

Komplex fizikai és műszaki alkotások felhasználása a középiskolai fizika oktatásában

Doktori értekezés

Komáromi Annamária

Témavezető: Dr. Jánosi Imre DSc

**ELTE TTK Fizika Doktori Iskola
Vezető: Dr. Tél Tamás egyetemi tanár**

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



**Eötvös Loránd Tudományegyetem
Természettudományi Kar
2018.**

Tartalom

Bevezetés.....	4
1. Ismeretanyag elmélyítése űrvonatkozású komplex műszaki alkotások megismerése révén.....	7
1.1 Mechanika.....	7
1.1.1 Pálya és vonatkoztatási pont.....	8
1.1.2 Műholdak pályája különböző vonatkoztatási rendszerekben.....	8
1.1.3 Körmozgás dinamikai tárgyalása.....	9
1.1.4 Űrgravimetria.....	10
1.1.5 Kepler törvények.....	13
1.1.6 Impulzus megmaradás.....	13
1.1.7 Statika.....	14
1.1.8 Belső erők, külső erők, konzervatív erők, nem konzervatív erők.....	14
1.1.9 Sűrűség.....	15
1.2 Termodinamika.....	16
1.2.1 Hőmérséklet.....	16
1.2.2 Hőterjedés.....	18
1.2.3 Hőszabályozás, űrűrhák űrsétákra és holdsétákra.....	18
1.2.4 Hőtágulás és a hópajzs.....	19
1.2.5 Gáztörvények.....	20
1.2.6 Halmazállapot-változás, éghajlatváltozás.....	21
1.2.7 A termodinamika első főtétele és az űrszemét.....	23
1.3 Elektromosság.....	25
1.3.1 Elektrosztatika.....	25
1.3.2 Kondenzátor.....	26
1.3.3 Vezetők, szigetelők.....	27
1.3.4 A fogyasztók soros és párhuzamos kapcsolásának gyakorlati alkalmazásai.....	27
1.3.5 Félvezetők.....	28
1.3.6 Akkumulátorok.....	31
1.3.7 Termoelektromos-effektus (Seebeck-effektus 1822).....	31
1.4 Mágnesesség, elektromágnesesség és optika.....	32
1.4.1 Mágnesesség.....	32
1.4.2 Optika.....	34
1.4.3 Elektromágneses hullámok.....	36
1.5 Magfizika.....	39
1.5.1 Általános relativitáselmélet.....	41

2. Hivatkozások fizikaórán az első magyar műholdra.....	42
2.1 Mechanika.....	43
2.1.1 Kepler törvények.....	43
2.1.2 Sűrűség, rezgések.....	46
2.2 Elektromosság – mágnesség.....	47
2.2.1 Elektrosztatika.....	47
2.2.2 Energia.....	49
2.2.3 Félvezetők.....	49
2.3.4 Mágnesség.....	51
2.2.5 Elektromágneses hullámok.....	52
3. Űridőjárásról a középiskolában.....	54
3.1 Napvihar, űrvihar.....	56
3.2 Hogyan történik az űridőjárás figyelése?.....	57
3.3 Egy kevésbé ismert hatása a kedvezőtlen űridőjárásnak.....	58
3.4 A kedvezőtlen űridőjárás biológiai hatásai.....	60
4. Motiválás komplex fizikai és műszaki alkotások megismerése révén.....	61
4.1 Fizika mindenkinek verseny.....	61
4.2 Kerületi Fizika Verseny.....	65
4.3 Út a tudományhoz pályázat.....	66
4.4 Magyar Asztronautikai Társaság Diákpályázata.....	69
5. Arduino alkalmazások, robotika.....	70
5.1 Akusztikus lebegtető.....	70
5.2 Autonóm jármű tervezése és kivitelezése.....	73
5.3 Arduino délelőtt az iskolában.....	74
5.4 Meteorológiai állomás az iskolában.....	78
6. „Flipped classroom”.....	80
6.1 Hősugárzás - Az első amerikai űrállomás, a Skylab balesete.....	80
6.2 Fononok tárgyalása a középiskolában.....	83
Tudományos eredmények összefoglalása.....	86
Summary.....	87
Irodalomjegyzék.....	88
Ábrajegyzék.....	91

Bevezetés

Dolgozatom megírására alapvetően két fő gondolat inspirált. Egyik, hogy úgy érzem, közelebb kerülhetne a fizika a diákokhoz, ha tanulmányaik során többször találkoznának az elméleti tudás gyakorlatba történő átültetésével. Konkrétabban fogalmazva a tényleges műszaki megoldásokról nem igen hallanak a középiskolai tanulmányaik során, különösen nem olyan modern, izgalmas dolgokról, mint az űrvonatkozású műszaki alkotások. Ezt a hiányt próbálom a dolgozatban szereplő példákkal pótolni. Állítom, hogy időnként egy-egy műszaki megoldás megismertetése elmélyíti az elméleti tudást. A másik gondolat, hogy véleményem szerint a huszonegyedik században nem tartható, hogy a fizika tanulmányok során - jóformán - csak a GPS kapcsán beszéljünk például a műholdakról. A műholdak az élet számos területén egyre nagyobb szerepet töltenek be. Az emberiség jövője szempontjából is elengedhetetlen az általuk akár a Földről, akár a Világűrben szerzett információk feldolgozása, kiértékelése. Tekintettel arra, hogy a különböző médiumokban is nagyon gyakran hallani a mesterséges holdakról, így talán – a fizikaórákon a rájuk való többszöri hivatkozással – a fizika, mint tantárgy is közelebb kerül a diákokhoz, még azokhoz is, akik nem szándékoznak természettudományos területen továbbtanulni. A mesterséges holdakról nemcsak általában nem esik elég szó. Véleményem szerint Magyarországon minden középiskolás fizika tankönyvben szerepelnie kellene, hogy 2012-ben bocsátották pályára az első magyar készítésű műholdat, a Masat-1-et, melyet jórészt egyetemisták készítettek el a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen. Itt kihangsúlyozom, hogy a Masat-1-en a napelem kivételével minden eszköz hazai fejlesztésű, tehát méltán lehetünk rá büszkék. Didaktikailag is nagyon indokolt hazánk első mesterséges holdjára minél gyakrabban hivatkozni, hiszen tervezői alig voltak idősebbek a középiskolás korosztálynál, ilyen módon példát adunk a diákoknak, hogy milyen világszínvonalú projekteket vihetnek végbe akár néhány éven belül.

A dolgozat első részében a két gondolat ötvöződik: a műszaki megoldások beépítése a fizika tanításába és a mesterséges holdak, egyéb űreszközök jelentőségüknek megfelelő szintű tárgyalása a középiskolában. A kutatómunkám során fellelt, fizikaórához illő vonatkozásokat gyűjtöttem itt össze annak reményében, hogy meggyőzzem tanár kollégáimat, érdemes ebben az irányban is gondolkodni és a módszert követni. Értekezésem írása közben végig az az elv volt az irányadó, hogy valamennyi kollégám számára is használható ötletek és alkalmazások szerepeljenek benne, azok számára is, akik nem az

úgynevezett elit középiskolákban tanítanak. Az előbb említett elv vezérelt abban is, hogy időnként megmagyarázok bizonyos fogalmakat és nemcsak használom őket. Teszem ezt azzal a céllal, hogy valóban közvetlenül használható anyagot adjak azon fizikatanár társaim kezébe, akik esetleg ezeken a területen nem olyan járatosak.

Az iskolában, ahol tanítok, már több ízben megtapasztaltam, hogy a jelenleg zajló kutatások és a legfrissebb eredmények iránt nagyon fogékonyak a tanulók. Ezért feltétlenül motiváló hatású, ha foglalkozunk a legújabb tudományos eredményekkel, és nem csak megtanítjuk a tananyagot.

Több helyen - a javasolt fizikai és műszaki alkotások aktuális paramétereinek tárgyalása után - tudománytörténeti érdekességekről is írok. Ezeket mindenki belátása szerint megemlítheti a diákoknak. Tudjuk, hogy az osztályok nem egyformák. Ahol jellemzően humán alapérdeklődésűek, ott nyilván nagyobb hangsúlyt érdemes fektetni a tudománytörténetre. Abban az osztályban, ahol a reál érdeklődés dominál, ott a műszaki alkotások műszaki paramétereinek részleteibe érdemesebb belemélyedni.

Az értekezésben nagyon sokszor támaszkodom internetes hivatkozásokra, illetve a műszaki alkotások javasolt beillesztése a tananyagba is zömében internetes honlapok segítségével történik. Fontos azonban, hogy eligazítsuk diákjainkat az interneten található – tudományos területen is tapasztalható – információ áradatban. Ismertessük velük, hogy milyen jellegű honlapok a megbízhatóak a szakmai ismeretszerzés céljából, ugyanis könnyen eltévedhetnek és így elfogadhatnak tényként tudománytalan, megalapozatlan állításokat. Fizika tanulmányaik során így kifejleszthetjük bennük az interneten olvasható, a fizikával, illetve más tudományokkal kapcsolatos írások megfelelően kritikus szemmel történő olvasását is. A műszaki alkotások folyamatos említése az internetes honlapokon keresztül ezt a célt is jól szolgálja.

Az értekezésemben bemutatom, hogy valóban eredményes a címben említett komplex fizikai és műszaki alkotásokról beszélnünk, hiszen szerencsére léteznek olyan hazai és nemzetközi versenyek, fórumok és egyéb rendezvények, amelyeken ez irányú ismereteiket jól kamatoztathatják a tanulók.

Megmutatom továbbá, hogyan lehet beépíteni a fizika tanításába a huszonegyedik század egyik új fogalmát, az űridőjárást. Ez a terület a diákok számára is új kutatási területeket nyit meg. Diák kutatási téma lehet például a kedvezőtlen űridőjárás kevésbé ismert hatásainak a

vizsgálata. A témakörnek a mélyebb tanítása révén is kialakíthatjuk a diákokban az intenzívebb “úrtudatosságot”, melynek folytán fel lehet kelteni bennük az úrkutatás és a modern fizika iránti érdeklődést.

A fizika oktatásában új kísérletezési lehetőségek is adódnak, például az egyre szélesebb körben ismertté váló mikrokontrollerek alkalmazása révén. Az Arduino mikrokontroller használata kapcsán megmutatom, hogy anélkül is elérhetnek a diákjaink nagyon szép eredményeket ilyen modern eszközök segítségével, hogy a tanár részéről különösebb hozzáértést követelnék meg. Az informatikai, illetve infokommunikációs eszközök világa ugyanis többnyire olyan terület, ahol a diák sokszor többet tud a tanáránál. De itt is nagyon fontos, hogy az általános alkalmazási lehetőségeket megismerve a diákjaink tudását helyes mederbe tereljük, hogy azután a megfelelő irányban történjen a további ismeretszerzésük, fejlődésük.

A robotika szintén új arcot adhat tanításunknak, hiszen segítségével a diákok modellezhetnek olyan új területeket, mint például egy üstökösön történő úrbányászatot, miközben a fizikai körülményeket is elemzik és figyelembe veszik.

A fizika tananyagba bekerült a környezetfizika is. Ez kiváló lehetőséget ad számunkra, hogy diákjainkkal kipróbáljuk a „flipped classroom” módszert, azaz átvehetik irányításunk mellett a tanár szerepét, és önálló kutatómunka elvégzése után egymást taníthatják.

Tanításom során tapasztalom, hogy a diákok nem nyelvtagozatos iskolában is egyre kisebb korban találkoznak az iskolán kívül is az angol nyelvvel. Ennek köszönhetően gond nélkül vihetünk be a fizikaóraira angol nyelvű anyagot, nem idegenkednek tőle a tanulók. Nagyon hasznos, ha hozzászoktatjuk őket minél korábban az angol nyelvhez, hiszen a műszaki, illetve a természettudományok hivatalos nyelve az angol. Ezért, ennek szellemében, értekezésemben az ábrákon az angol nyelvű feliratokat eredeti formájukban hagyom, ahogy teszem ezt nap, mint nap az iskolában is.

1. Ismeretanyag elmélyítése űrvonatkozású komplex műszaki alkotások megismerése révén

Disszertációm első fejezetében igazolom, hogy az űrvonatkozású komplex fizikai és műszaki alkotásokat a középiskolai fizika tananyag összes területén széles körben lehet alkalmazni. Az összeállításomat az a szempont vezérelte, hogy az egyes témakörök iskolai gyakorlatának megfelelő sorrendjében haladva ténylegesen minden témakörnél mutassak példát az említett műszaki alkalmazások bemutatásának hasznosságára. Időnként előfordul, hogy egy korábbi témánál már utalok egy későbbi anyagrészre, például a gravitáció témakörében a radioaktivitást is megemlítem, de mindig figyelek arra, hogy ezek az utalások ésszerű határon belül maradjanak. Feladatokat is írok néhány témakörnél, de úgy érzem, hogy erőltetett lenne, ha ezt minden témánál megtenném, illetve dolgozatomnak sem ez a célja. Ebben a fejezetben szó lesz egy viszonylag új tudományterületről, az űrgravimetriáról is a mechanikával foglalkozó részben. Ismertetem, hogy tapasztalatom alapján egy átlagos osztályban mit lehet elmondani erről a területről.

1.1 Mechanika

Ebben a fejezetben a pálya, vonatkoztatási pont, körmozgás, szabadesés, gravitáció, tömegvonzás, Kepler törvények, impulzus megmaradás és statika fogalmakat együttesen tárgyalom, hiszen a mesterséges holdak vonatkozásában egymással összefüggnek. A jelenlegi fizika könyvekben, feladatgyűjteményekben ezek azok a területek, amelyek tanításánál viszonylag nagyszámú feladatban szerepelnek a műholdak. Ez teljesen érthető, hiszen például a körmozgás dinamikai tárgyalásakor adja magát a mesterséges holdak említése. Éppen ezért én most nem ezeket a feladatokat szeretném ismételni, különböző helyekről összeválogatva, hanem csak néhány olyan példát írok le, amelyek kicsit mások, mint a többi, vagy valamilyen okból feltétlenül megemlítenedőnek tartom őket.

1.1.1 Pálya és vonatkoztatási pont

A fizika tanítását a középiskolában általában a mozgások tárgyalásával szokás kezdeni. Itt mindjárt az elején fontos tisztáznunk a pálya, illetve vonatkoztatási pont fogalmát. Mindkét fogalom elmélyítéséhez hasznos, ha rögtön kitekintünk a világűrbe, és megvizsgáljuk a mesterséges holdak pályáját különböző vonatkoztatási rendszerekben. Ezen az órán javaslok óra elején megmutatni – például a NASA (az Amerikai Egyesült Államok Nemzeti Repülési és Űrhajózási Hivatala) egyik internetes oldalán (<http://www.n2yo.com>) keresztül - egy kiválasztott műhold helyzetét, majd óra végén megnézni, hogy akkor hol található ez a mesterséges égitest. Ez a kis kitérő mindenképpen megéri, hiszen így a diákok megtapasztalják, hogyan tudják akár ők is nyomon követni a mesterséges holdak pályáját, illetve egyéb paramétereit. Itt beszéljünk a műholdpályák alaptípusairól is a pálya alakja szerint: kör alakú, vagy ellipszis alakú (ilyenkor az ellipszis egyik gyújtópontjában a Föld van). További csoportosítási szempont is lehetséges, például a műhold keringésének igazítása (szinkronizálása) és irányítása alapján. Ebben a csoportosításban beszélhetünk a Föld forgásához igazított, úgynevezett geoszinkron pályáról. Ekkor a mesterséges égitest keringési ideje megegyezik a Föld keringési idejével és amennyiben keringési iránya nyugatkeleti irányú, mindennap ugyanabban az időpontban ugyanott látszik, miközben égi helyzete a nap folyamán változik. A geostacionárius pálya, olyan geoszinkron pálya, melynek forgási iránya megegyezik a Föld forgásirányával továbbá pályájuk síkja az egyenlítő síkjába esik. Érdeemes megemlíteni továbbá a Nap járásához igazított úgynevezett napszinkron pályát is. Ez alatt olyan pályát értünk, mely síkjának a Nappal bezárt szöge állandó, s így egy adott földrajzi hely fölött a mesterséges hold minden visszatérésekor adott helyi időben halad át. Emelt szinten javaslok megbeszélni az inklináció, illetve excentricitás fogalmakat is, hiszen ezekkel a fogalmakkal gyakran lehet találkozni műholdakkal foglalkozó írásokban.

1.1.2 Műholdak pályája különböző vonatkoztatási rendszerekben

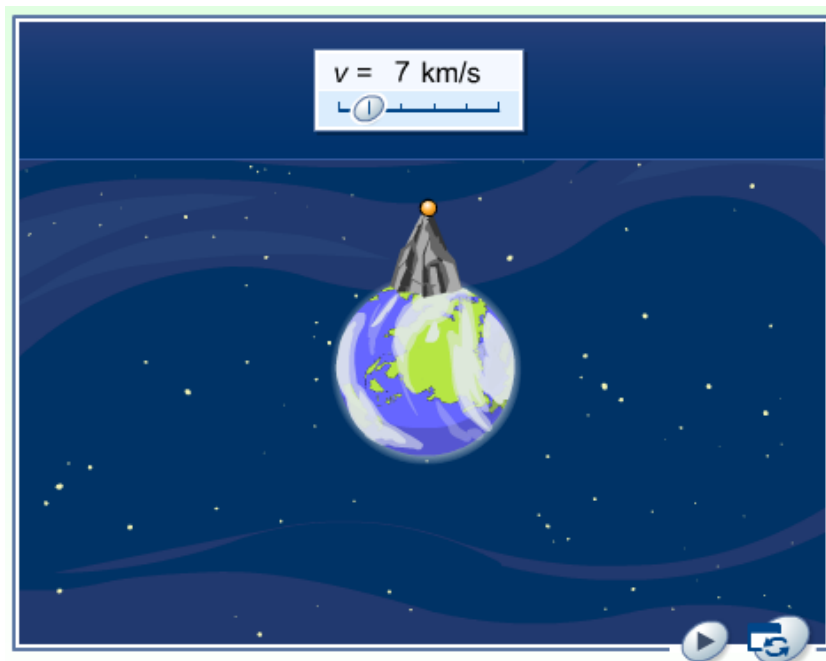
A geostacionárius mesterséges holdak esetében érdekes felvetni a kérdést, milyen a pályája, ha a Földön álló megfigyelőhöz viszonyítunk, illetve ha a Naphoz viszonyítunk? A geostacionárius műholdak a földi megfigyelő számára nem mozognak. A Nap, mint vonatkoztatási ponthoz képest pályájuk egy kihúzott rugóra emlékeztető csavarvonal, mely körülöleli a Föld pályáját. Köztudott, hogy a geostacionárius mesterséges holdak körpályán mozognak. Akkor felvetődik a kérdés: milyen vonatkoztatási ponthoz képest igaz ez a körpálya? A Föld középpontjába kell helyoznünk a vonatkoztatási pontot, hogy valóban

körpályáról beszélhessünk. A geostacionárius műholdak említésekor érdekességként el lehet mondani, hogy 1945-ben Arthur C. Clarke sci-fi író vetette fel az ötletét [1], és 1966-ban a NASA pályára állította az első ilyen mesterséges égitestet.

1.1.3 Körmozgás dinamikai tárgyalása

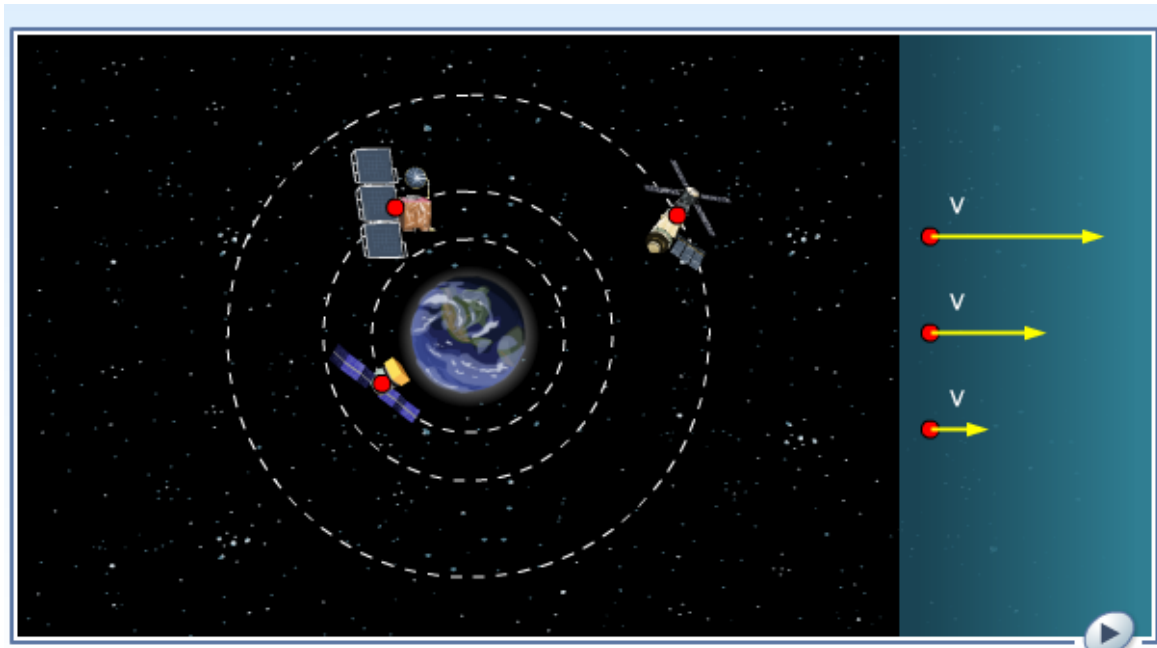
A körpályán keringő mesterséges égitestek különösen alkalmasak a körmozgás dinamikájának megértéséhez. A következőkben olyan modellel dolgozom, melyben eltekintünk az úgynevezett ephemeris hibáktól, melyek a műholdak előzetesen számított pályadatainak a tényleges pályaadatoktól való eltérései.

Ennél a témánál feltétlenül javaslom a REALIKA digitális foglalkozásgyűjtemény és oktatásszervezési szoftver használatát (<http://realika.educatio.hu/>) Itt nem regisztrált felhasználóként is hozzáférhetünk a tanári és tanuló leckékhez egyaránt. Szeretném kihangsúlyozni, hogy ez – az eredeti Young Digital Planet program egy részének magyarra fordított verziója - egy teljes leckét szentel a műholdaknak. A digitális feladatgyűjtemény segítségével különböző típusú, rövidebb lélegzetvételű feladatokat is meg tudunk oldatni a diákokkal a programban levő szimulációk segítségével. Értekezésemben csak kettőt emelek ki a REALIKA műholdakról szóló tanári oldalaiából. Egyik oldalon, a szimulációban az úgynevezett Newton hegyről dobunk el egy labdát (1. ábra).



1. ábra Labda a Newton hegyen (forrás: realika.educatio.hu Fizika tanári verziók 28. műholdak 2.)

A sebességet növelve lehet tapasztalni, hogy az első kozmikus sebességet elérve a labda Föld körüli pályára áll. Egy másik oldalon különböző sugarú pályán keringő geoszinkron mesterséges holdakat lehet látni és három különböző nagyságú sebességvektorokat kell elhelyezni a mesterséges égitestekhez a megfelelő irányba helyezve (2. ábra). Emellett még számos hasznos interaktív feladatot is tartalmaz a program.



2. ábra Műholdpályák sematikus ábrája (forrás: realika.edicatio.hu Fizika tanári verziók 28. műholdak 7.b)

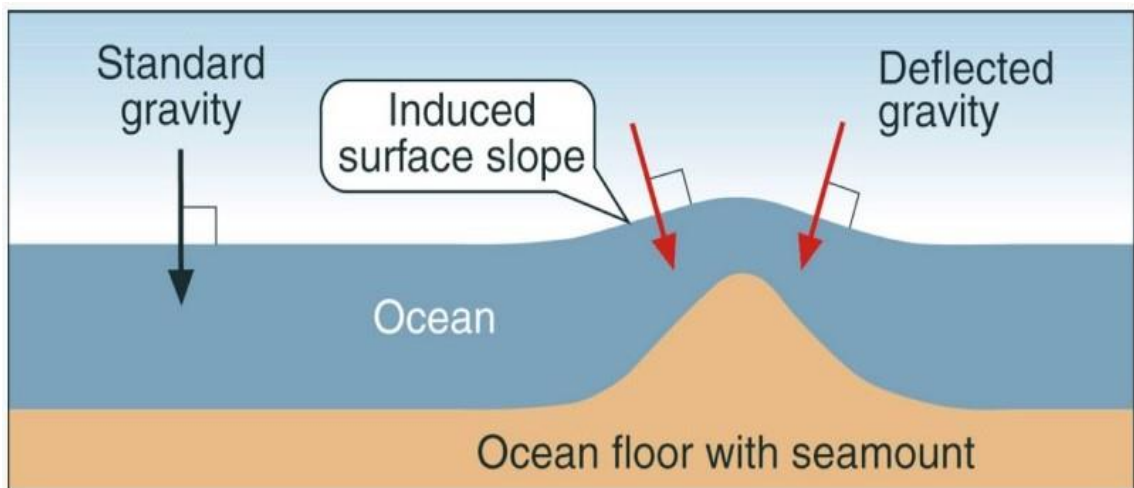
A feladatmegoldásokra rátérve a mesterséges égitestek széles választékot kínálnak változatos számításos példák készítésére. Ezeknek a feladatoknak alkalmas összeállítása elmélyíti a diákokban a körmozgás dinamikájának lényegét, és a műholdak, mint műszaki alkotások felhasználásával közelebb kerülnek az elméletben tanultak a gyakorlati alkalmazásokhoz és a mindennapi élethez. Alapvetően fontos, hogy tisztázzuk a diákokkal, hogy a geostacionárius mesterséges holdak esetében a centripetális erő a műholdra ható gravitációs erő. Fel lehet vetni a kérdést – például internetes honlapról vett pályamagasság kapcsán -, hogy vajon miért ez a magassága? Ennek a felvezetésnek előnye, hogy manapság, amikor a diákok az információik döntő többségét az interneten szerzik, jobban elfogadják a tanórán tanultakat, ha mi tanárok is felhasználjuk az internetet tanításunk során.

1.1.4 Űrgravimetria

A tömegvonzás, gravitációs erő tárgyalásakor érdemes megemlíteni, hogy létezik egy viszonylag új eljárás, az űrgravimetria, amely műholdak segítségével vizsgálja a Föld

gravitációs erőterét. A Föld gravitációs mezejének szerkezetét nagyban befolyásolja tömegeloszlása és forgása. A tömegeloszlás változása megváltoztatja a nehézségi erőter szerkezetét. A tömegátrendeződések közül néhány típust jól ismerünk (például a légkör tömegátrendeződései, illetve a hidroszférában a folyókon levonuló víz mennyisége), másokat kevésbé (például a hidroszférában a tengeráramlatok), és vannak olyan is, amiket még csak most kezdünk megismerni (például a hidroszférában a hótakaróval kapcsolatos jelenségek jó része). Az űrgravimetria megszületése nagy változást hozott a Föld gravitációs erőterének vizsgálatában, hiszen a földi mérőállomások nagyon egyenetlenül helyezkednek el. Gondolok itt például az Antarktiszra, vagy az óceánokra, ahol nem lehetett megoldani a mérőállomások megfelelő sűrűségű elhelyezését.

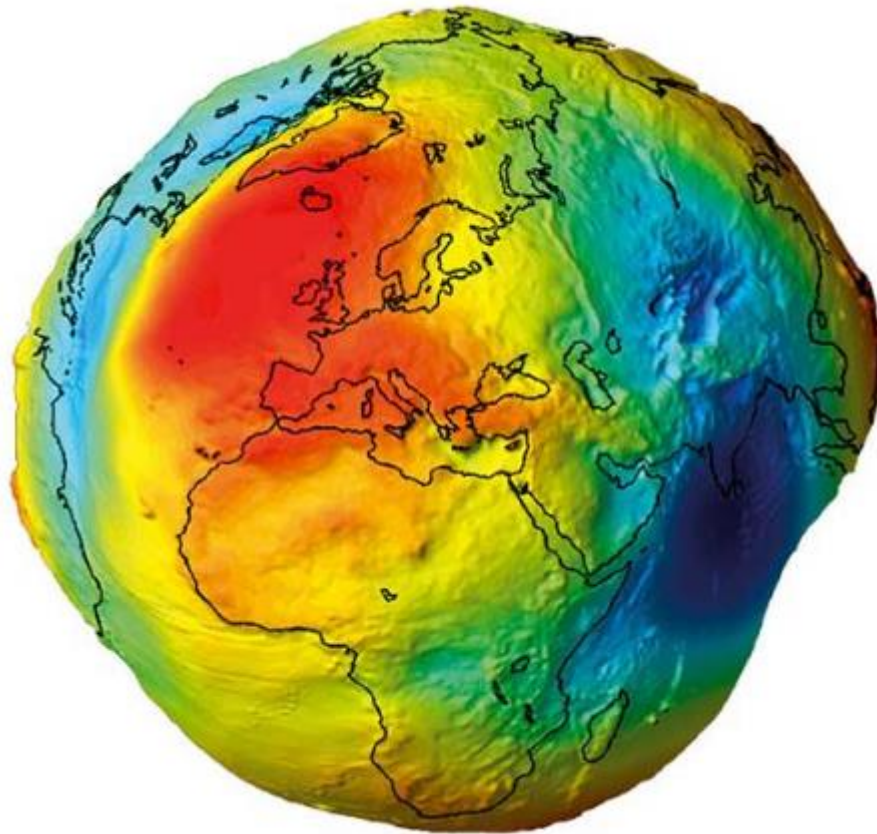
A Föld felszínének alakját a távolságmérő mesterséges holdak segítségével ismerhetjük meg jobban. Az elsőt 1978-ban állította pályára a NASA. Meglepő eredmények születtek a műholdas magasságmérések kapcsán. Az óceánok felszíne korántsem síkfelület. Találhatóak benne dombok és völgyek (3. ábra). Ezek a domborzati viszonyok tulajdonképpen az óceánfenék egyenetlenségeinek a következményei. A több tíz méteres különbséget - a radar altimetria segítségével - néhány cm-es pontossággal meg lehet mérni.



3. ábra Az óceánfenék vizsgálatok sematikus ábrája (forrás: <http://www.star.nesdis.noaa.gov/sod/lisa/AltBathy/>)

Ezek a mérések nem csupán az óceánok felszínének vizsgálatát szolgálják, lehet belőle hasznos információkat nyerni a Föld összetételére vonatkozóan is. A Föld globális sűrűség viszonyaira, a Föld tömegeloszlására mindmáig nincs jó becslés. Ezért nagyon fontosak az űrgravimetriai mérések. A gravimetriai műholdak 2000-ben a német CHAMP pályára állításával kezdték meg működésüket. A mérési eljárás a mesterséges holdak szabadesése és

az azt kiváltó gravitációs erő kapcsolatán alapul. A GOCE műhold az ESA (Európai Űrügynökség) „Living planet” programjának részeként egy nagy pontosságú nehézségi erőteret modell megalkotásához nyújtott adatokat. Ez a modell a későbbiekben referencia modellként szolgált az éghajlatváltozások miatt bekövetkezendő nehézségi erőterbeli változások kiértékeléséhez. Egyes éghajlatot befolyásoló tényezők ugyanis tömegátrendeződéssel járnak, mely hatással van a Föld gravitációs erőterére. A 4. ábrán a Föld alakja (geoid) látható a műholdas mérések alapján egy internetes forrás alapján. Itt fel kell hívnunk a diákok figyelmét, hogy ez az ábra nagymértékben torzított, a valóságban szó sincs ekkora eltérésről. Didaktikai szempontból kiválóan alkalmas az ábra arra, hogy az interneten található képeket kellő körültekintéssel kell elfogadni.



4. ábra A Föld alakja (geoid) műholdas mérések alapján (forrás: <https://spaceyug.com/oblate-spheroid-earth-round/>)

Úgy vélem, hogy napjainkban, amikor annyi szó esik a klímaváltozásról, nem tehetjük meg, hogy fizikaórán ne beszéljünk erről a jelenségről. Hasonlóan az űrkutatáshoz, – ahogy azt a bevezetőmben említettem – erről sem konkrétan egy-két fizikaórán kell beszélni, hanem az egész fizika tanításunk során, amikor szóba jöhet, érdemes időt szánni erre a napjainkban olyan fontossá vált jelenségre. Érdekes megjegyezni, hogy a GOCE volt az eddigi

legalacsonyabban keringő mesterséges hold, a pálya minimális magassága 254,9 km. Ilyen magasságban viszont már nem hanyagolható el a légkör felső rétegének fékező hatása. A pontos mérésekhez viszont elengedhetetlenül fontos, hogy a mesterséges hold a tökéletes szabadesés állapotában legyen működésének teljes időtartama alatt. Ezt a problémát úgy igyekeztek kiküszöbölni, hogy a mesterséges holdat áramvonalasra tervezték (alakja miatt szokták a Világűr Ferrarijaként is emlegetni), valamint ionhajtómű-rendszert alkalmaznak a nem kívánt fékező hatás ellensúlyozására. (Az ionhajtóműről a későbbiekben még részletesen lesz szó.)

1.1.5 Kepler törvények

A törvény jellegéből adódóan a fizikának ez az egyik területe, ahol már az eddigiekben is szerepeltek űrkutatáshoz köthető feladatok. A Kepler törvényekre vonatkozó feladatok megoldásakor célszerű bemutatni a különböző űreszközök által készített felvételeket például a Jupiter nagyobb holdjairól. Gondolok itt, a Galileo, illetve a Juno űrszonda, vagy a Hubble űrteleszkóp által készített felvételekre. Ezen a módon is közelebb tudjuk hozni az elmélethez a gyakorlatot, mely a fizika oktatásában elengedhetetlen. Itt lehetőség van kisebb, nagyobb lélegzetű kutatómunka kiadására is. Több hasonló jellegű feladat után fokozatosan természetessé válik a diákoknak, hogy a forrásokat minden esetben meg kell jelölni, továbbá az is, hogy mérlegelni kell, hogy melyek azok a források, melyeknek tartalmát fenntartás nélkül elfogadhatják, és melyeknél kell ellenőrizni a megismert információkat.

1.1.6 Impulzus megmaradás

Az impulzus megmaradás törvényének tanítása során megbeszéljük a rakétaelvet, esetleg oldunk is meg olyan feladatot, melyben szerepel rakéta. Célszerű ismét konkrét példákat is keresnünk, illetve a diákokkal kerestetnünk. Olyanokat, melyek a rakétaelv gyakorlati életben történő alkalmazását szemléltetik. Az interneten található például videofelvétel, amely az ESA legújabb hozdozórakétájának, a VEGA-nak a 2013. májusi startját mutatja (https://www.esa.int/spaceinvideos/Videos/2013/05/Vega_launch_sequence_replay).

A filmek mellett jól használhatók a rakétafokozatok leválását bemutató animációk is. A VEGA-ról érdemes elmondani, hogy nevét az északi féltekén látható második legfényesebb csillagról kapta. Három szilárd és egy folyékony üzemanyagú hajtómű található benne. Ez utóbbi azért nagyon különleges, mert segítségével lehet a műholdakat pályára állítani, illetve pályamódosításokat végrehajtani. Ötször lehet ki-be kapcsolni, ezáltal több mesterséges

holdat lehet vele különböző pályákra állítani. Az ESA-nak ez az első olyan hordozórakétája, mely kifejezetten a kisebb, 2500 kilogramm alatti terhek űrbe juttatására fejlesztettek ki [2].

Itt jegyzem meg, hogy a Newton törvények tanításakor célszerű megmutatni a diákoknak az ESA által készített oktató videót. Ez a YouTube-on több nyelven, köztük magyarul is megtalálható (<https://www.youtube.com/watch?v=M6XAN9HiIoE>). Ebben párhuzamosan kilencedik osztályos diákok földi körülmények között és asztronauták a nemzetközi űrállomáson mutatnak be az egyes Newton törvényeket illusztráló kísérleteket, szemléltetve ezáltal a földi gravitációs környezet és az űrbéli gravitációs környezet között megnyilvánuló hasonlóságokat, illetve különbségeket.

1.1.7 Statika

Első hallásra talán meglepő, de a különböző egyensúlyi helyzetek tárgyalásakor is van lehetőség űrbéli vonatkozások említésére, ha nem is órán, de szakkörön, vagy egyéb alkalmakkor mindenképpen. Az ESA honlapján bonyolult differenciálegyenletek nélkül, animációk segítségével elmagyarázzák a Lagrange pontok jelentését. Itt konkrétan párhuzamot is vonnak a mechanikában megismert különböző egyensúlyi helyzetek és a Lagrange pontokban lévő űreszközök helyzete között [3]. Érdekességképpen megjegyezhetjük, hogy Szebehely Győző (1921-1997) magyar származású amerikai csillagász, gépészmérnök (az Apolló űrhajók egyik pályatervezője) is foglalkozott a Lagrange pontokkal. Megemlíthetjük továbbá, hogy felvetődött egy olyan ötlet is az űrkutatók részéről, hogy egy későbbi radioaktív hulladék gyűjtőhelynek lehetne Lagrange pontot választani. Didaktikai szempontból itt kiváló lehetőség van arra, hogy azok a diákok, akik a Lagrange pontokkal részletesebben szeretnének foglalkozni, ne kizárólag magyar nyelvű honlapokon végezzenek gyűjtőmunkát, hanem angol nyelven az ESA, illetve a NASA űrkutatói szervezetek weboldalain is tanuljanak meg eligazodni.

1.1.8 Belső erők, külső erők, konzervatív erők, nem konzervatív erők

A mechanika témakörében maradva, a dinamika tárgyalásakor szót ejtünk az úgynevezett belső- és külső erőkről. Itt is lehetőségünk van a műholdakat példaként felhozni. Például a Földet és egy a Föld körül keringő mesterséges holdat tekinthetünk zárt rendszernek, amelyben a mesterséges égitestre ható gravitációs erő belső erő. A Nap gravitációs ereje, amely a Föld-mesterséges égitest rendszerre hat, ebben az esetben viszont már külső erő.

Szintén a mechanikában a konzervatív és nem konzervatív erők témakörben megemlíthetjük, hogy a már említett GOCE műhold esetében nem konzervatív erők az úgynevezett atmoszférikus erők, mintegy „súrlódási erőnek” felfogva, a Nap sugárnyomásából származó erők, illetve a Földről érkező sugárzásból származó erők.

1.1.9 Sűrűség

A sűrűség témakörében egy teljesen más jellegű hivatkozásra ad lehetőséget egy néhány évvel ezelőtti (2010. október 4. Kolontár) katasztrófa előtt készült műholdfelvétel (lásd 5. ábra).



5. ábra A kolontári zagyvatároló képe (forrás: http://www.eng.unideb.hu/userdir/dmk/docs/20121/12_1_04.pdf)

A timföldgyártás melléktermékeként keletkező vörös iszap elhelyezésére szolgáló egyik tározó északi oldalán jól látható sűrűségcsökkenéseket figyelhetünk meg a műholdfelvételen, ahol több helyen szemmel is láthatók világosabb színnel jelentkező félkörív alakú területek. Ezek közül a legnagyobb az északnyugati sarokban van, ahol végül a gát átszakadt. A sűrűség-különbségeket mutató vonalak hidrodinamikai értelemben potenciálvonalak, térben értelmezve potenciálfelületek. Ez tipikusan jó példája annak, hogy

érzékelte a diákokkal, hogy a műholdfelvételek milyen sokoldalúan lehetnének felhasználhatók nemcsak a tudósok, de az egész társadalom számára.

1.2 Termodinamika

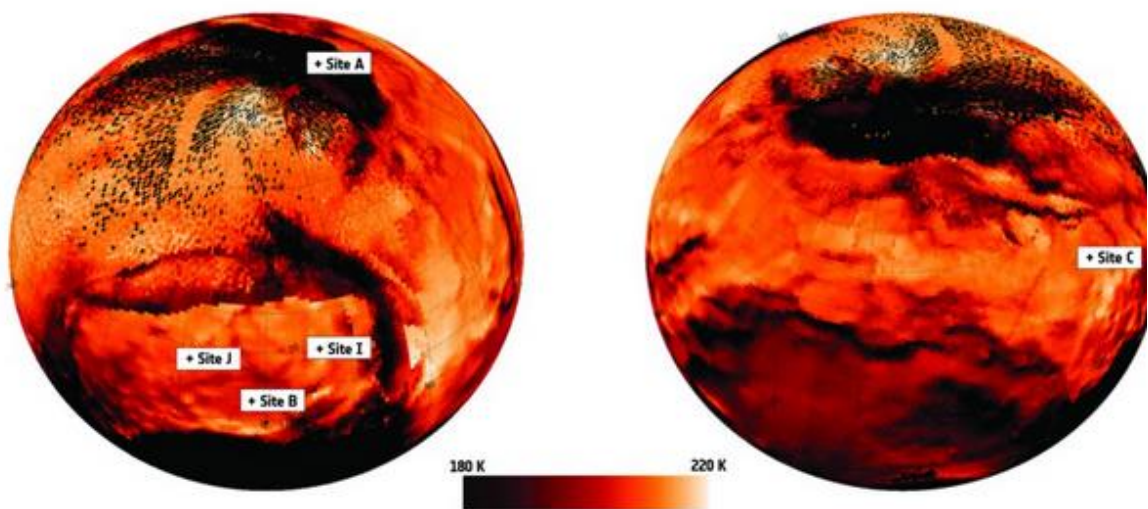
A termodinamika oktatása különösen jó lehetőséget ad arra, hogy a fogalmak és a jelenségek jobb megértése érdekében a Föld felszínét elhagyva a légkörben és az űrben szerzett tapasztalatokkal is gazdagítsuk a diákok ismereteit (lásd, [4], [5], [6] és [7]).

1.2.1 Hőmérséklet

Feltehetjük diákjainknak a kérdést, vajon mekkora hőmérsékletű térben keringenek a mesterséges holdak, illetve mekkora lehet a mesterséges hold külső felületének, valamint belső terének, berendezéseinek, műszereinek hőmérséklete? Bár a világűrben a semleges és töltött részecskék hőmozgása igen magas kinetikus hőmérsékletet eredményez, ez azonban az igen kis részecskesűrűség miatt nem melegíti fel a műholdat, viszont a Nap elektromágneses sugárzása (napfény, napsugárzás) felmelegíti a mesterséges égitestet. Amikor a Nap megvilágítja a műholdat, az akár több száz fokra is felmelegedhet, de amikor árnyékos oldalra kerül a saját fűtése (belső áramkörök hőleadása) nélkül mínusz száz fokra is lehűlhetne. Érdekes kérdésként fel lehet vetni, vajon milyen módon védik a műholdakat a nagy hőmérsékletváltozásokkal szemben. Itt ismét kiváló alkalom nyílik az önálló kutatómunkára. Ekkor megbeszélhetjük velük, hogy nem mindegy, hogy a műhold keringése során – bár abban a magasságban a hőmérséklet közel állandó – melyik oldala néz a Nap felé: az árnyékos és napos oldal között igen nagy hőmérséklet eltérés is lehetne, éppen ezért szokták forgatni a műholdat. Ez többek között azért is elengedhetetlen, mert különben a műhold két oldala között kialakult nagy hőmérséklet különbség folytán mechanikai feszültségek lépnének föl, amely a műhold meghibásodásához vezetne. Napelemekkel szokás a műholdakat megvédeni a túlságos lehűléstől. Ugyanakkor jegyezzük meg, hogy ez a módszer az űrszondáknál már nem alkalmazható, hiszen ezek az űreszközök már elhagyják a Naprendszeret. Ilyenkor már önálló fűtésről kell gondoskodni. A Masat-1-ről érkező híradásokban szintén tudomást lehet szerezni arról, hogy létezik önálló fűtése ennek a pikoműholdnak is. 5 fok alatti hőmérséklet esetén a Masat-1 hőérzékelője elindítja a fűtést. A fűtésre olyankor volt szükség, amikor a Masat-1 a Föld árnyékában tartózkodott, és így az oldallapjait borító napelemek nem tudták hasznosítani a Nap energiáját.

Itt megemlíthetjük az űrtechnika fogalmát, melynek keretén belül történnek azok a kutatások és fejlesztések, melyek lehetővé teszik az űreszközök űrbéli működését. Ezek során esetlegesen új anyagokat, új műszaki megoldásokat fejlesztenek ki. Meg lehet említeni, hogy az űripar fejlődésének köszönhetően például a VesselSat-2 30 cm-es él hosszúságú kocka alakú mesterséges holdnál sikerült elérni, hogy a pálya mentén végighaladva a belső hőmérséklet ingadozása 1 foknál ne legyen több, és az évszakok változásából eredő hőfokváltozás se haladja meg a 6 fokot.

A hőmérséklet fogalma kapcsán beszélhetünk arról is, hogy a Föld felszíne felett keringő mesterséges holdak megfigyelései segíthetnek például egy esetleges vulkánkitörés előrejelzésében. Kitörés előtt ugyanis a kráter feletti levegő jelentősen felmelegszik a környezetéhez képest. Ezt a hőfoknövekedést képesek érzékelni a műholdak és így figyelmeztethetnének a közelgő vulkánkitörésre.

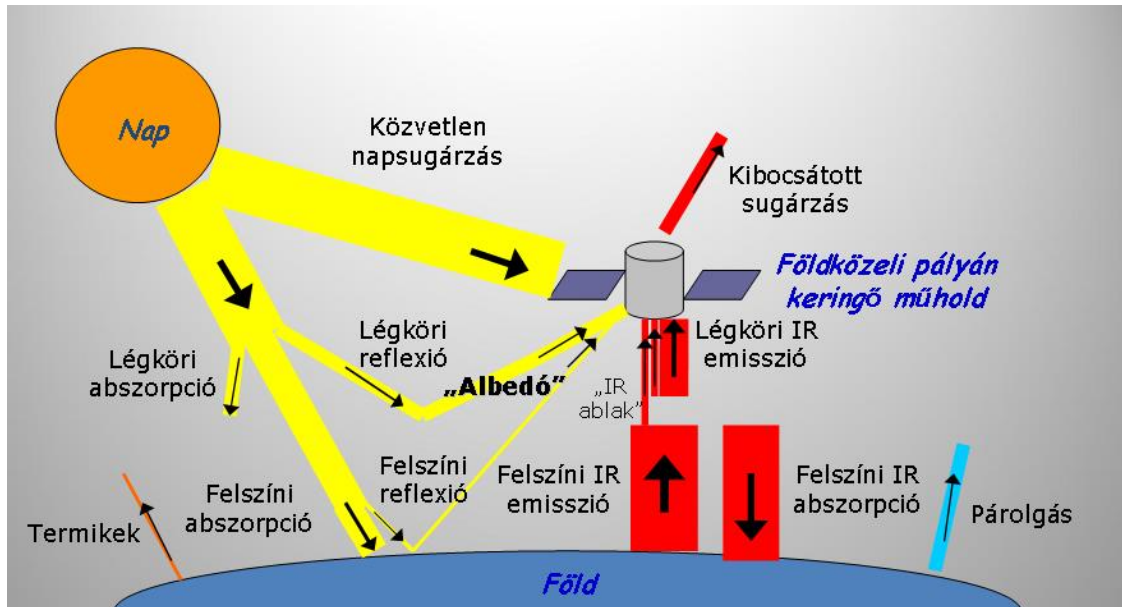


6. ábra A 67P üstökösről készült hőkép (forrás: <http://blogs.esa.int/rosetta/2014/09/08/virtis-maps-comet-hot-spots/>)

Ki lehet vetíteni - érdekességképpen - a Rosetta űrszonda által 2014 augusztusában készített hőtérképet a 67P üstököséről (lásd 6. ábra). Ez a hőtérkép segítette a Philae leszállásának helyét kijelölni, hogy a terület ne legyen se túl hideg, se túl meleg. Ugyanis az üstökös mag túl hideg területén nem várható jelentős gáz- és porkibocsátás – amit érdekes lenne megfigyelni, megmérni, illetve a túl meleg területen túl sok port bocsát ki az üstökös magja, és a túl sok por veszélyt jelenthet a leszállóegység műszereire, berendezéseire, napelemeire.

1.2.2 Hőterjedés

A hő terjedésének módjait (hőáramlás, hővezetés és hősugárzás) felsorolva, megbeszélhetjük, hogy ezek közül melyik nem lehetséges a világűrben. A hősugárzás illusztrálásához feltétlenül célszerű kivetíteni az alábbi 7. ábrát:



7. ábra Földközeli pályán keringő mesterséges holdat érő elektromágneses sugárzások (forrás: saját szerkesztés [8] alapján)

Az ábrán jól lehet elemezni a műholdat érő különböző sugárzásokat, s ezáltal segíteni a diákokat az egyes hőterjedési módok megértésében. Egyúttal lehetőség nyílik az albedó és a planetáris albedó fogalmának tisztázására is, mely ugyan nem tananyag, de hasznos megemlíteni. Az albedó a testek fényvisszaverő képessége, planetáris albedónak pedig egy bolygó felszínének, légkörének, felhőzetének fényvisszaverő képességét nevezzük. Az ábra továbbá felhívja a diákok figyelmét még egy nagyon lényeges jelenségre: minden test sugároz ki magából hőt. Itt elmondhatjuk, hogy ezt a tényt már Kirchhoff megállapította a 19. században.

1.2.3 Hőszabályozás, űrruhák űrsétákra és holdsétákra

Az űrhajósok életfeltételeinek biztosítását az űrhajón kívüli tevékenységük során az űrruha és annak létfenntartó rendszere biztosítja, nevezetesen az oxigénellátást, a földihez közeli nyomás fenntartását, a megfelelő hőmérsékletet, valamint védelmet az elektromágneses és kozmikus részecskesugárzás, valamint a mikrometeoritok ellen. Sőt, több órás űrhajón kívüli tartózkodás esetén az űrhajós ellátására ivóvíz és tartalék táplálék készletet is biztosít az űrruha. Például az Apollo holdexpedíciók során, a Hold felszínén, a holdkompon kívül

használt különleges űrruha létfenntartó rendszere biztosította a szélsőséges hőmérsékleti viszonyok közepette a hűtést és adott esetben a fűtést is. A légkör nélküli Hold felszínén a hőmérséklet igen tág határok között változik: a Nap által meg nem világított éjszakai vagy árnyékos helyeken – pl. egy nagy sziklatömb árnyékában $-150\text{ }^{\circ}\text{C}$, a napsütötte oldalon pedig $+130\text{ }^{\circ}\text{C}$ lehet, a Hold sarkvidékein mintegy $-250\text{ }^{\circ}\text{C}$ is tartósan előfordul. A Holdon viselt űrruha hálós szerkezetű „atlétatrikó” rétege egy az egész testet beborító közepesen sűrű csőhálózat, amelyben hőszabályzó folyadék kering. Ez végezte a hűtést és fűtést az emberi test megfelelő hőmérsékletének biztosítására. Az űrsisak a Nap erős látható, ultraibolya és hő sugárzása, valamint mikrometeoritok ellen is védelmet nyújt, illetve az optikai torzításoktól, tükröződésektől mentes látást is biztosította minden irányban.

1.2.4 Hőtágulás és a hópajzs

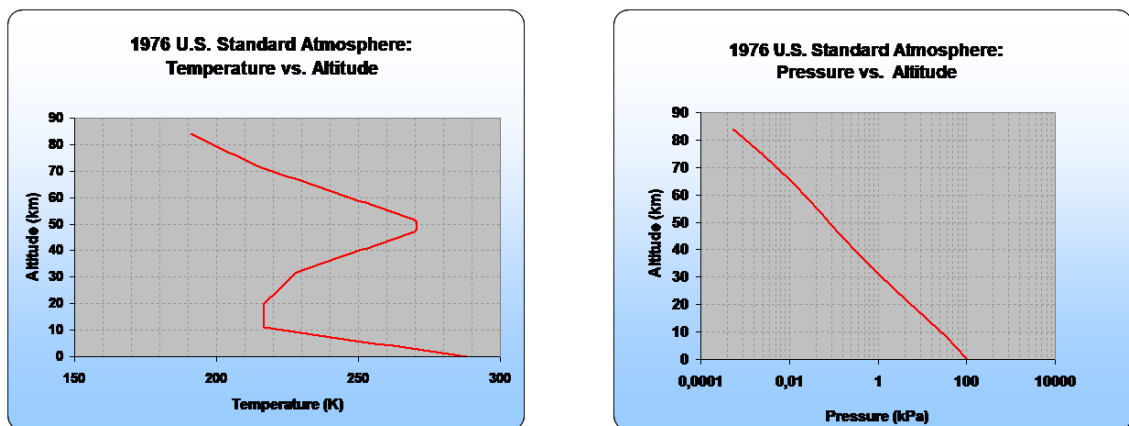
Ebben a témakörben miután elvégezzük az alapkísérleteket, ismét érdemes képzeletben kilépni az űrbe. Tanulságos annak a feladatnak a megtárgyalása, hogy hány százalékkal volt kisebb a Masat-1 éleinek a hossza, felszíne és térfogata a keringése közben, amikor már éppen a kritikus $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ot elérte a hőmérséklete, ha feltételezzük, hogy a startnál $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ volt a környezet hőmérséklete. A feladat első ránézésre könnyen megoldhatónak tűnik, hiszen ha megadjuk a vázát képező fém anyagát, a függvénytáblázatból már kinézhető annak hőtágulási együtthatója. Már említettük, hogy a műholdat 1 mm vastag speciális repülőgép alumíniumból készítették, majd beszéljük meg a tanulókkal, hogy most tekintsünk el a speciális jelzőtől, számoljunk egyszerűen az alumíniummal. A diákok között van olyan, aki ezután a szokott képletbe behelyettesít, majd a számolás végeztével úgy gondolja, rendben megoldotta a feladatot. Néhányan talán elolvassák a szilárd anyagok hőtani adatainak keresése során, hogy a táblázat fejléce szerint, az értékek $1013,25$ hektopascal nyomáson, azaz csak normál légköri nyomáson érvényesek, tehát az eredmény nem csak azért lehet különböző a valóságtól, mert nem a speciális alumíniummal számoltunk, hanem a nyomás eltérése miatt is. Ezt elemezve szintén hatásosabban tudjuk megbeszélni, milyen nagy műszaki kihívás a tervezők számára a műhold építő elemeit úgy megválasztani, hogy ne legyen probléma az összeillesztéseknél, a forrasztásoknál, az integrált áramkörök belső kötéseinél az űrben sem.

Feladhatjuk önálló kutatómunkának a hópajzs szerepét az űrhajók visszatérésekor. Motiválhatjuk a diákokat például azzal is, hogy ennél az anyagrésznel az órán megmutatjuk egy űrportál idevonatkozó ismertetését a felfújható hópajzsról [9]. Megemlíthetjük, hogy

egy különleges anyagot is kifejlesztett a NASA a légkörbe visszatérő űrsiklók hővédelmére. Ez egy speciális kerámia vagy kompozit anyag, ami elszigeteli a hőt az űrhajó többi részétől, a keletkezett hőt elnyeli és kisugározza. Ezt apró csempék mozaikszerűen borítják be az űrsikló alsó felületét, amely a visszatéréskor a földi légkörrel érintkezik.

1.2.5 Gáztörvények

A gáztörvények kapcsán érdemes foglalkoznunk a Föld légkörével. Ismertethetjük a diákokkal, hogy a mérések alapján a légkört alkotó gázok sűrűsége a magasság függvényében exponenciálisan csökken. Szakkörön részletesebben is megbeszélhetjük, hogy a barometrikus magasságformula szerint homogén gravitációs térben, állandónak tekinthető hőmérsékleten, a tengerszinttől felfelé haladva a nyomás is exponenciálisan csökken. Hívjuk fel a diákok figyelmét arra, hogy exponenciális összefüggések grafikus megjelenítése során célszerű logaritmikus skálát használni.



8. ábra Légkör hőmérséklet (balra) ill. nyomás (jobbra) változása a magasság függvényében (forrás: <http://faculty.virginia.edu/ribando/modules/xls/> accessed Jun 09, 2016)

Az 8. ábra két grafikonját (hőmérséklet-magasság, illetve nyomás-magasság) együtt elemezve, első ránézésre ellentmondásba kerülünk az állandó hőmérsékletre vonatkozó előbbi feltételünkkel. De ha figyelmesebben megvizsgáljuk a grafikonokat, látható egyfelől, hogy arányaiban a hőfokingadozás messze eltörpül a nyomás változásához képest, másfelől, hogy a nyomást ábrázoló görbén ki lehet venni az „enyhe hullámzást” (két alig észrevehető domborulatot) a hőmérséklet változásainak megfelelően.

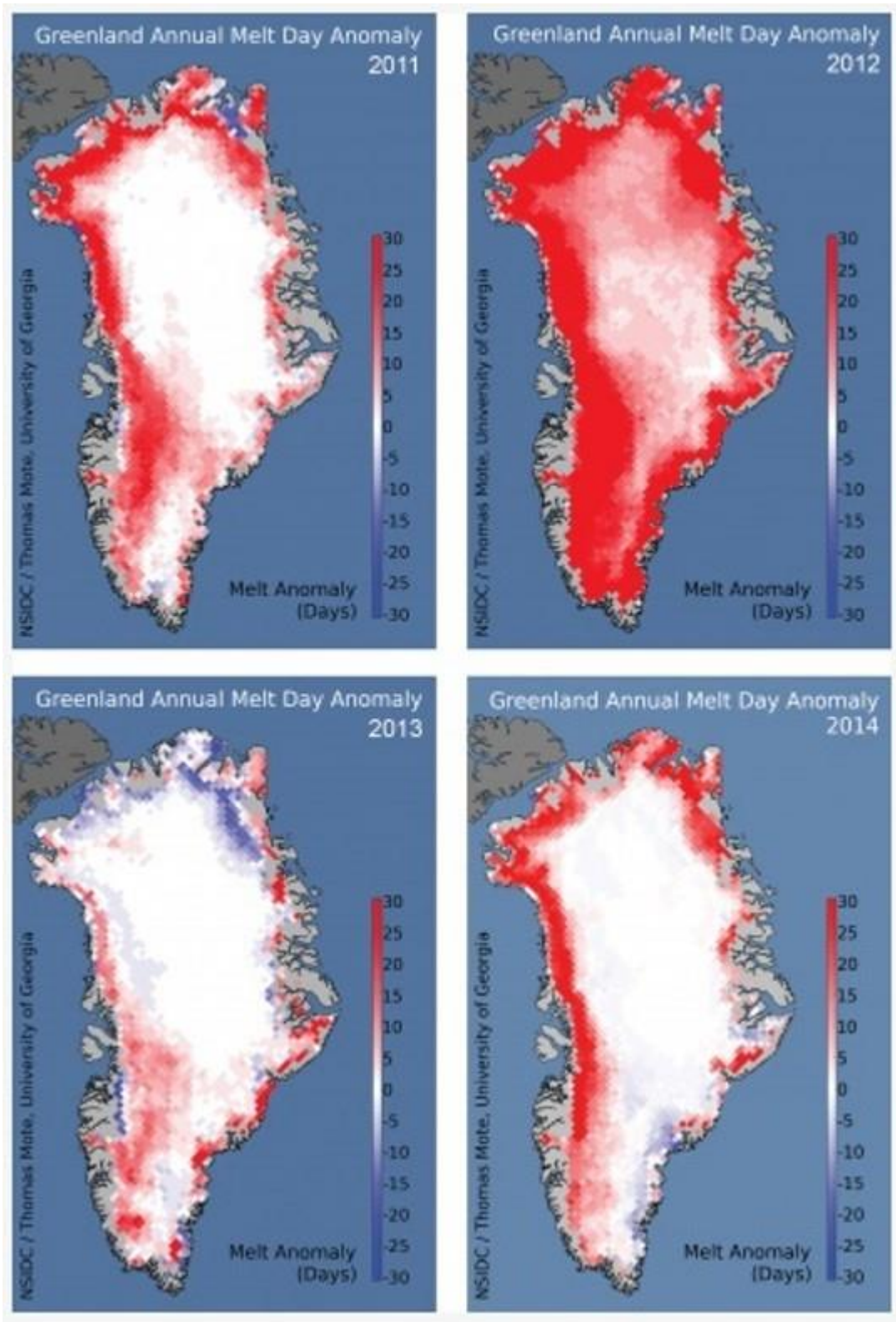
Elmondjuk az órán azt is, hogy nincs felső határa a légkörnek. Közéltőleg 300-400 km magasságban éri el a részecskesűrűség a Naprendszer bolygó közti részecskesűrűségének igen alacsony értékét. Itt említjük meg, hogy a műholdak pályáinak magassága is legalább

akkora kell, hogy legyen ahhoz, hogy zavartalanul működhessenek. Érdekes egy kis kitérőt tennünk a Marsra és a Vénuszra. Ezeknek a Föld típusú bolygónak a teljes kémiai összetétele nagyon hasonló a Földéhez, a fő légköri összetevőjük viszont a CO₂. A Mars légköre annyira ritka, hogy csak 0,7-0,9 kPa a felszíni légnyomás, a Vénusz felszínén ezzel szemben a légköri nyomás 9,2 MPa. Gyakorló feladatként kiszámoltathatjuk a diákokkal, hogy az óceánban milyen mélyen lenne ekkora a hidrosztatikai nyomás. Az említett két bolygó nemcsak felszíni légköri nyomásában tér el jelentősen a Földön mérhető adatoktól, hanem hőmérsékletében is. Az átlagos hőmérséklet a Marson 218 K, a Vénuszon a felszínén 730 K.

1.2.6 Halmazállapot-változás, éghajlatváltozás

A termodinamikában vizsgáljuk a halmazállapot-változásokat. A huszonegyedik század fizikaóráján nem tehetjük meg, hogy például az olvadásról csak a főzőpohárban levő jég olvadása kapcsán beszéljünk. A halmazállapot-változás fizikaórán is felvetődhet az állandó jégtakarók nagyságának csökkenése, és innen már csak egy röpke gondolati lépés, és szóba kerül a klímaváltozás. Itt megint segítségünkre vannak a mesterséges holdak, melyek segítségével évről évre vizsgálják az állandó jégtakarók alakulását.

Az 9. ábrán a grönlandi jégtakaró esetében figyelhetjük meg négy egymást követő évben, hogy a különböző területeken a sok éves átlaghoz képest hány napon át olvadt a jég. Az ábra alapján szemléltethetjük, hogy ahhoz, hogy éghajlatváltozásról lehessen beszélni, és az erre vonatkozó prognózist fel lehessen állítani, feltétlenül szükséges a folyamatos, hosszú távú adatgyűjtés. Ugyanis, mint az itt is látható, a folyamatok rövid távú mintavételezés alapján nem értelmezhetőek. A kutatók az éghajlatváltozásra vonatkozó előrejelzéseiket hosszú távon gyűjtött adatok alapján elkészített modellek segítségével fogalmazzák meg. Mivel a modellek különböznek, így adódnak eltérések a különböző kutatási központok „jóslatait” illetően.

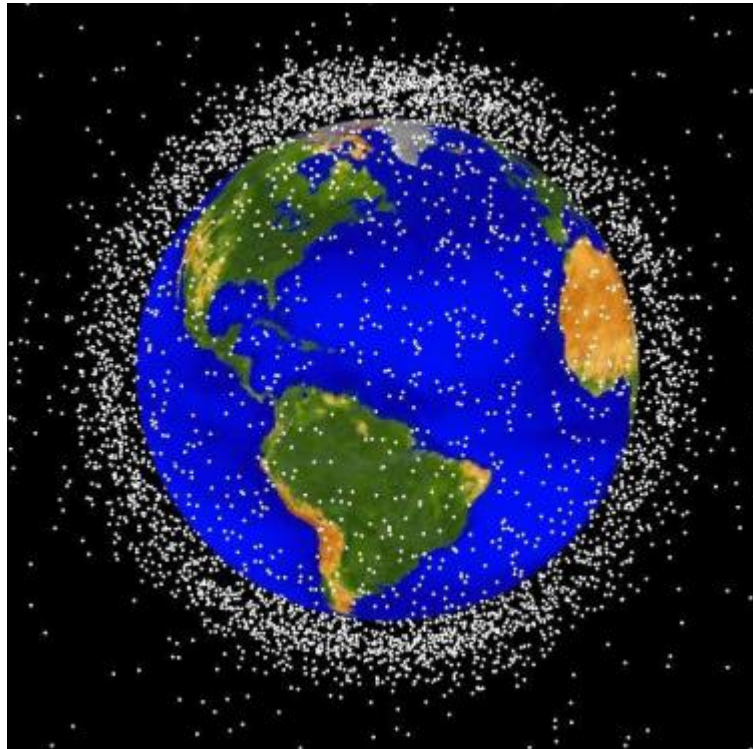


9. ábra Olvadásos napok anomáliája Grönlandon 2011 és 2014 között (forrás: National Snow and Ice Data Center/Thomas Mote, University of Georgia, <http://nsidc.org/greenland-today/2015/01/> accessed Jun 09, 2016)

Beszéljünk arról is, hogy az adatokat különböző jellegű mérőállomásokon lehet regisztrálni. Két alapvető csoportot különböztethetünk meg: felszíni bázisú és űrbázisú mérések. A mesterséges holdak mérései jelentős szerepet töltenek be a klímaváltozásra vonatkozó modellek megalkotásában. A meteorológiai műholdakkal megfigyelhetjük a felhőzetet, a levegő páratartalmát, a légmozgásokat, valamint a felszín hőmérsékletét. Ezen adatok alapján többek között az időjárási előrejelzések. A mesterséges holdak nagy előnye, hogy nagy területet egy időben látnak, amelyre korábban egyetlen módszer sem volt alkalmas. Fizikatörténeti érdekességként elmondhatjuk, hogy az első meteorológiai műholdat 1960. április elsején helyezték Föld körüli pályára [10].

1.2.7 A termodinamika első főtétele és az űrszemét

A termodinamika első főtételének tanításakor rávezetjük a diákokat, hogy igazából az energia megmaradásának törvényét fogalmazzuk meg benne. A törvény jobb megértését szolgálja, ha minél szélesebb területről veszünk rá példákat. Nézzük meg, hogy a mesterséges égitestek esetében milyen példákat hozhatunk fel a törvény érvényességének bizonyítására. Probléma felvetése: tekintsünk egy geostacionárius műholdat. Együtt kering a Földdel, így tekinthetjük a mesterséges holdat és a Földet egy zárt rendszernek, melyben a műhold és a Föld között fellépő gravitációs erő egy belső erő. Miért nem mond ellent ez az „örök” mozgás a termodinamika I. főtételének, amely tulajdonképpen az energia megmaradásának általánosabb törvénye? Valószínűleg azonnal érkezik a válasz a diákoktól, hogy nem örökké maradnak pályájukon a mesterséges holdak, előbb utóbb a súrlódás következtében (mely ugyan nagyon kismértékű az érintett magasságokban és ezért sokáig el lehet tekinteni tőle) összenergiájuk csökken, ezzel keringési magasságuk is kisebb lesz, idővel bekerülnek a Föld légkörébe. A növekvő súrlódás, közegellenállás hatására bekövetkező légkörbe kerülés és megsemmisülés a műholdaknál időben nagyon elhúzódó folyamat lehet. Így előfordulhat, hogy egy már működésképtelen mesterséges hold évekig, esetleg évtizedekig is kering még az űrben. Meglepő példa erre az ESA ENVISAT földmegfigyelő műholdja, amely előrejelzések szerint még 150 évig „kísért” majd. Ez a probléma a huszonegyedik században egy újabb kihívást jelent az űrkutatók számára. A sokasodó űrszeméttel ma már feltétlenül foglalkozni kell a kutatóknak. 2013-as adatok alapján a fél milliót is meghaladja a Föld körül keringő kisebb nagyobb űrtörmelék (lásd 10. ábra). Fizikaórán is érdemes róla beszélni, a téma érdekessége miatt biztosan van olyan diák, aki szívesen „elmélyed” az űrszemét témakörében.



10.ábra Űrszemét a Föld körül (forrás: https://www.nasa.gov/mission_pages/station/news/orbital_debris.html)

Az ESA honlapján egy 2014. júniusi hírben megemlítik, hogy az Európai Űrügynökség megpróbál új módszert kidolgozni az Űrszemét begyűjtésére [11]. Ez egy ősi vadászati technikához való visszatérést jelent: szigoronyal próbálnák „levadászni” a már működésképtelen és irányíthatatlan űreszközöket. A Világűrben keringő irányíthatatlan objektumok kapcsán a diákokban is felmerülhet a kérdés, hogy mi történik akkor, ha összeütköznek? Az Űrszemét hihetetlenül nagy mennyisége ellenére számítások alátámasztják, hogy az ütközés valószínűsége nagyon kicsi. Ennél az anyagrésznél megmutathatjuk az Űrvilág űrkutatási hírportál idevonatkozó cikkét, mely szerint 2009-ben történt egy komoly űrkarambol, melyben egy amerikai távközlési hold ütközött össze egy használaton kívüli orosz műholddal. A cikk elemzése során lehetőség nyílik arra, hogy megismertessünk a diákokkal egy olyan űrkutatással foglalkozó hírportált, amely tudományosan helyes cikkeket közöl.

A fent említett példák sorát lehetne tovább folytatni, itt csak ízelítőként írtam le néhány mintát arra vonatkozóan, hogy a termodinamika területén is bőven akad lehetőségünk arra, hogy űrkutatási eredmények bemutatásával motiváljuk diákjainkat fizikaórán, illetve a tanítási órákon kívül.

1.3 Elektromosság

Az elektromosság a hőtanhoz hasonlóan a fizikának egy olyan területe, ahol első hallásra nem tűnik egyszerűnek úrkutatási vonatkozásokat találni. Ebben a fejezetben bemutatom, hogy a termodinamikához hasonlóan itt is adódik bőven lehetőség arra, hogy az elméletben megtanult törvényeket úrkutatáshoz köthető gyakorlati példákon keresztül hozzuk közelebb a diákokhoz.

1.3.1 Elektrosztatika

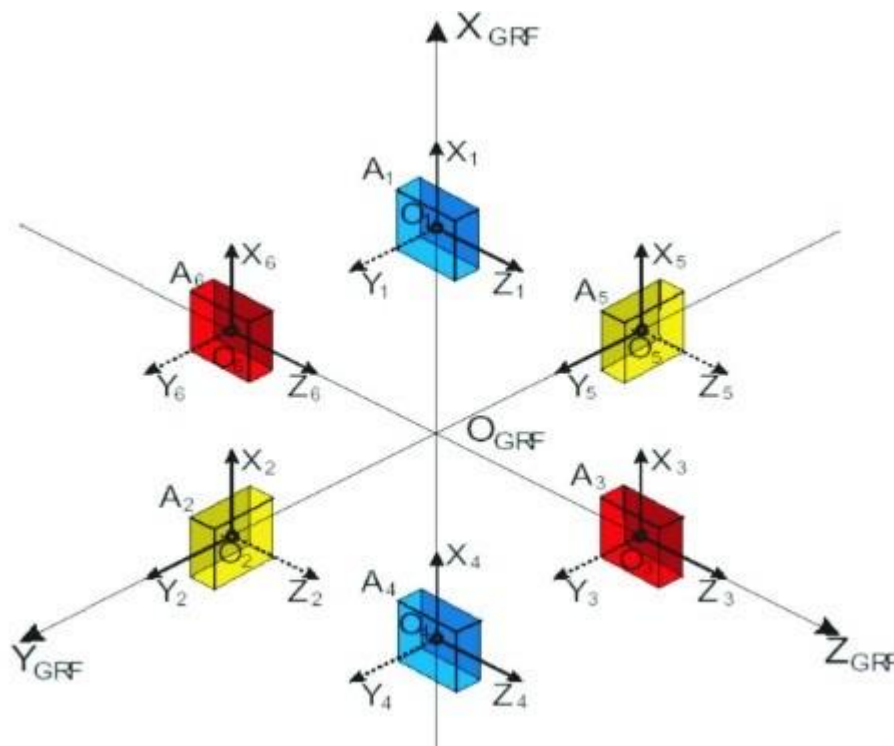
Az elektrosztatika témakörében a diákoknak évtizedek óta tanítjuk a csúcshatás jelenségét, de azt már ritkán említjük, hogy az ionhajtóművek is ennek a hatásnak az elvén működnek. Az ionhajtóművekben valamilyen gázt ionizálnak (például xenont, vagy argont), majd ezt az ionizált gázt gyorsítják elektrosztatikus, vagy mágneses térrel, esetenként mind a kettővel egyszerre. Ezután kilépve a gyorsítókamrából a hatás-ellenhatás elve alapján hajtja az űreszközt az ionizált gáz. Fontos megjegyezni, hogy ezután a kilépett ionfelhőt semlegesíteni kell, mert ha töltött állapotban maradna, magához vonzaná meghajtott járművet. Az ionhajtóművek témakörét folytatva néhány olyan, kicsit mélyebb ismeretanyagot mutatok még be róla, ami már inkább szakkörön valószínű, hogy előkerülhet. Fentebb említettem, hogy például a xenon gázt ionizálják. Hogyan? Nagy energiájú elektronokkal bombázzák. Ilyen módon a létrejövő pozitív ionok felgyorsulnak. Mozgási energiájuk eléri az 1-2 keV-ot. Biztosítani kell, hogy az űreszköz továbbra is semleges elektromos állapotú legyen, így a negatív töltésű elektronokat is el kell távolítani. Ezért elhelyeznek egy katódot a hajtómű nyílása közelébe. Az ionhajtóműről jó tudni, hogy kicsi toló ereje miatt inkább manőverezésre használják. Például az ESA GOCE műholdján ezzel a hajtóművel kompenzálták a kicsi nem gravitációs gyorsulásokat. 2001-ben az Artemis mesterséges holdat szintén ionhajtómű segítségével tudták végül geostacionárius pályára állítani. Végül megjegyzem, hogy az ionhajtómű már az 1960-as években létezett, sőt alkalmazták is, tehát nem újdonság. Ezekről az alkalmazásokról bőven olvashatunk különböző forrásokban. Az ESA legfrissebb technológiai kutatásai szerint lehetőség lesz a felsőlégköri levegőmolekulákkal is működő ionhajtóművek megvalósítására, és ezáltal jelentősen megnövekedhet az alacsony pályán keringő műholdak élettartama.

Még mindig az elektrosztatika témakörébe tartozik az Űrtan évkönyv 2010-2011-es számában szereplő „zombiműhold” története, mely a 2010 áprilisától az év decemberéig

irányítatlanul sodródó Galaxy-15 1.5 tonna tömegű távközlési mesterséges holdról szól [12]. A cikkben olvashatjuk, hogy valószínűleg elektrosztatikus feltöltődést követő kisülés okozta a fedélzetén levő számítógép hibáját és ennek következtében vált irányíthatatlanná a műhold. A megoldáshoz az vezetett, hogy a Galaxy-15 napelemei az ellenőrizetlen mozgás során véletlenül fokozatosan elfordultak a Naptól, így végre lemerült a fedélzeti akkumulátor. Ekkor az űreszköz úgynevezett biztonsági üzemmódba került és lehetővé vált ismételt az irányítása.

1.3.2 Kondenzátor

A kondenzátor gyakorlati alkalmazására nagyon érdekes – a fizika egyéb területeit is magában foglaló – példa lehet a GOCE műholdon levő gradiométer, mellyel a Föld nehézségi erőterének változásait mérték. Induljunk ki egy síkkondenzátorból. Feltöltött állapotban a kondenzátor lemezei között erőhatás lép fel. A GOCE mesterséges holdon a gravitációs gyorsulásmérés úgy történik, hogy egy olyan vákuumkamra közepén elhelyeznek egy testet, melynek falai 3 kondenzátor párból állnak. A kamra középpontjában elhelyezett testet lebegtetik, azaz úgy állítják be a kondenzátor lemezek közötti feszültséget, hogy a testre ható erők eredője nulla legyen.



11. ábra Gyorsulásmérők elhelyezkedése (GOCE műhold) (forrás: <http://mediatum.ub.tum.de/doc/1111698/362238.pdf>)

A műhold mozgása, forgása során ez a lebegés a külső erőhatások következtében megszűnik, de a feszültségek megfelelő változtatásával el lehet érni a kiindulási helyzetet, azaz a lebegést. Ezt az eljárást visszacsatolásnak nevezik a szakirodalomban. Tulajdonképpen a feszültségek változását mérve lehet következtetni az adott a gravitációs gradiens mértékére. A 11. ábrán láthatjuk a mérési elrendezést. A hat gyorsulásmérő páronként egymásra merőlegesen helyezkedik el. A távolság egy pár két eleme között 50 cm. Az EGG (Electrostatic Gravity Gradiometer) használatával a mérések az addigi mérésekhez képest 100-szor pontosabbak lettek. A mérés pontosságát mutatja, hogy egy-egy gyorsulásmérő a Földön mérhető gravitációs gyorsulás 10 milliárdod részének megváltozását tudja mérni.

1.3.3 Vezetők, szigetelők

A szigetelőkről alkotott leegyszerűsített iskolai képet színesíthetjük, ha beszélünk például a geostacionárius holdaknál arról a problémáról, hogy mágneses viharba kerülve a műhold szigetelő részei elektronnyalábokkal ütközhetnek, ezek behatolnak a szigetelőbe, így azok feltöltődhetnek és a feltöltődés következtében átívelés, azaz rövidzárlat jöhet létre.

1.3.4 A fogyasztók soros és párhuzamos kapcsolásának gyakorlati alkalmazásai

A Masat-1 sikeres történetét újabb műhold tervezése követi a BME-en. Fejlesztés alatt van a SMOG-1 pocketcube mesterséges hold. Ez egy 5 cm élhosszúságú kocka alakú űreszköz lesz (lásd 12. ábra).



12. ábra SMOG-1 modell (forrás: <http://www.gnd.bme.hu/smog1/tortenet.html>)

A diákok többsége számára megdöbbentő, mikor tudatosul bennük, hogy a 10 cm-es kocka alakú Masat-1 műhold térfogatának a nyolcada lesz az újabb mesterséges hold térfogata. A kicsi térfogat miatt egymás között a fejlesztők csak „zsebi” néven emlegetik.

A SMOG-1 központi energia ellátórendszer tervezéséről szóló diákköri munkában (lásd [13]) olvashatunk a fizikaórán megtanult sönt ellenállás alkalmazásáról: „A kevésbé kritikus kis fogyasztású eszközök áramkorlátozása soros sönt ellenállások beépítésével történik. Ezek az eszközök, ha meghibásodnak és zárlatossá válnak, akkor is csak a sönt ellenállás méretével beállított kismértékű szivárgóáram folyik el az energiabuszokról.” Itt megbeszélhetjük, hogy az energiabuszok energiaátvivő elemek és a műholdra telepített berendezések között találhatóak. Az idézett diákköri munkában még több helyen szerepel a soros kapcsolás, de ezek a részek már meghaladják a középiskolai szintet. Az említett idézet jól beleillik abba a koncepcióba, hogy akkor lesz hatékonyabb a tanításunk, ha minél többféle eszközt vetünk be. Az elmúlt években a fizika oktatásában is megjelentek az úgynevezett szövegértési feladatok, így erre ez az idézet jól alkalmazható. Itt is szeretném kihangsúlyozni, hogy abból a szempontból is szerencsésnek tartom ezt és az ehhez hasonló származású idézeteket, mert műszaki egyetemista írta, tehát alkalmas a műszaki tudományok irányába orientálni diákjainkat.

Mind a Masat-1, mind a SMOG-1 energiaellátó rendszeréről szóló munkákban szerepel a redundáns kifejezés. Ennek lényegét a legkönnyebben úgy értik meg diákjaink, ha párhuzamos kapcsolásban képzelik el az azonos áramköri elemeket, így van arra lehetőség, hogy amennyiben az egyik alkatrész meghibásodik, átvehesse a szerepét a másik ugyanolyan áramköri elem.

1.3.5 Félvezetők

A félvezetők tanításakor megemlítjük a műszaki világban igen jelentős változást eredményező integrált áramkörök megjelenését. Egyik-másik fizika könyvben fényképet is láthatunk egy-egy ilyen chipről. Talán elmélyültebbé tehetjük az ehhez kapcsolódó fizikai ismereteket, ha egy-két konkrét alkalmazást is mondunk a chipekkel kapcsolatban.

Érdekes ezt már csak azért is megtenni, mert a hazai űripar egyik briliáns eredménye szolgálhat egy ilyen példaként. 2011 októberében állították pályára a VesselSat-1 műholdat (13. ábra).



13. ábra A VeeselSat-1 műhold (forrás:

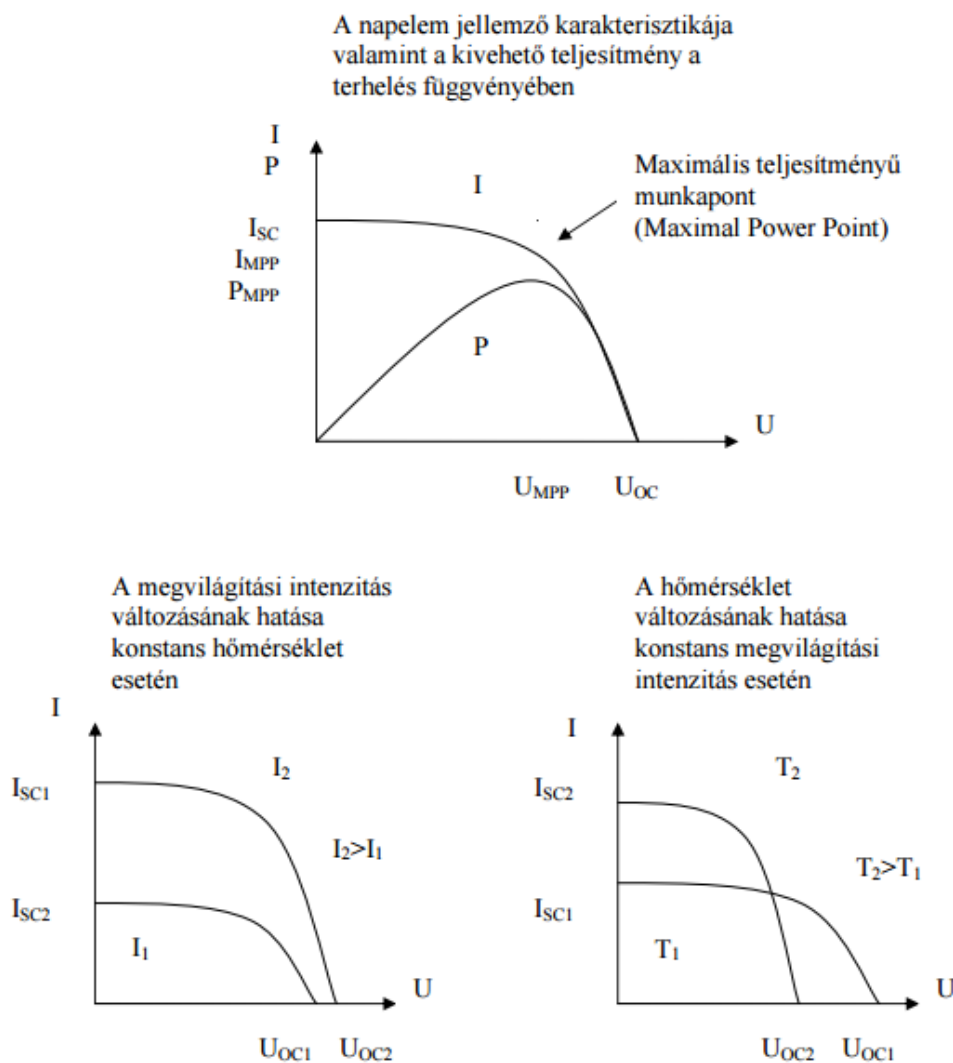
http://www.urvilag.hu/nyomtat/hazai_kutathelyek_es_uripar/20140109_vesselsat2_a_hibatlan_keteves

Feladata többek között a tengeri hajóforgalom nyomon követése. Ehhez a fedélzetén két rádiós vevőberendezést helyeztek el. A műhold a látómezejében levő hajókról automatikusan leadott jeleket veszi, majd továbbítja azokat a földi irányító központba. Az adattovábbításhoz nélkülözhetetlen fedélzeti modulátort egy magyar űripari cég fejlesztette ki és készítette el mindössze 5 hónap alatt. Egyetlen digitális áramköri chipbe építették be a berendezés összes funkcióját (oszillátor, DC-DC konverterek, frekvencia konverterek, mikrohullámú szintézer, erősítők). Külön nagy siker, hogy ennek a digitális modulátornak a teljesítményfelvétele mindössze 1.6 W. Itt összehasonlításként érdemes utalni a háztartásban használatos izzólámpák teljesítményére. Az Űr Világ űrkutatási hírportál cikkében (lásd [14]) lehetőségünk van kitékinteni gazdasági vonatkozások irányában is. Olvashatjuk ugyanis egy az előbbi berendezést méltató írásban, hogy az űripar egyike azon kevés területnek, amit a 2000-es évek végi gazdasági recesszió nem érintett. Tehát a jelen évtizedben feltétlenül egy dinamikusan fejlődő iparágról van szó. Így ez a terület vonzó lehet azon fiatalok számára, akik műszaki érdeklődésűek.

A félvezetők témakörében megemlítjük a napelemeket, melyeknek jelentősége nem csak a Földön említésre méltó, hanem az űrben is. Itt széles lehetőség kínálkozik a műholdak említésére. A diákok többsége a napelem kapcsán egy modern technikai fejlesztésre gondol,

ezért jó, ha megemlítjük, hogy az 1958-ban felbocsátott Vanguard-I mesterséges holdat már napelem működtette, és azóta minden mesterséges holdnál használják energiaforrásként. Egy-egy ilyen rövid „elkalandozás” az órán véleményem szerint sokszorosán megtérül a fizika megszerettetését illetően.

Szakkörön meg lehet beszélni részletesebben a napelemek működését. Nézzük például meg, egy napelem cella esetében az áramerősség hogyan változik a feszültség függvényében. Itt találunk két olyan kifejezést, amiket nem használunk egyébként általában fizikaórákon: munkapont, karakterisztika. A 14. ábrán a napelem cella U/I karakterisztikáját látjuk.



14. ábra Napelem cella U/I karakterisztikája (forrás: https://home.hvt.bme.hu/~lenart/VIHV_AC06/Mh.pdf)

Ezt három úgynevezett munkapont jellemzi. A rövidzárási áram I_{SC} , az üresjárási feszültség U_{OC} , és a maximálisan kivehető teljesítményhez tartozó U_{MPP}/I_{MPP} munkapont. Ez az a pont, amelyben érdemes a napelemet üzemeltetni ahhoz, hogy a maximális teljesítményt

ki tudjuk nyerni. Ez az optimális munkapont két dologtól függ leginkább. Egyik a napelemet érő fény intenzitása, másik a hőmérséklet. Fontos megjegyezni, hogy a beesési szög változása maga után vonja az intenzitás változását. Az optimális munkapontot még befolyásolja, hogy milyen anyagból van a napelem felülete, viszont érdemes kihangsúlyozni, hogy nem függ a felület nagyságától. A cellából kivehető áram, illetve feszültség viszont függ a napelem felületétől [15].

1.3.6 Akkumulátorok

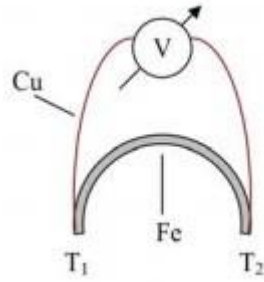
A napelemek által megtermelt energiát valahogyan tárolni kell. Ezt a Masat-1 esetében – sok más kis műholdhoz hasonlóan - Li-ion akkumulátorokkal oldották meg. Ezek a berendezések nagyon érzékenyek, nem csak a hőmérsékletre, hanem óvni kell őket a túltöltéstől, mélykisüléstől. Ez utóbbiról mondjuk el, hogy az akkumulátornak arra az állapotára használják ezt a kifejezést, amikor a túlságosan gyenge áram leadás miatt teljesen kisül és feszültsége is a kisütési végfeszültség alatt van. Megemlíthetjük, hogy a Rosetta űrszonda Philae leszállóegységénél, illetve a NASA által kifejlesztett MARS Exploration Rovers (Opportunity és Spirit) űreszközei is ilyen Li-ion akkumulátorokkal működnek.

1.3.7 Termoelektromos-effektus (Seebeck-effektus 1822)

A napelemek űrbeli alkalmazásának taglalásakor felmerülhet a diákok részéről jogosan az a kérdés, hogy hogyan biztosítják az energiát azon űrjárművek részére, melyek elhagyják a naprendszert? Itt alkalmunk van a termoelektromos effektus űrbéli használatának bemutatására.

A termoelektromos-effektus lényege, hogy két összehegesztett, különböző hőmérsékletű és eltérő anyagú fém között elektromos áram folyik mindaddig, amíg hőmérséklet-különbség áll fenn. Cu-Fe fémekből képezett pár esetén 100 Kelvin fok különbségnél 1,22 mV feszültség keletkezik. Vezetők esetében így a hőenergiából elektromos energia átalakításának a hatásfoka nagyon kicsi, 1% mindössze.

1949-ben E. Justi és W. Schottky felfedezték, hogy amennyiben félvezetőket alkalmaznak, jelentősen megnövekszik a hatásfok és akár a 20%-ot is elérheti [16]. Ezen a módon áramforrást lehet létrehozni, melyet termoelemnek nevezünk (15. ábra).



15. ábra Termoelem sematikus ábrája (forrás: [16] 6.ábra)

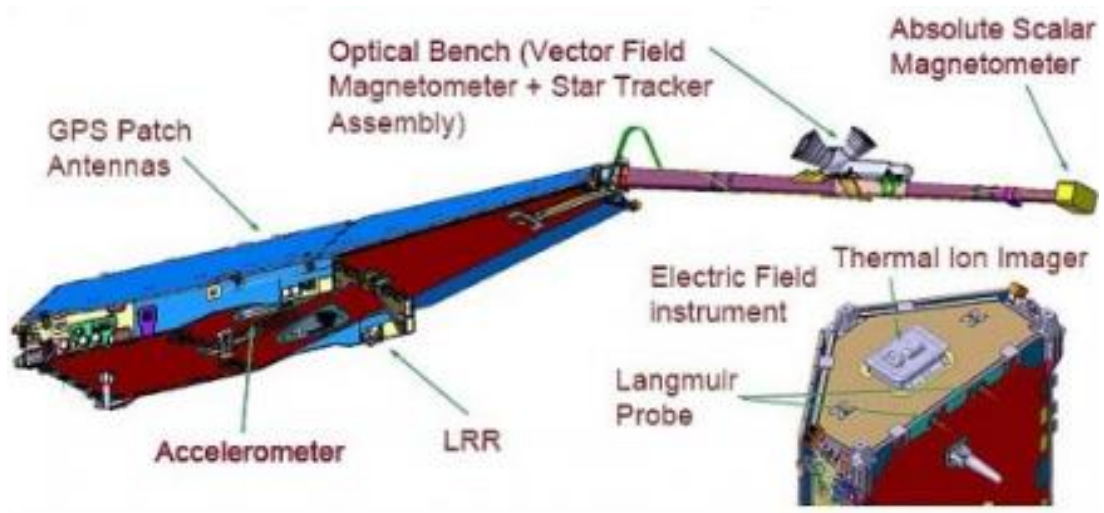
Űreszközök esetében olyankor használnak termoelemet, amikor az már elhagyja a Naprendszert, így az energiát napelemekkel már nem lehet biztosítani. Ebben az esetben a szükséges hőmennyiséget vagy valamilyen mesterséges radioaktív izotóp bomlásakor felszabaduló energiával biztosítják, vagy feldúsított uránizotóppal. Erről részletesen lehet olvasni a megadott forrásban.

1.4 Mágnesesség, elektromágnesesség és optika

1.4.1 Mágnesesség

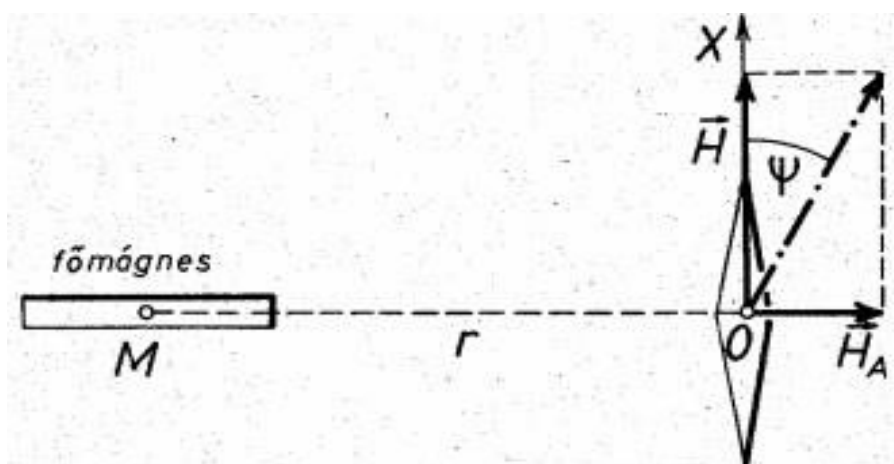
A Földünket körülölelő mágneses mező kialakulásának okát mind a mai napig nem sikerült teljesen megfejtetni. Az iskolában megtanítjuk, hogy nélküle nem lehetne élet a Földön, hiszen megvéd bennünket a kozmikus sugárzástól és a töltött részecskéket tartalmazó napszélről, mely erős Napkitörésekkor még így is veszélyezteti a távérzékelést, illetve az űreszközöket. A Föld mágneses mezejének vizsgálatáról viszont nemigen esik szó a tananyagban. Egészen biztosan van minden osztályban néhány diák, akik szívesen elmélyednének a témában. Lehet hallani különböző médiumokban is, hogy erőteljesen gyengül a Föld mágneses mezeje és ez azért van, mert valószínűleg éppen pólusváltás előtt vagyunk. A motiváltabb diákokkal érdemes megismertetni az ESA által felbocsátott poláris pályán keringő műholdhármast, a SWRAM-ot. Mérései nagyban hozzásegítenek a Föld mágneses mezejének modellezéséhez, a Föld belső szerkezetének, magjának és köpenyének megismeréséhez. Ezáltal lehetővé válik például a földrengések előrejelzése is, illetve megnő a Földben levő természeti kincsek feltárásának hatékonysága.

Az 16. ábrán a műholdhármast egyikének vázlatos felépítése látszik.



16. ábra A SWRAM műholdhármass egyik tagjának vázlata (forrás: <http://spaceflight101.com/swarm/blog/swarm-satellite-trio-starts-collection-of-high-quality-science-data/>)

A SWRAM műholdakon több fontos műszert is elhelyeztek. Az egyik a vektortér magnetométer, amely, mint ahogy a nevéből is lehet következtetni, a Föld mágneses terének vektoriális összetevőit méri, az abszolút skalár magnetométer, amely az adott pontban a Föld mágneses mezejének erősségét méri skalárisan. Ezeken kívül helyeztek rá elektromos térerősség érzékelőt, gyorsulásmérőt, mely a mesterséges holdat érő nem gravitációs eredetű gyorsulásokat méri. Ezeket a gyorsulásokat a légkör és a napszél idézheti elő. Ezeken felül a műhold helyzetének nagy pontosságú meghatározására lézertükröt helyeztek el. A vektortér magnetométer említése kapcsán el lehet mondani a tehetségesebb diákoknak, hogy a Föld mágneses térerősségének vízszintes összetevőjének mérési elve Gauss-tól származik.



17. ábra Mágneses térerősség mérés Gauss-féle elven (forrás: http://volgyesi.hotserver.hu/geofiz/1_9-11.pdf)

Az 17. ábra mutatja a kísérleti összeállítás elvi sémáját: A mérés zsenialitása, hogy egy függőlegesen felfüggesztett mágnesrúd lengésidejéből és egy szög méréséből meghatározhatjuk a földmágnesesség vízszintes összetevőjét.

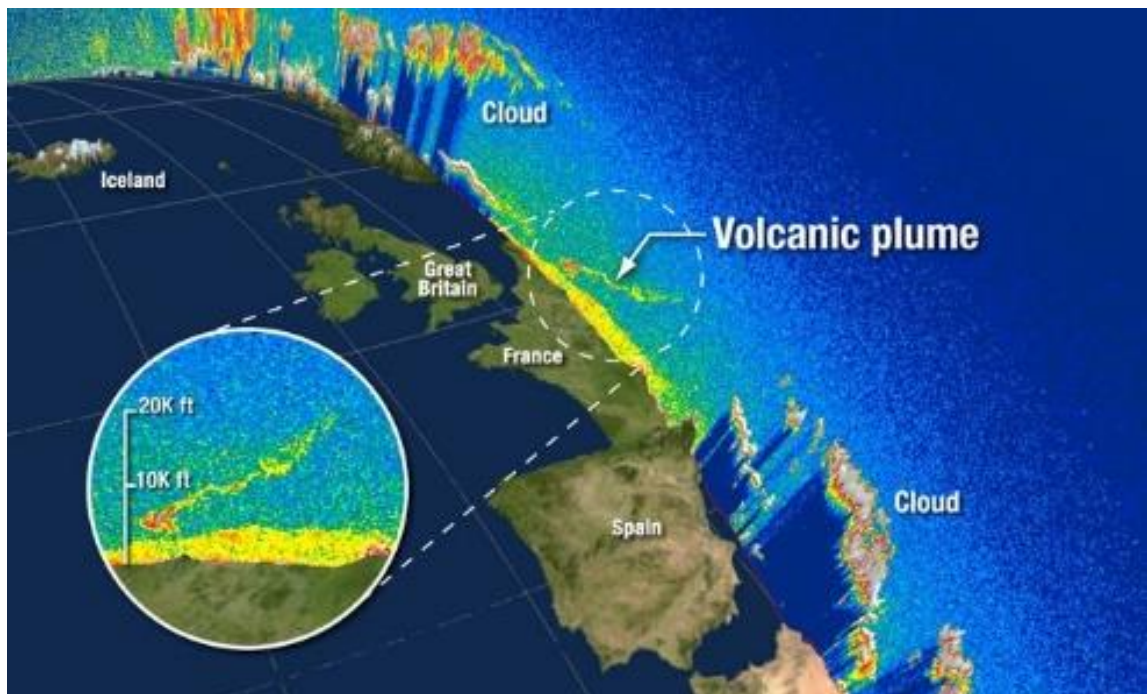
Ezen felül meg tudjuk határozni a lengetett mágnes nyomatékát is. Először a kérdéses pontban felfüggesztünk egy úgynevezett főmágnes torziós szátra úgy, hogy az szabadon foroghasson, majd ezt kitérítve nyugalmi helyzetéből megmérjük a lengésidejét. Ezután szintén abban a pontban ahol meg szeretnénk mérni a Föld mágneses erőterét jellemző mágneses indukcióvektor vízszintes összetevőjét, felfüggesztünk egy segédmágnes. Amennyiben csak ezt a mágnes helyeznénk az O pontba, ez is a földmágnesesség vektorának vízszintes összetevőjének irányában állna be. Abban az esetben, ha főmágnesünket az ábrán látható módon az O ponttól X távolságban helyezzük el, segédmágnesünkre a két mágneses erőteret együttesen hat, és a szuperpozíció elve alapján a két térerősség vektor eredőjének irányába áll be. Mérésünk második részéhez értünk, megmérjük a 17. ábrán látható Ψ szöget. A számítások meghaladják a diákok középiskolai matematika tudását, így azt nem tudjuk nekik elmondani [17].

Fizika tanításunk során az „elektromos töltések mozgása mágneses mezőben” témakörben beszélünk többek között a sarki fény jelenségéről. Ehhez szebbnél szebb képeket lehet bemutatni. Némely sarki fényt bemutató videó alá még kísérő zenét is szerkesztettek, melynek hangulatát igyekeztek a látható színhatásokhoz illeszteni. Ismét egy olyan lehetőség van a kezünkben, mellyel, ha élünk, kiváltképpen talán művészeti iskolákban közelebb tudjuk hozni a diákokhoz ezt a tantárgyat, hiszen láthatják, hogy olykor a természet is képes művészi alkotásokra. Itt elmondhatjuk, hogy a gyönyörű felvételek egy része az űrből készült. Tudománytörténeti érdekesség, hogy a sarki fény ovális szerkezetét már az 1880-as években felfedezték egy expedíció során, melyben 12 ország vett részt, közöttük volt Magyarország is. A témakörben szereplő sugárzási öveget arról a Van Allenről nevezték el, aki 1958-ban az első amerikai mesterséges holdak (az Explorer-1 és az Explorer-3) műszereinek tervezője volt, illetve, hogy magukat a Van Allen öveget is ezek a műholdak fedezték fel.

1.4.2 Optika

A fizikai optikában beszélünk a fény különböző tulajdonságairól, elhajlás, interferencia stb. Tulajdonképpen mind az elhajlás, mind az interferencia, mind a fénytörés jelensége a

fényszóródás alapján jön létre. A középiskolában külön fejezetet nem szokás szentelni a környezetfizikára, de egyre növekvő jelentősége miatt ahol tehetjük, csempésszük be tanításunkba. A következő példa kapcsolatot teremt a fényszóródás fizikai jelensége, az űrkutatás és a környezetfizika között: Ugyanis a fényszóródás jelenségét használta fel 2010-ben a NASA CALIPSO műholdja, miközben felvételt készített az izlandi Eyjafjallajökull vulkán kitörése után kialakult porfelhőről [18]. A mesterséges hold lézerpulzusokat küldött a Föld felé és a szóródás mértékéből lehetett következtetni a légkör összetételére. Meg lehetett állapítani, hogy milyen magasan helyezkednek el a hagyományos felhők, illetve hol található a hamu (lásd 18. ábra). Ezáltal a hamu terjedésének irányára is pontosabb előrejelzéseket lehetett adni.



18. ábra Vulkáni hamu terjedésének ábrázolása a CALIPSO műhold felvételei alapján (forrás: [18])

Itt jegyzem meg, hogy 2018-ban elkészült egy interaktív program, mellyel valóságos adatokkal követhető a vulkáni hamu terjedése. A program különlegessége, hogy a vulkáni hamufelhők és egyéb légköri szennyeződések terjedésének kaotikus vonásait is szemlélteti (<http://hatimi.web.elte.hu/RePLaT/>).

1.4.3 Elektromágneses hullámok

Az elektromágneses hullámok gyakorlati alkalmazásánál nagy figyelmet érdemelnek a műholdak. Minden mesterséges holdnak – ha lehet ilyet mondani – a lelke a távérzékelés, mely az általa észlelt, illetve kibocsájtott elektromágneses hullámok észlelését, illetve érzékelését foglalja magában. Pályaorientálás céljával elmondhatjuk diákjainknak, hogy ez a téma igazából már a térinformatikához is elvezet, melyet később önálló tantárgyként tanulhatnak a felsőoktatásban. A távérzékeléssel, illetve a térinformatikával részletesebben is megismerkedhetnek középiskolai tanulmányaik során a diákok. A távérzékelés olyan mérési technika, amikor az adatgyűjtő berendezés nincs közvetlen (fizikai) kapcsolatban a vizsgált tárggyal.

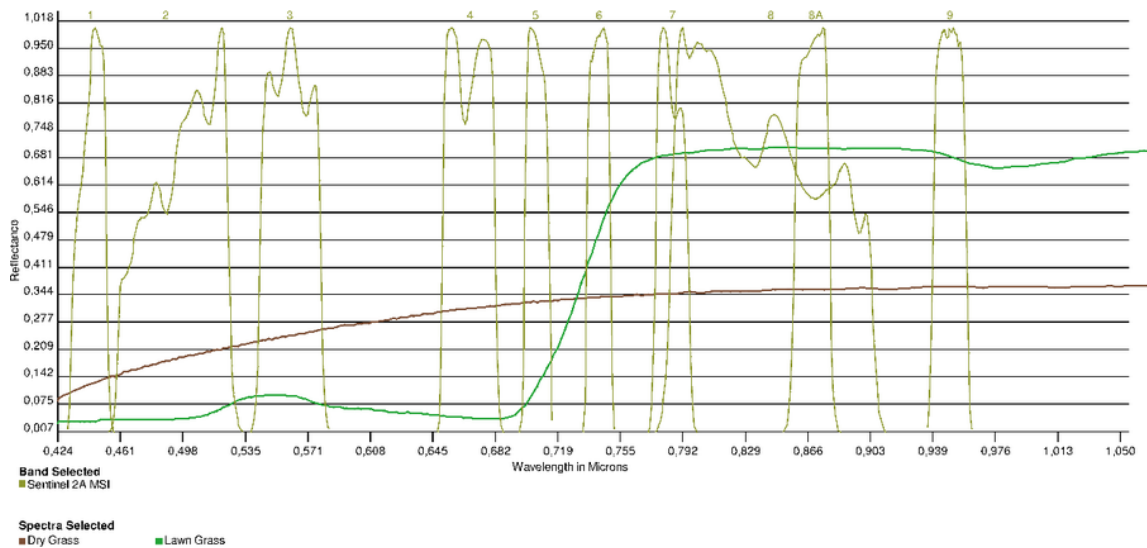
A klasszikus távérzékelés legfontosabb tárgya a Föld. Földmegfigyeléssel, azaz a Föld légkörének, felszínének, illetve mélyének vizsgálatával évezredek óta foglalkozik az ember. A hagyományos módszerek mellett, mint a meteorológiai állomások, földfelmérés vagy mintavétel, egyre fontosabb adatforrássá válnak a műholdas mérések. Előnyük, hogy általuk egyszerre nagyobb területen, többféle mérés és adatgyűjtés lehetséges, de alkalmazásukhoz speciális ismeretanyag elsajátítása szükséges.

A távérzékelés során nyert képek többféle elven működő felvevőrendszerrel (szenzorokkal) készülhetnek. A távérzékelés fizikai alapja az elektromágneses sugárzás spektrális eloszlásának, illetve a sugárzás változásának detektálása. A passzív távérzékelő rendszerek többnyire a Naptól eredő és az adott tárgy által visszavert, illetve kibocsátott sugárzást mérik általában a látható fény és az ahhoz közeli optikai sávban (0,4 – 15,0 μm hullámhossz). Az aktív távérzékelő rendszerek (legismertebbek a radarok) a saját maguk által kibocsátott és a vizsgált felületek, tárgyak által visszavert sugárzást érzékelik a 0,0075 – 0,60 m hullámhosszon.

A távérzékeléssel kapott képek (adatok) kiértékelésének alapja, hogy különböző anyagok eltérő mértékben verik vissza, vagy nyelik el az elektromágneses hullámokat. Ezért például a felszín anyagai, a növények és az objektumok beazonosíthatók, sőt következtethetünk az állapotukra is.

A műholdképek olyan pixel értékeket tartalmaznak, amelyek a fényerőt vagy a visszavert fény intenzitását mutatják egy adott optikai sávban. Egy adott frekvenciatartományban csak az adott frekvenciájú sugárzás energiáját tudjuk mérni. Mivel az anyag a különböző

frekvenciájú sugárzást különböző mértékben nyeli el, illetve veri vissza, ezért többféle frekvencián mérünk, hogy ki tudjuk választani a keresett anyagot. Például így érzékelhető, látható a természetes fű és műfű közötti különbség (19. ábra).



19. ábra A természetes (zöld) és a műfű, vagy kiszáradt fű (barna) reflektanciája %-ban (y-tengely) a különböző frekvenciákon (x-tengely) (forrás: <http://www.space-awareness.org/en/activities/6035/a-view-from-above/>)

A Föld műholdas megfigyelése során figyelemmel kell lennünk arra is, hogy a Naptól érkező elektromágneses hullámok a légkörrel kölcsönhatásba lépnek: az energia egy része visszaverődik, vagy elnyelődik, illetve nagyobb szóródás is felléphet a légkör magas páratartalma (a felhők) és egyes gázok (pl. O₂, NO₂, CO₂) miatt. Azokat a hullámhossztartományokat, ahol a legkisebb a szóródás és az elnyelődés, légköri ablaknak nevezzük.

Az emberi szem is szenzorként működik, és úgy alakult ki, hogy éppen egy légköri ablakba esik a mérési tartománya. Ráadásul éppen ebben a frekvenciatartományban bocsátja ki a legnagyobb energiával a fényt a Nap, így itt van a legkisebb érzékenységre szüksége a szemünknek. A képeknek a színkeverési szabály szerinti integrálása révén jönnek létre az általunk megszokott színes képek. A képek spektrális sávból való kiválasztásakor (képviselő szín lehet a piros, a zöld és a kék, azaz red, green, blue „RGB”) a kapott RGB kép reálisan jeleníti meg a színeket.

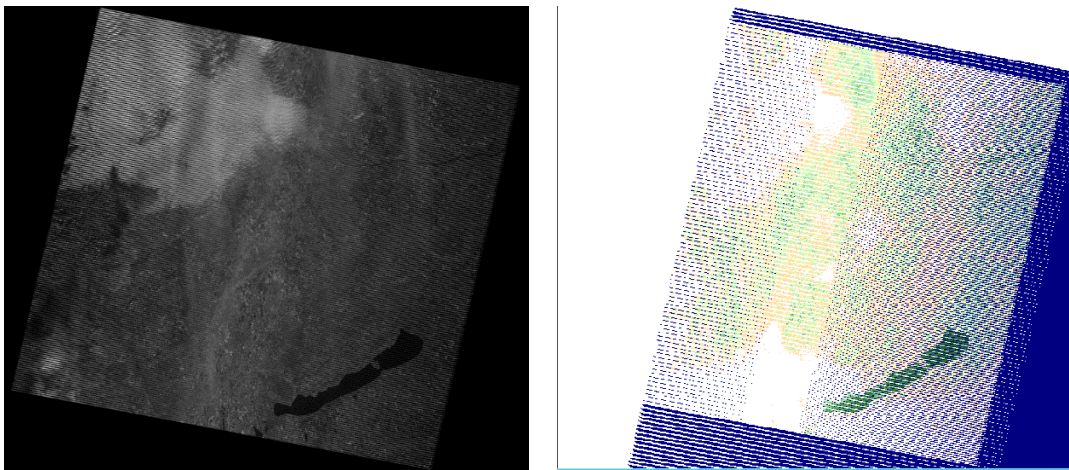
Itt megemlíthetjük a spektrális indexeket. A spektrális indexek olyan származtatott mennyiségek, amelyeket különböző hullámhosszokon mért adatokból számítunk ki. A spektrális indexekkel különböző tárgyakat jellemezhetünk, például az épületeket, vagy a növényzetet. Ha szükséges, kaphatunk természetesen részletesebb elemzést is. Az indexek elméleti modellek alapján készültek. Az egyik talán legelterjedtebb ilyen index az NDVI (Normalised Differenced Vegetation Index) [19], amit az egészséges növényzet

azonosítására használnak. A vörös (R) és közeli infravörös (NIR) spektrumban mért intenzitási adatokból számítják ki.

Ezt a következőképpen számítjuk ki:

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R}$$

Az Európai Unió és az ESA támogatásával kifejlesztettek egy oktatási szoftvert, mely információt szolgáltat az érdeklődő középiskolás diákoknak és tanároknak a műholdas mérésekről. Ez a program a Leoworks, amely részletesen bemutatja a műholdas adatok elemzésének alapvető lépéseit, illetve segítségével a diákok is szerkeszthetnek műholdképeket. Az ingyenesen letölthető program a <http://leoworks.terrasigna.com/> honlapon található.



20. ábra Műholdas felvétel (balról) és a programmal készített NDVI kép (forrás: 9. osztályos diákcsoportom munkája)

A 20. ábra jobb oldalán a kilencedik. osztályos diákjaim által szerkesztett, a Fizika mindenkinek országos középiskolai csapatversenyen bemutatott előadásukban szereplő kép látható, amely a Balaton-felvidék és térségének „zöldnövényzet borítottságát”, azaz az NDVI értékek térképi megjelenítését ábrázolja. A képet a Leoworks program segítségével készítették a <https://ers.cr.usgs.gov> internetes forráson található, ingyenesen letölthető műholdfelvételek felhasználásával.

1.5 Magfizika

Rutherford híres szórás kísérletének tanításakor, annak későbbi gyakorlati alkalmazásáról is szót ejthetünk. Geiger és Marsden 1913-ban írták le ezt az új vizsgálati módszert [20], a Rutherford-visszaszórásos spektrometriát (Rutherford-backscattering spectrometry, RBS). Érdekes, hogy a megvalósításig több mint egy fél évszázadnak el kellett telni, ugyanis először a Surveyor 5 mesterséges holdon alkalmazták, amikor a Hold felszínének kémiai összetételét akarták megvizsgálni. A műhold leeresztő karjába beépített radioaktív α -forrás ismert energiájú α -részecskékkel bombázta a kőzetet, majd a holdközetről visszaszórt részecskéket szilícium detektorral észlelték [21].

A magfizika tanításakor beszélünk a nukleonokról, esetleg szóba kerül valamilyen mértékben a részecskefizika is. Eközben elmondhatjuk, hogy a fizika jelenlegi állása szerint a Világegyetem legnagyobb részét a sötét energia teszi ki, melynek létét 1998 óta fogadják el a Világegyetemet kutató kozmológusok. A további összetevők (sötét anyag, illetve a hagyományos értelemben vett anyag százalékos eloszlását is időről időre megtudhatjuk az ezzel foglalkozó szakanyagokból. A diákok részéről teljes joggal felmerülhet a kérdés, hogy a konkrét számadatokat milyen kísérleti, mérési eredmények alapján állítják a tudósok? Elmondhatjuk nekik, hogy ezeket az arányokat legutóbb a Planck űrszonda – amelyet az ESA állított pályára ilyen jellegű megfigyelések céljából – mérési adatainak kiértékelésével kapták meg. Itt feltétlenül jegyezzük meg, hogy az Európai Űrügynökségnek Magyarország is tag lett 2015-ben.

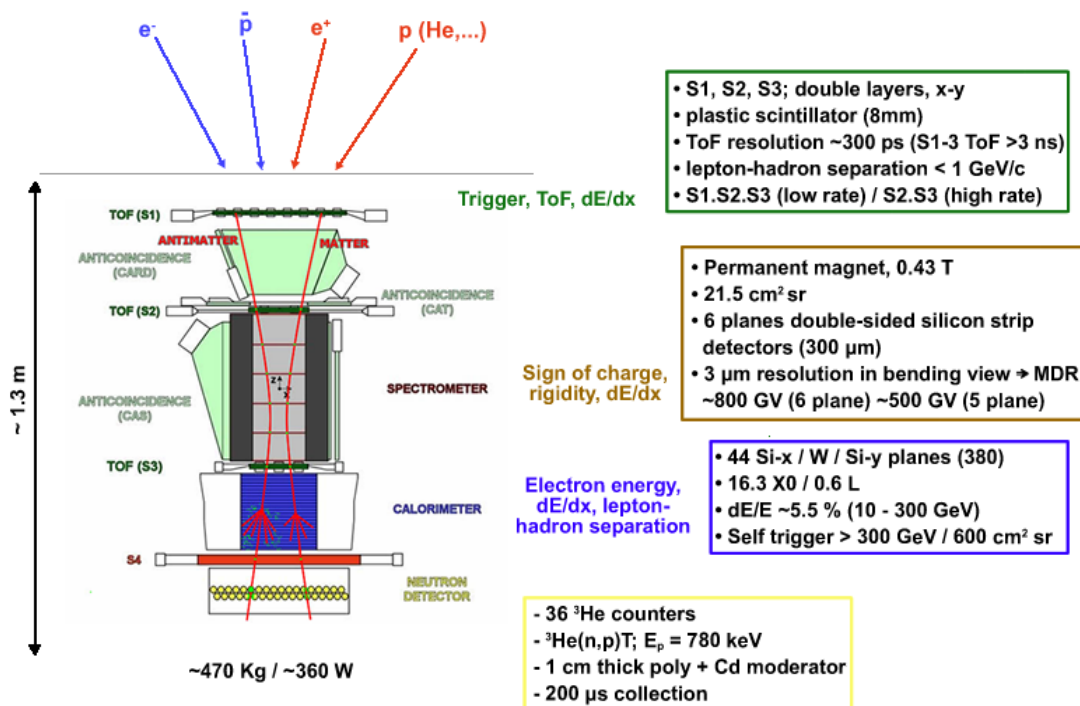
A protonok tárgyalásakor is képzeletben elhagyhatjuk bolygónkat és megemlíthetjük a DEMETER (Detection of Electro-Magnetic Emissions Transmitted from Earthquake Regions) mesterséges holdat, mely 2004 nyara óta kering bolygónk körül 730 km magasságú poláris, közel napszinkron pályán és így detektálni tudja a sugárzási övezetektől érkező elektronokat és protonokat.

A diákok között mindig vannak, akik már különböző forrásokból értesültek az antirészecske fogalmáról is. Ehhez kapcsolódóan megemlíthetjük, hogy antirészecskékkel nem csak a részecskegyorsítókban lehet találkozni, hiszen például a proton antirészecskéjét az antiproton is sikerült detektálni nagy számban az olasz PAMELA (Payload for Antimatter Matter Exploration and Light-nuclei Astrophysics) fedélzeti űreszköznek még 2011-ben. A

mérések szerint ezeket az antiprotonokat a Föld mágneses tere csapdába ejti a belső Van Allen övben.

Az eszköz működésének alapelvét elmondhatjuk középiskolában akár órán is.

A PAMELA űreszköznek (21. ábra) fontos eleme egy mágneses spektrométer, melynek összetevői egy neodímium-vas-bór állandó mágnes és egy precíziós nyomkövető rendszer.



21. ábra A PAMELA szerkezete (forrás:

http://pamela.roma2.infn.it/index.php?option=com_content&task=view&id=28&Itemid==264)

A töltött részecskék beérkezve az eszköz nyílásán eltérülnek a mágneses mezőben. A kialakult pályagörbe alapján következtethetünk a részecske elektromos és mágneses tulajdonságaira. A mintavételt egy úgynevezett kaloriméterben képezik le oly módon, hogy vékony szilícium érzékelő lapokat helyeznek be merőlegesen a wolfram érzékelő lemezek közé. A kölcsönható részecske felszabaduló energiáját mérik. A részecskék megsemmisülésekor extra nagy energia szabadul fel, ami részecsketípustól függően, különböző mintát rajzol a kaloriméterbe. A megfigyelt energiamintából következtethetünk vissza arra, hogy jelen van az antiproton.

1.5.1 Általános relativitáselmélet

Egy-egy tudományos-fantasztikus filmben látott jelenetek hozzájárulhatnak akár a fizikai törvények jobb megértéséhez is.

Einstein általános relativitáselméletében például az ekvivalencia elv egy lokálisan g gyorsulással gyorsuló vonatkoztatási rendszer és a lokális gravitáció egymással való felcserélhetőségéről beszél. Az Űrodüsszeia 2001 filmben szerepel egy űrállomás, melynek alakja egy fánkra emlékeztet és az űrállomás állandó forgatásával akarják szimulálni a gravitációt. A filmben egy űrhajós be is mutatja futás közben, hogy eltérő súlyúnak érzi magát, ha lassan megy, mint amikor gyorsan fut körbe (22. ábra).

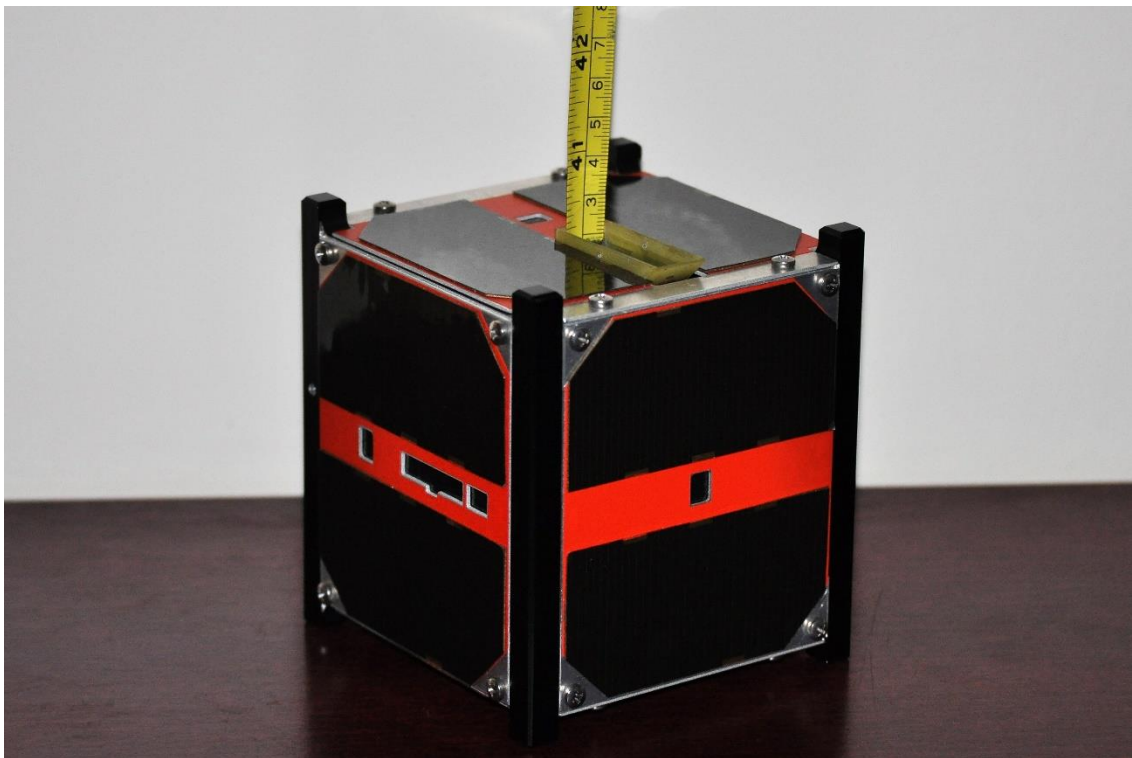


22. ábra „Mesterséges gravitáció” a 2001 Űrodüsszeia filmben (forrás: https://kulturpart.hu/2018/05/17/otven_eves_az_urodusszeia)

2. Hivatkozások fizikaórán az első magyar műholdra

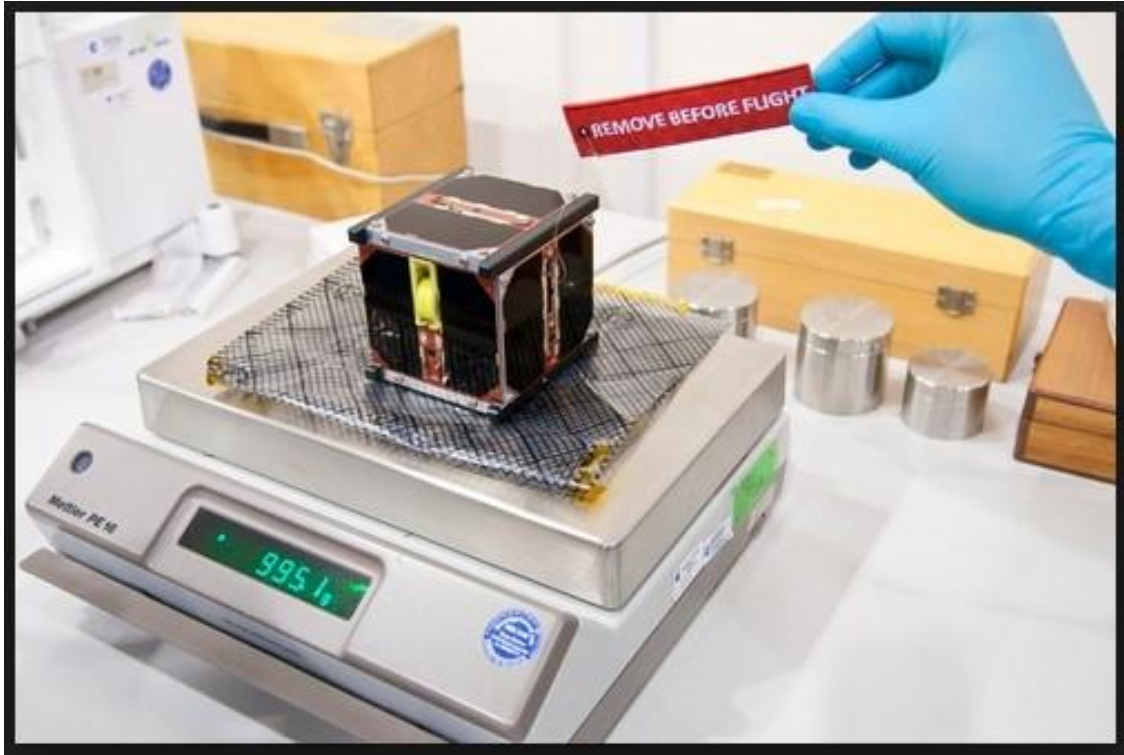
Igen fontosnak tartom évek óta, hogy a fizikaóráimon minél többet hivatkozzak a Masat-1-re (lásd [22], [23] és [24]).

2012. február 13-án bocsátották Föld körüli pályára az első magyar tervezésű és építésű mesterséges holdat, a Masat-1-t (23. ábra) a francia guyanai Kourou melletti űrközpontból az ESA Vega nevű új hordozórakétája által [25].



23. ábra Masat-1 - az első magyar műhold szerkezetkész állapotban (forrás: saját kép)

A mostanában középiskolába kerülő diákok közül egyre kevesebben ismerik a történetét, már lassan az is nagy szó, ha ismerik a nevét. Fontosnak érzem, hogy mondjuk el fizikaórán, hogy ezt az űreszközt oktatási céllal tervezték és készítették a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem hallgatói és oktatói az ESA Cubesat programjának keretében. Büszkék lehetnek rá tervezői és készítői, hiszen a kis mesterséges hold a tervezett 3 hónapos élettartamot messze meghaladóan, a számítások alapján a lehető leghosszabb ideig, majdnem 3 évig működött. A Masat-1 egy 10 cm élhosszúságú kocka alakú műhold, melynek tömege mindössze 1 kg (pontosan 995,1 g) volt (lásd 24. ábra).



24. ábra Masat-1 a hivatalos „mérlegeléskor” (forrás: http://index.hu/tudomany/masat1/2012/02/09/kepek_es_videok_a_masat-1_projektrol/)

Első hallásra talán meglepő, hogy a Masat-1, azon túl, hogy kiválóan alkalmas a műszaki pálya iránti érdeklődés felkeltésére, milyen sok témakörben felhasználható fizikatanításunk során. Értekezésemben éppen ezért nem csupán a hagyományos területeken (pl. Kepler-törvények) történő alkalmazásra utalok röviden, hanem olyan témakörökben is mutatok rá lehetőségeket, amelyekre talán nem is gondolnánk. Ilyen például az elektrosztatika, a termodinamika, vagy például a mechanikai rezgések.

2.1 Mechanika

2.1.1 Kepler törvények

Szakköre javaslom a következő feladatot. A Masat-1 elliptikus pályán kering. Pályájának adataiból kiszámolhatjuk a sebességét pályájára állítása után „földközeli”, illetve „földtávoli” helyzetekben.

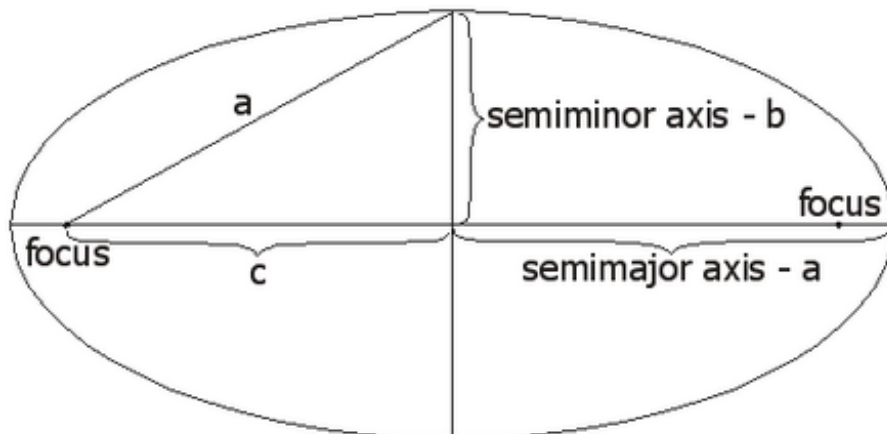
Életszerűbb, ha például az első magyar mesterséges hold pályára állításának egyéves évfordulójára a BME által kiadott sajtóközleményből vesszük a Masat-1-re vonatkozó adatokat. „A kezdetben 300 km-es földközeli és 1450 km-es földtávoli ponttal rendelkező

elliptikus pályán keringő űreszköz az elmúlt egy év alatt több mint 5 000-szer kerülte meg a Földet, valamint a vártnak megfelelően a pályája is módosult: 200 km-rel közelebb került a Földhöz, így a számítások szerint akár még további 2 évig keringhet és küldheti az adatokat. Az aktív működés időtartama a fejlesztők által becsült 3 hónapos minimum élettartamot már most jóval meghaladja. A pályáraállítás 1 éves évfordulóján a Masat-1 minden redundáns alrendszerében az elsődleges áramkör dolgozik, így nagy az esély a további hosszú távú kifogástalan működésre [26]

Először számoljuk ki az ellipszis kis és nagy tengelyének hosszát, illetve az excentricitását:

$$r_{\max} = 1450 \text{ km}, \quad r_{\min} = 300 \text{ km}, \quad r_{\text{Föld}} = 6371 \text{ km}$$

Mielőtt a számításhoz hozzákezdünk, érdemes ezeket a távolságokat földrajzi helyekkel szemléltetni. 300 km nagyjából Budapest Vásárosnamény távolsága, 1450 km Budapest Párizs. A 25. ábrán láthatjuk a számítás során felhasznált betűk jelentését.



25. ábra Az ellipszis paraméterezése keringési sebesség meghatározásához

$$a = \frac{r_{\min} + r_{\max}}{2} = R + \frac{h_{\min} + h_{\max}}{2} = 6371 + \frac{300 + 1450}{2} = 7246 \text{ (km)}$$

$$c = \frac{r_{\max} - r_{\min}}{2} = \frac{h_{\max} - h_{\min}}{2} = \frac{1450 - 300}{2} = 575 \text{ (km)}$$

$$e = \frac{c}{a} = \frac{575}{7246} = 0,079$$

$$b = \sqrt{a^2 - c^2} = \sqrt{7246^2 - 575^2} = 7223 \text{ (km)}$$

Ezt követően számítsuk ki a műhold sebességét a Földhöz legközelebbi és legtávolabbi pontokban. Az alábbi összefüggés már meghaladja a középiskolás tananyagot, ezért használata csak szakkörre javasolt. Feltétlenül érdemes ellenőriztetni a diákokkal, hogy

amennyiben az alábbi képletsor (1) összefüggésében az „a” helyére is „r”-t írunk,

viisszakapjuk a megszokott $v^2 = \frac{G \cdot M}{r}$ összefüggést, ahol G jelöli a gravitációs állandót.

$$(1) \quad v^2 = G \cdot M \cdot \left(\frac{2}{r} - \frac{1}{a} \right)$$

$$(2) \quad v_{close} = \sqrt{6,67 \cdot 10^{-11} \cdot 5,97 \cdot 10^{24} \cdot \left(\frac{2}{6371+300} - \frac{1}{7246} \right) \cdot 10^{-3}} = 0,13 \cdot 10^5 = 13000 \left(\frac{m}{s} \right)$$

$$(3) \quad v_{far} = \sqrt{6,67 \cdot 10^{-11} \cdot 5,97 \cdot 10^{24} \cdot \left(\frac{2}{6371+1450} - \frac{1}{7246} \right) \cdot 10^{-3}} = 0,068 \cdot 10^5 = 6800 \left(\frac{m}{s} \right)$$

Itt megjegyzem, hogy a feladat megoldása során használt jelöléseket bemutató ábra szándékosan angol nyelvű, hiszen már a középiskolában fel kell készítenünk a diákokat, hogy a nemzetközi tudományos világban az angol nyelv ismerete nélkülözhetetlen, a középiskolai nemzetközi fizikaversenyek is angol nyelven folynak, gondoljunk itt például az IYPT nemzetközi versenyre.

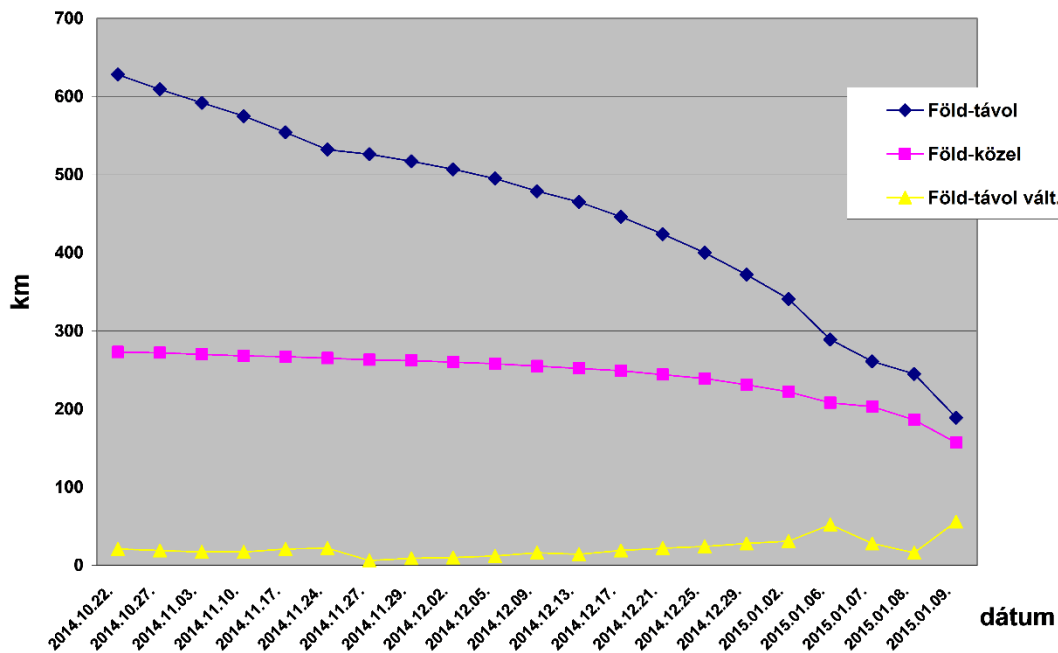
Köztudott, hogy a $v^2 = \frac{G \cdot M}{r}$ összefüggésnek az első kozmikus sebesség kiszámításánál is

szerepe van. Itt megint utalhatunk a Masat-1-re, melyet a VEGA hordozórakéta segítségével állítottak pályára, mely az egyenlítőhöz közeli Francia-Guyana-ban, Kourou-ban startolt. Érdeemes megbeszélni a diákokkal, hogy azért telepítik az űrközpontokat az egyenlítőhöz közel, mert így a Föld forgásából adódóan a rakéta már eleve 460 m/s-es sebességgel rendelkezik, amikor még el sem indult.

Az előbbi sajtóközleményben olvashatjuk továbbá, hogy a műhold pályája a vártnak megfelelően módosult, és 200 méterrel közelebb került a Földhöz. Megkérdezhetjük a diákoktól, hogy véleményük szerint ekkor a mesterséges hold sebessége kisebb, vagy nagyobb lesz-e, mint korábban? Így ez a sajtóközleménybeli információ kiválóan alkalmas arra, hogy megbeszéljük az úgynevezett égi mechanikai paradoxon fogalmát. A könnyebb megértés kedvéért célszerű körmozgás esetén megtárgyalni a jelenséget. Tekintettel arra, hogy itt már különböző energiákról is szó esik, ezt az elemzést csak akkor lehet megtenni, ha már tisztában vannak a diákok a mozgási és helyzeti energia fogalmával.

Érdekes elemezni, hogyan változott a Masat-1 pályája az utolsó időszakban. A 26. ábrán megfigyelhető, hogy a Masat-1 „életének” utolsó pár hónapjában pályájának földtávolsági

pontja fokozatosan közelebb került a felszínhez, míg a földközeli pontja alig változik, így pályának alakja egyre inkább közelített a körhöz.



26. ábra A Masat-1 pályajellemzői a küldetés utolsó időszakában (forrás: saját szerkesztés <http://www.ha5mrc.hu/hamsat/sats.html> alapján)

2.1.2 Sűrűség, rezgések

A mechanika témakörében foglalkozunk a sűrűség fogalmával. Feltétlenül célszerű konkrét, valóságból vett adatokkal is számoltatni sűrűségekre vonatkozó feladatokat, mert így közelebb tudjuk hozni a tanórai fizikát a valósághoz. A Masat-1 műszaki adatai között olvashatjuk, hogy egy 10 cm-szer 10 cm-es élhosszúságú kockáról van szó, és a tömege 1 kg. Kivetítve a műhold képét a táblára, megkérdezhetjük feladatban a sűrűségét. Igazából itt nincs szükség számolásra, hiszen azonnal adódik, hogy a víz sűrűségével egyező értéket kapunk. Itt tisztázhatjuk az átlagsűrűség fogalmát is, és célszerű megbeszélni, hogy a Masat-1 esetében csak átlagsűrűségről beszélhetünk. Tovább fűzve az előbbi feladatot, elmondhatjuk, hogy a Masat-1 borító lemezét 1 mm vastag speciális repülőgép alumíniumból készítették, így újabb feladatot adhatunk fel a diákoknak, melyben a kocka méretének, illetve a lemez vastagságának figyelembevételével kiszámoltathatjuk a borításhoz felhasznált alumínium tömegét. A számítás során az $m = \rho \cdot V$ összefüggést alkalmazva a számítás eredményeként 162 grammot kapunk.

A műholdak felbocsátásakor az indítástól a pályára állításig az eszközt rendkívül nagy és random rezgések érik. Érdekes erről is beszélnünk, hiszen nem szerencsés, ha a diákokban – főként a feladatmegoldások nyomán – a rezgésekről inkább csak a harmonikus rezgések jutnak eszükbe. Másfelől meg itt lehetőségünk van a pályaorientálásra, hiszen felhívhatjuk a diákok figyelmét, hogy a Magyar Tudományos Akadémia Energiatudományi Kutatóközpont (MTA EK) új űrtechnológiai tesztlaborjában lehetősége van a szakembereknek a rázkódással szembeni ellenállóság vizsgálatára (27. ábra).



27. ábra Rázópad a Masat-1 vizsgálatához (forrás: [27])

2.2 Elektromosság – mágnesség

2.2.1 Elektrosztatika

Az elektrosztatikában hangsúlyos szerepe van a Faraday kalitkának, illetve a hozzáfűzhető jelenségeknek. Kiváló lehetőség nyílik a gyakorlati életben történő alkalmazására a Masat-1 földi vezérlőállomásának átalakításának bemutatása. Eredetileg a távolság az antennák és a vezérlőállomás berendezései között 40 m volt. Így, amikor 2012 nyarán villámcsapás érte az antennákat, melynek során az antennarendszer egynegyede tönkrement és az antennarendszer használhatatlan lett, a nagy távolság miatt nem kellett félni attól, hogy a

műszerek is tönkremennek. Egy elkerülhetetlen költözés miatt azonban a későbbiekben a berendezéseket közel helyezték az antennákhoz. Ezért nagy figyelmet kellett fordítani annak a végiggondolására, hogy egy esetleges újabb villámcsapás ne tegye tönkre a beltéri egységeket is, sőt egy esetleges tragikus baleset is bekövetkezhetett volna a nagy áramerősség (30-50 ezer Amper) következtében. Emiatt a berendezéseket tartalmazó helyiséget leárnyékolták, azaz létrehoztak egy Faraday kalitkát (28. ábra)



28. ábra Faraday kalitka a Masat-1 irányító központjához (forrás: [27])

A Faraday kalitkát lehet lemezes borítással is kialakítani, de – mint azt jó néhány erre vonatkozó oktató videó filmben is lehet látni – meg lehet oldani sűrű fémháló alkalmazásával is. Itt is ezt a módszert alkalmazták. A kalitkához 5x5 cm-es 6 mm vastag acélhálót használtak. Természetesen akkor beszélhetünk valóban Faraday kalitkáról, ha az ablakok is be vannak rácsozva és az ajtók fémborításúak. Igen ám, de a Faraday kalitka alkalmazása maga után vont, hogy a helyiségbe nem lehet bevinni elektromos áram alatt levő vezetékeket. Ilyen módon tehát csak a kikapcsolt állapotban levő berendezéseket lehet megvédeni a villámcsapástól. Másképpen fogalmazva, csak viharmentes, villámmentes időben szabad használni ezeket a beltéri egységeket. Miután a mesterséges hold vezérléséhez folyamatos üzemre van szükség, így megoldást kellett találni erre a problémára. A tetőn

alakítottak ki úgynevezett rack szekrényeket, melyek igazából egy olyan automatizált állomást alkotnak, ahol emberek nem tartózkodnak. Ahhoz, hogy ez az automatizált és távvezérelt állomás független lehessen az épület elektromos hálózatától, önálló energiaellátó rendszert alakítottak ki négy napelemtábla segítségével [26].

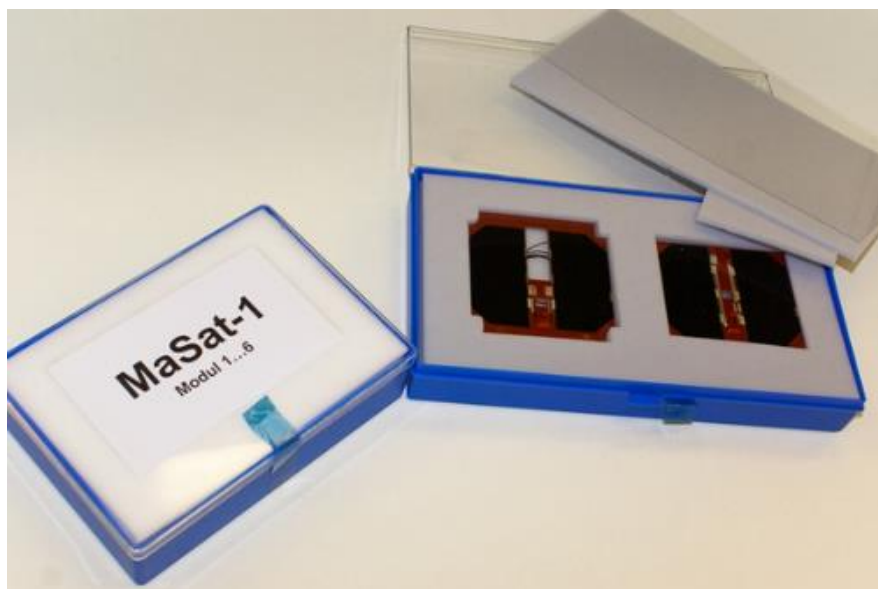
2.2.2 Energia

A Masat-1-nél a napelemek mellett szükség volt egy másodlagos energiaellátó rendszerre is, amelyet egy lítium-ion akkumulátorral oldottak meg. Az akkumulátor tette ki a kocka térfogatának egyharmad részét és a kocka tömegében is nagy arányt képviselt. Segítségével biztosítva volt a mesterséges hold energiaellátása olyankor is, amikor az a Föld árnyékos oldalán haladt. Az energia szétosztását a fedélzeti számítógép vezérelte.

Megbeszélhetjük, hogy a Li-ion akkumulátor az akkumulátortípusok közül a legdinamikusabban fejlődő típus, nevét onnan kapta, hogy benne a lítium ionok biztosítják a töltés tárolását. Egyre szélesebb körben alkalmazzák az űriparban.

2.2.3 Félvezetők

A félvezetők témakörébe tartozik a dióda felépítése és működése. Itt elmondhatjuk, hogy a Masat-1 műholdon két kísérletet is végeztek. Egyik ezek közül a napszenzor beépítése.



29. ábra A Masat-1 napelemei (forrás: [25])

A kocka minden oldalán található egy-egy infratartományra érzékeny p-n átmenet. Amikor megfelelő hullámhosszúságú fény éri őket áram indul meg bennük. A Nap különböző helyzetének megfelelően a hat diódát hat különböző intenzitású fény éri, így bennük különböző erősségű áramok jönnek létre. Ezeket az adatokat elemezve következtetni lehet a NAP helyzetére.

Nézzük meg a Masat-1 napelemeit (29. ábra). A Masat-1 napelemei a műhold elsődleges energiaforrásai. Miután itt egy cubesat-ról (az elnevezés egy szabvány méretre utal) van szó, így a napelemeket a kocka oldalain lehetett csak elhelyezni. Ebből adódóan a hat napelemből egyszerre mindig csak hármát éri a Nap sugarai. A mesterséges hold állandó forgásából adódóan ez a megvilágítás is folyamatosan változik. Így mind a hat elemhez külön áramkör tartozik.

Érdeemes elmondani, hogy a Föld felé irányuló napelemek is kapnak energiát, mivel a Föld albedója (elektromágneses hullámok visszaverődési képességének foka) jelentős: 30%. A napelemekből kinyerhető teljesítmény a kis felület miatt mindössze 1-2 W. A fejlesztés alatt levő Masat-2, illetve Masat-3 már nagyobb műholdak lesznek, így a napelemek is több energiát tudnak biztosítani az űreszköz részére. Érdekességképpen elmondhatjuk, hogy a Masat-1 napelemeit Budapesten, az Operettszínház színpadán tesztelték. A Nap sugárzását az erős színházi reflektorok fényével helyettesítették (30. ábra). A Masat-1 esetében is úgynevezett ürminősített napelemekről beszélhetünk.



30. ábra A Masat-1 napelemeinek tesztelése az Operaház reflektoraival
(forrás: [27])

2.3.4 Mágnesesség

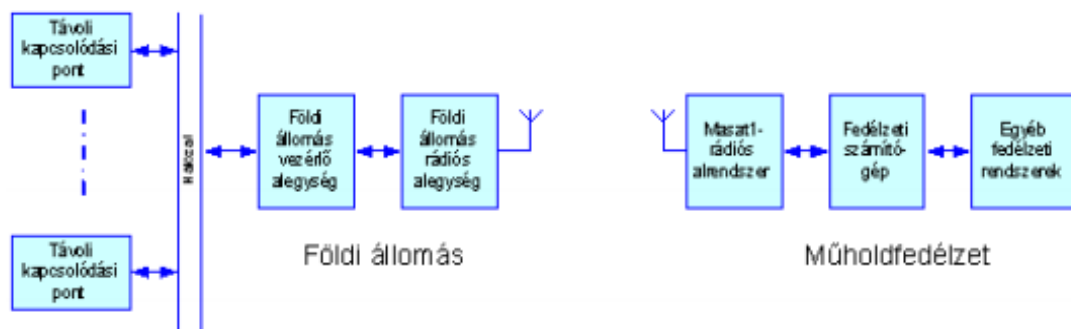
Az első magyar műhold is tartalmaz olyan berendezést, melyben van állandó mágnes, működése pedig szintén a mágnesesség témakörébe tartozik. A Masat-1 úgynevezett alrendszerekből épül fel. Ezek az energiaellátó rendszer, a fedélzeti számítógép, a fél-aktív mágneses stabilizáló rendszer és a kommunikációs rendszer. Ebben a fejezetben a fél-aktív stabilizáló rendszerről (ADCS Attitude Determination and Control System) írok bővebben, hiszen ebben található egy permanens mágnes és két elektromágnes. Ezeknek segítségével a pályán való keringés során változó mágneses eredőteret lehet létrehozni a Föld mágneses terét is bevonva a folyamatba. Itt megint érdemes felhívni a figyelmet a fizikában oly sok területen megtapasztalható és alapvető szerepet játszó szuperpozíció elvére. Az állandó mágnessel az antenna irányát állítják be. Az elektromágnes két tekercset tartalmaz, melyek egymásra is és az állandó mágnesre is merőlegesen helyezkednek el.

Itt szeretném megjegyezni, hogy ez az egység a mesterséges holdnak az egyetlen olyan alrendszere, mely nem redundáns, azaz egyetlen egy található belőle a Masat-1-en. Az elektromágnesben folyó áram erősségének változtatásával lehet befolyásolni a műhold mozgásállapotát. Az elektromágnes tekercseiben folyó áram mágneses mezőt hoz létre. Ez a mágneses mező erőt fejt ki a Föld mágneses mezejével szemben, így ez az erő megváltoztatja a perdületet, azaz megállíthatja a forgást. A Föld körül keringő mesterséges holdak esetében alapvető fontosságú, hogy a térbeli helyzetüket stabilizáljuk. Természetesen ezen a módon lehetséges a keringési pálya sugarát növelni, illetve a pálya sugarának csökkenésekor pedig a tekercsekben indukálódó áram segítségével energiát nyerhetünk. Fontos ez a csillagászati objektumok megfigyelésénél ugyanúgy, mint a célzott jeladásnál, vagy magánál a Föld felszínének megfigyelésénél [22].

Órán elmondhatjuk, hogy ezt a feladatot eddig kisméretű pörgettyűk, úgynevezett giroszkópok segítségével oldották meg. A pörgettyű elfordulásának hatására a hatás-ellenhatás elvén az üresköz is elfordul. Érdemes megjegyezni, hogy azért hasznos eszköz a fél aktív stabilizáló rendszer alkalmazása, mert a giroszkóp ugyan nem költséges berendezés, de alkalmazása során gyakorta lépnek fel technikai nehézségek, illetve rosszul bírják a sok éven át tartó üzemelést.

2.2.5 Elektromágneses hullámok

Az elektromágneses hullámok gyakorlati alkalmazásánál nagy figyelmet érdemelnek a műholdak. Minden mesterséges holdnak – ha lehet ilyet mondani – a lelke a távérzékelés, mely az általa észlelt, illetve kibocsájtott elektromágneses hullámok érzékelését foglalja magában. A Masat-1 esetében ezt a kommunikációs alrendszer testesíti meg (lásd 31. ábra), melyből a többi létfontosságú alrendszerhez hasonlóan – üzembiztonsági okokból – kettő volt. Tömege 75g, működési hőmérsékleti tartománya - 40C^o-tól + 80C^o-ig terjedt.



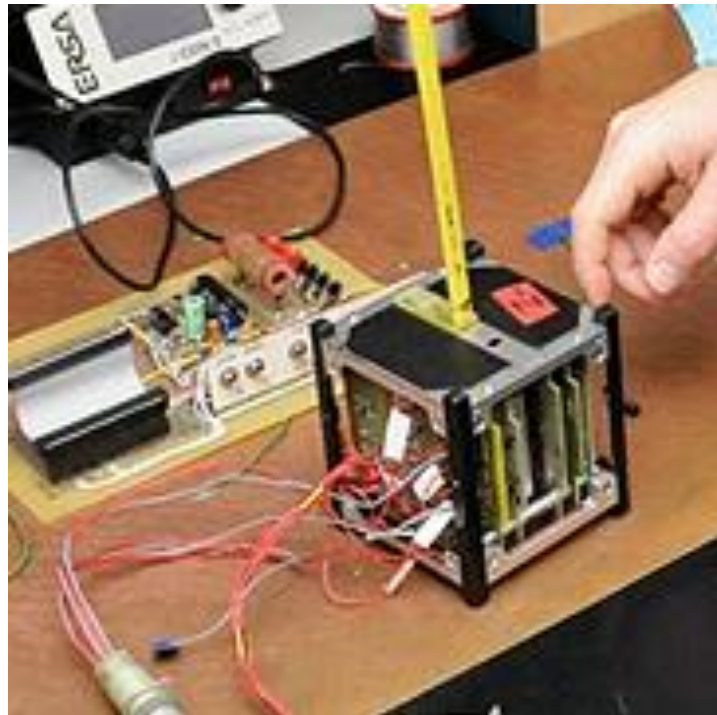
31. ábra A Masat-1 kommunikációs rendszerének felépítése (forrás: http://www.repulestudomany.hu/kulonszamok/2014_cikkek/2014-2-34-0141_Dudas_Levente_et_al.pdf)

Nemzetközi frekvenciaengedélyezési okok miatt a műhold két egymástól független frekvencián üzemelt: a 437 és a 145 MHz-es rádióamatőr frekvenciákon. Ennek köszönhetően életét végigkísérhették a rádióamatőrök, illetve a Masat-1 a vezérlőállomás felé értékes információkat tudott továbbítani, amelyeket az erre a célra tervezett internetes felületen is nyomon lehetett követni. Érdekességképpen elmondhatjuk, hogy felbocsájtása után 3 nappal megkapta az OSCAR számot: MO-72, jelezve ezzel, hogy a Masat-1 a világon a 72-es számú rádióamatőr műhold. Az elsőt 1961-ben bocsátották fel magánpénzből.

Az OSCAR mozaikszó jelentése angolul: **O**rbiting **S**atellite **C**arrying **A**mateur **R**adio, Az OSCAR szám kiadásának feltételeit megtalálhatjuk például a [26] hivatkozásban.

Külön szót érdemel a Masat-1 antennája, mely nem űrminősített anyagból készült, de ennek ellenére kifogástalanul működött. Az antenna egy – minden barkácsboltban kapható – fémmérőszalagnak a 17cm-es darabja. Természetesen előzetesen tesztelték, és azt tapasztalták a tervezők, hogy ez a fémmérőszalag tökéletesen működik űrbeli körülmények között is. A műszaki leírásból megtudhatjuk, hogy a CubeSat típusú űreszközökből kinyúló

fedélzeti eszközökre is szigorú nemzetközi előírások vonatkoznak, és különböző teszteknek kell megfelelniük (32. ábra).

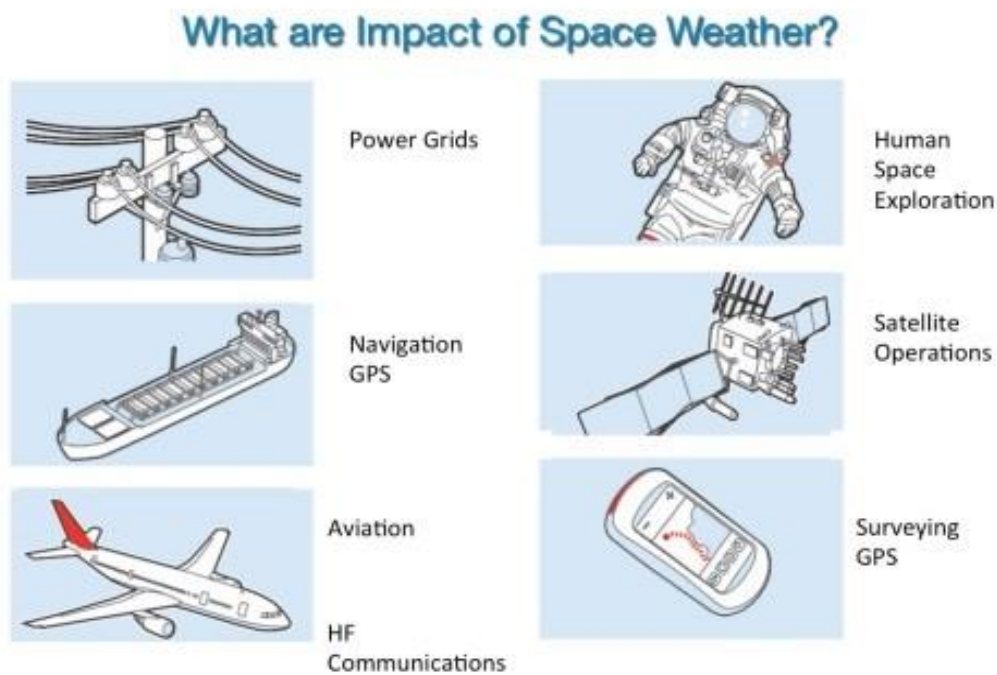


32. ábra A Masat-1 tesztelése (forrás: <http://cubesat.bme.hu/projektek/masat-1/>)

A Masat-1 antennával kapcsolatban adódik egy újabb egyszerű számítási feladat: Ha 437 MHz a rádióvevő frekvenciája, akkor ez a 17 cm a hullámhossz hányadrészenek felel meg? Tekintettel arra, hogy ismerjük az elektromágneses hullámok terjedési sebességét, így a $c = \lambda \cdot f$ összefüggést alkalmazva megkapjuk, hogy az antenna megközelítően a hullámhossz negyed része. A műszaki adatok leírásánál [27] olvashatjuk, hogy a doppler eltolódás értéke ± 10 kHz. A fentiekből látható, hogy tanításunk során egy-egy konkrét műszaki alkotás is rejthet magában sok-sok hivatkozási, alkalmazási lehetőséget.

3. Űridőjárásról a középiskolában

Diákjaink számára már természetes, hogy a műholdak által szolgáltatott adatok alapján készített időjárás előrejelzések, de mi történik, ha kedvezőtlen űridőjárás körülmények miatt ezek a mesterséges holdak nem tudnak adatokat szolgáltatni? Ezért fontos, hogy már középiskolában megismerkedjenek az űridőjárás fogalmával is (lásd [28] és [29]). Az űridőjárás alatt elsősorban a naptevékenységet, illetve az abból származó bolygónkhoz elérkező különböző hatásokat értjük. A kedvezőtlen űridőjárásnak beláthatatlan következménye lehet az emberi társadalmakra nézve, hiszen egy-egy erősebb plazmakitörés megbéníthatja az űreszközök elektronikus rendszerét és ez többek között komoly közlekedési problémákat jelenthet, vagy például az információáramlás akadozása akár pénzügyi tőzsdekrachhoz is vezethet.



33. ábra Az űridőjárás jellemző hatásterületei (forrás:

http://ccmc.gsfc.nasa.gov/support/ILWS/MATERIALS/All_School_Materials/Tutorials_Sunday/Introduction_Domains_Kuznetsova/Introduction_Domains_Masha_Kuznetsova_without_j2s.pdf)

Az 33. ábrán megfigyelhetjük az űridőjárás hatásait egy egyszerűsített változatban. Az űrkutatók, napfizikával foglalkozók körében ez a téma – kiemelkedő jelentősége miatt – az elmúlt években fokozatosan vált az egyik legfontosabb kutatási területté. A hétköznapiakban olyankor hallunk csak az űridőjárásról, amikor egy-egy komoly napkitörésnek figyelemre méltó hatása van mindennapjainkra. Ez valószínűleg így is marad annak ellenére, hogy

léteznek honlapok, ahol bárki megnézheti a Nap pillanatnyi állapotát. Nem válik szokásunkká nézegetni nap mint nap az űridőjárási jelentéseket, hiszen az esetleges lehetséges védekezés egy-egy mágneses viharral szemben továbbra sem az egyén feladata lesz. Ezeknek a honlapoknak az adatai ugyanakkor iskolai kutatómunkákhoz is nagyon jól használhatók.

Időnként meg lehet figyelni a Nap felszínén hirtelen fényesedéseket, illetve a felszínből kinyúló fényes alakzatokat, melyeket flereknek neveztek el. Ezek tulajdonképpen több milliányi atombomba energiájának megfelelő robbanások a Nap felszínén. Kialakulásuk oka, hogy a Nap nem minden része forog ugyanakkora szögsebességgel, így a Nap mágneses erővonalai keresztezhetik egymást, és ezek az összecsavarodott erővonalak okozzák ezeket az óriási robbanásokat. A flereket a 70-es évektől kezdve figyelik meg a GOES (Geostationary Operational Environmental Satellite) műholdak (34. ábra).



34. ábra A Napon megfigyelt “Fler”-ek (forrás: <http://www.space.com/24544-solar-flare-partial-eclipse-nasa-sdo.html>)

Ezeket a robbanásokat többnyire a Nap koronájából anyag kidobódás követi, melyet napkitörésként emlegetünk. A nemzetközi szakirodalomban CME-ként rövidítik a jelenséget (Coronal Mass Ejections, CME). Az iskolai fizika tanításban csak elvétve említjük meg ezeket a viszonylag új fogalmakat, melyek az űrkutatás és csillagászat fejlődésének köszönhetően mára mindennapossá váltak a szakmai körökben. Egy-egy jelentősebb

napkitörés során töltött részecskék sokasága érheti el bolygónkat. Ezek főként nagy energiájú elektronok, protonok és más nehézionok, melyek elérve a Föld mágneses mezejét (magnetoszféra) mágneses viharokat okoznak, eközben megzavarják az űreszközök elektronikus rendszerét, de sokszor a földi elektromos rendszerekre is hatással vannak.

Érdekességképpen megemlíthetjük, hogy Galilei volt az első aki az 1600-as évek elején megfigyelt a Nap felszínén sötétebb területeket, melyeket napfoltoknak hívunk. A flerekben, a napfoltok mágneses terében felhalmozódott energia szabadul fel. 1859. szeptember 1-én Richard Carrington angol csillagász felfigyelt egy kiterjedt napfolt csoportra, itt kialakultak flerek, majd az ezt követő koronakitörés 17 óra alatt elérte a Földet [30], melynek következtében olyan erős mágneses vihar alakult ki, hogy még az egyenlítőhöz közeli részeken is éjszaka lehetett olvasni a sarki fénynél. Az akkori Morse-féle táviró berendezéseket is megzavarta ez a jelentős napkitörés, de ekkor ennek a jelenségnek még nem ismerték az okát. Fontos megjegyezni, hogy ezek a töltött részecskék rendkívül nagy sebességgel, időnként a fénysebesség nagyságrendjébe eső sebességgel, akár 1 óra alatt is elérhetik a Föld magnetoszféráját. Szokás ezt az áramlatot napszélnek is emlegetni, de meg kell jegyezni, hogy a napszél többféle lehet. Forrása mindenképpen a Nap koronája, melynek hőmérséklete olyan magas (6000 K), hogy a részecskék egy részének a sebessége meghaladja a Nap gravitációja által meghatározott szökési sebességet, így el tudja hagyni a Nap felszínét. Közepes erősségű napszél esetén ezeknek a sebessége 400 km/s" (lásd [31]).

A napszélnek egy további fajtája a korona lyukakból kiáramló töltött részecskék sokasága. Extrém ultraibolya és röntgen sugárzás tartományába eső hullámhosszon lehet megfigyelni a Nap koronáján sötétebb részeket, ezeket nevezzük korona lyukaknak. Az innen kiáramlott részecskék sebessége elérheti akár a 900 km/s –mos sebességet is. A korona lyukak állandóan változnak mind méretüket, mind alakjukat tekintve. A különböző típusú napszeleket a Földön is lehet érzékelni. A Stanford Egyetemen található például a Wilcox Nap megfigyelő obszervatórium, ahol a Napon helytől függően határozzák meg a mágneses tér paramétereit.

3.1 Napvihar, űrvihar

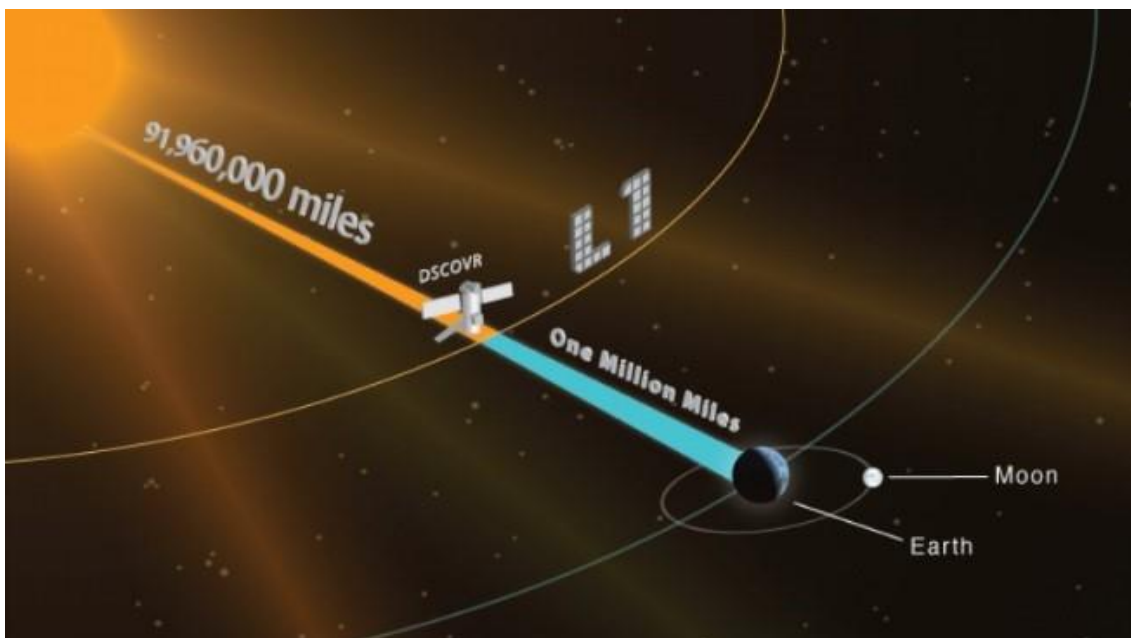
Különböző portálokat megnézve azt tapasztalhatjuk, hogy mind hazai, mind nemzetközi szinten keverik a híradásokban a két fogalmat: napvihar, illetve űrvihar. Fizika tanításunk során érdemes tisztázni a köztük lévő különbséget. Napvihar alatt a Nap felszínéről való

anyag és energia kitöréseket értjük. Ez nem feltétlenül okoz őrvihart. Ūrvihar alatt a kedvezőtlen űridőjárás megnyilvánulását értjük, mely fentebb, a 3. fejezet bevezetőjében említett számos fizikai hatással van a Föld környezetére.

3.2 Hogyan történik az űridőjárás figyelése?

Napjainkban igen sokrétűen történik az űridőjárás megfigyelése. A sokrétűség alatt értem a megfigyelő állomás helyszínét, földi és űrbéli megfigyelőállomások, illetve az érzékelő eszközök is ennek megfelelően rendkívül széles skálán mozognak. Talán ez is az oka, hogy iskolai keretek között normál tanórán erről a témáról nemigen esik szó. A projekt alapú tanításban ezzel szemben érdemes figyelmet szentelnünk ezeknek az eszközöknek, hiszen működési elveik sokszor a fizika különböző területein megtanult törvények megértését segíthetik, illetve a törvények gyakorlati életben történő alkalmazásának mutatják szép példáját.

A DSCOVR (Deep Space Climate Observatory) műhold az első olyan mesterséges hold, melyet kifejezetten az űridőjárás megfigyelésére, illetve előrejelzésére állítottak pályára (35. ábra).



35. ábra A DSCOVR műhold pályája (forrás: <http://www.noaa.gov/its-all-systems-go-noaas-first-space-weather-satellite>)

Az űreszköz a Föld-Nap-űrszonda háromtest-probléma L1 Lagrange pontja környékén kering, azaz ebben a pontban a Nap és a Föld gravitációs vonzása kiegyenlíti egymást. Az

űreszköz elsődleges érzékelője az úgynevezett Faraday Cup plazmaszenzor, mely működésének elve, hogy a töltött részecskék hatására az áramkörben elektromos áram jön létre, és ennek erősségéből lehet következtetni a töltött részecskék intenzitására. A Faraday Cup szenzor tudja mérni a hőmérsékletet, illetve a részecskék sebességét. A mért adatok valós időben bárki számára elérhetők az Egyesült Államok kormányzata Nemzeti Óceáni és Légköri Hivatalának (NOAA National Oceanic And Atmospheric Administration) honlapján (<http://www.swpc.noaa.gov/products/real-time-solar-wind%20>), így azok iskolai elemzésre is alkalmasak. Az eszköz kapcsán lehetőség nyílik arra, hogy világossá tegyünk a hőmérsékleti sebesség fogalmát.

A fizika tanítása közben először beszélünk hőmérsékletről, melyet fenomenológiai alapon vezetünk be, majd értelmezzük a testek belső energiáját. A kinetikus gázmodellben teremtünk kapcsolatot elméleti úton a makroszkopikus világban értelmezett hőmérséklet fogalom és a mikroszkopikus világban megjelenő részecskék mozgási energiája, azaz sebessége között. Ez az összekapcsolás, illetve átmenet az egyik értelmezésből a másikba a diákoknak nem könnyű. Emiatt szerencsés bevezetni a légtérben a hőmérsékleti sebesség fogalmát, mely könnyebben megérthetővé teszi a hőmérséklet fizikai mennyiségét. A DSCOVR mesterséges hold másik alapvető műszere egy magnetométer, mely mérni tudja a napszél mágneses mezejének erősségét és irányát, ezáltal előre lehet jelezni egy közelgő nagyobb erősségű mágneses vihart.

Felmerülhet a kérdés, hogy a fizika tanítása során mikor célszerű az űridőjárást megemlíteni. Erre több lehetőség is kínálkozik. Akár a magnetométer tanításánál, de például a Lorentz erő említésénél, a sarki fény kapcsán is kiváló alkalom van a fogalom megismertetésére. Talán a legszerencsésebb többször visszatérni ehhez a fogalomhoz. A normál légköri időjárás előrejelzések különböző modellek alapján, számítások révén jönnek létre. A DSCOVR műhold műszerei által mért adatok segítségével megszülethet a geospace modell, mely alapjául szolgálhat az eddiginél sokkal fejlettebb űridőjárás előrejelzésnek.

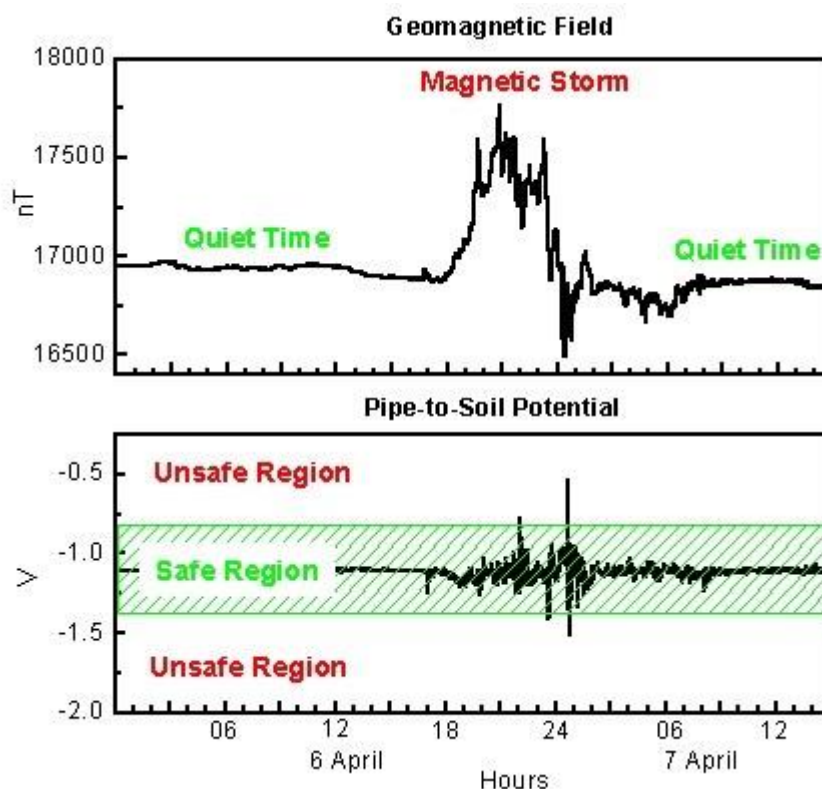
3.3 Egy kevésbé ismert hatása a kedvezőtlen űridőjárásnak

A kedvezőtlen űridőjárás hatásai között szerepel egy első hallásra talán meglepő jelenség is, a csővezetékek korróziója. Gondoljunk itt a kőolaj-, a gáz-, vagy akár a vizet szállító hatalmas csőhálózatokra. Ezek a csövek, ahhoz, hogy a megfelelő nyomást elbírják, acélból készülnek. Emiatt viszont nagy figyelmet kell fordítani a korrózióvédelemre. Kívülről

szigetelik őket, illetve sokszor elektrokémiai eljárás alkalmazásával is igyekeznek lassítani a korróziót. Az eljárást katódvédelemnek nevezik. Ennek lényege, hogy a védendő csővezeték tölti be a katód szerepét és a környező talajba helyezett megfelelő eszköz (a csővezeték anyagánál nagyobb elektron negativitású anyag, például magnézium) az anódét. Egy egyenáramú áramforrásra kötve létrejön az elektronok megfelelő irányú áramlása, így a védendő csővezeték nem korrodál.

A folyamatra jellemző egy $-0,85\text{V}$ és $-1,35\text{V}$ közötti biztonságos feszültségtartomány. Erősebb naptevékenység hatására kialakuló geomágneses viharok idején a rendszerben lévő feszültségérték kikerülhet ebből a biztonsági tartományból, veszélyeztetve ezáltal a katódvédelem megfelelő működését.

A 36. ábrán egy ilyen feszültség ingadozást figyelhetünk meg 2000 áprilisában. Jól lehet látni, hogy a katódvédelem feszültségét hogyan befolyásolta a mágneses vihar. Az adatokat Ottawában a Gemagnetic Laboratory-ban rögzítették.



36. ábra: Geomágneses vihar (felső görbe) hatása a katódvédelemre (alsó görbe)
(forrás: <http://www.spaceweather.gc.ca/tech/se-pip-en.php>)

3.4 A kedvezőtlen űridőjárás biológiai hatásai

Már több évtizede, hogy az ember megjelent a világűrben. Az űrhajósok számára komoly veszélyt jelent a napszél. Többek között a Mars-programok megvalósításánál is még a megoldandó problémák között szerepel az űrhajósok részecskesugárzás elleni védelme, ugyanis a világűrben az űrhajósoknál a fokozott sugárterhelés miatt megnövekszik a daganatos betegségek kockázata, emellett a központi idegrendszer is könnyebben károsodhat, valamint az érrendszerre is kihatással lehet az extrém részecskesugárzás.

A leírtak alapján érzékelhető, hogy az űridőjárás kutatása egy szerteágazó és nagyon jelentős szakterület, így a témával való részletesebb foglalkozás a középiskolában kiválóan alkalmas akár pályorientáció kialakítására is, illetve önálló kutatási területnek. Erre példa, hogy a Fizika mindenkinek versenyen diákjaim a döntőbe bejutottak a Lagrange pontok bemutatásával, melyekről velük előtte fizika szakkörön beszélgettünk.

4. Motiválás komplex fizikai és műszaki alkotások megismerése révén

4.1 Fizika mindenkinek verseny

Hosszú évek óta tapasztalom, sok olyan diák van, akinek képességei révén nem adatik meg, hogy a tradicionális, karakterét tekintve inkább feladatmegoldó versenyeken sikerélményhez jusson. Többen közülük viszont a fizikában inkább az innovatív kísérletek iránt érdeklődnek, és inkább a kísérletezésben mélyülnek el szívesen. Ugyanakkor, ha meggondoljuk, hogy a fizikának a szíve éppen a kísérletezés, akkor véleményem szerint nagyon örvendetes, hogy vannak olyan versenyek, melyek főként a kísérletekre és azok kiértékelésére épülnek.

Álláspontom szerint nagyon fontos, hogy megtaláljuk diákjainknak – személyre szabottan – azokat a versenyeket, amelyeken elindulva van esélyük jó eredményt elérni. Úgy gondolom, ez a törekvés egy nagyon fontos eleme annak, hogy ismét népszerűbbé váljon a fizika. Szerintem ugyanis nem elég, ha csak a legjobb feladatmegoldó diákokra helyezzük a hangsúlyt, ehelyett minél szélesebb körben kell gondolkoznunk, hogy diákjainkat sikerélményhez juttassuk. A továbbiakban arra mutatok példákat, hogy a komplex fizikai és műszaki megoldások révén milyen versenyeken és melyik témákban szerepeltek jól diákjaim.

Korábban egy zeneművészeti szakközépiskolában tanítottam, ahol azelőtt, hogy odakerültem, nem versenyeztek fizikából a diákok. Ottlétem alatt minden évben szereztünk dobogós helyezeket a Fizika mindenkinek (<http://eit.bme.hu/events/20171130/fizika-mindenkinek>) című, a BME által szervezett országos középiskolai versenyen. Egyik diákom a Masat-1-et mutatta be középiskolás szemmel, ő harmadik helyezést ért el. Kutatómunkája során megismerkedett különböző úrkutatással foglalkozó hírportálokkal, és a Masat-1-et megépítő akkori egyetemisták leírásaival az első magyar műholdról. Ez a diákom zenész lesz, de nagy élmény volt számára a BME-n részt venni egy fizika verseny döntőjében. Egy másik diákom a fizika és a művészet kapcsolatának egyik példáját elemezte a NASA és az origami címmel, mellyel korcsoportjában első helyezést ért el. Előadásában arról beszélt, hogy a NASA szakemberei origami művészeket hívtak meg, hogy segítsenek a minél nagyobb felületű napelem összecsomagolásának megtervezésében.

Ismét más diákjaim az „Eötvös ingától a GOCE mesterséges holdakig” című előadással lettek dobogósok. Munkájukban többek között megkeresték a párhuzamokat, illetve a különbségeket a két mérési eljárás között. Eközben ismertették az űrgravimetria alapjait. Ketten is közülük jelenleg a BME hallgatói.

Szeretném hangsúlyozni, hogy véleményem szerint az űrkutatáshoz kapcsolódó komplex fizikai és műszaki alkotások hangsúlyos és folyamatos említése az alapvető oka annak, hogy a diákok a versenyeken ilyen sikereket értek el, de hozzá szeretném tenni, hogy ezáltal más témájú munkákkal is szép eredményeket értek el. Egyik szintén általam felkészített győztes csapat például a hazugságvizsgálót járta körbe működés, fizikai jellemzők, illetve jogi megközelítés alapján. Egy másik csapatom ugyan egyfős volt, de így is különdíjat nyert „Galileo Galilei hulahopp karikája és más fizikai érdekességek” című munkája révén. Előadásának megkapó ötlete a következő volt: minden egyes kísérlet előtt – miután ismertette, hogy mit fog csinálni –, feltette a kérdést a közönségnek kvíz formájában, hogy vajon mi fog történni. Az előadásához készített powerpoint bemutatójából láthatunk egy részletet az 37. ábrán.



Mi fog történni a papírpénzzel?

A: A papírpénz meg fog gyulladni
B: Nem lesz semmi baja a pénzünknek
C: Nem fog meggyulladni a teafilter az anyaga miatt

A helyes válasz: B ➡ A papírpénznek nem lesz semmi baja, nem gyullad meg

37. ábra A hallgatóság aktív bevonása kísérletezés során (forrás: diákom versenymunkája)

Az előadásának további lényeges és nagyon értékes eleme volt, hogy a kísérleteket meg is csinálta, és közben folyamatosan szóval tartotta a közönséget, magyarázta, hogy mi történik.

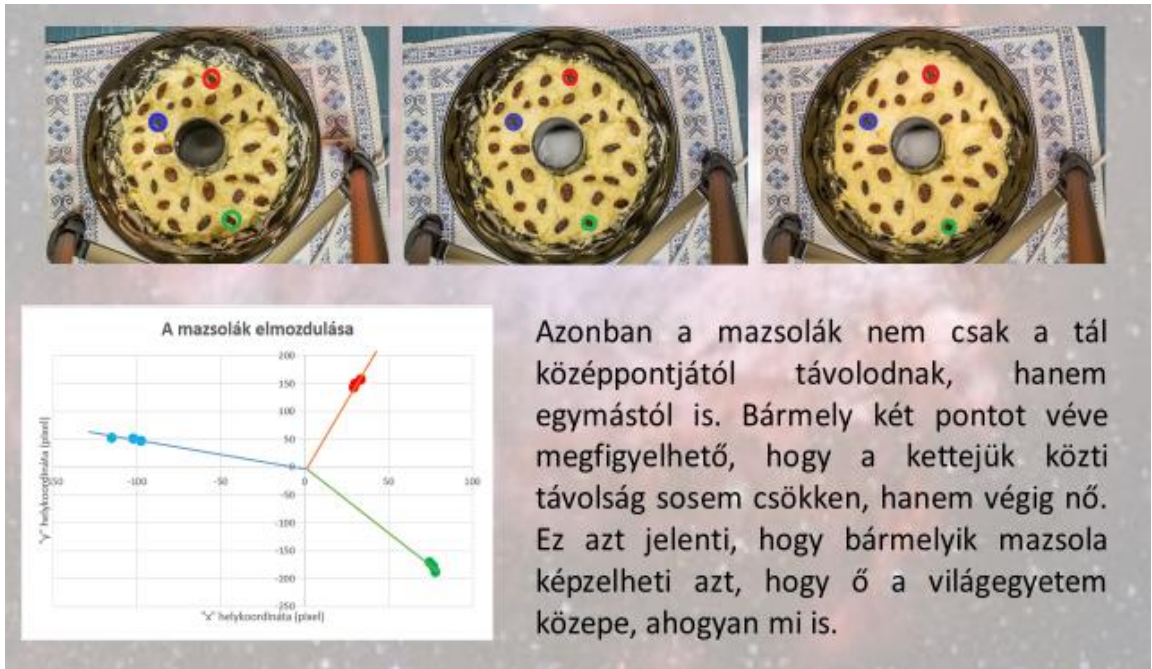
A versenyre jelentkezéskor több diáknak problémát jelent a téma kiválasztása. Ebben nagy szerepe lehet a felkészítő tanárnak. Ilyenkor érdeklődni szoktam, hogy mi a hobbyjuk, és próbálok hozzájuk közel álló témát ajánlani nekik. Ennek következtében volt egy csapat, akik a lovak járását elemezték. Itt - felkészítő tanárként - arra kellett figyelnem, hogy megbízható, és tudományos szempontból értékes forrásokat használjanak fel. Ennek szellemében például a Fizika Szemlében ajánlottam nekik a témájukkal kapcsolatos írásokat. A statikai elemzés mellett helyet kapott az ismeretterjesztés is, ugyanis megismertették a közönséget a különböző típusú lólépésekkel, illetve azok elnevezéseivel. Ebben a tanévben – zeneművészeti szakközépiskolás tanárként – nyertem el a legeredményesebb felkészítő tanár címet.

Két éve egy egészen más jellegű középiskolában, egy nyolcosztályos gimnáziumban tanítok, de itt is sikerült élénkíteni a versenykedvet és már értek el a diákjaim nagyon jó eredményeket. Ebben a tanévben ismét sikerült megkapnom a legjobb felkészítő tanárnak járó elismerő oklevelet.

A mostani iskolából induló csapatok közül hármat említenék meg, amelyek kapcsolhatók az űrkutatáshoz. Az egyik csapat a már korábban említett műholdkép elemzéssel került be a döntőbe. Munkájuknak lényeges eleme, hogy ők maguk hozták létre az ESA által kimondottan középiskolai oktatási célra kifejlesztett program segítségével színes képeket eredeti műholdfelvételek feldolgozásával.

A másik csapat a Lagrange pontokat ismertette és felvázolták az űrkutatók Lagrange pontokkal kapcsolatos jövőben magvalósítandó terveit. Ez a kutatómunkájuk a fizika szakkörünk által elnyert „Út a tudományhoz” pályázat kutatásához is kapcsolódott, hiszen ennek a pályázatnak a lényege az űrbányászat kérdésének körüljárása volt.

A kozmológiához volt kapcsolható a tizenkettedik évfolyamos diákok munkája, akik a táguló világegyetemet a kelő mazsolás kuglóftészta segítségével szimbolizálták. Biztatásomra méréseket is végeztek a tészta kelése közben 3 időpontban, és az eredményekkel illusztrálták a tényt, hogy nincs a világegyetemnek egy középpontja (38. ábra). Előadásukkal dobogós helyen végeztek.



Azonban a mazsolák nem csak a tál középpontjától távolodnak, hanem egymástól is. Bármely két pontot véve megfigyelhető, hogy a kettejük közti távolság sosem csökken, hanem végig nő. Ez azt jelenti, hogy bármelyik mazsola képzelheti azt, hogy ő a világegyetem közepe, ahogyan mi is.

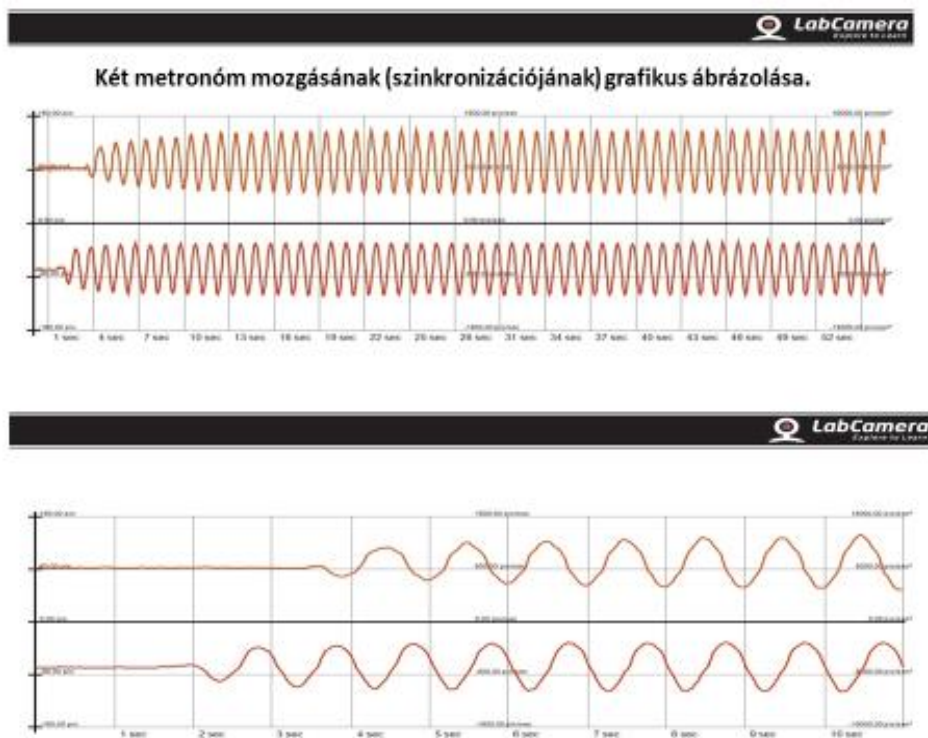
38. ábra Táguló világegyetem modellezése – kuglófsütéssel (forrás: diákjaim versenyműve)

Végül egy szintén nem úrkutatáshoz kapcsolódó eredményes versenymunkát említek meg. Szintén végzős diákok azonos ütemre beállított metronókok szinkronizációját próbálták megvalósítani (39. ábra). Ennél a kísérletnél ismerttettem meg velük a LABCAM programot, melyet szélekörűen lehet alkalmazni fizikai kísérleteknél.



39. ábra Metronókok szinkronizációjának mérési összeállítása és a LABCAM program alkalmazása (forrás: saját kép)

A 40. ábrán láthatjuk, amint két metronom esetében a LABCAM program segítségével ábrázolták a metronókok ütéseit. A fizikában manapság egyre több meghökkentő területről lehet hallani, gondolok itt a hálózatelméletre, a már régebb óta meglévő káoszelméletére, vagy akár a kollektív viselkedés fizikai tárgyalására. Ezek bár korántsem középiskolai szintű matematikai háttérük van, mégis a jelenségek vizsgálata tanári irányítás mellett megjelenhet már a középiskolában is. Matematikai leírás nélkül is megérthetik például a diákok, hogy rugalmas összeköttetésben levő metronókok, melyek kezdetben azonos frekvenciával, de különböző fázisban ütnek, egy idő után képesek szinkronizálódni, azaz egyszerre ütni.



40. ábra Metronókok szinkronizálásának grafikus ábrázolása LabCam programmal (diákkísérlet)

4.2 Kerületi Fizika Verseny

Kerületünkben hosszú évek kihagyása után a tavalyi tanévben kerületi fizikaversenyt rendeztünk az általános iskolai korosztály részére. 2017-ben a Masat-1 pályára állításának 5 éves évfordulója kapcsán javasoltam, hogy a versenyre benevező csapatoknak legyen egy előre beadandó feladata, készítsenek egy prezentációt, mely bemutatja az első magyar

műholdat, illetve magyar vonatkozású űrkutatással kapcsolatos témában is készíthettek bemutatót.

A verseny előtt rögtönöztünk egy kis kiállítást és a kutatómunkám kapcsán elérhető űrkutatással kapcsolatos tárgyakat állítottuk ki az érkező vendégek diákok és tanárok részére. Az idei tanévben a versenyre belépőül egy általuk elvégzett kísérletet kellett videóra venniük és elküldeni a jelentkezési lap kíséretében. Jó érzés volt látni a beküldött filmekben, amint a diákok vidáman kísérleteznek, s közben magyarázzák annak fizikai lényegét. Az egyik csapat például „sűrűségtoronyt” épített, melynél a különböző sűrűségű folyadékokat úgy színezték ki, hogy végül együttesen a nemzeti lobogónk színeit adták ki (41. ábra).



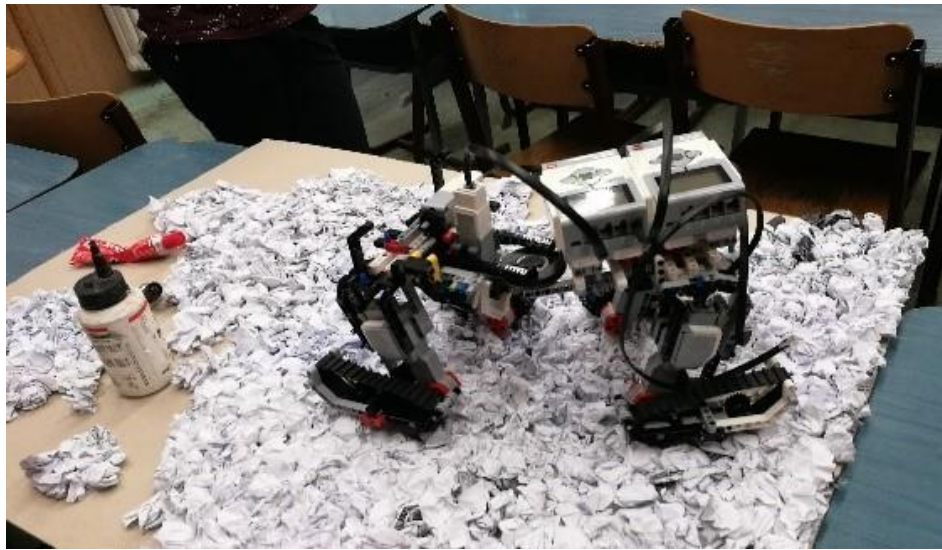
41. ábra Nemzeti színű „sűrűségtorony” (diákkísérlet)

Voltak, akik kis mágneseket helyeztek egy tál vízbe, a kísérlet során egyre több mágnes volt a vízben, ily módon egyre nagyobb oldalszámú szabályos sokszög csúcaiban helyezkedtek el a mágnesek. Ők kísérletüknek a mágnes geometria címet adták.

4.3 Út a tudományhoz pályázat

Iskolánk a tavalyi tanévben eredményesen pályázott a Emberi Erőforrások Minisztériuma által kiírt „Út a tudományhoz” pályázaton. A pályázatban kutatási témának az űrbányászatot jelöltük meg az 5 fős diák kutatócsoportunk részére. A végrehajtás során egyrészt kutatómunkát végeztek a diákok az űrbányászattal kapcsolatban, másrészt pedig a bányászat szimulálására egy robotot építettek LEGO mindstorm EV 3 robot segítségével. A robotról,

és az űrbéli körülményeket jelképező terep készítéséről látható felvétel a kezdeti stádiumban az 42. ábrán.



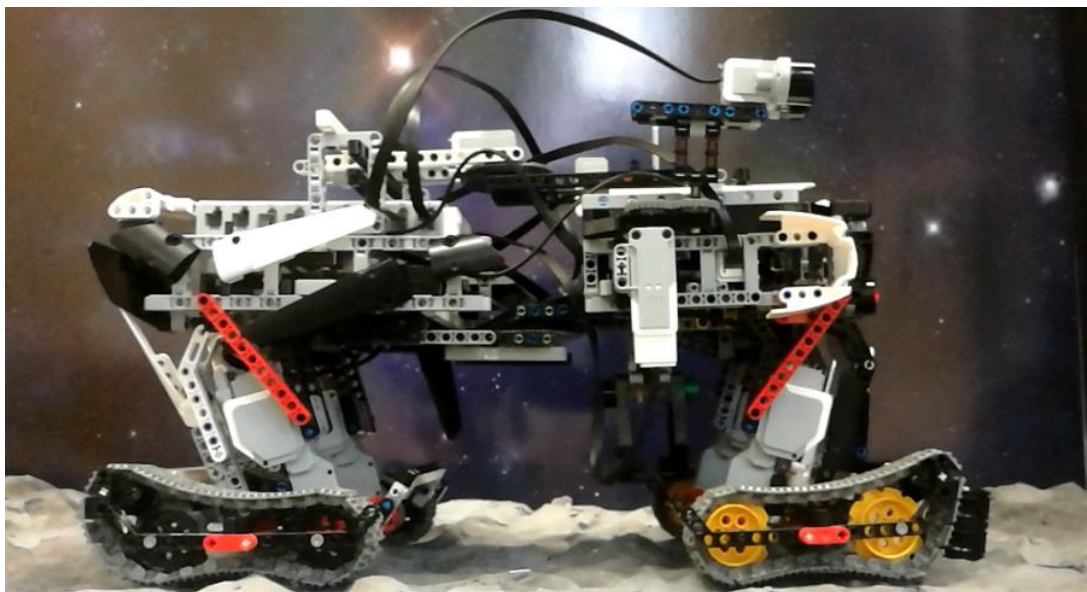
42. ábra Égitestek felszínén járó robot (felül) és a kísérleti felszíni terep készítése (alul) (diákkísérlet)

A robotot 4 nagyméretű motor hajtja, melyek közvetlen a lábaknál találhatóak meg. Ezek a motorok szinkronban működve hajtják a gépet. Sebességük szükség szerint állítható. Az emelőkart két másik motor irányítja. Bár ezek mérete kisebb, de ez nem probléma, ugyanis itt nincs szükség akkora teljesítményre, úgy, mint az előbb, ráadásul előny, hogy így a robotot kompaktabbra is meg lehetett építeni.

A roboton található két darab távolságmérő szenzor is, amivel a pontos mozgás és térbeli elhelyezkedést lehet biztosítani. Ezek a távolságmérő szenzorok külön forgathatóak, annak érdekében, hogy a tér minden irányában lehessen érzékelni a közelben lévő objektumokat. A robot képes érzékelni a nappal-éjszaka változást, továbbá képes a hőmérséklet mérésére is, egy erre alkalmas szenzor segítségével. Ezek a mérés során kapott különböző adatok a központi agyon láthatóak a mérés idejében. A gép irányítását két agy biztosítja melyek bluetooth kapcsolattal kommunikálnak. A zord űrbéli körülmények miatt lánctalpakat alkalmaztak kerekek helyett.

A csoport 3 tagja terepasztalt készített a robot számára, biztosítva ezzel a kellően egyenetlen talajviszonyokat. A terepasztal készítése során egy vastag kartonlapra papírgalacsinokat ragasztottak, majd ezekre papírlapokat simítottak, illetve ragasztottak, végül, pedig a sűrű különböző árnyalataira befestették a tetejét, hogy visszaadják az űstökösök kietlen hepehupás felszínét (42. ábra).

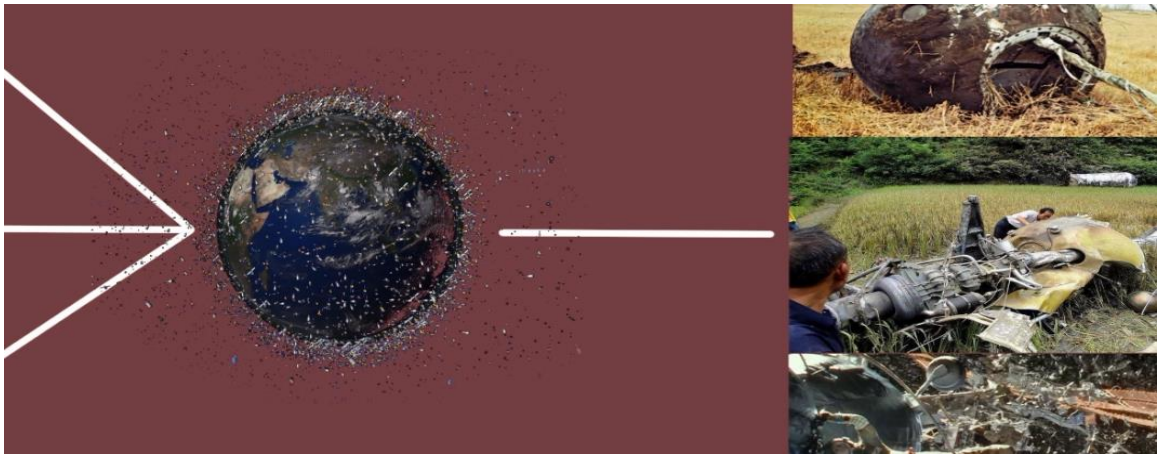
A kutatócsoport két lányból és három fiúból állt, akik az iskolai robotika szakkör és fizika szakkör tagjaiból kerültek ki. A munka nagy részét a fizika teremben végezték szabadidejükben. A program keretében ellátogattak a szentgotthárdi Opel gyárba is, ahol a valóságban is láthattak robotokat összehangoltan dolgozni. Az elkészült robotot munka közben láthatjuk a 43. ábrán.



43. ábra Saját készítésű űrbányász robot (diákkísérlet)

4.4 Magyar Asztronautikai Társaság Diákpályázata

Diákjaimat buzdítom, hogy vegyenek részt a Magyar Asztronautikai Társaság (MANT) diákpályázatán, hiszen egyrészt mindig nagyon érdekes témát hirdetnek meg és a legjobb eredményt elérők ingyen részt vehetnek a MANT nyári űrkutató táborában. Másfelől itt olyan diákok is jó eséllyel indulhatnak, akik például kézügyesek, jól tudnak rajzolni. Egyik diákom első helyezést ért el kisfilmjével, melyet a „Takarítás a világűrben” című pályázatra nyújtott be. Az 44. ábrán láthatunk a kisfilmből egy képet:



44. ábra Részlet a „Takarítás a világűrben” kisfilmből (diákkísérlet)

5. Arduino alkalmazások, robotika

5.1 Akusztikus lebegtető

Néhány éve még csak hallomásból ismertem az Arduinot, de használni nem használtam. Idegenkedtem a mikroelektronikától, – gondolom sok kollégámhoz hasonlóan – hiszen még soha nem volt szükségem rá, nem volt dolgom vele. Az Arduino egy olcsó microcontroller, amely Magyarországon és külföldről is beszerezhető. Mi magunk írhatunk rá programokat, C++ programnyelvben, de az interneten rendkívül sok már kész program található hozzá. Egyik végzős diákom, Nagy Dániel még augusztusban azzal keresett meg, hogy szeretne akusztikus lebegtetőt építeni. Én ennek nagyon megörültem, mert ezzel a témával már korábban régebbi tanítványaim is foglalkoztak, de ők a Bay Zoltán Tudomány- és Technikatörténeti Alapítvány és a BME Egyesült Innovációs és Tudásközpontja által meghirdetett verseny döntőjébe az akusztikus lebegést még csak elméletben ismertették. Nagy Dániel egy nagyon jól használható leírást talált a megvalósításhoz az interneten a www.instructables.com honlapon, mely a kreatív megoldásokat gyűjti össze. Az eszköz megépítése során az első nehézség a felül 36, és alul 36 ultrahangos jeladó elhelyezésére alkalmas tartó 3D-s nyomtatása volt. Sok utánajárás után egy cég elvállalta a nyomtatását ingyen. Diákom kitarató munkával összerakta a berendezést, elvégezte a szükséges forrasztásokat, de először nem következett be a várva várt lebegés. Ezután ismét alaposan elolvasta a leírást, néhány forrasztást szétszedett, majd újra forrasztott, így végre az eszköz működőképes lett (45. ábra).



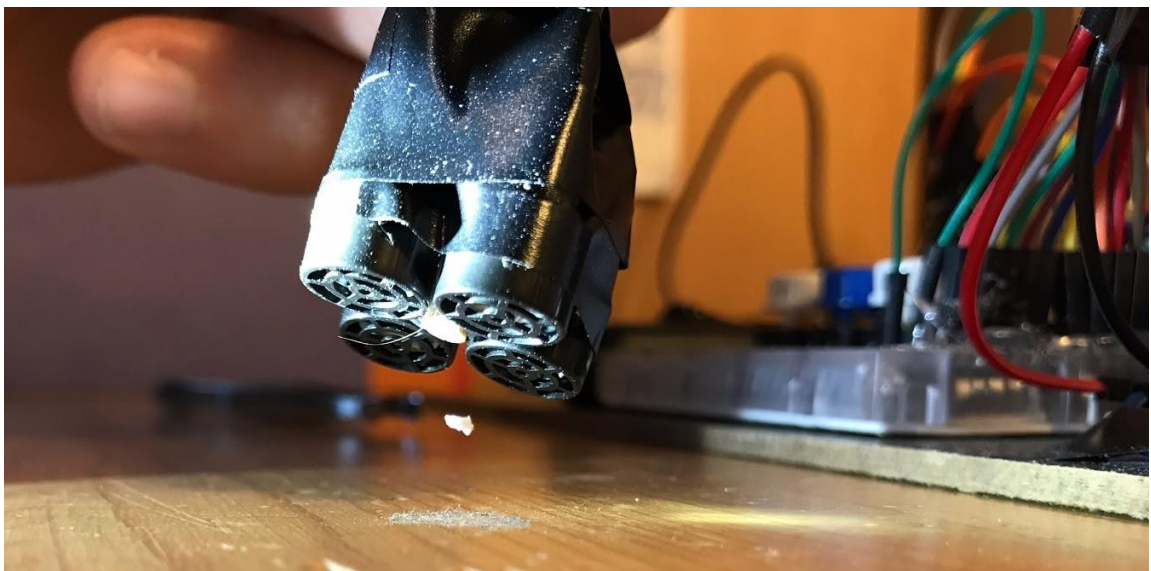
45. ábra A levitátor működés közben (diákfotó)

Apró hungarocell darabkák, papírdarabkák lebegtek egymás alatt az ultrahangos jeladók által létrehozott állóhullámok csomópontjai alatt. Az első nehézség a tárgyakat elhelyezni a lebegtetőben, hiszen ezek rendkívül kicsik (1-2mm). Kézzel nem nyúlhatunk bele a lebegtetőbe, mert ez befolyásolja a hanghullámokat. Ezért készítette el a képen látható eszközöket, melyeknek a kísérlet szempontjából lényeges része a hurkapálca végére rögzített szúnyogháló darab (46. ábra). Ezek segítségével már sokkal könnyebb volt elhelyezni a tárgyakat a lebegtetőben.



46. ábra Saját készítésű adagoló kanalak levitátorhoz (diákkísérlet)

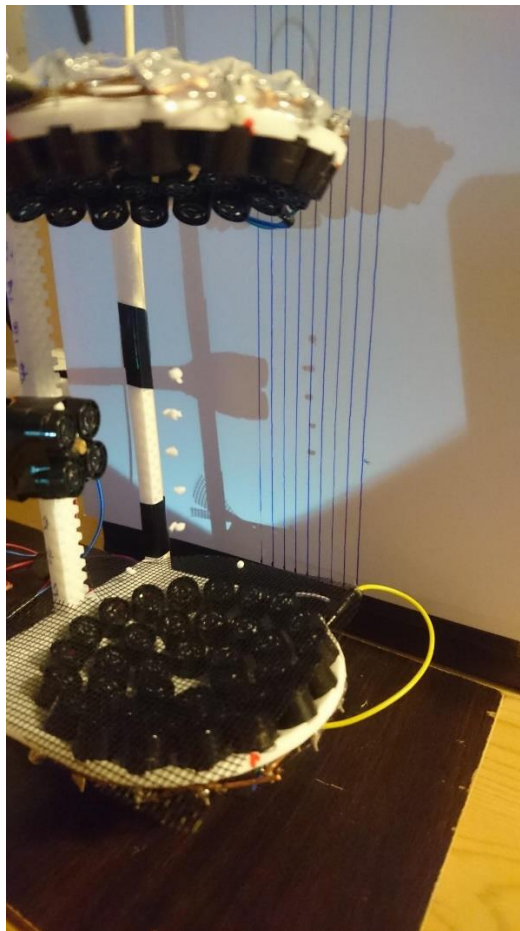
Az eredeti eszközt tanítványom továbbfejlesztette. Tekintettel arra, hogy már dolgozott Arduinóval korábban is, így nem okozott neki problémát megtervezni és kivitelezni egy TV távirányítóval vezérelt Arduinomotorral meghajtott kart, mellyel különböző magasságokba tudta behelyezni a kis tárgyakat. Emellett készített egy kisebb levitátort is (47. ábra), melyet ultrahangos pálcának nevezett el.



47. ábra Saját tervezésű lebegtető (diákkísérlet)

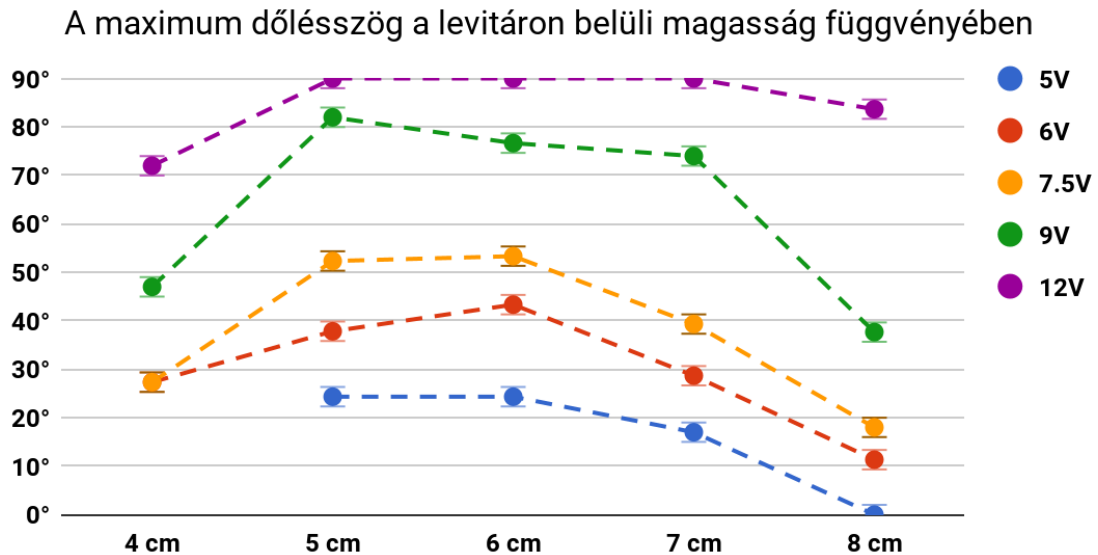
Ez az eszköz is képes kisebb tárgyakat lebegtetni. Megpróbálta a tárgyakat ezzel a saját maga által tervezett ultrahangos pólca közelítésével és távolításával mozgatni is, ami szintén sikerült.

Az International Young Physicist Tournament (IYPT) versenyen ebben a tanévben a választható témák között szerepelt az akusztikus lebegtetés is. Így ő a versenyre készüléskor saját eszközével tudott különböző kísérleteket végezni. A nemzetközi verseny magyarországi válogatójára 3 jelentősebb kísérletet végzett el a levitátorral, amelyeket előadásában részletesen be is mutatott az akusztikus lebegés általa kidolgozott elméletével együtt. Ezeket a kísérleteket otthon, vagy az iskolában végezte el osztálytársai közreműködésével. A 48. ábrán láthatjuk, amint a tárgyak árnyékát vizsgálta. A levitátortól távol elhelyezett egy zseblámpát, majd a lebegtető mögött közvetlenül egy papírlapot 5mm-es beosztással. Lebegtetés közben az árnyékok távolságát mérte le, és azt vette észre, hogy a tárgyak között a távolság állandó (4,25mm), ezt megmérte és látható volt, hogy ez a jeladók által kibocsájtott ultrahang hullámhosszával van összefüggésben (8,5mm).



48. ábra A lebegtetett tárgyak árnyékának vizsgálata (diákkísérlet)

Sokan kérdezték tőle, hogy ha eldönti a levitátort akkor is lebegnek-e a kis hungarocell darabok. Az ezzel kapcsolatban végzett kísérlet eredményei az alábbi grafikonon láthatóak (49. ábra). A kísérletet kicsi hungarocell darabkákkal végezte el. Láthatjuk, hogy a feszültség növelésével egyre tovább dönthetjük a levitátort, anélkül hogy a tárgy kiesne.



49. ábra Dőlésszög maximumok különböző feszültségeken a magasság függvényében (forrás: diákjaim munkája)

Továbbá megfigyelhető hogy mennél inkább középen helyezük el a tárgyakat (6 cm közelében) azok annál stabilabbak lesznek. Néhány esetben 90°-os dőlésszög mellett is képesek voltak lebegni a tárgyak. Azóta az IYPT csapatba kerülve az akusztikus levitáció elméletét részletesebben kidolgozta, az ELTE-n levő mentora segítségével és számos új kísérletet végzett el, például sikerült a levitátorban lévő nyomáskülönbségeket megjeleníteni, azaz láthatóvá tenni [32].

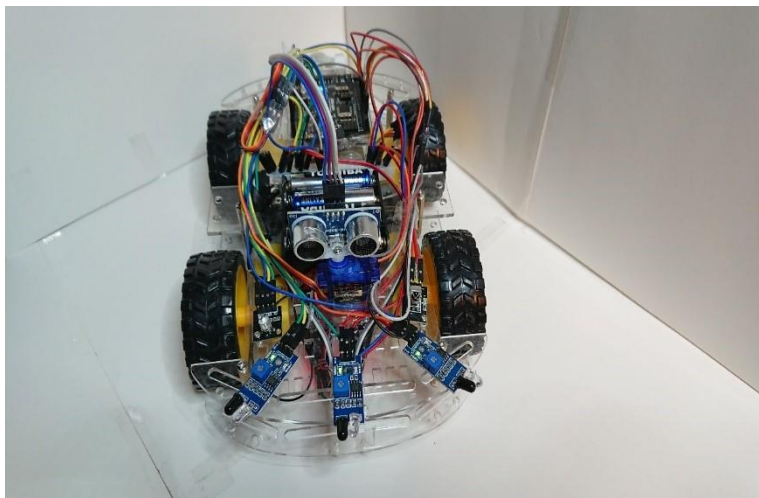
A kísérleteiről iskolánk majd minden évfolyamán fizikaórán előadást tartott, melynek a fiatalabbakra nagy motiváló hatása volt.

5.2 Autonóm jármű tervezése és kivitelezése

Dániel az IYPT versenyre való készülés mellett készített egy autonóm jármű modellt is Arduino microcontroller segítségével. Ennek a modellnek röviden összefoglalva a lényege: az általa épített jármű legfontosabb tulajdonsága az, hogy képes önmaga egy kijelölt irányt tartani, az útba eső akadályok kikerülésével. Továbbá képes követni a vonalakat vagy a

falakat, de lehet manuálisan is irányítani. A jármű tartalmaz 3 infravörös érzékelőt az elején, amelyek kis távolságról képesek észlelni az elé kerülő tárgyakat. A jármű alján két fekete színérzékelő szenzor található, amelyet a vonalkövetésnél használt fel. Ahhoz hogy pontosabban felmérje a környezetet, tartalmaz egy forgatható ultrahangos távolságmérőt, amely centiméteres pontossággal képes meghatározni a legközelebbi tárgy távolságát.

A legnehezebb része a modell elkészítésének programozás volt, hiszen a szenzorok működését össze kellett hangolni, és egyszerre több funkciót is tartalmaznia kellett a programnak. Ezzel a modellel tanítványom bekerült a Tudományos Diákkörök Kárpát-medencei Konferenciájának döntőjébe és ott első díjat nyert (50. ábra).

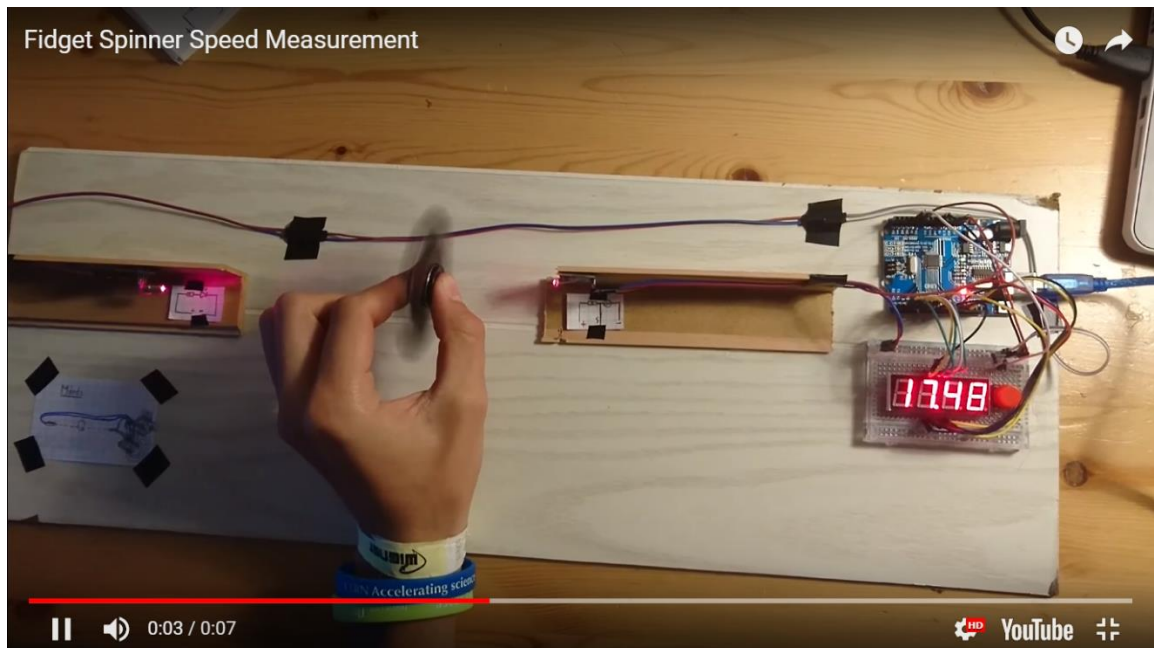


50. ábra Autonóm jármű (diákkísérlet)

5.3 Arduino délelőtt az iskolában

Szerettem volna, ha iskolánkban kialakulna egy diákcsoport, akik a későbbiekben is foglalkoznak Arduinoval. Ezért megbeszéltem tanítványommal, Dániellel, hogy az egyik tanítás nélküli munkanapot meghirdetem az iskolában Arduino délelőttnek, és, hogy ő fog tartani ezen a délelőttön egy intenzív, interaktív bemutatót az Arduino használatáról. Megbeszéltük, hogy több csoportban fognak dolgozni a tanulók. Leírta nekem, jó néhány nappal a foglalkozás előtt, hogy milyen eszközökre lesz szükségük a diákoknak, mert eltervezte, hogy a foglalkozás végére minden csoport egy kész kísérleti összeállítás fog elkészíteni, majd ezzel fizikai mérést végezni. A foglalkozásra készített egy prezentációt, melyben ehhez az Arduinos délelőttől egy nagyon jól felépített ismertetés és tematikus

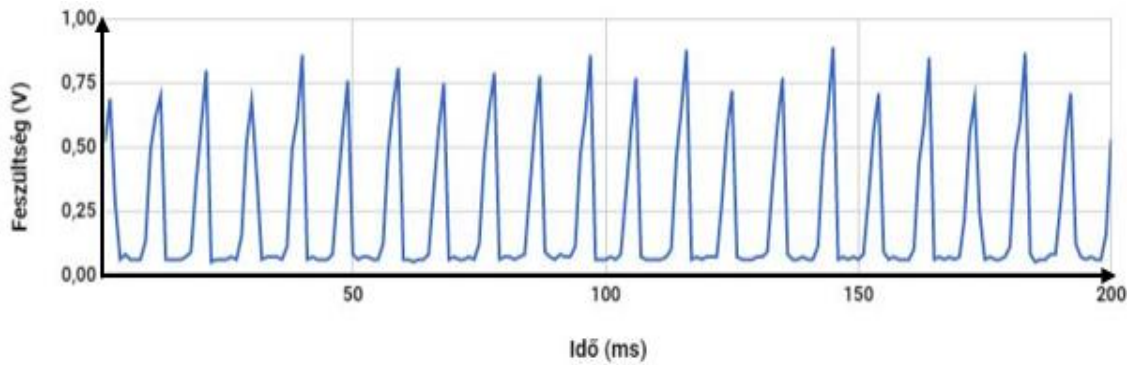
összeállítás volt az Arduinóról. Lépésről lépésre mutatta be először az Arduino lehetőségeit, illetve a programozásának az elvét. A foglalkozás végére a csoportok egy-egy fidget-spinnernek a fordulatszámát mérték meg Arduino, egy zseblámpa és egy fényérzékelő szenzor segítségével (51. ábra). A kísérleti összeállítás megtalálható a www.instructables.com honlapon.



51. ábra Fidget spinner fordulatszámának mérése Arduino segítségével (diákkísérlet)

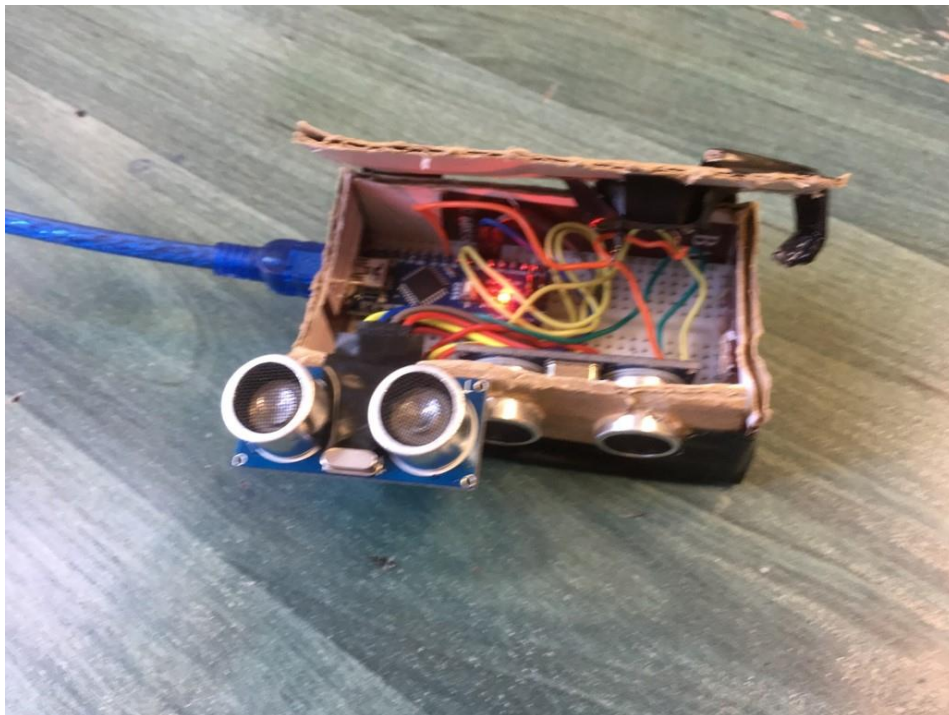
Az értékeket számítógépre vitték, és ott elemezték a közöttük lévő kapcsolatot. A foglalkozás egy általa kidolgozott eszközre épült, amely egy „fidget spinner” forgási frekvenciáját képes megmérni, egy Arduino és egy lézer segítségével. Ennek csak egy egyszerűsített változatát készítették el, hiszen az automatikus adatelemzés elkészítése nagyon időigényes lett volna. A kísérlet lényege az, hogy egy fényérzékelőt megvilágítunk egy lézerrel. Ha a fidget spinnert a lézer útjába helyezzük és megpörgetjük, akkor az a lézert bizonyos időközönként ki fogja takarni, ezáltal megváltozik a fényérzékelőre eső feszültség. Ezt az Arduinóval képesek vagyunk érzékelni.

Végül minden csoport egy ilyen kísérletet végzett el, amely 500 adatból állt, és 1 milliszekundumonként mért az Arduino egy adatot. A mérési eredmények excell program segítségével táblázatokba lettek feltöltve, majd ezt követően grafikusan megjelenítve. Ilyen mérések alapján készült grafikon látható az 52. ábrán. A diákoknak csak meg kellett számolniuk, hogy 500 ms alatt hány kitarakás történt, s így meghatározhatták a fidget spinner forgási frekvenciáját, majd abból a kerületi sebességét.



52. ábra Fidget spinner fordulatszám mérésének grafikonja (forrás: diákjaim munkája)

Hetedikes diákok egy része annyira el lett bűvölve a foglalkozáson hallottaktól, hogy többen közülük hazamenve kérték szüleiket, hogy rendeljenek nekik Arduino tartozékokat. Azóta egyikük először fényorgonát, majd theremint készített Arduino felhasználásával (53. ábra).



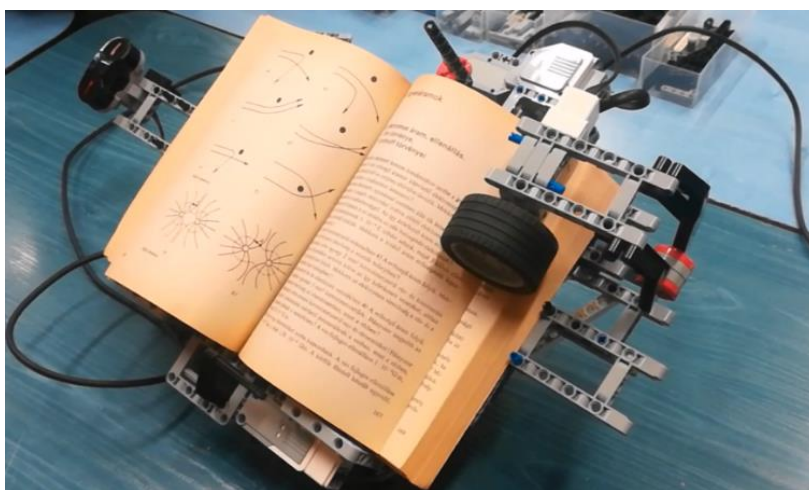
53. ábra Theremin Arduino felhasználásával (diákkísérlet)

Egy háromfős hetedik osztályos csapat pedig akváriumtisztító robotot épített LEGO EV3 robot segítségével. Számukra a tervezéskor a legnagyobb fejtörést az okozta, hogyan védjék meg a robotot a víztől. A fizikateremben az egyikük meglátott kis mágneseket az asztalon és az az ötlete támadt, hogy egy szivacsot kivájnak belül, ide beteszik a mágnes, ez a szivacs lesz, ami tisztítja az akváriumot belülről, majd ezt a mágnes révén irányítja az akvárium külső oldaláról a robot (54. ábra).



54. ábra Akvárium tisztító robot (diákkísérlet)

Egy másik szintén hetedikes csapat könyvlapozó robotot készített a LEGO EV3 robot segítségével (55. ábra).

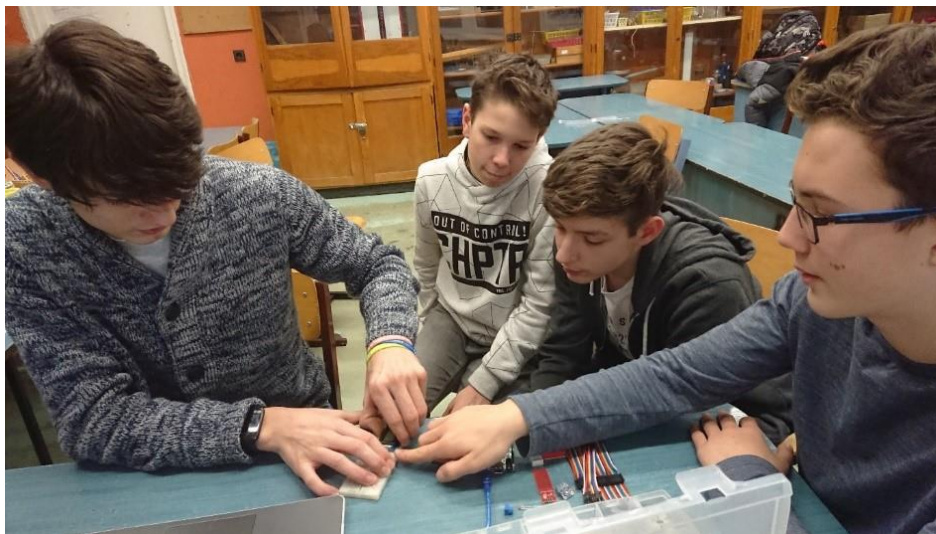


55. ábra Könyvlapozó robot (diákkísérlet)

Ez a robot egy kézlegyintésre kezd el lapozni. Itt a nehézséget részben a statikai problémák, illetve, a precíz - valóban csak egy lapos lapozás - megvalósítása jelentette. A robotot biztatásomra kiegészítették Arduino segítségével még további funkciókkal. Fotoszenzorral nézi a fényerősséget, és ha nem elegendően nagy, akkor bekapcsolja a világítást, hogy jobban lehessen látni a betűket. Szintén Arduinóval összekötve okos könyvjelzővel is kiegészítették robotjukat.

5.4 Meteorológiai állomás az iskolában

Iskolánkban emellett ismét más diákok bevonásával meteorológiai állomás is készült Pető Mária sepsziszentgyörgyi fizikatanár kollégánk útmutatása alapján. Ezt jól ki tudjuk majd használni kollégáimmal a fizika tanítás során, illetve a tervek szerint az adatokat továbbítva egy nemzetközileg szervezett programba is be tudunk a későbbiekben kapcsolódni. A meteorológia állomást a kisebbek közreműködésével készítette el Nagy Dániel (56. ábra).



56. ábra Tizenkettedikes és hetedikes diákok együtt készítik a meteorológiai állomást (diákkísérlet)

Ez az eszköz egy Arduino Mega microcontrollerre épül. Alapvetően egy kinti és egy benti egységből áll. A kinti egység egy hőmérő, egy páratartalom-mérő, egy UV-fényérzekező és egy csapadékérzekező szenzorból áll. A benti egység tartalmaz egy hőmérőt és egy nyomásmérőt illetve egy kijelzőt, amely a mért adatokat megjeleníti. Tervben van, hogy az adatokat USB-n keresztül le lehessen menteni az eszköztől, illetve a későbbiekben az, hogy internet keresztül elérhetőek legyenek az adatok.

Az elmúlt hónapok során egyik bámulatból a másikba estem diákjaim ügyessége, kreativitása láttán. Ez a tapasztalat engem két nagyon fontos dologról győzött meg. Nekünk, fizikatanároknak, az a feladatunk, hogy koordináljuk diákjainkat, bátorítsuk őket ötleteik végrehajtásában, és ha elakadnak, találjuk meg a módját, hogyan tudnánk nekik segíteni, vagy kitől tudunk segítséget kérni. Ehhez megvannak a megfelelő csatornák, hiszen például az ELTE-n a fizika tanítása doktori iskola előadásai nyilvánosak, itt kérhetünk tanácsot, hogy kihez forduljunk segítségért egy konkrét témában, ha elakadunk. A másik fontos tapasztalat, hogy rendkívül jó hatással van a fiatalabb diákokra, ha egy idősebb társuk példáját látják, illetve, ha mi tanárok összehozzuk a különböző korosztályokat, hogy legyen lehetősége a tapasztaltabb diáknak átadni az ismereteit a fiatalabbaknak. Tehát nem mindig célravezető az, ha például egy nyolcosztályos gimnáziumban, mint amilyen a miénk, teljesen elkülönítjük a kisebbeket a nagyobbaktól, mert ezen a területen nagyon hálás, ha van lehetőségük együtt gondolkodni, egymástól tanulni.

6. „Flipped classroom”

A modern fizikaoktatás kutatásának (PER Physics Education Research, lásd [33]) keretében megismertem a „flipped classroom” elnevezésű új tanítási módszert. Ennek lényege az, hogy a tanítás nem a szokott módon történik, azaz nem úgy, hogy a tanár az órán elmondja az új anyagot, majd a diákok otthon megtanulják az órán hallottakat. Ennek a módszernek a lényege, hogy a diákok dolgozzák fel előre a tananyagot otthon, majd az iskolában előadják azt, amit összegyűjtöttek az anyaggal kapcsolatban, és a tanárnak inkább csak irányítói szerepe van a tanórán, amikor a diákok esetleg csoportokban megbeszélik, szintetizálják az önállóan feldolgozott tananyagot (lásd [34]). Ez a módszer sokkal könnyebbé teszi a tanár számára a differenciálást, mert a diákok képességeiknek megfelelően tudnak elmélyedni az adott témában. Természetesen ez a metodika nem minden témakörnél alkalmazható, de nyolcadik osztályban a Naprendszer témakörnél, vagy a Föld fizikai tulajdonságai fejezetnél én már több osztályban alkalmaztam, és nagyon pozitív tapasztalataim vannak. Idén a Környezetünk és a fizika témakörnél az egyik tanuló mutatott például az osztálynak egy honlapot, ahol lehetőség van arra, hogy kiszámoljuk az ökológiai lábnyomunkat, és ezt a diákok az órán meg is tették. Többen megdöbbenek azon, hogy milyen nagy az ökológiai lábnyomuk. Az alábbiakban egy kísérletet mutatok be, mely szintén alkalmas arra, hogy alkalmazzuk a „flipped classroom” módszerét (lásd [35]).

6.1 Hősugárzás - Az első amerikai űrállomás, a Skylab balesete

Az Apollo program során már megépített, de megmaradt Saturn V-hordozórakéta S-IVB harmadik fokozatából alakították ki az első amerikai űrállomást, a Skylab-et, amelyet 1973-ban juttattak földkörüli pályára először személyzet nélkül. Indításakor azonban leszakadt az egyik napelemtábla és megsérült a hővédő burkolat. A megmaradt fél napelemtábla nem adott elegendő energiát az űrállomás hűtéséhez, „klimatizációjához”, illetve a hővédőpajzs hiánya még fokozta az űrállomás felfűtődését. A Skylab első személyzete űrséta során egy a Földről magával vitt fényvisszaverő és hőszigetelő „napernyőt” nyitott ki és helyezte el az űrállomáson kívül megfelelő helyen, melynek következtében az űrállomás belső tere az üzemi hőmérsékletre csökkent le. Ezután az elviselhetővé vált hőmérsékleten megkezdődhetett a munka a fedélzeten. A Skylab „napernyője” háromrétegű volt: a Nap felőli felső rétege alumínium bevonatú mylar (erősített poliszter film), a középső rétege

laminált hasadásnak ellenálló nylon, a legalsó rétege pedig vékony nylon. Kísérlettel – egyszerű hőmérsékletméréssel – földi körülmények között is tudjuk szemléltetni azt, hogy egy hővédő ernyő hogyan védheti meg a mögötte levő tárgyakat egy hőforrás, például egy hősugárzó hőjétől. A valóságban a Nap volt, amelynek hőjétől kellett védeni az űrállomást. A kísérletben a Napot egy hősugárzó helyettesíti. Az űrállomást egy makettal szemléltetjük. A hősugárzó és a makett közé elhelyezünk különböző ernyőket: először egy adott helyre, majd az ernyők helyét változtatjuk (57. és 58. ábrák).



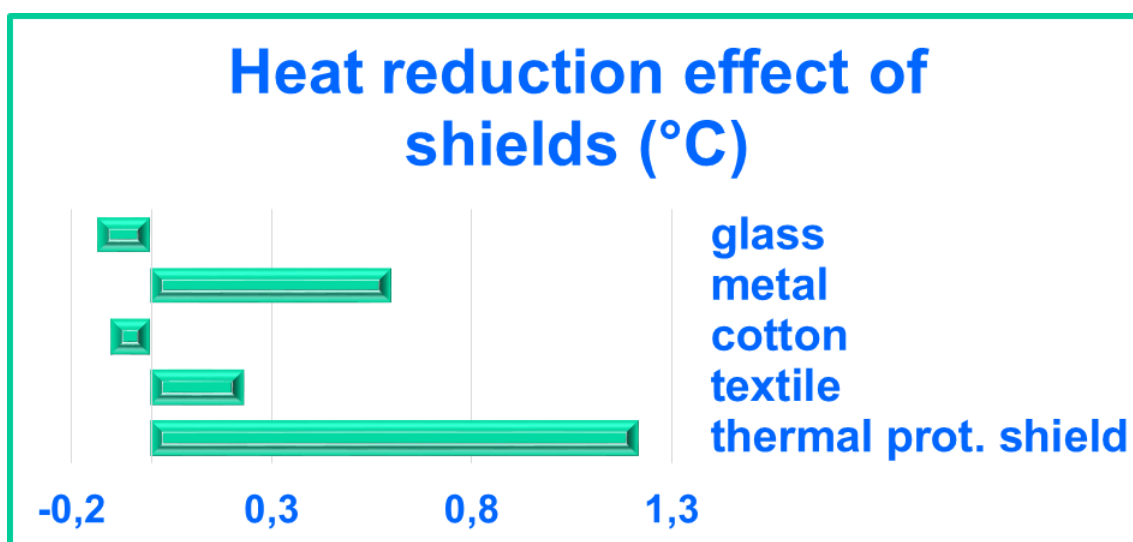
57. ábra Védőernyők készítése hősugárzás méréshez szakkörön (diákkísérlet)



58. ábra Kísérleti összeállítás hőárnyékolás méréshez (diákkísérlet)

Minden egyes esetben mérjük a hőmérsékletet két helyen azonos távolságban a hőszigetelőtől úgy, hogy egyik esetben a hőmérő és hőszigetelő közé behelyezünk egy ernyőt, másik esetben nem.

A kísérlet közben történő hőmérsékletváltozást a LabCam program segítségével azonnal grafikonon is szemléltettük. A mérési eredményeket táblázatba foglaltuk, majd kiértékeljük a mérési adatainkat. A diákoknak csak a kísérlet ötlete volt feldobva, innen a „flipped classroom” metodikáját követve ők tervezték meg a kísérletet, illetve, hogy milyen anyagból készítsenek ernyőket. A kísérletet egy iskolai projektnapon is elvégeztük 90 diák segítségével. A mérési eredmények kiértékelését az 59. ábrán láthatjuk.



59. ábra Hőárnýékolás mértékének kiértékelése (°C-ban) különböző anyagú ernyőkre LabCam-mal (forrás: diákjaim munkája)

A projektben lehetőség nyílik arra is, hogy a kísérlet mellett a diákok feldolgozzák a Nap szerepét a Föld energiaellátásában, illetve a Nap életútját, a Nap összetételét, a Napban lejárló folyamatokat. Ezen kívül összegyűjthetik hány űrállomás volt eddig. Önálló külön gyűjtőmunka lehet az International Space Station-on folyó kutatási munka. Itt az űrállomáson bemutatott fizikai kísérletek mellett szóba kerülhetnek például a biológiához köthető kutatások is, így a projekt akár kiléphet a fizika tantárgy kereteiből.

6.2 Fononok tárgyalása a középiskolában

A kísérlet közben a mikro oktatási kísérleti csoport résztvevői megtapasztalták, hogy a kísérlet alatt igazából a hőterjedés mindhárom módja jelen van, és ennek kapcsán szót ejthettünk a hővezetés mikroszkopikus megközelítéséről is, melynek során szintén a „flipped classroom” módszerrel ők maguk ismerték meg otthoni gyűjtőmunkájuk során a hővezetésnek fononokkal történő modellezését. Egyikük megkérdezte, hogy honnan lehet meghatározni a fononok számát? Megkértem őket, hogy próbálják megtalálni erre a kérdésre a választ az interneten. Másnap meg is érkezett a válasz, hogy pontosan nem lehet megadni a fononok számát, hiszen az nem egy állandó érték, az atomok rezgése során keletkezik és mi csak a statisztikai számítások alapján a valószínűségét tudjuk megadni a fononoknak.

Meg lehet említeni, – ha már van némi részecskefizikai ismerete a csoportnak – hogy a fononok a fotonokhoz hasonlóan bozonok. A diákok felkutatták Bródy Imre nevét is, aki Bornnal együtt dolgozta ki a kristályok dinamikai alapjait.

Itt láthatjuk, hogy a „flipped classroom” módszer igazából a kutatás alapú tanulásnak [36] egyik típusa. Kutatásom célja volt, hogy meg tudjam, hogy maguk a diákok hogyan képzelik el a hővezetés jelenségét, továbbá, hogyan segít konkrétan ez az úrvonatkozású kísérlet a hőterjedés módjainak tanításában. Eddigiekben a hővezetést nem volt szokás mikroszkopikus megközelítéssel tárgyalni, de tapasztalataim szerint a jobb képességű diákokkal érdemes róla beszélni, mert ebben a korban még jobban el tudják fogadni az ilyen jellegű értelmezéseket. A statisztikus valószínűséggel is jó, ha minél többször találkoznak már középiskolás korukban.

Külföldi szakmódszertani kutatások megállapításait ([37], [38]) követve kitöltettem egy kérdőívet a diákokkal a témakör tanítása előtt, majd utána. Mind a két teszt nyílt végű kérdéseket tartalmazott. Ezen a módon szerettem volna meggyőződni arról, hogy a kutatás alapú tanítási módszer milyen eredményre vezet ebben a témakörben. Szeretném felhívni a figyelmet, hogy ebben a mikro oktatási kísérletben olyan 16 éves diákok vettek részt, akik még nem tanultak korábban semmit a hőterjedés módjairól. A kérdések a következők voltak:

1. Vegyél az egyik kezébe egy villát, a másikba pedig egy papírlapot. Melyiket érzed hidegebbnek? Miért?
2. Mit jelent az, hogy az anyag elnyeli a Nap hőjét?
3. Milyen hőhatásoknak van kitéve egy földközeli pályán keringő műhold?

Minden egyes kérdésnél a diákok válaszait – a válasz lényege alapján - 3 osztályba soroltam be. Az osztályba sorolt válaszokat igyekeztem egyetlen leírással jellemezni. A következőkre jutottam:

1. kérdésnél:

- 1A –a villát az anyaga miatt érezzük hidegebbnek: 14 válasz
- 1B –a villát azért érezzük hidegebbnek, mert a kezünk melegére lassabban reagál: 5 válasz
- 1C –a villát azért érezzük hidegebbnek, mert a fém jobban vezeti a hőt: 3 válasz

2. kérdésnél:

- 2A – ilyenkor az anyag nem veri vissza a hőt: 15 válasz
- 2B – kémiai reakció zajlik le, melynek során nem hagyja el hő az anyagot: 4 válasz
- 2C – a Nap energiája az anyagban hővé alakul: 3 válasz

3. kérdésnél:

- 3A –csak a Nap sugárzása éri a műholdat: 4 válasz
- 3B – a Nap sugárzása mellett a Föld által visszavert hősugarak: 16 válasz
- 3C – a Nap sugárzása mellett a Föld által visszavert hősugarak, és ezen felül még a belső hőhatásokkal is számolni kell: 2 válasz

A kísérlet és az aktuális témával foglalkozó órák utáni teszt ugyanazokat a kérdéseket tartalmazta. A válaszok megoszlása – ugyanazon osztályozást alkalmazva - a következőképpen alakult:

1. kérdésnél:

- 1A –a villát az anyaga miatt érezzük hidegebbnek: 2 válasz
- 1B –a villát azért érezzük hidegebbnek, mert a kezünk melegére lassabban reagál: 5 válasz
- 1C –a villát azért érezzük hidegebbnek, mert a fém jobban vezeti a hőt: 15 válasz

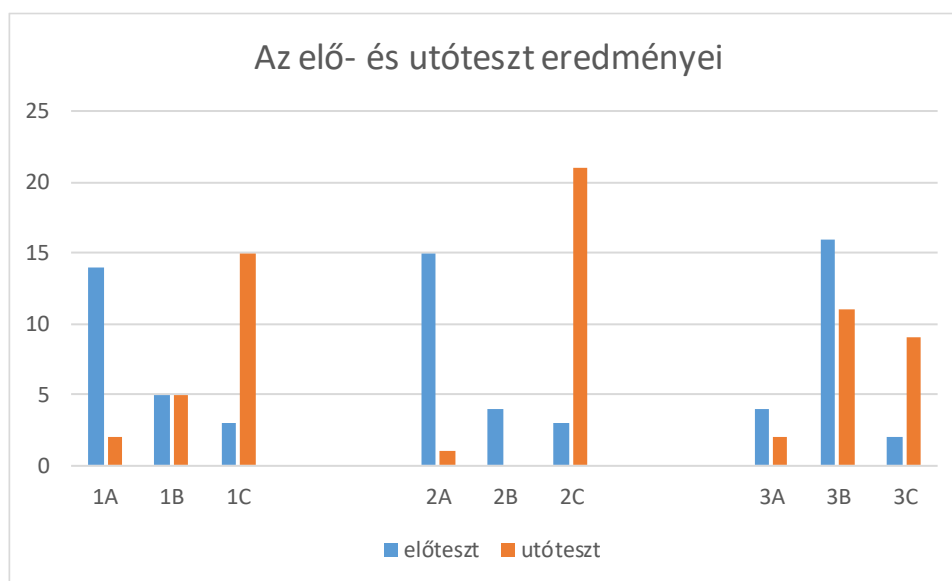
2. kérdésnél:

- 2A – ilyenkor az anyag nem veri vissza a hőt: 1 válasz
- 2B – kémiai reakció zajlik le, melynek során nem hagyja el hő az anyagot: 0 válasz
- 2C – a Nap energiája az anyagban hővé alakul: 21 válasz

3. kérdésnél

- 3A –csak a Nap sugárzása éri a műholdat: 2 válasz
- 3B – a Nap sugárzása mellett a Föld által visszavert hősugarak: 11 válasz
- 3C – a Nap sugárzása mellett a Föld által visszavert hősugarak, és ezen felül még a belső hőhatásokkal is számolni kell: 9 válasz

Az elő- és utóteszt eredményit bemutató grafikonokat az 60. ábrán láthatjuk.



60. ábra Hőterjedéssel foglalkozó órák elő- és utótesztjeinek eredményei (forrás: saját szerkesztés)

Az eredmény látható, hogy nagyon változatos. Ez is tükrözi, hogy a hő fogalma a középiskolában még mindig nehéz fogalomnak számít, nem véletlen, hogy a fizika tudományában is hosszú évszázadokon keresztül alakult ki a helyes értelmezése. Tapasztalataim azt igazolják, hogy a fonon fogalmának bevezetése segíti a diákokat a hővezetés jelenségének jobb megközelítésében.

Összefoglalva, az elő- és utóteszt eredményei azt jelzik, hogy az úrkutatás és az újtechnológia alkalmazására épülő, gyakorlat-orientált fizikatanítás, amelyet kidolgoztam és a tanításban alkalmazok, érezhetően segíti a diákokat a hő fogalmának és a hőterjedés folyamatának megértésében.

Tudományos eredmények összefoglalása

Az értekezésben megmutatom és tanítás során szerzett tapasztalatokkal, valamint példákkal igazolom, hogy alkalmasan megválasztott úrvonatkozású komplex fizikai és műszaki alkotásokat eredményesen bevonhatunk a középiskolai fizika tananyag oktatásába szinte minden témakörben.

Részletesen ismertetem, hogy milyen módon alkalmazhatjuk Magyarország első mesterséges holdjának műszaki és pálya-paramétereit az oktatásban a fizika különböző területein, és igazolom ennek motiváló hatását a tananyag elsajátításában.

Megmutatom, be lehet építeni a középiskolai fizika tanításába a huszonegyedik század egyik új fogalmát, az űridőjárást.

Konkrét példákkal igazolom, hogy a komplex műszaki alkotások rendszeres ismertetésével és egyes elemeik működésének fizikai leírásával eredményesen motiválhatók a diákok versenyeken való nagyobb arányú részvételre.

A mikroelektronika területén szerzett oktatási tapasztalatokkal igazolom, hogy nem feltétlenül szükséges a tanár kifejezett jártassága egy-egy új technikai megoldásban, illetve annak alkalmazásában ahhoz, hogy segítse a diákok elméleti fejlődését, gyakorlati sikerességét ezeken a területeken.

Megmutatom, hogy a „Flipped classroom” módszertana - melynek lényege, hogy az adott témát a megfelelő tanári instrukciók után a diákok önállóan dolgozzák fel a következő tanórára, majd be is mutatják azt - eredményesen alkalmazható egy-egy konkrét témán belül.

Summary

The present dissertation, based on my educational experiences and examples, proves that properly selected complex physical and technological inventions related to space research can be successfully applied in the core of secondary school Physics education in most topics discussed in class.

I give a comprehensive outline of how to apply the technological and orbital parameters of the first artificial satellite of Hungary in teaching different fields of Physics and I also verify their motivating effects in the students' learning process.

I also present that space weather, one of the new concepts of the 21st century can be embedded in secondary school Physics teaching.

I give actual examples to prove that regular discussions on complex technological inventions and giving physical descriptions of the operation of their certain elements can motivate a larger number of students to participate in Physics competitions.

My personal educational experience in the field of microelectronics helps to prove that it is not vitally important for the teacher to gain proficiency in certain new technical solutions or in their application in order to help students improve both in the theory and practice of these fields.

Finally, I demonstrate that within certain topics in Physics the methodology of 'flipped classroom' can be successfully applied, i.e. students work on a given topic by themselves after brief instructions given by the teacher and later demonstrate their findings in class.

Irodalomjegyzék

- [1] Clarke, Arthur (1945): *V2 for Ionosphere Research?* **Wireless World**, Vol. LI (2), 1945. febr. p 58. <http://lakdiva.org/clarke/1945ww/>
- [2] <http://cubesat.bme.hu/europai-urkutatas/europai-vega-hordozoraketa>
- [3] http://www.esa.int/Our_Activities/Operations/What_are_Lagrange_points
- [4] Komáromi Annamária (2015): *Space Science in Thermodynamics*, In: Kovács K. (ed.) Proceedings of H-Space 2015, 1st International Conference on Research, Technology and Education of Space, 13 Feb 2015, Budapest. MANT, Budapest, 2015, pp 47-48.
- [5] Komáromi Annamária (2015): *Űrtan a hőtanban*, In: Frey S. (szerk.) Űrtan Évkönyv 2014, MANT, Budapest, pp 76-85. http://www.mant.hu/kiadvanyok/urtan_evkonyv_2014.pdf
- [6] Komáromi Annamária (2016): *Space Science in Thermodynamics*, In: Proceedings of International Conference GIREP EPEC 2015 July 6-10, Wrocław, Poland, pp 207-211. http://girep2015.ifd.uni.wroc.pl/files/GIREP_EPEC_2015_Proceedings.pdf
- [7] Komáromi Annamária (2017): *Űrkutatással a szerethetőbb fizikáért*, **Fizikai Szemle** (LXVII. évf.) 2017/1 (745.) szám, pp 27-31. <http://fizikaiszemle.hu/szemle/tartalom/23>
- [8] Jánosi Imre - Tél Tamás (2012): *Bevezetés a környezeti áramlások fizikájába*, Typotex, Budapest. http://etananyag.ttk.elte.hu/FiLeS/downloads/EJ-Janosi-Tel_kornyaram.pdf
- [9] Moskowitz, C. (Staff Writer) (2009): *Inflatable Spacecraft Shield Works*, Space Test Shows by August 17, 2009 04:26pm ET, 2009. <http://www.space.com/7144-inflatable-spacecraft-shield-works-space-test-shows.html>
- [10] Almár Iván - Both Előd - Horváth András (1996): *SH atlasz Űrtan*, Springer Hungarica Kiadó, Budapest
- [11] http://www.esa.int/spaceinimages/Images/2014/06/Harpoon_used_to_capture_a_satellite
- [12] Frey Sándor (szerk.) (2011): *Űrtan évkönyv 2010-2011*, MANT, Budapest
- [13] Géczy Gábor (2015): *SMOG-1 műhold központi energiaellátó rendszer és kísérleti doziméter tervezése*. BME Tudományos Diákköri Konferencia 2015 (kézirat). http://gnd.bme.hu/smog1/articles/20151117_smog1_tdkk/SMOG1_muhold_kozponti_energia_ellato_rendszer.pdf
- [14] Frey Sándor (2015): *VesselSat-2: a hibátlan kétéves*. Űrvilág (űrutasítási hírportál). http://www.urvilag.hu/nyomtat/hazai_kutatohelyek_es_uripar/20140109_vesselsat2_a_hibatlan_keteves

- [15] Szimler András (2014): *Mérési segédlet: Piko-mőholdak napelemes energiaellátó rendszerének mérése*. BME VIK Szélessávú Hírközlés és Villamosságtan Tanszék (kézirat). https://home.hvt.bme.hu/~lenart/VIHV_AC06/Mh.pdf
- [16] Ferenczi János (2012): *Űrjárművek elektromos energiával való ellátása II. rész*. **FIRKA** 2011-2012/Vol(2) pp 50-55. <https://emt.ro/sites/default/files/archivum/2017-12/firka2-2011-2012.pdf>
- [17] Völgyesi László (2002): *Geofizika*, Műegyetemi Kiadó, Budapest
- [18] Lynch, P. - Trepte, C. (2010): *Lanley's CALIPSO captures volcanic ash plume image*. NASA Langley Research Center. Accessed May 21, 2010 https://www.nasa.gov/centers/langley/news/researchernews/rn_CALIPSOplume.html
- [19] Rouse, J.W. - Haas, R.H. - Schell, J.A. (1974): *Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS* [In: S.C. Freden, E.P. Mercanti, M.A. Becker (eds.) Third Earth Resources Technology Satellite Symposium, December 10-14, 1973] NASA STI Office, Goddard SFC and Washington, D. C., pp 309-317.
- [20] Geiger, H.- Marsden, E. (1913): *The Laws of Deflexion of α Particles through Large Angles*. Philosophical Magazine Series 6. **25** (148) pp 604–623.
- [21] Turkevich, Anthony L. – Patterson, James H. - Franzgrote, Ernest J. (1968): *Chemical Analysis of the Moon at the Surveyor V Landing Site*, **Science** Vol 160 Issue 3832 (07 Jun 1968) pp 635-637. <http://science.sciencemag.org/content/160/3832/1108>
- [22] Komáromi Annamária (2017): *Öt éve állították pályára a Masat-1-et*, **FIZIKAI SZEMLE** (LXVII. évf.) 2017/9 (753.) szám, pp 324-327. <http://fizikaiszemle.hu/szemle/30>
- [23] Komáromi Annamária (2016): *Rendere piu piacevole lo studio della fisica con la ricerca nello spazio*, **LA FISICA NELLA SCUOLA** Anno XLIX (2016) Supplemento n.2, pp 13-16. (as a Proceedings of 54° Congresso Nazionale A.I.F. Associazione per l'insegnamento della Fisica, 21-24 Oct 2015, Trento, Italy).
- [24] Komáromi Annamária (2016): *With space research for more lovable physics classes*, In: Király A. and Tél T. (eds.): *Teaching Physics Innovatively – New Learning Environments and Methods in Physics Education*, „e-book”, Graduate School for Physics, Faculty of Science, Eötvös Loránd University, Budapest, 2016, ISBN 978-963-284-815-0, pp. 157-162. http://parrise.elte.hu/tpi-15/papers/Proceedings_of_TPI_15.pdf
- [25] Kovács Kálmán (2012): *Immár történelem a Masat-1 startja*. AERO Magazin XIV.évf. április, pp 46-49.

- [26] Dudás Levente – Pápay Levente – Gschwindt András – Seller Rudolf (2014): *A Masat-1 automatizált és távvezérelt földi vezérlő állomása*. **Repüléstudományi közlemények** - On-line tudományos folyóirat XXVI. évfolyam 2. szám
http://www.repulestudomany.hu/kulonszamok/2014_cikkek/2014-2-34-0141_Dudas_Levente_et_al.pdf
- [27] <http://cubesat.bme.hu/en/>
- [28] Komáromi Annamária (2017): *About Space Weather in High School*, In: Bacsárdi L. and Kovács K. (eds.) Proceedings of H-Space 2017, 3rd International Conference on Research, Technology and Education of Space, 9-10 Feb 2017, Budapest. MANT, Budapest, 2017, pp 59-60.
- [29] Komáromi Annamária (2017): *Időjárás és annak előrejelzése a Földön kívül*, In: Bacsárdi L. and Kovács K. (eds.) Selected papers of the 3rd International Conference on Research, Technology and Education of Space (H-Space 2017). Konferencia helye, ideje: Budapest, Magyarország, 2017.02.09-2017.02.10. Budapest: Magyar Asztronautikai Társaság, 2017. pp. 16-19.
- [30] *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Volume 20, Issue 1, 11 November 1859, pp 15–16. <https://doi.org/10.1093/mnras/20.1.15a>
- [31] <http://solarscience.msfc.nasa.gov/SolarWind.shtml>
- [32] Komáromi Annamária - Nagy Dániel (2018) *Akusztikus lebegtetés és más kísérletek Arduino felhasználásával, avagy ne féljünk attól, ha a tanár tanul a diáktól*, **Fizikai Szemle** (LXVIII. évf.) 2018/10 (766.) szám, pp 356-360.
- [33] Russ, R.S. - Odden, T.O.B. (2017): *Physics Education Research as a Multidimensional Space: Current Work and Expanding Horizons*. In: Ch. Henderson and K.A. Harper (eds.) Reviews in PER Volume 2: Getting Started in Physics Education Research, University of Washington, Seattle. https://www.compadre.org/per/per_reviews/volume2.cfm#V2I5A1
- [34] <http://people.unica.it/gbonaiuti/flipping-the-classroom/>
- [35] Komáromi Annamária (2018): *Space mishap as a stimulus context for thermal conduction exploration in secondary school*. (megjelenésre váró elfogadott, lektorált cikk) In: e-Proceedings of International Conference GIREP-ICPE- EPEC 2017 July 3-7, Dublin, Ireland.
- [36] Micheline, M. – Santi, L. – Stefanel, A. (2016): *Research based proposals to build modern physics way of thinking in secondary students*. In: Király A. and Tél T. (eds.) Teaching Physics Innovatively - New Learning Environments and Methods in Physics Education (e-book), Eötvös Loránd University, Budapest. pp 331-349.

- [37] Nersessian, N. J. (2002): *The cognitive basis of model-based reasoning in science*. In: P. Carruthers et al. (eds.), *The Cognitive Basis of Science*, Cambridge Univ., Cambridge, UK. pp. 133-153.
- [38] Duit, R. – Gropengieser, H. – Kattmann, U. (2005): *Towards science education that is relevant for improving practice: The model of Educational Reconstruction*. In: H. Fischer (ed.), *Developing standards in research on science education*, Taylor & Francis, Leiden. pp. 1-9.

Ábrajegyzék

1. ábra Labda a Newton hegyen (forrás: realika.educatio.hu Fizika tanári verziók 28. műholdak 2.)
2. ábra Műholdpályák sematikus ábrája (forrás: realika.educatio.hu Fizika tanári verziók 28. műholdak 7.b)
3. ábra Az óceánfenék vizsgálatok sematikus ábrája (forrás: <http://www.star.nesdis.noaa.gov/sod/lisa/AltBathy/>)
4. ábra A Föld alakja (geoid) műholdas mérések alapján (forrás: <https://spaceyug.com/oblate-spheroid-earth-round/>)
5. ábra A kolontári zagyvatároló képe (forrás: http://www.eng.unideb.hu/userdir/dmk/docs/20121/12_1_04.pdf)
6. ábra A 67P üstökösről készült hőkép (forrás: <http://blogs.esa.int/rosetta/2014/09/08/virtis-maps-comet-hot-spots/>)
7. ábra Földközeli pályán keringő mesterséges holdat érő elektromágneses sugárzások (forrás: saját szerkesztés [8] alapján)
8. ábra Légkör hőmérséklet (balra) ill. nyomás (jobbra) változása a magasság függvényében (forrás: <http://faculty.virginia.edu/ribando/modules/xls/> accessed Jun 09, 2016)
9. ábra Olvadásos napok anomáliája Grönlandon 2011 és 2014 között (forrás: National Snow and Ice Data Center/Thomas Mote, University of Georgia, <http://nsidc.org/greenland-today/2015/01/> accessed Jun 09, 2016)
10. ábra Űrszemét a Föld körül (forrás: https://www.nasa.gov/mission_pages/station/news/orbital_debris.html)
11. ábra Gyorsulásmérők elhelyezkedése (GOCE műhold) (forrás: <http://mediatum.ub.tum.de/doc/1111698/362238.pdf>)

<http://www.iapg.bgu.tum.de/46168-bD1lbg~iapg~forschung~goce~gradiometrie.html>

12. ábra SMOG-1 modell (forrás: <http://www.gnd.bme.hu/smog1/tortenet.html>)
13. ábra A VeeseSat-1 műhold (forrás: http://www.urvilag.hu/nyomtat/hazai_kutatohelyek_es_uripar/20140109_vesselsat2_a_hibatlan_keteves)
14. ábra Napelem cella U/I karakterisztikája (forrás: https://home.hvt.bme.hu/~lenart/VIHV_AC06/Mh.pdf)
15. ábra Termoelem sematikus ábrája (forrás: [16] 6.ábra)
16. ábra A SWRAM műholdhármass egyik tagjának vázlata (forrás: <http://spaceflight101.com/swarm/blog/swarm-satellite-trio-starts-collection-of-high-quality-science-data/>)
17. ábra Mágneses térerősség mérés Gauss-féle elven (forrás: http://volgyesi.hotserver.hu/geofiz/1_9-11.pdf)
18. ábra Vulkanai hamu terjedésének ábrázolása a CALIPSO műhold felvételei alapján (forrás: [18])
19. ábra A természetes (zöld) és a műfü, vagy kiszáradt fü (barna) reflektanciája %-ban (y-tengely) a különböző frekvenciákon (x-tengely) (forrás: <http://www.space-awareness.org/en/activities/6035/a-view-from-above/>)
20. ábra Műholdas felvétel (balról) és a programmal készített NDVI kép (forrás: 9. osztályos diákcsoportom munkája)
21. ábra A PAMELA szerkezete (forrás: http://pamela.roma2.infn.it/index.php?option=com_content&task=view&id=28&Itemid==264)
22. ábra „Mesterséges gravitáció” a 2001 Űrodüsszeia filmben (forrás: https://kulturpart.hu/2018/05/17/otven_eves_az_urodusszeia)
23. ábra Masat-1 - az első magyar műhold szerkezetkész állapotban (forrás: saját kép)
24. ábra Maaat-1 a hivatalos „mérlegeléskor” (forrás: http://index.hu/tudomany/masat1/2012/02/09/kepek_es_videok_a_masat-1_projektrol/)
25. ábra Az ellipszis paraméterezése keringési sebesség meghatározásához
26. ábra A Masat-1 pályajellemzői az küldetés utolsó időszakában (forrás: saját szerkesztés <http://www.ha5mrc.hu/hamsat/sats.html> alapján)
27. ábra Rázópad a Masat-1 vizsgálatához (forrás: [24])

28. ábra Faraday kalitka a Masat-1 irányító központjához (forrás: [23])
29. ábra A Masat-1 napelemei (forrás: [24])
30. ábra A Masat-1 napelemeinek tesztelése az Operaház reflektoraival (forrás: [24])
31. ábra A Masat-1 kommunikációs rendszerének felépítése (forrás:
http://www.repulestudomany.hu/kulonszamok/2014_cikkek/2014-2-34-0141_Dudas_Levente_et_al.pdf)
32. ábra A Masat-1 tesztelése (forrás: <http://cubesat.bme.hu/projektek/masat-1/>)
33. ábra Az űridőjárás jellemző hatásterületei (forrás:
http://ccmc.gsfc.nasa.gov/support/ILWS/MATERIALS/All_School_Materials/Tutorials_Sunday/Introduction_Domains_Kuznetsova/Introduction_Domains_Masha_Kuznetsova_with_out_j2s.pdf)
34. ábra A Napon megfigyelt “Fler”-ek (forrás: <http://www.space.com/24544-solar-flare-partial-eclipse-nasa-sdo.html>)
35. ábra A DSCOVR műhold pályája (forrás: <http://www.noaa.gov/its-all-systems-go-noaas-first-space-weather-satellite>)
36. ábra Geomágneses vihar (felső görbe) hatása a katódvédelemre (alsó görbe) (forrás:
<http://www.spaceweather.gc.ca/tech/se-pip-en.php>)
37. ábra A hallgatóság aktív bevonása kísérletezés során (forrás: diákom versenymunkája)
38. ábra Táguló világegyetem modellezése – kuglófsütéssel (forrás: diákjaim versenyműve)
39. ábra Metronókok szinkronizációjának mérési összeállítása és a LABCAM program alkalmazása (forrás: saját kép)
40. ábra Metronókok szinkronizálásának grafikus ábrázolása LabCam programmal (diákkísérlet)
41. ábra Nemzeti színű „sűrűségtorony” (diákkísérlet)
42. ábra Égitestek felszínén járó robot (felül) és a kísérleti felszíni terep készítése (alul) (diákkísérlet)
43. ábra Saját készítésű űrbányász robot (diákkísérlet)
44. ábra Részlet a „Takarítás a világűrben” kisfilmből (diákkísérlet)
45. ábra A levitátor működés közben (diákkísérlet)
46. ábra Saját készítésű adagoló kanalak levitátorhoz (diákkísérlet)
47. ábra Saját tervezésű lebegtető (diákkísérlet)
48. ábra A lebegtetett tárgyak árnyékának vizsgálata (diákkísérlet)

49. ábra Dőlésszög maximumok különböző feszültségeken a magasság függvényében (forrás: diákjaim munkája)
50. ábra Autonóm jármű (diákkísérlet)
51. ábra Fidget spinner fordulatszámának mérése Arduino segítségével (diákkísérlet)
52. ábra Fidget spinner fordulatszám mérésének grafikonja (forrás: diákjaim munkája)
53. ábra Theremin Arduino felhasználásával (diákkísérlet)
54. ábra Akvárium tisztító robot (diákkísérlet)
55. ábra Könyvlapozó robot (diákkísérlet)
56. ábra Tizenkettedikes és hetedikes diákok együtt készítik a meteorológiai állomást (diákkísérlet)
57. ábra Védőernyők készítése hőszugárzás méréshez szakkörön (diákkísérlet)
58. ábra Kísérleti összeállítás hőárményékolás méréshez (diákkísérlet)
59. ábra Hőárményékolás mértékének kiértékelése (°C-ban) különböző anyagú ernyőkre LabCam-mal (forrás: diákjaim munkája)
60. ábra Hőterjedéssel foglalkozó órák elő- és utótesztjeinek eredményei (forrás: saját szerkesztés)

ADATLAP

a doktori értékezés nyilvánosságra hozatalához*

I. A doktori értékezés adatai

A szerző neve: Komáromi Annamária

MTMT-azonosító: 10061236

A doktori értékezés címe és alcíme: Komplex fizikai és műszaki alkotások felhasználása a középiskolai fizika oktatásában

DOI-azonosító⁴⁶: 10.15476/ELTE.2018.252

A doktori iskola neve: ELTE TTK Fizika Doktori Iskola

A doktori iskolán belüli doktori program neve: Fizika Tamtása Doktori Program

A témavezető neve és tudományos fokozata: Dr. János Imre DSc

A témavezető munkahelye: Eötvös Loránd Tudományegyetem Természettudományi Kar,

Fizikai Intézet

II. Nyilatkozatok

1. A doktori értékezés szerzőjeként

a) hozzájárulok, hogy a doktori fokozat megszerzését követően a doktori értékezés a) a tézisek nyilvánosságra kerüljenek az ELTE Digitális Intézményi Tudástárban. Felhatalmazom a

Természettudományi Kar Dékani Hivatali Doktori, Habilitációs és Nemzetközi Ügyek

Csoportjának ügyintézőjét, hogy az értékezést és a téziseket feltöltse az ELTE Digitális

Intézményi Tudástárba, és ennek során kitöltse a feltöltéshoz szükséges nyilatkozatokat.

b) kérem, hogy a mellékelt kérelmemben részletezett szabadalmi, illetőleg olalmi bejelentés

közvetéleg a doktori értékezést ne bocssassák nyilvánosságra az Egyetemi Könyvtárban és az

ELTE Digitális Intézményi Tudástárban;

c) kérem, hogy a nemzetbiztonsági okból minősített adatot tartalmazó doktori értékezést a

minősítés (datum)-ig tartó időtartama alatt ne bocssassák nyilvánosságra az Egyetemi Könyvtárban

és az ELTE Digitális Intézményi Tudástárban;

d) kérem, hogy a mű kiadására vonatkozó mellékelt kiadó szerződésre tekintettel a doktori

értékezést a könyv megjelenéséig ne bocssassák nyilvánosságra az Egyetemi Könyvtárban, és az

ELTE Digitális Intézményi Tudástárban csak a könyv bibliográfiai adatait tegyék közzé. Ha a

könyv a fokozatszerzést követően egy évig nem jelenik meg, hozzájárulok, hogy a doktori

értékezés a) a tézisek nyilvánosságra kerüljenek az Egyetemi Könyvtárban és az ELTE

Digitális Intézményi Tudástárban.

2. A doktori értékezés szerzőjeként kijelentem, hogy

a) az ELTE Digitális Intézményi Tudástárba feltöltendő doktori értékezés és a tézisek saját

eredeti, önálló szellemi munkám és legjobb tudomásom szerint nem sértsem vele senki szerzői

jogait;

b) a doktori értékezés és a tézisek nyomtatott változatai és az elektronikus adathordozón

benyújtott tartalmak (szöveg és ábrák) mindenképpen megőrzendők.

3. A doktori értékezés szerzőjeként hozzájárulok a doktori értékezés és a tézisek szövegeinek

plágiumkereső adatbázisba helyezéséhez és plágiumellenőrző vizsgálatok lefuttatásához.

Kelt: 2018. december 11.

.....
Komáromi Annamária

a doktori értékezés szerzőjének aláírása