajó azért halad előre, mert a kilökött víz teljes lendülete nagyobb, mint a beszívott vízé.

4. Az alábbi grafikonon (2.9. ábra) a víz forráspontját láthatjuk a gejzír kürtőjében lefelé haladva a felszín alatti mélység függvényében.

- a) A gejzírmezőn a geotermikus gradiens $1^{\circ}\text{C}/\text{m}$, a felszíni talajhőmérséklet 25°C . Rajzold be a grafikonra a talaj hőmérsékletét a mélység függvényében, és becsüld meg a diagram segítségével, hogy legalább milyen mély kürtőre van szükség a gejzír kitöréséhez!
- b) A Föld egy másik pontján csak 400 méternél mélyebb gejzírek lennének lehetségesek, ha egyáltalán előfordulnának. Mekkora itt a geotermikus gradiens? A felszíni talajhőmérsékletet itt is tekintjük 25°C -nak.
- c) A Yellowstone-park Old Faithful gejzírjének helyén a geotermikus gradiens $123^{\circ}\text{F}/100$ láb. Legalább milyen mély a gejzír, ha a talaj felszíni hőmérséklete 75°F ? ($0^{\circ}\text{C} = 32^{\circ}\text{F}$, $100^{\circ}\text{C} = 212^{\circ}\text{F}$).

A víz forráspontjának változása a kürtőben lefelé haladva



Az adatok forrása: <http://www.engineeringtoolbox.com>

2.9. ábra

Megjegyzés: a 2.9. ábra készítésénél a víz forráspontjának alakulását a forráspont nyomásfüggésének adataiból számítottam ki. Ehhez nem vettem figyelembe a víz sűrűségének a hőtágulás következtében előálló változását, ezért ez a görbe csak közelítőleg írja le a

forráspont mélységtől való függését. A valódi forráspont-értékek a mi értékeinknél rendre alacsonyabbak lennének.

A feladatmegoldás tapasztalatai:

Az 1. feladat esetén a megbeszéltek reprodukciójára volt szükség. Sokan sikeresen megoldották ezt a feladatot, ábrát is rajzoltak, ám a szabatos, pontos fogalmazás, a füzetbe leírt vázlatpontok egész mondattá történő kiegészítése többeknek komoly problémát okoz, még a humán tagozatos osztályokban is. Ez nemcsak a fizika tantárgy esetén, hanem általában minden területen jelentkező probléma.

A 2. feladat megoldásához szintén arra volt szükség, hogy a kishajó működéséről tanultakat felidézzék a gyerekek, és megfelelő sorrendbe rakják. Ezt kevesebben oldották meg sikeresen, mert bár nem kellett mondatokat alkotni, a megfelelő sorrend kialakításához érteni kellett a kishajó működését.

A 3. feladatot a humán tagozatos osztályban csak a legjobbak oldották meg hibátlanul, a matematika és fizika tagozaton a többség helyes válaszokat adott.

A 4. feladatot a humán tagozatos csoportban nem adtam fel. A matematika tagozatos osztályban szorgalmi feladatként tűztem ki egy röpdolgozat végén. Többen próbálkoztak a megoldással, de csak kevesen voltak sikeresek. A c) részt pedig egyetlen tanuló tudta helyesen megoldani.

A fizikatagozatos csoportban kötelező kérdésként kapták meg ezt a feladatot. Itt általában átlátták, hogy mi a teendő, sokan jól megoldották az a) és b) részeket. A c) részben az angolszász mértékegységek helyes átváltása csak a legjobbaknak sikerült. A legtöbben a geotermikus gradiens SI-be való átváltását rontották el.

2.2 Mérések a kávéfőzőmodellel

A kávéfőző csövéből a víz szakaszosan, kisebb-nagyobb adagokban lökődik ki. Felmerült a kávéfőző működésének statisztikai vizsgálata. Vajon nem mutat-e kaotikus viselkedést, esetleg felfedezhetünk-e valamilyen speciális eloszlást, illetve univerzalitásokat a különböző mennyiségeket vizsgálva. Az általunk vizsgált mennyiségek: az egyszerre kilökődött víz tömege, a kilökődés hossza és a két kilökődés között eltelt úgynevezett melegedési idő [6].

A mérést egy erre a célra kialakított modellel végeztük (2.10. ábra). A tartálya lényegesen nagyobb, mint a demonstrációs modellé, hogy a közlekedőedény száraiban csak lassan változzon a folyadék magassága.

A hiányzó folyadékot időről időre újra pótoltuk. A berendezést Bunsen-égő lángjával a cső alsó, vízszintes szakaszán melegítettük.

A kilökődés idejének és a melegedési időnek a mérésére filmfelvételt készítettünk az ELTE Kármán Laboratóriumában. A film könnyebb kiértékelése érdekében ételfestékkel színeztük meg a vizet. A felvételt később végigelemeztük. Képkockánként lépegetve megvizsgáltuk, hogy egy-egy kilökődés, illetve melegedési idő mennyi ideig tart. Időegységként 1/60 másodpercet vettünk, mert a kamera 60 frame/sec sebességgel vette föl a jelenséget.

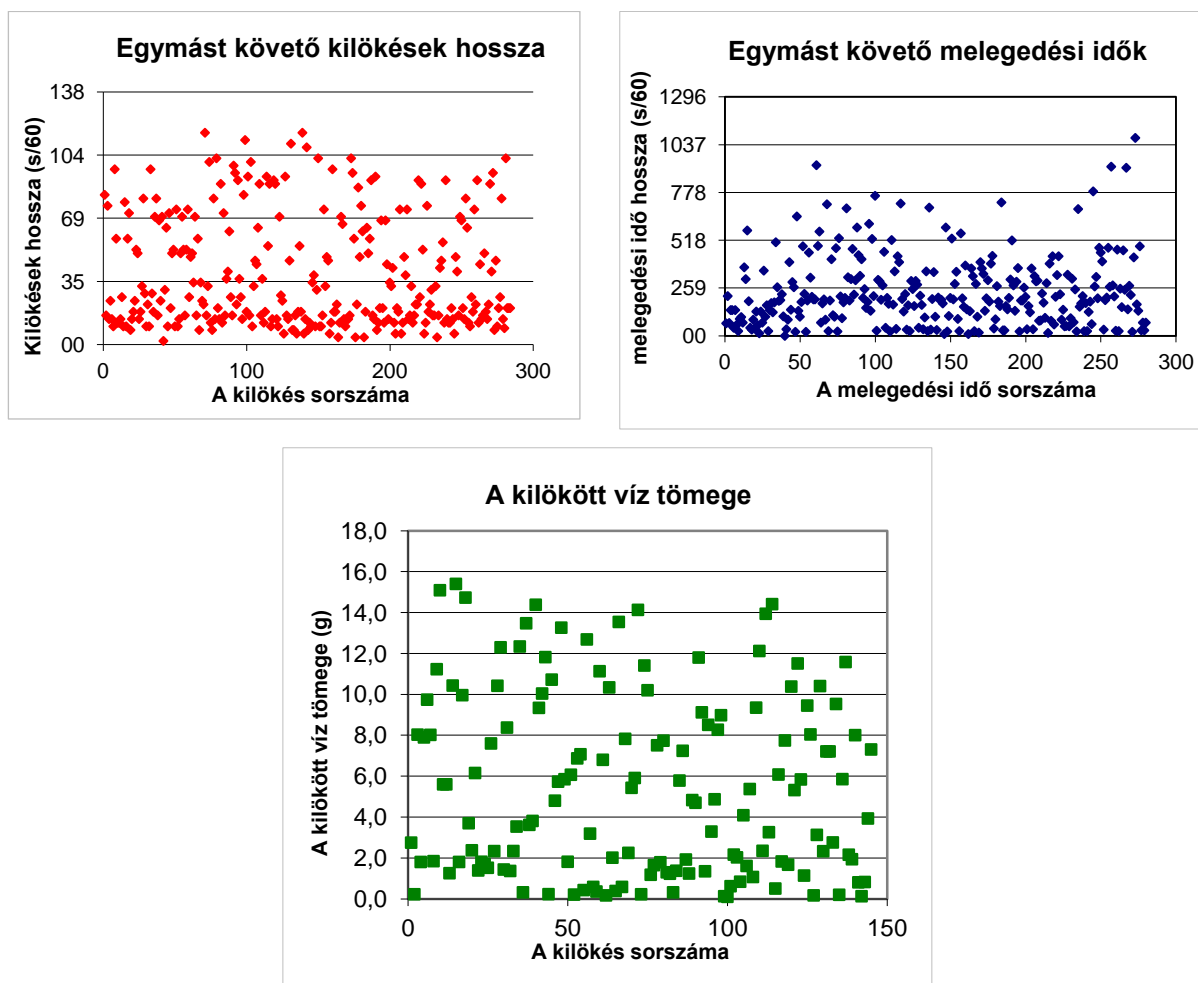
A kilökődött vízmennyiséget az iskolában a diákokkal mértük meg. Kis műanyag kávéspoharakba fogtuk fel a vizet, és mindegyik poharat érzékeny (0,01g pontosságú) digitális mérleggel mértük. A mérleg érzékenysége jóval meghaladta a mérésünk pontosságát, hiszen néhány csepp víz mellécseppenése már tizedgrammnyi eltérést okozhat. A mérést diákjaimmal együtt végeztük szakköri keretek között. Mivel a kilökődések viszonylag sűrűn követték egymást, a folyadék felfogása, a lemérése és az adatok rögzítése külön embert igényelt.

A kilökődések hossza, a melegedési idő, és a kilökött víz mennyisége is végig változó volt a folyamat során. Végig észleltünk nagyon rövid és hosszabb kilökődéseket, időbeli elhelyezkedésük nem mutatott semmiféle szabályosságot, ahogyan ez a 2.11. ábrán is látható.



2.10. ábra
A mérésekre kialakított modell

A grafikonok pöttyei nem mutatnak semmilyen trendet, végig vannak alacsony és magasabb értékek is.

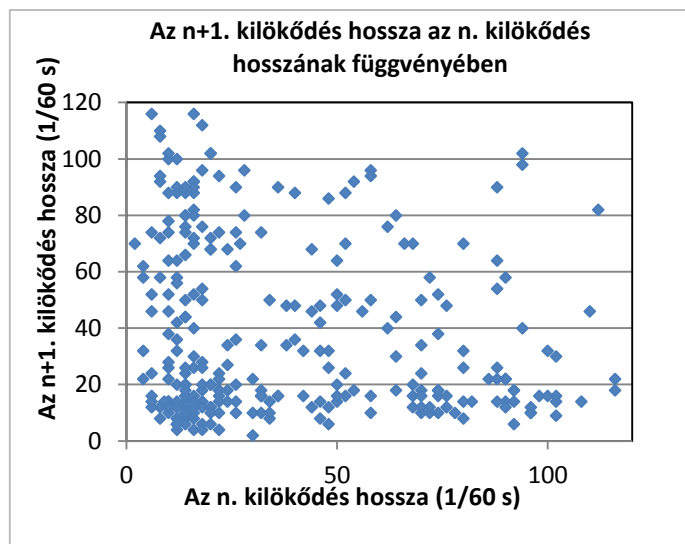


2.11. ábra

Az egymást követő kilókések hossza (bal felső panel), melegedési idők (jobb felső panel), illetve a kilökött víz tömege (alsó panel) semmiféle szabályszerűséget sem mutat.

Az esetleges kaotikus viselkedés kimutatására megvizsgáltam, hogy találunk-e valamilyen szabályosságot, ha az $n+1$. kilökődés hosszát vizsgáljuk az n . kilökődés hosszának függvényében.

Ábrázolva a függvényt a 2.12. ábrán, semmilyen szabályszerűséget nem tudtam megállapítani. Ugyanerre az eredményre jutottam, amikor a melegedési időket vizsgáltam. Így a kaotikus viselkedés lehetőségét elvettem.



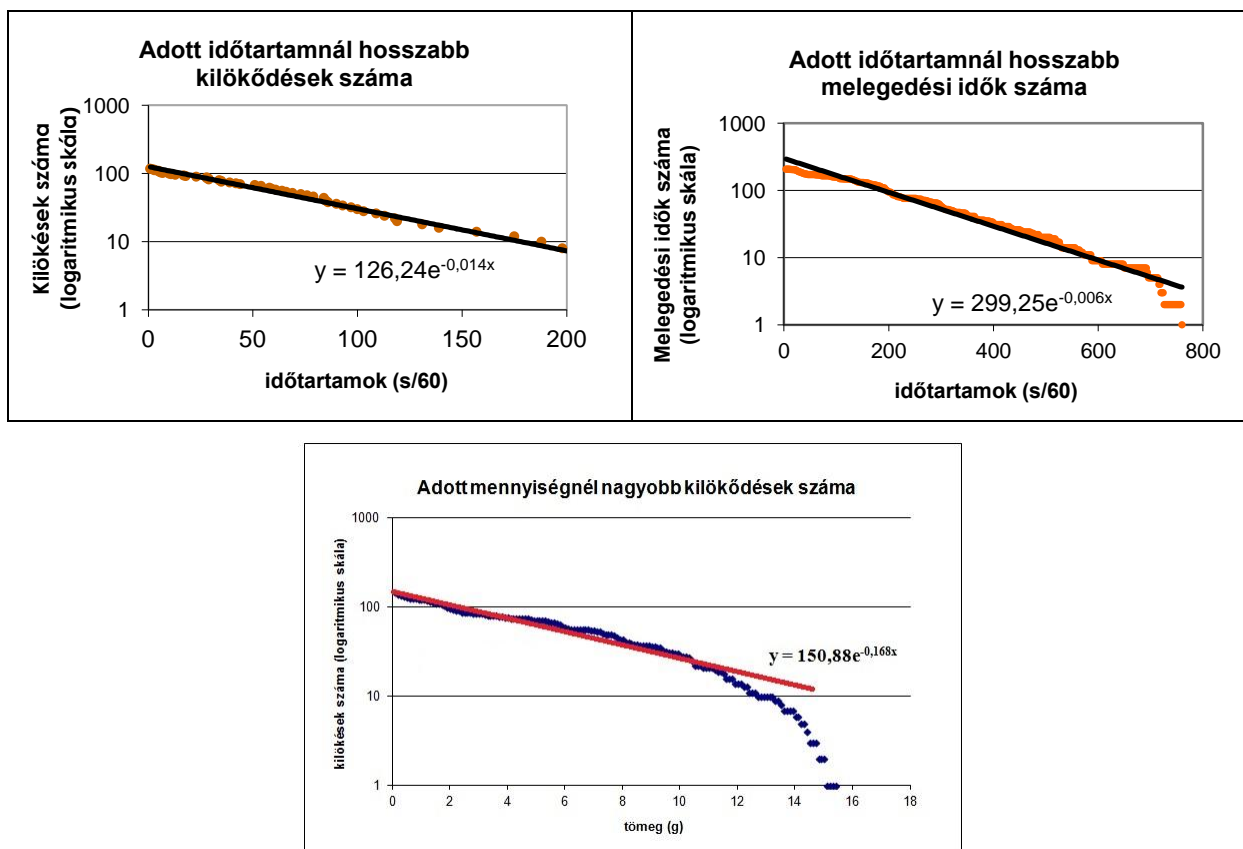
2.12. ábra

Az n+1. kilökődés hossza az n+1. kilökődés hosszának függvényében.
A grafikon semmilyen jellegzetességet nem mutat.

Az eredmény végülis nem volt teljesen váratlan. A káosz alacsony szabadsági fokú rendszerek jellegzetes, determinisztikus viselkedése. Itt azonban folyadékról van szó, amely semmiképpen nem nevezhető alacsony dimenziójú rendszernek. Bár a forrás jelensége makroszkopikusan megragadható, a statisztika szempontjából inkább érdemes véletlenszerű jelenségnek tekintenünk egy buborék képződésének helyét és időpontját.

Statisztikát készítettünk a mérési adatokból. Ábrázoltuk az adott időnél hosszabb kilökődés-hosszak és melegedési idők, valamint az adott mennyiségnél nagyobb kilökött víztömegek számát. Mindhárom esetben jó közelítéssel exponenciális összefüggést kaptunk, amint ez az 2.13.. ábra diagramjain látható. Jól megfigyelhető, hogy a kilökött víztömeg esetén a nagyobb tömegek esetén már eltérés tapasztalható az exponenciális trendtől a véges méretek miatt. Itt a mérések száma jóval kisebb volt, mint az időadatok esetén. A kilökött tömegekről a leghosszabb mérésünk során 146 kilökést vizsgáltunk meg, míg a leghosszabb, kilökésekre és melegedési időkre vonatkozó méréssorozatunkban 279 kilökést mértünk meg.

A mérések elvégzése után a folyamat további megértésére mechanikai modellt állítottam fel. A modellhez számítógépes szimulációt készítettem, melynek futtatásával megvizsgáltam, hogy milyen körülmények között kaphatjuk vissza a kísérletileg mért eloszlásokat.



2.13. ábra

A kilökések hosszáról (bal fölül), a melegedési időkről (jobb felül) és a kilökött víz tömegéről készült statisztika. Mindhárom mennyiség exponenciális eloszlást mutat.

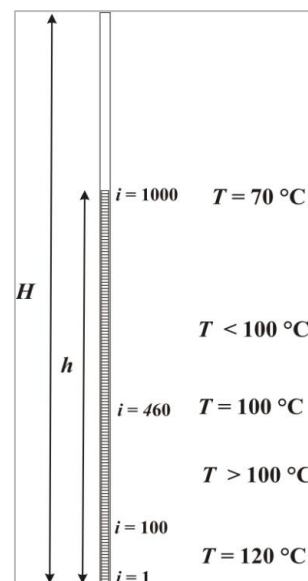
2.3 A modell leírása

Egy függőleges csövet kétharmadáig feltöltünk vízzel. A cső hossza: $H = 1500$ egység. A vízoszlop 1000 egység magasságú. A vízoszlopot fölosztjuk 1000 kis egyforma, $m_0 = 1$ egység tömegű, és egységnyi magasságú egymásra helyezett részre (kockára), melyeket alulról kezdve meg is számozunk 1-től 1000-ig (2.14. ábra).

A vízoszlopot alul fűtjük. A hőmérséklete fölfelé haladva egyenletesen csökken. Az üvegcsőben az alsó 100 kis egység hőmérséklete 120 °C , a cső tetején a hőmérséklet 70 °C . Az i . cella hőmérséklete:

$$T(i) = 120\text{ °C} - \frac{120\text{ °C} - 70\text{ °C}}{900} \cdot (i - 100),$$

ha $100 < i \leq 1000$, és $T(i) = 120\text{ °C}$, ha $0 < i \leq 100$.



2.14. ábra
A modell vázlatja

A hőmérséklet a 460. cellánál éri el a 100 °C-t, alatta túlfűtött a folyadékoszlop, felette forráspont alatt van a hőmérséklete.

A modellben az idő egységéül egy-egy iterációs lépés szolgál. Minden iterációs lépésben megvizsgáljuk a csőben a buborékképződés valószínűségét és a folyadékoszlop egyes celláinak mozgását.

A modell szerint a túlfűtött folyadékban ($i < 460$) gőzbuborékok képződhetnek. Az egy lépés alatt bekövetkező buborékképződés valószínűségét az egyes cellákban Boltzmann-eloszlásúnak tekintettük. Az i . kis egységben a buborékképződés $P(i)$ valószínűsége:

$$P(i) = P_0 \cdot e^{-\frac{\varepsilon}{kT(i)}} = P_0 \cdot e^{-\frac{A}{T(i)}}$$

ahol ε az egy molekulára jutó forráshő, A -t pedig az egy molekulára jutó forráshő és a Boltzmann-állandó hányadosaként kaptuk meg. Modellünkben $A = 4800 \text{ K}$. A programban a hőmérsékleti értékeket a Kelvinben mért érték 100-ad részeként tartottuk nyilván, így ott az $A = 48$ érték szerepel.

A P_0 érték a program paramétere, melyet változtatva figyeltük a kapott eredményt.

A forráspont alatti hőmérsékletű cellákban a buborékképződés valószínűségét 0-nak tekintettük.

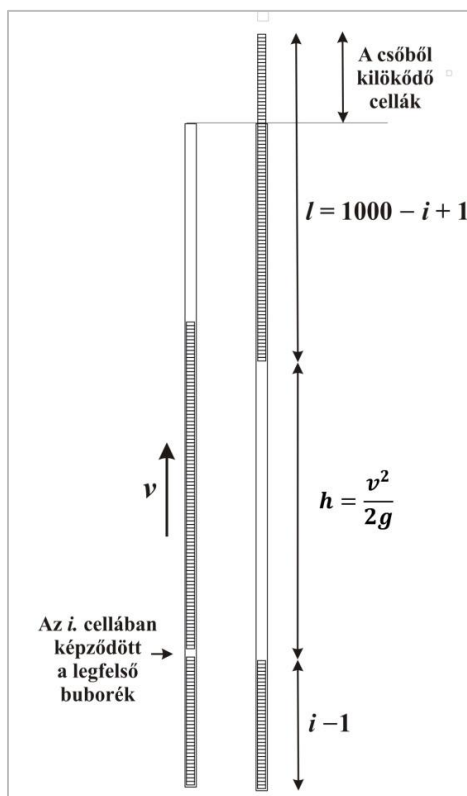
$$P(i) = 0, \text{ ha } i \geq 460.$$

A buborékképződéskor a vízoszlopot alulról impulzus éri (a buborék alulról meglöki a fölötte elhelyezkedő vízoszlopot). A vízoszlopnak átadott impulzus nagyságát egy adott cellában Gauss-eloszlásúnak tekintettük.

$$f(I) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(I-I_0)^2}{2\sigma^2}}$$

A maximális valószínűségű impulzus (I_0) szaban paraméter, akkorának vettük, hogy ha a folyadékot alulról ekkora lökés éri, még ne futhasson ki a csőből. Ez azt jelenti, hogy egyetlen cellában képződő buborék még nem elég a kilökődéshez, az csak több cellára kiterjedő buborékképződés esetén következik be. Minthogy a hőmérséklet, és így a telített gőz nyomása is csökken a csőben felfelé haladva, az előbbieken kapott impulzust megszoroztuk a $T(i)/T(1)$ hányadossal, vagyis az aktuális cella és a legalsó cella hőmérsékletének hányadosával. Így azt feltételeztük, hogy az impulzusok átlagértéke cellánként a hőmérséklettel együtt lineárisan csökken.

Szintén általunk megválasztható érték az eloszlás szórása (σ).



2.15. ábra

Az i . cellában képződő buborék (bal oldali oszlop) meglöki a vízoszlopot, mely megemelkedik (jobb oldali oszlop).

Az iterációs lépésen belül alulról indulva megvizsgáltuk, hogy melyik cellában képződik buborék. A program egy 0 és 1 közötti véletlen számot generált a vizsgált cellához, és ha az a cellában érvényes $P(i)$ buborékképződési valószínűségeknél kisebb volt, a cellában buborék képződött.

A buborék alulról meglöki a felette lévő folyadékoszlopot (2.15. ábra). A Boltzmann-eloszlással kiszámított impulzusértéket elosztottuk a cella fölött elhelyezkedő cellák tömegével. Így megkaptuk a buborék feletti cellák sebességnövekedését. Ezt hozzáadtuk ezeknek a celláknak a korábbi buborékok lökéseiből származó sebességéhez. Ha a csőben följebb haladva ismét buborék keletkezett, ott is hasonlóan jártunk el.

Miután a program végigvizsgálta az összes cellát, megállapította az egyes cellák sebességét, megnézzük, hogy milyen magasra

emelkedik a legfelső buborék feletti folyadékoszlop. Feltételeztük, hogy a tapasztalatokkal összhangban a legfelső buborék alatti víz nem lökődik ki a csőből, benne marad. Ez a feltételezés a modell szempontjából azért fontos, mert különben figyelembe kellene vennünk, hogy a buborékképződéskor a buborék az alatta lévő cellákat is meglöki. A csövet súrlódásmentesnek tekintve az utolsó buborék feletti folyadékoszlop függőleges hajítással

$h = \frac{v^2}{2g}$ magassáig jut. Ennek felhasználásával megvizsgáljuk, hogy milyen magas

vízoszlop (hány cella) kerül a cső teteje fölé. A csőből kirepülő cellák száma arányos a kilökött víz mennyiségével.

A számítás után a rendszert visszaállítottuk alapállapotába.

A programban a repülési magasság számításoknál hosszegységnek a cellák magasságát vettük. A nehézségi gyorsulás értékét (az egyszerűség kedvéért) 10 egységnek állítottuk be. Mivel a célunk az volt, hogy egyetlen buborék se kölcsönözhesen egyedül akkora sebességet a folyadékoszlopnak, hogy az kirepüljön a csőből, az impulzus várható

értékének nagyságát a tömeg, a hossz és a gyorsulás választott egységeihez kellett igazítanunk. A legfelső cella 500 egységnyire van a cső tetejétől, ezért a sebességnövekedése egy buborék lökésétől nem lehet $\sqrt{2hg} = 100$ egységnél nagyobb. Buborék a 460. cella fölött nem keletkezhet, tehát legalább 540 tömegegységnyi vizet lök meg, így az impulzus 54 000 egységnyi értéke mellett már egyetlen buborék is okozhatna kilökődést. Ha azt is beleszámítjuk, hogy ebben a magasságban az impulzus hőmérséklettel korrigált értéke kell, hogy kisebb legyen 54 000 egységnél, az I_0 várható értéknek 64 800 egységnél kisebbnek kell lennie.

Végül statisztikát készítettünk a kilökött tömegek nagyságáról, és a két kilökés között eltelt időről. Minthogy a kilökődés egyetlen iterációs lépésen belül lezajlik, a kilökődések hosszáról nem volt értelme statisztikát készíteni. A szimulációt addig futtattuk, amíg a szimulált kilökődések száma megegyezett az általunk kísérletben mért kilökődések számával. (146 illetve 279) A szimulációt többször is lefuttattuk. Tapasztalataink szerint a kilökődések 2-3 buborék képződésekor jöttek létre leggyakrabban.

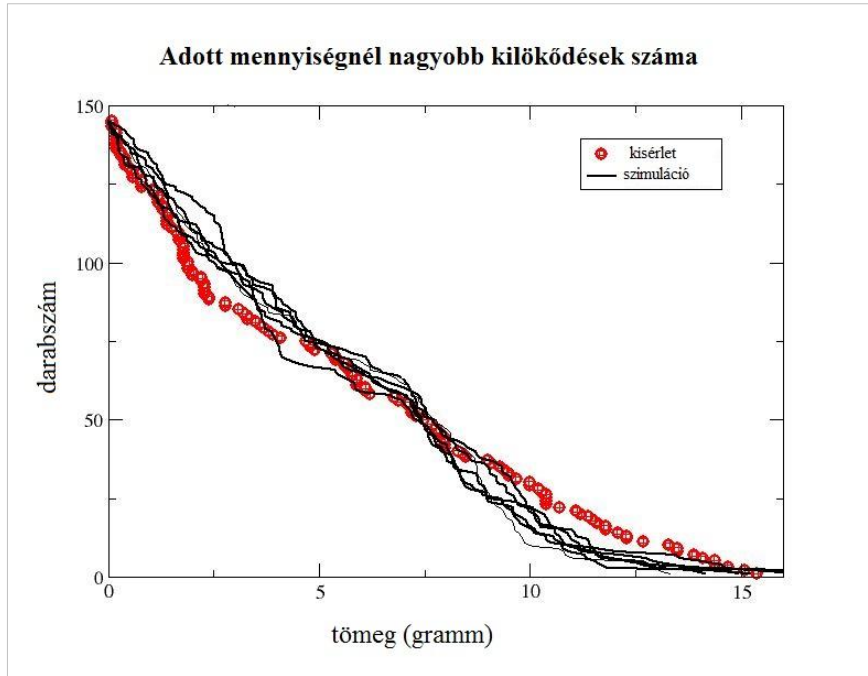
A 2.16 és a 2.17. ábrán a grafikonok a kilökött víz tömegét és a melegedési idők kumulatív eloszlását mutatják, melyek jó közelítéssel exponenciálisak, bár attól eltérnek nagy tömegek, illetve hosszú időtartamok esetén. Kis tömegek esetén a görbe követi az exponenciális görbét, később azonban az exponenciális görbe alatt fut. Kevesebb a nagy tömegű kilökődés, és hosszú melegedési idő, mint amennyi az exponenciális eloszláshoz kellene.

A szimulációs eredményeket összevetettük a korábban a 2.13. ábrán szereplő tényleges mérési eredményekkel (2.16. ábra). Ehhez a kilökött víz mennyiségét grammban kellett kifejeznünk. Egy cella tömegét 0,025 grammnak becsültük, mivel a kísérletben használt cső átmérője 1 cm, és körülbelül 30 cm magasságig telt meg vízzel. Így a kísérletünkben a vízoszlop össztömege 25 gramm, amit 1000 részre osztottunk.

A mért melegedési idők eloszlását is összevetettük a szimulációs eredményekkel (2.17. ábra). A szimulációs lépések egyben időegységeket is jelentenek, ám ezek hosszának valóságbeli megfeleltetése helyett a mért és a szimulált eloszlási görbéket egymásra fektetve megállapítottuk, hogy a görbék jellege egyezést mutat.

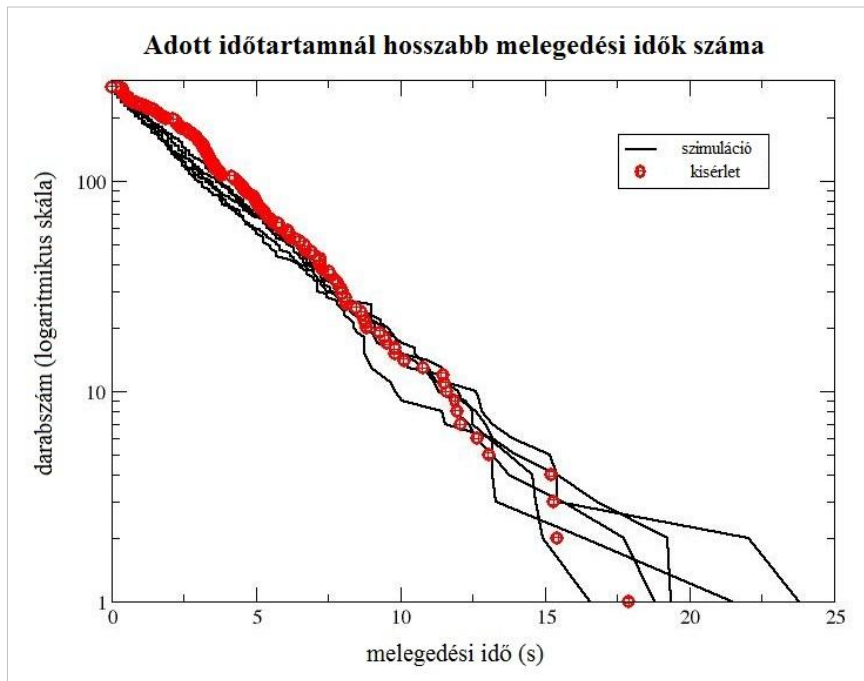
A diagramokon mind a szimulált (fekete), mind a mért (piros) eloszlásokat feltüntettük. A szimulált görbék akkor mutatták a legjobb egyezést a mért adatokkal, ha a következő szabadon választható paraméterértékeket alkalmazzuk:

$I_0 = 47000$ Az impulzus várható értéke
 $\sigma = 7000$ Az impulzus szórása
 $P_0 = 55$ A Boltzmann-eloszlás konstans szorzója



2.16. ábra

A kilökött víz tömegének kumulatív függvénye a kísérlet (piros) és a szimulált (fekete) eredmények alapján



2.17. ábra

A melegedési idők kumulatív függvénye a kísérlet (piros) és a szimulált (fekete) eredmények alapján

A szimulációval megkíséreltünk egy fél-empirikus, mechanikai modellt találni a kávéfőzőben lejátszódó kilökődési jelenségre. A modell paramétereit a kísérleti eredményekkel összevetve finomítottuk.

A modellel a középiskolában csak szakköri körülmények között foglalkoztunk, olyan diákokkal, akik speciális matematika tagozatra járnak, és különösen érdeklődnek a számítástechnika iránt. Számukra a modell megértése, a program futtatása a paraméterek változtatása mellett mindenképpen tanulságos.

A program magyarázatokkal ellátott forráskódja az A Függelékben található.

Hivatkozások

Az 1. és 2. saját közlés a Berzsényi Gimnázium Fizika munkaközösségének honlapján a tanítási anyagok között:

1. A filteres kávéfőző:
<https://drive.google.com/viewerng/a/berzsényi.hu/viewer?a=v&pid=sites&srcid=YmVyenNlbnlpLmh1fGZpemlrYXxneDozNmNmYjIwN2FhYmUyYWJi>
2. A gyertyahajtású játékhajó működése:
https://drive.google.com/file/d/0Bw_RJHQe1E91TEhucWJ5TkM1czQ/view
3. Juhász A. szerk.: Fizikai Kísérletek Gyűjteménye, Arkhimédész Bt., Budapest, 2001.
4. *Tichy Géza*: A geizír, KöMaL 1991.március, 129-130. old
5. *Baranyai Klára*: A hőtan főtételeinek alkalmazása a gyakorlatban és a természetben programcsomag in: Életpályaépítés-kompetenciaterület „A”Ember a természetben tanári útmutató , Educatio Kht., Budapest, szerk. Tóth J., 2008. 25-27. o.
nyomtatásban nem jelent meg, elérhető (2015, július 15.)
http://www.sulinet.hu/tanar/kompetenciateruletek/5_eletpalya/03_modulok_eszkozo_k_1/10_evfolyam/a_tipus/ember_a_termeszeten/ep_emb_a_term_tanar.pdf
6. *Baranyai K.*: Nem-hagyományos értelemben vett modern fizika a középiskolában, in: Fizikatanítás tartalmasan és érdekesen ELTE Fizika Doktori Iskola, szerk. Juhász A., Tél T., Budapest, 2009. , 275-280.o.

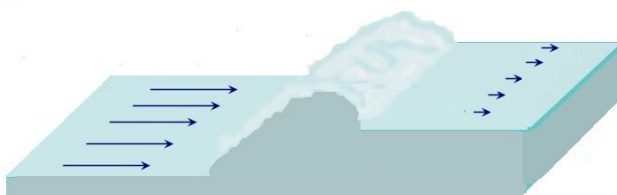
3. Folyadékfizika a tehetséggondozásban

Bár a hidrosztatika és –dinamika hosszabb ideje háttérbe szorult a középiskolai tantervekben, a legtöbb tanár a fontossága és gyakorlati alkalmazhatósága miatt megpróbál időt szentelni ezeknek a fejezeteknek is, ám sokszor csak a fakultáción vagy a tehetséggondozás keretei között marad idő a folyadékfizika tanulmányozására. Az érettségi követelményrendszer 2017-ben érvénybe lépő változtatásával azonban mind a közép, mind az emelt szintű érettségien követelmény lesz a hidrosztatika, a felületi feszültség, valamint a kontinuitási és a Bernoulli-törvény ismerete, és ezzel visszakerül a tanárok tanmeneteibe is.

Ebben a témakörben találtam egy a középiskolai gyakorlatban eddig nem használt, egyszerű, olcsó, meglepő kísérletet. Egy közepen kicsit bemélyített rézlemez lebegtetünk különböző módon egy mosogató medencéjében a víz felszínén. Először statikusan, majd a lemez közepére bocsátott vízszög alatt.

A kísérlet leírására a Quantum című folyóiratban bukkantam, amikor egy tizedik osztályos szakkörös diákcsoport számára projektfeladatot kerestem [1]. A cikkben leírt kísérlet kivitelezése nem igényel különösebb technikai jártasságot, a gyerekek maguk is elkészíthetik. Módot ad a középiskolában tárgyalt jelenségek (felületi feszültség, hidrosztatikai nyomás, Bernoulli-törvény, torlónyomás) bemutatására, magasabb szinten az újbóli átgondolására, különböző mérések, számítások és becslések elvégzésére, de lehetőséget arra is, hogy a diákok találkozzanak a hidraulikus ugrással, ami a hidrodinamika napjainkban is kutatott jelensége.

A hidraulikus ugrást akkor figyelhetjük meg, amikor a gyorsan, laminárisan áramló, viszonylag sekély folyadék hirtelen feltornyosul, örvényes, kavargó lépcső után lelassulva, vastagabb rétegben, lassabban folyik tovább (3.1. ábra). Megfigyelhető gyorsfolyású patakok esetén, lejtős vízfolyásoknál, dagályhullám érkezésekor a torlóár (3.2. ábra), de a duzzasztógátakon átzúduló víz is hidraulikus ugrást hoz létre a gát aljánál (3.3. ábra). Otthon a mosogató medencéjének alján figyelhetjük meg, ahogy a függőleges vízszög becsapódásának helyét kör alakban körbeveszi (3.4. ábra).



3.1. ábra

A hidraulikus ugrás sematikus rajza

A kép eredetijének forrása: <http://einstein.atmos.colostate.edu>



3.2 ábra

Torlóár az angliai Morecambe-öbölben

Kép forrása. Wikipédia



3.3. ábra

Hidraulikus ugrás az írországi Mulkear folyón egy
kiépített bukó után

Kép forrása: <http://olddrivershannon.com>



3.4. ábra

Körkörös hidraulikus ugrás a mosogatóban

Kép forrása: <http://lamanto.blogspot.hu>

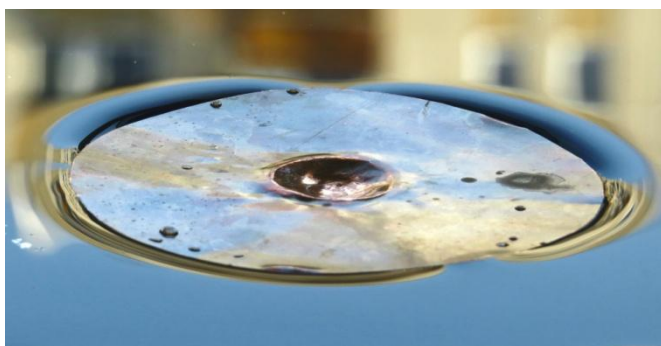
Kísérleti eszközünk egy 0,2 mm vastagságú vörösréz lemezből kivágott 10 cm átmérőjű korong, melynek a közepébe egy 20 mm átmérőjű, 3 mm mély horpadást kalapáltunk, melynek szerepére később kitérek. A lemez tömege 14 gramm.

A cikkben leírt kísérlet szerint a korongot a telitöltött mosogatómedencébe folyó vízszög alá kell helyezni. Ha elég nagy a vízhozam, megfigyelhetjük, hogy a lemez nem süllyed el, hanem fenn marad a víz felszínén annak ellenére, hogy teljesen víz alatt van, és a sűrűsége jóval nagyobb a vízénél. Láthatjuk a korong felszínén kialakuló körkörös hidraulikus ugrást, amely kulcsfontosságú a korong lebegtetésében. Megfigyelhettük azt is, hogy a lemez akkor is lebeg a víz felszínén, ha nem folyik rá vízszög. Ez a felületi feszültség jól ismert alapkísérlete, nem is szerepel az eredeti leírásban. Ám mégis foglalkozunk vele, mert a

jelenség téves magyarázata terjedt el a középiskolai gyakorlatban, és tisztázása megalapozza az eredeti kísérlet értelmezését, ezért ennek tárgyalásával foglalkozunk először.

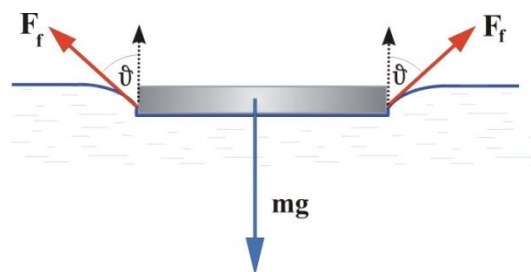
3.1 Lebegés a nyugvó vízfelszínen

A rézlemez óvatosan a víz felszínére fektettük, és amikor elengedtük, nem merült el. (3.5. ábra) Ehhez hasonló jelenséget minden tanár bemutat a diákjainak, amikor a felületi feszültséget tanítja. Alapkísérlet a vízen úszó borotvapenge, ötvenfilléres, iratkapocs bemutatása. A rézlemez lebegése mégis meglepetést okoz. A korong ugyanis túl nehéz ahhoz, hogy a felületi feszültség megtartsa.



3.5. ábra

A kísérletben a nyugvó víz felszínén lebegő korong fényképe



3.6. ábra

A jelenség magyarázatát alátámasztó, általánosan elterjedt, helytelen ábra F a felületi feszültségből származó erő, ϑ az illeszkedési szög

A szokásos tanári magyarázat szerint pusztán a víz felületi feszültsége felel a korong lebegéséért. A korongra ható erőket a 3.6. ábra szemlélteti. Ha $\vartheta = 0^\circ$ -os illeszkedési szöget tételezünk fel, a felületi feszültség nagysága $\alpha = \frac{0,14N}{0,314m} = 0,45 \frac{N}{m}$ lenne, ami körülbelül hatszorosa a valódi értéknek. Ha a ϑ illeszkedési szög 0-tól különböző, csak a függőleges komponense segítene a lemezt megtartani, ezért még nagyobb α értéket kellene feltételeznünk.

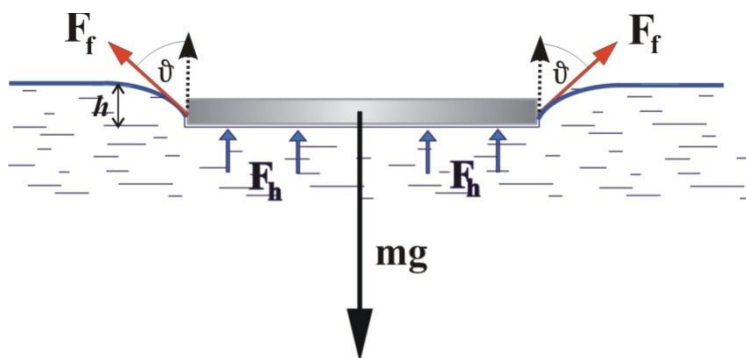
A meglepő eredményt szolgáltató számítás után a kísérletező diákok több lehetséges magyarázattal álltak elő, majd ezek helyességét leellenőrizték.

Megvizsgálták, hogy nem a közepén kialakított mélyedés okozza-e a lebegést. Nem arról van-e szó, hogy a lemez úgy viselkedik, mint a hajók, a mélyedés miatt annyi vizet szorít ki, hogy a felhajtóerő fenntartja. Megterhelték a lemezt: kitöltötték a mélyedést vízzel, és azt tapasztalták, hogy még így is tovább lebeg, tehát a feltételezést el kell vetni.

A másik ötletük szerint levegőbuborékok szorultak a lemez alá, amelyek fenntartják. Ezt a medence aljára helyezett tükrökkel leellenőrizték, és nem találtak buborékokat.

Hosszas szemlélődés után együtt találtuk meg a jelenség magyarázatát.

Ahogy ez az 3.5. ábrán is megfigyelhető, a lemez behorpasztja maga alatt a vizet. Ez azt jelenti, hogy egy-másfél milliméterrel a vízszint alá süllyed a korong alja. Ebben a mélységben a hidrosztatikai nyomás már 1-1,5 vízmilliméter. A hidrosztatikai nyomásból származó erő (F_h) a lemezt felfelé nyomja, ez a felhajtóerő segít megtartani a korongot (3.7. ábra). A bemélyedő folyadékfelszín stabilizálásáért a felületi feszültség felelős. Megfigyelhető, hogy a korong teteje is a víz felszíne alá süllyed.



3.7. ábra

A h mélységbe süllyedt korongot nagyrészt a hidrosztatikai nyomásból eredő F_h felhajtóerő tartja fenn a vízen, az F_f a felületi feszültségből származó erő

A szükséges h mélységet kiszámíthatjuk:

$$F_h = mg - \alpha_{\text{víz}} \cdot 2r\pi \cdot \cos\vartheta = \rho g h r^2 \pi ,$$

ahol ρ a víz sűrűsége.

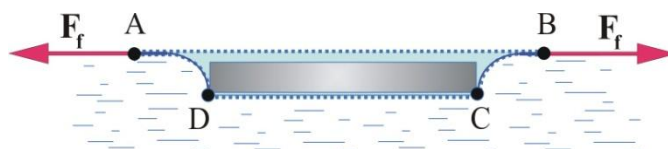
A fényképfelvételek alapján az illeszkedési szög $\vartheta = 30^\circ$ -osnak becsültük. Ebből $h = 1,49$ mm adódik. Az így kapott h reális mélység, a lemez teteje több mint 1 mm-rel a víz felszíne alá süllyed. Bár lényegében nem a felületi feszültség tartja fent a rézlemezt, a felületi feszültségnek a jelenség létrejöttében mégis fontos szerepe van, stabilizálja a behorpadt folyadékhartyát. Mivel a lemez vastagsága 0,2 mm, a tetejének körülbelül 1,3 mm-rel a víz felszíne alatt kell lennie, ami egybeváág a megfigyeléseinkkel.

Utánanéztam több könyvben és feladatgyűjteményben [2], [3], [4], köztük a tanárképzésben használatos könyvekben is, és bár a témakört bevezető kísérletről van szó, nem találtam magyarázatot. Csak a „kockás” sorozatban megjelent, Vermes Miklós által írt Mechanika példatárban [4] találtam utalást arra, hogy a felületi feszültség önmagában nem elegendő a tárgyak lebegtetéséhez.

Mérvadó, oktatással foglalkozó internetes források [5], [6], [7] között is csak egyet találtam, amely rávilágít a jelenség hátterére.

Megkérdeztem sok nagy tapasztalattal rendelkező kollégámat, hogy hogyan magyarázzák a jelenséget. Lényegében mindenki a 3.6. ábra által szemléltetett magyarázatot mondta el a kérdéseimre, vagyis egy általános, szájhagyomány útján terjedő tévedésről van szó.

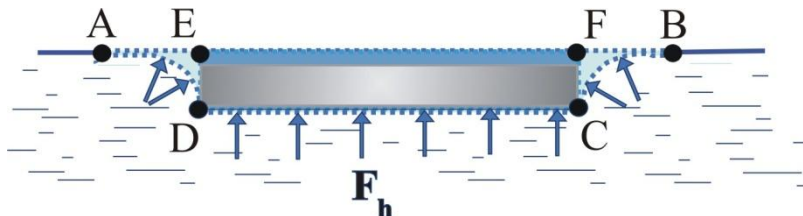
Az utóbbi időben megjelent „333 furfangos feladat fizikából” című könyv részletesen foglalkozik a problémával [8]. A következőkben az ott leírt gondolatmenetet ismertetem.



3.8. ábra

Szemeljük ki az ABCD keresztmetszettel jellemzett térfogatot!

Tekintsük a 3.8. ábrát, mely a jelenség függőleges metszetét mutatja. Gondolatban távolodjunk el a tárgytól annyira, hogy ott már a vízfelszín vízszintes legyen, az ábrán lévő metszeten az A és B pontig. Szemeljük ki az ABCD metszettel jelzett, hengersizmetrikus térfogatot, amelyet az ábrán szaggatott vonal határol. Ez tartalmazza a korongot is, de mi most az egész térfogatot egy testnek tekintjük. Láthatjuk, hogy ezt a testet a felületi erők csak vízszintesen húzzák, függőleges összetevőjük nincs. A kiszemelt térfogatra az erőegyensúly úgy jön létre, hogy a nehézségi erőt (mely lényegében csak a pénzérmére hat, a levegő súlya elhanyagolható) kizárólag a hidrosztatikai nyomásból származó felhajtóerő ellensúlyozza. Ennek az erőnek a nagysága pedig a kiszorított folyadék súlyával egyezik meg, vagyis akkora, mint az ABCD metszettel jellemzett térfogatot kitöltő folyadék súlya lenne.



3.9. ábra

A hidrosztatikai felhajtóerő (F_h) és a felületi feszültségből származó erő arányát a CDEF és az ADE+BFC metszetekkel jellemzett térfogatok aránya adja

A pénzérmére ténylegesen ható hidrosztatikai nyomásból származó erő a pénzérme aljára hat, nagysága az 3.9. ábrán CDEF metszettel jellemezhető, szintén hengersizmetrikus

térfogat súlya. A fennmaradó ADE és CFB rész által kiszorított térfogat a felületi feszültség által kialakított folyadékfelszínnek köszönhető. Ez a térfogat üres, a rá ható nehézségi erő elhanyagolható. A D és C pontok által jellemzett kör mentén érintkezik a lemezzel, itt a felületi erők húzzák felfelé a lemezt, a lemez pedig húzza lefelé a folyadékhártyát, vagyis ezt a térfogatot. Ezzel az erővel tart egyensúlyt a kiszemelt térfogatra ható felhajtóerő. Látható, hogy a test súlyától, sűrűségétől, a vízzel érintkező felületének nagyságától függ, hogy a felhajtóerő és a felületi erők milyen arányban felelősek a test lebegtetéséért.

Egy tű vagy gemkapocs lebegtetéséért majdnem teljesen a felületi erők tehetők felelőssé, hiszen ezek a tárgyak a „körvonaluk” hosszához képest nagyon kis alapterületűek, míg a rézlemez esetén csak körülbelül a súly hetedrészét tudnák megtartani.

3.2 Vízszugár alatt lebegő korong

A jelenség és a magyarázata

A kísérlet Quantum-beli leírása szerint a vízfelszínére fektetett lemez közepére, nagyjából a bemélyedést megcélozva, függőleges vízszugarat bocsátunk, majd elengedjük a lemezt. Noha a korong most teljesen a víz alatt van, ráadásul a becsapódó erős vízszugár is lefelé nyomja, mégis fent marad a víz tetején, a vízszugár alatt lebeg (3.10. ábra).



3.10. ábra

Fényképfelvétel a vízszugár alatt lebegő rézlemezről

A korong felszínén sekély, lamináris áramlási zóna után a korong pereméhez közel hidraulikus ugrás figyelhető meg

Megfigyelhetjük, hogy a lemezre csapódó vízszugár szétterül, és nagyon lapos, sugárirányú, viszonylag gyors lamináris áramlási réteget hoz létre a korong felszínén. A sekély réteg meglehetősen nagy területre terjed ki. A korong széléhez közel az áramlási réteg

magassága hirtelen megnő, a lamináris áramlást turbulens zóna követi, úgynevezett hidraulikus ugrás következik be. Az ugrás után az áramlás lelassul.

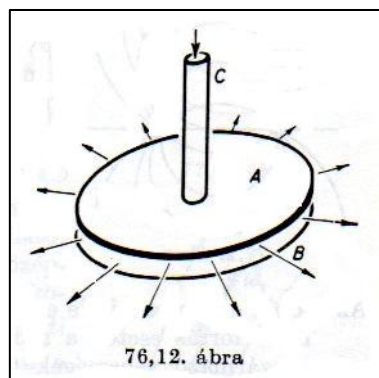
Ha változtatjuk a lemezre csurgó vízszög vízhozamát, a hidraulikus ugrás helye is változik. Nagyobb vízhozam esetén kitolódik a korong pereme felé, alacsonyabb vízhozam esetén összeszűkül. Ha egy kritikus érték alá csökkentjük a vízhozamot, a lemez már nem marad meg a víz felszínén, elsüllyed.

Fontos megemlítenünk, hogy a lemez közepén kialakított bemélyedés szerepe az, hogy stabilizálja a korong helyzetét a vízszög alatt.

Mi tartja a víz felszínén a lemezt?

A lemez sűrűsége nagyobb a vízénél, ráadásul a vízszög is lefelé nyomja, így el kellene süllyednie. A Quantumban leírt cikk szerint a megoldást a Bernoulli-törvény szolgáltatja. A lemez felett gyorsan áramló vízben a nyomás lecsökken, míg a lemez alatt a víz nyugalomban van, tehát itt a mélységnek megfelelő hidrosztatikai nyomás uralkodik. A korong két oldalán a Bernoulli-törvénynek megfelelően fellépő nyomáskülönbségből származó erő emeli a lemezt.

A fenti magyarázat jól hangzik, rögtön elhiszi az ember, és örül, hogy íme, milyen szép újabb, szokatlan kísérlettel támaszthatjuk alá a Bernoulli-törvény igazságát. Ráadásul sok iskolában van olyan kísérleti eszköz, ami ehhez nagyon hasonló jelenséget mutat be áramló levegővel. Ennek leírása Budó Ágoston Kísérleti fizika I. kötetében is szerepel [3], a neve aerodinamikai paradoxon (3.11. ábra). Itt egy vízszintesen tartott merev tányér közepén függőlegesen álló csövön keresztül levegőt fújhatunk a tányér és az alatta helyet foglaló papírkorong közé. A papírkorong ahelyett, hogy a beáramló levegő torlónyomása miatt eltávolodna a tányértól, hozzásimul ahhoz, felemelkedik a Bernoulli-törvénnyel összhangban.



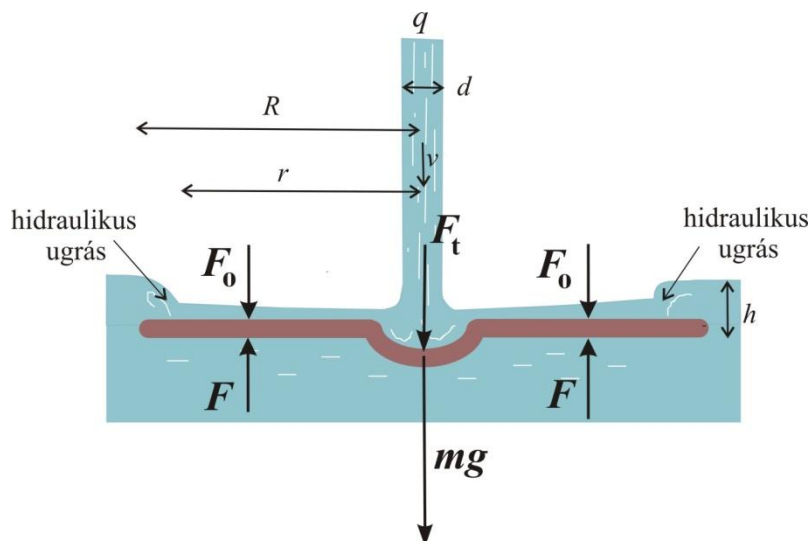
3.11. ábra

Az aerodinamikai paradoxont szemléltető kísérlet ábrája Budó Ágoston Kísérleti Fizika I. kötetében
A: merev tányér, B: papírkorong, C: fúvócső

A két kísérlet közötti megnyugtató párhuzam azonban mégsem állja meg a helyét. A levegővel végzett kísérlet esetén az áramlás a tányér és a papírkorong közötti zárt térből lép ki a szabad levegőre, ahol normál légköri nyomás uralkodik, és az áramlás lelassul. Egy áramvonalat végigkövetve itt elmondhatjuk, hogy a lemezek közötti gyors áramlás (a lemez középpontja környékétől eltekintve) csökkenti a nyomást, ezért a papírkorongot a külső légnyomás a tányér felé tolja.

A mi vízben lebegő korongunk esetében azonban a gyors áramlás nem zárt térben, hanem a szabad levegővel érintkezve zajlik. Minthogy nagyon sekély ez a réteg, jogos az a feltételezés, hogy itt a folyadékban mindenütt a külső légnyomás uralkodik. Ha nem így lenne, hanem lecsökkenne a nyomás a folyadék belsejében, a víz felületét a nyomáskülönbség lefelé mozdítaná el, amit nem tapasztalunk, az áramlás időtől független (lásd a 3.10. ábra). A lemez tetejét tehát a nagyon sekély lamináris áramlási zónában mindenütt gyakorlatilag a külső nyomás terheli. Ez a Bernoulli-törvény érvényessége miatt azt is jelenti, hogy az áramlás sebessége ideális folyadék esetén mindenütt ugyanakkora lenne. Minthogy a víz nem ideális folyadék, a sűrűdés egy kicsit lassítja az áramlást. Meg kell jegyezni, hogy itt eltekintettünk a folyadék sűrűdése miatt kialakuló sebességprofilról is, ebben a zónában sűrűdésmentes közelítést használtunk.

Mi tartja fenn a korongot a víz felszínén? Vizsgáljuk meg az erőket, amelyeket a 3.12. ábra is szemléltet!



3.12. ábra

A vízszögár alatt lebegő lemezre ható erők:

mg a nehézségi erő, F_t a becsapódó vízszögár torlónyomásából származó erő, F_0 a külső légnyomásból származó erő, F_h a lemez alatti nyomásból származó erő;
 a becsapódó vízszögár sebessége v , a becsapódó vízszögár átmérője d , a hidraulikus ugrás távolsága a középponttól r , a korong átmérője R , a lemez alja h mélyséig süllyed a vízfelszín alá

A lemezre lefelé hat az mg nehézségi erő, a becsapódó vízszög torlónyomásából származó F_t erő, a lemez felett uralkodó p_0 hidrosztatikai nyomásból származó F_0 erő, felfelé pedig csak a lemez alatt uralkodó nyomásból fakadó F_h erő. Ennek alapján láthatjuk, hogy a lemez a sztatikus esethez hasonlóan itt is az alatta uralkodó nyomásból származó erő tartja meg a víz felszínén. Ahhoz, hogy ez az erő kellően nagy lehessen, a korongnak a vízfelszín alá kell süllyednie, hogy a hidrosztatikai nyomás elég nagy legyen. Eszerint a gyorsan áramló réteg szerepe a lemez lebegtetésében nem az, hogy a légnyomás alá csökkentse a korong feletti nyomást, hanem az, hogy a korong közepétől a hidraulikus ugrásig kiszorítsa a korong fölé beáramlani kész vizet.

Elméletünk igazolására becsüljük meg az erők nagyságát, majd a besüllyedés mértékét.

A testre ható nehézségi erőt jelöljük ismét mg – vel. A becsapódó vízszög által kifejtett F_t erőt a következők alapján becsülhetjük meg: A beérkező vízszög elveszti függőleges irányú lendületét, szétterülve, minden irányban azonos sebességgel halad tovább. A teljes vízmennyiség függőleges összimpulzusa ekkor zérus. Az időegységre eső lendületváltozás adja a vízszög tolóerejét:

$$F_t = \frac{\Delta mv}{\Delta t} = \frac{\rho \Delta V v}{\Delta t} = \rho q v ,$$

ahol a becsapódó vízszög sebessége v , ρ a víz sűrűsége, $q = \frac{\Delta V}{\Delta t}$ pedig a vízhozam.

A vízhozam meghatározásához egy ismert térfogatú edény megtöltésének idejét mérhetjük. A víz sebességét a vízhozam ismeretében úgy határozhatjuk meg, hogy a becsapódás helyén megmérjük a vízszög d átmérőjét:

$$v = \frac{q}{\frac{d^2}{4}\pi} = \frac{4q}{d^2\pi},$$

amiből

$$F_t = \frac{4\rho q^2}{\pi d^2}.$$

Az F_0 erő becsüléséhez elhanyagoljuk a becsapódó vízszög által elfoglalt d átmérőjű kör területét, valamint az egyszerűség kedvéért feltételezzük, hogy a vízhozam akkora, hogy az ugrás kitolódjon a korong pereméig ($r = R$).

Ha a külső légnyomás p_0 ,

$$F_0 = p_0 \cdot R^2\pi .$$

A korongot alulról nyomó F erő:

$$F = p_h \cdot R^2 \pi = (p_0 + \rho gh) \cdot R^2 \pi ,$$

ahol h a korong alsó felületének mélysége.

Írjuk fel az erők egyensúlyát kifejező egyenletet:

$$mg + F_0 + F_t = F, \text{ vagyis}$$

$$mg + p_0 \cdot R^2 \pi + \frac{4\rho q^2}{\pi d^2} = (p_0 + \rho gh) \cdot R^2 \pi.$$

Ebből

$$mg + \frac{4\rho q^2}{\pi d^2} = \rho gh \cdot R^2 \pi.$$

Méréseink szerint $mg = 0,137 \text{ N}$, $q = 4,3 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$, $d = 0,005 \text{ m}$, $R = 0,05 \text{ m}$. Ebből

$$0,137 \text{ N} + 0,094 \text{ N} = 7,85 \frac{\text{N}}{\text{m}} \cdot h ,$$

amiből $h = 2,94 \cdot 10^{-3} \text{ m}$ adódik, azaz a lemez körülbelül 3 milliméter mélyre süllyed. Ezt a tapasztalataink is alátámasztják, a lemez besüllyedése a 3.10. ábrán is látható.

Érdekes, hogy esetünkben a torlónyomásból származó erő kisebb a lemez súlyánál.

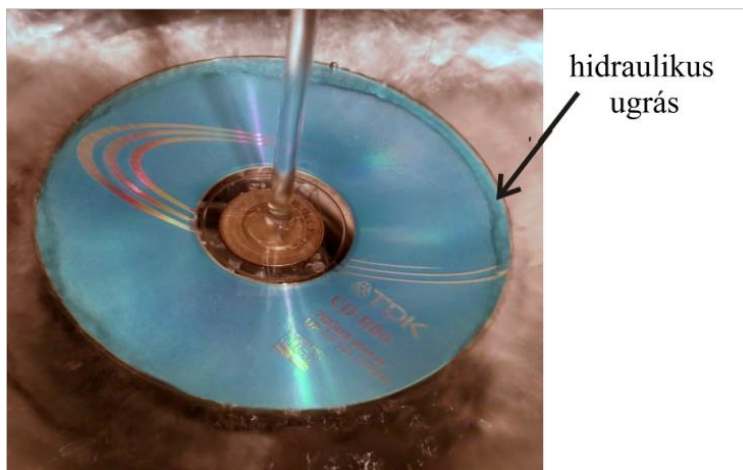
Ha a vízhozamot csökkentjük, a lemezt a becsapódó víz kevésbé nyomja, ezzel a korongot fent tartó F erőnek is csökkennie kell. Ez úgy valósul meg, hogy miközben valószínűleg a h mélység is változik valamennyit, a hidraulikus ugrás a középpont felé húzódik vissza. Mélyebb elemzések szerint az ugrás középponttól mért r távolsága a vízhozam kétharmadik hatványával arányos: $r \sim q^{2/3}$ [9]. Így lecsökken az a terület, ahol a gyorsan áramló víz kiszorítja a lemez fölé beáramlani kész víztömeget. A lemez pereménél a hidraulikus ugrás után már a hidrosztatikai nyomás is növeli a lemezre lefelé ható erőt. Ez lecsökkenti az F_h és az F_0 erők különbségét. Ha a vízhozam egy kritikus érték alá esik, a lemez nem képes tovább a víz felszínén lebegni, elsüllyed [10].

Meg kellene vizsgálnunk, hogy van-e a lebegést lehetővé tévő vízhozamnak felső értéke. A hidraulikus ugrás nem tolódhat ki a korong peremén túl, így ha a torlónyomás nagyon nagyra válik, és a hidraulikus ugrás magassága nem elég nagy, a lemez nem nyomódik elég mélyre, a lemeznek el kellene süllyednie. A rendelkezésre álló kísérleti eszközök (csapok és locsolócsövek) segítségével nem tudunk ilyen vízhozamot előállítani.

Mérési feladat a Középiskolai Matematikai és Fizikai Lapokban

A jelenség elég érdekesnek mutatkozott ahhoz, hogy szélesebb körben is ismertté váljon. Lehetőséget ad arra, hogy a tanulók önállóan is méréseket végezzenek. Érdekes probléma annak a megfigyelése, hogy ha csökkentjük a lemezre érkező vízhozamot, milyen kritikus vízhozam-érték esetén fog a lemez elsüllyedni. Ez természetesen függ a lemez tömegétől. Ez adta a mérési feladat ötletét: mérjük meg a kritikus vízhozamot a lemez tömegének függvényében.

Ehhez olyan mérési eszközt kellett találni, amely sokak számára (réz alapanyag nélkül is) otthon elérhető, és ráadásul a tömegét egyszerűen tudjuk változtatni. A legalkalmasabbnak egy CD-lemez bizonyult. A CD-lemez közepén lévő lyukra alulról egy vagy több pénzérmét ragasztunk celluxszal vagy szigetelőszalaggal. Így felülről a lyuk bemélyedést képez, nem kell kalapálnunk sem, mint a rézlap esetén. Azonban a lyuk éles pereme a gyors, lapos áramlást megakasztja, a víz felfelé fröcsköl, a lemez nem viselkedik stabilan. Ezért a lyukra felülről is ragasztószalagot tettünk úgy, hogy a bemélyedés megmaradjon, de a ragasztószalag a peremet lankássá tegye. A lemez tömegét a ráragasztott pénzérmék számával és tömegével változtathatjuk. Az elrendezést a 1.13. ábra szemlélteti.



3.13. ábra

A CD-re ragasztott pénzérme is jól bevált kísérleti eszköz

Mérési eredményeink alapján, melyeket a 3.1. táblázat foglal össze, az általunk vizsgált tartományban a kritikus vízhozam a lemez tömegének négyzetével arányosnak tűnik. A 3.14. ábra grafikonjára illesztett egyenes meredekségéből a

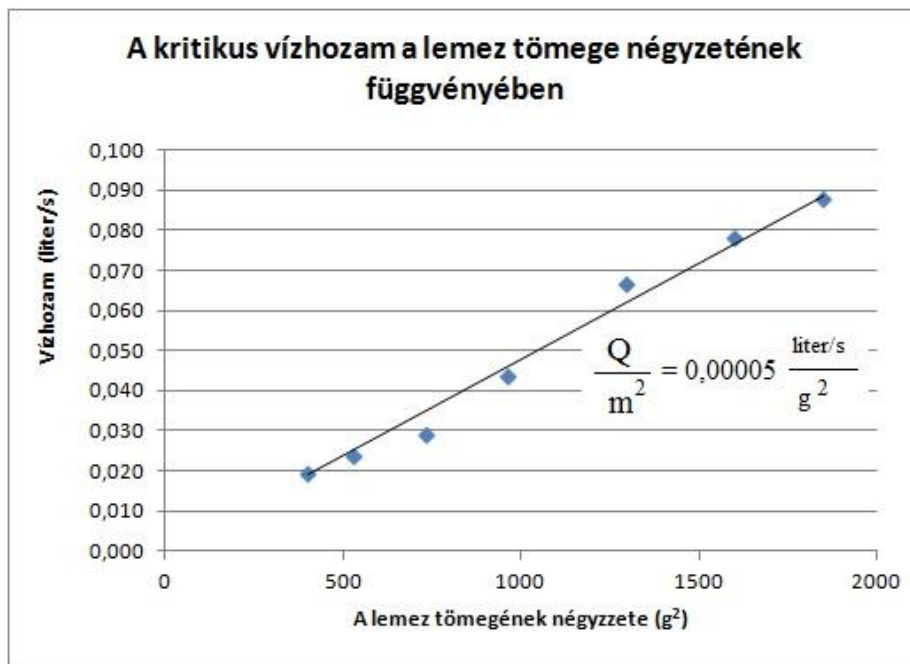
$$\frac{Q_{\text{krit}}}{m^2} = 0,00005 \frac{\text{dm}^3}{\text{s g}^2}$$

összefüggést állapíthatjuk meg. Az eredmény értelmezése, további elemzése meghaladja a középiskolai kereteket.

Az egy literes edény megtöltéséhez szükséges idő						Q (liter/s)	m (g)	m ² (g ²)
t ₁	t ₂	t ₃	t ₄	t ₅	t _{átlag}			
52	54	50	54	48	51,6	0,019	20	400
46	44	38	36	44	41,6	0,024	23	529
44	32	34	34	28	34,4	0,029	27	729
24	22	22	22	24	22,8	0,044	31	961
14	17	14	14	16	15	0,067	36	1296
13	13	14	11	13	12,8	0,078	40	1600
11	12	12	11	11	11,4	0,088	43	1849

3.1. táblázat

A kritikus vízhozam mérésekor kapott időadatokat és az ebből a számított vízhozam-értékeket a lemez tömegének függvényében



1.14. ábra

A kritikus vízhozam a lemez tömege négyzetének függvényében

Ez a mérési feladat jól használható a középiskolai tehetséggondozásban is, szakköri feldolgozásra, vagy egyéni otthoni mérésre egyaránt alkalmas [11]. A feladatot elküldtem a

Középiskolai Matematikai és Fizikai Lapok szerkesztőségébe, ahol várhatóan a 2015/16-os tanév folyamán a mérési feladatok pontversenyében kitűzik.

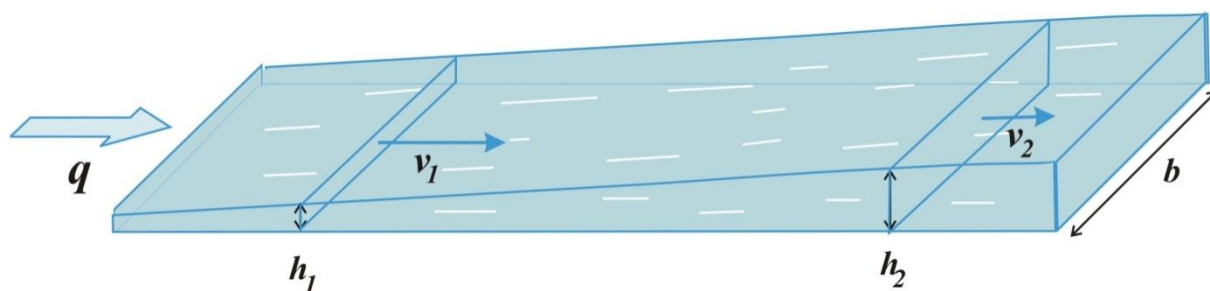
A hidraulikus ugrás elkerülhetetlensége

A kör alakú hidraulikus ugrás tárgyalása meghaladja a középiskolai, de még a fizikatanár-képzés kereteit is. Azonban az alább vázolt gondolatmenet, amely A. Luzin cikkében [1] szerepel, lehetőséget ad arra, hogy érdeklődő diákoknak szakköri keretek között valamilyen magyarázattal szolgálhassunk a hidraulikus ugrás kialakulására sűrű folyadékokban.

Az alábbi gondolatmenetben az egyenleteket ideális, súrlódásmentes folyadékokra írjuk fel. Explicit módon nem szerepel az egyenletekben a folyadék sűrűsége, ezt majd az áramló víz energiacsökkenésének feltételezésével vesszük figyelembe. Az alaposabb elemzések nem hagyhatják figyelmen kívül a sűrűséget, ám gimnáziumi szinten a fent leírt közelítés elfogadható.

Tekintsük a 3.15. ábrán szereplő állandó szélességű, téglalap keresztmetszetű, vízszintes aljú áramlási csatornát! A csatorna szélessége b , a folyadék magassága h , a folyadék sűrűsége ρ , sebessége v .

Egyelőre tételezzük fel, hogy a folyadék ideális, az áramlás lamináris és időtől független, és vizsgáljuk meg az áramlást az 1. és a 2. indexekkel jellemzett két helyen!



3.15. ábra

Vízszintes aljú áramlási csatorna

q a vízhozamot, h a folyadék magasságát, v az áramlás sebességét jelzi. A csatorna szélessége mindenütt b

A Bernoulli-törvényt egy a felületen vett áramvonal mentén felírhatjuk erre a két pontra:

$$\rho gh_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 = \rho gh_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2$$

Ez egyben azt is jelenti, hogy a folyadék egy keresztmetszetén a térfogategységre jutó E energia állandó. A kontinuitási törvény miatt a q vízhozam a csatorna minden keresztmetszetén állandó $q = bhv$, amiből $v = \frac{q}{bh}$, amit az előző egyenletünkbe behelyettesítve:

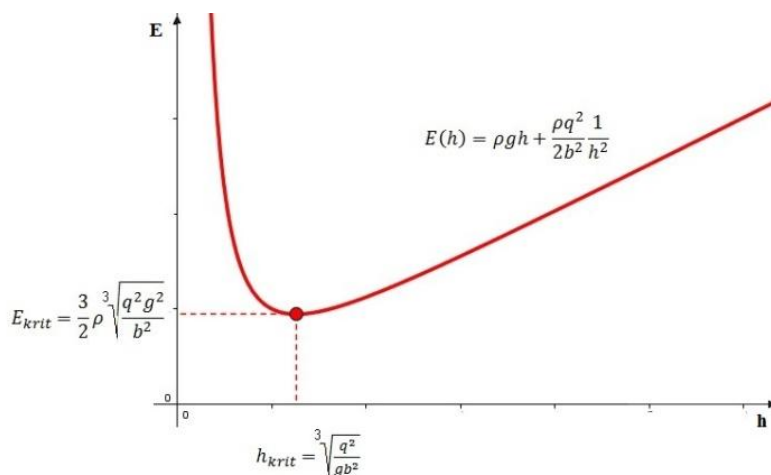
$$E_1 = \rho gh_1 + \frac{1}{2}\rho \left(\frac{q}{bh_1}\right)^2 = \rho gh_2 + \frac{1}{2}\rho \left(\frac{q}{bh_2}\right)^2 = E_2$$

Az energia ebben a kifejezésben csak a folyadék h mélységének a függvénye. Ha a folyadék ideális lenne, az áramlás magassága nem változna, hiszen az energiája nem csökkenne. Nem valósulna meg az ábrán lerajzolt áramlás.

Ám a folyadéknak van belső súrlódása, a csatornában előre haladva a folyadék térfogategységre jutó energiája csökken. Vizsgáljuk meg az

$$E(h) = \rho gh + \frac{\rho q^2}{2b^2} \frac{1}{h^2}$$

függvényt (3.16. ábra)!



3.16. ábra

A folyadék térfogategységre eső E energiája a h magasság függvényében

A függvények vizsgálatának eszközei általában a diákok számára nem ismertek, mert azt többnyire tizenkettedikben, és csak az emelt szintű matematika tantervű vagy fakultációs csoportok tanulják. Ám a Geogebra, vagy más függvényrajzoló programok segítségével kirajzoltathatjuk a függvényt valamilyen konkrét paraméterek mellett, és megkerestethetjük a

szélsőértékét. A Geogebra a gyerekek egy részének ismerős, néhányan matematikaórán találkoznak vele. Van olyan funkciója, amellyel a szélsőérték megkereshető, és mind a szélsőérték-helyet, mind az értéket numerikusan feltünteti a tengelyeken.

Az együtthatóktól függetlenül a függvény lefutása a 3.16. ábrán szemléltetethez hasonló. Látható, hogy függvénynek minimuma van, melyet a

$$h_{krit} = \sqrt[3]{\frac{q^2}{gb^2}} \text{ helyen ér el, ahol az } E_{krit} = \frac{3}{2}\rho \sqrt[3]{\frac{q^2g^2}{b^2}} \text{ értéket veszi fel.}$$

A tizedikes diákokkal a szélsőérték-helyet nem tudjuk deriválással megkeresni. Minthogy a Geogebra programba nem írhatunk be paraméteres együtthatókat, az

$$f(x) = h + \frac{1}{h^2}$$

függvény görbét rajzoltattuk ki a programmal. Így ők is láthatták, hogy a függvény menete a fent vázoltakhoz hasonló, vagyis van egy kritikus mélység, amelynél a víz fajlagos energiája minimálissá válik

Ha a csatorna elején gyors az áramlás, a h magasság kicsi. Ahogy a súrlódás miatt a folyadék veszít az energiájából, az áramlás lelassul, a h értéke megnő. A függvénnyel összhangban az energia csökken. Ám ez a folyamat csak a $h_{kritikus}$ mélységig tarthat, onnantól a folyadék további lassulása, a h értékének növekedése a folyadék energiájának növekedésével jár, ami ellentmondásra vezet. Így a folyadékáramlás jellegének itt szükségképpen meg kell változnia. Ez vezet a hidraulikus ugráshoz.

A diákjaim ezzel a projekttel a 2011/12-es tanévben beneveztek a Szegedi Tudományegyetem által meghirdetett Pályázat Kísérleti Fizikából című versenyre, melynek témája: Kísérletek a deformálható testek (gázok, folyadékok, szilárd testek) mechanikája témaköréből. A versenyen első helyezést értek el.

A kísérletek több szempontból is nagyon tanulságosak voltak. Egyrészt módot adtak a folyadékfizika fontos összefüggéseinek alkalmazására két egyszerű kísérlet kapcsán, miközben egy sok helyen előforduló, ám nem tudatosuló jelenséggel, a hidraulikus ugrással is megismerkedhettek a gyerekek.

A kísérleteknek pedagógiai hatása is volt. Szelíden tükröt tartottak a gondolkodásunknak, hiszen már a nyugvó vízfelszínen lebegő lemez esete is rávilágított arra, hogy bizony még tanárként is hajlamosak vagyunk egyszerű, frappáns, ám csak részben igaznak bizonyuló magyarázatokat örömmel elfogadni, és továbbadni. Még ennél is mélyebb csapdába sétálhatunk bele a második kísérlet magyarázata esetén, hiszen maga a Quantum

folyóirat is hibás magyarázattal szolgált a jelenségre. Az ilyen élményeket mindenképpen nevelő hatásúnak gondolom nem is elsősorban a diákok, hanem a magam és kollégáim számára.

Hivatkozások:

1. Luzin: An unsinkable disk; Quantum, 1999. Sept./Oct., 42. o.
2. Tasnádi Péter-Skrapits Lajos-Bérczes György: Mechanika I., II; Dóm-Dialóg Campus, 2013.
3. Budó Ágoston: Kísérleti fizika I; Tankönyvkiadó, Budapest, 1975.
4. Vermes Miklós: Mechanika példatár; Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1972.
5. <http://kiserletek.versenyvizsga.hu/show/130/F-B-G>
6. <http://tudasbazis.sulinet.hu/hu/termesztudomanyok/fizika/fizika-7-evfolyam/kepgyujtemeny-folyadekok-es-gazok-temakorhoz/feluleti-feszultseg>
7. http://titan.physx.u-szeged.hu/~julio/Dokumentum_MechHullOptKis.html#id313064
8. Gnädig Péter-Honyek Gyula-Vígh Máté: 333 furfangos feladat fizikából; Typotex, 2014.
9. Y. Brechet-Z. Néda: Ont he circular hydraulic jump; American Journal of Physics., Vol. 67, No. 8, August 1999.
10. Baranyai Klára : Vízen lebegő rézlemez ; Fizikai Szemle, 2015. április, 131-134. o.
11. *Izsa É., Baranyai K.*: Kísérletek a fizikatáborban, in: Természettudomány tanítása korszerűen és vonzóan ELTE Fizika Doktori Iskola, szerk.: Tasnádi P, Budapest, 2011., 404-409. o.

4. Önszerveződés és lavinák a szakköri munkában

Fizikatáborra készülve két informatika iránt is érdeklődő, tizenegyedikes fizikatagozatos diák számára kerestem projektfeladatot. Mindenképpen valamilyen számítógéppel kapcsolatos témát szerettem volna adni nekik. Az ELTE Fizika Doktori Iskola Fizika Tanítása Program keretében megtartott Kooperatív jelenségek, interdiszciplináris vonások kurzus hatására úgy döntöttem, hogy kipróbálom az iskolában a lavinaképződés homokdomb-modelljét.

A lavinák képződése kiválóan megfigyelhető egy manapság divatos ajándéktárgy, a mágneses homokóra esetében. Ez egy olyan homokóra, amiben a homok helyett vasreszelék van, és a homokóra talapzatába egy erős kis mágneset helyeztek el. A homokóra futását megfigyelhetjük mágnes nélkül, és mágnessel is, a mi példányunkban mindkét esetben körülbelül 40 másodperc alatt pereg le az összes vasreszelék.

Ha mágnes nélkül pergetjük le a vasreszeléket, akkor annak köszönhetően, hogy az órának viszonylag nagy a burája a benne lévő granulátum mennyiségéhez képest, megfigyelhetjük, hogy az alul képződő halom néhány másodperc eltelte után mindig ugyanolyan nyílásszögű kúpot képez. Ez azt jelenti, hogy ha a halom oldalának dőlésszöge a fentről érkező újabb szemcséknek köszönhetően meghaladna egy kritikus értéket, akkor a vasreszelék megcsúszik, lavina alakul ki. A kúp oldalának dőlésszöge e körül a kritikus érték körül stabilizálódik, miközben állandóan kisebb-nagyobb lavinák indulnak el az oldalán (4.1. ábra).



4.1. ábra

A homokórában alul keletkező kúp három egymás utáni pillanatban

Ha a vasreszelék lepergését a mágneses talapzaton figyeljük meg (4.2. ábra), akkor az alul képződő halom nem lesz kúp alakú, mert a mágnes vonzása gömbölyded alakot kölcsönöz neki. A halom felületén a vasreszelék szemcséi viszont szépen igyekeznek követni a mágneses indukcióvonalakat, ezért a felület tüskés lesz. Ezen a tagolt felületen a leomlásokkor kialakuló lavinák nagyon szépen megfigyelhetőekké válnak.



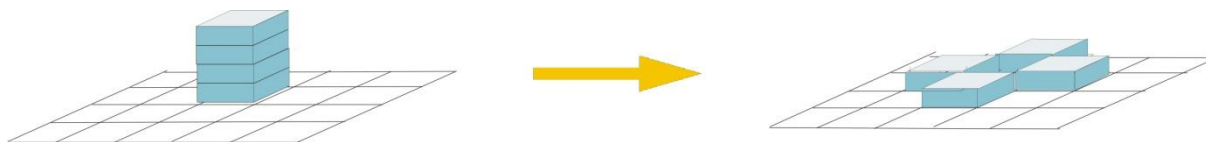
4.2. ábra

A mágneses homokórában lepergő vasreszelék-halom három egymást követő fázisban

A mi projektünk idején még nem ismertük a mágneses homokórát, de ma úgy gondolom, hogy a homokdomb-modell tárgyalását érdemes ennek a látványos kis eszköznek a megfigyelésével kezdeni.

A dán származású Per Bak fizikus nevéhez fűződik a modell, aki Chao Tanggal és Kurt Wiesenfelddel együtt 1987-ben bevezette az önszerveződő kritikusság fogalmát a fizikába [1]. Az önszerveződés azt jelenti, hogy sok egyforma egyed viszonylag egyszerű szabályokat követő viselkedésének melléktermékeként áll elő az egész rendszer globális, meglepő viselkedése. A rendszer kritikus volta pedig arra utal, hogy a rendszer egy pontján megjelenő kis változás a rendszer tetszőleges méretű részére kiterjedő változást idézhet elő. A kritikus ponton, azaz másodrendű fázisátalakulások esetén minden lényeges fizikai mennyiség hatványviselkedést mutat, s ez jellemzi az önszerveződő kritikusságot is.

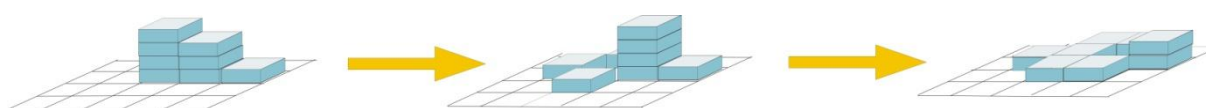
A lavinák kialakulását leíró homokdomb-modell szerint a négyzet rácson felosztott, vízszintes, négyzet alakú „hómezőre” véletlenszerűen hullanak a hópiletek, mindig egy véletlenszerű rácspontba egyetlen hópilet. Ha valamelyik rácspontban túl magas hókupac keletkezik, a kupac megcsúszik. A modell szerint, ha egy rácspontba már négy hópilet hullott, akkor a rácspontból a hópiletek mindegyike átadódik a szomszédos négy rácspont egyikének, mind a négy szomszédnak egy-egy. Így a szomszédos rácspontokban eggyel megnő a hópiletek száma, míg az illető rácspont kiürül (4.3. ábra).



4.3. ábra

Ha egy cellában 4 hópihe, melyeket itt kis hasábokkal szemléltetünk, összegyűlik, akkor szétesztódik a szomszédai között

Ha valamelyik szomszéd rácspont ezáltal „megtelik”, a hópihék száma eléri a négyet, akkor onnan is továbbadónak a hópihék, és így tovább. Így időről időre a megcsúszások hosszabb láncolatai, úgynevezett lavinák alakulhatnak ki. (4.4. ábra)



4.4. ábra

A lavina kialakulásának egymást követő fázisai

A modell számítógéppel vizsgálható hatékonyan. Minden hópihe beérkezése után megvizsgáljuk az összes rácspontot, diszkrét lépésekben végigkövetjük a lavinákat. Újabb hópihe akkor kerül fentről a hómezőre, amikor a rendszerben már nincsen több változás, a lavinák lefutottak.

A hómező széléről a továbbadott hópihék szintén lavinaszerűen (kisebb-nagyobb mennyiségekben) lehullanak és elvesznek.

Ez a modell tulajdonképpen egy sejtautomata. Az iskolában az informatika szakos kollégákkal konzultálva kiderült, hogy ők foglalkoztak szakköri körülmények között sejtautomatákkal, az egydimenziós Wolfram-féle sejtautomatákat vizsgálták táblázatkezelő programmal. Tapasztalataik alapján biztattak, hogy a homokdomb-modell szabályainak átlátása, és talán programozása is megfelelő feladat lehet a diákjaim számára. Érdekes mellékszál, hogy a homokdomb-modell viszont új volt a számukra, és annyira megtetszett nekik, hogy feladatot készítettek belőle a Középiskolai Matematikai Lapok számítástechnika pontversenye számára [2]. A feladat szövege:

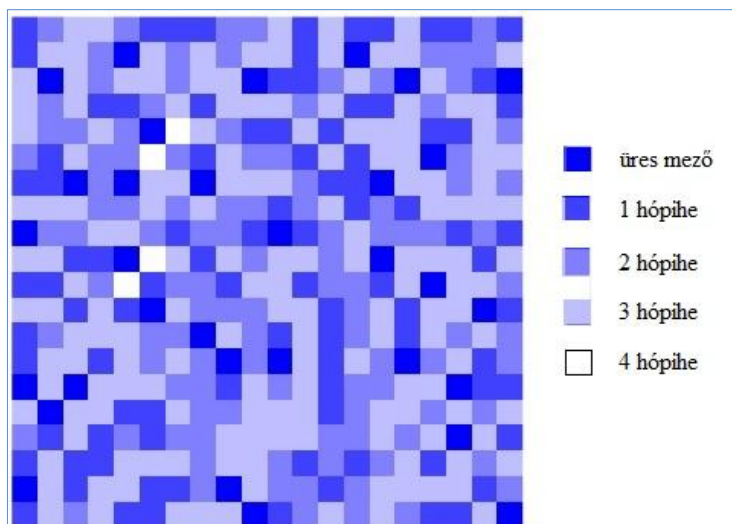
„A talaj az egyszerűség kedvéért legyen sík, $N \times M$ cellára ($3 \leq N, M \leq 100$) felosztva. A szimuláció minden lépésében essen 1 hópihe valamelyik véletlenszerűen kiválasztott cellára. A valóságban a hópihék időben párhuzamosan esnek, de sok szimulációs lépés végrehajtásával ezt jól közelíthetjük.

A hóréteg vastagsága fokozatosan növekszik, és ezt számoljuk minden cellában. Ameddig a HM ($4 \leq HM \leq 12$) kritikus magasságot nem éri el a hó, addig különösebb változás nem történik. Ha a cellában a hópihék száma eléri a kritikus értéket, akkor 4 szomszédjának átad egy-egy hópihét. (A cella értéke 4-gyel csökken és a négy oldalszomszédjává 1-1-gyel nő.) Ennek hatására a szomszéd cellákban is megnő a hóréteg magassága és a kritikus magasság felett, az előbbiekhöz hasonlóan azok is továbbadják a négy szomszédjuknak a hópihét. Amennyiben a szomszéd cellában a magasság nem éri el a kritikus értéket, akkor az nem ad tovább, és így a szomszédjait sem kell tovább vizsgálni. A vizsgált terület széléről ledőlő hó eltűnik. Ha az átadás több cellán keresztül végig vonul, akkor beszélhetünk megcsúszásról, és ha ez a terület nagy, akkor lavináról.

A program jelenítse meg minden hópihe leesése után a változást grafikusán. A jó megfigyelhetőség érdekében a cellákat 3×3 -as, vagy 5×5 -ös pixelekkal ábrázoljuk. Azokat a cellákat, amelyekben változás nem történt, színezzük egyforma színnel (háttérszín is lehet), és a megváltozott tartalmú cellákat egy másik színnel.”

Amikor a gyerekekkel elkezdtünk dolgozni, először azt kapták feladatul, hogy gyűjtsenek információkat a homokdomb-modellről. Ezután megbeszéltük, hogy mire jutottak, pontosítottuk az információkat. Megkapták a korábban (kollégán által kitűzött) I.187. számú KöMaL-feladatot [2], amit módosítottunk. A kitűzött feladat szerint a hómező négyzetrácsain 3-tól 11 hópihe is összegyűlhet, mi azonban legfeljebb 3 hópihét engedtünk összegyűlni, ahogyan az eredeti modellben szerepelt. A feladat a lavinák grafikus megjelenítését tűzte ki a program céljául, mi viszont emellé még azt is, hogy rögzítsük egy-egy kialakuló lavina hosszát, illetve készítsünk statisztikát a különböző hosszúságú lavinák gyakoriságáról. A két tanuló közül az egyikük nagy örömmel foglalkozott flash-animációkkal, korábban írt néhány játékot, amivel az osztályban játszottak, így a grafikus megjelenítés részét szívesen elvállalta. Másikuk viszont a statisztika elkészítésére írt programot Pascal nyelven.

A programozás közben felmerült egy kérdés. Vajon befolyásolja-e a kialakuló lavina hosszát, vagyis azt, hogy hányszor következett be egy-rácspontra betelése a teljes relaxációig, hogy milyen sorrendben foglalkoztunk az időlépésen belül a rácspont szomszédaival? A kérdés megválaszolása túlmutat a középiskolai szinten, komoly matematikai ismereteket igényel. A szakirodalomban utánaolvasva, és kollégáimmal konzultálva megtaláltuk a megnyugtató választ: a lavina hosszát nem befolyásolja a sorrend [3], [4].



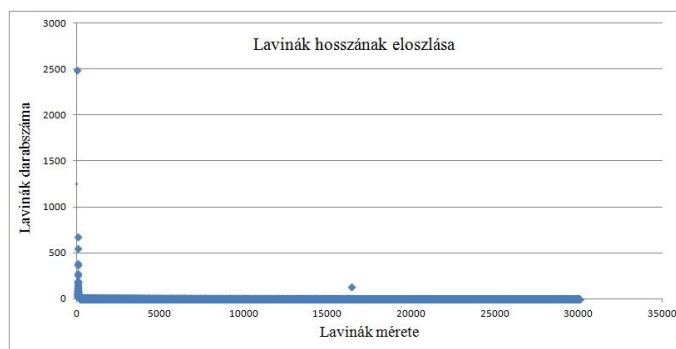
4.5. ábra

A homokdomb-modell megjelenítése 20x20-as mezőn.
A fehér mezők lavina futására utalnak.

A program megírása közben a diákok gyakorlati kérdéseikkel az informatikatanárokhoz fordultak. Láthatóan lelkesített őket a feladat, szívesen foglalkoztak vele. Mind a megjelenítő program (4.5. ábra), mind a statisztika-készítő program lehetőséget ad arra, hogy magunk válasszuk meg a hómező méretét, valamint a mezőre a szimuláció tartama alatt összesen lehulló hópihek számát. A fizika szempontjából ez különösen a statisztika-készítő program esetén fontos.

A programok forráskódját a B Függelék tartalmazza.

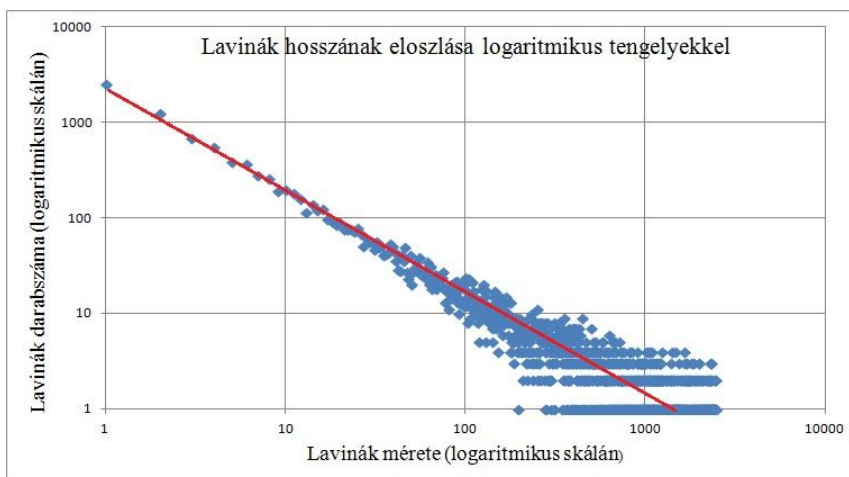
Miután elkészültek a programok, a statisztikákkal kezdtünk foglalkozni. Megvizsgáltuk, hogy a különböző hosszúságú lavinákból hány darab képződött a program futtatása alatt. A lavinahossz-eloszlásból grafikont készítettünk, amihez a jól ismert Excel programot használtuk. A grafikonról az első pillantásra nem sok információt olvashatunk le lineáris tengelyeket használva (4.6. ábra).



4.6. ábra

Lavinák hosszának eloszlása 100x100-as mezőn 50 000 hópihével

A 11. évfolyamos gyerekek a matematika tanterv szerint a második félévben már megismerkednek a logaritmussal. Ebből a szempontból ideális pillanat volt a függvény vizsgálata, hiszen egy matematikaórán kívüli helyzetet kínált a logaritmus alkalmazására. Az Excel program felkínálja, hogy a tengelyek ne lineáris, hanem logaritmikus beosztásúak legyenek. Erről a funkcióról tudtak, ám nem értették. Ha mindkét tengelyt logaritmikussá tettük, a görbe szép, értelmezhető alakot nyert (4.7. ábra).



4.7. ábra
Az eloszlás logaritmikus tengelyekkel

Szép pillanat volt, amikor a gyerekek rájöttek, hogy ez azt jelenti, hogy az eloszlást egy hatványfüggvény írja le, hiszen

$$\text{ha } f(x) = \alpha \cdot x^k, \text{ akkor } \lg(f(x)) = \lg \alpha + k \cdot \lg x.$$

A logaritmikus tengelyekkel ábrázolt függvény meredekségéből a kitevőt is meg tudjuk határozni. Sok szimulációs adatgyűjtés után megállapítottuk, hogy esetünkben a kitevő -1 körüli értékeknek adódik függetlenül a hómező méretétől és a lehullott hópihék mennyiségétől. Ez azt jelenti, hogy a lavina előfordulásának gyakorisága a hosszával fordítottan arányos. Azt is megfigyelhettük, hogy a log-log skálán ábrázolt függvény a nagy méretek esetén már eltér az egyenestől, a görbe vége kiszélesedik. Ennek oka a hómező véges méretéből és az iterációs lépések (hópihék) véges számából adódik.

Eredményeink egyeztek az irodalmi eredményekkel [1].

A projekt egyik érdekes mellékes eseménye volt, hogy a gyerekek felfedezték és megértették, hogy miért árulnak a papírboltokban a milliméterpapír mellett még másféle, logaritmuspapírnak nevezett furcsa lapokat is.

A 11. osztályban kerül elő matematikaórán a statisztika. A tananyagban az egyenletes és a binomiális, fakultáción esetleg a hipergeometrikus eloszlás szerepel, ezekkel

kapcsolatban feladatokat is oldanak meg a tanulók. Számítások és képletek nélkül a normáeloszlást, a haranggörbét is megemlítik, néhány példával szemléltetve a környezetünkben gyakori előfordulását a testmagasságtól az intelligencia-hányadosig.

A lavinák eloszlása az előbb felsoroltaktól eltérő vonásokat mutat. Itt nincs az eloszlásgörbének csúcsa, mint a binomiális vagy normál eloszlás esetén. Mindenféle méretű lavina előfordul, a méretével fordítottan arányos gyakorisággal.

A csoport feladata az volt, hogy keressenek ehhez hasonló eloszlásokat. Különböző internetes és nyomtatott források alapján [4], [5] megtanultuk, hogy a földrengésekben felszabaduló energia, a települések lélekszáma, az emberek vagyoni helyzete, az internetes hivatkozások száma egy-egy oldalra mind hatványeloszlást követ. Ezzel a téma történetével fordított utat jártunk be, ahol a hatványeloszlások, és az úgynevezett $1/f$ típusú zajok megvalósítására kerestek modellt [7].

A projekt azzal zárult, hogy a gyerekek bemutatták az eredményüket a fizikatáborban a társaiknak (4.8. ábra). Az előadás sikert aratott a többiek körében is, ami talán annak köszönhető, hogy a számítástechnika, a matematika és a fizika mint tantárgy találkozott egy témában. Maga a homokdomb-modell is izgalmas, újszerű. Néhány lépést papíron ceruzával is végig lehet követni a modellben, de érdemleges vizsgálatokra számítógép nélkül nincs esélyünk. Itt a kutatás tényleges eszköze a számítógépen futó modell. Annak az élménye, hogy a gyerekek önállóan képesek számítógépes programot írni a modellre, büszkeséggel töltötte el őket. A frissen szerzett matematikai ismereteiket a matematikaórán kívül alkalmazhatták, és bemutathatták a többieknek. A műszaki és természettudományos pályára készülő diákok választás előtt állnak, a matematikán kívül egy szakirányú érettségi tárgyat kell megjelölniük, ami általában vagy a fizika vagy az informatika, de idő hiányában mindkettőt nem választják, pedig a további tanulmányaik során mindkét tárgyból emelt szintű ismereteket várnak el tőlük. A homokdomb-modell tanulmányozása azért is lehet eredményes a középiskolában, mert olyan példát mutat a két terület összekapcsolására, amelyben a fizikai valóság megértésének valódi eszköze a számítógépes szimuláció. Ösztönző problémának bizonyult, ami az önálló alkotás és kutatás élményét nyújtotta a diákok számára. A következő tanévben volt, aki azzal keresett meg, hogy valami „lavinás” projektfeladatot találjak a számára, ami azt mutatja, hogy az újszerű, komplex feladatok, amelyek kitekintést nyújtanak különböző határterületek felé, és modern technikát, számítógépet használnak, sokszor vonzóak a diákok számára.



4.8. ábra

A projekt bemutatója a fizikatáborban

Hivatkozások:

1. *Per Bak*: How Nature Works: The Science of Self-Organized Criticality.: 1997.,Oxford University Press
2. Középiskolai Matematikai Lapok 2008. május, 294, oldal
3. *Paoletti G.*: Deterministic Abelian Sandpiles and patterns, Springer, 2014.
4. *M. Creutz.*: Abelian Sandpiles, Computers in Physics, March/April 1991, pp. 198-203.
<http://thy.phy.bnl.gov/~creutz/mypubs/pub110.pdf>
5. *Barabási Albert-László*: Behálózva , Helikon Kiadó, Budapest, 2008.
6. <http://etdk.adatbank.transindex.ro/pdf/mate%20gabriell.pdf> (2015. július 15.)
7. *Per Bak, Chao Tang, Kurt Wiesenfeld* Self-organized criticality: An explanation of the $1/f$ noise, Phys. Rev. Lett. 59, 381 , 1987

5. Hőkamera a fizikatanításban

Az oktatás mindenki számára észlelt problémáira választ keresve egy ideje új munkaformák elterjesztésével próbálkoznak az iskolák, és ezt sokszor központilag is ösztönzik. 2010-ben A Berzsenyi Dániel Gimnázium egy TÁMOP-pályázat keretében kipróbálta a témahetet, mint új oktatási formát. Ez a 11. évfolyamot érintette, körülbelül 120 tanuló 16 témában kisebb, osztályoktól független, az érdeklődési kör alapján szerveződött csoportban dolgozott. A gyerekek számára a témahét 4 napján nem tartottunk hagyományos tanórákat. Helyette a csoportok önállóan, tanári támogatással a kiválasztott téma feldolgozásával foglalkoztak. A témákat ebben az évben a tanárok hirdették meg, és a diákok választottak maguknak csoportot. A témahét átfogó címe: Helyünk a világban.

A 16 téma közül kettő volt természettudományos, ezek egyike, az általam meghirdetett téma a hőkamera köré épült. Eredeti szándékunk szerint az iskola hőtérképét készítettük volna el, megvizsgáltuk volna, hogy mi hol helyezkedik el a hőmérsékleti skálán, az iskola épülete mennyire energiatakarékos, és azt reméltük, hogy sok érdekes dologra fény derül majd. Azonban az eszköz, amit a projekthez kölcsönkaptunk, erre a célra nem volt alkalmas, mert mozgatása nagyon körülményesnek bizonyult. Viszont rendkívüli érzékenysége és nagy felbontása lehetővé tette, hogy különböző jelenségeket eddig még sosem tapasztalt módon vizsgáljunk meg.

Három napon át tizenöt diák dolgozott azon, hogy különböző jelenségekről hőkamerás felvételeket készítsen. A rendkívül érzékeny kamerát négy napra kaptuk kölcsön. Egy ilyen drága berendezést nem volt tanácsos a 17 éves diákok gondjaira bízni, ezért a témahét, és az önálló projektmunka szabályaitól eltérően végig jelen voltam a munka során.

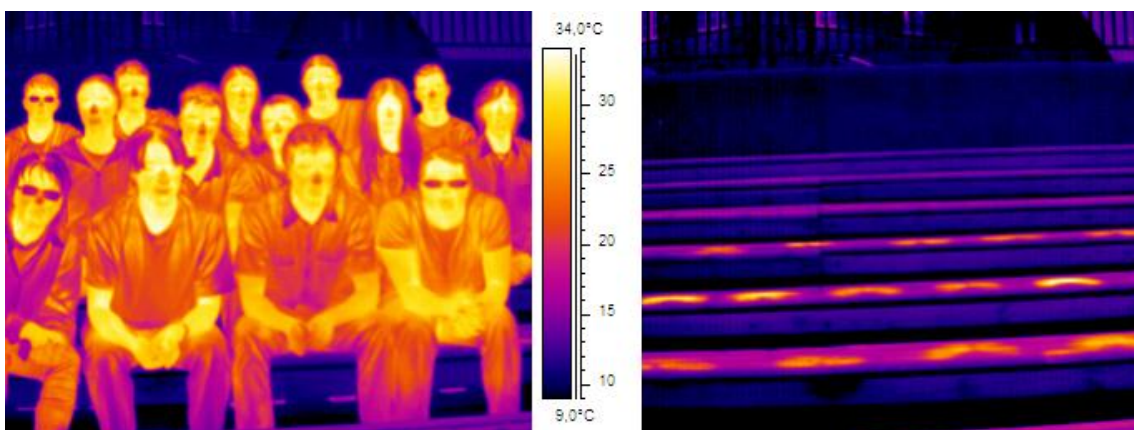
A hét végére a témahét csoportjai prezentációkat állítottak össze, és ezek segítségével bemutatták a munkájuk eredményét az iskola többi évfolyamának és egymásnak. A mi csoportunk bemutatójának nagy sikere volt, mind a diákok, mind a tanárok lelkesen dicsérték a látottakat. A hőkamerás csoport munkája azonban nem volt összesűrítendő egyetlen rövid prezentációban, ezért a csoport úgy látta jónak, ha honlapon teszi közzé a felvételeket, a kísérletek leírását, és a munka közben a látható fény tartományában készült fényképeket, filmeket. Ezt a honlapot, mely mintegy 50 kísérletről tartalmaz felvételeket, azóta is használjuk oktatási célokra, sőt, más iskolákban is bemutatják a kollégák a filmjeinket.

5.1 A kamera

A gyerekek kezdetben nem voltak nagyon lelkesek, az egész oktatási kísérlet kétségeket támasztott bennük, nyűgként gondoltak rá. Egészen addig, míg meg nem pillantották a kamera által nyújtott képet.

A kölcsönkapott eszköz rendkívül érzékeny berendezés volt. A hőmérsékletmérés hibája $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$, a képfelbontás 50 megapixel/másodperc. Négy félvezetődetektor működött benne, melyek különböző hőmérsékleti tartományokban használhatóak. Ezek folyamatos hűtést igényeltek, melyről a folyamatosan működő, beépített Peltier- és Stirling-hűtők gondoskodtak. A kamerának nem volt saját kijelzője, ehelyett egy saját számítógép csatlakozott hozzá, amelyen a mérési adatokat feldolgozó szoftver futott, és amelyen a kívánt kép volt megjeleníthető. Emiatt az eszköz nehezen volt mozgatható. Ezért eredeti terveinket módosítva inkább a rendkívüli eszköz lehetőségeit kihasználva egy osztályteremben különböző kísérletek, jelenségek lefilmezésére rendezkedtünk be.

A kamera a hősugárzás alapján hőmérsékletet mér. Az egyes pixelekből érvényes hőmérsékleti értékeket a szoftver az általunk kiválasztott színek alapján színekként jeleníti meg, így alakíthatjuk ki az általunk legjobbnak tartott színezetű képet. Minden kép jobb oldalán található egy skála, mely megmutatja, hogy melyik szín milyen hőmérsékletet jelent. Az 5.1. ábrán a bal oldalon a hőkamerás témaheti csoport hőfényképe látható. Érdekes tapasztalat, hogy az orrunk általában hidegebb az arcunknál, és megfigyelhettük, hogy a szemüvegek a hősugarak számára nem átlátszóak. A csoportkép elkészülte után felálltunk, a jobb oldalon a gimnázium „amfiteátrum”-ának fa ülökéin hagyott hülő helyünk látható. A fa rossz hővezető, ezért a nyomok leginkább sugárzással hűlnek.



5.1. ábra

Bal oldalon a hőkamerás csoport hőfényképe, jobb oldalon a fa ülökéken hagyott hülő helyünk.

A kamerához tartozó szoftver alkalmas grafikonok rajzolására is. Amíg a filmet létrehozó összes adat rendelkezésünkre áll a géphez tartozó számítógép memóriájában, addig a kép több kis tartományát megjelölhetjük az elkészült filmen egy kis téglalapba foglalva, és ott folyamatosan mérhetjük a leghidegebb, vagy legmelegebb pont hőmérsékletét, vagy akár átlagolhatjuk is a tartományban a hőmérsékletet. Így végigkövethetjük a tartomány hőmérsékletének alakulását, és ezt grafikusán is megjeleníthetjük.

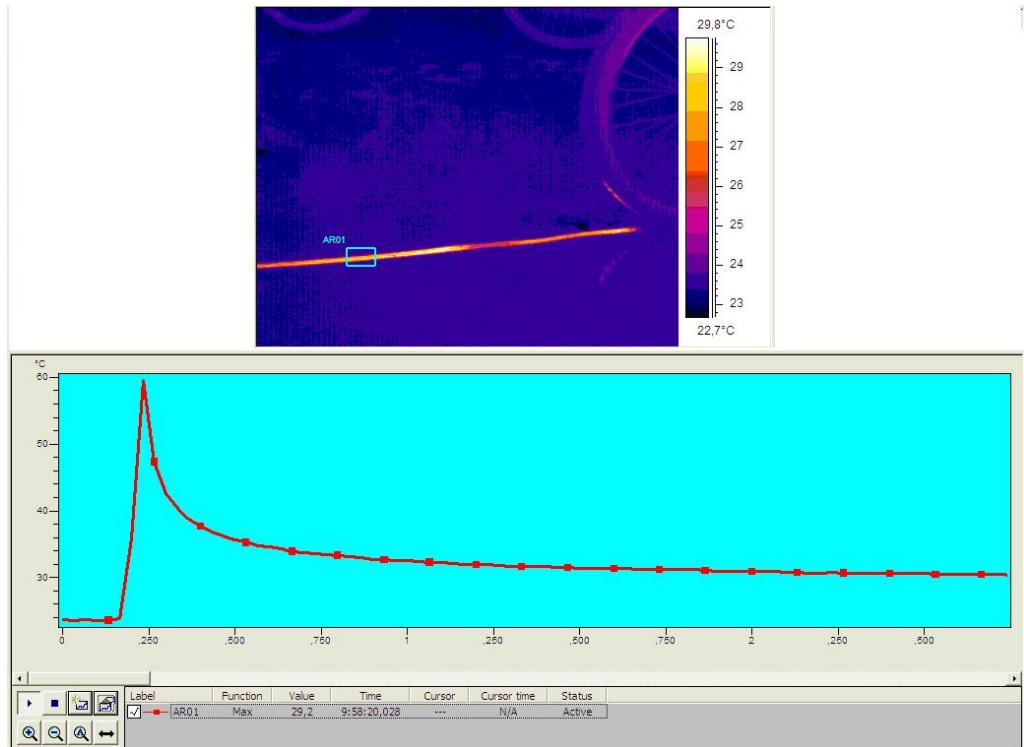
A munka megkezdése előtti héten a gyerekek a kamera kézikönyvének angol nyelvű szövegéből fordították le néhány részletet [1]. Ebben nagyon jó elméleti és történeti összefoglalást találtunk a hőszigetelésről, és az infravörös technológiáról. Emellett összegyűjtöttünk olyan kísérleteket, amelyeket szerettünk volna megvizsgálni a kamerával. Az alábbiakban néhány szép példát mutatok be az általunk vizsgált jelenségekből.

5.2 A vizsgált jelenségek

A mechanikai munka hővé alakulása

Fizikaórán megtanuljuk, hogy a mechanikai energia megmaradása csak olyan rendszerekben teljesül, ahol kizárólag konzervatív erők hatnak. Különben a súrlódás, közegellenállás vagy egyéb disszipatív erők hővé alakítják a mechanikai energiát. Néha ezt meg is tapasztalhatjuk, például a tenyerünkkel érezhetjük a felmelegedést, de a legtöbbször inkább feltesszük, és elfogadjuk, hogy a mechanikai energia csökkenésének nem lehet más oka. A hőkamera ezekben az esetekben láthatóvá teszi a felmelegedést.

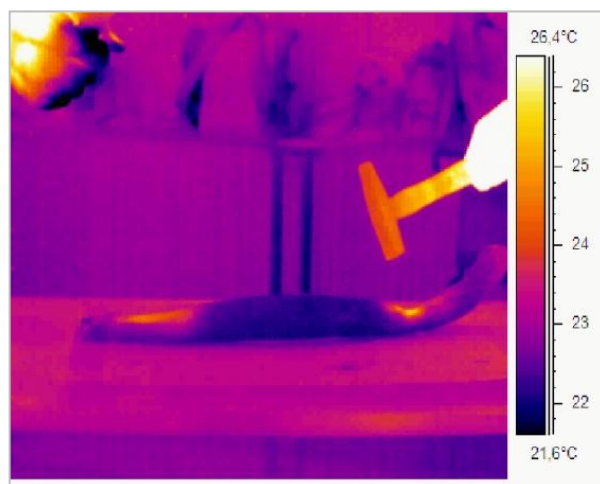
Először egy a terem linóleum burkolatán blokkolva fékező kerékpár esetét vizsgáltuk meg. Nagyon tanulságos volt a féknyom egy kis részének hőmérsékletét végigkövetni a kamera szoftvere által rajzol grafikonon.



5.2. ábra

A blokkolva fékező kerékpár féknyomának hőfényképe a linóleumon. A grafikon a képen kis téglalappal jelzett tartomány hirtelen felmelegedését majd hűlését mutatja az idő függvényében

Az 5.2. ábrán jól látszik a felmelegedett féknyom, mely a linóleum rossz hővezetése miatt éles szélű. A grafikonról jól leolvasható, hogy a talaj a kiválasztott tartományban hirtelen 60°C fölé melegszik. A féknyom kiválasztott részének hűlési görbéje is nyomon követhető. A kis pontok a görbén időben periodikusan helyezkednek el. A görbére nem illeszthető tiszta függvény, mert a hűlést a sugárzás és a teremben fellépő hőáramlás együttese okozta.



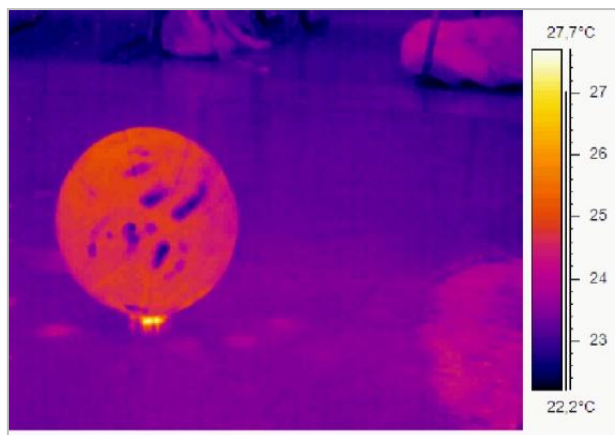
5.3. ábra

Az ólomcső kalapálásakor fellépő felmelegedés a rugalmatlan deformáció következtében

Egy másik kísérletben ólomcsövet kalapáltunk. Az 5.3. ábrán látható, hogy az építkezésből lomtalanított régi vízvezetékcső a kalapálás helyén, a két végén belapul és felmelegszik.

Mindenki tanulja, hogy a rugalmatlan alakváltozás következtében a mechanikai energia hővé alakul. Az ólom rugalmatlanul deformálódik, fajhője alacsony, ezért mechanikai kölcsönhatások során a felmelegedése viszonylag nagy. Ezért sokszor említik feladatokban vagy tankönyvi szövegekben a rugalmatlanul ütköző vagy deformálódó ólomtesteket tipikus példaként, ám erről a diákoknak többnyire semmilyen tapasztalatuk nincsen. A rugalmatlan deformációja következtében jelentkező felmelegedést inkább elhisszük, nem szoktuk megtapasztalni. A hőkamera segítségével láthatóvá vált a jelenség, melyet az 5.3. ábra mutat, A skáláról leolvasható, hogy a melegedés mértéke 3-4°C.

A pattogó labda mechanikai energiája is hővé alakul egy idő után, hiszen a talajjal történő ütközése nem tökéletesen rugalmas, és a közegellenállás is lassítja. Az érzékeny kamera segítségével láthatóvá válik a talaj és a labda érintkezési felületén a visszapattanáskor fellépő melegedés, melynek mértéke 2-3 °C (5.4. ábra). A labda felületén hideg ujjnyomok láthatóak.



5.4. ábra

A talajról nem tökéletesen rugalmasan visszapattanó labda felmelegedése az érintkező felszínen körülbelül 2-3 °C.

Az elektromos áram hőhatása

Az elektromos áram hőhatását is vizsgálták a diákok. Ez a hőkamerával akkor is jól megmutatkozik, amikor a melegedés nem éri el az izzási hőmérsékletet, a huzal nem világít, mint az izzólámpában. Sok kép készült különböző módon kapcsolt ellenállásokról. Számítási feladatok kapcsán korábban megbeszéltük, de a kamerával láthatóvá is vált, hogy soros

kapcsolás esetén a legnagyobb, míg párhuzamos kapcsolás esetén a legkisebb ellenálláson fejlődik a legtöbb hő.

Megvizsgáltuk az energiatakarékos lámpa és a hagyományos izzólámpa melegedését is. A két lámpa a látható tartományban nagyjából azonos intenzitású fényt bocsátott ki (5.5. ábra bal oldala). Sugárzásukat az infravörös tartományban összehasonlítva azt tapasztalhattuk, hogy míg a hagyományos izzó erősen melegszik, a kompakt fénycső csak a gyújtószerkezete körül melegedett fel, a világító fénycső hideg maradt (5.5. ábra jobb oldala).



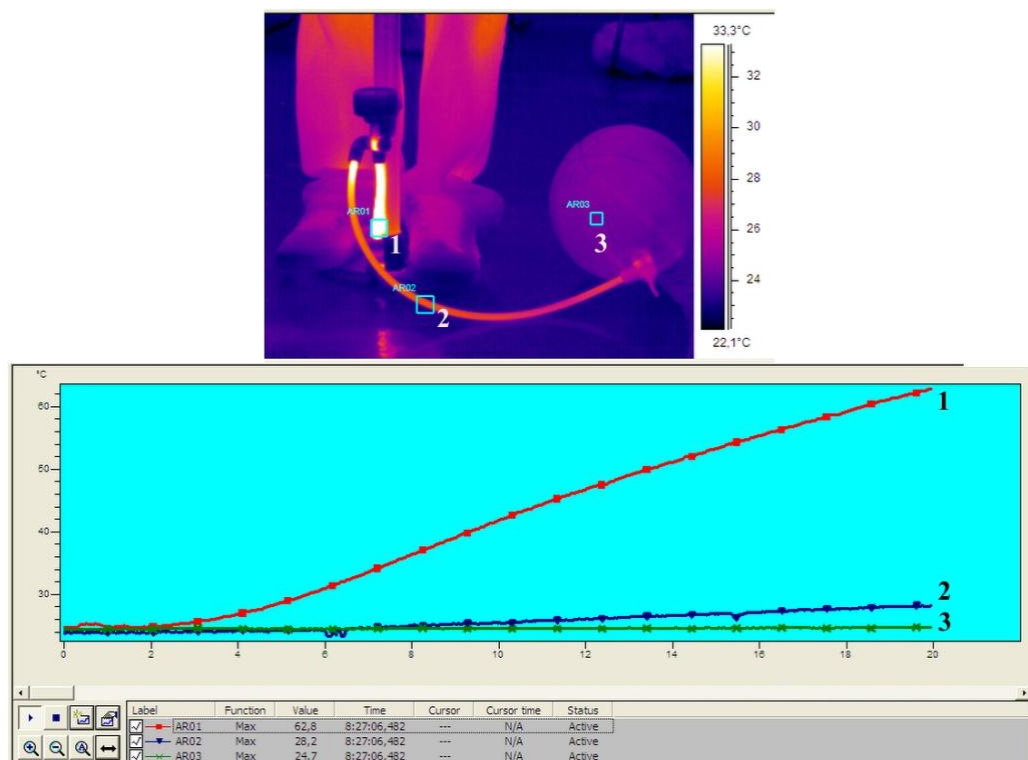
5.5. ábra

Energiatakarékos kompakt fénycső és hagyományos izzólámpa sugárzása a látható fény tartományában (bal oldal) és az infravörös tartományban (jobb oldal)

Gáztörvények

A gázok állapotváltozásai többnyire hőmérsékletváltozással járnak. Ezt szeretnénk volna láthatóvá tenni néhány felvételen.

A leglátványosabb egy labda felpumpálása volt. A pumpa megközelítően adiabatikusan nyomja össze a levegőt, ezért az felmelegszik. Az 5.6. ábrán a hőképen és a kép alatti grafikonon is látható, hogy a pumpa kivezetőcsöve (piros grafikon) nagyon fölmelegedett. A cső távolabbi szakasza már kevésbé (kék grafikon), maga a labda pedig hideg maradt (zöld grafikon). A hengerben hirtelen összenyomott levegő felforrósodik, 60 °C-nál magasabb hőmérsékletet ér el. A pumpa kivezetőcsövébe áramolva felmelegíti azt, majd ahogyan továbbáramlik egyre hűvösebb lesz, míg a labdában ismét kitágul, lehűl, itt már nem okoz felmelegedést.

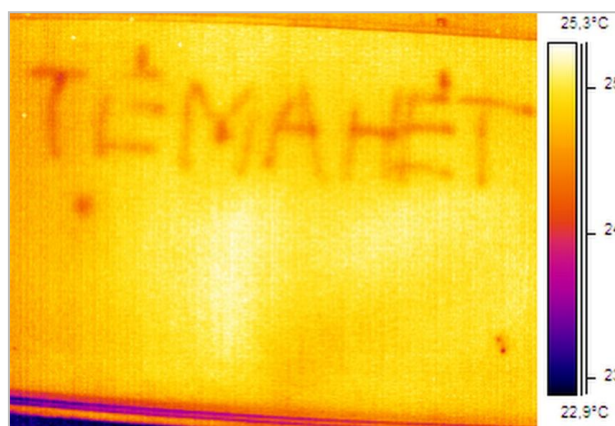


5.6. ábra

Egy labda felpumpálása közben bekövetkező adiabatikus melegedés hőképe (felső kép). A három grafikon a képen számmal megjelölt három tartomány melegedését mutatja az idő függvényében.

Halmazállapot-változások

Az általunk vizsgált jelenségek többsége a párolgáshoz kapcsolódott. Az egyik legszebb kísérlet egy „hőgraffiti”, amit egy dezodorral írtak a gyerekek a táblára. A kiáramló és könnyen párolgó alkoholos dezodor lehűtötte a környezetét 1-2 °C-kal. Látható fényben a felirat elillant néhány másodperc alatt, a felmelegedése azonban tovább tartott, a hőkamera még egy darabig láthatóvá tette a rossz hővezető üvegtáblára írt hideg feliratot (5.7. ábra).



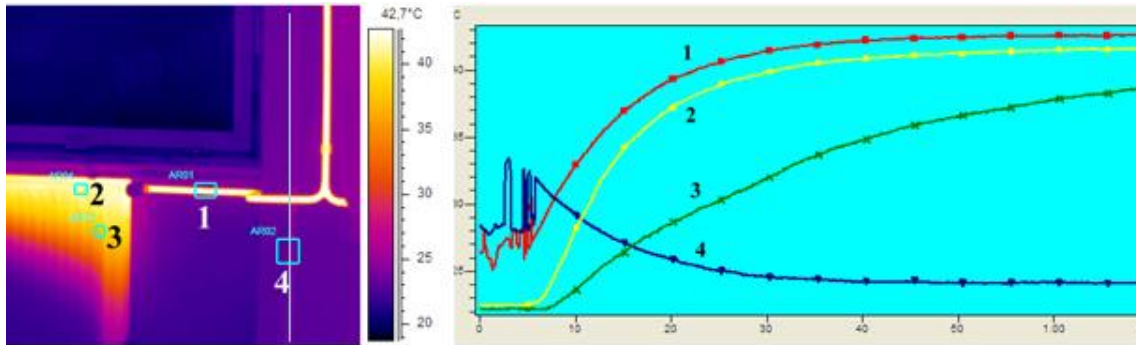
5.7.ábra

Dezodor-spray-vel írt „termograffiti”

Hőterjedés

A hőterjedés mindhárom formáját: a hővezetést, hőáramlást és a hősugárzást is megvizsgáltuk a kamerával.

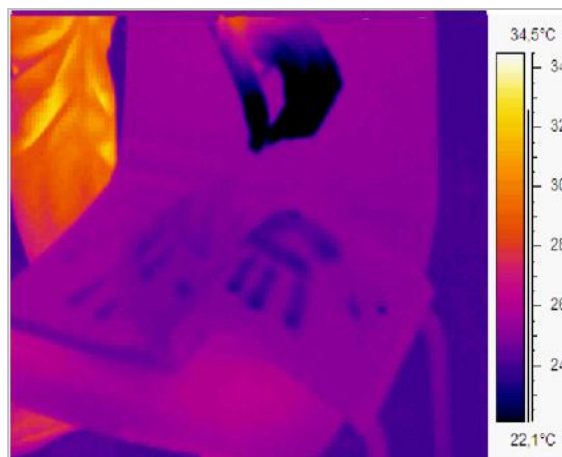
A hőáramlásról látványos felvétel készült egy kezdetben hideg, majd megnyitott radiátor esetében.



5.8. ábra

Hőáramlás egy radiátor csapjának megnyitása után. A grafikonok a számozott tartományok hőmérsékletének időbeli alakulását mutatják. A radiátor kivezetőcsövének helyét vékony vonal jelzi.

Az 5.8. ábra jobb oldali grafikonjain jól nyomon követhető a bal oldali képen számokkal jelzett tartományok melegedése. Minél távolabb van egy pont a radiátor csapjától, annál lassabban melegszik fel, hiszen a csap megnyitása után egy darabig kevésbé meleg víz áramlik a távolabbi, mint a közelebbi helyekre. Megfigyelhető a radiátor kivezetőcsövének átmeneti lehülése is, amit az okoz, hogy a kezdetben meleg csőbe a radiátorból hidegebb víz áramlik a csap megnyitása után. Az 1. és 4. grafikon kezdeti ingadozását a csapot megnyitó diák mozgása okozta. Ő egy ideig még a téglalapok által körülhatárolt részen mozgott.



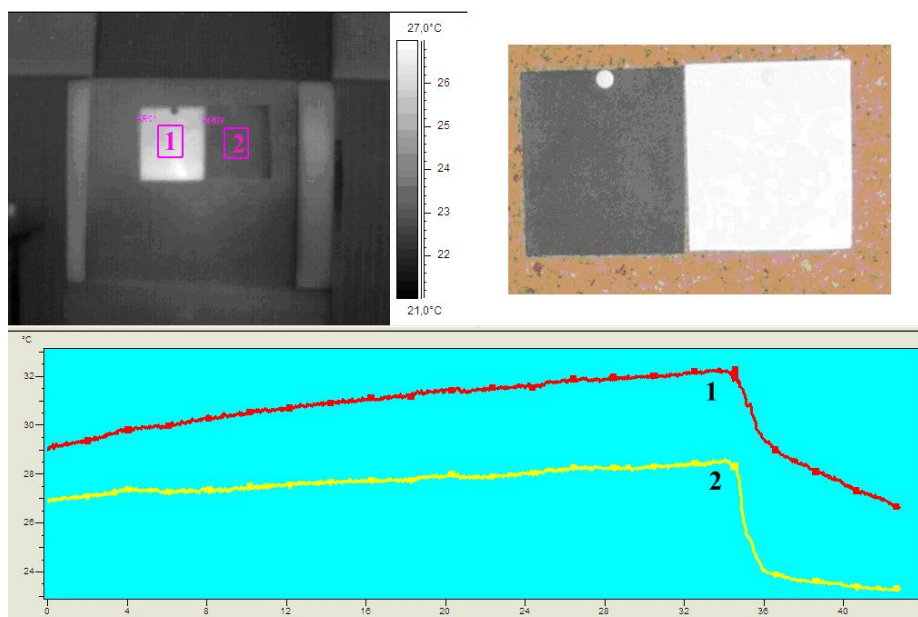
5.9. ábra

Hideg kézlenyomat egy könyv egymást követő lapjain

A hővezetésre jó példát szolgáltatott egy hidegkezű fiú kézlenyomata, ami a történelemkönyvben lapozva az egymás alatti lapokon jól látszott (5.9. ábra).

A hőszugárzást egy gyógyászati célra használt infralámpa segítségével vizsgáltuk. Két egyforma minőségű papírt világítottunk meg egy ideig vele. Az egyik papír fekete, a másik fehér volt. Az 5.10. ábra felső részén látható a két papír, jobb oldalon a látható fény tartományában, bal oldalon az infravörös tartományban készült kép. Itt a fekete-fehér szinkódolást választottuk a kép elkészítéséhez. A képek alapján megállapíthatjuk, hogy a tanultakkal összhangban a sötét papír jobban felmelegedett, mint a világos. Az ábra alján elhelyezkedő grafikonok a hőmérséklet alakulását mutatják az idő függvényében. A görbék hirtelen letörése akkor következett be, amikor a besugárzásra használt lámpát kikapcsoltuk. Ezután a papírok hűlni kezdenek. Megfigyelhetjük, hogy a piros görbe, amely a fekete papír hőmérsékletének alakulását követi, a legutolsó, hűlési szakaszban meredekebben ereszkedik, mint a sárga, a világos papírhoz tartozó görbe. Ezzel alátámaszthatjuk azt a kevésbé közismert, bár a fizikaórán megtanult ténytet, hogy a sötét testek nemcsak könnyebben nyelik el a rájuk eső sugárzást, hanem az is igaz, hogy intenzívebben sugároznak, mint a világos testek.

Az is érdekes, hogy a lámpa kikapcsolásakor viszont a fehér papír hőmérsékleti görbéje zuhan meredekebben. A fehér papír több sugárzást ver vissza a kamera felé, mint a fekete, így a kikapcsoláskor a kamerát érő sugárzás a fehér lap területéről csökken nagyobb mértékben.



5.10. ábra

Egy fekete (1) és egy fehér (2) papír hőképe (bal fent) és látható fényben készült képe (jobb fent) és a két papírlap hőmérsékletének időfüggését ábrázoló grafikon (alul)

Hőoptika

A projektre való elméleti felkészülés közben megtanultuk, hogy az infravörös sugarak optikája a látható fényéhez hasonló. Ugyanúgy tudunk képeket létrehozni lencsékkel és tükrökkel, mint a látható fény esetén. Maga a kamera is ezt teszi, az optikája a detektorra a külvilág kicsinyített fordított állású, valódi hőképét vetíti. Az mégis meglepő volt, hogy mely anyagok viselkednek jó hőtükörként.

Bevittük a kamerát a tornaterembe, hogy megfigyeljük, ahogy a gyerekek a mozgás során kimelegszenek.

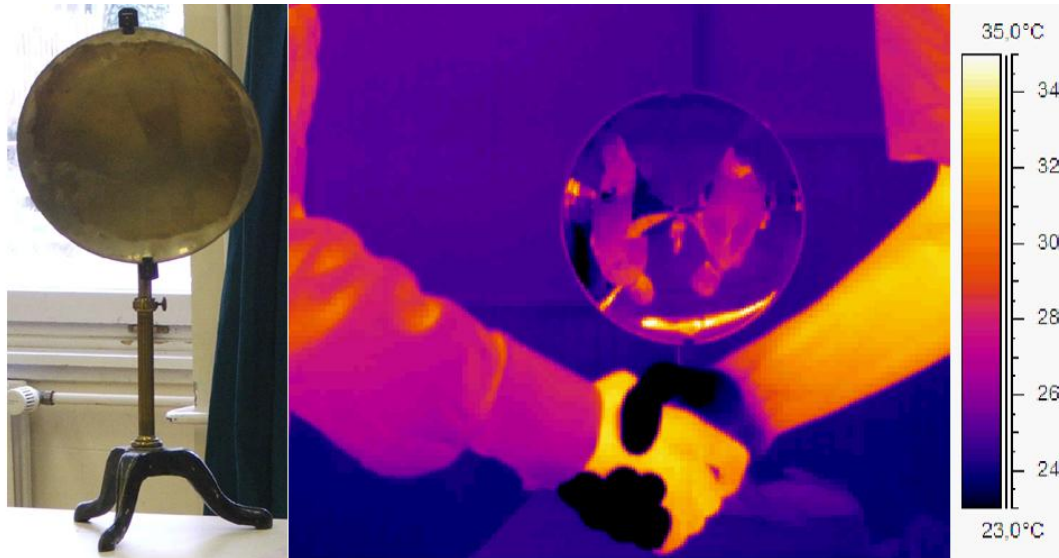


5.11. ábra

A tornaterem matt zöld linóleumburkolata síktükörként viselkedik az infravörös tartományban.

Ennek megfigyelése nem sikerült, helyette azt a meglepő tényt tapasztaltuk, hogy a terem matt zöld linóleum burkolata tökéletes síktükörként viselkedik az infravörös tartományban (5.11. ábra).

Ezután jó hőtüköröző anyagokat kerestünk. Sajnos bebizonyosodott, hogy az iskolaépület nagy üvegfelületeit borító 25 éves fólia már elvesztette hőtüköröző tulajdonságát, viszont a különböző fémek nagyon jól visszaverték a hősugarakat. A régi fizikaszertárak egyik kelléke volt a hősugarak fókuszálására használt matt sárgaréz tükör. A látható tartományban nem szolgáltatott semmilyen különös látványt, mert a felülete matt, korrodálódott. A hőkamera segítségével azonban gyönyörű, fordított állású, kicsinyített (valódi) képet láthattunk a tükörben (5.12. ábra).



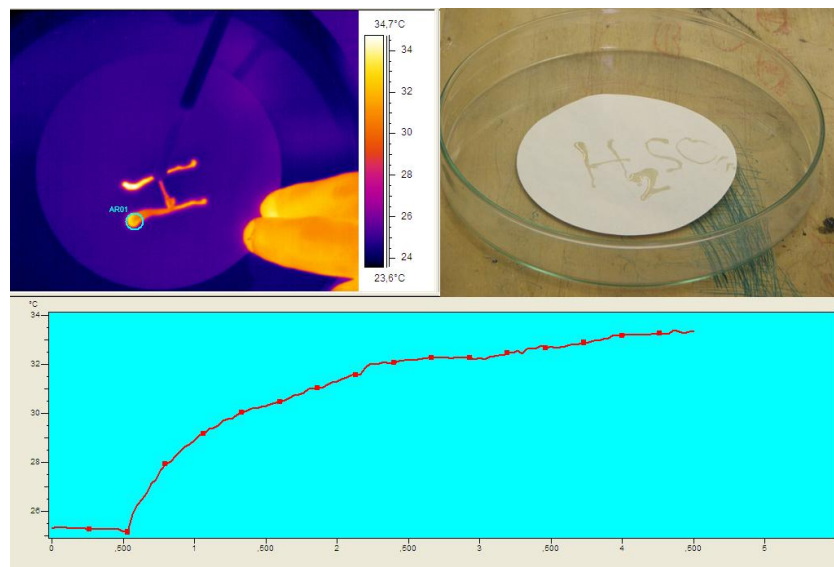
5.12. ábra

Régi matt sárgaréz homorú tükör (bal oldalon), és a segítségével előállított fordított állású, kicsinyített, valódi kép az infravörös tartományban egy kézfogásról (a jobb oldalon)

Kémiai reakciók

Megvizsgáltunk néhány exoterm és endoterm kémiai reakciót is.

Ammónium-rodanid és bárium-hidroxid keveredésekor igen gyors lehűlést tapasztaltunk: a hőmérséklet a kezdeti szobahőmérsékletről gyorsan $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ értékre süllyedt [2].



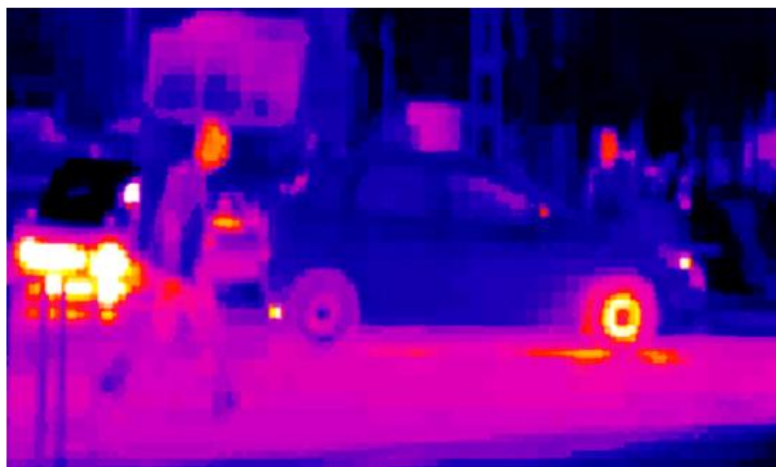
5.13. ábra

Kénsav exoterm oldódása vízben. A vizet a kénsav a száraz papírból vonta ki, melyre üveggöbttel cseppentettük rá. A kénsav képlete első betűjének hőképe (bal fent), a teljes képlet látható tartományban (jobb fent), a körrel megjelölt tartomány melegedési görbéje (alul)

Az általunk megfigyelt leglátványosabb exoterm reakció kénsav oldódása vízben. Ez energetikailag olyan kedvező folyamat, ami még akkor is lejátszódik, ha kénsavnak az oldódáshoz abból az anyagból kell elvonnia a vizet, amelyre rácsöppentették. Száraz szűrőpapírra kénsavba mártott üvegrúddal a H_2SO_4 képletét írtuk. A felirat a fent leírt reakciónak köszönhetően látványosan felmelegedett. Ez látható a 5.13. ábrán: jobb oldalon fent a látható fényben készült kép, bal oldalon fent a hőkamerával készült kép. Alattuk a kis körrel megjelölt folt hőmérsékletének emelkedését olvashatjuk le a grafikonról.

Közlekedés

Kivittük a kamerát az iskolaépület elé, és filmeztük a forgalmat is. Megfigyelhettük a motor helyét az autókban, és láthattuk, hogy a fékek felmelegszenek a kerekekben. Megállapíthattuk, hogy az első kerekek tárcsafékei hatásosabbak, mint a hátsó kerekek fékei, hiszen sokkal jobban felmelegedtek az autó első kerekei a mozgási energia hővé alakítása során (5.14. ábra).

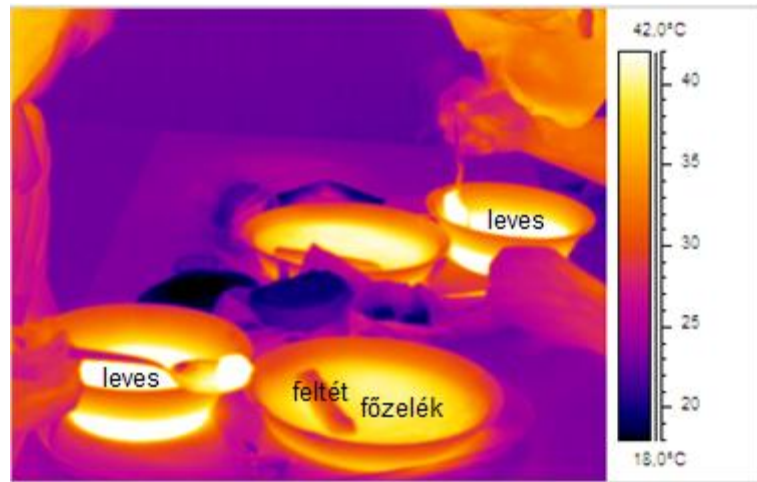


5.14. ábra

Jobbra haladó autó hőképe. Az autó első kereke felmelegedett a fékezés hatására

Iskolai életképek

A gyerekek természetesen le akarták filmezni a kamerával egymást és az iskolai élet különböző mozzanatait is. Sok képet és filmet készítettek a három nap alatt. Így nyert például „tudományos” bizonyítást az a tény is, hogy a menzán a leves mindig túl forró, a főzelék langyos, a hozzá adott feltét pedig mindig hideg (5.15. ábra).



5.15. ábra
Menzai ebéd hőképe

Lefilmezték a kézmosást is. Meglepő tapasztalatként megállapítottuk, hogy a látható fény tartományában teljesen átlátszó víz az infravörös tartományban átlátszatlan, az 5.16. ábrán fekete, tehát hideg, átlátszatlan foltként ábrázolódik, nem engedi át a mögötte lévő melegebb tárgyakra induló hősugarakat. A csap mögötti csempe a távolabbi tárgyak hőképét veri vissza.



5.16. ábra
Kézmosás hőképe. A víz az infravörös tartományban átlátszatlan

5.3 A honlap

A témahét három napján a gyerekek több mint 50 filmet és rengeteg állóképet készítettek. Ezután a filmek vágása, rendezése, a képek válogatása, finomítása következett. A negyedik napra nagyon látványos, érdekes előadást tartottak az iskolatársaik számára. A „hőkamerás projekt” nagyon jól sikerült. Az előadás után a projekt résztvevői nem nagyon

A projekt tárgyiasult eredményeként előállítottuk a honlapot. Az itt szereplő filmeket azóta is rendszeresen használjuk a fizikaórákon, és tudomásunk van róla, hogy más iskolákban is bemutatják őket a tananyag illusztrálására.

Az közös munkának azonban más haszna is volt. A modern technológiának köszönhetően olyan dolgokat tapasztalhattunk meg, amelyekről volt tudomásunk, tanultuk már, minden fizikakönyv tartalmazza [3], [4], de mindig csak *elhittük*, hogy úgy kell lenniük a törvények igazsága miatt, ahogyan állítjuk. A kamera segítségével mindez *láthatóvá* is vált, megerősítve ezzel a megtanult törvények hitelét.

A kamera nemcsak a diákok, hanem a tanár számára is újdonság volt. A modern hőkamera révén olyan területet fedezhettünk föl együtt a diákokkal, amit egyikünk sem ismert. Ez ritka helyzet az oktatásban. A közös felfedezés öröme különleges hangulatot teremtett, a diák és a tanár együtt feledkezhetett bele a munkába. A pszichológiai kifejezéssel élve mindannyian átélhettük a „flow-élményt”, amely a kutatások szerint nagyon fontos szerepet játszik a diákok későbbi elkötelezettségének kialakulásában [5], [6].

Hivatkozások

1. <http://www.alpine-components.co.uk/files/pdfs/manuals/software/infrared/Flir-Reporter-7-Basic-Manual.pdf>
2. <http://www.sulinet.hu/kemia/labor/endoterm/fl.htm>
3. Young, Freedmann, *Sears and Zemansky's University Physics with Modern Physics*. Addison-Wesley, Reading, Massachusetts (1992)
4. *Blatt, F. J.* Principles of Physics. Allyn and Bacon, Boston (1989)
5. *Csíkszentmuhályi M.*: Tehetséges gyerekek – Flow az iskolában (2010) Nyitott Könyvműhely
6. *Baranyai K.*: Thermo-cam at Topic Week, Physics Competitions Vol 13. no 1 2011., 38-48.o.
7. <https://sites.google.com/a/berzsenyi.hu/hokamera/>

6. Fizikatábor

6.1 Az önképzőkör és a tábor bemutatása

A fizika területén a tehetséggondozásban jól bevált, újszerű formának bizonyult a projektmunka. A projektmunka definíciója szerint a diákok kisebb csoportokban dolgozva valamilyen előre kitűzött témát dolgoznak fel, többnyire tanári támogatással. A folyamat végére együttműködve valamilyen kézzelfogható vagy bemutatható eredményt produkálnak [1].

Anélkül, hogy a munkaforma részletes pedagógiai elemzésébe bocsátkoznánk, elmondhatjuk, hogy ez a munkaforma változatos tevékenységeket kínál, teret enged az egyéni kreativitásnak, és csoportos formája miatt közösségi élményt is nyújt. Ha a diákok a témát a magukénak érzik, akkor hajlandóak nagy energiabefektetéssel dolgozni a kitűzött célért. A szaktárgyi tudás megszerzésén túl a projektmunka pedagógiai haszna, hogy együttműködésre nevel. A témák általában olyanok, amelyekhez nem elegendő egyetlen diák munkája, a csoport tagjainak össze kell fogniuk a célok megvalósításához. Ha a gyerekek jó témákon, igényes vezetés mellett dolgoznak, sokat tanulnak a közös munkából. Ennek a formának a hátránya, hogy roppant időigényes, ezért nem helyettesítheti a hagyományos oktatási formákat, de eredményes kiegészítése lehet azoknak.

A másik igen vonzó tehetséggondozási forma a szakmai tábor. Az országban több középiskola, alapítvány vagy egyetem szervez a középiskolásoknak néhány napos természettudományos vagy kifejezetten fizikatábort, amelyben a válogatott diákok előadásokat hallgatnak meg, méréseket végeznek, vagy feladatmegoldással foglalkoznak. Ezek a táborok lehetővé teszik, hogy a diákok hosszasabban foglalkozzanak egy-egy problémával, nem szakítja meg a 45 perc utáni csengetés a munkát, érdekességekkel találkozhatnak az előadásokon, egymástól is sokat tanulhatnak. Tapasztalataim szerint a táborok különleges légkörrel, azzal, hogy néhány napot kifejezetten a fizikára koncentrálnak, töltenek el a gyerekek, segítenek elmélyíteni a fizika iránti érdeklődésüket.

A Berzsényi Dániel Gimnáziumban fizika munkaközösség-vezetőként sikerült a fenti két formát ötvözni, így jött létre a fizika önképzőkör és tábor. A tanév során a diákok kisebb csoportokban különböző projekteken dolgoznak egy-egy tanár vezetése mellett, majd a tanév vége felé közös táborozáson vesznek részt. Itt a program egy részét az tölti ki, hogy a diákok bemutatják egymásnak, hogy milyen témával foglalkoztak a csoportjukkal. Emellett a

táborban vannak meghívott vagy belső előadók által tartott előadások, kiscsoportos mérések, egyéni, csoportos és közös feladatmegoldás is.

A tábor és a projektmunkák összekapcsolása nem szokásos, Magyarországon más iskolákban nem találtam ilyen jellegű, egy iskolához kötődő fizikatábort, ahol a diákok mindegyike előadóként is szerepel. A kapcsolat mind a projektmunkák, mind a tábor szempontjából előnyösnek bizonyult. A projektmunkáknak a tábori bemutató természetes lezárást, célt kínál, ami ösztönzőleg hat a gyerekekre. A kortársaik előtt kell bemutatniuk a munkájukat, elmagyarázni nekik az új ismereteket, ismertetni a kísérleteket, méréseket, kiemelni azt, ami igazán izgalmassá tette a közös munkát. Másrészt az is fontos szempont, hogy a tábor négy napján ne csak passzív befogadóként vegyenek részt a gyerekek, ne csak a tanórákhoz hasonló előadásokat hallgassanak, vagy hagyományos fizikaóra-szerű foglalkozásokon vegyenek részt, hanem a program aktív alakítói legyenek. Az, hogy milyen lesz a tábor, azon is múlik, hogy ők milyen színvonalú munkát végeztek a felkészülés idején. Pedagógiaiailag fontos momentum, hogy a táborba csak akkor juthatnak el a diákok, ha dolgoznak is érte.

Az önképzőköri munkára és ezzel a fizikatáborba a diákokat a fizikatanáraik választják ki az órákon, szakkörökön nyújtott teljesítményük alapján. Az iskolánkban a humán és a nyelvi osztályok mellett emelt szintű fizika, kémia-biológia, és speciális matematika tantervű osztályok működnek. A fizikatáborban általában ez utóbb háromból kerülnek be a diákok. A tanulók a tanáraiktól meghívást kapnak az önképzőköri csoportba, ami általában vonzó a gyerekek számára, kitüntetett pozíciót jelent. A csoportban jellemzően olyan témával kezdenek foglalkozni, ami a tananyagra épül, de túlmutat a középiskolai tanmeneten, és önálló kísérletezést, méréseket, eszközépítést, számítógépes adatfeldolgozást, esetleg számítógépes szimuláció elkészítését igényli. A téma megválasztása nagyon fontos, mert a diákok akkor dolgoznak szívesen, ha kellően érdekesnek találják a felvetett problémát, és a nehézsége kihívást jelent ugyan, de nem megoldhatatlan feladatot [2]. Ha ilyen témát sikerül találnunk, valami izgalmas kísérlet elvégzésére vagy eszköz megépítésére van kilátás, sokszor olyan gyerekek is szívesen csatlakoznak a csoportokhoz, akiket nem a tanár hívott meg, de örömmel vesznek részt a közös munkában a szabadidejük terhére. Még akkor is, ha tudják, hogy ők nem vesznek részt majd az év végi táborban. Ezekről a diákokról nemegyszer itt derül ki, hogy elméleti feladatokkal nem boldogulnak könnyen, de nagyon ügyesen és szívesen oldanak meg gyakorlati jellegű problémákat, ügyes eszközépítők, kísérletezők.

Az önképzőkör munkájában és a tábor lebonyolításában részt vesz a fizika munkaközösség mind a hét tagja. Egy csoportban egy tanár irányításával általában 3-5 diák

dolgozik együtt, de néha vannak ennél nagyobb csapatok, ugyanakkor többször voltak egyedül vagy párban dolgozó diákok is. Az iskolában általában 8-10 csoport van, ami azt jelenti, hogy van olyan kolléga, aki több csoport munkáját is támogatja. A táborban általában 40-45 diák vesz részt.

A téma kiválasztásában a tanároké a főszerep, de volt már, hogy a diákok álltak elő valamilyen ötlettel. A munka a téma megismerésével, tanulással kezdődik. Ehhez szakirodalmat kapnak a tanáruktól, ami lehet egy cikk, könyv, internetes forrás, a nagyobbaknál sokszor angol nyelven. A gyerekek a tanárukkal heti rendszerességgel konzultálnak. A tanár segít az elméleti ismeretek megértésében, majd közösen kijelölik a teendőket. Sokszor újabb kérdések vetődnek föl, további tanulás, következik. Ezután kísérletezésre, mérésre, eszközépítésre, adatfeldolgozásra... kerül sor. Közben sokat tanulnak egymástól, és többször előfordult az is, hogy egy-egy fiatalabb csoporthoz egy idősebb diák szegődött el segítőnek.

A gyerekek egymás előtti szereplésének nagyon sok hasznos következménye van. Láthatóan tétje van számukra a bemutatónak, nagyon fontos az érdeklődő kortársak visszajelzése. Ezért igyekeznek a tőlük telhető legérthetőbben és érdekesebben elővezetni a mondandójukat, és ez csak akkor sikerülhet, ha ők is teljesen megértették, amit át szeretnének adni, és már rendezett gondolataik vannak a témáról. A gondolatok megfelelő formába öntése sem egyszerű dolog. Ma már természetes, hogy számítógépes prezentációval támasztják alá a mondandójukat a gyerekek, ha valamit elő kell adniuk. Ahhoz, hogy jó, értelmes és igényes prezentáció készüljön, hogy a kísérletek bemutatása zökkenőmentes legyen, és élvezhető, kellően precíz előadás hangozzék el, általában nagyon sok tanári segítségre van szükség. Tanárként az évek során végigkísérhetjük egy-egy diák érését, megtapasztalhatjuk, hogyan alakul ki bennük az igényesség a saját munkájuk iránt, hogyan fejlődik az előadókészségük, ami nem lebecsülendő jutalom a számunkra.

Érdekes megtapasztalni, hogy a jól sikerült előadásokból a tapasztalt tanár számára is meglepően sokat tanul a hallgatóság. Sokkal figyelmesebben hallgatják meg egymást a gyerekek, mint ahogyan a tanórákon szoktak figyelni. A kisebbek biztosan nem értik meg a részleteket, de a kísérleteket megjegyzik, és évek múltán, amikor egy-egy téma előkerül a tananyagban, kiderül, hogy pontos emlékeik vannak a tábori előadásokról. A nagyobbak viszont láthatóan meg is értik a hallottakat, és sokszor nagyon jó kérdéseket tesznek fel. A számukra igazán érdekes témák még sokáig foglalkoztatják őket.

Ha mód van rá, a sikeresebb projektek más fórumokon is bemutatkoznak. A diáknapokon, önképzőköri találkozón, hazai és nemzetközi versenyeken, pályázatokon,

szerepelhetnek. Rendszeresen előfordul az is, hogy az iskolán belül meghívást kapnak valamelyik osztály fizikaórájára.

A témák kiválasztása és vonzóvá tétele kulcsfontosságú a munka szempontjából. A táborban szereplő projektek bemutatása meghaladná a dolgozat kereteit. Az értekezés korábbi fejezetei közül a rézlemezzel végzett kísérlet, a felülről fűtött folyadékokhoz kapcsolódó kísérlet, valamint a lavinák vizsgálata fizikatábori projekt része volt. A további témák táblázatos felsorolásán túl két általam vezetett témát mutatok be részletesen, hogy érzékeltessem a munka jellegét. Tapasztalataim szerint az olyan projektek válnak különlegesen emlékezetessé, ahol nemcsak a diákok, hanem a tanárok is valami új dolgot tapasztalhatnak meg. Olyan kísérleteket végeznek el, amelyeket korábban nem csináltak még. Ilyenkor a tárgyban való elmélyülés közös élmény (6.1. ábra). Ilyenkor a tanárok is sokkal lelkesebbek, kíváncsibbak, és ez a diákokra is átragad. Olyan helyzet alakul ki, amikor a diák nem azt érzi, hogy a tanár valamit megmutat a tudásából, aminek a diák a befogadója, hanem együtt fedeznek föl valami érdekeset.



6.1. ábra

Tanár és diákok együttműködése a tábori projektben

A szakmai fejlődésen túl ezek olyan élmények lehetnek a diák számára, melyek elkötelezettségük fokozódását segíthetik elő, a tanárok számára pedig egyfajta szakmai és pedagógiai feltöltődést nyújtanak. Ilyen szempontból nagyon előnyösek a „nem hagyományos értelemben vett modern” témák, hiszen ezek nincsenek benne a fizika tanmenetekben, vagy azok a kísérletek, amelyek újfajta eszközök alkalmazását kívánják meg, például okostelefon, LEGO-robot, számítógép.

A fizikatábort 2011. óta rendezzük meg. Az első évben csak háromnapos volt a táborunk, és csak a 10. és 11. évfolyamról vittünk 30 diákot, de azóta a tanév vége felé négy napra, körülbelül 40-45 diákkal utazik el a fizika munkaközösség valamilyen természetközeli

szálláshelyre. Kétszer voltunk Királyréten a Duna-Ipoly Nemzeti Park, egyszer Tóserdőn a Kiskunsági Nemzeti Park Erdei Iskolájában, egyszer Ipolydamásdon és egyszer Vácdukán. A diákok között a hetedikesektől tizenegyedikeseig minden korosztály jelen van. A tizenkettedikesek közül néhányan rövidebb időre csatlakoznak a táborhoz, ahogyan az érettségi vizsgáik ezt lehetővé teszik. Az utóbbi években már régebben végzett diákjaink, akik jelenleg egyetemi hallgatók, is eljönnek egy-két napra a táborba, hogy segítsék a tanárok munkáját. A tábor programja minden évben hasonló szerkezetű, a témák azonban mindig változnak.

A program vázát a gyerekek projektjeinek bemutatása teszi ki. Körülbelül 10 projekt mutatkozik be, általában 20-30 perces előadásokat tartanak a diákok, de néha hosszabban mesélnek a munkájukról. Minden előadás után lehetőség van kérdések feltevésére a látottakkal-hallottakkal kapcsolatban, de sokszor az előadások közötti szünetekben, vagy szabadidejükben kérdezzetnek még egymástól vagy a tanáraiktól a gyerekek. A tábor zárásakor áttekintjük a hallottakat, értékeljük a diákok munkáját. Fontos a kívülálló felnőtt értékelése, hiszen a kortársak sokszor a látványos elemeket tartják nagyra, a tanárok viszont reálisabban fel tudják mérni a projektek háttérében meghúzódó munka mennyiségét és minőségét is, visszajelzéseikkel segítik a gyerekek reális önértékelését.



6.2. ábra

A túrórudi-feladatokat a tanárok közösen megoldják

A tábor nyitásakor minden évben kapnak a résztvevők egy gondolkodtató, számításos feladatsort (úgynevezett „túrórudi-feladatsort”). A feladatok megoldását a táborozás során bármikor elmondhatják bármelyik kollégának, és a feladat nehézségétől, illetve a diák életkorától függően jutalomban (különböző méretű túrórudi) részesülnek. A feladatok döntő

többségét én állítom össze, emellett a munkaközösség tagjai is tesznek javaslatokat. Az első este a tanárok közösen megoldják, megvitatják a feladatokat (6.2. ábra). Ez általában nagyon tanulságos szakmai beszélgetés szokott lenni. A táborozás utolsó délelőttjén, a táborzárás előtt a feladatok megoldását közös foglalkozáson megbeszéljük.

Az egyéni elmélyülést szolgáló „túrórudi-feladatok” mellett közös feladatmegoldó csapatversenyt is szervezünk a gyerekeknek. Ennek keretében a kiadott feladatokat meghatározott idő alatt kell írásban megoldaniuk a diákoknak (6.3. ábra). Emellett a záró délelőttön gyakorlati feladatok megoldására kihegyezett, játékosabb csapatversennyel lazítunk. A csapatok összeállításánál mindkét esetben igazságosan osztjuk el a különböző korosztályú diákokat.



6.3. ábra

Diákok a feladatmegoldó csapatverseny közben

A versenyek eredményét a tábor zárásakor hirdetjük ki.

Minden táborban egy délelőttöt vagy délutánt tanárok által vezetett foglalkozásokkal töltünk korosztályok szerinti csoportokra osztva a gyerekeket. Ilyenkor általában valamilyen bonyolultabb tanulói mérés zajlik, de néha elméleti feladatok is terítékre kerülhetnek (6.4. ábra).

Az estétet közös programmal töltjük. Ennek keretében sor kerülhet meghívott előadó, valamelyik kolléga vagy idősebb diák előadására. Többször volt kísérleti bemutató is. Ha az időjárás megengedi, akkor távcsöves megfigyelést tartunk, amit általában csillagászati témájú

előadás előz meg. Eddig minden táborban sort kerítettünk fizikatörténeti előadásra is, és fizikatörténeti vetélkedő is színesítette már a programot.

Valamelyik délelőttöt vagy délutánt közös kirándulással töltjük.



6.4. ábra

Tizedikes diákok csoportos mérése: hidrosztatikai feketedoboz

Mint ahogy az iskolák gazdálkodása nagyon szűkös, eszközök beszerzésre semmilyen biztos forrás nem áll rendelkezésre. A projektekhez szükséges különböző kísérleti eszközök, műszerek, barkácsanyagok, szerszámok megvásárlásához szükséges anyagi forrásokat eddig pályázatok útján sikerült előteremteni. Ez nagy plusz teher minden évben az egyre bonyolultabbá váló pályázati és oktatásügyi adminisztráció mellett. Eddig a táborozás költségeire is sikeresen pályáztunk, de minden évben szükség volt a szülők anyagi hozzájárulására is. A technikai háttér biztosítása is nagy szervezőmunkát igényel, ilyenkor a fizikaszertárból nagyon sok eszközt kell a táborozás helyszínére szállítanunk, a szertár a tábor idejére szinte kiürül.

6.2 Két önképzőköri projekt bemutatása

A munka bemutatására két projekt példáját ragadom meg. Az egyik egy nyolcadikos, a másik egy kilencedikes, négyfős csoportban végzett munka volt.

Egy nyolcadik osztályos projekt

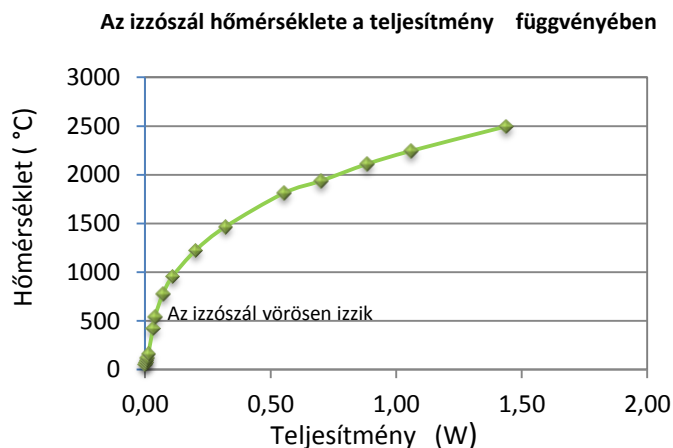
A nyolcadikos speciális matematika tagozatos osztállyal hótan után elektromosságtannal foglalkoztunk fizikaórán, matematikából pedig az egyenletrendszereket tanulták. Ezért néhány egyszerű elektromos feketedoboz megvizsgálása után a csillag- és deltakapcsolásokkal foglalkoztunk. A gyerekek rájöttek, hogy az ilyen számítások elvégzése könnyebb lenne számítógéppel, és hamarosan megpróbálták rávenni egy tizenegyedikes diákot, hogy írjon nekik olyan számítógépes programot, ami kiszámolja a csillag-delta átalakításokat. A program nem készült el, a diákok pedig ezután nem tartották eléggé izgalmasnak ezt a kérdést, ezért a projektnek ez a része torzó maradt, más irányban folytattuk a munkát.

A következő lépésben az ellenállás hőmérsékletfüggését ismerték meg a gyerekek. Zsebizzón átfolyó áram és feszültségértékeket mértünk, és az izzó ellenállását számítottuk ki különböző terhelések mellett. Az adatok feldolgozására Excel-programot használtunk (6.5. ábra), amivel a gyerekek már találkoztak ugyan, de ekkor használták először mérés kiértékelésére és grafikonok rajzolására. Kiszámítottuk az izzószál hőmérsékletét is az ellenállás hőmérsékletfüggését leíró matematikai összefüggés alapján. Megdőbbenést váltott ki, amikor az ellenállásértékek tanúsága szerint az izzószál üzemi hőmérséklete 2500 °C körüli értéknek adódott.

U [V]	I [A]	R [ohm]	P [W]	T [°C]
0,005	0,001	5,00	0,000005	404
0,045	0,021	2,14	0,000945	55
0,083	0,036	2,31	0,002988	75
0,125	0,051	2,45	0,006375	92
0,155	0,058	2,67	0,008990	120
0,200	0,066	3,03	0,013200	163
0,400	0,078	5,13	0,031200	420
0,491	0,080	6,14	0,039280	544
0,755	0,094	8,03	0,070970	776
1,015	0,107	9,49	0,108605	954
1,530	0,131	11,68	0,200430	1222
2,093	0,153	13,68	0,320229	1467
3,018	0,183	16,49	0,552294	1811
3,506	0,200	17,53	0,701200	1938
4,090	0,216	18,94	0,883440	2110
4,610	0,230	20,04	1,060300	2246
5,630	0,255	22,08	1,435650	2495

6.5. ábra

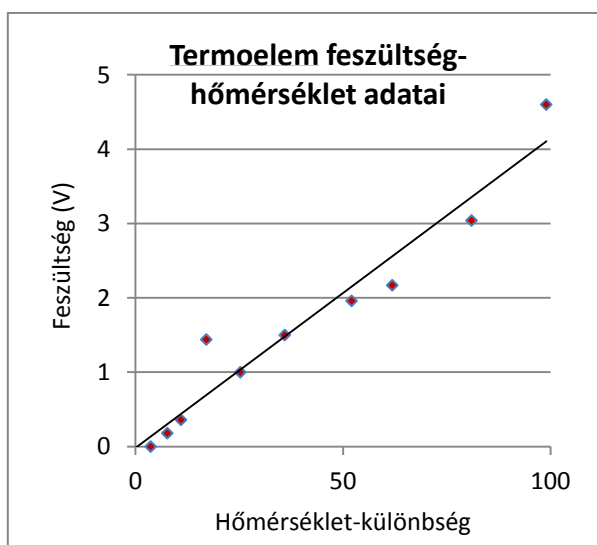
Az izzószállal vizsgálatok kapott mért (U és I), valamint számított (R , P és T) értékeket tartalmazó táblázat. A lila sor az izzás kezdetének adatait tartalmazza



6.6. ábra
Az izzószál hőmérséklet-teljesítmény grafikonja

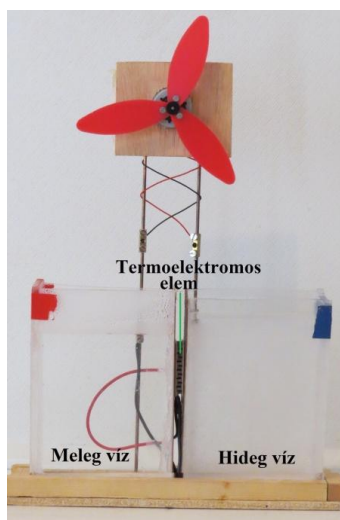
A termisztor volt a vizsgálódás következő tárgya. A gyerekek maguk néztek utána, hogy mit is nevezünk termisztornak, majd megvizsgáltuk az iskolai termisztorokat. Hárommal kalibrációs grafikont készítettünk higanyos hőmérővel mérve a hőmérsékletet [5], és kalorimetriai méréseket végeztünk a kalibrált termisztorokkal. Különböző anyagok, fajhőjét határoztuk meg. Megvizsgáltuk az elvízkövesedett elektromos vízforraló kancsó hatásfokát is.

A Peltier- és a Seebeck-effektusok megismerése volt a következő lépés. Itt csupán a jelenség megmutatása és néhány egyszerű mérés elvégzése volt a cél. Megmértük a cellán keletkező feszültséget a két oldal közötti különböző hőmérsékletkülönbségek esetén (6.7. ábra). A cellát két hővezető falú, hasáb alakú edény közé szorítottuk, és az edényeket olvadó jéggel, illetve különböző hőmérsékletű vízzel töltöttük meg.



6.7. ábra

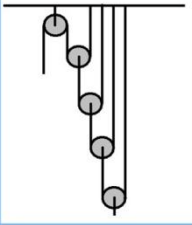
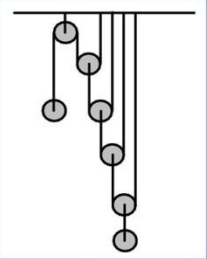
A program végén egy kis termoelektromos elemmel hajtott ventilátort építettünk (6.8. ábra), aminek a terveit és alapanyagait egy boltban megvásárolható építőkészlet biztosította. A program során néhány nem meghívott diák is csatlakozott a foglalkozásokhoz, volt, aki végig részt vett a munkában, és voltak, akiket csak a malom megépítése és üzemeltetése vonzott.



6.8. ábra
Termoelektromos elemmel hajtott
ventilátor

Egy kilencedik osztályos projekt

A másik bemutatandó projekt egy kilencedikes fizikatagozatos csoporté volt. Ez a csoport különböző okok miatt csak a második félévben kezdett működni, ezért kevesebb dolog valósulhatott meg. Ők csigákkal szerettek volna foglalkozni, tulajdonképpen ők vetették fel ezt a témát. A különböző csigák megépítése nem jelentett volna kellő kihívást, de megváltozott a helyzet, amikor a csigák saját súlya miatt újra kellett értékelni a megtanult szabályokat. Sikerült az egyforma súlyú csigákra is szép matematikai összefüggést találni, és kísérletileg igazolni azokat. Az arkhimédeszi csigával eljutottak a végtelen sok csiga esetéig, és ezzel együtt matematikailag kimondatlanul a végtelen sor fogalmáig (6.9. ábra).

Súlyos csigák	Egyensúly
$\frac{\frac{G}{2} + G}{2} + G =$ $= G \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{8} + \frac{1}{16} \right)$ $= G \frac{2^n - 1}{2^n}$ $F = G \frac{2^n - 1}{2^n}$	$F = G \frac{2^n - 1}{2^n}$ $F = G \frac{2^n - 1}{2^n} + G \frac{1}{2^n}$ $F = G$
	



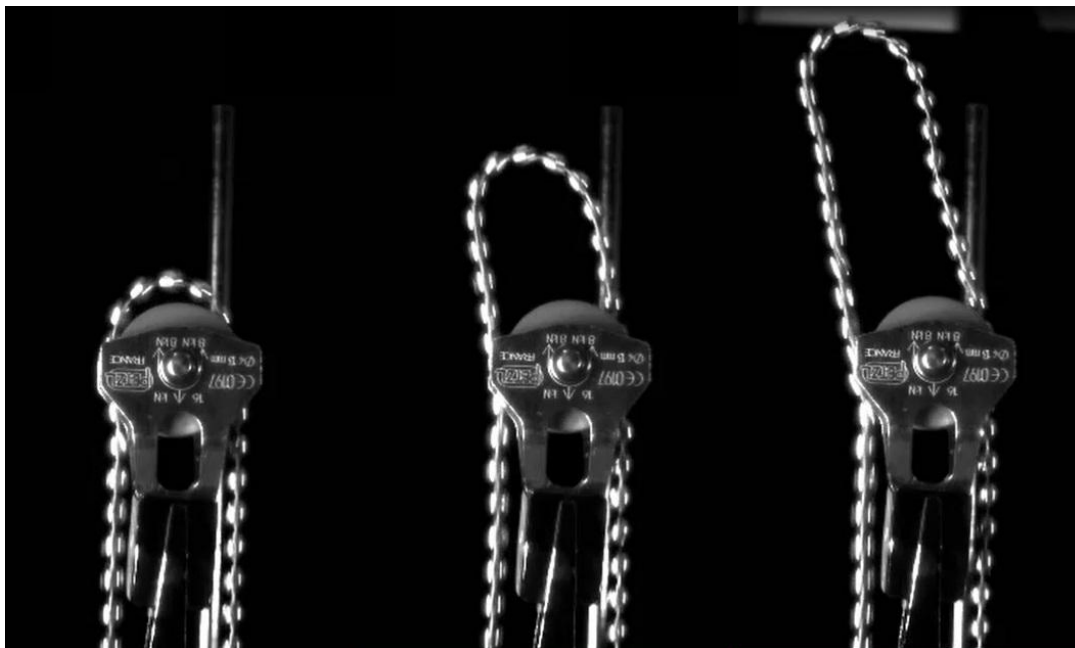
6.9. ábra

Csigasorok elméletben és gyakorlatban. Részlet a diákok prezentációjából.

A felső sorban a képletekben G egyetlen csiga súlyát, F pedig az egyensúly biztosításához szükséges erő nagyságát jelenti. Alul a megépített csigasorok láthatóak.

A tanév során iskolánk rendezte meg a XIII. kerület hetedikeseinek hagyományos fizika csapatversenyét. Itt a csoport olyan csigasorokat készített, amelyekkel a versenyző gyerekek egymást és magukat is felemelhették, miközben becsléseket kellett végezniük, és csigákról szóló feladatokat kellett megoldaniuk.

Itt nem állt meg a projekt. A kötelek, láncok, csigák nagyon sok érdekes feladatot kínálnak. Ezeknek a feladatoknak a mentén indultunk el, segítségül a „123 furfangos fizika feladat”-ból [3], [4] válogattam a témába vágóakat. Megismerkedtünk azzal a furcsa jelenséggel, hogy a csigán átvett lánc, ha megbontjuk az egyensúlyát, úgy fut le a csigáról, hogy a végén elemelkedik róla (6.9. ábra).



6.9. ábra

A csigáról lefutó lánc emelkedik a csigáról. Gyorskamerás felvétel képkockái

Nagyon érdekes jelenség az is, hogy a gyorsan forgó lánc, ha leválik a forgását biztosító keretről, megtartja eredeti alakját miközben továbbgurul, és csak a forgás lassulásával roskad össze. A kísérleteket elvégeztük, lefilmeztük. A filmek lelassításával szépen végigkövethetőkké váltak a jelenségek. Később kölcsönkaptunk a kolozsvári Babeş-Bolyai Tudományegyetemről egy 1000 frame/sec-os gyorskamerát, amivel látványos felvételeket tudtunk készíteni a fenti jelenségekről. A megfigyelt kísérletek háttéréről szóltak a kiválasztott feladatok [4]. Láthatóan az elméleti lépések feldolgozása csak a legtehetségesebbeknek ment könnyedén, ők kifejezetten élvezték, hogy számításos leírás adható a részletekről.

A fizikatábor elindításával sikerült olyan formát találni, amely úgy tűnik, megfelel a tehetséggondozás céljainak. A gyerekek hajlandóak sokat tanulni és dolgozni a projektekben. Élvezik a közös munkát, saját ötleteikkel is gazdagítják a projekteket. Lassan megteremtődik a tábor hagyománya, az idősebb diákok figyelnek a kisebbekre, sőt, tavaly már olyan volt berzsenyisek is visszajöttek a tábori munkában részt venni, akik most már fizikushallgatók. A tavalyi évtől bekerült az iskola pedagógiai programjába is a tehetséggondozó tábor megszervezése, a tanárok pedig a kötelező órakeretükből egy-egy órát a projektek vezetésére szánhatnak. A sikeres projekteknek és a tábor lebonyolításának elengedhetetlen feltétele a kitartó, magas szintű tanári mentorálás, a diákok érdeklődésének, kreativitásának fenntartása.

Ez nemcsak időben megterhelő a tanároknak, hanem fizikai-matematikai, sőt természettudományos háttértudásuk önálló fejlesztését is igényli.

A tehetséggondozáson túl a tanárok szempontjából is fontosnak tartom a közös szakmai műhelymunkát. A projektek kiválasztása és megvalósítása során sokszor konzultálunk egymással, vagy csak megmutatjuk egymásnak azokat az érdekességeket, amelyekbe belebotlottunk. A feladatsor, vetélkedő összeállítása, megbeszélése szintén közösen zajlik. Az általunk vezetett csoportok előadásait látja a többi kolléga is, akikkel megbeszéljük a tapasztalatokat. Ezek mind hozzájárulnak ahhoz, hogy a mindennapi rutinmunka mellett érdekességekkel találkozassunk, visszajelzéseket kaphassunk és adhassunk egymásnak, ami elengedhetetlen a szakmai nyitottság megőrzéséhez. Egyfajta saját magunknak tartott szakmódszertani továbbképzés is ez egyben, ami bár nagyon sok energiát követel, de mégis minden évben elhatározzuk, hogy a következő tanévben is megszervezzük.

Az eddigi táborok programját táblázatos formában, valamint a túrórudi-feladatsorokat és a vetélkedők feladatait a C Függelékben találhatjuk meg.

Hivatkozások:

1. *Verók A.-Vincze B.*: A projektmódszer elmélete és gyakorlata (2011) Eszterházy Károly Főiskola, Digitális Tankönyvtár
2. *Csíkszentmuhályi M.*: Tehetséges gyerekek-Flow az iskolában (2010) Nyitott
3. Emelt szintű fizika érettségi mérés, hozzáférés 2015. június 15-én: http://dload.oktatas.educaio.hu/erettsegi/nyilvanos_anyagok_2015majus/fizika_emelt_szobeli_merese_k_2015maj.pdf
4. *Gnädig P.- Honyek Gy.*: 123 furfangos fizika feladat (1997), Budapest
5. *Gnädig P.- Honyek Gy.-Vigh M.* 333 furfangos feladat fizikából (2014) Typotex, Budapest, 48-49. o.
6. *Izsa É.,Baranyai K.*: Kísérletek a fizikatáborban, in:Természettudomány tanítása korszerűen és vonzóan ELTE Fizika Doktori Iskola, szerk.: Tasnádi P., Budapest, 2011., 404-409. o.
7. *Baranyai K.*: Olvadó jéghegyek, melegedő tengerek, Fizikai Szemle, 2013. július-augusztus, 267-269. o.
8. *Baranyai K.*: Földrajzi helymeghatározás a Nap segítségével Fizikai Szemle, 2009. április, 147-149.o.
9. *Baranyai K.*: Vízen lebegő rézlemez, Fizikai Szemle, 2015. április, 131-134.o.

Összegzés

Doktori munkám során azt vizsgáltam, hogy hogyan alkalmazható a középiskolai oktatásban a „nem hagyományos értelemben vett modern fizika”. Ez olyan jelenségek tárgyalását jelenti, amelyekkel ma is aktívan foglalkoznak a kutató fizikusok, mégsem megfoghatatlanul távoli és rejtélyes dolgok, hanem a mindennapjainkban is megjelenő folyamatok.

Ezek középpontba állításával olyan új tartalmakat lehet a fizikaórán bemutatni, amelyek emberközelebi, mégis modern voltak miatt felkelthetik még a fizikát elutasító gyerekek érdeklődését is. Kitekintést jelenthetnek a többi természettudomány, például a földrajz irányába, teret engedve ezzel a jó értelemben vett integrált szemléletű természettudományos oktatás lehetőségének.

Az első négy fejezetben bemutattam, hogy az általam tárgyalt jelenségek különböző oktatási helyzetekben hogyan alkalmazhatóak. Bemutathatóak a humán érdeklődésű osztályokban frontálisan, de módot adnak a tehetséggondozás keretei között kivitelezhető és elemezhető mérések elvégzésére is. A második fejezetben a kávéfőző működésére félempirikus mechanikai modellt mutattam be, és összevettem a szimulációs modell és a valódi mérés eredményeit, melyek jó egyezést mutattak.

A hőkamera iskolai alkalmazásának egy lehetőségét mutattam be az ötödik fejezetben. A projektmunka és a témahét mint új oktatási forma igazi tartalommal telítődött a gyerekekkel való közös munka során. Itt nem a tartalom volt modern, hanem az eszköz, amivel a jelenségeket vizsgáltuk. Lehetőséget adott arra, hogy a látvány erejével erősítsük meg a megtanult törvények hitelét. A projekt során készült filmek egy honlapon kaptak helyet, amivel egy mindenki számára elérhető oktatási anyagot hoztunk létre.

A tehetséggondozás új formáit is kerestem a doktori munka során. Az iskolámban, a budapesti Berzsenyi Dániel Gimnáziumban létrehozott rendszer egyesíti a projektmunka és a szakmai tábor előnyeit, a két forma nemcsak kiegészíti, hanem erősíti is egymást. Emellett az iskola összes fizikatanára részt vesz a közös munkában, ami nem utolsó sorban segít a közösség szakmai nyitottságának megőrzésében.

A doktori programban megkezdett munka a dolgozat megírásával nem zárul le, hiszen a tehetséggondozó tábor immár hagyománnyá vált, amit évről évre megrendezünk. Ehhez pedig mindig új témákra van szükség, ami újabb „nem hagyományos értelemben vett modern fizikai” jelenségeket állíthat a vizsgálódás középpontjába.

Summary

During my doctoral project, I have investigated the possibilities how to apply the „non-traditional modern physics” in the secondary school physics education. Those phenomena can be considered “non-traditional”, which are in the researchers’ focus in our time, but they are not very far from our everyday experiences.

With the help of these topics, it is possible to present new subject-matters in the physics lessons, which are suitable to arouse the interest of pupils who usually resist physics, but they can be attracted by these human up-to-date phenomena and applications. It is very common that these topics have close connections to other science subjects, for instance to geography, so their applications in the physics lessons allow the teachers to realize integrated science education in a good sense.

In the first four chapters, I have presented how these phenomena, investigated by me, can be applied in different educational situations. The non-traditional modern physics topics can be taught using frontal methods in classical scholar classes, but in the case of teaching talented students, it is possible to make and analyse experiments and measurements, too. In the second chapter, I have presented a semi-empirical model for the operation of one of the types of coffee machines, and compared the results of my experimental measurements against the simulation model, and I have found good correlation.

In the fifth chapter I have showed a possibility of the school applications of thermal imaging cameras. The project works and topic week, as new educational forms, were filled by exiting matters during the common activity with the pupils. In this case the device, a fantastic infra camera was really modern, and absolutely suitable to investigate the phenomena. The obvious images strengthened the credibility of the physical laws learnt before. With my colleagues, I have created a web-site for the presentation of the movies made with the thermographic camera for everybody who is interested in this educational material.

I was also seeking the new forms of teaching of talented students during the last few years. The system, created in my school (Berzsenyi Grammar School, Budapest), can unify the advantages of the project work and the school camp. All of the physics teachers of the school take part in this common job, which not least helps to save the professional openness of the physics teachers’ team.

My professional activity, started in the doctoral program, is not finished now with writing this dissertation, as the physics camp has become a traditional event for the talented

pupils in each academic year. The camp needs new topics, and in our fast changing world, I am sure to find more and more “non-traditional modern physics” subject-matters.

Köszönetnyilvánítás

Mindenek előtt köszönöm témavezetőimnek, Tél Tamásnak és Néda Zoltánnak a munkám során nyújtott segítségüket. Tél Tamás kitartó biztatással vezetett végig a folyamat különböző állomásain, sok hasznos tanáccsal látott el. Néda Zoltán különösen sokat segített a kávéfőző modelljének megalkotásakor és programozásakor.

Köszönöm a Fizika Tanítása Doktori Program megalkotóinak, mentorainak és tanárainak, hogy általuk igazán sok érdekes és a mindennapi tanításban is hasznosítható újdonsággal találkozhattam a doktori képzés során. A doktori iskola alkalmat adott arra is, hogy új kollégákat ismerhessek meg, akikkel most már nemcsak szakmai, hanem baráti szálak is összekötnek minket.

Köszönettel tartozom Gnädig Péternek a vízen lebegő rézlemez jelenségének újragondolásáért, a helyes magyarázat megtalálásáért.

Diákjaim közül ki kell emelnem Kocsis Mátyást és Varga Eriket, hiszen ők voltak a lavinához kötődő számítógépes programok tényleges megalkotói, és a különböző önképzőköri feladatokon nagy lelkesedéssel, szorgalmasan és okosan dolgoztak.

Hálásan gondolok tanítványaimra, akik nélkül ez a dolgozat nem szülehetett volna meg. Névsoruk meghaladná a jelen kereteket, ezért nem sorolom fel őket. Lelkesen és kitartóan dolgoztak az órákon, különböző délutáni szakkörökön, az immár rendszeressé vált iskolai fizika táborokban vagy egyéb projektek során.

Köszönöm a tantestület, de különösen a fizika munkaközösség minden tagjának a közös munkát, a tanácsaikat és segítségüket, türelmüket és együttérzésüket a nehéz időszakokban. Külön köszönöm Izsa Évának a táborok megszervezésében, a pályázatok megírásában nyújtott segítségét.

Köszönettel tartozom Erben Péter kollégámnak, aki az informatikai buktatókon sokszor átsegített, és a hőkamerás honlapot nagy odafigyeléssel utógondozta.

Nem utolsó sorban köszönöm családomnak, hogy támogattak és elviselték hogy ennyi energiát és időt szántam erre a munkára.

Mellékletek

A Függelék

A kávéfőző kilökéseinek szimulációja

```

#include<stdio.h>
#include<stdlib.h>
#include<math.h>

FILE *fp;

#define L 1000
#define tmax 2000
#define Tmax 4
#define Tmin 3.5
#define H 1500
#define Imp 47000
#define sigma 7000
#define DeltaI 0.3
#define Pconst 55
#define PI 3.14159
#define A 45.0
#define grav 10

double T[L+1], P[L+1], G[tmax+1], R[tmax+1], KIS[300];

/*=====*/
double eloszlas()
{double y1, y2;
  double z1;
  y1=(double)(rand()/(RAND_MAX+1.0));
  y2=(double)(rand()/(RAND_MAX+1.0));
  z1=Imp+sigma*sqrt(-log(y1)*2.0)*cos(2.0*PI*y2);
  return(z1);
}

/*=====*/
pkiosztas()
{int i;
  T[1]=Tmax;

  for(i=1; i<=100; i++)
    T[i]=Tmax;

  for(i=101; i<=L; i++)
    T[i]=T[100]-(Tmax-Tmin)/(L-100)*i;

  for(i=1; i<=L; i++)
    {P[i]=(T[i]-Tmin)/2.5;
    P[i]=Pconst*exp(-A/T[i]);
  }
}

```

```

    if (T[i]<=3.6) P[i]=0;
    printf("%lf\n",P[i]);
    }
    getchar();
return;
}

/*=====*/

main()
{int i,t,ii, jj,k,kk,cc;
 double r, v, h, I,gg;
 float m;

srand(32);
fp=fopen("melegedes.dat","r");
for(i=1; i<=280; i++)
    {printf("%d\n",i);
    //getchar();
    fscanf(fp,"%f\n",&m);
    //printf("%f\n",m);
    //getchar();
    KIS[i]=m;
    //printf("----\n");
    // getchar();
    }
fclose(fp);
getchar();

fp=fopen("pofoges.dat","w");

pkiosztas();
kk=1;
cc=0;
for(t=1; kk<=279; t++)
    {
    v=0;
    jj=0;
    for(i=1; i<=L; i++)
        {r=(double)(rand()/(RAND_MAX+1.0));
        if (r<P[i]) {
            I=T[i]/T[1]*eloszlas();
            v=v+(double)(I)/(1.25*(L-i+1));
            jj++;
            ii=i;
        }
        }
    //printf("v=%lf\n",v*v/2/grav);
    //getchar();
    h=(ii-1)+v*v/2.0/grav+(L-ii+1)-H;
    //printf("h=%lf\n",h);
    //getchar();

    if (h>0) { if (h>(L-ii+1)) h=L-ii+1;

```

```

        G[kk]=h;
        kk++;
        R[kk]=cc;
        cc=0;
        printf("%lf   %d\n",h,jj);
        // getchar();

        //fprintf(fp,"%lf\n",h);
    }

    else cc++;
}

k=0;
while(k==0)
{k=1;
for(i=1; i<=kk-1; i++)
    {if (G[i]<G[i+1]) {gg=G[i];
                        G[i]=G[i+1];
                        G[i+1]=gg;
                        k=0;
                    }
    }
}

for(i=1; i<=kk; i++) G[i]=G[i]*0.025;

k=0;
while(k==0)
{k=1;
for(i=1; i<=kk-1; i++)
    {if (R[i]<R[i+1]) {gg=R[i];
                        R[i]=R[i+1];
                        R[i+1]=gg;
                        k=0;
                    }
    }
}

printf("kk=%d\n", kk);
//getchar();

k=0;
while(k==0)
{k=1;
for(i=1; i<=279; i++)
    {if (KIS[i]<KIS[i+1]) {gg=KIS[i];
                            KIS[i]=KIS[i+1];
                            KIS[i+1]=gg;
                            k=0;
                        }
    }
}

// printf("kk=%d\n", kk);

```



```

for(i=1; i<=kk; i++)
  {fprintf(fp,"%lf  %d\n", R[i], i);
  // getchar();
  }

fclose(fp);
}

```

B Függelék

A lavinák hosszának eloszlását vizsgáló program forráskódja megjegyzésekkel

```

{
  lav2.2
  lavina fizika taborba
}

program lav2;
uses crt,sysutils;

const      Nmax=1000;
           Mmax=1000;

type koor = array[1..2] of word;

var i,j,k : longint;
    N,M,LEPESEK : longword;
    sor,sorv : word;      //sor elejet veget tarolja
    sor : array[1..Nmax*Mmax] of koor;      //ez a sor hatra be
elorol ki
    hegy : array[0..Nmax+1,0..Mmax+1] of byte;  //a "hegyre"
esik a ho, a szele nem aktiv, ami oda folyt ho azzal nem tortenik semmi
    adat : array[1..Nmax*Mmax*3] of word;  //ide gyulnek a
meresi pontok
    szamlalo : word; //ez tarolja, h hany szethullas volt a
lavinaban, lavinak kozott nullazni kell
    q : koor;
    kimen : text;      //kimenet neve NxM-lepesek.csv

procedure kiHegy();
{kiirja a hegyet}
var i,j:word;
begin
  delay(100);
  clrScr();
  for i:=0 to N+1 do begin
    for j:=0 to M+1 do begin
      case hegy[i,j] of

```

```

        0 : write('_');
        1 : write('.');
        2 : write(':');
        3 : write('#');
        4 : write('@');
    else write('E');
    end;
    end;
    writeln('|');
    end;
end;

procedure iniSor();
{sor inicializalasa}
begin
    sore:=1;
    sorv:=0;
end;

procedure sorbaRak(ez:koor);
{berakja a sor vegere az elemet}
begin
    sorv:=sorv+1;
    sor[sorv]:=ez;
end;

function kiSor():koor;
{kiveszi a sot elso elemet,es kiadja}
begin
    kiSor:=sor[sore];
    sore:=sore+1;
end;

procedure kiIrSor();
{kiirja a sort}
var i : word;
begin
    if sorv-sore > -1 then begin
        writeln('elemszam:',1+sorv-sore);
        for i:=sore to sorv do begin
            writeln(i,' : [' ,sor[i,1],',',sor[i,2],',']');
        end;
    end
    else
        writeln('elemszam:NINCS');
    end;
end;

procedure lavinaMegyIde(x,y:integer);
{ezt használja alavina, ide megy a lavina}
var q:koor;
begin
    hegy[x,y]:=hegy[x,y]+1; //biztos kap egyet, ha idejott
    vhonnan a lavina
    q[1]:=x;
    q[2]:=y;
    sorbaRak(q); //majd meg kell vizsgalni
end;

```

```

procedure lavinaIttVan();
{igy gurul szet egy hely, vagy nem}
var q : koor;
begin
    q:=kiSor(); //sorban kov vizsgal
    if (hegy[q[1],q[2]]>3) AND (q[1]>0) AND (q[1]<=N) AND
(q[2]>0) AND (q[2]<=M) then begin //ha a palyan belül van es tul sok
        hegy[q[1],q[2]]:=hegy[q[1],q[2]]-4; //levon negyet,
amit odaad a szomszedoknak
        lavinaMegyIde(q[1]+1,q[2]); //a lavina a szomszedokra
megy
        lavinaMegyIde(q[1],q[2]+1);
        lavinaMegyIde(q[1]-1,q[2]);
        lavinaMegyIde(q[1],q[2]-1);
        szamlalo:=szamlalo+1; //szamolja a tenyleges
szetesoket
        //kiHegy(); //amig tart a lavina,
folyamatosan altszik a felirat
        //writeln('LAVINAAAAAA');
        end;
    end;

procedure lavina();
{gorgeti vegig a lavinat amig lehet}
begin
    while sore<=sorv do begin
        lavinaIttVan(); //amig van mit vizsgalni, addig
vizsgálja a sorban elsot
        end;
        adat[szamlalo]:=adat[szamlalo]+1; //lavina hosszat eltarolja
szamlalo:=0; //szamlalot nullazza, h kov lavina hossza
nullarol induljon
        iniSor(); //ha elfogyott minden, vissza alitja a sort
hasznalhatora
        end;

procedure hoEsik(x,y : word);
{veletlenszeruen ho esik valahova, ha mar sok van lavinat indit}
var q : koor;
begin
    hegy[x,y]:=hegy[x,y]+1;
    if hegy[x,y]>3 then begin
        q[1]:=x;
        q[2]:=y;
        sorbaRak(q); //sorban kell lennie, hogy a
lavinaIttVan vizsgalja
        lavina();
        end;
    end;

BEGIN
    iniSor();
    szamlalo:=0;
    randomize();
    write('N:');
    readln(N);
    write('M:');
    readln(M);

```

```

write('Ho szam:');
readln(LEPESEK);
{
    * Sor Tesztelese/ mukodik
for i:=1 to 5 do begin
    q[1]:=random(20+1);
    q[2]:=random(20+1);
    writeln(q[1], '-', q[2]);
    sorbaRak(q);
    end;
kiIrSor();
q:=kiSor();
q:=kiSor();
for i:=1 to 5 do begin
    q[1]:=random(20+1);
    q[2]:=random(20+1);
    writeln(q[1], '-', q[2]);
    sorbaRak(q);
    end;
kiIrSor();}
for i:=1 to LEPESEK do begin
    //kiHegy();
    hoEsik(random(N)+1, random(M)+1);
    end;
assign(kimen, IntToStr(N)+'x'+IntToStr(M)+'-
'+IntToStr(LEPESEK)+'.csv');
rewrite(kimen);
for i:=1 to N*M*3 do begin
    writeln(kimen, i, ', ', adat[i]);
    end;
close(kimen);

END.

```

A lavinákat megjelenítő program forráskódja

```

package {
import flash.display.*;
import flash.geom.*;
import flash.text.*;
import flash.events.*;
import keymanager.*;

public class Main extends MovieClip {

    public const PROGRAM_FRAME1:uint = 31;
    public const PROGRAM_FRAME2:uint = 57;
    public var fieldW:uint = 20;
    public var fieldH:uint = 15;
    public var tileLength:uint = 25;
    public var bitmap:Bitmap = new Bitmap();
    public var timer:uint = 0;
    public var phase:uint = 0;
    public var field:Array = new Array();
    public var shovingXs:Array = new Array();
    public var shovingYs:Array = new Array();

```

```

public var shoveNums:Array = new Array();
private var leftIsDown:Boolean = false;
private var rightIsDown:Boolean = false;
private var upIsDown:Boolean = false;
private var downIsDown:Boolean = false;
private var delIsDown:Boolean = false;
private var snowMode:uint = 0;
private var lastChosenX:uint = 0;
private var lastChosenY:uint = 0;
private var placedOne:Boolean = false;
private var isStopped:Boolean=false;
private var prevFrames:Array=new Array();

public function Main() {
    KeyDetect.addKeysToDetect(37, 39, 38, 40, 46,
107, 109);

    KeyChManager.addKeys(37, 39);
    KeyChManager.addKeys(38, 40);
    KeyChManager.addKeys(107, 109);
    bitmap.bitmapData = new
BitmapData(fieldW*tileLength, fieldH*tileLength, false, 0x0000FF);
    addChild(bitmap);
    bitmap.x = 320-bitmap.bitmapData.width/2;
    bitmap.y = 240-bitmap.bitmapData.height/2;
    addEventListener(Event.ENTER_FRAME, tick);
    stage.addEventListener(Event.DEACTIVATE,
KeyDetect.deactivateListener);
    stage.addEventListener(KeyboardEvent.KEY_DOWN,
KeyDetect.keyDownListener);
    stage.addEventListener(KeyboardEvent.KEY_UP,
KeyDetect.keyUpListener);
    for (var i:uint = 0; i < fieldW; i++) {
        field[i] = new Array();
        for (var j:uint = 0; j < fieldH; j++) {
            field[i][j] = 0;
        }
    }
}

public function tick(e:Event) {
    KeyChManager.update();
    var i, j, fieldX, fieldY, lastShoveNum:uint;
    timer++;
    if (timer >= 1) {
        timer = 0;
        if (phase == 0) {
            fieldX =
Math.floor(Math.random()*fieldW);
            fieldY =
Math.floor(Math.random()*fieldH);
            field[fieldX][fieldY]++;
            updateFieldAt(fieldX, fieldY);
            if (field[fieldX][fieldY] >= 4) {
                shovingXs.push(fieldX);
                shovingYs.push(fieldY);
                shoveNums.push(0);
                phase++;
            }
        }
    }
}

```

```

        } else if (phase == 1) {
            lastShoveNum = shoveNums[0];
            while (shovingXs.length != 0 &&
shoveNums[0] == lastShoveNum) {

                field[shovingXs[0]][shovingYs[0]] -= 4;
                updateFieldAt(shovingXs[0],
shovingYs[0]);

                if (shovingXs[0] > 0) {
                    field[shovingXs[0]-
1][shovingYs[0]]++;
                    updateFieldAt(shovingXs[0]-
1, shovingYs[0]);
                    if (field[shovingXs[0]-
1][shovingYs[0]] == 4) {

                        shovingXs.push(shovingXs[0]-1);
                        shovingYs.push(shovingYs[0]);
                        shoveNums.push(shoveNums[0]+1);
                    }
                    if (shovingXs[0]+1 < fieldW) {

                        field[shovingXs[0]+1][shovingYs[0]]++;
                        updateFieldAt(shovingXs[0]+1, shovingYs[0]);
                        if
(field[shovingXs[0]+1][shovingYs[0]] == 4) {

                            shovingXs.push(shovingXs[0]+1);
                            shovingYs.push(shovingYs[0]);
                            shoveNums.push(shoveNums[0]+1);
                        }
                    }
                    if (shovingYs[0] > 0) {

                        field[shovingXs[0]][shovingYs[0]-1]++;
                        updateFieldAt(shovingXs[0],
shovingYs[0]-1);
                        if
(field[shovingXs[0]][shovingYs[0]-1] == 4) {

                            shovingXs.push(shovingXs[0]);
                            shovingYs.push(shovingYs[0]-1);
                            shoveNums.push(shoveNums[0]+1);
                        }
                    }
                    if (shovingYs[0]+1 < fieldH) {

                        field[shovingXs[0]][shovingYs[0]+1]++;
                        updateFieldAt(shovingXs[0],
shovingYs[0]+1);
                    }
                }
            }
        }
    }
}

```

```

                                                                    if
(field[shovingXs[0]][shovingYs[0]+1] == 4) {
    shovingXs.push(shovingXs[0]);
    shovingYs.push(shovingYs[0]+1);
    shoveNums.push(shoveNums[0]+1);
                                                                    }
                                                                    }
                                                                    shovingXs.splice(0, 1);
                                                                    shovingYs.splice(0, 1);
                                                                    shoveNums.splice(0, 1);
                                                                    }
                                                                    if (shovingXs.length == 0) phase = 0;
                                                                    }
                                                                    }
                                                                    var newBMP:BitmapData;
                                                                    if (KeyChManager.keyIsDown(37) && !leftIsDown &&
fieldW > 1) {
                                                                    newBMP = new BitmapData((fieldW-
1)*tileLength, fieldH*tileLength, false, 0x0000FF);
                                                                    newBMP.copyPixels(bitmap.bitmapData, new
Rectangle(0, 0, (fieldW-1)*tileLength, fieldH*tileLength), new Point(0,
0));
                                                                    fieldW--;
                                                                    bitmap.bitmapData = newBMP;
                                                                    for (i = 0; i < shoveNums.length; i++) {
                                                                    if (shovingXs[i] == fieldW) {
                                                                    shovingXs.splice(i, 1);
                                                                    shovingYs.splice(i, 1);
                                                                    shoveNums.splice(i, 1);
                                                                    i--;
                                                                    }
                                                                    }
                                                                    field.splice(fieldW, 1);
                                                                    bitmap.x = 320-bitmap.width/2;
                                                                    } else if (KeyChManager.keyIsDown(39) &&
!rightIsDown && ((fieldW+1)*fieldH <= 10000)) {
                                                                    newBMP = new
BitmapData((fieldW+1)*tileLength, fieldH*tileLength, false, 0x0000FF);
                                                                    newBMP.copyPixels(bitmap.bitmapData, new
Rectangle(0, 0, (fieldW+1)*tileLength, fieldH*tileLength), new Point(0,
0));
                                                                    fieldW++;
                                                                    bitmap.bitmapData = newBMP;
                                                                    field.push(new Array());
                                                                    for (i = 0; i < fieldH; i++) {
                                                                    field[fieldW-1][i] = 0;
                                                                    }
                                                                    bitmap.x = 320-bitmap.width/2;
                                                                    }
                                                                    if (KeyChManager.keyIsDown(38) && !upIsDown &&
fieldH > 1) {
                                                                    newBMP = new BitmapData(fieldW*tileLength,
(fieldH-1)*tileLength, false, 0x0000FF);

```

```

        newBMP.copyPixels(bitmap.bitmapData, new
Rectangle(0, 0, fieldW*tileLength, (fieldH-1)*tileLength), new Point(0,
0));

        fieldH--;
        bitmap.bitmapData = newBMP;
        for (i = 0; i < shoveNums.length; i++) {
            if (shovingYs[i] == fieldH) {
                shovingXs.splice(i, 1);
                shovingYs.splice(i, 1);
                shoveNums.splice(i, 1);
                i--;
            }
        }
        for (i = 0; i < fieldW; i++) {
            field[i].splice(fieldH, 1);
        }
        bitmap.y = 240-bitmap.height/2;
    } else if (KeyChManager.keyIsDown(40) &&
!downIsDown && ((fieldH+1)*fieldW <= 10000)) {
        newBMP = new BitmapData(fieldW*tileLength,
(fieldH+1)*tileLength, false, 0x0000FF);
        newBMP.copyPixels(bitmap.bitmapData, new
Rectangle(0, 0, fieldW*tileLength, (fieldH+1)*tileLength), new Point(0,
0));

        fieldH++;
        bitmap.bitmapData = newBMP;
        for (i = 0; i < fieldW; i++) {
            field[i].push(0);
        }
        bitmap.y = 240-bitmap.height/2;
    }
    if (KeyChManager.keyIsDown(107)) {
        bitmap.scaleX += 0.05;
        bitmap.scaleY += 0.05;
        bitmap.x = 320-bitmap.width/2;
        bitmap.y = 240-bitmap.height/2;
    } else if (KeyChManager.keyIsDown(109) &&
bitmap.scaleX >= 0.2) {
        bitmap.scaleX -= 0.05;
        bitmap.scaleY -= 0.05;
        bitmap.x = 320-bitmap.width/2;
        bitmap.y = 240-bitmap.height/2;
    }
    if (KeyDetect.keyIsDown(46) && !delIsDown) {
        for (i = 0; i < fieldW; i++) {
            for (j = 0; j < fieldH; j++) {
                field[i][j] = 0;
            }
        }
        shovingXs = new Array();
        shovingYs = new Array();
        shoveNums = new Array();
        bitmap.bitmapData = new
BitmapData(fieldW*tileLength, fieldH*tileLength, false, 0x0000FF);
    }
    leftIsDown = (KeyDetect.keyIsDown(37) ||
KeyChManager.keyIsDown(36));

```



```
        rightIsDown = (KeyDetect.keyIsDown(39) ||
KeyChManager.keyIsDown(35));
        upIsDown = KeyDetect.keyIsDown(38);
        downIsDown = KeyDetect.keyIsDown(40);
        delIsDown = KeyDetect.keyIsDown(46);
    }

    public function updateFieldAt(x, y:uint) {
        if (field[x][y] > 4) {
            bitmap.bitmapData.fillRect(new
Rectangle(x*tileLength, y*tileLength, tileLength, tileLength),
0xFFFFFFFF);

            return;
        }
        var color1:ColorTransform = new ColorTransform(1,
1, 1, 1, Math.round(255*(field[x][y])/4),
Math.round(255*(field[x][y])/4), 0, 0);
        var color2:ColorTransform = new ColorTransform(1,
1, 1, 1, 0, 0, 255, 255);
        bitmap.bitmapData.fillRect(new
Rectangle(x*tileLength, y*tileLength, tileLength, tileLength),
color1.color+color2.color);
    }
}
}
```

C Függelék

A fizikatáborok programja táblázatos formában

A 2011. tábor programja

	június 2. (csütörtök)	június 3. (péntek)	június 4. (szombat)
8:00		Reggeli	Reggeli
9:00		Diékelőadások: <ul style="list-style-type: none"> • Lebegő labdák és rézlemezek • Vitorlazzunk! • Stroboszkóp 	Pakolás
10:00			Kirándulás a Gallákra
11:00			Spektroszkópot építünk, és vizsgálódunk vele
12:00		Földrajzi helymeghatározás a Nap segítségével	
13:00	13:30 Indulás az iskolából, utazás Ipolydamásdra, a táborhely elfoglalása	Ebéd	Táborzárás, Ebéd
14:00		Diákelőadások <ul style="list-style-type: none"> • Környezeti jelenségek modellezése • Ki az erősebb? • Egy égimechaniaki papdoxon • Hogyan építsünk ködkamrát? Kísérletek a szárazjéggel	15:13 Hazautazás
15:00			
16:00			
17:00	Diákelőadások: <ul style="list-style-type: none"> • Miért kerek a sajtban a lyuk? • Olimpiai rekordok • Árapály 		
18:00	18:30 Vacsora	Vacsora	
19:00			
20:00	Előadások <ul style="list-style-type: none"> • Hogy állsz az asztronómiával? • Kérdések a csillagászatról • Helymeghatározás előkészítése • Mit fogunk látni az égen? Csillagászati megfigyelések	Honyek Gyula előadása: Van-e élet a Földön kívül?	
21:00		Csillagászati megfigyelések	
22:00			
23:00			

A 2012. évi tábor programja

	2013. május 29. (szerda)	május 30. (csütörtök)	május 31. (péntek)	június 1. (szombat)
8:00		Reggeli	Reggeli	Reggeli
9:00		Diákelőadások: 7.c Hérón eszközei 8.c Elektromosság és hőmérséklet 11.c Hullámoptika fázisvektorokkal	Túra a Kontyvirág tanösvényen és kenutúra a Szikrai Holt-Tiszán	Pakolás, takarítás
10:00				Túrórudi-feladatok megbeszélése
11:00				Csapatverseny
12:00				
13:00		Ebéd	Ebéd	Ebéd
14:00	Indulás az iskolából, utazásl Töserdőre	Kiscsoportos foglalkozások: 7.8. Nap átmérőjének mérése, Krétapor ülepedése 9. Dominósor dőlési sebességének vizsgálata 10. Hidrosztatikai feketedoboz 11. Elektromos kapcsolások	Diákelőadások 9.c Autók működésének modellezése és más fizikai mérések NXT-robotokkal 10.b Elektrokémia 11.b Mágneses jelenségek, a víz permeabilitásának mérése	Hazautazás
15:00				
16:00				
17:00	Szállásfoglalás			
18:00	18:30 Vacsora	Vacsora	Vacsora	
19:00	Tábornyitó, túrórudi-feladatok kiosztása			
20:00	Gyenes Gábor előadása: Szilárd Leó	Diákelőadás: 10.b Állóhullámok, Ruben-cső	Diákelőadások: 9.b Felületi feszültség 10.b Kísérletek régi berzsenyis önképzőköri naplók alapján 10.c Doppler-effektus	
21:00	Élménybeszámoló a tavaszi CERN-beli tanulmányútról (10.b)	Honyek Gyula előadása: Kísérleti bemutató		
22:00				

A 2013. évi tábor programja

	2012. május 23. (szerda)	május 24. (csütörtök)	május 25. (péntek)	május 26. (szombat)
8:00		Reggeli	Reggeli	Reggeli
9:00		Diákelőadások: 10.b Mérések az NXT-robotokkal 9.b Atwood-ejtőgép 9.és 10.c Optikai kísérletek 9.b Arkhimédészi csavar	Gyalogtúra Nógrád várába	Rendrakás, csomagolás
10:00				A túrórudi-feladatok megbeszélése, Táborzárás
11:00				
12:00				
13:00			Ebéd	Ebéd
14:00	14:20 Indulás az iskolából Királyrétre Szállásfoglalás	Kiscsoportos foglalkozások: 7-8.: Sűrűségmérés 9.b, c. Fixírsó túlűtése 10.b Galilei-szögmérő készítése 10. és 11.c Optikai mérések 11.b Mérések a CO ₂ -patronnal	Ebéd	Hatautazás
15:00			Diákelőadások: 11.b Lavinák homokdomb-modellje 11.b c Rezgések teáskannákkal 10.b Radioaktív mérések	
16:00				
17:00		Diákelőadások: 11.b Konyhafizika 10-11.b Kísérletek mikrohullámú sütővel	Vacsora	
18:00	Vacsora	Vacsora		
19:00	Diákelőadások 7.8. osztály: érdekes kísérletek (tűztornádó, instant jég, szódavíz túlűtése, Bernoulli-törvény)	Vacsora	Csonka Dorottya előadása: Mese a csillagokról	
20:00	Gyenes Gábor előadása: Arkhimédész	Honyek Gyula előadása: Kísérleti bemutató	Csillagászati megfigyelések	
21:00				
22:00				

A 2014. évi tábor programja

	2014. április 2. (szerda)	április 3. (csütörtök)	április 4. (péntek)	április 5. (szombat)	
8:00		Reggeli	Reggeli	Reggeli	
9:00		Diákelőadások: 7.c: Látványos kísérletek 9.c Áramlástanai kísérletek, a Flettner rotor 11.b A fotovoltaikus hatás 11.b Két működő hőerőgép-modell bemutatása	Kiscsoportos foglalkozások: 7.8. Tojás teherbírásának mérése 9. Hidrosztatikai mérés lyukas poharakkal és labdákkal 10. Karcolt hologram készítése 11-12. Matematikai és fizikai szépségek matematikai és fizikai ingákról	Összepakolás, takarítás	
10:00				Túrórudi-feladatok megbeszélése	
11:00				Játékos csapatverseny papíros feladatokkal	
12:00				Ebéd	Ebéd
13:00	Indulás az iskolából Utazás Királyrétre, a szállás elfoglalása	Diákelőadások 9.b Kötelek, láncok, csigák 8,c Pendulum-hullám 11.b Atomenergia 11.c A színekről sok kísérlettel	Kirándulás a Szép bércre	Ebéd	
14:00				Tábornyitó, a túrórudi-feladatok kiosztása	Hazautazás
15:00					
16:00	Vacsora	Diákelőadások: 10.c Az Ifjúsági Tudományos és Innovációs Tehetségkutató versenyre benyújtott pályázatok bemutatása 12.c Ami a pendulum-hullámról az eszünkbe jutott, és le tudtuk programozni	Honyek Gyula előadása: Furfangos fizikafeladatok		
17:00					
18:00					
19:00					
20:00					
21:00	Gyenes Gábor előadása: Az amerikai és a szovjet atombomba története, és Teller Ede				
22:00					

A 2015. évi tábor programja

	2015.május 20. (szerda)	május 21. (csütörtök)	május 22. (péntek)	május 23. (szombat)	
8:00		Reggeli	Reggeli	Reggeli	
9:00		Diákelőadások 7.c: Érdekes kísérletek 8.c: Camera Obscura 9.c: Feladatok megoldása a Fizika programmal 11.c Szappanhártya-motorok (IYPT) 10.b Hőerőgépek, Stirling-motor és termoakusztikus motor	Diákelőadások 10.c Láthatatlanná tevés 9.b Ütközések 10.b Spektroszkópia	Túrórudi-feladatok megbeszélése	
10:00				Spektroszkópkészítés	Fizika csapatverseny
11:00					
12:00					Pakolás
13:00				Ebéd	Ebéd
14:00		Ebéd	Az eső miatt a kirándulás elmaradt	táborzárás, eredményhirdetés	
15:00	Érkezés Vácdukára, szállásfoglalás	Kiscsoportos foglalkozások 7.8.: Ismerkedés a Fizika programmal 9. Mérések Mohr-Westphall-mérleggel 10. Hidrosztatikai feketedoboz 11. Zseblámpaizzó sugárzási felületének mérése		Hazaindulás	
16:00	Táborfoglaló vetélkedő			Honyek Gyula : Meglepő feladatok	
17:00		Diákelőadások			
18:00	Vacsora	11.b: Elektromágneses kísérletek	Vacsora		
19:00	Czövek Márton előadása: Hogyan működik a gitár?	Vacsora	Gyenes Gábor előadása: Hevesy György		
20:00	Stermeczky Zsófia előadása: Csillagászat	Gnädig Péter előadása: Részecskefizika			
21:00					

Tábori feladatsorok

A feladatsorok összeállításánál forrásként a Középiskolai Matematikai Lapokat, a Quantum folyóiratot, illetve a különböző versenyek feladatait használtam, de találhatóak olyan feladatok is, amelyek eredetét nem tudjuk.

Túrórudi-feladatok 2013.

- 1.) Milyen alakú a Hold pályája
 - a) a Földhöz viszonyítva,
 - b) a Naphoz viszonyítva?

- 2.) Milyen alakú a repülő légszavarjának pályája
 - a) a pilótához
 - b) a kifutópályához viszonyítva?

- 3.) Egyforma magas kémények (házak, gőzmozdonyok... kéményei) füstölnek a szélben. A füst csíkokat rajzol az égre. Metszheti-e egymást két füstcsík?
Ha nem, miért nem, ha igen, milyen körülmények között?

- 4.) Egy felfelé mozgó mozgólépcső $0,75 \text{ m/s}$ sebességgel halad. Milyen gyorsan kell egy embernek mozognia a lépcsőn, hogy végig a lefelé menő mozgólépcsőn álló ember mellett legyen?

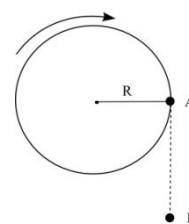
- 5.) Egy labdát feldobunk v_0 sebességgel. Amikor a tetőpontra ér, egy újabb labdát dobunk fel szintén v_0 sebességgel. Hogyan változik a két labda relatív sebessége az időben?

- 6.) Két egyenletesen mozgó test pályája az egyik vonatkoztatási rendszerből nézve párhuzamos. Tudunk-e olyan vonatkoztatási rendszert választani, amelyből szemlélve a két test pályája keresztezi egymást?
Ha nem, miért nem, ha igen, milyen körülmények között?

7.) Egy tutaj és egy hajó egymás mellett sodródik a folyón. Mi követel nagyobb erőfeszítést a csónak evezősétől: 15 méterrel megelőzni a tutajt, vagy 15 méterrel mögé kerülni?

8.) A Budapest-Tóserdő-Budapest repülőversenyen tavaly szélcsend volt, az idén Tóserdő felé fúj a szél. Melyik évben voltak jobbak a futamidők? (ugyanazok a gépek ugyanazokkal a pilótákkal repültek.)

9.) Egy R sugarú forgó korong (körhinta) szélén ül Aladár. Béla az ábra szerint a korong középpontjától $2R$ távolságra áll a földön, és azt állapítja meg, hogy hozzá viszonyítva Aladár sebessége 1 m/s . Közben Aladár is megvizsgálja, hogy hozzá képest mekkora sebességgel mozog Béla. Mi Aladár megállapítása?



Túrórudi-feladatok 2014.

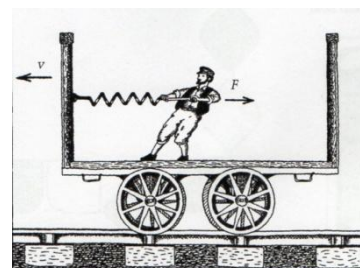
1.) Egy autó fogyasztását liter/100km-ben szoktuk megadni. Mi ez „rendes” SI mértékegységben kifejezve? Keressünk szemléletes jelentést ennek a mértékegységnek!

2.) Egy jármű egyenlő hosszú utakat tesz meg egymás után 1 m/s , 2 m/s , 3 m/s , 4 m/s és 5 m/s sebességgel. Mekkora a teljes úthosszra vonatkozó átlagsebessége?

3.) Két, egyaránt 20 g tömegű giliszta átmászik egy 10 cm magas, igen vékony falon. Az egyik sovány és 20 cm hosszú, a másik kövér és 10 cm hosszú.

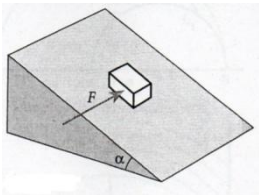
- Melyiknek kell több munkát végeznie a nehézségi erő ellenében, amíg átjut a falon?
- Hogyan aránylik egymáshoz a két giliszta munkája?

4.) Egy állandó v sebességgel mozgó vasúti kocsiban egy ember áll mozdulatlanul, és F erővel feszíti a kocsi falához rögzített rugót. Mennyi munkát végez az ember t idő alatt



- a kocsihoz rögzített vonatkoztatási rendszerben
- a sínekhez rögzített vonatkoztatási rendszerben?

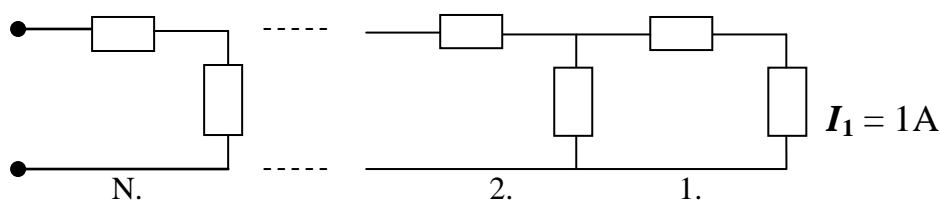
(Hová lesz a munka? ☺)

- 5.) Egy ember egyedül áll a metró felfelé haladó mozgólépcsőjén. Más lesz-e a mozgólépcső motorjának teljesítménye, ha az ember a mozgólépcsőn egyenletes sebességgel fölfelé sétál?
- 6.) A Föld egy pontján az időjárás, az évszakok változása leginkább attól függ, hogy a hely melyik szélességi kör mentén helyezkedik el. (pl.: egyenlítői öv, mérsékelt öv, sarkvidék...)
Egy másik bolygón az évszakok attól is függenek, hogy melyik hosszúsági kör mentén helyezkedünk el. Milyen kapcsolat van ezen bolygó keringési és forgási periódusideje között?
- 7.) Egy csónakban ülő horgász a tóba ejti a pipáját. Az így létrejövő vízszintváltozás nagysága ugyanakkora, mint amikor a pipát a partról ejti a tóba. Mekkora a pipa sűrűsége?
- 8.) Egy α hajlásszögű lejtőre egy 1 kg tömegű téglát helyezünk. Ábrázoljuk a téglára ható súrlódási erőt az α szög függvényében! ($\mu = \mu_0 = 0,6$)
- 9.) Egy 1 kg tömegű testet vízszintes asztalra helyezünk, majd egy fonál segítségével 6 N nagyságú erővel húzzuk. A csúszási és tapadási súrlódási együttható is 0,7. Ábrázoljuk a téglára ható súrlódási erőt a fonál vízszintessel bezárt szögének függvényében!
- 10.) Egy α hajlásszögű lejtőre egy kis testet helyezünk. A téglá és a lejtő közötti súrlódási együttható $2 \tan \alpha$. Mekkora az a minimális vízszintes irányú erő, amely hatására a test megmozdul? (Lásd az ábrát!)
- 
- 11.) Két hűtőmágnes-fóliát csúsztass egymáson úgy, hogy a mágneses felület fordítsd egymás felé! Azt fogod tapasztalni, hogy néha simán csúsznak, máskor pedig „röccögnek”. Hogyan mágnesesek ezek a fóliák? (A fóliákat az asztalon találod.)
- 12.) Az asztalra kikészített háromszögletű kerék tanulmányozásával válaszolj az alábbi kérdésekre!

- a) Hogyan kell a „kerék” formáját megszerkeszteni (körzővel és vonalzóval), hogy a „kerekekre” helyezett könyv ne billegjen?
- b) A kerék tengelye emelkedik és süllyed. Mekkora a legmagasabb és a legalacsonyabb helyzete közötti távolság? Hogyan lehet ezt a távolságot megszerkeszteni?
- c) A háromszögletű kerek gurulnak, és a középpontjuk 10 m/s átlagsebességgel halad előre. Mekkora lenne annak a „rendes”, kör alakú keréknek a sugara, amelyik ugyanekkora fordulatszám esetén ugyanekkora sebességgel haladna előre?

13.) Végtelen ellenálláslánc (létraáramkör) - Hol az aranymetszés?

Tekintsük az alábbi végtelen hálózat kapcsolási rajzát:



Minden egyes ellenállás értéke legyen $R=1\Omega$. A legelső ellenálláson $I_1 = 1\text{ A}$ erősségű áram folyik keresztül.

Mekkora az egyes ellenállásokon átfolyó áram erőssége?

Mekkora az egyes ellenállásokon eső feszültség értéke?

Mekkora a végtelen lánc eredő ellenállása?

„Papíros” feladatok 2014.

- 1.) Készítsetek egy A4-es papírlapból (cellux használható) olyan szerkezetet, aminek segítségével egy 3 méter magasról leejtett tojás nem törik össze.
- 2.) Készítsetek újságpapír és cellux felhasználásával olyan 1×1 m-nél kisebb szerkezetet, amelyet a lehető leghosszabb, de véges idő alatt hagy el egy, a szerkezet tetején indított üveggolyó.
- 3.) Hajtogassatok maximum egy A4-es papírból legmagasabbra illetve legtávolabbra ugró békát. A próbabékák után a versenybékákat a zsűri által kiadott zöld A4-es papírból készítsétek el!

- 4.) Hidaljatok át 20 cm távolságot egyetlen A4-es lapból ragasztó nélkül készült, minél nagyobb teherbírású híddal! A terheléspróbát a zsúri végzi úgy, hogy a hídon keresztben átfektetett 3 cm széles kartonpapírt fog alulról rugós erőmérővel húzni.

A tábornyító csapatverseny feladatai 2015.

Tesztfeladatok:

- 1.) 3 m^3 beton tömege 6600 kg
 Az állítások között igazból, vagy hamisból van-e egy? Azt válaszd ki!
A: A beton sűrűsége 2200 kg/m^3 .
B: A beton 1 m^3 -ének tömege 2200 kg.
C: A beton $19\,800 \text{ kg/m}^3$ sűrűségű.
D: A beton sűrűsége $2,2 \text{ g/cm}^3$.
E: A beton 1 cm^3 -ének tömege 2,2 g.

- 2.) Milyen hatása nincs az elektromos áramnak?

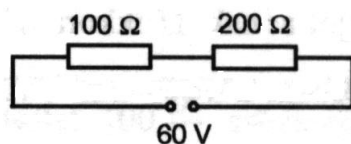
- A:** Mágneses
B: Hő
C: Mechanikai
D: Kémiai
E: Élettani

- 3.) Melyik állítás nem igaz?

- A fémvezeték elektromos ellenállása ...
A: ... csökken, ha csökkentjük a hosszúságát.
B: ... csökken, ha csökkentjük a hőmérsékletét.
C: ... növekszik, ha növeljük a keresztmetszetét.
D: ... függ az anyag minőségétől.

- 4.) Melyik igaz?

- A:** Az ábrán látható két ellenállás párhuzamosan van kapcsolva.
B: Az ábrán látható két ellenállás eredő ellenállása 200Ω .
C: Az ábrán látható két ellenállás eredő ellenállása kisebb, mint 100Ω .
D: Az ábrán látható két ellenállás eredő ellenállása $200/3 \Omega$.
E: Az ábrán látható két ellenállás eredő ellenállása 300Ω .



- 5.) A bőrhátú teknős 1,2 km mélyre is képes lemerülni. Mekkora a hidrosztatikai nyomás ilyen mélységben? A tengervíz sűrűsége $1,03 \text{ g/cm}^3$. ($g = 9,81 \text{ m/s}^2$)
A: 1,2 Pa
B: 12,1 Pa
C: 1213 Pa

D: 12125 Pa
E: 12 125160 Pa

- 6.) A 2 kg tömegű macska állandó sebességgel mászik fel egy 3 m magas fára.
Mennyi munkát végez a macska a mászás során?
A: A macska nem végez munkát.
B: 6 N munkát végez a macska.
C: 20/3 J munkát végez a macska.
D: 60 J munkát végez a macska.
E: 1,5 J munkát végez a macska.
- 7.) A disznótor után az 5 méter hosszú kolbászból levágtak 1,5 métert, majd 3 dm-t, végül 1,3 kg-os darabot, így 1,9 kg tömegű maradt.
Mennyi volt a kezdeti, 5 méter hosszú kolbász tömege?
A: 3,2 kg
B: 5 kg
C: 50 kg
D: 64 kg
E: Az előző megoldások egyike sem helyes.
- 8.) A 400 méteres futópályán Dani 8 métert tesz meg 4 másodpercenként, Ali 12 métert tesz meg 3 másodpercenként.
Az állítások között igazból, vagy hamisból van-e egy? Azt válaszd ki!
A: Ali kétszer annyi utat tesz meg másodpercenként, mint Dani.
B: Dani 2 méterrel tesz meg kevesebb utat másodpercenként, mint Ali.
C: Ali 4 méterrel tesz meg több utat másodpercenként, mint Dani.
D: Ali gyorsabb, mint Dani.
E: Ali 2 méterrel tesz meg több utat másodpercenként, mint Dani.
- 9.) Az állítások az előző feladathoz kapcsolódnak. Melyik igaz?
A: Dani 50 másodperc alatt ér körbe a pályán.
B: Ali 100 másodperc alatt ér körbe a pályán.
C: Dani 100 másodperc alatt ér körbe a pályán.
D: Ali 200 másodperc alatt ér körbe a pályán.
E: Ketten együtt 20 másodperc alatt érnek körbe a pályán.

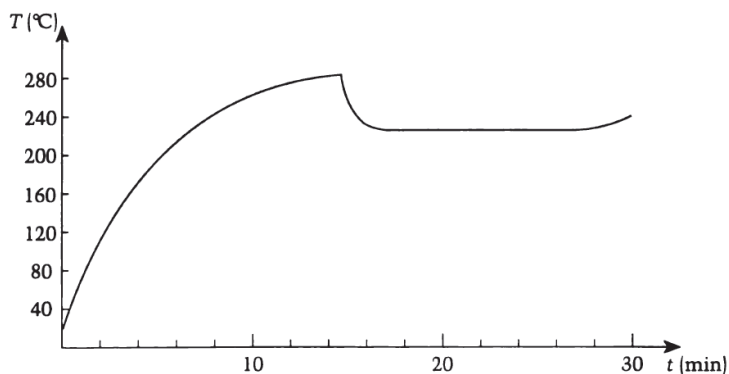
Egy kis függvénytábla-használat:

- 10.) A Föld tömege hány kibigramm és hány mebigramm?
- 11.) Mekkora a legmagasabb olvadáspontú elem sűrűsége 20 °C-on?
- 12.) Hány szteradián a teljes égbolt?

- 13.) Ha egy autó 100 km-en 6 litert fogyaszt, egy gallon dízelolajjal hány (amerikai) mérföldet tesz meg?
- 14.) Fejezzük ki az 1 poise egységet (amely származtatott mennyiség) SI alapegységekkel!
- 15.) Mekkora egy egyenes tömör, aranyból készült csonkakúp tömege, és hol van a tömegközéppontja, ha a magassága 10 cm, alapkörének sugara 6 cm, fedőkörének sugara 4 cm?

Számolós fejtörő feladatok:

- 16.) Lili minden nap gyalog megy a Berzsenyibe, ami éppen 20 percig tart. Az egyik nap útközben eszébe jutott, hogy otthon felejtette a szekrénykulcsát. Egy pillanat alatt kiszámította, hogy ha útját változatlanul folytatja, akkor 10 perccel 8 óra előtt ér az iskolába, de ha visszafordul, akkor 8 perc miatt kell majd későcídulát kérnie. Az út hányad részénél jutott az eszébe a szekrénykulcs?
- 17.) A Napfogyatkozást az Egyenlítőről figyeljük. Mekkora sebességgel halad hozzánk képest a Hold árnyéka a Föld felszínén?
- 18.) Egy függőleges síkú, *súrlódó tengelyű* csigán átvett kötél egyik végén egy 6 kg tömegű test függ, a másik vége a kezünkben van. A test nyugalomban tartásához legalább 40 N erőt kell kifejtenünk. Mekkora minimális F erőre van szükség ahhoz, hogy a testet fölfelé húzzuk?
- 19.) Egy homogén, szabályos háromszög alakú rézlemez egyik sarkának hőmérsékletét állandó T_1 , a másikat T_2 , a harmadikét T_3 értéken tartjuk. Mekkora a hőmérséklet a lemez középpontjában? Indokold a választ!
- 20.) Egy kuktafazékba lezárása előtt egy kevés vizet töltünk. Ekkor a hőmérséklet $20\text{ }^\circ\text{C}$, a külső légnyomás 10^5 Pa . A kuktát lezárjuk, majd melegíteni kezdjük. Abban a pillanatban, amikor az összes víz elforr, a fazékban uralkodó nyomás $3 \cdot 10^5\text{ Pa}$, a hőmérséklet $115\text{ }^\circ\text{C}$. Eredetileg a fazék hány százalékát töltötte ki a víz?
- 21.) Egy kalorimétert 20 W teljesítménnyel fűtünk. A kaloriméter hőmérsékletének változását az időben az alábbi ábra szemlélteti.

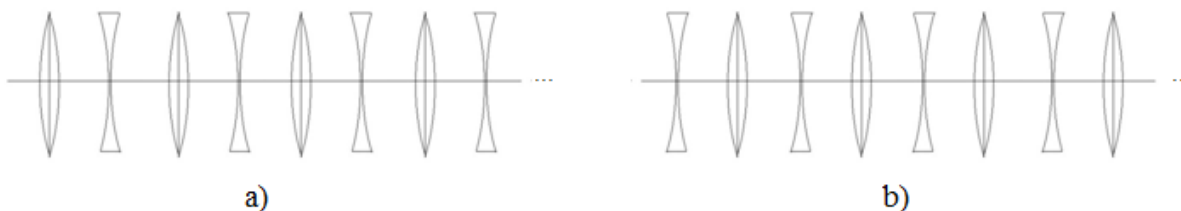


A kaloriméter veszteségei nem elhanyagolhatóak, minél magasabb a hőmérséklet, annál több hőt ad át a környezetének időegységenként. Kezdetben a hővesztésről eltekinthetünk (az edény és a környezet hőmérséklete megegyezik), később, ahogy melegszik az edény, a veszteségek is nőnek. Egyszer elérjük azt az állapotot, amikor a betáplált energia nem a kalorimétert melegíti tovább, csak a veszteségeket fedezi.

Amikor a hőmérséklet emelkedése megáll, 50 gramm fémforgácsot dobunk a kaloriméterbe.

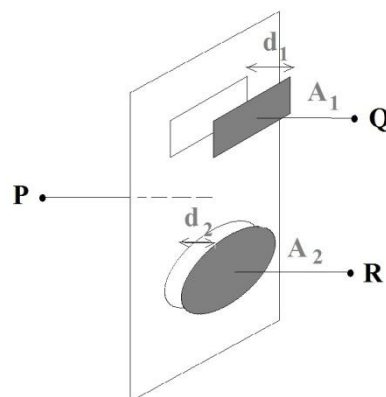
- Mikor dobtuk a fémet a kaloriméterbe?
- Milyen magas a fém olvadáspontja?
- Mennyi idő alatt olvadt meg a fém?
- Hány %-os a hővesztés a fém olvadáspontján?
- Mennyi energia fordítódott a fém megolvasztására?
- Mennyi a fém olvadáshője?

22.)



N darab $2f$ fókusz távolságú gyűjtőlencsét és N darab $-f$ fókusz távolságú szórólencsét helyezünk el az a) majd a b) ábra szerint egy optikai tengelyen úgy, hogy a lencsék felváltva, f távolságra kövessék egymást. A lencserendszerre az optikai tengellyel párhuzamos, D átmérőjű fénynyalábot bocsátunk. Milyen lesz a lencsereszt elhagyó fénynyaláb?

- 23.) Egy nagy, sík fémllemezzel párhuzamosan elhelyezünk egy A_1 és egy A_2 felületű kisebb lemezt, a nagy lemeztől d_1 és d_2 távolságban. A lemezek távolsága a kiterjedésükhöz képest elhanyagolható. Mekkora a rendszer kapacitása

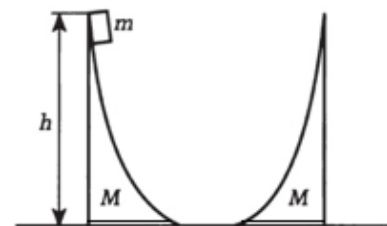


ha az ábrán jelzett P és Q, P és R, valamint Q és R vezetésekre kapcsoljuk a telepet?

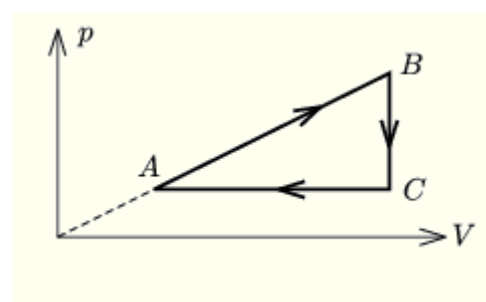
Túrórudi-feladatok 2015.

- 1.) Amikor az egyenes vonalzót a végétől 15 cm-re támasztjuk alá, akkor a vonalzó a végétől 5 cm-re elhelyezett két egyforma pénzérmével egyensúlyozható ki. Amikor az alátámasztást a végétől 10 cm-re helyezzük el, akkor az előbbi helyen 6 pénzérmére van szükség a kiegyensúlyozáshoz. Milyen hosszú a vonalzó?
- 2.) Egy sokmenetes, hosszú, acélrugó, ha az egyik végénél felfüggesztjük, eredeti hosszának másfélszeresére nyúlik. Mekkora lesz a megnyúlása, ha teljes egészében vízbe merítjük?
- 3.) Mondjuk meg, hogy legalább mekkora a Földet körülvevő légkör tömege, ha tudjuk, hogy a föld sugara 6370 km, és a tengerszinten mérhető légnyomás 10^5 Pa.
- 4.) Három ellenállásunk van: egy 1Ω -os, egy 2Ω -os és egy 3Ω -os. Mindegyik csak addig terhelhető, míg a teljesítménye el nem éri az $1W$ -ot. Ha ennél nagyobb áram folyik át rajta, tönkremegy. Hogyan kapcsoljuk a három ellenállást, hogy a rendszerből a maximális teljesítményt vehessük ki?

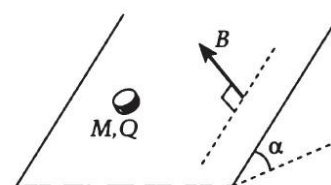
- 5.) Súrlódásmentes talajon két M tömegű, ívesen hajlított lejtő áll egymással szemben. Az egyik tetejéről, h magasságból elindítunk egy m tömegű testet, amely szintén súrlódásmentesen csúszhat. Milyen magasra jut fel ez a tégl a másik lejtőn?



- 6.) Állandó tömegű ideális gázzal az ábrán látható körfolyamatot végeztetjük. Ábrázoljuk a körfolyamatot p - V helyett p - T , illetve $E_{\text{belső}}-V$ diagramon!



- 7.) Egy α hajlásszögű lejtőre kicsi, M tömegű, Q töltésű korongot helyezünk. A lejtő az ábra szerint homogén, a síkjára merőleges B indukciójú mágneses térben van. A testet elengedjük. Mekkora, és milyen irányú lesz hosszú idő elteltével a korong sebessége, ha



- a) a lejtőn nincs súrlódás, (ez nehéz!)
- b) a lejtőn a súrlódási együttható μ ?

(Tegyük fel, hogy a korong a lejtőn nem töltődik fel, de nem is veszít a töltéséből.)

8.) Egy L hosszúságú, M tömegű vonatszerelvényt meglöktek, és a lendülete elég volt ahhoz, hogy félig felszaladjon egy α hajlásszögű lejtőre. Amikor a szerelvény fele a lejtőn volt, a lendülete elfogyott, és megállt.



A lejtő aljához érkezése után mennyi idővel állt meg a szerelvény?