

# **Részecskefizika és asztrofizika a középiskolában**

**Doktori értekezés**

**Pető Mária**

**Témavezető: dr. Cynolter Gábor  
tudományos főmunkatárs**

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

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



**Eötvös Lóránd Tudományegyetem  
Természettudományi Kar**

**2017.**

## Tartalomjegyzék

<b>I. Bevezetés</b>	3
A doktori értekezés fejezetei	5
<b>1. Részecskefizika tanítása a középiskolában</b>	8
1.1. E-tananyag készítése	9
1.2. Nyomelemzés valós detektoradatok alapján	15
1.3. Radon mérés a székelyföldi természetes gyógyvizekben	23
<b>2. Napfizika a középiskolában</b>	34
2.1. Szakirodalmi alapozás a téma feldolgozásához	35
2.2. Naptevékenység és úridójárás	39
2.3 A Nap forgási sebességének a meghatározása	40
2.4. A Nap látszólagos átmérőjének meghatározása méréssel	53
<b>3. Műholdépítés. Léggörfizikai mérések. CanSat versenyek.</b>	56
3.1. Egy kis léggörfizikai alapozás	56
3.2. Mérési eljárások, szenzorok	59
3.3. CanSat versenyek. Mini-műhold építése	63
3.4. Mérési adatok feldolgozása	76
3.5. CanSat és a más gyakorlati alkalmazások- Mini meteoállomás	81
<b>4. Becsapódási kráterek. Geomorfológia</b>	85
4.1. A kísérlet leírása	86
4.2. A mérési eredmények értékelése	91
<b>5. Robotika. Szakköri munka a Tudós Klubban</b>	93
5.1. Lego NXT és EV3 robotok	93
5.2. Tűzoltó- és életmentő robotok	97
<b>6. Tudományszerűsítés</b>	101
6.1. Tudományszerűsítő előadások, tábori műhelymunka	102
6.2. A Föld kerületének meghatározása Eratoszthenész módszerrel	104
<b>II. Összegzés</b>	108
<b>III. Summary</b>	110
<b>IV. Köszönet</b>	112
<b>V. Saját publikációk. Irodalomjegyzék</b>	113
<b>VI. Függelék. Mellékletek</b>	117

## I. Bevezetés

Ha egy diák vagy felnőtt ma a CERN-ről, az LHC-ről hall, akkor valószínű, hogy az ehhez társított gondolatok egyike a fekete lyuk vagy a Higgs- bozon lesz. Ha azt látják, hogy újabb rover landolt a Mars felszínén, az űrteleszkópok távoli galaxis képét rögzítették vagy a napkitörések valós időben tanulmányozhatók, akkor az első pillanat utáni csodálatukat a kételkedés váltja fel. Az elektronikai szakkiallításokon bemutatott egyre bonyolultabb műszaki cikkek, robotok is felcsigázzák az érdeklődők figyelmét, de nagyon hamar szembesülnek azzal, hogy ehhez bizony nem értenek, nem tudják hogyan is működik. Az ilyen helyzetek viszont elkerülhetetlenek, mert ezeket az információkat nagy mennyiségben szállítja nap mint a nap a média. Ebben a megközelítésben a világ nagyon érdekesítő, de ugyanakkor riasztó azok számára, akik csak a médiából (TV, internet, hírlapok, magazinok) próbálják megérteni mindazt, amit a modern tudományok kínálnak akár elméletekről van szó, akár gyakorlati alkalmazásokról és technikai megoldásokról.

Ilyen körülmények között a tanároknak, főként a természettudományokat oktatóknak nagyon fontos szerepük van abban, hogy megalapozzák azt a tudást, jártasságot, amely a fizika, csillagászat, űrtechnológiák vagy határtudományok területén eligazítják az érdeklődőt. Adott esetben minden tanárnak az a feladata, hogy megtalálja azokat a módszereket, amelyek segítségével a tanterv által előírt témákat és feladatokat összekötheti azokkal a kihívásokkal, amelyeket a technika és tudomány új eredményei folyamatosan támasztanak. Ezek a kérdések, éppen újszerűségüknél fogva nyilván kimaradtak a kötelező tananyagból, de folyamatosan ott vannak mindennapjainkban. Tanárként meg kell teremtenünk azokat a lehetőségeket - tanórákon vagy szakköri munka során-, amelyek keretén belül válaszolhatunk a diákok által feltett „érdekesítő” kérdésekre.

A romániai iskolai tanrendek és tantervek 1989 után nagyon sokféle változáson mentek át az oktatási reformok jegyében, és ennek egyik következménye volt a fizika órák számának jelentős csökkenése valamint a tananyag (nem mindig ésszerű) átrendezése. Reáltagozatos osztályokban (természettudományok, matematika-informatika, műszaki szakosztályok) heti 2-3 óra, humán osztályokban (idegen nyelvek, filológia, művészeti, teológia, társadalomtudományok, sport) heti 1, ritkán 2 óra van (és csak IX-X. osztályban). Az érettségi követelmények minden reális osztály számára emelt szintűek. Viszont az egyetemi felvételin a fizikát minden szakon ki lehet kerülni (a fizika szak kivételével), nem kötelező tárgy egyetlen egyetemi kar esetében sem. Ilyen körülmények között szükségszerű a szemléletváltás a pedagógiai munkánkban, és szinte kötelező az olyan eszközök, módszerek kialakítása, amelyek lehetővé teszik azt, hogy ebben a paradox helyzetben használható természettudományos alapműveltséget, technikai tudást nyújtsunk a diákoknak, megszeretessük velük a fizikát.

Fizikatanárként eddig is mindig arra törekedtem, hogy megtaláljam azt az egyensúlyt, ami a tantervi követelményeket összehangolja a diákok képességeivel, érdeklődésével illetve a technikai kihívásokkal. Tanórai munkám során arra helyezem a hangsúlyt, hogy diákjaim, egyéni vagy csoportos kísérletek segítségével könnyebben megértsék a vizsgált jelenségeket, illetve az

azokhoz kapcsolódó elméleteket. Ezeken a foglalkozásokon nemcsak a jelenség fizikai magyarázatát keressük, hanem arra próbálom rávezetni a tanulóimat, hogy kapcsolják össze a földrajz, kémia vagy biológiaórán tanultakat azzal, amit éppen vizsgálnak. Keressék meg azokat a rejtett elemeket, amelyek ott vannak, működnek csak éppen addig külön-külön hallottak róluk, és nem is gondolkodtak azon, hogy ezek összefügghetnek. A diákok egy része, amikor feladat- vagy elméleti kérdés megoldására kerül sor, elveszíti a lelkesedését. Nálunk ez többnyire abból adódik, hogy a matematikaórán tanultak elmaradnak a fizika feladatok megoldásához szükségesektől (a két tanmenet között nagy csúszások vannak, a matematikai absztrakciót nem tudják társítani a fizikai valósággal) vagy éppen még nem gyakorolták eléggé ahhoz, hogy valós környezetben is alkalmazni tudják. Kezdő osztályokban, ezért a feladatmegoldási módszerek elsajátításának nehézségeit a projekt és a felfedező kutatómunka segítségével próbálom áthidalni. Nyilván nem lehet teljesen kiküszöbölni az ehhez kapcsolódó gondokat, de a kevésbé érdeklődő diák is talál magának megfelelő feladatot egy-egy projekt során.

A tehetségek esetében pedig a szakköri munka, műhelyfeladatok jelentik azt a lehetőséget, ahol a tanulók jobban kibontakoztathatják, gazdagíthatják képességeiket, illetve egy szabadabb környezetben a rejtett tehetségeik is felszínre kerülhetnek. Számukra sajátos foglalkozásokat dolgoztam ki, amelyek során bővíthetik ismereteiket, jártasságokra tehetnek szert a tudományos kutatás módszereiben, kommunikációs, alkotó képességeiket hozhatják felszínre.

Dolgozatomban a sepsiszentgyörgyi Székely Mikó Kollégiumban végzett fizikatanári munkámnak az eredményeit mutatom be. Azokat a megoldásokat emeltem ki, amelyekről úgy gondolom, segítenek abban, hogy a diákok figyelmét újra a természettudományok felé irányítsam, éberem tartsam bennük azt a kíváncsiságot, amit magukkal hoznak az elemi osztályokból illetve felkeltsem az érdeklődésüket a fizika új alkalmazásai, a modern technológiák iránt. Olyan ötleteket válogattam össze, amelyek segítenek abban, hogy a különböző tanórákon szerzett ismereteiket összefüggő, egységes tudássá alakítsák, megerősödjön bennük az igényesség a kitartó, alapos, értékteremtő munka iránt.

Főként olyan témák tanításához kerestem új eljárásokat és megközelítési módokat, amelyek a csillagászat, űrkutatás, robotika rejtelmei felé vezetik el a kíváncsiskodókat, reál illetve a humán tagozaton tanuló diákokat egyaránt. A módszereimet az alábbi elvekre alapozva dolgoztam ki:

- interdiszciplinaritás, a tantárgyak összekapcsolása, közös alkalmazási területek alapján: matematika, fizika, kémia, biológia, földrajz, meteorológia, csillagászat,
- tehetséggazdagítás, a tehetséggondozás komplex feladatai;
- kíváncsiság vezérelt (IBL) tanulás, tanítás;
- új motivációk, utak keresése;
- új készségek kialakítása, fejlesztése: csapatmunka, csapat- és időmenedzsment;
- modern audio és vizuális technikák alkalmazása, a média agresszív hatásának ellensúlyozása;



## A doktori értekezés fejezetei

Dolgozatom első négy fejezete a részecskefizika, nap- és asztrofizika, légkörfizika és geomorfológia tanításának különböző kérdéseit és lehetőségeit járja körül, olyan módszerek bemutatásával, amelyek alkalmazhatók (egészben vagy részben) tanórai keretek között vagy projekt feladatként. Minden esetben arra törekedtem, hogy ne csak az adott jelenséget boncolgassuk, írjuk le (matematikai levezetéssel, kapcsolódó feladatok megoldásával), hanem illesszük bele egy átfogó rendszerbe, ami a tárgyi műveltségük megalapozását jelenti és kapcsolatot teremt a különböző tanórákon (különböző tantárgyak tanulása során) szerzett ismeretek között. Az utolsó két fejezet a szakköri munkámat illetve a tudománynépszerűsítési eredményeimet mutatja be. A szakköri munkám során elsősorban az elektronika (szenzorok, vezérlési technikák) modern alkalmazásaival, útkutatási és mérési eszközök világával ismertetem meg a diákjaimat, együtt építve különféle robotokat az egyszerű modellektől egészen autonóm, díjnyertes eszközökig. Ezek a foglalkozások kiegészítik a tanórai munkámat, fontos elemei iskolánk komplex tehetséggondozási és fejlesztési stratégiájának illetve újszerű tanulási keretet biztosítanak diákok és felnőttek számára is az interaktív foglalkozások során.

### 1. Részecskefizika tanítása a középiskolában [1, 2, 3]

A XII-es tantervünk tartalmaz részecskefizikával kapcsolatos témákat, de mindez össze van zsúfolva néhány tanórába, ami túl kevés ahhoz, hogy a fizika egyik leggyorsabban fejlődő ágával és annak alkalmazásaival megismerkedjenek a diákok. Éppen ezért egy más megközelítési módot dolgoztam ki, amelynek során már a bevezető szakaszban a diákok tevékeny részesei a tananyag előkészítésének majd elsajátításának. E-tananyagot valamint egy radon mérési projektet mutatok be, nyomelemzési feladatokat az ATLAS vagy a CMS valós adatainak felhasználásával illetve a beamline versenyt, mint szakköri, projekt jellegű tanulási lehetőséget.

### 2. Napfizika a középiskolában [4, 5, 6, 7, 8]

Égi mechanikával, csillagászati témával a romániai középiskolás fizika tananyag csak néhány (2-3) órában foglalkozik, ezek az ötödikes vagy kilencedikes földrajz tananyag részei. Mivel legtöbbször abba a helyzetbe kerülök, hogy a diákok a más órákon szerzett ismereteiket nem tudják összekapcsolni a fizikaórán tanultakkal, olyan módszert dolgoztam ki, amelyben éppen az összefüggések keresése a feladat. Ez a fejezet azt mutatja be, hogy a diákok milyen módon ismerkednek meg a Naprendszer központi csillagának a szerkezetével, mozgásával, a felszínén és benne végbemenő folyamatokkal, stb.. A napfoltok tanulmányozásán keresztül megismerkedünk a nap differenciális forgásának a fogalmával, beszélünk ennek okairól illetve a nap szerkezetéről és a benne lejátszódó folyamatokról. A napfoltok dinamikája (a keletkezésüktől az eltűnésükig tartó folyamatos átalakulások követése) kapcsolatba hozható az űridőjárás alakulásával és megvizsgáljuk ennek esetleges hatásait a földi környezetünkre. Ezen keresztül sikerül egy jobb rálátást biztosítani a különböző iskolai tantárgyak közötti kapcsolatra

és átjárást biztosítani közöttük (a tanulók interdiszciplináris szemléletet alakíthatnak ki a téma kapcsán).

### **3. Műholdépítés. Légekörfizikai mérések [9, 10, 11, 12, 15]**

A műholdak minden kis- és nagydiák számára érdekesítő, csodálatos eszközök, amelyek szinte elérhetetlen távlatokat nyitnak meg a kreatív alkotásban. Azt, hogy egyszerű modelleket középiskolás szinten is meg lehet építeni, nagyon kevesen hiszik el, talán még akkor sem, ha már látják a kész műszert. A dolgozatban bemutatom, hogy ilyen műhold építése diákokkal elvégezhető. Ugyanakkor a megépített eszköz nemcsak egy versenyen való részvétel kötelező feltétele, hanem nagyon jól használható termodinamika, hőtan vagy akár félvezető áramköri elemek tanítása során is. Ebben a fejezetben végigvezetem, miként lehet megtervezni, megépíteni egy ilyen mérőeszközt középiskolai ismeretekkel, és hogyan lehet hasznosítani alap vagy bővített formában tanórai körülmények között.

### **4. Kráterek. Geomorfológia [13]**

A középiskolai mechanika, földrajz és csillagászat eredményes összekapcsolására ad lehetőséget a becsapódási kráterek tanulmányozása projekt feladaton keresztül. Ebben a fejezetben azt jártam körül, hogy miként lehet felhasználni a becsapódási kráterek tanulmányozását a mechanika törvényeinek a megértésére, elmélyítésére, a különböző anyag típusok mechanikai tulajdonságainak a vizsgálatára illetve a kísérlet eredményei miként kapcsolhatók össze a Hold vagy a Mars felszínén látott kráterek keletkezési elméleteivel.

A projektmunka során a diákok különböző anyagok (homokfélék, agyag, liszt, szilárd közetkeverékek, stb.) szerkezetét, viselkedését tanulmányozzák a becsapódó test energiájának felszíninformáló hatásának függvényében. A becsapódási mintát nemcsak megfigyeljük, lefényképezzük, hanem kapcsolatot keresünk a becsapódás dinamikai elemei és a keletkezett kráter fizikai jellemzői között. Úgy találtam, hogy ez az egyik kedvenc feladat a humán tagozatos diákok körében. Esetükben a feladat fizikával kapcsolatos része a kráter mélységének, formájának és szerkezetének a leírásával véget is ér, de a kráterek képei jól használhatók arra, hogy a világegyetem elemeinek a keletkezésével kapcsolatos leckéknél felhasználjuk őket.

### **5. Robotika. Szakköri munka a Tudós klubban [6, 14, 15]**

A kis és nagy diákok számára egyik legnagyobb kihívás egy robot megépítése. Ebben a fejezetben azt mutatom be, hogy miként hasznosítható az órai tananyag szakköri munkában illetve hogyan lehet kiegészíteni olyan új ismeretekkel, amelyek lehetővé teszik a diák számára, hogy vezérelhető, meghatározott feladat ellátására alkalmas eszközöket építsenek. Az iskolai szakkörön belül kialakítottam egy olyan csoportot, amely különböző robotok (Lego és Arduino alapú) tervezésével és megépítésével foglalkozik, illetve versenyeken vesz részt. A robotépítés egy összetett tehetségfejlesztő program, amely lényeges eleme a munkámnak, mert nem csak az úgynevezett jótanuló diákokat sikerült bevonni, hanem azokat is, akik nem érdeklődnek a fizika iránt. Ez az a hely ahol a fizika, matematika és technikaórán szerzett ismereteket ötvözzük a számítástechnikai, műszaki rajz vagy a gazdasági hatékonyság kérdéseivel.

## 6. Tudománynépszerűsítés [6, 14, 15]

A Tudós Klubot néhány éve hoztam létre iskolánkban azért, hogy újszerű keretet biztosítsak a tanulóknak arra, hogy megismerkedjenek a fizika különböző területeken való alkalmazási lehetőségeivel illetve olyan kérdésekkel, amelyekre a határtudományok keresik a választ. Dolgozatomnak ez a része azt mutatja be, hogy diákjaimmal milyen foglalkozásokon keresztül sikerült a tudományos eredményeket közel vinni az érdeklődőkhöz. Egyik ilyen lehetőség a klub és a szakköri tevékenységünk eredményeinek a prezentálása a nagyközönség felé nyilvános előadásokon. Ez nagyon fontos eleme a munkámnak, hiszen nemcsak a diák kap azonnali visszajelzést, értékelést a hallgatóság részéről, hanem a közönség is megismeri a legfrissebb alkotásainkat. Egy ilyen előadásra készülve a diákok megtanulják, hogy miként lehet egy műszaki alkotást úgy bemutatni, hogy annak működési elve és felépítése is érthető legyen a be nem avatottak számára is, illetve hogyan kell megválaszolni a vitás kérdéseket. Ezen kívül az új tudományos eredmények népszerűsítése szükséges és alkalmat ad arra, hogy kíváncsiskodókat vonjunk be a szakköri munkába, illetve tisztázzunk tévhiteket vagy rosszul rögzült ismereteket, amelyek olyan területekhez kapcsolódnak, mint a részecskefizika, asztrofizika, nanotechnológiák, stb., amelyekbe a külső szemlélő nehezen lát bele. A „nyitott-ajtós” bemutatókat az iskola nagy előadótermében, illetve a Megyei Könyvtárban tartjuk két- három havonta nagyszámú közönség előtt.

A tudománynépszerűsítés másik lehetőségeként a szaktáborokban vagy iskolai nyílt napokon szervezett rendezvényt tartom. A tábori vagy nyílt napi bemutatókat interaktív foglalkozásként szervezem, főként 10-14 éves diákok számára. A műhelyfoglalkozásokat a felsőbb évesek vezetik a kicsiknek, 4-5 fős csoportokban, az elméleti alapot pedig én tartom, alkalmazkodva a hallgatóság tudásszintjéhez.

## 1. Részecskefizika tanítása a középiskolában

A részecskefizika az az ága a fizikának, amely talán a legtöbb rejtélyt sejtet a diák számára, és válaszol azokra a „furcsa” kérdésekre, amelyek a modern technika alkalmazásai során merülnek fel benne. Ebben a témában, a román középiskolás tananyag csak arra elegendő, hogy felébressze a diák érdeklődését, elindítson egy folyamatot, de már nem elég ahhoz, hogy alapos ismereteket biztosítson és, hogy a diák elmélyülhessen benne. A tanterv minden témakört (az atommag felépítése, nukleáris folyamatok, elemi részecskék, detektorok, stb.) csak röviden, egy-két gondolat erejéig érint, majd nyitva hagyja azokat. Az elmúlt évek során többféle módszert próbáltam ki úgy a reáلتagozatos osztályokban, mint a humán csoportok esetén. A humán, filológia tagozatos osztályokban, ahol csak egy év áll a rendelkezésre a „Tudomány” nevű integrált tantárgy tanítására, az Univerzum keletkezésétől a kvantumfizikáig, az élet kialakulásától a modern ipari technológiáig mindenről kell beszélni. Mivel nagyon szerteágazó ismereteket kell egybefoglalni nagyon fontos, hogy a tananyagot logikusan rendezve, érthető módon vigyem a diákok elé, majd ezt építsem be egy használható rendszerbe.

A részecskefizika tanításához azt a tudást és tapasztalatot használom fel, amelyet a CERN HST nyári tanárképző programján illetve a Részecskefizika Mesterkurzusok során szereztem.

A detektorok felépítésének és működési elvének megismerése a CERN oktatói felületének a használatával lehetővé teszi a félvezető anyagok különleges gyakorlati alkalmazásainak a bemutatását, illetve a tanulók érdeklődésének a ráirányítását az alapkutatások szépségeire. Megmutattam, hogy ha érdekes, nem szokványos tanítási megközelítésben visszük a diákok elé a részecskefizika anyagát, akkor a modern fizikának ez az érdekesítő, izgalmas és állandó fejlődésben levő ága is érthetővé válik számukra. Ezért interaktív foglalkozásokat szervezek a részecskefizika Standard Modelljét alkotó részecskékről, a Higgs- bozon „vadászatról”, részecskegyorsítókról, a CERN-ről. Az előadás után feladatlapon segítségével értelmezzük az Atlas és CMS detektor képeit, azonosíthatjuk a különböző elemi részecskéket.

A szakköri és órai tevékenységek hasznos összekapcsolásának bizonyul az, hogy részt veszünk diákjaimmal a Részecskefizika Mesterkurzus tevékenységein. Ezekon az alkalmakon a résztvevő diákok közvetlenül kerülnek kapcsolatba a részecskefizika kutatás módszereivel és vehetnek részt valódi CMS és ATLAS detektorképek elemzésében. Minden ilyen foglalkozás után a résztvevők segítségével órai műhelymunkát szervezünk a többi diák számára, ami közvetlenebbé és hitelesebbé teszi az elemi részek világát.

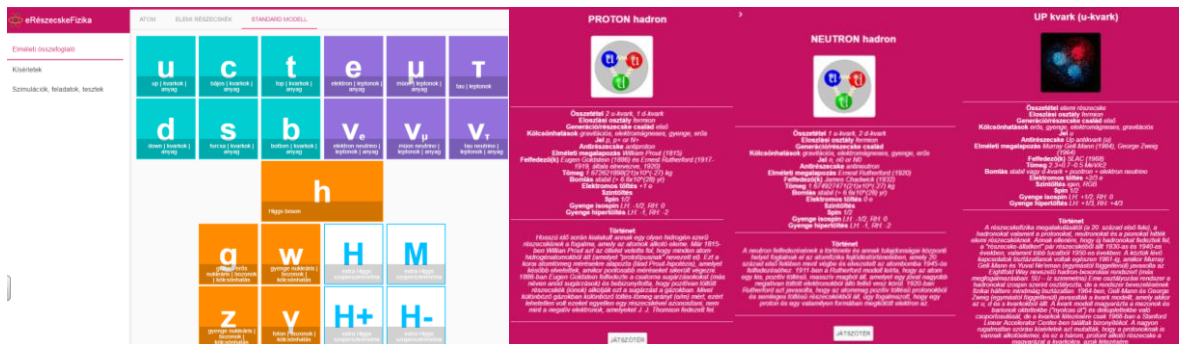
Az útkeresés során az alábbi módszerek bizonyultak a leghatékonyabbaknak:

- A tanulást segítő e-tananyag készítése;
- részecskefizika mesterkurzus (masterclass) típusú foglalkozások (CMS, ATLAS- LHC adatok feldolgozása diákműhely illetve órai körülmények között);
- Radioaktív sugárzás mérése. Ködkamra készítése.

## 1.1. E-tananyag készítése

A diákok számára elkészített tanulási segédlet, e-tananyag, összefoglalja a részecskefizika alapjait a részecskék felfedezésétől egészen a gyakorlati alkalmazásokig. Ez a segédanyag nemcsak arra hívatott, hogy elméleti kiegészítést biztosítson a tananyaghoz, hanem arra próbálja ösztönözni a tanulókat, hogy egyéni munkával, feladatok megoldásán keresztül alapozzák meg és gazdagítsák az ismereteiket a részecskefizikával kapcsolatban. [1, 2, 3]

A tananyag a román XII-es tanterv által előírt követelmények mentén egy összegzést, kiegészítést kínál a diákok számára, a részecskék Standard Modelljét véve alapul mutatja be azok tulajdonságait, kölcsönhatásait. Az első részben a kvarkokkal ismerkednek meg a diákok, tulajdonságaikat, felfedezésük módját, kísérleteit és kölcsönhatásait mutatom be. Ezután következnek a részecske családok: leptonok, barionok és mezonok, majd a kölcsönhatási (gauge) részecskék. Minden esetben röviden összefoglalva megjelennek a részecske alapvető tulajdonságai, hol és milyen körülmények között fedezték fel vagy jósolták meg a létezését, illetve milyen folyamatokban vesz részt és milyen módon jelenik meg a mindennapjainkban. A közvetítőrészecskék esetén is beszélünk az alapvető tulajdonságokról, de itt a legfontosabb a közvetítő szerep megnyilvánulásának módja, hatásai és szerepe. [17, 18]



1.1. ábra Az eRészecskeFizika nyitó lapja, illetve a proton, neutron és u-kvark adatlapja (<http://localhost/ep/>)

A részecskefizikai folyamatok esetén tisztázom a megmaradási törvényeket és a részecskék nem hétköznapi tulajdonságaihoz kapcsolódó megmaradási, kizárási elvek szerepét. Ezeknek a begyakorlására feladatokat és rövid teszteket dolgoztam ki és illesztettem a tananyaghoz, ami viszont folyamatosan fog bővülni, gazdagodni aszerint, hogy milyen visszajelzéseket kapok a diákjaimtól.

Az alábbiakban néhány feladatot mutatok be, amelyeket a megmaradási törvények (energia, impulzus, impulzusnyomaték, elektromos töltés, bariontöltés, ritkaság, leptonszám) begyakorlására készítettem a tananyaghoz, megoldási kulccsal. [felhasznált táblázat 1. függelék] A feladatok az egészen egyszerűtől a nehéz feladatig minden típust érintenek, lehetőséget adva arra, hogy minden diák a neki megfelelő szintű gyakorlat megoldásával foglalkozzon.

F1. A bariontöltés és a ritkaság megmaradásának elvét alkalmazva ellenőrizzék, hogy az alábbi folyamatok közül melyik mehet végbe. Magyarazzátok meg a választ minden esetben.

- |  |   |
|--|---|
| 1. $p + {}^2_1H \rightarrow {}^3_2He + \pi^0$      | M1. $\Delta Q=0, \Delta B=0, \Delta S=0,$ |
| 2. $p + {}^{10}_5B \rightarrow {}^{11}_5B + \pi^+$ | M2. $\Delta Q=0, \Delta B=0, \Delta S=0,$ |
| 3. $p + \pi^- \rightarrow \Sigma^- + K^+$          | M3. $\Delta Q=0, \Delta B=0, \Delta S=0,$ |
| 4. $n \rightarrow p + e^- + \tilde{\nu}_e$         | M4. $\Delta Q=0, \Delta B=0, \Delta S=0,$ |
| 5. $e^- + {}^7_4Be \rightarrow {}^7_3Li + \nu_e$   | M5. $\Delta Q=0, \Delta B=0, \Delta S=0,$ |

F2. A hadronok leptonikus bomlása esetén érvényes a  $\Delta Q = \Delta S$  törvény. Vizsgáljátok meg, hogy az alábbi részecskefolyamatok közül melyik lehetséges a fenti kiválasztási szabály értelmében.

- |  |                                    |
|--|------------------------------------|
| 1. $K^+ \rightarrow \pi^+ + \pi^+ + e^- + \tilde{\nu}_e$ | M1. $\Delta S=1$ és $\Delta Q=0$   |
| 2. $K^+ \rightarrow \pi^+ + \pi^- + e^+ + \nu_e$         | M2. $\Delta S=-2$ és $\Delta Q=-2$ |
| 3. $\Xi^- \rightarrow \Lambda + e^- + \tilde{\nu}_e$     | M3. $\Delta S=1$ és $\Delta Q=1$   |
| 4. $\Lambda \rightarrow p + e^- + \tilde{\nu}_e$         | M4. $\Delta S=1$ és $\Delta Q=1$   |
| 5. $\Xi^0 \rightarrow \Sigma^+ + e^- + \tilde{\nu}_e$    | M5. $\Delta S=1$ és $\Delta Q=1$   |

F3. Milyen típusú kölcsönhatásoknak felelnek meg az alábbi részecskefolyamatok?

- |  |                                  |
|--|----------------------------------|
| 1. $K^- + p \rightarrow \pi^0 + \Lambda$             | M1. erős kölcsönhatás            |
| 2. $n \rightarrow p + e^- + \tilde{\nu}_e$           | M2. gyenge kölcsönhatás          |
| 3. $\pi^0 \rightarrow \gamma + \gamma$               | M3. elektromágneses kölcsönhatás |
| 4. $\mu^+ \rightarrow \nu_e + e^+ + \tilde{\nu}_\mu$ | M4. gyenge kölcsönhatás          |

F4. Az alábbi folyamatok közül melyik nem mehet végbe a megmaradási törvények alapján?

- |  |   |
|--|---|
| 1. $n \rightarrow p + e^- + \tilde{\nu}_e$ | M1. Végbemeget a folyamat                 |
| 2. $p \rightarrow n + e^+$                 | M2. Nem mehet végbe (energia, leptonszám) |
| 3. $K^- + n \rightarrow \pi^- + \Lambda$   | M3. Végbemeget.                           |
| 4. $\pi^+ + n \rightarrow K^+ + \Lambda$   | M4. Végbemeget a folyamat.                |

F5. Az alábbi folyamatok közül a természetben melyik megy végbe? Hol, milyen folyamat során?

- |   |  |
|---|--|
| 1. $\Xi^0 \rightarrow \Sigma^0 + \pi^0$ | M1. Nem teljesül az energia megmaradás                   |
| 2. $\Xi^0 \rightarrow \Lambda + \pi^0$  | M2. Lehetséges, ez a $\Xi^0$ részecske bomlási folyamata |
| 3. $\Xi^0 \rightarrow n + \tilde{K}^0$  | M3. Nem teljesül az energia megmaradás                   |

F6. Melyek azok a részecskefolyamatok, amelyek során nem marad meg a ritkaság, tehát nem mennek végbe vagy nagyon kicsi valószínűséggel mennek végbe.

- |  |                                   |
|--|-----------------------------------|
| 1. $\pi^- + p \rightarrow K^0 + \Lambda$   | M1: $\Delta S=0+0 -(+1)-(-1)=0$   |
| 2. $\pi^- + p \rightarrow \pi^0 + \Lambda$ | M2: $\Delta S=0+0+0-(-1)=1$       |
| 3. $\Lambda \rightarrow p + \pi^-$         | M3: $\Delta S=-1-0-0=-1$          |
| 4. $\Xi^- \rightarrow \Lambda + \pi^-$     | M4: $\Delta S=-2-(-1) -0=-1$      |
| 5. $\Xi^- \rightarrow p + 2\pi^-$          | M5: $\Delta S=-2- 0 -2\cdot 0=-2$ |

### Ismeretlenőrző teszt:

F1° Az alábbi részecskefolyamatok közül melyik az, amely nem megy végbe vagy nagyon kicsi valószínűséggel a ritkaság-megmaradásának törvénye szerint?



1.  $\pi^+ + \tilde{p} \rightarrow K^- + \tilde{\Sigma}^+$
2.  $\pi^+ + \tilde{p} \rightarrow \pi^- + \tilde{\Sigma}^+$
3.  $\pi^+ + n \rightarrow K^+ + \Lambda$
4.  $K^+ + p \rightarrow \pi^+ + \Sigma^+$
5.  $p + \tilde{\Sigma}^+ \rightarrow \pi^+ + K^+$

F2°. A hadronok leptonikus bomlása esetén érvényes a  $\Delta Q = \Delta S$  törvény. Vizsgáljátok meg, hogy az alábbi részecskefolyamatok közül melyik lehetséges a fenti kiválasztási szabály értelmében.

1.  $K^+ \rightarrow \pi^0 + e^+ + \nu_e$
2.  $\Sigma^+ \rightarrow n + e^+ + \nu_e$
3.  $\Sigma^- \rightarrow n + e^- + \tilde{\nu}_e$
4.  $\Xi^0 \rightarrow \Sigma^- + e^+ + \nu_e$
5.  $\Sigma^0 \rightarrow \Lambda + e^+ + e^-$

F3° Milyen kölcsönhatások határozzák meg az alábbi részecskefolyamatokat?

1.  $\pi^+ + p \rightarrow \Sigma^+ + K^+$
2.  $\Sigma^0 \rightarrow \Lambda + \gamma$
3.  $\Xi^0 \rightarrow \Lambda + \pi^0$
4.  $\Omega^- \rightarrow \Xi^- + \pi^0$

F4°. Figyelembe véve a megmaradási törvényeket, határozzátok meg, hogy alábbi folyamatok közül melyik nem mehet végbe, és magyarázzátok meg, hogy miért?

1.  $\mu^- \rightarrow \nu_\mu + e^- + \tilde{\nu}_e$
2.  $K^+ \rightarrow \pi^- + 2e^+$
3.  $\pi^+ + n \rightarrow K^+ + K^0$
4.  $\pi^- + p \rightarrow K^0 + \Lambda$

### Megoldási javaslatok (ismeretlenőrző teszt):

MF1°. Ritkaság-megmaradás

- |   |  |
|---|--|
| 1. $\pi^+ + \tilde{p} \rightarrow K^- + \tilde{\Sigma}^+$   | M1: $\Delta S = 0 + 0 - (-1) - (+1) = 0$ |
| 2. $\pi^+ + \tilde{p} \rightarrow \pi^- + \tilde{\Sigma}^+$ | M2: $\Delta S = 0 + 0 - 0 - (+1) = -1$   |
| 3. $\pi^+ + n \rightarrow K^+ + \Lambda$                    | M3: $\Delta S = 0 + 0 - (+1) - (-1) = 0$ |
| 4. $K^+ + p \rightarrow \pi^+ + \Sigma^+$                   | M4: $\Delta S = +1 + 0 - 0 - (-1) = 2$   |
| 5. $p + \tilde{\Sigma}^+ \rightarrow \pi^+ + K^+$           | M5: $\Delta S = 0 + 1 - 0 - (+1) = 0$    |

MF2°. A hadronok leptonikus bomlása esetén érvényes sajátos  $\Delta Q = \Delta S$  törvény ellenőrzése:

- |   |                                       |
|---|---------------------------------------|
| 1. $K^+ \rightarrow \pi^0 + e^+ + \nu_e$          | M1. $\Delta S = -1$ és $\Delta Q = 0$ |
| 2. $\Sigma^+ \rightarrow n + e^+ + \nu_e$         | M2. $\Delta S = 1$ és $\Delta Q = -1$ |
| 3. $\Sigma^- \rightarrow n + e^- + \tilde{\nu}_e$ | M3. $\Delta S = 1$ és $\Delta Q = 1$  |



4.  $\Xi^0 \rightarrow \Sigma^- + e^+ + \nu_e$  M4.  $\Delta S=1$  és  $\Delta Q=-1$

5.  $\Sigma^0 \rightarrow \Lambda + e^+ + e^-$  M5.  $\Delta S=0$  és  $\Delta Q=0$

MF3° Kölcsönhatás típusok:

- |  |                                  |
|--|----------------------------------|
| 1. $\pi^+ + p \rightarrow \Sigma^+ + K^+$  | M1. erős kölcsönhatás            |
| 2. $\Sigma^0 \rightarrow \Lambda + \gamma$ | M2. elektromágneses kölcsönhatás |
| 3. $\Xi^0 \rightarrow \Lambda + \pi^0$     | M3. gyenge kölcsönhatás          |
| 4. $\Omega^- \rightarrow \Xi^- + \pi^0$    | M4. gyenge kölcsönhatás          |

MF4° Megmaradási törvények

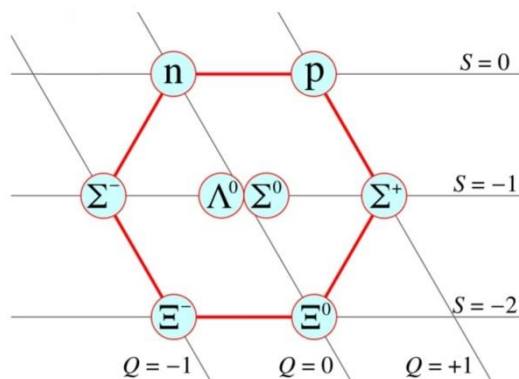
- |  |   |
|--|---|
| 1. $\mu^- \rightarrow \nu_\mu + e^- + \tilde{\nu}_e$ | $\Delta Q=0; \Delta L_\mu=0; \Delta L_e=0$ ; lehetséges             |
| 2. $K^+ \rightarrow \pi^- + 2e^+$                    | $\Delta Q=0; \Delta L=-2$ nem marad meg a leptonszám; $\Delta B=0$  |
| 3. $\pi^+ + n \rightarrow K^+ + K^0$                 | $\Delta Q=0; \Delta B=1$ nem marad meg; $\Delta S=2$ nem marad meg; |
| 4. $\pi^- + p \rightarrow K^0 + \Lambda$             | $\Delta Q=0; \Delta S=0; \Delta B=0$ ; lehetséges                   |

A részecskék új tulajdonságainak a bevezetéséhez és a fogalmak begyakorlásához rövid elméleti összegzők és gyakorlatok segítik a diákok munkáját.

### Az izospin

1. Bevezetés:

Az alábbi ábrán a barion-oktettet látjuk, ahol: S-a ritkaságot és Q- az elektromos töltést jelöli. A barion három kvarkból álló részecske ( $B=qqq$ ). Minden kölcsönhatásban részt vesznek. Spin: 1/2. Bariontöltés  $B=1$  (barion) vagy  $B=-1$  (antibarion).



1.2. ábra Barion oktett (forrás: [https://wikipedia/commons/3c/Octeto\\_bari%C3%B4nico.png](https://wikipedia/commons/3c/Octeto_bari%C3%B4nico.png))

1. Táblázat A barionok nyugalmi tömege

barion	tömeg [ $MeV/c^2$ ]	barion	tömeg [ $MeV/c^2$ ]
p	938,27	$\Sigma^0$	1192,64
n	939,57	$\Sigma^-$	1197,45
$\Lambda^0$	1115,68	$\Xi^0$	1314,86
$\Sigma^+$	1189,37	$\Xi^-$	1321,71

Felhasználva ezeket az adatokat, milyen közös jellemzőt olvashattok ki a barionokra vonatkozóan?

## 2. Bevezető gyakorlat:

A neon  ${}_{10}^{22}\text{Ne}$  atommag tömege  $20484,75 \frac{\text{MeV}}{c^2}$ , a nátriumé  ${}_{11}^{22}\text{Na}$  pedig  $20487,6 \frac{\text{MeV}}{c^2}$ .

Határozzátok meg az atommagokban található protonok és neutronok számát. Miért különbözik a két atommag tömege? Magyarázható ez, tisztán az elektromos kölcsönhatási energiával?

A protonok közötti elektrosztatikus taszítás energiája elég jó közelítéssel kiszámítható az alábbi összefüggéssel:

$$E_{el} = 0,691 \cdot \frac{Z(Z-1)}{A^{\frac{1}{3}}} [\text{MeV}] \quad (1)$$

Ahol: Z-rendszám (a protonok száma), A -nukleonszám;

- Felhasználható ez az elv arra, hogy megmagyarázzuk a barion oktett elemei közötti tömeg különbséget? Miként?
- Az erős kölcsönhatás esetén azt mondjuk, hogy “nem tud különbséget tenni” a proton és a neutron között. Hogyan igazolható ez?

## 3. Izospin

A fentiek alapján a proton és a neutron a nukleon két különböző megnyilvánulási/létezési formája. A két részecske közötti különbséget az izospinnek nevezett szimmetria tulajdonsággal fejezzük ki. A proton és a neutron egy izospin dubletet alkot (mint egy közösleges feles spin két állapota, spin le és spin fel:  $\pm 1/2$ ). A két részecske közötti különbséget az izospin vetülete, az  $I_3$  kvantumszám fejezi ki.

A  $\Sigma$  részecske háromféle lehet  $\Sigma^+$ ,  $\Sigma^0$  és  $\Sigma^-$ , ezért ezek izospin-triplettet alkotnak.

A  $\Lambda^0$  részecskének nincs párja (szinglett).

A  $\Xi$  részecskék szintén izospin-dubletet alkotnak:  $\Xi^0$  és  $\Xi^-$  (két részecske).

2.Táblázat Barionok izospinjé:

barion	$I_3$	barion	$I_3$
<b>p</b>	$\frac{1}{2}$	$\Sigma^0$	0
<b>n</b>	$-\frac{1}{2}$	$\Sigma^-$	-1
$\Lambda^0$	0	$\Xi^0$	$\frac{1}{2}$
$\Sigma^+$	1	$\Xi^-$	$-\frac{1}{2}$

Készíts egy új ábrát, amelyen a barionok izospinjét illetve a ritkaságot választod tengelyként. Tudva, hogy a ritkaság, elektromos töltés és az izospin között lineáris összefüggés van:

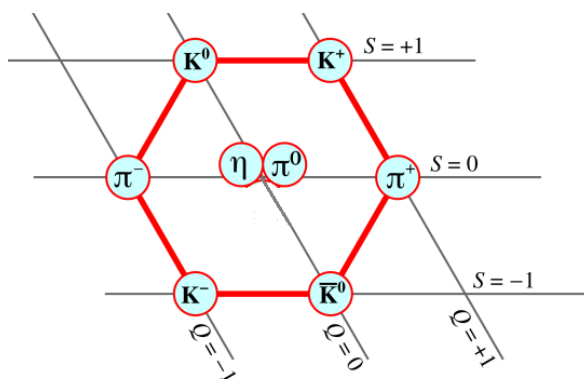
$$S = \alpha \cdot Q + \beta \cdot I_3.$$

Határozzuk meg az  $\beta$  és  $\alpha$  együtthatókat.

## 4. Mezonoktett

A mezonok egy kvarkból és egy antikvarkból álló részecskék. ( $q\bar{q}$ )

Az alábbi kép egy mezon-oktettet ábrázol.



1.3. ábra Mezonoktett (forrás: [https://wikipedia/commons/Meson\\_nonet - spin\\_0.svg.png](https://wikipedia/commons/Meson_nonet - spin_0.svg.png))

Egészítsd ki a táblázat hiányzó oszlopát:

mezon	tömeg [ $MeV/c^2$ ]	$I_3$	mezon	tömeg [ $MeV/c^2$ ]	$I_3$
$K^+$	493.68		$\pi^-$	139.57	
$K^0$	497.61		$\eta$	547.85	
$\pi^+$	139.57		$\bar{K}^0$	497.61	
$\pi^0$	134.98		$K^-$	493.68	

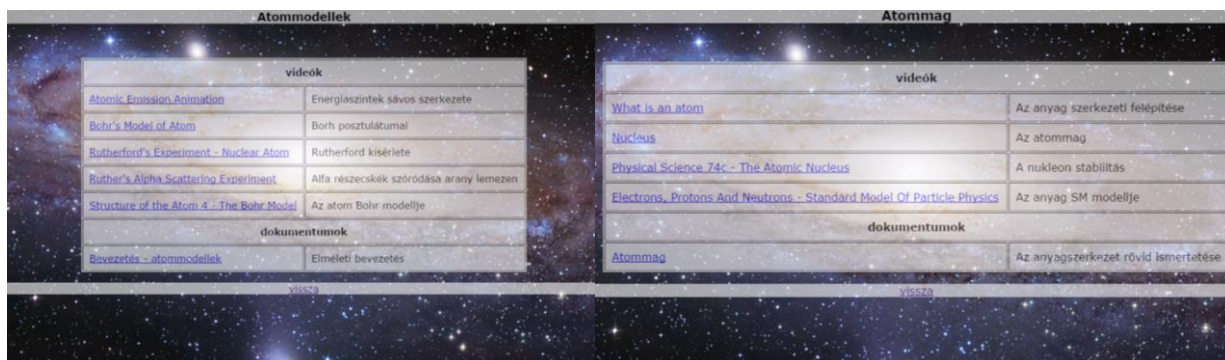
- A mezonoktett esetében érvényes a ritkaság, elektromos töltés és az izospin közötti összefüggés?  $S = \alpha \cdot Q + \beta \cdot I_3$
- A **Gell-Mann-Nishijima összefüggés** szerint, a hipertöltésre (Y) érvényes az alábbi összefüggés:

$$Q = I_3 + \frac{B + S}{2} = I_3 + \frac{Y}{2}$$

Ahol: Y-hipertöltés; Mit fejez ki ez?

1.4. ábra Az eRészecskeFizika egyik gyakorló tesztje és videó az LHC működéséről (<http://cansattest1.netai.net/epp/>)

A segédanyag része a részecskegyorsítók és gyorsítási elvek bemutatása, illetve ezek szemléltetésére videó filmeket, rövid animációkat csatolok. Az elemi részecskék bemutatását az atommodellek követik (osztályozás, kísérletek bemutatása illetve a modell alkalmazása).[1]



1.5. ábra Az e-tanyag egységei: atommodellek, atommag (<http://cansattest.netai.net>)

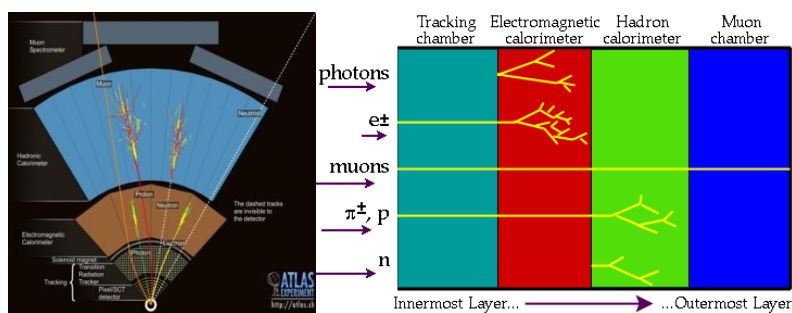
## 1.2. Nyomelemzés valós detektoradatok alapján

A feladat ötletét az adta, hogy diákjaimmal (X-XII. osztály) 2012-ben részt vettem Debrecenben a Nemzetközi Részecskefizikai Diákműhely foglalkozásain, amelyet a Nemzetközi Részecskefizikai Ismeretterjesztő Csoport (IPPOG/CERN) és a résztvevő országok egyetemei, kutatóintézetei rendeznek. A foglalkozás egész napos, délelőtti részecskefizikáról szóló bevezető előadásokat hallgatnak a tanulók, kísérleti és mérési berendezésekkel ismerkednek. Délután pedig a CERN Nagy Hadron Ütköztető (LHC) CMS (Compact Muon Solenoid) kísérletében mért nagyenergiájú proton-proton ütközések számítógépen megjelenített adataiban a "Nobel-díjas részecskék" (W, Z és a Higgs bozonok) nyomait keresik. A mérési eredményeket táblázatba gyűjtik, elemzik, majd a program végén, egy internetes videokonferencián értékelik és hasonlítják össze az adott napon szereplő többi ország diákjaival a CERN programvezetői segítségével. Az egész nap ugyanúgy zajlik, mint egy nagy nemzetközi tudományos együttműködési, kutatói program.

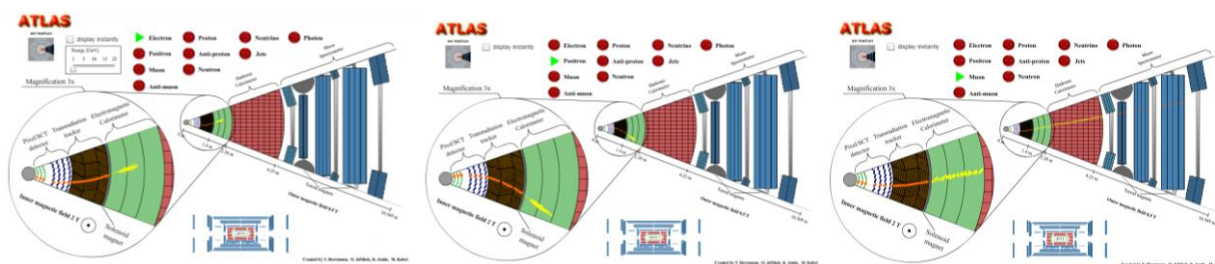
Mivel a programot évente csak egyszer szervezik meg és az időpont nem mindig illeszkedik az éppen a tanult anyaghoz, úgy határoztam, hogy elkészítjük ennek a programnak a házi változatát, amit tudunk órán alkalmazni, nemcsak néhány diákkal, hanem egész osztállyal. Ezt azóta is használom (egyszerűsítve, kiegészítve, újítva évenként) tanórai körülmények között és az iskolai projekt hét során: részecskeazonosítás, tömeg meghatározás, stb. műhelymunkákra. Az adatfeldolgozás ilyen formájával és a hozzáférhető kidolgozott feladatokkal akkor találkoztam először, amikor a CERN tanári továbbképző programján vettem részt, és a munkacsoportom éppen ezt a megbízást kapta a szervezők részéről. Különböző részecske-detektorok adatait kellett feldolgoznunk (buborékkamra, ATLAS, CMS, stb.) illetve ezekhez a diákok számára érthető, megoldható feladatokat kellett írunk.

Ahhoz, hogy eredményes legyen a „részecskevadászat” előbb beszélünk a nyomelemzés elveiről, hogyan és mivel mutathatók ki az elektromosan töltött és semleges részecskék a kölcsönhatásaik felhasználásával. Majd a CMS és ATLAS detektorok felépítésével és mérési technikáival ismertetem meg a diákokat. Ez nagyon jó alkalom arra is, hogy beszéljünk a különböző anyagfajták (például a félvezetők) fizikai tulajdonságairól, viselkedéséről illetve gyakorlati alkalmazási lehetőségeiről. Ugyanakkor megbeszéljük a részecskegyorsítás elveit, gyakorlati módszereit.

**Elméleti alapok:** a részecskék azonosítására az érzékelőben hagyott nyomokat használjuk fel; vagyis a buborékkamra, az ATLAS és a CMS detektorok képeivel dolgozunk. [22, w1, w2, w3, w6]. A különböző típusú részecskék, amikor áthaladnak az érzékelő különböző rétegein, akkor más-más módon lépnek kölcsönhatásba az anyaggal. Az elektromosan töltött részecskék látható nyomokat hagynak a különböző rétegekben (elektromágneses kaloriméter- elektron, pozitron, pionok vagy müon kamra), éppen ezért könnyen tudjuk őket azonosítani, ha ismerjük az érzékelő tulajdonságait és megvizsgáljuk a különböző szakaszokon a nyomvonalak irányát, irányítását, milyenségét.

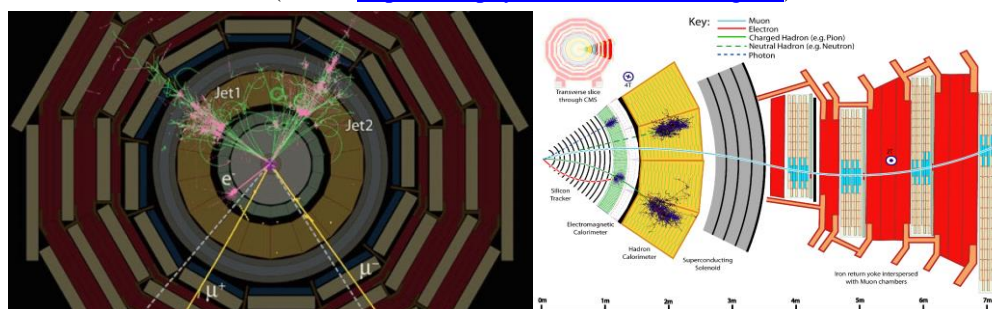


1.6. ábra Az ATLAS detektor felépítése és a különböző részecskék által keltett nyomok



1.7. ábra Elektron, pozitron és müon által keltett nyom az ATLAS detektorban

(forrás: <http://atlas.physicsmasterclasses.org/en/>)

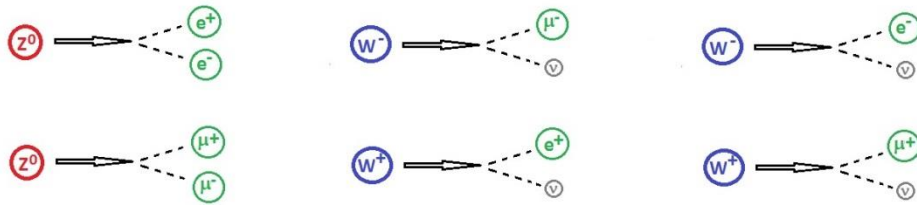


1.8. ábra Nyomelemzés a CMS detektorral (<http://test-cms-public.web.cern.ch/news/how-cms-detects-particles>)

A részecskenyomok azonosítását elsősorban arra használjuk, hogy megkeressük milyen részecske vett részt a vizsgált folyamatban, illetve megtaláljuk a semleges vagy töltött vektorbozonokat:  $Z^0$  és  $W^\pm$  a bomlásból származó részecskék segítségével.

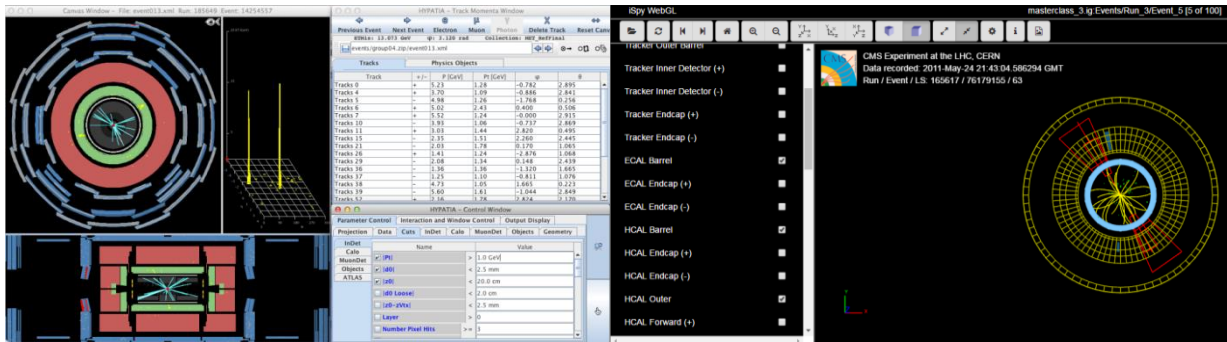
A  $Z^0$  bozonok semleges részecskék, ezért leptonikus bomlásuk során (+) és (-) töltésű lepton párok keletkeznek (elektronok [-e], pozitronok [+e] vagy müonok [ $\pm\mu$ ]; érvényesül a töltésmegmaradás elve). A  $W^\pm$  bozonok (mivel ezek elektromosan töltött részecskék) leptonikus bomlása során mindig egy töltött lepton és a neki megfelelő neutrínó keletkezik.





1.9. ábra Lehetséges bomlási folyamatok (forrás: <http://cms.physicsmasterclasses.org/>)

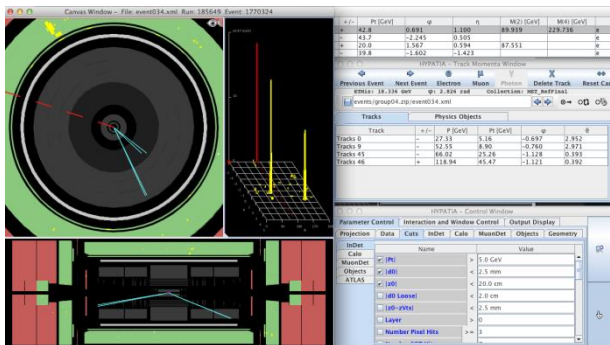
Tanórákon a HYPATIA (Hybrid Pupil’s Analysis Tool for Interactions in ATLAS) és Minerva vagy a CMS adatait feldolgozó program ([iSpy-webgl](http://iSpy-webgl)) segítségével dolgozunk. Ehhez készítettem feladatlapokat, amelyek a tanítási folyamat során különböző helyzetekben használok. [17, w7, w9]



1.10. ábra A Hypatia illetve a [iSpy-webgl](http://iSpy-webgl) program panelje

### I. Nyomelemzési feladatok:

A program adattárából válasszatok ki egy eseménycsomagot (pld. 166466-os sorozatot) és válaszoljatok az alábbi kérdésekre.



1. A Z-bozon tömegének a meghatározása eseményképek alapján. Elemezték a képen látható bomlástermékek nyomvonalait és határozzátok meg milyen részecskék keletkeztek. Felhasználva az energia és impulzus-megmaradás törvényeit, illetve a bomláshoz rendelt adatlap információit határozzátok meg a Z- bozon tömegét.

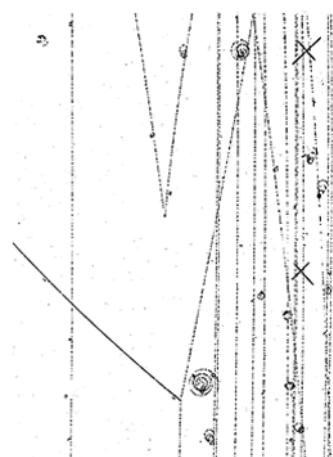
2. Elemezték az  $(e^-; e^+)$  illetve a  $(\mu^-; \mu^+)$  bomlási folyamatokat, a program adatait (energia, szóródási szögek) és a megmaradási törvényeket felhasználva határozzátok meg a Z részecske tömegét. Az adatok íródtak táblázatba, majd minden csoport adatait összegezve számoljatok egy átlagot (ha lehet). Mennyire pontos a meghatározott tömeg, összehasonlítható a semleges vektor bozon 91,2GeV tömegével?

3. Mit jelent a „hiányzó energia” kifejezés néhány bomlási folyamat adatlapján? Milyen részecskére utalhat?

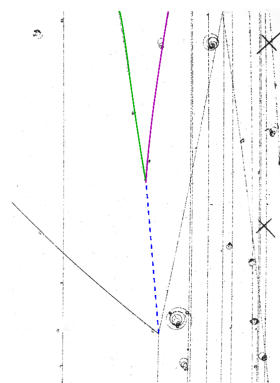
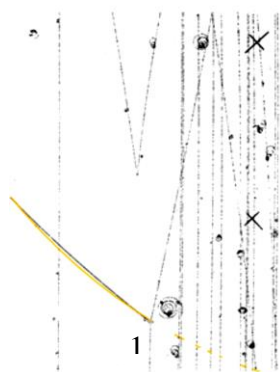
Órai körülmények között a bevezető fogalmak tisztázására illetve a detektorképek értelmezésének elméletére két órát szánok, majd egy teljes óra a bomlási képek tanulmányozása. Minden diák tíz képet dolgoz fel valamelyik mesterkurzusra előkészített csomagból. Ez azt jelenti, hogy az osztállyal átlag 300 detektorképet dolgozunk fel. Az adatokat egy közös adatbázisban rögzítjük, majd megbeszéljük az eredményeket.

## II. Feladat-Nyomelemzés buborékkamra felvételek alapján

Adott az alábbi buborékkamra felvétel, amely a CERN 2m hosszú buborékkamrájában készült, amikor  $8,2\text{GeV}/c^2$  tömegű kaonok ütköztek a buborékkamrában levő nyugalmi állapotú protonokkal. Minden keletkezett részecske közel fénysebességgel mozog, kivéve az ütközés utáni protonokat, amelyek sebessége  $0,55c$  nagyságrendű. A mágneses mező  $1,78\text{Tesla}$ . [w4, 5]



<http://hst-archive.web.cern.ch/>



1.Kérdés: A buborékkamrában folyékony hidrogén van, és ezen keresztül halad egy negatív kaon nyaláb.

- Milyen irányban haladnak át a kaonok a kamrán? Hogyan kell (időrendben) „leolvasni” a nyomvonalak képét?
- Tudva azt, hogy mágneses mezőben az elektronok az órajárással ellentétes irányba csavarodó pályán mozognak, meg tudnád-e határozni ebben az esetben, a rajzra merőleges mágneses mező irányítását?
- Az elektronok pályája miért lesz csigavonal alakú és nem körpálya? Mi okozza a pályasugár csökkenését?

2.Kérdés:

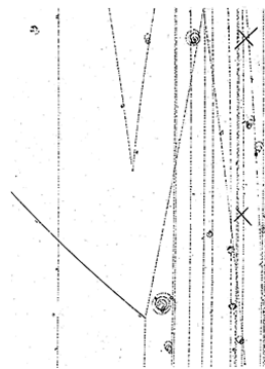
- A buborékkamra nyomvonalai közül az egyikhez egy illesztő görbét húztunk. Határozd meg ennek segítségével, hogy pozitív vagy negatív részecskéhez tartozik a nyomvonal.
- A képen látható nyomvonalak elemzése alapján határozd meg, hogy semleges részecske részt vesz-e a folyamatban?
- Az 1-es jelzett pontban hány részecske vesz részt a folyamatban? Írjátok le a lehetséges folyamatot.

3.Kérdés: Az ábrán kiemeltük a semleges részecske bomlási folyamatát.

- Írjátok le, milyen folyamatról van szó. Milyen részecske bomlik? Hogyan határozhatjuk meg pontosan a részecske típusát? Milyen megmaradási törvényeket kell felhasználni a bomlás leírásához?
- Az alábbi három semleges részecske közül melyik felel meg a fenti folyamatnak:  $K^0$ ;  $\bar{K}^0$ ;  $\Lambda^0$

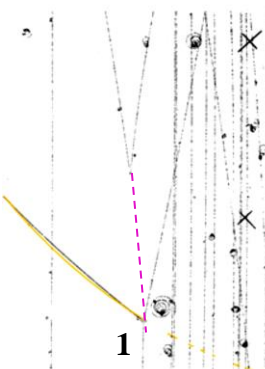


Megoldási javaslat:



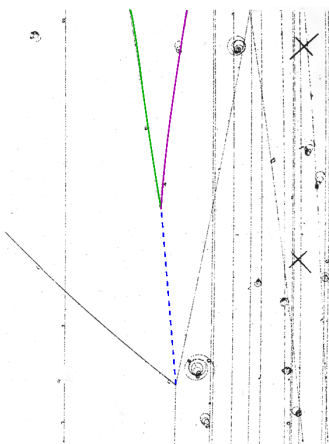
a) A kaonok az ábrán lentől felfele haladnak, párhuzamos nyomokat kelve, ahol nem ütköznek a buborékkamra protonjaival. Ahol ütközés történik ott a függőlegestől eltérő görbéket kapunk.

b) Ha az elektronok pályavonala az órajárásával ellentétes, akkor a mágneses mező merőleges a lapra és kifelé mutat a Fleming jobbkéz-szabály szerint. Az elektron pályasugara azért csökken folyamatosan, mert az atomból kilökött elektron gyorsulva mozog, és eközben energiát ( $E$ ) veszít sugárzás formájában. Felhasználva, hogy a Lorentz erő centripetális hatású:  $qvB = mv^2/r \rightarrow r = mv/qB$ , tehát a sugár csökken az impulzus ( $p$ ) csökkenésével;  $E = \frac{p^2}{2m}$ .



Mivel az ív görbülete ellentétes az elektron nyomvonalának görbületi irányával, következik, hogy ez egy pozitív töltésű részecskéhez tartozik. Az ábrából az is leolvasható, hogy ez egy sötét, erős nyomvonal, tehát ez egy lassúbb, nehéz részecskéhez tartozik, ami erős ionizációt hoz létre. Ez proton lesz, mert a tömege hozzávetőlegesen 7-szer nagyobb, mint a pion tömege.

Igen, a folyamatban részt vesz egy semleges részecske is, amely nem hagy közvetlen nyomot, de a bomlásából származó töltött részecskék már igen, ezek szerint lehet azonosítani. (szaggatott vonal a képen). A második bomlása pont utáni nyomvonalak halvány, gyengén látszó vonalak, amelyek töltött, nagy sebességű részecskékre utalnak.



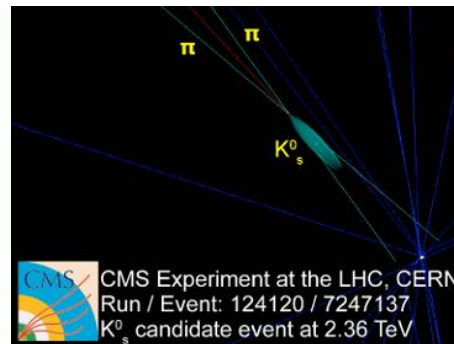
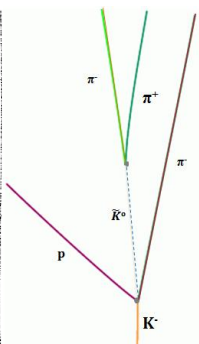
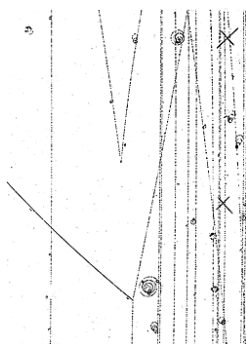
Az ábrán kiemelt semleges részecske bomlási folyamata lehet a semleges kaon ( $K^0$ ) vagy a semleges lambda ( $\Lambda^0$ ) részecske bomlása (a bomlástermékek nyomvonala nagyon hasonló).

$$\tilde{K}^0 \rightarrow \pi^+ + \pi^- \text{ vagy } \Lambda^0 \rightarrow p + \pi^-$$

Vizsgáljuk a lehetséges folyamatokat a töltés ( $Q$ ), barionszám ( $B$ ) és a ritkaság ( $S$ ) megmaradási törvények segítségével. Az energia és az impulzusmegmaradás a kísérlet adatainak és eredményeinek a felhasználásával igazolható.

$$K^- + p \rightarrow p + \pi^- + \tilde{K}^0 \quad Q: (-1+1)=(1-1+0); B: (0+1)=(1+0+0); S: (-1+0=0+0-1) \text{ lehetséges}$$

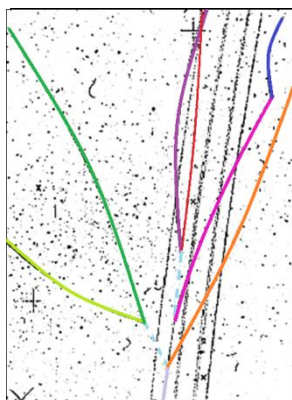
$$K^- + p \rightarrow p + \pi^- + \Lambda^0 \quad Q: (-1+1)=(1-1+0); B: (0+1) \neq (1+0+1); S: (-1+0=0+0-1) \text{ nem lehetséges}$$



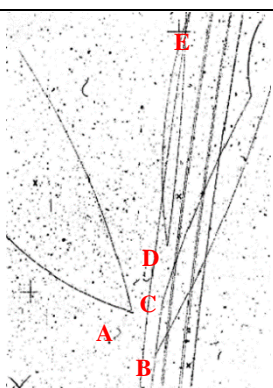
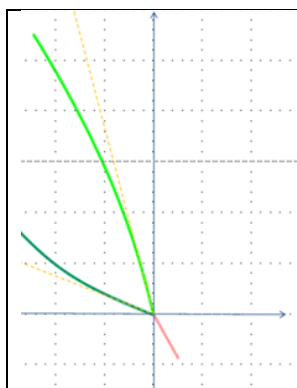
A részecskefolyamat képe a buborékkamra felvétel alapján és egyszerűsített vázlata

### III. Feladat- Nyomelemzés buborékkamra felvételek alapján

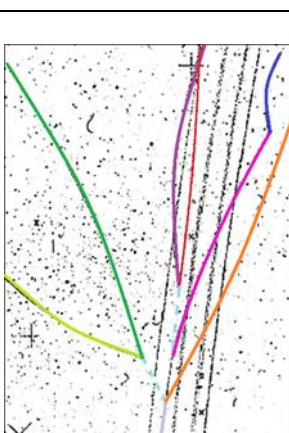
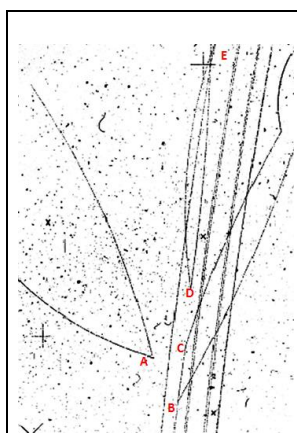
A CERN 2m hosszú detektorjában készült felvételek, ahol a 8,2GeV energiájú  $K^-$  részecske kölcsönhatását vizsgáljuk a buborékkamra protonjaival. Az ábrán a „párhuzamos nyaláb” jelzi a negatív kaonok nyomvonalát. A mágneses mező állandó, indukciója 1,78Tesla. Tudva azt, hogy az elektromosan töltött részecskék ionizálják a buborékkamra hidrogén atomjait, de a semleges részecskék nem, válaszoljatok a kérdésekre. [w4, w7]



1. Figyeld meg a részecskék nyomvonalát illetve a segédábra görbéit és határozd meg, hogy milyen irányba mozognak a kaonok.
2. Milyen irányítású a lapra merőleges mágneses mező?
3. Az A pontban milyen részecske bomlik, és milyen részecskék keletkeznek a bomlás során?

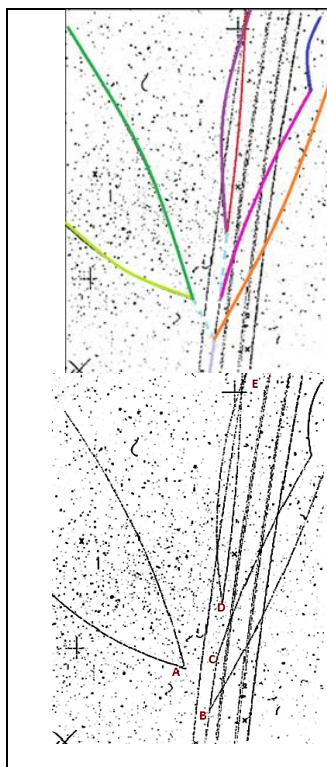


4. Figyeljétek meg az egyszerűsített ábra görbéit. Az A-pontban keletkezett részecskék közül melyiknek van nagyobb impulzusa? Igazold a válaszod.
5. A B- pontban hány részecske keletkezik a kaon és a proton ütközésének következtében? Miért nem látszik a proton nyomvonala az ütközési pont körül?

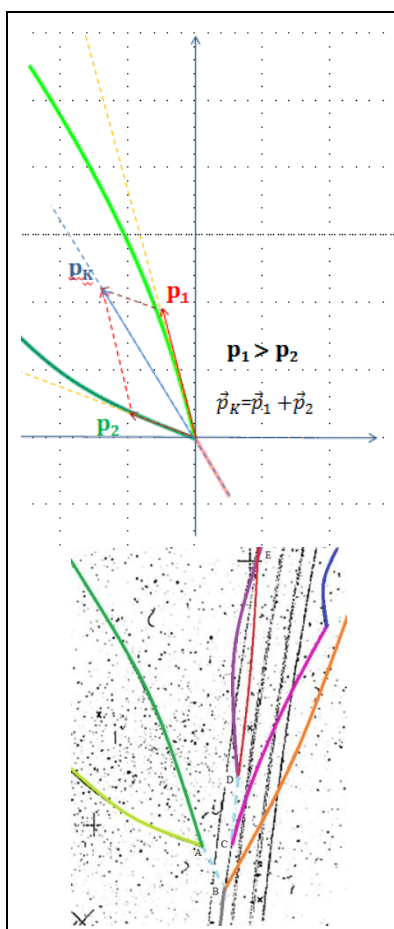


6. Írd le, hogy milyen folyamat megy végbe a C-pontban? Milyen részecskék vesznek részt ebben a folyamatban?
7. Írd le, hogy milyen folyamat megy végbe a D-pontban? Milyen részecskék vesznek részt ebben a folyamatban? Melyik részecskének nagyobb az impulzusa?
8. Az impulzusmegmaradás törvénye érvényesül a B, C és D pontokban?

Megoldás:



1. A kaonok (az ábrán) letről felfelé mozognak. Azok, amelyek nem lépnek kölcsönhatásba a buborékkamra protonjaival (H-atom) irányváltoztatás nélkül haladnak végig. Azok, amelyek kölcsönhatásba kerülnek (ütköznek) a protonokkal, azok nyomai azt jelzik, hogy az ábrán felfelé vannak az időben későbbi folyamatok.
2. A mágneses mező a lapra merőleges és befelé irányított. Ezt abból lehet meghatározni, hogy megnézzük a negatív kaonok pályájának a görbületi irányát, ami az ábra szerint jobbra ívelő. A Fleming-szabályt alkalmazva, a mágneses mező merőleges, befelé mutató.
3. Az A-pontban egy semleges részecske bomlik két különböző töltésű elektromos részecskére (a két zöld színű ív ellentétes görbületű). A semleges részecske nyoma nem látszik a B-től A-ig, mert nem hoz létre ionizációs nyomot. A sötétzöld vonal negatív, a világoszöld pozitív részecskére utal. (jól lehet látni az ívek görbületét a szaggatott segédvonalak segítségével, összehasonlítva a szögeket.)



4. Az A-pontban keletkezett részecskék közül annak van nagyobb impulzusa, amelynek nagyobb sugarú a görbületi íve.  $\vec{v} \perp \vec{B}$ ;  $qvB = \frac{mv^2}{r}$  ahonnan  $r = \frac{mv}{qB} = \frac{p}{qB}$  vagy  $p = qBr$ ; B-állandó

$$\vec{p}_K = \vec{p}_1 + \vec{p}_2$$

A rajz alapján:

$$\alpha_2=20^\circ \text{ és } \alpha_1=75^\circ; p_1=2,07 \text{ egység}; p_2=1,064 \text{ egység}$$

$$p_K^2 = p_1^2 + p_2^2 + 2p_1p_2 \cos(\alpha_1 - \alpha_2)$$

Tehát:  $p_K=2,8191$  egység

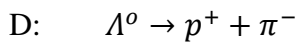
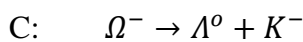
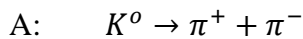
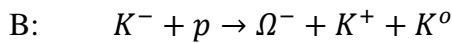
5. A B- pontban a kaon és a proton ütközésének következtében keletkezik egy semleges és két töltött részecske, a nyomvonalak és a töltés megmaradási elv alapján. A semleges részecske az A-pont felé halad, a negatív részecske a C-pont felé, a pozitív részecske a narancssárga ív mentén (görbülete ellentétes a kaonéval). A proton ütközés előtti nyomvonala azért nem látszik, mert kezdetben nyugalomban van, nem mozog.

6. C-pontba érkező nyomvonal íve ugyanolyan, mint a negatív kaoné, tehát ez a részecske is negatív. Valószínű a C-pontban ez a részecske elbomlik két részecskére, egyik a D-pont felé halad, a másik a ciklámen ív mentén, jobbra görbül, ez negatív lehet. (töltés megmaradás).

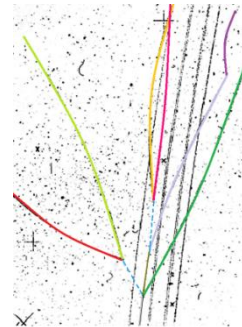
7. A hiányzó nyomvonal a C-től a D-pontig, semleges részecskére utal, amely elbomlik ott. A semleges részecske bomlástermékei egy lila, jobbra ívelő görbülettel negatív részecske, a másik lehet pozitív (piros). Az ábra szerint a piros ív görbülete a nagyobb, tehát ehhez tartozik a nagyobb impulzus.

8. Minden kölcsönhatási pontban (B, C, D) érvényesülnie kell az impulzusmegmaradás törvényének; ez alapfeltétel minden folyamatban.

A képen látható folyamatok leírása, és a töltés, barionszám és ritkaság megmaradásának vizsgálata:



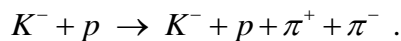
	$K^-$	$p$	$\rightarrow$	$\Omega^-$	$K^+$	$K^0$	
Q	-1	+1	=	-1	+1	0	✓
B	0	+1	=	+1	0	0	✓
S	-1	0	=	-3	+1	+1	✓



	$K^0$	$\rightarrow$	$\pi^-$	$\pi^+$			$\Omega^-$	$\rightarrow$	$K^-$	$\Lambda^0$		$\Lambda^0$	$\rightarrow$	$\pi^-$	$p^+$	
Q	0	=	-1	+1	✓	Q	-1	=	-1	0	✓	0	=	-1	+1	✓
B	0	=	0	0	✓	B	+1	=	0	+1	✓	+1	=	0	+1	✓

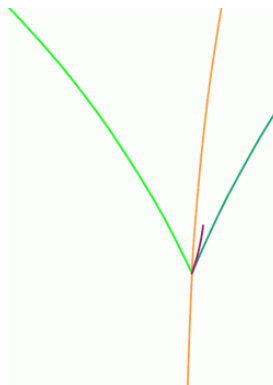
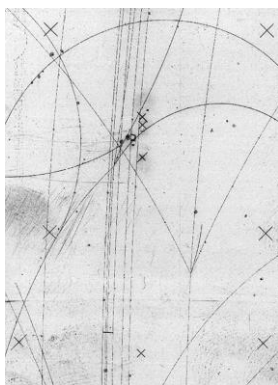
#### IV. Feladatlap: impulzusmegmaradás

1. Adott az alábbi buborékkamra felvétel, amely kaonok bomlását mutatja:



A buborékkamrában folyékony hidrogén (proton, nyugalmi állapotban) van, ezen keresztül negatív kaon nyaláb halad át.





1. ábra (a) Kaonok bomlása buborékkamrában

1. ábra (b) Kaonok bomlása- egyszerűsített ábra.

Jelmagyarázat: **narancs vonal**=  $K^-$  ; **zöld vonal**=  $p$  ; **kékeszöld vonal**=  $\pi^-$  ; **lila vonal**=  $\pi^+$  ;

2. Másoljátok át az egyszerűsített ábrát egy képszerkesztő alkalmazásba, például a "Windows Paint"- be. Végezzetek méréseket az egérmutatót a rajzon mozgatva, és olvassátok le a pontok pixel értékét. Ahogyan húzzátok az egérmutatót a vonal mentén jegyezzetek le legalább 12-15 koordinátát minden vonalról. Ennek alapján határozzátok meg a görbe lehetséges sugarát.
3. Az eredeti buborékkamra felvételt másoljátok át egy átlátszó fóliára, majd azt helyezétek rá egy milliméteres papírra úgy, hogy méréseket tudjatok végezni. Mérjétek meg mind a négy nyomvonal hosszúságát, jegyezzétek le minél több pont koordinátáját erről a vonalról (12-15). Mekkora szöget zár be ez a nyom vízszintessel vagy a függőlegessel, mekkora sugarú kör illeszthető a görbe nyomvonalra? A kör sugarát többféle módszerrel próbáljátok meghatározni.
4. A kapott adatok alapján határozzátok meg minden részecske impulzusát, és hasonlítsátok össze az a bomlási folyamat előtti és utáni impulzusokat. Érvényes az impulzus megmaradás törvénye? Magyarózzátok meg a kapott választ.
5. Feltételezzük, hogy a kezdeti protonnak a buborékkamrában nincs kezdő sebessége (nincs látható nyom), a  $K^-$  részecske impulzusa pedig  $4,2\text{GeV}$ , a mágneses mező indukciója  $B=1,78\text{T}$  ellenőrizétek le az impulzus megmaradását a folyamatban.

Emlékeztető:

Ha egy elektromosan töltött ( $q$ ) részecske  $B$ -indukciójú mágneses térbe jut, akkor  $r$ -sugarú

körpályán fog mozogni:  $r = \frac{p}{qB}$ , ahol  $p$  - a részecske impulzusa. Tehát, ha mérjük a részecske

pályasugarát, ismerve a mágneses mező indukcióját, akkor meghatározhatjuk az impulzusát.

### 1.3.Radon mérés a székelyföldi természetes gyógyvizekben

Ez a feladat igazi interdiszciplináris projekt a földrajz, biológia és kémia ötvözésével. Az eredeti ötlet az iskolai projekthétre (Iskola Másként program) készült, amikor az alap téma „Környezetünk felkutatása” volt. Vidékünkön nagyon sok borvíz és gyógyvíz található, viszont igazi különlegességnek a mofetták számítanak. Ezek főként széndioxiddal és kénes gázzal telített üregek (medencék), amelyek a helyi geogáz kitörések, utóvulkáni átalakulások nyomán jöttek létre. Nagyon sok mofetta található Kovászna, Bálványos, Tusnád, Szentimre, Hargita-fürdő illetve városunk környékén. Első körben az volt a feladat, hogy minden csoport válasszon egy adott földrajzi területet, ahol feltérképezi a fellelhető geogáz feltöréseket, azokat tanulmányozza, illetve összefüggést keres a mofetták, borvízforrások kémiai összetétele és a jellemző közettani képződmények, illetve a növényvilág között. A kutatómunka során a diákok több mint 27 forrást kerestek fel és gyűjtötték össze a fellelhető legfontosabb adatokat. Szinte mindenik esetben az adatlapon megjelent (valamilyen részarányban) a kénhidrogén ( $H_2S$ ), metán ( $CH_4$ ), vízgőz és a radon ( $^{222}_{86}Rn$ ), mint a gázfeltörést jellemző gáz. Ebből kiindulva a radon mérésére egy új feladatot dolgoztam ki, ami több évig folyatható, eredményei alkalmazhatók a XII-es fizika tanításában a „Radioaktivitás” fejezetnél, de ugyanakkor Tudományos diákköri Konferenciára (TUDEK) dolgozat is készült már belőle. A kutatás interdiszciplináris jellegét Incze R. biológus és Gyila S. kovásznai balneofizikussal való együttműködés adta, akik segítettek a dolgozathoz használt Radtrak mérési adatainak a feldolgozásában, értelmezésében. [23]

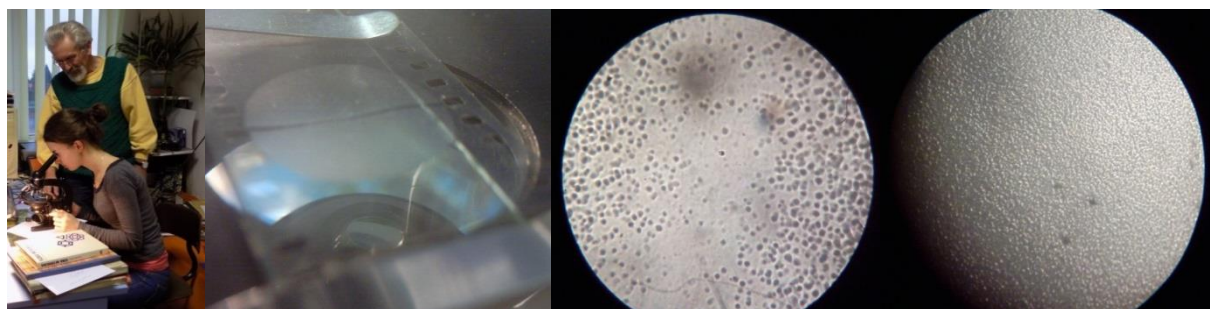
A mérésekhez egy házilag előállított úgynevezett szilárdtest nyomérzékelőt használtunk, ami ugyan nem vezet pontos mérési eredményekre, de nagyon jól használható a diákok számára a radioaktív bomlásból származó részecskék (itt a radon [ $^{222}_{86}Rn$ ; felezési idő 3,82nap] bomlása során létrejött alfasugárzás és bomlástermékek) kimutatására. A mérés elve az, hogy az elektromosan töltött részecskék a műanyaglapocskába való becsapódáskor energiát adnak le, roncslást, nyomvonalat hoznak létre a pályájuk mentén. A becsapódási pontok és vonalak mentén megváltozik a műanyaglapocskák szerkezete, a tulajdonságai, amelyek utólag láthatóvá tehetők és elemezhetők.

**A mérőeszköz és a mérés előkészítése:** Készítünk egy 30%-os töménységű marószóda oldatot (NaOH), amelyet felmelegítünk  $60-65^{\circ}C$  hőmérsékletre. Ebbe az oldatba hagyományos fényképezőgépben használt filmet teszünk, amit előzőleg 5cm hosszú darabokra vágunk. Az oldat 10-15perc alatt lemarja a filmkockákról az emulziós réteget, és egy „tisztá” műanyaglapot kapunk eredményül. Az előkészített fotolemezeket teszteltük a mofettás mérések előtt, egy laboratóriumi kísérlettel. Alfa-sugárforrásként uránium acetátot használunk ( $C_4H_6O_4U$  14-15kBq/g aktivitással), amelyet egy zárt detektorházba helyezünk. Erre az edényre helyezük 10 napra a fotolemezt, majd megvizsgáljuk. Kontrollként két másik hasonlóan elkészített lemezt helyeztünk el, egyiket az asztalra, másikat egy Petri csésze alá. Mindhárom lemezt a kémia labor kísérleti fülkéjébe zártuk, hogy kiszűrhesük a véletlenszerű szennyeződést.



1.10.ábra Radonsugárzás kimutatására használható mérőlap előkészítése a kémia laborban (Kónya K. képei)

Az exponálási idő lejártá után a lemezeket újra lemaratjuk 30%-os marószóda oldatban, majd tiszta vízzel jól lemossuk. A megtisztított lemezeket mikroszkóp alatt vizsgáljuk meg. A mikroszkóp alatt jól látható, hogy az asztalon hagyott lemezkén és a Petri csésze alatt levőn, alig látható 1-2 pont, a harmadik lemezen viszont ahol alfasugárzás érte ott sok apró lyuk, gödröcske, elmosódott vonal van a felszínén.



1.11.ábra A besugárzott lemezek elemzése (Kónya K. képei)

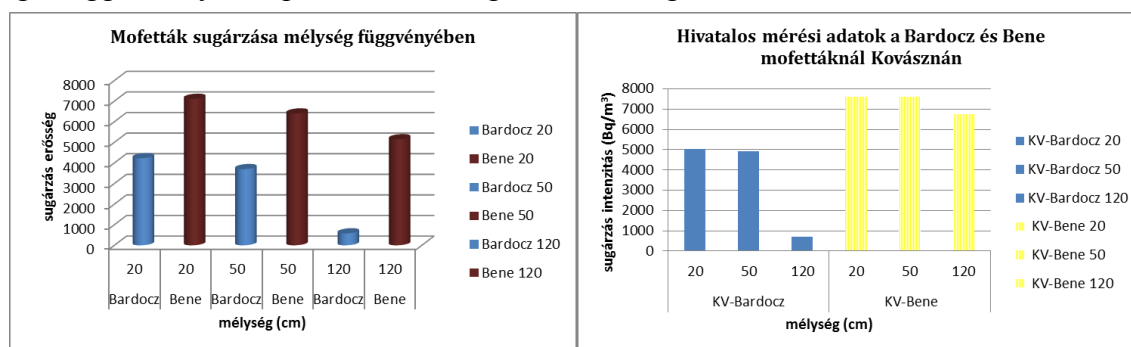
A fotolemezen levő nyomok száma egyenesen arányos a detektorkamrában levő anyag radon koncentrációjával és az expozíció időtartamával. Mivel ezek a próbamérések meggyőzőek voltak, 10 darab mérőlemezt készítettünk elő, mindeniket külön detektorházba helyeztük és megszámoztuk. A mofettás méréshez egy 1,5m hosszú mérőzsákot készítettünk, amibe beleraktuk a sugármérőnk, a következő rend szerint: alul 2-öt, tőlük 30cm-re még kettőt tettünk az elcsomózott zsákba, majd újabb 70cm-re elhelyeztünk még két detektort. A mélyebb mofetták esetén hosszabb zsákot varrunk és lentről számítva 2m-es magasságba még elhelyezünk 2 detektort. A mérőzsákokat a mofetta védett részénél engedjük le a mélybe, a gödör aljától számítva 20cm magasságig és 2 hónapig hagyjuk mérni. Erre azért volt szükség, mert amikor készültünk a mérésre átnéztük a rendelkezésre álló szakirodalmat, felkerestük a Kovásznai Szívkórház Orvosmeteorológiai és CO<sub>2</sub> laboratóriumát és azt tudtuk meg, hogy a radon eloszlása függőlegesen lentről felfelé csökken, de ugyanakkor vízszintes rétegződést mutat a turbulencia szinteknek megfelelően. Ezt akartuk megvizsgálni néhány mofetta esetén.





1.12.ábra Alfásugárzás mérése a kovásznai mofettákban (Kónya K. képei)

A besugárzási idő lejártá után megvizsgáltuk a különböző helyeken, különböző magasságban elhelyezett lemezeket, megbecsültük a besugárzási foltok számát és értelmeztük a kapott eredményeket. Arra keresünk választ, hogy mekkora az alfásugárzás a mofettában, az változik-e a magassággal, milyen kapcsolat van a sugárzási erősség és a mofetta hőmérséklete között. [23]



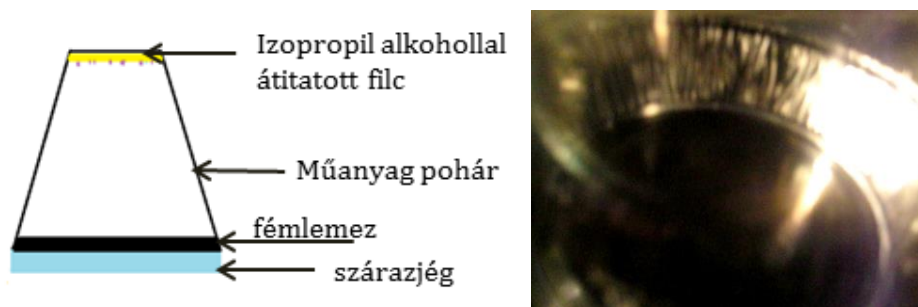
1.13.ábra A besugárzott lemezek elemzése és Gyula S. hivatalos mérési adatainak (2013) összehasonlítása

Az eredmények azt jelzik, hogy a sugárzás erőssége a magassággal csökken, valószínű, hogy a felszín közelében a levegővel való keveredés miatt nagyobb a szórás és a detektorhoz kevesebb sugárzás jut. A hőmérséklet a mofetta alján kisebb, mint a felszín közelében, de napközben is van ingadozás a mért értékek között. Ezek az egyszerű mérések a sugárzás kimutatására alkalmasak, de nem elegendők ahhoz, hogy szakszerű következtetéseket vonjunk le. A témát Kónya K. dolgozta fel egy TUDEK dolgozatban. A mérési pontosság növelése és a számszerű elemzések érdekében Radtrak alfa-nyomdetektort használt több mofetta esetén Kovásznán és Tusnádon. A dolgozathoz 7 olyan mofettát kerestünk fel, ahol radonsugárzás mérhető.

### A ködkamra, mint kozmikus sugárzásdetektor

Amikor órán arról beszélünk, hogy a világűrben különböző sugárzások, részecskezápörök érnek folyamatosan bennünket, az teljesen valószínűtlennek tűnik legtöbb diák számára. A protonnál vagy neutronnál kisebb részecskék, amúgy is elég sok kételyt ébresztenek a tanulóknál, hiszen olyan furcsa tulajdonságokkal írjuk le őket, mint a ritkaság, spin, íz és semmi kézzelfogható alkalmazás nem kapcsolódik hozzájuk. A részecske-detektorokkal való ismerkedés jó lehetőséget biztosít egyrészt a kozmikus sugárzás nyomvonalainak a bemutatására másrészt a megfigyelési elvek tisztázására, arra, hogy láthatóvá tegyük a láthatatlant.

A nukleáris részecskék kimutatása nem egyszerű feladat iskolai felszereléssel, azonban van lehetőség a kozmikus vagy radioaktív bomlásból származó részecskék nyomainak kimutatására. Egyik ilyen a ködkamra, amelyet iskolai körülmények között is elkészíthetünk. Az első ilyen modellt akkor láttam, amikor részt vettem a CERN nyári tanári iskoláján. [E, K] Az ott bemutatott modell egy nagyméretű érzékelő volt, amit az iskolában nem tudunk elkészíteni. Viszont sikerült egy kisebb változatot előállítani egy 0,5l-es műanyag pohárból, amivel szépen lehetett látni a sugárzások nyomait. Ehhez nagyon kevés száraz jég kell, mert a pohár átmérője csak 8cm, magassága pedig 13cm. Az iskolában is ezt a modellt építjük meg, mert gyorsan elkészül, kevés hozzávalóval és a telített, túlhűtött izopropil gőz lecsapódásával kimutathatók az edényen áthaladó részecskék nyomai.



1.14. ábra A ködkamra felépítése és a rajta áthaladó részecskék nyomvonala

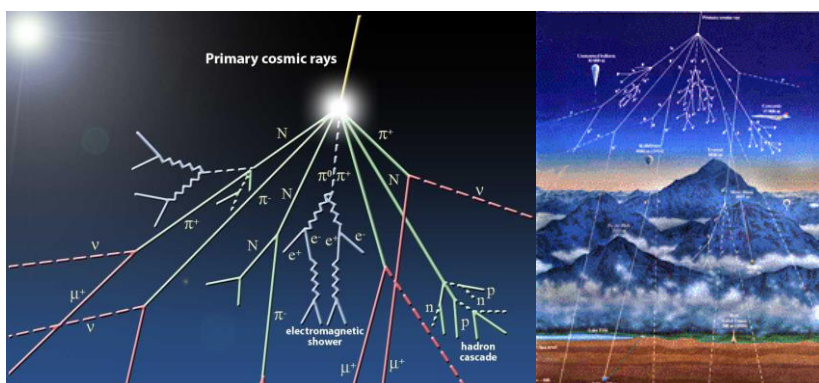
Hozzávalók: egy 400ml-es műanyag pohár, egy méretre vágott filc darab, amely pontosan beleilleszthető a pohár aljára, egy kevés izopropil (2-propanol) alkohol a kémia laborból, egy fekete festett fémlap, amelyre ráilleszthető a pohár, egy alumínium tálka, amelybe száraz jeget teszünk és szigetelőként jól tapadó gyurma. A filclapot beletesszük a pohárba és rászorítjuk az aljára (szükség esetén egy ráragasztjuk), majd meglocsoljuk az izopropil alkohollal úgy, hogy a filc legyen átítatva. A száraz jeget egyenletesen elosztjuk az alumínium tálkában, rátesszük a fémlapot, majd erre ráborítjuk a poharat. A pohár szélét a fémlaphoz rögzítjük és a gyurmával jól leszigeteljük az edényt, hogy a rendszer teljesen el legyen zárva a környezetétől.

Miután összeraktuk az eszközt néhány percet várunk, hogy az izopropil alkohol gőze töltse ki a pohár belsejét, és a száraz jég hatására a fémlap közelében alakuljon ki egy homogén túlhűtött gőz réteg. Ha ezen a telített és túlhűtött gőzön kozmikus részecskék haladnak át, akkor azok útvonala mentén ionizálódnak az atomok (molekulák), amelyek lecsapódási gócként viselkednek az alkohol gőz számára, és szépen kirajzolják a nyomvonalakat a pohárban. Ha hatásosabbá szeretnénk tenni ezt a folyamatot, akkor a pohár belsejébe, a fémlapra, ismert radioaktív-sugárforrást helyezhetünk a laboratóriumi készletből vagy a porszívó szűrőjéből vett mintából, majd a poharat (a fenti módon előkészítve) ráborítjuk a fémlapra és jól leszigeteljük a szélét. Amikor a radioaktív bomlás megindul, akkor az izopropil gőz lecsapódik az alfa részecskék mentén, és kondenzált cseppek formájában megmutatja azok mozgási nyomvonalát. Ha megvilágítjuk oldalról a poharat, akkor néha felvillanásokat, vagy fehér kondenzcsíkokat látunk benne, ami igazolja a kozmikus részecskék áthaladását az edényen. Ha ezek nem hatolnának át az edényen, akkor a túltelített gőz nem tudna kicsapódni.

**Feladatlap a megfigyelt részecskesugárzás elméleti megalapozásához: A kozmikus sugárzás**

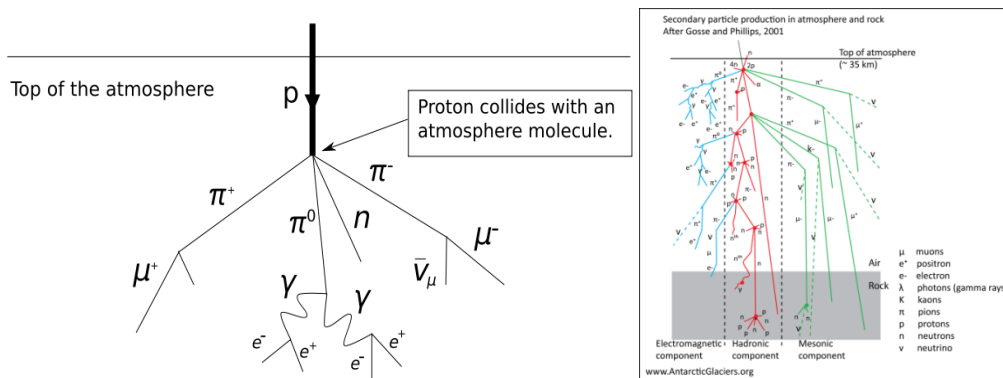
**Bevezetés:** A kozmikus sugárzás elsősorban nagy energiájú ( $10^{15}$ - $10^{20}$  eV) protonokból illetve könnyű atommagokból álló részecskezár, amely a galaktikus térből érkezik hozzánk közel fénysebességgel ( $v=0,999c$ ). Két összetevője van:

a). **Elsődleges (elsőrendű) kozmikus sugárzás**, amely a világűrben érkezik közvetlenül a Föld légkörébe (nagy energiájú protonok ~90%, alfarészecskék 9%, elektronok és más - He-nál nehezebb- atommagok). Ehhez hozzáadódik a Naptevékenységből származó részecskezár, ami a napszéllal jut a Föld légkörébe.



1.15. ábra Kozmikus részecskezár (forrás: <http://edu-observatory.org/RaySociety/CosmicRays/Week4.html> és <http://www.physics.purdue.edu/primelab/rosetest/plresearch.php>)

b). **Másodlagos (másodrendű) kozmikus sugárzás**, amely annak következménye, hogy a világűrben érkező protonok és más részecskék ütköznek a légkör atomjaival és részecskéivel illetve a csillagközi atomokkal. Ez a sugárzás 25-15km magasan keletkezik a légkörben. Az ütközés során keletkező részecskék alkotják a másodrendű sugárzást (neutron, pozitron, pionok, kaonok, müonok, atommagok, stb.), ezek jutnak nagy sebességgel a felszín közelébe, ahol a 1GeV nagyságrendű energiájú részecskék száma négyzetméterként egy másodperc alatt 10000 körüli. A tengerszinten a müonok részaránya a legnagyobb, átlagosan 200 jut  $1m^2$ -re másodpercenként.



1.16. ábra A részecskezár kialakulása a nagy energiájú protonoknak a légköri atomokkal való ütközésének következtében (Forrás: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=13361920> és w45)

**Feladat:**

F1. A). Honnan érkehetnek hozzánk a kozmikus sugárzás részecskéi? Mi lehet az ilyen nagy energiájú részecskék forrása, hiszen az LHC legnagyobb energiája is csak 7TeV?

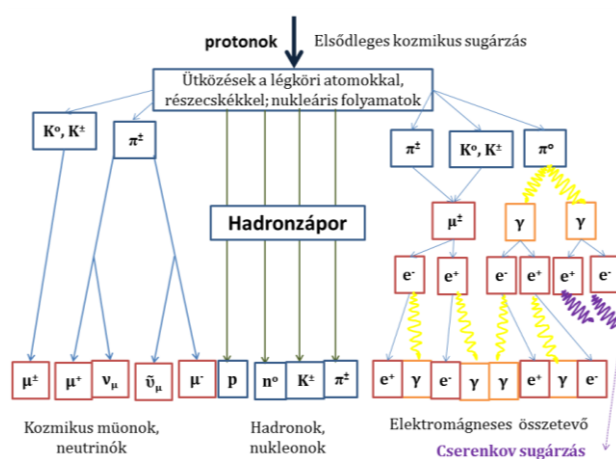
B). Ha egy teniszlabda mozgási energiája egyenlő lenne a legnagyobb eddig mért kozmikus proton energiájával ( $3 \cdot 10^{20} \text{ eV} = 300 \text{ EeV}$ ), akkor mennyi lenne a mozgási sebessége?

A kozmikus sugárzás mezonjai pionok és kaonok, amelyek a légköri atomokkal ütközve leptonokra - müonok ( $105.7 \text{ MeV}/c^2$ ), elektronok ( $0.511 \text{ MeV}/c^2$ ) és tau ( $1777.8 \text{ MeV}/c^2$ ) részecskére - bomlanak szét.

A müonok pedig további bomlások során elektronokat és pozitronokat hoznak létre.

F2.

- Írjátok fel a megfelelő bomlási folyamatokat.
- Tudva azt, hogy a müonok átlagos élettartama  $2,2 \mu\text{s}$ , nyugalmi tömegük  $105,7 \text{ MeV}/c^2$ , határozzátok meg milyen hosszú utat tesznek meg a keletkezésüktől ( $v=99,98\% \cdot c$ ) a bomlásig és milyen valószínűséggel figyelhetők meg a felszín közelében.
- Hányszor futna körbe egy  $200 \text{ GeV}$ -re felgyorsított müon az LHC  $27 \text{ km}$  kerületű alagútján? Mennyi lenne az élettartama? Ismert a müon nyugalmi tömege:  $105,66 \text{ MeV}/c^2$  és átlagos élettartama:  $2,197 \cdot 10^{-6} \text{ s}$ .



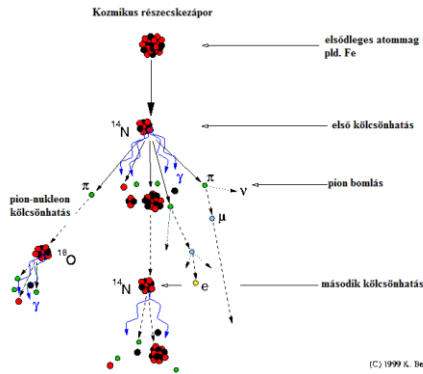
1.17. ábra Kozmikus részecskezápör vázlatos rajza (a másodlagos részecskezápör kialakulása)

F3. Írjátok fel az ábrának megfelelő nukleáris folyamatokat és magyarázzátok meg azokat. Milyen megmaradási törvényt kell figyelembe venni a bomlási folyamatok leírásához?

F4. Milyen részecskéket fedeztek fel a kozmikus sugárzás segítségével? Mikor? Mutassátok be a felfedezéshez vezető folyamatot.

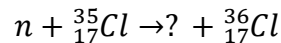
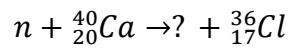
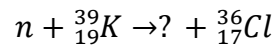
A kozmikus sugárzás hadronjai (protonok és neutronok) stabil részecskék és nagyon fontos szerepet játszanak a kozmikus eredetű atommagok kormeghatározásában.

F5. Nézzétek meg az alábbi ábrát és írjátok le a megfelelő nukleáris folyamatokat.

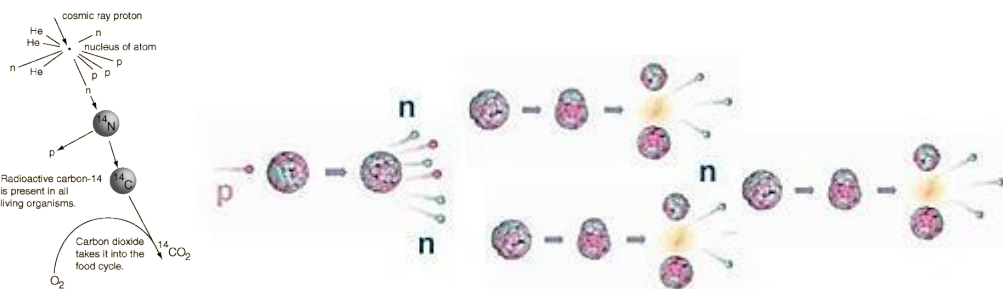


1.18. ábra Kozmikus pion és müon zápor (forrás: K. Bernlöhr)

F6. Tudva azt, hogy a  $^{36}_{17}\text{Cl}$  izotóp egyaránt kelthető nagy energiájú és termikus kozmikus neutronokkal is, egészítsétek ki a reakciókat:

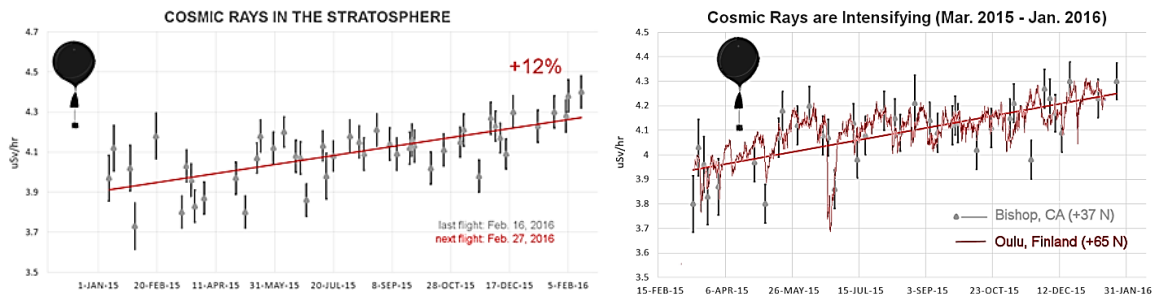


F7. Mi történik, ha kozmikus neutronnal bombázunk egy  $^{14}_7\text{N}$  atomot? Írjátok le a folyamatot. Mire használjuk a 14-es C izotópot?

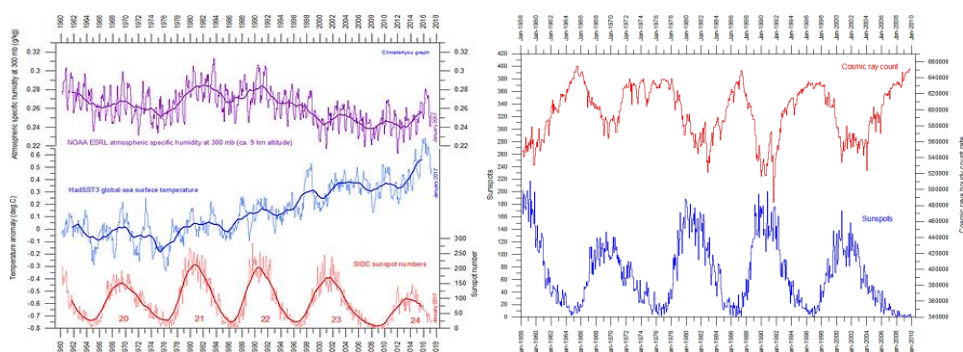


1.19. ábra Kozmikus neutronzápor kialakulása és a 14C izotóp keletkezése

F8. Figyeljétek meg az alábbi grafikonokat (1.20. ábra), amelyek a kozmikus sugárzás és a napfoltok ciklusait ábrázolják az utóbbi hat évtizedre. Milyen összefüggés állapítható meg? Milyen hatással vannak ezek a tényezők a földi és az űridőjárásra?







1.20. ábra A kozmikus sugárzás, hőmérséklet és a napfoltciklus közötti korreláció (1958-2016) (Forrás: <http://news.spaceweather.com/cosmic-rays-are-intensifying/> és <http://www.climate4you.com/>)

Mérések (XX. századi adatok összegzése) azt mutatják, hogy a kozmikus sugárzás erőssége összefüggésben van a felhőképződéssel, elsősorban az alacsony felhőzet kialakulásával. Erős sugárzási időszakokban az alacsony felhőzet megnövekedése  $0,5\text{W/m}^2$ -nyi besugárzási különbséget okozhat, a gyenge kozmikus sugárzási periódusokhoz képest. A korreláció nem globális jellegű, de a Föld kiterjedt övezeteiben igazolhatóan jelentkezik. [20, 21].

A kozmikus sugárzás erőssége változik a földrajzi szélességgel, mert a részecskefluxus kölcsönhatásba lép a Föld mágneses erőterével. Ebből adódik, hogy az egyenlítő mentén a részecskefluxus négyszer kisebb, mint a pólusoknál. A pólusoknál a mágneses mező erősebb, ez pedig a pólusok felé téríti a részecskéket, ennek köszönhetően látható a gyönyörű sarki fény.

### Megoldási javaslatok:

F1. A). A kozmikus sugárzás forrásai lehetnek a naprendszeren kívüli aktív galaxis magok, gyorsan forgó, erős mágneses mezővel bíró csillagmaradványok és nagy tömegű csillagok szupernóva robbanása. A robbanás során a csillag ledobja a legkülső - hidrogénnel és héliummal telített - réteget, ez pedig szétszóródik a csillagközi térbe. Ha a szupernóva robbanás energiája  $10^{44}\text{J}$  nagyságrendű, akkor érhető, hogy a nagy távolságról hozzánk eljutó részecskék energiája  $10\text{J}$  körüli. Ugyanakkor ehhez hozzáadódik a naptevékenységekből származó részecskezárpor, amelyet a napszél hordoz.

B). Teniszlabda  $m=56\text{g}$ ,  $E=3 \cdot 10^{20}\text{eV}=48\text{J}$

$$E = \frac{mv^2}{2} \rightarrow v = \sqrt{\frac{2E}{m}} \quad \text{ebből a sebesség: } v=41,5\text{m/s} \approx 150\text{km/h}$$

F2. a). Bomlási folyamatok, amelyeknek eredménye müion lehet [18]:

$$\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu$$

$$\pi^- \rightarrow \mu^- + \tilde{\nu}_\mu$$

$$K^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu$$

$$K^- \rightarrow \mu^- + \tilde{\nu}_\mu$$

majd a müion elbomlik:

$$\mu^- \rightarrow e^- + \tilde{\nu}_e + \nu_\mu$$

$$\mu^+ \rightarrow e^+ + \nu_e + \tilde{\nu}_\mu$$

b).  $E=6\text{GeV}$ ;  $\Delta t_0=2,2\mu\text{s}$  és  $m_0=105,7\text{ MeV}/c^2$

$d_0=v\cdot\Delta t_0$  alapján a müion által megtett út  $659,34\text{m}\approx 660\text{m}$  lenne csak, tehát a keletkezési helyétől nem jutna el a földfelszín közelébe. Ha azonban figyelembe vesszük a relativisztikus idődilataációt, akkor:

$$E = mc^2 = \gamma m_0 c^2 \text{ ahol: } m = \frac{m_0}{\sqrt{1-\left(\frac{v}{c}\right)^2}} = \gamma m_0 \text{ és } \Delta t = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1-\left(\frac{v}{c}\right)^2}} = \gamma \Delta t_0$$

$\gamma\approx 22,366$  a Lorentz faktor értéke

$\Delta t=\gamma\Delta t_0=49\mu\text{s}$  lesz a müion átlagos élettartama;

$d=v\cdot\Delta t=14746,97\text{m}=14,74697\text{km}$ ; vagyis ezek a müionok nagyjából 15km magasan keletkeztek.

$$\frac{N}{N_0} = e^{-\frac{\Delta t}{\Delta t_0}}$$

c).  $E=200\text{GeV}$

$L=27\text{km}$

$$\gamma = \frac{E}{E_0} = \frac{200\text{GeV}}{105,7\text{MeV}} \approx 1892,147$$

$d=v\cdot\Delta t\approx 0,9998c\cdot 2,2\mu\text{s}\cdot 1892,147=1248,567\text{km}$

$n=d/L=46,24$ ; Tehát a müion 46-szor tudná körbefutni az LHC gyűrűjét.

F3. A részecskezápör folyamatai:

$$K^0 \rightarrow \pi^+ + \pi^-$$

$$K^+ \rightarrow \pi^+ + \pi^0$$

$$\pi^0 \rightarrow 2\gamma$$

Leptonszám megmaradás [18]:

$\pi^+ \rightarrow e^+ + \nu_e$	$0 = -1 + 1; \Delta L = 0$
$\pi^- \rightarrow e^- + \tilde{\nu}_e$	$0 = +1 - 1; \Delta L = 0$
$\pi^0 \rightarrow e^- + e^+ + \gamma$	$0 = +1 - 1; \Delta L = 0$
$\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu$	$0 = +1 - 1; \Delta L = 0$
$\pi^- \rightarrow \mu^- + \tilde{\nu}_\mu$	$0 = +1 - 1; \Delta L = 0$
$\mu^- \rightarrow e^- + \tilde{\nu}_e + \nu_\mu$	$+1 = +1 - 1 + 1; \Delta L = 0$
$\mu^+ \rightarrow e^+ + \nu_e + \tilde{\nu}_\mu$	$-1 = -1 + 1 - 1; \Delta L = 0$
$K^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu$	$0 = -1 + 1; \Delta L = 0$
$K^- \rightarrow \mu^- + \tilde{\nu}_\mu$	$0 = +1 - 1; \Delta L = 0$
$\gamma \rightarrow e^- + e^+$	$0 = +1 - 1; \Delta L = 0$

F4. A kozmikus sugárzás segítségével felfedezett részecskék:

1932- pozitron- Létezését elméletileg M. Dirac (1928) jósolta meg és C. D. Anderson fedezte fel a ködkamrán áthatoló kozmikus sugarak keltette nyomvonalak segítségével.



1932- neutron, James Chadwick fedezte fel:  ${}^4_2\alpha + {}^9_4\text{Be} \rightarrow {}^{12}_6\text{C} + {}^1_0\text{n} + 5,76\text{MeV}$

1937- müon- C.D. Anderson és Neddermeyer fedezte fel a kozmikus sugárzásban.

1946-  $\pi$ -mezon- C. Powell hőlégballonos mérésekkel a kozmikus sugárzás által fotoemulzióban hagyott nyomai alapján azonosította a H. Yukawa által megjósolt részecskét.

1947- kaon - C. Ch. Butler és G. Rochester kozmikus sugárzás hatását vizsgálták ólom céltárggyal való ütközés során. A keletkező részecskéket mágneses térbe helyezett ködkamrával vizsgálták, ahol addig ismeretlen nyomvonalra bukkantak. Ezt úgy értelmezték, mint egy semleges részecske két töltött részecskére való bomlása. Később egy töltött részecske bomlási nyomvonalát is felfedezték. Ezek voltak a  $K^0$  és  $K^-$  mezonok.

F5. Lehetséges folyamatok:  $\pi^+ \rightarrow e^+ + \nu_e$   $0 = -1 + 1; \Delta Q = 0$

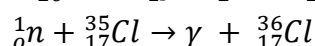
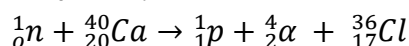
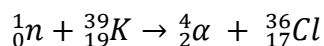
$\pi^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e$   $0 = +1 - 1; \Delta Q = 0$

$\pi^0 \rightarrow e^- + e^+ + \gamma$   $0 = +1 - 1; \Delta Q = 0$

$\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu$   $0 = +1 - 1; \Delta Q = 0$

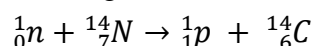
$\pi^- \rightarrow \mu^- + \bar{\nu}_\mu$   $0 = +1 - 1; \Delta Q = 0$

F6. A megmaradási (töltés és részecskeszám) törvények szerint, lehetséges magreakciók:

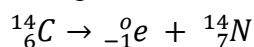


A keletkezett 36-os klór izotóp radioaktív és a kozmogén nukleoidok közé tartozik, amelynek felezési ideje:  $T_{1/2} = 3 \cdot 10^5 \text{év}$ .

F7. Ahogy a kozmikus részecskezár a légkör alsóbb rétegeibe jut a neutron és müon fluxus lesz a meghatározó, illetve az ezek által keltett részecskefolyamatok. A felszínre jutó részecskék a hidroszférában és a talajban másodlagos hasadási folyamatokat, bomlásokat hoznak létre. A kozmikus sugárzás hatására neutronbefogási folyamat során a légkörben  ${}^{14}_6\text{C}$  keletkezik, ez biztosítja a szénizotóp mérleg egyensúlyát. A radiokarbon több más hasonló elemmel fontos szerepet játszik a régészeti, geológiai kormeghatározásban.



Ugyanakkor a 14-s szén bétabomlással nitrogénné alakul:



Az élőszervezetben a szénizotópok részaránya:  $\frac{{}^{14}_6\text{C}}{{}^{12}_6\text{C}} = \frac{1}{8,3 \cdot 10^{11}}$  ami  $15,3 \frac{\text{bomlás}}{\text{perc} \cdot \text{g}}$ -nek felel meg.

F8. Kozmikus sugárzás és időjárás - A grafikonokból (1.20. ábra) kiolvasható, hogy a napfoltciklus minimum idején a légköri hőmérséklet enyhén emelkedik, a páratartalom pedig enyhén csökken. Ugyanakkor az is látszik a grafikonok adatai alapján, hogy a kozmikus sugárzás mért erőssége növekedik (az Oulu-Finnország és Bishop- Kalifornia neutronfigyelő állomás mérési adatai 2015-re a kozmikus sugárzás erősségének növekedését mutatják) a napfolt minimumok idején. Az utolsó grafikon azt mutatja, hogy ez a korreláció nem csak az utolsó napfolt ciklusra igaz, hanem hosszútávú korrelációról van szó (1958-2010-es adatok vannak megjelenítve). [20, 21]

### **Összegzés:**

A részecskefizika tanítása nagy kihívás, mert új feladatok elé állít és sok új, eddig elérhetetlennek tűnő tudományterület felé irányít. Ha csak úgy közelítjük meg a témát, hogy mindezt kötelezően meg kell tanítani a végzős, XII-es diákoknak, akkor szinte kudarcra van ítélve az egész. Tanév végén, már „senkit nem érdekel” a tananyag utolsó nagy fejezete. Éppen ezért megpróbáltam a megtanítandó témákat olyan környezetbe beépíteni, olyan módszerekkel felkínálni a diákok számára, hogy szívesen kapcsolódjanak be a tanulási folyamatba. A tananyag bővítésénél pedig éppen az ő tudásukat, informatikai ismereteit használom fel, hogy gazdagítsuk, javítsuk a következő osztályok számára ezt a segédanyagot.

## 2. Napfizika a középiskolában

*„A Nap, a Nap meg úgy lobogott,/mint százezer fáklyaláng./ Tűzfarkú páva az ég kertjében./ szórta tollas sugarát.” Rákos Sándor*

Égi mechanikával és csillagászzal a romániai tanrend szerint a IX-es mechanika (Kepler törvényei) illetve a XII-es tananyag (csillagok születése és fejlődése) foglalkozik néhány órában (összesen 2-3 óra mindkét évfolyamon). Azonban a diákokat ennél sokkal jobban érdekli minden olyan téma, ami az égbolt rejtelseinek magyarázatához vagy látványos, furcsa égi jelenségekhez kapcsolódik. Ezért szükségem volt olyan órai és szakköri lehetőségek teremtésére, amikor a tananyaghoz kapcsolódva csillagászati és asztrofizikai fogalmakat tanítok meg, jelenségeket értelmezünk bővítve és mélyítve ezzel a diákok ismereteit. Ehhez olyan módszereket használok, amelyeket a különféle (ESO- Európai Déli Csillagvizsgáló, ESA- Európai Űrügynökség, GTTP- Galileo Teacher Training Programme) nyári iskolák és műhelymunkák során ismertem meg, és átdolgoztam saját iskolám feltételei, adottságai szerint. Ezeket tanórába beépítve vagy szakköri munka során alkalmazom. [4, 5, 6, 7, 8]

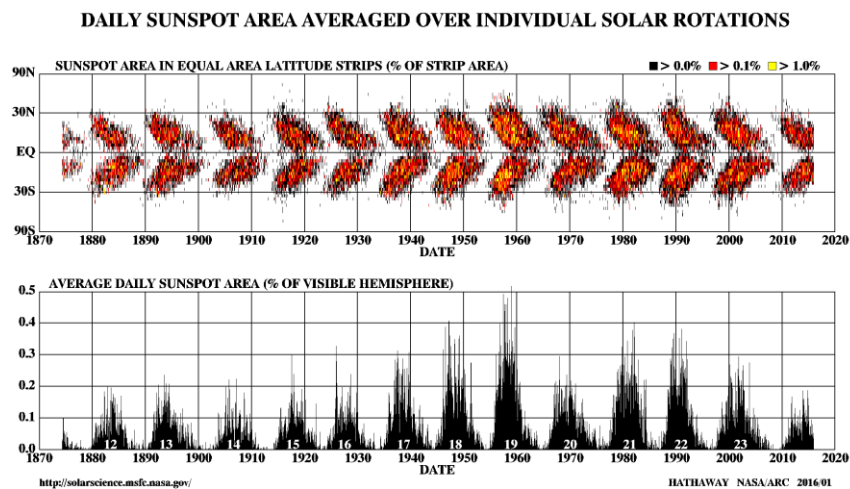
Hogyan keletkeznek a napfoltok? Miként lehet összekapcsolni ezt a középiskolai tananyaggal?

A naptevékenységek megfigyelése és tanulmányozása interdiszciplináris jellegű, a középiskolában könnyen kapcsolható a fizika tanításához (mechanikai mozgások, mágnesség, színeképelemzés, termodinamika, stb.) illetve a földrajz, kémia és informatika órák anyagához. A Napfizikához kapcsolódó témák közül a legszemléletesebb a napfoltok megfigyelése és tanulmányozása, illetve a Nap differenciális forgási sebességének kiszámítása egyszerűen, középiskolások számára is hozzáférhető módszerekkel. A témához kapcsolódóan kétféle megközelítést dolgoztam ki: az egyik az egyszerű, kevés matematikát, különleges trigonometriai tudást nem igénylő, a másik pedig számítástechnikai jártasságot is igénylő módszer. Az előbbit már használhatjuk VIII-IX. osztályban illetve humán tagozaton, a másodikat reáltagozatos XI-XII –es diákokkal.

### 2.1. Szakirodalmi alapozás a téma feldolgozásához

A Nap felszínén végbemenő változásokat naptevékenységeknek nevezzük. A Nap fotoszférájának képződményei a napfoltok. Ezek távcsővel és néha szabad szemmel (védőszemüveggel vagy speciális üvegen keresztül) is jól megfigyelhető alakzatok. A napfoltokról már több mint háromezer éve tudunk. Az első feljegyzések i.e. a XII. századból egy kínai jós-csonton olvashatók: „Lesznek a Napon jelek? Valóban vannak rajta jelek.”Az első európai feljegyzések Theofrasztoztól származnak az i.e. IV. századból, aki az időjósásra felhasznált jelek között megemlíti a napon látható sötét foltokat is. A távcső felfedezése hozta az igazi áttörést a csillagászati megfigyelésekben. A XVII. sz. elején T. Harriot, J. Fabricius, G. Galilei illetve C. Scheiner megfigyelései és feljegyzései jelentősek. Az első "hivatalosnak" nevezhető közléte a napfoltok észleléséről Johann Goldsmid (latin neve J. Fabricius) nevéhez fűződik. Fabricius ugyan kezdetben „szabad szemmel” végezte megfigyeléseit, de helyesen

értelmezte a foltok napról napra történő elmozdulását, amit a Nap tengely körüli forgásával magyarázott. A napfoltokról írt észrevételeit és értelmezését 1611 júniusában jelentette meg "De Maculis in Sole observatis et apparente earum cum Sole conversione, Narratio" címmel. Galilei távcsővel végzett megfigyeléseivel (1610) igazolta, hogy a napkorongon látható sötét foltok tényleg az égitest felszínén vannak, és nem a Nap előtt elvonuló bolygók okozzák azokat. C. Scheiner a „Rosa Ursina” c. könyvében (1630) tette közzé az 1611-1625 közötti megfigyeléseit, és neki sikerült meghatározni, a napfoltok látszólagos elmozdulásából, a Nap forgási sebességét. A következő jelentősebb feljegyzések a XIX. századból származnak, amikor H. S. Schwabe (amatőr csillagász, patikus) 1838-ban közzétette 12 év megfigyeléseit, meghatározta a napfoltok számát illetve egy kb. 10 éves ciklikusságot állapított meg a foltok gyakoriságában. Schwabe táblázatait Humboldt egészítette ki adatokkal egészen 1850-ig. A XIX. sz. második felében R. C. Carrington és G. Spörer eredményei a legjelentősebbek. Napfolt mérések alapján Carrington meghatározta a Nap sziderikus forgási periódusát (25,38 nap), forgási tengelyét és a heliografikus koordinátarendszert.



2.1. ábra Pillangódiagram. A napfoltok térbeli eloszlása és számossága 1870-től napjainkig, illetve a látható napfelszín területének fedettségi dinamikája látható. (forrás: <http://solarscience.msfc.nasa.gov/SunspotCycle.shtml>)

Spörer megállapította, hogy a ciklus kezdetén a napfoltok először a nagyobb szélességeknél jelennek meg, de nem magasabban, mint  $\pm(30^\circ-35^\circ)$ , majd pedig csak az egyenlítő közelében tűnnek fel a napfoltciklus végén (Spörer szabály). A megfigyelési eredmények statisztikus összegzése az 2.1. ábrán látható pillangódiagram. A napfolt diagramokról az is leolvasható, hogy adott ciklusban a napfoltok vezető és követő vonala szöget zár be az egyenlítővel. Ez a szög viszonylagos állandónak tűnik a több éves adatsor összegzése alapján. Ha napfolt-maximum van a napfoltcsoport egyenlítőhöz való dőlésszöge  $11^\circ$  körül van, míg minimum esetén kb.  $3^\circ$ -os ez a szög. (Joy törvénye)

A napfoltok száma egy adott ciklus során meghatározza a napfoltciklus erősségét, a naptevékenység intenzitását. A XX. században R. Wolf a zürichi csillagvizsgálóban végzett rendszeres napfolt megfigyelései során megállapította, hogy néha nagyon sok, máskor nagyon kevés található a Napon. A lefedettség leírására bevezette az úgynevezett napfolt relatívszámot (nem fizikai mennyiség), mely matematikai formában is feldolgozhatóan jellemzi, hogy egy

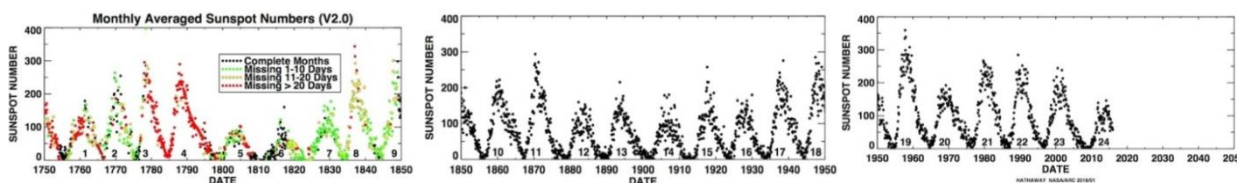
adott időben mennyire volt "foltos" a Nap. A Wolf által felírt  $R_W$ - napfolt-relatívszám képlete egyszerű:

$$R_W = k(10g + f) \quad (1)$$

Ahol:  $f$  a Napon látható összes folt száma,  $g$  - pedig a foltcsoportok száma. A  $k$ - egy a távcsőre statisztikailag megadott korrekciós tényező. Wolf összegyűjtötte az addigi napfolt-megfigyelési adatokat, rekonstruálta a naptevékenységeket 1700-ig és az adatsorból sikerült pontosabban meghatároznia, hogy egy ciklus átlagos hossza 11,1 év körüli, ami a Nap mágneses terének 22 éves periódusú pólusváltásával függ össze.

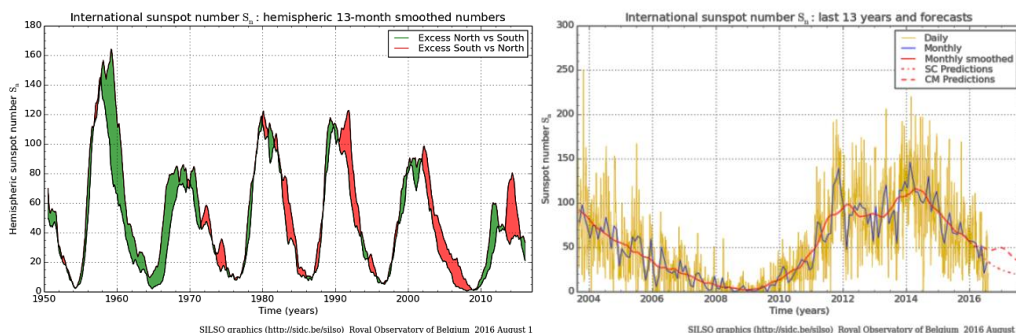
A modern csillagászati megfigyelési módszerek és kutatási eljárások lehetővé tették, hogy pontosabbá váljon a napfoltok regisztrálása illetve számosságuk előrejelzése, ugyanis ez egyre fontosabbá vált az űridőjárás illetve annak földi hatásainak meghatározásában.

A múltban többször is voltak olyan periódusok, amikor a napfolttevékenység nagyon alacsony volt. Ilyen volt az úgynevezett „kis jégkorszak” is, amely a 17. sz. közepétől a 18. Sz. elejéig tartott, az ún. Maunder-minimum (1650-1700) illetve a Dalton-minimum 1800 körül. Most a napfoltciklus csökkenő szakaszában vagyunk, amelyet egy szokatlanul hosszú nyugodt fázis előzött meg (2008-2010 között alig volt megfigyelhető napfolt), a legutóbbi maximum pedig 2014-ben volt. (2.2. és 2.3. ábrák)



2.2. ábra A napfoltok számának változása 1750-től napjainkig.

(Forrás: [http://solarscience.msfc.nasa.gov/images/Zurich\\_Color\\_Small.jpg](http://solarscience.msfc.nasa.gov/images/Zurich_Color_Small.jpg))



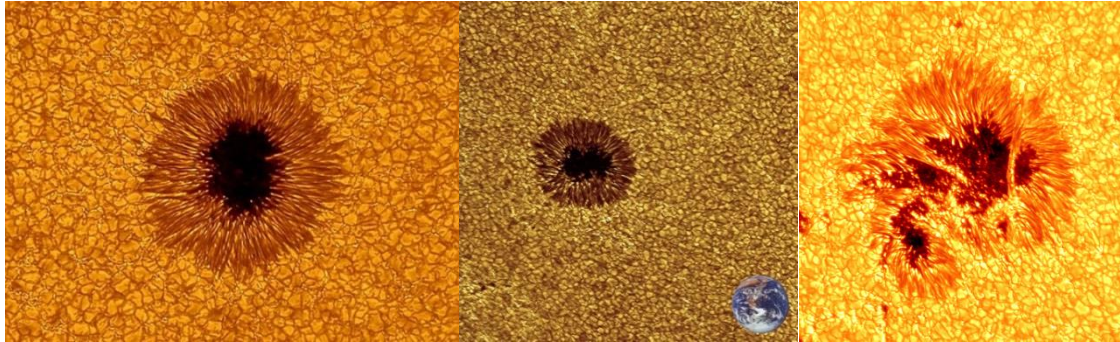
2.3. ábra. Napfoltok száma és előrejelzése (forrás: SILSO data/image Royal Observatory of Belgium;

<http://www.sidc.be/silso/ssngraphics>)

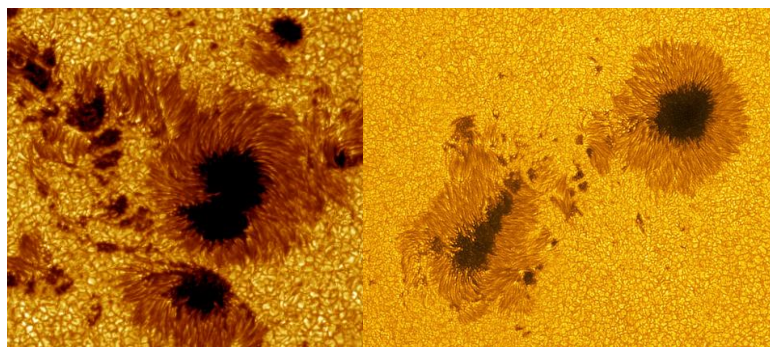
A Nap sugárzási és konvektív övezetének határfelületén az eltérő forgási sebesség miatt a mágneses fluxus instabillá válik, és a fotoszférában a fluxuskötegek (erővonal-kötegek) időnként a felszínre jutnak, illetve visszacsatolódnak csillagunk belsejébe (a Nap dinamóként viselkedik). A fluxuskötegek belsejében a nagyon erős mágneses mező (1000Gauss) miatt lelassul a plazma mozgása, kevesebb konvekciós energia szállítódik a felszínre (ezt akadályozza meg az erős mágneses mező). Ennek eredményeképpen alakulnak ki a felszínnél alacsonyabb hőmérsékletű foltok, amelyek kevesebb fényt bocsátanak ki. A napfolt sötétebb belső magja, az umbra 4000K hőmérsékletű, amelyben a kilépő sugárzás erőssége a normál mennyiségű napsugárzáshoz képest



mintegy 32%-os. A világosabb, szálás szerkezetű külső rész, a penumbra, amely 80%-os erősségű a fotoszféra fényerejéhez képest, így hőmérséklete 5000K körüli. (2.4 és 2.5. ábra)

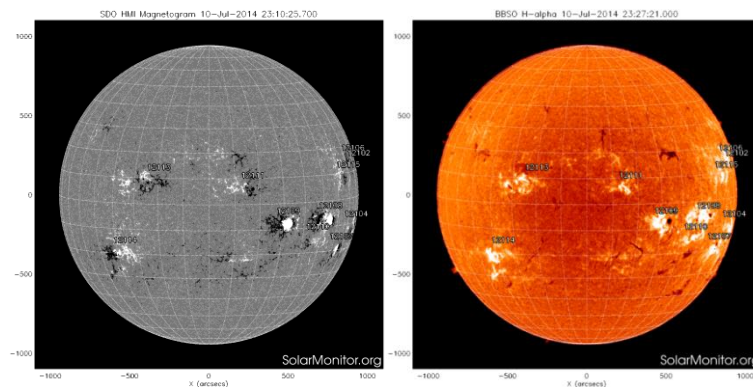


2.4. ábra Napfolt nagyfelbontású képe: a) Big Bear Solar Observatory 2010 és 2013; b). R. Rutten, 2002, DOT (La Palma; <http://dot.astro.uu.nl>)



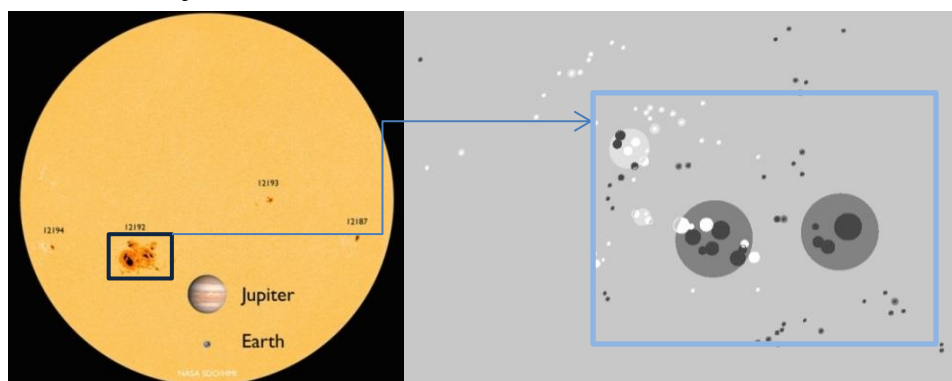
2.5. ábra Napfoltcsoport részletes közelképe. a). (2002. július, La Palma, Kanári szk, b). 2011. március-(Emil Kraaikamp fotója, <http://realneo.us/content/sunspot-1261>)

A napfoltok jellemzői: területük, számosságuk, alakjuk és élettartamuk. A foltcsoportok többnyire kissé elnyúlt, hosszúkas alakúak. A foltcsoport elülső, nagyobb részét, amely a Nap forgási irányában van vezető foltoknak nevezzük, míg az elmosódottabb befejező részt követő foltoknak. Az ilyen foltcsoportokat bipolárisnak nevezzük. Minden csoportoknak van mágneses polaritása, amelynek mágnesessége egy rúd mágnes É-i illetve D-i pólusához hasonlítható: ha vezető rész É-i, akkor a követő D-i polaritású. G. E. Hale 1938-ban foglalta össze a foltok mágneses polaritásával kapcsolatos megfigyeléseit: Adott napfoltciklusban az azonos féltekén levő foltok vezető polaritása mindig egyforma, a másik féltekén a vezető polaritás ellentétes. A következő ciklusban ezek a polaritások felcserélődnek. [w16]



2.6. ábra Magnetogramok amelyeken jól láthatóak a bipoláris napfoltcsoportok. A vezető napfoltok mágneses pólusai az egyenlítőtől északra illetve délre fel vannak cserélve.

A foltok mérete igen eltérő, létezik olyan foltcsoport is, amelynek hosszanti mérete eléri a 400000 km-t. A legkisebb látható folt átmérője 1000 km körüli, a legnagyobbaké akár 200000km is lehet (nagyobb, mint a Jupiteré). A napfoltok élettartama 1 naptól (kisebb foltok) néhány hónapig (óriás foltok) terjed. (2.7. ábra)

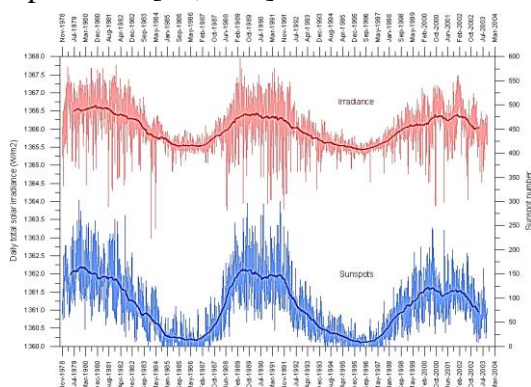


2.7. ábra Az 12192 napfolt összehasonlítva a Földdel és Jupiterrel (forrás: C. Alex Young/NASA, 2014. nov. 11.)

## 2.2. Naptevékenység és űridőjárás

Egyszerűen okoskodva azt képzelhetnénk, ha csökken a Nap aktivitása, akkor ennek azonnali következménye a bolygónk lehűlése, de ez nem így van. Műholdas adatok elemzéséből derült ki, hogy a hétköznapi logika nem mindig válik be ilyen kérdésekben. Ahogyan az utóbbi években (2009-ig) fokozatosan csökkent a naptevékenység, úgy egyre több napsütés melegítette a Földet. Minél gyengébb a naptevékenység (napfolt minimum van, nincs számottevő napkitörés, protuberancia), annál melegebb a Föld. Ez az eredménye annak az elemzésnek is, amit a NASA napsugárzás mérő műholdja, a SORCE (Solar Radiation & Climate Experiment) 2004 és 2007 közötti adatain végzett Joanna Haigh, a londoni Imperial College légkörfizikusa munkatársaival együtt [25, w26].

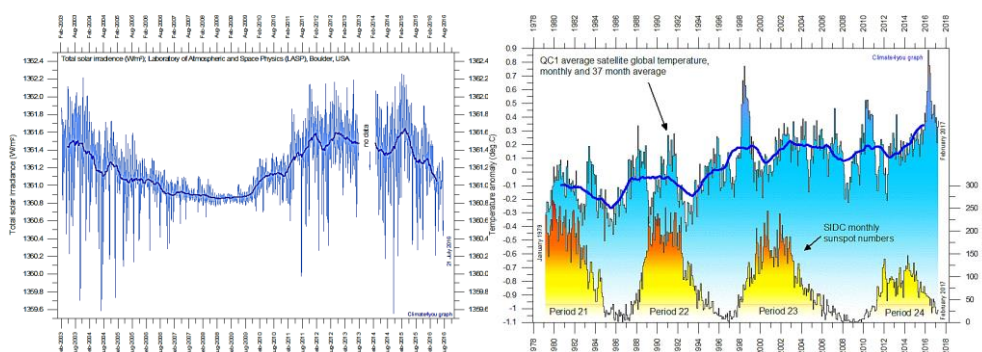
Az NCAR (National Center for Atmospheric Research) amerikai légkörkutató központ munkatársai és együttműködő kollégáik pedig több mint 100 év meteorológiai észlelései, a Nap aktivitásának adatai és számítógépes szimulációk együttese alapján vizsgálták a Nap aktivitása és bolygónk éghajlata közötti kapcsolatot [24, w27].



2.8. ábra Vörös görbe- a nap által kibocsájtott sugárzás; kék görbe-napfolt szám éves átlagolása. A Nap teljes kisugárzásának a változása (napállandó  $1366\text{W}/\text{m}^2$ ) egy napfolt ciklus során  $1,3\text{ W}/\text{m}^2$  körüli, ami a Föld teljes felszínére átszámítva  $0,325\text{ W}/\text{m}^2$ -et jelent.



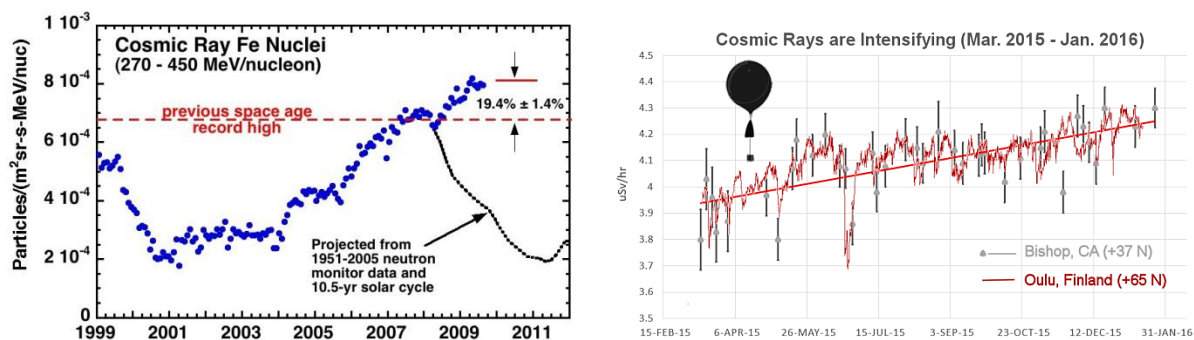
Az adatok feldolgozása és elemzése után nekik végül is sikerült kimutatni, egy adott terület éghajlata és a naptevékenység közötti szoros kapcsolatot. Azt tapasztalták, hogy a Napból a Földre érkező energiának csupán 0,1%-a változik a közel 11,2 éves napfoltciklusnak megfelelően, viszont a napfoltciklus szoros kapcsolatban áll a Csendes-óceán trópusi térsége felszíni vizeinek jellemzőivel és a sztratoszféra ózonkoncentrációjával, ezek pedig a térség időjárás mintázatával. Az ózonkoncentráció pedig bolygónk jelentős részén befolyásolja az időjárást - a következmény tehát valószínű nem helyi, hanem globális jellegű. (2.8. és 2.9 ábra)



**2.9. ábra** A Nap által kisugárzott teljes energia változása 2003-2016 között illetve a napfoltok számának változása 1978-2016 között. Ha a két panel megfelelő időintervallumait hasonlítjuk össze (2003-2016), akkor azt olvashatjuk le a grafikonokról, hogy a 2007-2010-es periódusban, amikor éppen napfoltminimum volt a nap kisugárzott energia átlaga  $1360,9\text{W/m}^2$  (ez a legalacsonyabb a vizsgált időszakban), a hőmérsékleti különbségek, ingadozások szintén alacsony értéken vannak, nincs számottevő változás. (forrás: <http://lasp.colorado.edu/home/sorce/>)

A NASA ACE (Advanced Composition Explorer) mérései szerint szoros kapcsolat létezik a napfolttevékenység és a kozmikus sugárzás erőssége között. Ez utóbbi viszont valamilyen szintén befolyásolja a felhőképződést, ezáltal pedig a Föld energiaháztartását. [w27]

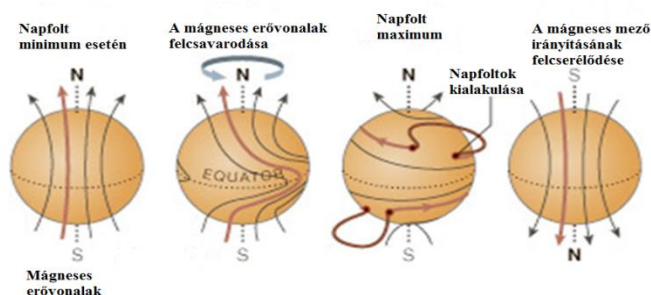
Az utóbbi húsz év mérési adatai alapján a napfoltminimum időszaka egybeesik a kozmikus sugárzás erősségének a növekedésével. Úgy tűnik, hogy a naptevékenységek modulálják a föld légterébe jutó kozmikus sugárzást. A napkitörések és napviharak elsodorják a kozmikus részecskezéport, ezért annak nehezebb eljutni a földre. Amikor napfolt minimum van, gyenge a naptevékenység, akkor erősebb a kozmikus sugárzás hatása, nagyobb a felhősödési góccok kialakulásának valószínűsége is. [24, 25]



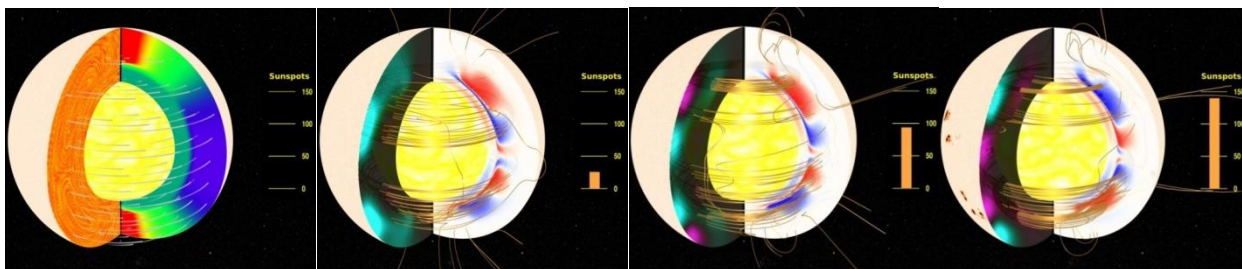
**2.10. ábra** A kozmikus sugárzás erősségének a növekedése 2005-től (forrás: NASA, Richard Mewaldt/Caltech és <http://news.spaceweather.com>)

## 2.3 A Nap forgási sebességének a meghatározása

Carrington már a XIX sz.-ban észrevette, hogy a napfoltok mozgása arra utal, hogy a nap forgási sebessége változik a szélességgel. A Nap nem tömör, merev testként forog a tengelye körül, a felszínen differenciális rotáció jelensége figyelhető meg. Azaz a Nap egyenlítője más szögsebességgel (gyorsabban) forog, mint a pólusokhoz közeli tartományok. A látható felszín alatti, vastag rétegben –a konvektív övezetében- cellákban örvénylő mágneses áramlások zajlanak, mint a forrásban lévő vízben. Mérések alapján kimutatták, hogy a sugárzási zóna (amely merev testként forog) és a fölötte elhelyezkedő konvektív zóna eltérő szögsebességgel forog, amely a határvonalon nyíró hatást hoz létre. A sugárzási réteget a konvektív övtől elválasztó részt tachoklínának nevezzük, és ebben a rétegben történik a differenciális forgásból a merev testi forgásba való átmenet. A napfizikai elméletek szerint a Nap konvektív övében egy dinamószerű folyamat megy végbe, amely változó mágneses teret hoz létre, amely viszont a naptevékenységek forrásává válik. Egy napfoltciklus kezdetén a mágneses tér erővonalai a Nap felszíne alatt a forgástengellyel nagyjából párhuzamosan futnak, poloidálisak. A differenciális rotáció miatt a plazmában, a felszín alatt fellépő nyíró hatások, azonban, „feltekerik” az erővonalakat, mágneses hurkokat hozva létre. Ennek eredményeként az erővonalak a felszín alatt - az egyenlítővel többé-kevésbé párhuzamosan- fluxuscsövekbe rendeződve toroidális teret képeznek, amelyek közül az instabilak, a plazmában fellépő felhajtó erő hatására, a felszínre törnek illetve visszacsatolódnak a felszín egy másik pontján. A feltörő mágneses fluxuscsövek talppontjainál napfoltok jönnek létre. A ciklus végén a mágneses mező polaritása felcserélődik. (2.11. és 2.12. ábra)



2.11. ábra. A Nap mágneses terének változása a 11 éves napciklus során. A differenciális rotáció következtében a kezdeti poloidális mágneses tér erővonalai feltekerednek mágneses hurkokat hozva létre, amelyek felszíni talppontja a napfolt.



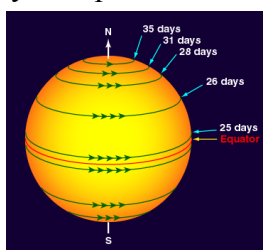
2.12. ábra A mágneses erővonalak felcsavarodása a differenciális rotáció következtében és a napfoltok kialakulása.

(Forrás: Solar Dynamic Observatory/NASA; [http://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2010/05feb\\_sdo/](http://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2010/05feb_sdo/) és <https://svs.gsfc.nasa.gov/349> )

A romániai tanrend szerint, a humán tagozatos XI. osztályban tanított „Tudomány” c. tantárgy első két fejezete a Naprendszer keletkezésével, fejlődésével, működésével illetve az Univerzum kozmológiai kérdéseivel foglalkozik, összesen 21 órában. Figyelembe véve a tanrendi és tantárgyi követelményeket valamint a diákok előzetes ismereteit (matematikát csak alap szinten tanulnak, nincs fizika, kémia és biológia órájuk) a Nap működésére, jövőjére vonatkozó kérdéseket a napfoltok tanulmányozásán keresztül vezetem be. Majd ennek segítségével keressük azokat a válaszokat, amelyek az időjárás meghatározásával, a légköri folyamatokkal vagy távközlési kérdésekkel kapcsolatosak. Keressük a napfoltciklusok változása okozta hatásokat, amelyeket vélhetően a földi folyamatokban és tevékenységekben idéznek elő. A kidolgozott feladat a Nap felszíni differenciális sebességének a meghatározására vonatkozik elsősorban, de nyomon követjük a napfoltok élettartamát, méretét és alakváltozását. A tanórai tevékenység elsődleges célja, hogy megismertesse a diákokkal a napfoltok megfigyelési lehetőségeit, tanulmányozási módszereit illetve megmutassa, milyen bonyolult összefüggés létezik a naptevékenységek és a földi valamint űrbéli folyamatok között. Ugyanakkor a napfoltok mozgásából meghatározzuk a Nap forgási sebességét valamint a kapott adatok segítségével kapcsolatokat keresünk a földrajz, kémia és biológia órákon tanult földi folyamatok, jelenségek illetve az űridőjárás között.

A feladat során a diákok 2-3 fős csoportokban dolgoznak. Az elméleti bevezető után, mindenki letölt a már előkészített SOHO adatbázisból 8-12 magnetogramot, amelyen egy adott napfolt vagy napfoltcsoport nyomon követhető a megjelenésétől az eltűnéséig több napon keresztül. Minden csoport más és más évben, időpontban rögzített képsorozatot kap. Tíz munkacsoporttal egyszerre lefedünk szinte egy teljes napfoltciklust. Ugyanakkor arra is figyelek, hogy a csoportok fele olyan képsort kapjon, amelyeken a napfoltok egyenlítő közeliek, míg a csoportok másik fele olyan képekkel dolgozik, ahol a napfoltok a  $30^{\circ}$ - $35^{\circ}$ -os szélesség körül mozognak. A feladat befejezése után összesítjük minden csoport munkáját, rögzítve a napfolt szélességi adatait, a számolt periódust és sebességet. Ez után a következő kérdésekre kell választ keresniük a diákoknak:

- Miért van különbség az egyes csoportok által kapott eredmények között? Miért változik a forgási periódus?
- Milyen kapcsolat létezik a forgási periódus és a helioszferikus szélesség között?
- Milyen kapcsolat létezik a napfolt méretbeli változása és az őt létrehozó mágneses mező között? Füg-g-e a napfolt mérete attól, hogy az egyenlítő közelében vagy magasabb szélességi körön mozog?
- A napfoltok számossága, mérete milyen kapcsolatban van az űridőjárással?



2.13. ábra A Nap differenciális forgása (forrás: <http://www.star.bris.ac.uk/bjm/solar/solarrot.html>)

**FELADATLAP- Humán tagozat vagy/és VIII-IX. osztály [26, 27, 29]**

A napfoltok mozgása a nap felszínén egyenletes és megközelítőleg körív mentén történik. A mozgás leírására tehát használhatjuk az egyenletes körmozgás egyenleteit.

$$\alpha = \alpha_0 + \omega \cdot \Delta t \quad (1)$$

$$\omega = \frac{\Delta\alpha}{\Delta t} \quad (2)$$

$\omega$ - szögsebesség;  $\Delta\alpha$  - a hosszúsági szög változása;  $\Delta t$  - két egymás utáni megfigyelés között eltelt idő;

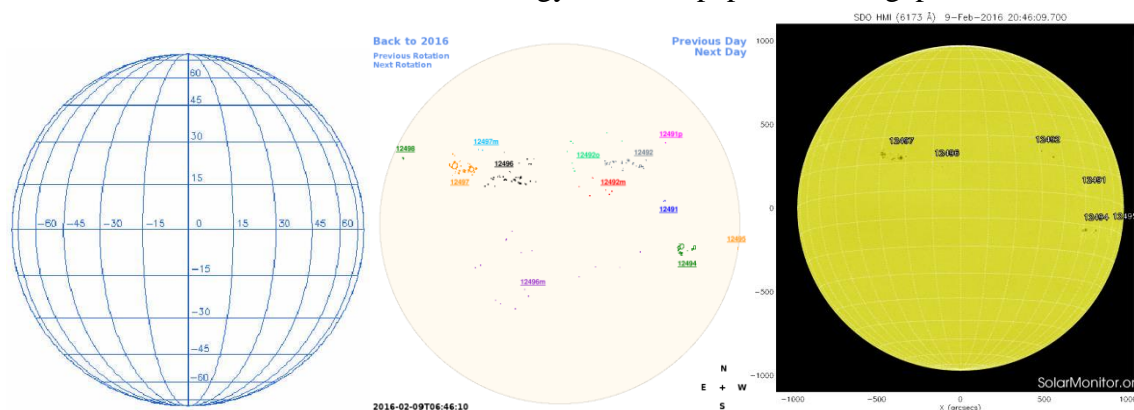
$$T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi \cdot \frac{\Delta t}{\Delta\alpha} \quad (3)$$

$T$ - a forgási periódus;

$$v = \frac{2\pi R}{T} = \omega \cdot R \quad (4)$$

$v$  –kerületi sebesség;  $R=6,9598 \cdot 10^5$ km a Nap sugara

Szükséges eszközök: Előre kinyomtatott képek, amelyek napfoltokat, napfoltcsoportokat ábrázolnak. Vonalzó, ceruza, átlátszó fólia vagy krétázott papír, számológép.



2.14. ábra. Napfoltrács, napkorong több napfolttal és napfoltcsoporttal

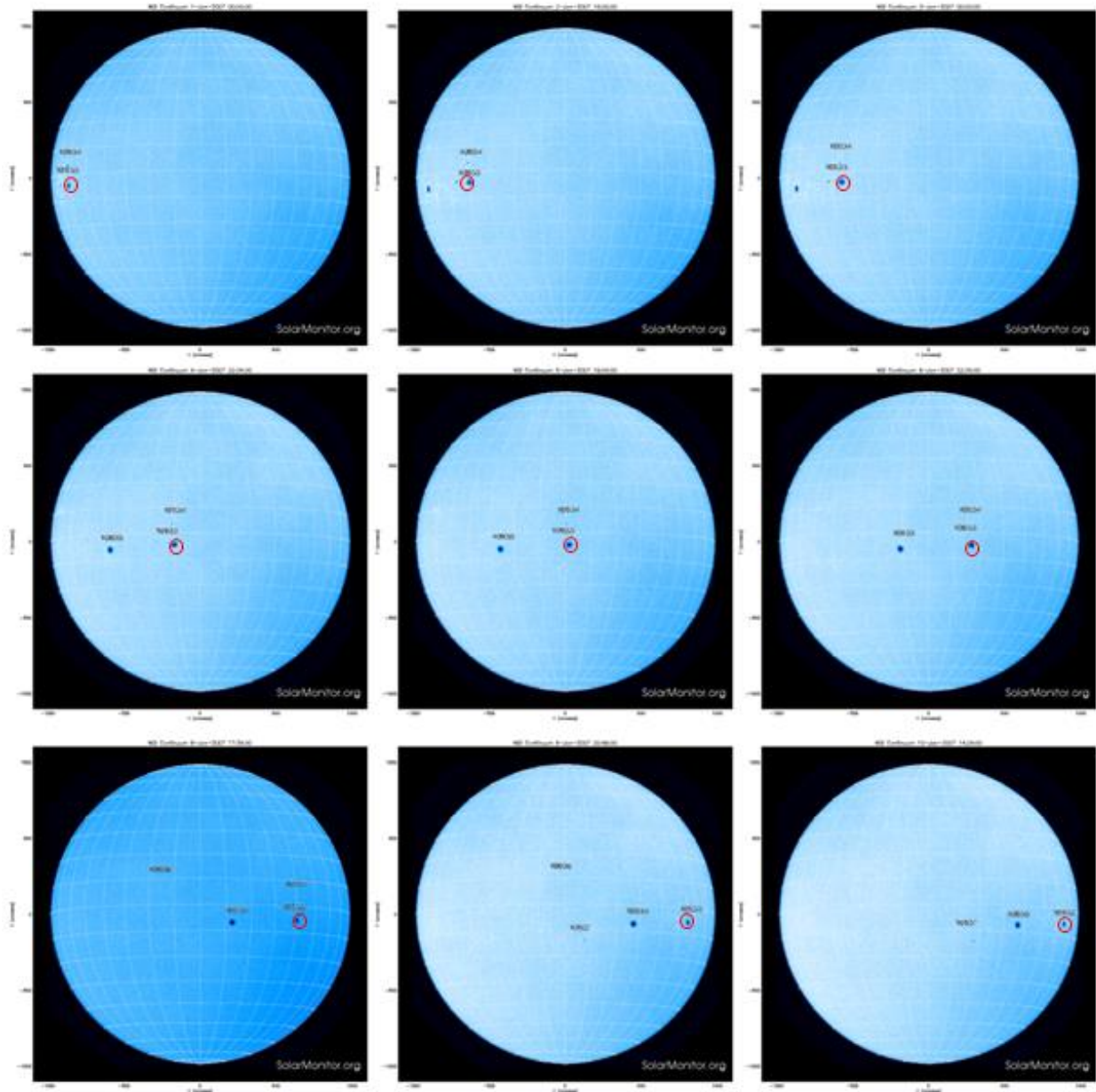
**Munkamódszer:** A kapott képsoron kiválasztunk egy jól nyomon követhető napfoltot vagy csoportot és megjelöljük (azonosítjuk), majd leírjuk a jellemzőit napról-napra egészen az eltűnéséig. (2.10. ábra) A rácsos fóliát ráhelyezzük az első magnetogramra és meghatározzuk a kiválasztott napfolt helyzetét/koordinátáit. A beosztásos rács segítségével leolvassuk a napfolt középpontjának heliografikus szélességét ( $\beta$ ) és hosszúságát ( $\alpha$ ), ezeket egy táblázatba jegyezzük le a napfolt azonosítójával és a megfigyelés időpontjával együtt. (1, 2 táblázat).

A beosztásos rácsról leolvasott értékeket (fok) át kell alakítani radiánba:  $1\text{rad}=\pi/180^\circ$ .

A számítások alapján a forgási periódus  **$T=25,9979$  nap**, ami megfelel az egyenlítő menti forgási periódusnak.

Ennek alapján az egyenlítő menti forgási sebesség:  $v = \omega \cdot R$  összefüggéssel számítható ki. A szögsebesség a táblázatbeli középérték rad/s-ban kifejezve  $\omega=2,79722569 \cdot 10^{-6}$ rad/s; ahol  $R=6,9598 \cdot 10^5$ km, tehát a sebesség  $v=1,9468131$ km/s.





2.15. ábra. Napkorong napfoltokkal 2007. 01. 01.- 10. (forrás: Solar Monitor.org)

1. táblázat. Mérési adatok a 2007. januári napfolt mozgásáról

nap	időpont (hh:mm:ss)	szélesség $-\beta$ (fok)	hosszúság $-\alpha$ (fok)	$\Delta\alpha$ (fok)	$\Delta\alpha$ (rad)	$\Delta t$ (nap)	$\omega=\Delta\alpha/\Delta t$ (rad/nap)	$T=2\pi/\omega$ (nap)
01.jan	0:00:00	-5	-60					<b>25,99791213</b>
02.jan	16:00:00	-5	-40	20	0,3490658	1,666666	0,20943955	
03.jan	0:00:00	-5	-36	4	0,0698132	0,333333	0,209439488	
04.jan	22:24:00	-5	-10	26	0,4537855	1,316667	0,344647241	
05.jan	19:06:00	-5	2	12	0,2094395	0,8625	0,242828367	
06.jan	22:24:00	-5	17	15	0,2617993	1,1375	0,23015326	
07.jan	20:48:00	-5	29	12	0,2094395	0,933333	0,224399509	
08.jan	17:39:00	-5	40	11	0,1919862	0,86875	0,220991284	
09.jan	20:48:00	-5	55	15	0,2617993	1,13125	0,231424825	
10. jan	14:24:00	-5	66	11	0,1919862	0,733333	0,261799452	

átlag	0,2416803
-------	-----------

Amikor X-XI-es diákokkal dolgozom, akkor ugyanezt az adatsort vetület feldolgozásban használjuk. A napfolt pillanatnyi helyzetét (itt a 10933-as foltot) levetítjük a hosszúságtengelyre és lejegyezzük a folt viszonylagos elmozdulását ehhez a tengelyhez képest  $x$  (cm) különböző időpontokra, illetve a folt tengelytől mért legnagyobb távolságát (amplitúdóját):  $A$  (cm). Az adatfeldolgozáshoz a harmonikus rezgőmozgás analógiáját használjuk.

$$x = A \sin\left(\frac{2\pi t}{T} + \varphi\right) \quad \text{ahonnan} \quad \frac{x}{A} = \sin\left(\frac{2\pi t}{T} + \varphi\right) \quad (5)$$

$$\arcsin \frac{x}{A} = \frac{2\pi t}{T} + \varphi \quad (6)$$

$$y = \alpha t + \varphi \quad (7)$$

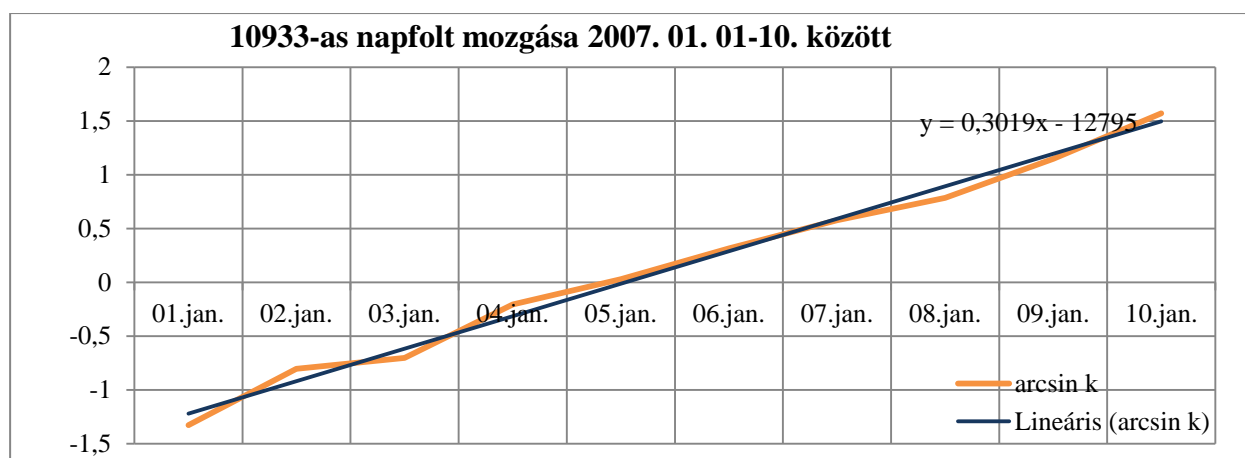
Összehasonlítva a (6.) és (7.) egyenleteket, azt kapjuk, hogy:  $y \equiv \arcsin \frac{x}{A}$  és  $\alpha \equiv \frac{2\pi}{T}$

Tehát az ábrán látható egyenes irányítványozója éppen a körfrekvencia  $\omega = \frac{2\pi}{T}$

Ha ábrázoljuk grafikusán a  $k = \arcsin \frac{x}{A}$  értékeket az idő ( $t$ ) függvényében, majd a kapott grafikonhoz rendelt egyenes segítségével leolvassuk a szögsebességet, akkor kiszámíthatjuk a forgási periódust.

2. táblázat. Mérési adatok a 2007. januári napfolt mozgásáról (II. módszer)

Dátum: 2007	időpont (hh:mm:ss)	szélesség $-\beta$ (fok)	$A_{\max}$	$x$ (cm)	$k=(x/A_{\max})$	$\arcsin k$
Jan. 01.	0:00:00	-5	3,4	-3,3	-0,9705882	-1,32766
Jan. 02.	16:00:00	-5	3,4	-2,45	-0,7205882	-0,80465
Jan. 03.	0:00:00	-5	3,4	-2,2	-0,6470588	-0,70372
Jan. 04.	22:24:00	-5	3,4	-0,7	-0,2058824	-0,20737
Jan. 05.	19:06:00	-5	3,4	0,1	0,0294118	0,029416
Jan. 06.	22:24:00	-5	3,4	1,05	0,3088235	0,313956
Jan. 07.	20:48:00	-5	3,4	1,85	0,5441176	0,575337
Jan. 08.	17:39:00	-5	3,4	2,4	0,7058824	0,783668
Jan. 09.	20:48:00	-5	3,4	3,1	0,9117647	1,14756
Jan. 10.	14:24:00	-5	3,4	3,4	1	1,570796



2.16. ábra A vizsgált napfolt mozgásának ábrázolása az idő függvényében



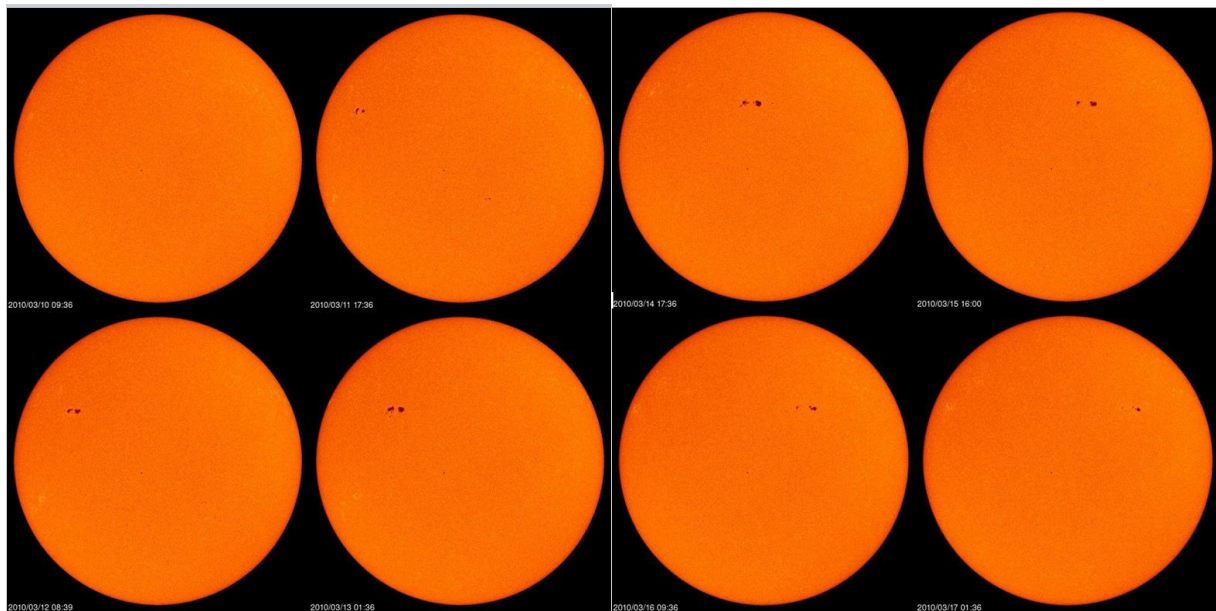
A grafikonról kiválasztott és leolvasott értékek:

dátum: 2007	k	t (hh:mm:ss)
04. jan.	-0,25	22:24:00
06. jan.	0,25	22:24:00

Ezek alapján számított forgási periódus  $T=25,13247$ nap.

A forgási sebesség:  $v = \frac{2\pi R}{T}$  alapján  $v=2,0138522$ km/s.

Az egyenlítőől távolabb levő napfolt vizsgálata (2.17 ábra és 3. táblázat):



2.17. ábra Magnetogramok a 2010. 03. 10-19. napfoltról. (forrás: SDO)

3. Táblázat A vizsgált napfolt mérési adatai (2010. március 10-19.)

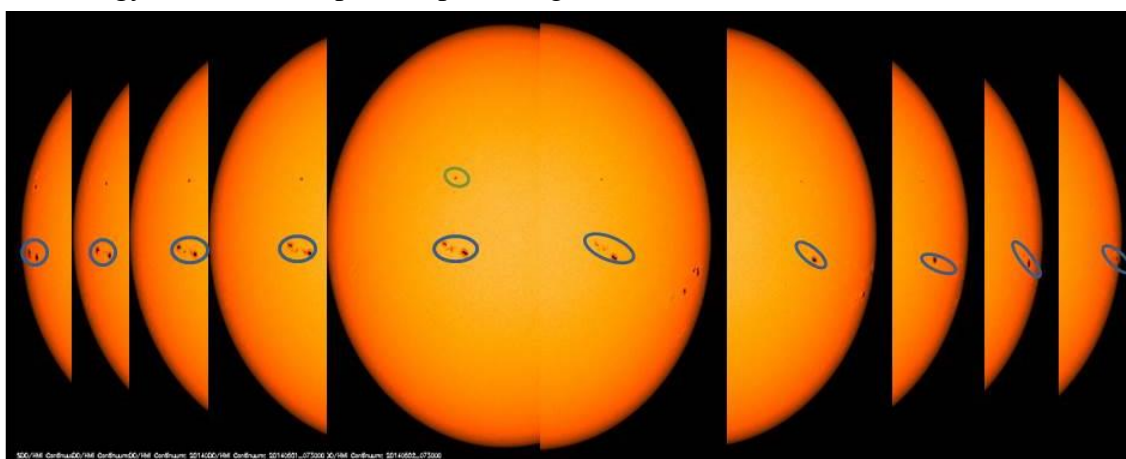
Megfigyelési		Heliografikus		$\Delta\alpha =$	$\Delta\alpha$ (rad)	$\Delta t = t_{k+1} - t_k$	$\omega = \Delta\alpha / \Delta t$	$T = 2\pi / \omega$
dátum 2010	időpont (hh:mm)	széles ség $-\beta$	hosszú ság $-\alpha$	$\alpha_{k+1} - \alpha_k$ (fok)		(nap)	rad/sec	(nap)
03. 10.	9:36	20	-65					<b>26,6055161 nap</b>
03. 11.	17:36	20	-43	22	0,3839724	1,133333	0,3387991	
03. 12.	8:39	20	-33	10	0,1745329	0,627083	0,278325	
03. 13.	1:36	20	-25	8	0,1396263	0,70625	0,197701	
03. 14.	17:36	20	-1	24	0,4188789	1,666666	0,2513274	
03. 15.	16:00	20	10	11	0,1919862	0,933333	0,2056995	
03. 16.	9:36	20	20	10	0,1745329	0,733333	0,2379994	
03. 17.	1:36	20	30	10	0,1745329	0,666667	0,2617993	
03. 18.	9:53	20	45	15	0,2617993	1,478472	0,1770742	
03. 19.	9:24	20	65	10	0,1745329	0,979861	0,17812	

Ha összehasonlítjuk az egyenlítőhöz közeli és távoli napfoltok forgási periódusát, akkor látszik, hogy sikerült igazolni a differenciált forgást:

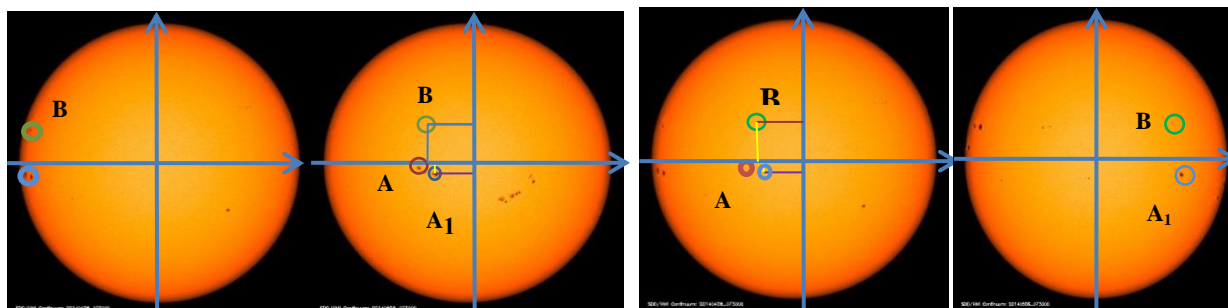
Heliografikus szélesség (fok)	$T_{\text{Nap}}$ (nap)	v (km/s)
-5	25,99791213	1,946813135
20	26,6055161	1,902353394

Reáltagozatos osztályokban egyszerre több napfolt mozgását vizsgáljuk egy-egy csoport diákkal, így több információ alapján könnyebben meg tudják fogalmazni következtetéseiket a nap differenciált forgásával kapcsolatban.

A 12049es, egyenlítőközeli napfoltcsoport vizsgálata (2014):



2.18. ábra Az 12049 napfoltcsoport mozgásának követése 2014. 04. 27. – 05. 09. között. (SDO)

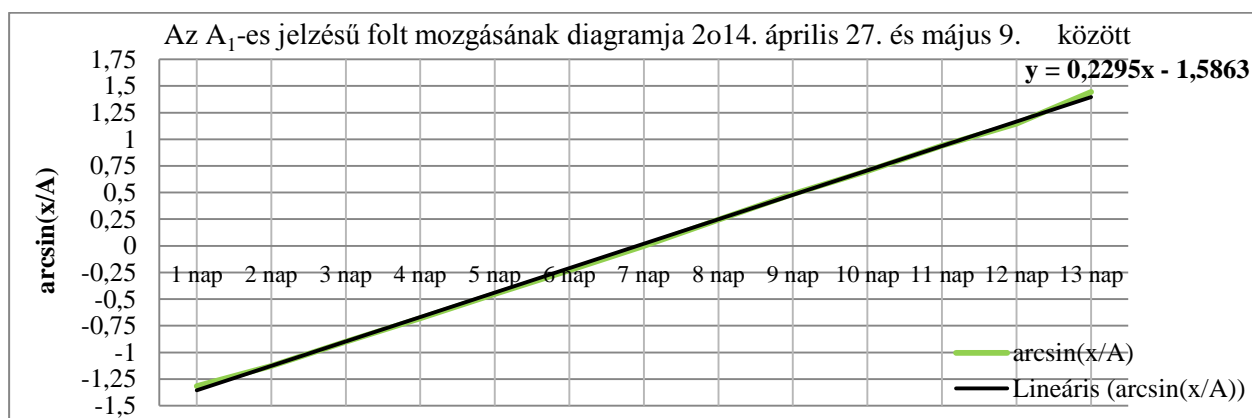


2.19. ábra Az A és B jelzésű napfoltok követése (forrás: SDO)

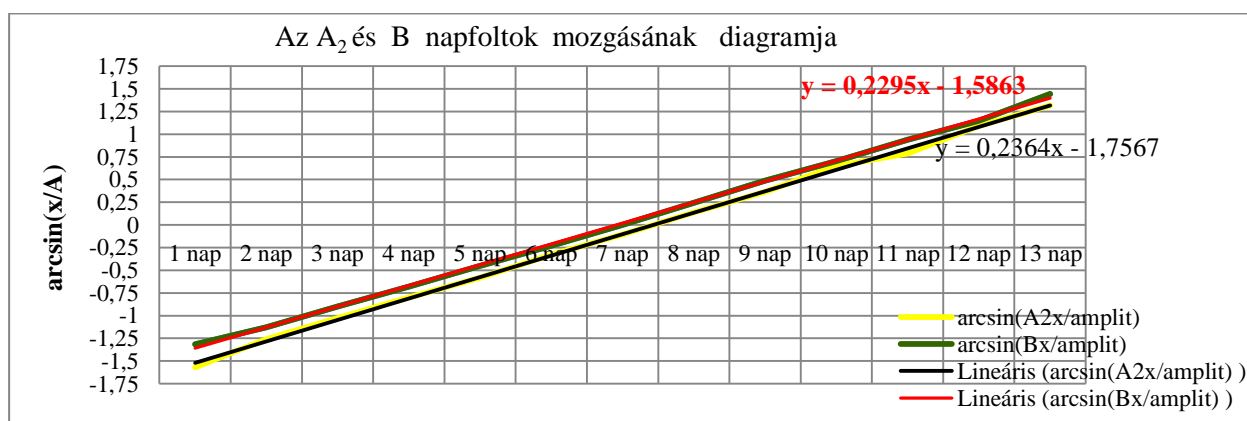
4. táblázat A vizsgált napfoltok mérési adatai

dátum	A-kettős folt		A-kettős folt		A-kettős folt	
	$A_{1x}$ (cm)	$A_{2x}$ (cm)	$A_{1x}/\text{amplit}$	$A_{2x}/\text{amplit}$	$\arcsin(A_{1x}/\text{amplit})$	$\arcsin(A_{2x}/\text{amplit})$
2014						
április 27.	6	6,2	0,96774	1	-1,31611	-1,570796
április 28.	5,60	5,90	0,90323	0,95161	-1,12723	-1,258443
április 29.	4,85	5,30	0,78226	0,85484	-0,89828	-1,02524
április 30.	3,90	4,45	0,62903	0,71774	-0,68031	-0,800554
május 1.	2,70	3,40	0,43548	0,54839	-0,45058	-0,580434
május 2.	1,40	2,00	0,22581	0,32258	-0,22777	-0,328455
május 3.	0,00	0,65	0	0,10484	0	-0,105032
május 4.	1,50	0,85	0,24194	0,1371	0,24436	0,13753
május 5.	2,90	2,20	0,46774	0,35484	0,486734	0,362742
május 6.	4,00	3,75	0,64516	0,60484	0,701234	0,649563

május 7.	5,00	4,40	0,80645	0,70968	0,938126	0,78904
május 8.	5,65	5,50	0,91129	0,8871	1,146407	1,091017
május 9.	6,15	6,00	0,99194	0,96774	1,443711	1,316108



2.20. Az A<sub>1</sub> jelzésű napfolt mozgásának grafikonja az idő függvényében



2.21. Az A<sub>2</sub> és B-jelzésű napfoltok grafikonja az idő függvényében

5. a). Táblázat A B-jelzésű napfolt mérési adatai

Megfigyelési nap	dátum	B-folt	B-folt	B-folt
	2014	Bx (cm)	Bx/amplit	arcsin(Bx/amplit)
1 nap	április 27.	6	0,96774	-1,316108
2 nap	április 28.	5,65	0,90323	-1,127228
3 nap	április 29.	5,00	0,78226	-0,898282
4 nap	április 30.	4,10	0,62903	-0,680308
5 nap	május 1.	3,00	0,43548	-0,450576
6 nap	május 2.	1,70	0,22581	-0,227771
7 nap	május 3.	0,35	0	0
8 nap	május 4.	1,10	0,24194	0,24436
9 nap	május 5.	2,40	0,46774	0,486734
10 nap	május 6.	3,60	0,64516	0,701234
11 nap	május 7.	4,55	0,80645	0,938126
12 nap	május 8.	5,70	0,91129	1,146407
13 nap	május 9.	6,14	0,99194	1,443711

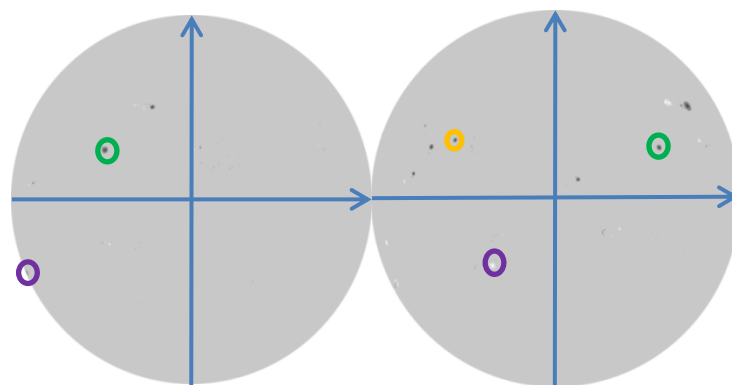
Az ábrán látható egyenesek irányítványozója éppen a körfrekvencia  $\omega = \frac{2\pi}{T}$

A grafikonról, az illesztő egyenesről, választunk két olyan pontot, amelyeknek leolvashatók a koordinátái (x, y) és ezek segítségével, az összefüggés alapján  $\frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{2\pi}{T}$  meghatározzuk a differenciális forgási periódust (**T**).

5. b. Táblázat A számolási adatok összegzése:

Nap-folt	Helioszferikus szélesség	x <sub>1</sub> (nap)	x <sub>2</sub> (nap)	y <sub>1</sub>	y <sub>2</sub>	T (nap)	v (km/s)
<b>A<sub>1</sub></b>	<b>5</b>	7,5	12,5	0,25	1,44371066	T=26,31787	1,9231455
<b>A<sub>2</sub></b>	<b>3</b>	7	12,5	0	1,31610827	T=26,25735275617	1,9275780
<b>B</b>	<b>17</b>	6,5	12,5	0,0416	1,41666666	T=27,417649836	1,8460046

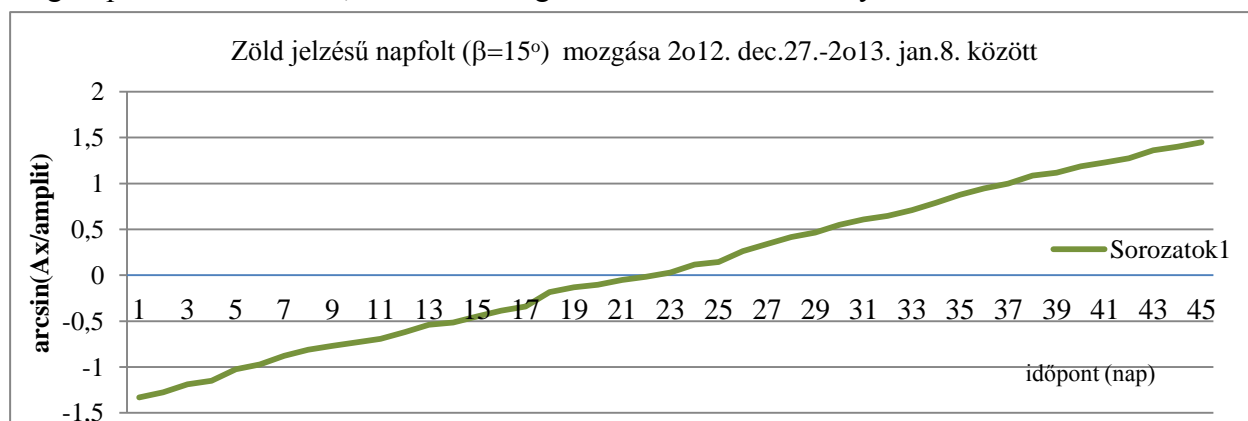
Napfoltok  $\beta=\pm 15^\circ$  fokos szélességen, 2012. december 27. és 2013. január 9. között

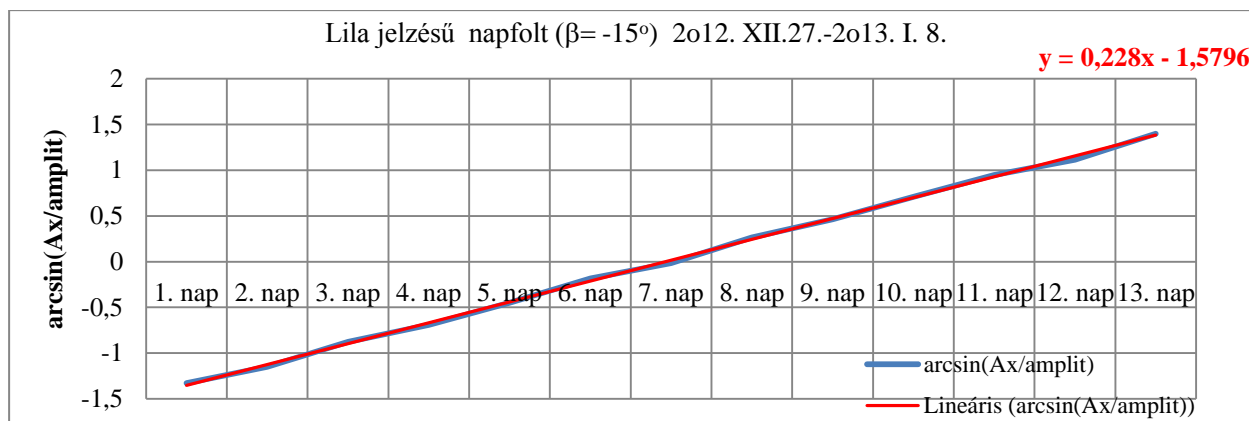


2012. december 31. 04: 00

2013. január 5. 01: 00 óra

Mindkét napfolt esetén a vetület módszerével dolgozzuk fel az adatokat és összehasonlítjuk a forgási periódusok értékét, a hozzávetőlegesen szimmetrikus elhelyezkedésű foltokra.





2.22. ábra Egyenlítőtől távoli napfoltok mozgásának grafikonjai

A nap felszíni szögsebességének szélesség függése:

$$\omega_\beta = 14,368 - 2,69 \cdot \sin^2\beta \quad (\text{Newton H. W. és Nunn M. L egyenlete, 1951})$$

$\omega_\beta$ - a szögsebesség értéke a  $\beta$ -szélességi körön;  $\omega$ ]=fok/nap

$\omega_{15}=14,1878\text{fok/nap}=0,247619\text{rad/nap}$ ; ehhez  $T=25,37433$  nap.

6. Táblázat A ( $-15^\circ$ ) és ( $+15^\circ$ )-os szélességi körön levő napfoltok adatainak összehasonlítása

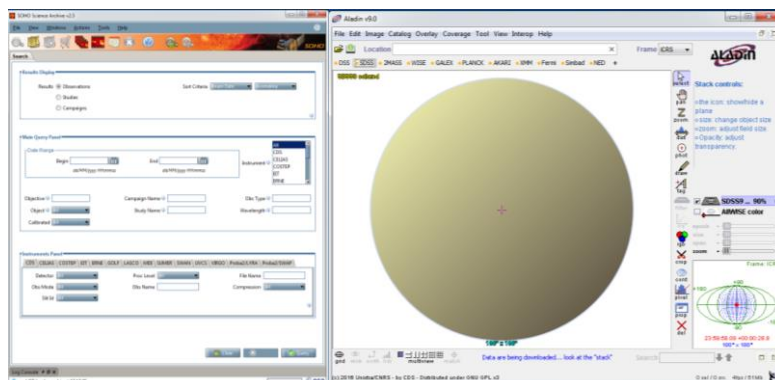
Szélesség ( $\beta$ )	x és y a grafikonról	$\frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{2\pi}{T}$	v (km/s)
$+15^\circ$	$x_1=\text{jan. 2. 04:00 óra és } y_1=0$ $x_2=\text{jan. 4. 10:00 óra és } y_2=0,5$	$T=28,2743338$ nap	1,704002
$-15^\circ$	$x_1=6. \text{ nap és } y_1=-0,1$ $x_2=12. \text{ nap és } y_2=1,25$	$T=27,9252680$ nap	1,753982

**Következtetés:** Az eredmények igazolják, hogy az egyenlítőtől távolabb levő napfoltok lassabban mozognak, mint az egyenlítő mentiek, illetve a szimmetrikusan elhelyezkedő foltok mozgása teljesen hasonló; 28 nap körüli periódus és sebesség pedig 1,7km/s. (4-6. táblázat, 2.19-22. ábrák)

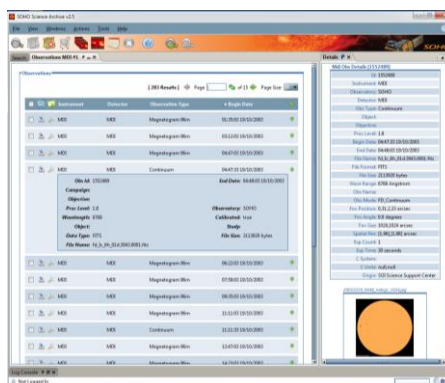
### Adatfeldolgozás az Aladin szoftver segítségével

A napfoltokat tartalmazó képeket a SOHO (Solar Heliospheric Observatory) adatbázisából (SOHO Science Archive - SSA) vesszük, amelyet az ESAC honlapon keresztül érhetünk el. Az Aladin nyílt forráskódú szoftver, amely ingyenesen tölthető le az internetről (<http://aladin.u-strasbg.fr/>). [26, 29, 33, w12, w16] a SOHO az Európai Űrügynökség és a NASA közös napfigyelési programjának űrszondája, amely a nap magjától a napkoronán keresztül a napszél teljes egészében követi a nap dinamikáját. Az SSA keresési paneljén beállítjuk a vizsgálni kívánt idő intervallumot, kiválasztjuk, hogy milyen típusú képet akarunk megnézni, majd elindítjuk a keresést. Például kiválasztjuk a 2003. október 19. - november 3. időintervallumot és az MDI-t (Michelson Doppler Imager- a SOHO űrszonda egyik műszere, amely látható tartományban készít képeket illetve mutatja a mágneses mező felszíni eloszlását a napfoltokban, az úgynevezett magnetogramokon).(2.23-24. ábra)



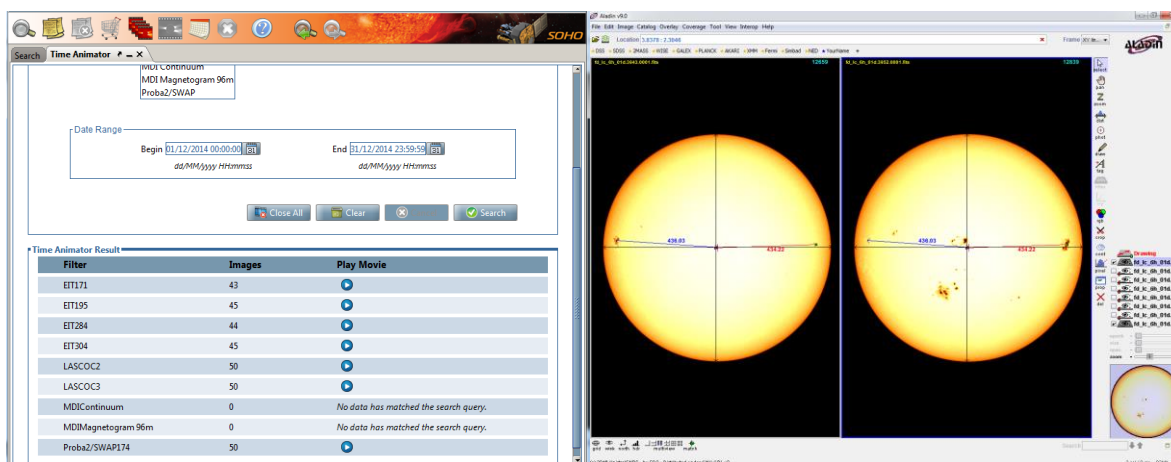


2.23. ábra A SOHO-SSA adatbázis és az Aladin szoftver kezdő lapja.



2.24. ábra A SOHO napfolt adatbázis keresési panelje

Ha kiválasztjuk az összes képet a napfolt megjelenésétől az eltűnéséig, akkor egy animációs képsort is létrehozhatunk a mozgás tanulmányozására, a Time Animator paranccsal (SOHO Science Archive- “Windows” menü és “Time Animator”). (2.28. ábra)



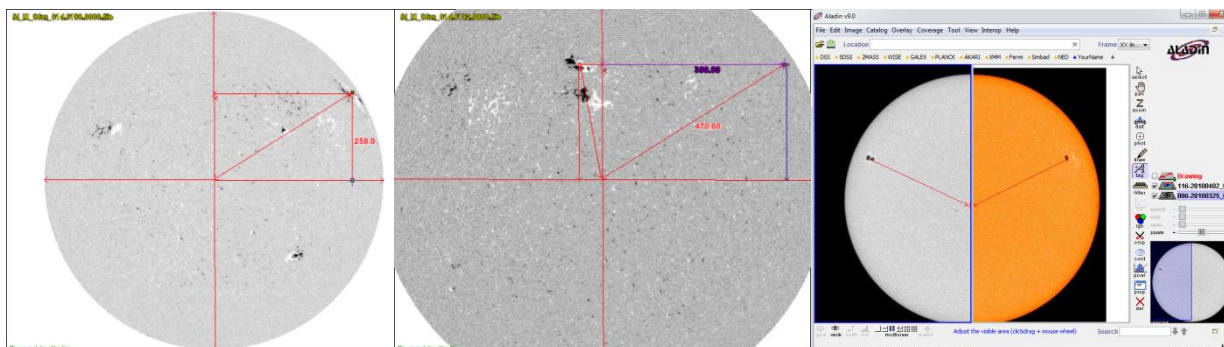
2.28. ábra Animáció készítése a SOHO programmal. A napfolt kiemelt képe a napkorongon (high dynamic pixel range funkcióval) és helyzet meghatározás.

### 7. Táblázat Napfoltok adatai 2014. 04. 28.-05. 08. közötti megfigyelés alapján

dátum	időpont (t)	x	$\Delta x$	R	$\sin\beta=\Delta x/R$	$\beta=\arcsin(x/R)$	$\Delta\beta$	$\omega=\Delta\beta/\Delta t$	$T=2\pi/\omega$
2014. ápr.28.	7:30:00	41	219	224,57	0,9752	1,3476	2,4685	<b>0,247</b>	<b>25,45337 nap</b>
2014. máj.08.	7:30:00	438	178	197,67	0,9005	1,1209			

A  $\beta=12,37^\circ$ -os szélességen a napfolt forgási periódusa: 25,45337 nap, ami megfelel az egyenlítőhöz közeli foltok forgási periódusának.

A kiválasztott képeken a mérés paranccsal meg tudjuk határozni a napfolt helyét a korong középpontjához viszonyítva: x és y koordinátákkal, közvetlen távolság meghatározással vagy megadhatjuk a helyzetét a vízszintessel bezárt szöggel. Ajánlott egyszerre kiválasztani azt a két képet, amelyen a napfolt megjelenik, illetve amelyiken éppen a napkorongon éppen eltűnik. A képekről leolvasott adatok segítségével meghatározható a nap forgási sebessége a foltok mozgása alapján. (2.29. ábra és 8. táblázat)



2.29. ábra A napfolt helyzetének meghatározása az Aladin Sky Atlas-programmal (<http://aladin.u-strasbg.fr/>).

A kapott adatokat az alábbi összefüggésekbe behelyettesítve megkapjuk a forgási periódust.

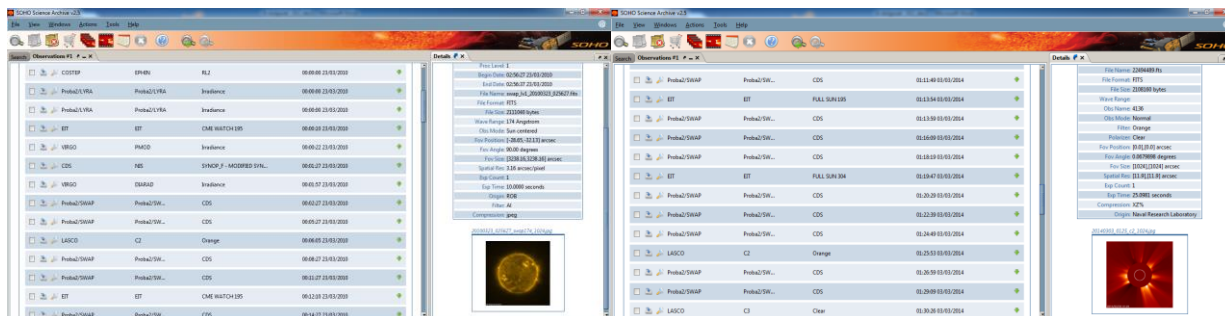
$$\text{szélesség} = \arcsin \left( \frac{(Y - Y_{\text{közép}})}{R_{\text{Nap}}} \right) \qquad \text{hosszúság} = \arcsin \left( \frac{(X - X_{\text{közép}})}{R_{\text{Nap}}} \right)$$

### 8. Táblázat Napfoltok elemzési adatai 2009. 12. 14.-20. közötti megfigyelés alapján

Dátum 2009.	időpont hh:mm:ss	x	y	R	$\sin\alpha=y/R$	$\alpha=\arcsin y/R$	$\Delta\alpha=\Delta\beta$	$\omega=\Delta\alpha/\Delta t$	$T=2\pi/\omega$ (nap)
dec.14.	23:59:01	-49,5	258	250,08	-0,1979	-0,1993	1,21726	0,20288	30,97 nap
dec.20.	23:59:01	400	258	470	0,85106	1,01801			

Az  $38,71^\circ$ -os szélességen megfigyelt napfolt forgási periódusa:  $T=30,97054$ nap.

A SOHO adatbázisban nem csak MDI képeket találunk, hanem minden napfigyelő eszköz adatához hozzáférhetünk, tehát a napfoltokon kívül nyomon követhetők a napkitörések, napfáklyák, flerek is többféle hullámhossztartományban. (2.30. ábra) Ezek segítségével „teljes” naptevékenység elemzést végezhetünk, ugyanakkor kapcsolatot teremtünk a részecske és asztrofizika között, elemezve a Naptól kilövellt részecskék tulajdonságait, mozgását és kölcsönhatásait.



3.30 ábra ESA adatbázis panelje (<https://sohowww.nascom.nasa.gov/data/realtime-images.html>)

## 2.4. A Nap látszólagos átmérőjének meghatározása méréssel

A Nap látszólagos átmérőjének a meghatározása egyszerű és érdekes feladat már VII. osztálytól kezdődően. Főként a IX-es diákok kedvelik a feladatot, mert kapcsolódik a földrajz órán tanultakhoz illetve a geometriai optikához, amit a VIII. osztály végén tanultak. Szükséges eszközök: egy hosszú (1 m körüli) karton vagy műanyag henger, alumínium fólia vagy vékony fémlap, matt papírlap, ceruza, ragasztó/ragasztószalag, szögmérő, vonalzó. A henger egyik végére ráragasztjuk a papírlapot, teljesen kisimítva a másikra pedig a vékony fémlapot, és jól rögzítjük. A fémlap közepére egy vékony tüvel apró nyílást készítünk. Az így elkészített hengert használjuk a nap látszólagos átmérőjének a mérésére úgy, hogy a henger fémlappal ellátott végét a nap felé fordítjuk, a másik végén pedig az adott pillanatban (t) papírlapra megrajzoljuk a nap pillanatnyi képét, a látott árnyék segítségével. Figyelni kell arra, hogy a napba közvetlenül nem szabad nézni, a hengert pedig, ha sikerült beállítani a megfelelő megfigyelési szögbe, akkor többet nem mozgatjuk. A papírlapra 2-3 percenként rárajzoljuk a nap körvonalát a lehető legpontosabban és figyeljük a Nap mozgását, majd az adatokat táblázatba rendezzük. [27, 28, 34, 36] (2.31 és 32. ábra)



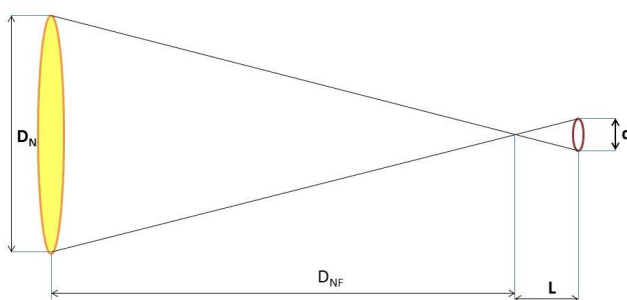
2.31. ábra A Nap látszólagos átmérőjének a mérése



2.32. ábra A megfigyelési henger és a mérési eredmények

Mérési és adatfeldolgozási elv: A fény egyenes vonalú terjedését használjuk a látszó átmérő meghatározásához.

$$\frac{D_N}{d} = \frac{D_{NF}}{L} \Rightarrow D_N = d \cdot \frac{D_{NF}}{L}$$



2.33 ábra A nap látszólagos átmérőjének a meghatározása hasonló háromszögekkel

$D_N$ - a napkorong látszólagos átmérője (ezt keressük; az elvárt eredmény  $R=695700\text{km}$  körüli)

$d$ - a lapra rajzolt folt átmérője

$D_{NF}$ - a nap-föld távolság;  $D_{NF}=149600000\text{km}=1,496 \cdot 10^8\text{km}$

$L$ - a megfigyelési henger hossza;  $L=1-1,2\text{m}$

Az alábbi táblázat a XI.G osztályos diákok mérési adatait tartalmazza, amely igazolja, hogy ezzel az egyszerű módszerrel, jó pontossággal meghatározható a Napkorong látszó átmérője.

9. Táblázat Mérési adatok összegzése a XI-es diákok mérései alapján

időpont	L (m)	d (mm)	$D_N$ (km)· $10^5$	$\Delta D=D_N-2R$ (km)· $10^5$	$D_{\text{átlag}}$ (km) $10^5$
10:06	1	8,6	12,8656	-1,0484	14,0624
10:13	1	9,5	14,212	0,298	
10:20	1	9,6	14,3616	0,4476	
10:23	1	9,2	13,7632	-0,1508	
10:28	1	10	14,96	1,046	
10:37	1	9,5	14,212	0,298	

A hengeres cső nem az egyetlen eszköz, amit használunk a napátmérő meghatározásához. Az ESO 2007-ben tartott Nyári Iskoláján tanultam (számomra) egy új lehetőségről és ott sikeresen is használtam. [33, 34] A következő tanévek során ki is próbáltam kisebb-nagyobb diákokkal órán, nyílt napi rendezvényeken. Egy úgynevezett „tűlyuk” megfigyelési dobozt készítettünk előre



megrajzolt minta alapján (ez trapéz alakú hasábhöz hasonlítható, 2.34. ábra).



2.34. ábra A nap átmérőjének meghatározásához használt „túlyuk doboz”

A kívül fehér, belül fekete színű kartonból hajtogatott majd összeragasztott doboz működési elve ugyanaz, mint a megfigyelési hengeré. A kisebb alapon található kör közepére egy nagyon kicsi lyukat készítünk egy hegyes tűvel, a nagyobb alapot pedig fehér sütőpapírral ragasztjuk le. A kisebb alapot, amelyen a túlyuk található a nap felé fordítjuk, a nagyobb alapon levő papírra rárajzoljuk a látott napkorongot. A megfigyelés legalább 20 percig végezzük, és 3-5 percenként megrajzoljuk a napkorong körvonalát a papírra. A megrajzolt korongok átmérőjét lemérjük, majd a fenti elv alapján kiszámítjuk a nap látszólagos átmérőjét.

### Összegzés:

A napfoltoknak és csillagunk aktivitásának követése az úridőjárás előrejelzése miatt fontos, mert a naptevékenységek (napszél, kibocsájtott részecske fluxus) megzavarhatják a műholdak, űrteleszkópok, Nemzetközi Űrállomás működését valamint befolyásolhatják közvetve a földi tevékenységeket is. A Nap látszólagos átmérőjének meghatározása illetve a sugárzás szinképeinek a tanulmányozása a legegyszerűbb lépések az asztrofizika irányába, amelyek alapján egy olyan képet alakíthatunk ki a diákok számára, amely segít magyarázni a Nap földi hatásait.

A fent bemutatott projektek és módszerek (az elmúlt évek során) nagyon hasznosnak bizonyultak a humán érdeklődésű diákok körében, a tudomány tantárgy tanításában. Segítségükkel sikerült alapos ismereteket szerezniük a Nap fizikájával kapcsolatban, megismertek egy egyszerű módszert a napfoltok követésére, de ugyanakkor olyan területekre is betekintést nyertek, mint az úridőjárás, űrtechnológiák. A reáltagozatos diákoknak pedig egy újszerű megközelítési módot biztosítottam a különböző témák (harmonikus rezgések tanulmányozása, mágnesség vagy mechanikai mozgások) során szerzett ismereteik alkalmazására, a számítástechnikai jártasságuk bővítésére. Ezek a módszerek jellegüknél fogva biztosítják a tantárgyak (földrajz, matematika, számítástechnikai alkalmazások, stb.) közötti átjárhatóságot, a természeti jelenségek komplex megismerését.



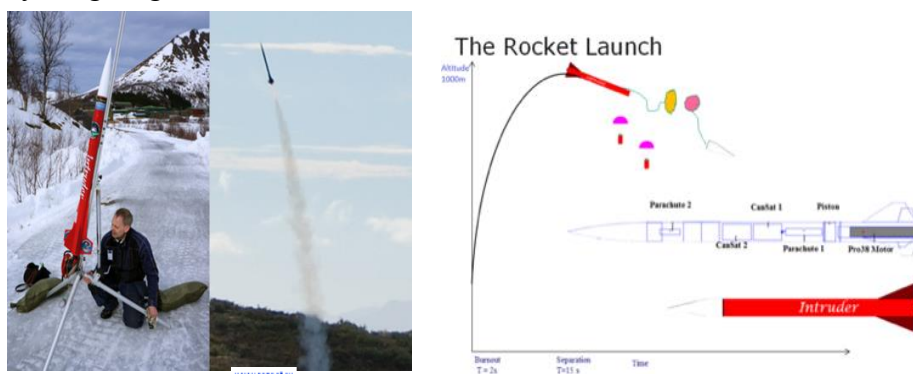
### 3. Műholdépítés. Léggörfizikai mérések. CanSat versenyek

„Az Idő s Tér bilincsei nem kötik meg a lelkeket.”

(Bolyai Farkas)

Űrkutatás, rakéták, műholdak, világmindenség... Olyan fogalmak ezek, amelyek mindenki kíváncsiságát felkeltik, de amelyek nagyon bonyolultnak, elérhetetlennek tűnnek. Ez csupán a látszat, mert már a X-XI-es diák ismeretei, kíváncsisága, fantáziája és érdeklődő hozzáállása elég ahhoz, hogy mindezt tanóra közelbe hozzuk. A léggörfizikai jelenségek megismerésére a romániai középiskolai tananyag szerint csak a termodinamika kínál lehetőséget vagy részben a földrajz órák, az általános fizikai földrajz leckék során. Ezt viszont hasznosan ki lehet egészíteni a mini-szatellitbe épített szenzoros egységgel végzett méréssel és adatfeldolgozással. [9, 10, 11, 12, 15]

A „műhold” építésének ötlete az ESA egyik, 2011-ben meghirdetett versenyének a felhívással kezdődött. A „CanSat in Europe” nemzetközi űrkutatási versenyt 2010. óta rendez meg az Európai Űrügynökség (ESA - European Space Agency) középiskolás diákok számára. A feladat egy olyan mini-műhold jellegű mérőegység -**Cansoda Satellite**- megépítése, amely a valódi műholdakhoz hasonló szerkezetű és működésű; képes egy meghatározott tudományos feladatsor végrehajtására; méri a légköri jellemzőket (nyomás, hőmérséklet, páratartalom, légköri szennyeződés) 1km magasságban illetve földet érés közben a Föld felszínéig és rádiókommunikációs csatornán keresztül folyamatosan adatokat küld egy földi egységnek. A versenykiírás alapfeltétele az, hogy az egész műszaki berendezés férjen bele egy üdítő dobozba (330ml-es alumínium henger, amely 115mm magas, 66mm átmérőjű, tömege pedig 300g- max. 350g), bírjon ki minimum 30atm nyomást, 20G gyorsulást, legyen állandó rádiókapcsolatban egy földi vevőegységgel, működjön legkevesebb 4 órán át, és a teljes költsége ne haladja meg az 500€-t. Az így megépített egységet egy „Intruder” típusú rakéta emeli 1km magasra, ott kilövi és majd ejtőernyő segítségével érkezik vissza a földre.[37]



3.1. ábra. Indul a CanSat-ünk. Az „Intruder” rakéta fellövése, Andoya Rocket Range, Norvégia, 2012. (forrás: [www.esa.int/Education](http://www.esa.int/Education))

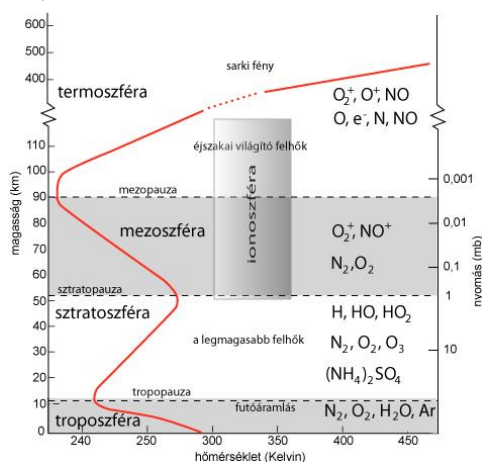
A verseny attól jelentős, hogy egy igazi, több hónapon át tartó (október-június) tudományos kutatómunka, amelynek során nem csak fizikával kapcsolatos új ismereteket szerezhetnek a diákok, hanem lehetővé teszi, hogy megismerkedjenek az űrkutatás

alapfogalmaival, a műszaki tervezés és kivitelezés folyamatával, megtanulják a projekt menedzsment minden csínját-bínját és a tudományos kutatás módszertanát.

### 3.1. Egy kis légkörfizikai alapozás

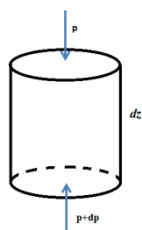
A verseny által adott volt a feladat: arra kellett válaszolnunk hogyan lehet megépíteni egy olyan mérőműszert, amely megbízhatóan képes végrehajtani a légköri jellemzők mérését és egy önállóan választott tudományos feladatot, illetve miként lehet összekapcsolni az elméleti ismereteket és a technikai ötleteket a szervezők által szabott feltételekkel. Kezdetben már az is komoly gondot jelentett, hogy a tanulók semmilyen, esetenként alapfokú általános ismeretekkel rendelkeztek a témakörben. Tulajdonképpen egy olyan versenybe vágtunk bele, amely teljesen új területre vezetett mindannyiunkat, de éppen ettől vált izgalmassá, komoly kihívássá. Ezért, órán és diákköri foglalkozásokon, lépésről-lépésre haladva a diákokkal meg kellett tanulnunk a légkört leíró fizikai jellemzőket, a légkörben lejátszódó folyamatok törvényszerűségeit, azok leírási módozatait. Ezután meg kellett ismerkedniük az elektromosság és elektronika alapfogalmaival, áramkörök tervezési illetve építési technikáival, mérési eljárásokkal és a szenzorokkal. Ezeket úgy próbáltam bevezetni, hogy a tanulóim tudják könnyen hozzá kapcsolni már ismert fogalmakhoz illetve azonnal tudjuk megépíteni az arra alkalmas eszközt vagy kipróbálni, mint mérési eljárás.

A romániai tanrend szerint, a légkör tanulmányozása a IX-es földrajz tananyag része. Földrajz órán a diákok megismerkednek a légkör szerkezetével, összetevőivel illetve az alapvető légköri jelenségekkel (csapadékképződés, szél, felhőképződés, stb.). Azonban, nem esik sok szó a nyomás és a hőmérséklet magasság függéséről, ennek okairól, illetve a légkör hőmérséklet szerinti rétegződéséről (3.2. ábra), tehát innen kellett kezdeni a fizikai alapozást.



3.2. ábra. A légkör hőmérséklet szerinti rétegződése (troposzféra, sztratoszféra, mezoszféra, termoszféra, nyomásgradiens és a légköri összetevők (forrás: <http://tamop412a.ttk.pte.hu/>)

Az atmoszférában függőleges nyomásgradiens alakul ki, amely függ a levegőrétegek sűrűség szerinti eloszlásától. Ha a termodinamikában tanult tökéletes gáztörvényt (2) alkalmazzuk levegőre a hidrosztatikus nyomás (1) összefüggésével, akkor megkapjuk, hogy a légköri nyomás miként változik a magasság függvényében. Ezt a barometrikus (3) egyenlettel írjuk le:



$$dp = -\rho g \cdot dz \quad (1)$$

$$p\mu = \rho RT \quad (2)$$

$$p = p_o \cdot e^{-z \frac{g\mu}{RT}} \quad (3)$$

Ahol:  $p$ - a  $z$  magasságban mért légköri nyomás

$p_o$  – a normál nyomás tengerszinten mérve;  $p_o=101325\text{Pa}=101,325\text{kPa}$ ;

$g$ - gravitációs gyorsulás;  $g=9,81\text{m/s}^2$ ;

$T$ - a hőmérséklet  $z$ - magasságban;

$\mu$ - a levegő móltömege;  $\mu=28,9645\text{g/mol}$ ;

$R=8314,32\text{J/K}\cdot\text{kmol}$  egyetemes gázállandó;

A légköri hőmérséklet változását a magasság függvényében, a függőleges hőmérsékletgradiens írja le, vagyis a  $dT/dz$  egységnyi magasságra jutó hőmérsékletváltozás. A mérsékelt övben végzett, több éves magas légköri meteorológiai mérések alapján azt állapították meg a szakemberek, hogy a troposzférában az átlagos hőmérsékleti gradiens értéke:  $-0,65^\circ\text{C}/100\text{m}$ , amit az alábbi megközelítő összefüggéssel írhatunk le:

$$\text{grad } T \sim \text{grad } T_z = dT/dz \sim \Delta T/\Delta z \quad (4)$$

3.1. Táblázat A légköri nyomás, hőmérséklet és a sűrűség értéke különböző magasságban.

Magasság (km)	Hőmérséklet ( $^\circ\text{C}$ )	Nyomás (hPa)	Hőmérsékletgradiens ( $^\circ\text{C}/\text{km}$ )	sűrűség $\rho$ ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )
0 km	+15,0	1013,25	-6,5	1,225
0,5 km	+11,75	942,985	-6,5	1,153
11 km	-56,5	226,32	0,00	0,3639
20 km	-56,5	54,749	+1,0	0,0880
32 km	-44,5	8,6802	+2.8	0,0105

*Forrás: ICAO Standard Atmosphere*

Ahhoz, hogy a méréseinkhez megfelelő szenzorokat tudjunk választani, olyan összefüggéseket is kellett keresnünk, amelyek megközelítőleg pontosan írják le a légköri változásokat, és könnyen kapcsolhatók mérhető elektromos mennyiségekhez.

A nyomás egyenleteit (1,2) felhasználva, behelyettesítve a hőmérsékletváltozás magasságfüggését, a troposféra esetén a mérésekhez nagyon jól használható (megközelítő) összefüggéseket kapunk:

$$L = \frac{\Delta T}{\Delta z} = 0,0065 \frac{\text{K}}{\text{m}} \quad (5)$$

$$p = p_o \left(\frac{T}{T_o}\right)^{\frac{g}{L \cdot R^*}} \text{ vagy } p = p_o \left(1 - \frac{0,0065}{288,15} z\right)^{(5,252)} \quad (6)$$

$$t(^{\circ}\text{C}) = 15 - 0,00649z \quad (7)$$

$$\frac{g}{L \cdot R^*} = 5,2522 \quad (8)$$

Ahol:  $R^*=287,058 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$  gázállandó száraz levegő esetén;  $g=9,81\text{m/s}^2$ ;

$T_o=288,15\text{K}$  standard hőmérséklet a tengerszinten;

Ha a méréshez jól kalibráljuk a nyomás szenzorokat, akkor azok segítségével meghatározhatjuk az esési magasságot:

$$h = \frac{T_1}{(-0,0065)} \left[ \left( \frac{p}{p_1} \right)^{\frac{R(-0,0065)}{g}} - 1 \right] + h_1 \quad (9)$$

Ahol:  $h$ - a  $p$ -nyomásnak megfelelő magasság;

$h_1$ - a kezdeti,  $T_1$ - hőmérsékleten mért magasság;

$p$ - a  $T$  hőmérsékleten mért nyomás;

$p_1$ - a kezdeti nyomás, amelyet a  $T_1$ - hőmérsékleten mérünk;

$R=8314,32\text{J/K}\cdot\text{kmol}$  egyetemes gázállandó;

A légkör alapvető összetevőinek (78 % nitrogén, 21% oxigén, 0,9% argon) aránya állandó a levegőben, de a vízgőz,  $\text{CO}_2$ , ózon,  $\text{SO}_2$ , nitrogén-oxidok, por és más elemek részaránya (0,1 %) változik az időjárási körülményeknek, a földrajzi helynek és az évszaknak megfelelően. Mivel a páratartalom (jele:  $H$ ) lényegesen befolyásolja az időjárás (felhő-, dér, zúzmaraképződés) alakulását és az élővilág fejlődését, méréseink során erre is figyeltünk. Az álabbi táblázat azt mutatja, hogy adott hőmérsékleten a levegő mennyi vízgőzt tud raktározni. (3.2. táblázat)

3.2. Táblázat A levegő abszolút (telítési) páratartalma különböző hőmérsékleteken

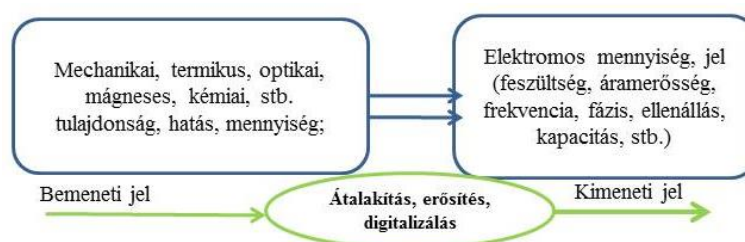
A levegő hőmérséklete $t$ -( $^{\circ}\text{C}$ )	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30	35	40
Adott hőmérsékleten a maximális vízgőz $H$ -( $\text{g}/\text{m}^3$ )	0,4	0,7	1,1	1,6	2,4	3,4	4,8	6,8	9,4	12,8	17,3	23,1	30,4	39,6	51,2

Forrás: <http://termtud.akg.hu/okt/7/idojaras/3vizlegkorben.htm>

Méréskor a *relatív nedvességet* (RH) tudjuk meghatározni, vagyis a levegőben található vízgőz mennyiség és az adott hőmérsékleten maximálisan lehetséges vízgőz arányát. Ezt %-ban adjuk meg.

### 3.2. Mérési eljárások, szenzorok

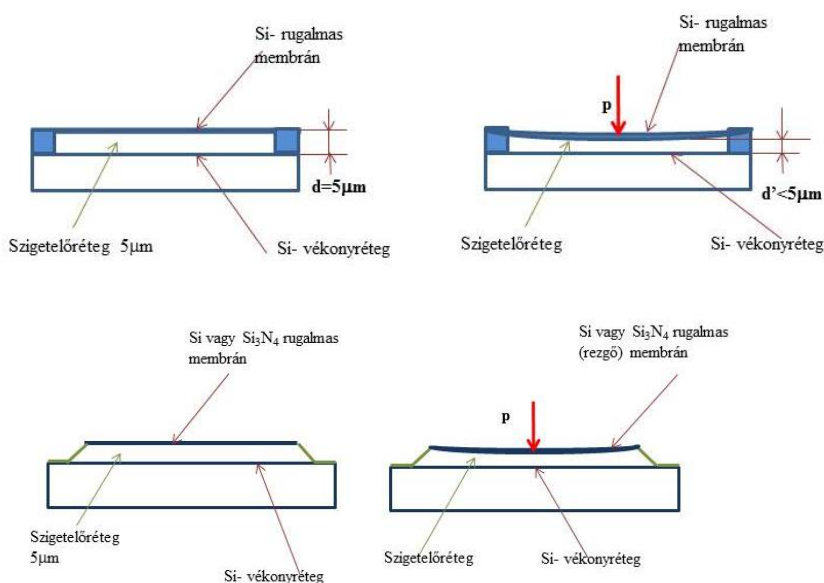
A következő szakaszban azt kellett megtanulnunk, hogy milyen mérési elv alapján lehet ezeket a mennyiségeket elektronikus érzékelőkkel mérni, illetve hogyan tudjuk feldolgozni a kapott adatokat. Arra kerestük a választ, hogy milyen megfeleltetés létezik az áram, feszültség vagy ellenállás változása illetve a nyomás, hőmérséklet, páratartalom között. A méréshez szenzorokra van szükségünk, vagyis olyan elektronikus áramköri elemekre, amelyek valamilyen mechanikai, termikus vagy optikai hatást elektromos jellé alakítanak. (3.3. ábra)



3.3. ábra A szenzorok elvi felépítése

A levegő első megközelítésben ideális gáznak tekinthető, az állapotparamétereit ( $p$ ,  $T$ ,  $v$ ,  $H$ ) úgy mérhetjük, hogy összekapcsoljuk ezeket valamilyen mechanikai vagy termikus mennyiség változásával, ami elektromos mennyiség változásaként érzékelhető.

A nyomás mérése, - a  $p = \frac{F}{A}$  meghatározás szerint-, azon alapszik, hogy egy vékony hártya vagy fémlap (rugalmas) alakváltozást szenved külső erő hatására. Az szerint, hogy az alakváltozást milyen elektromos mennyiség változásához kapcsoljuk, a nyomásmérő lehet kapacitív, induktív vagy ellenállás jellegű. (3.4. ábra)



3.4. ábra Kapacitív szenzor elvi vázlata

Mikroszenzorok esetén az egyik leggyakrabban használt elv a kapacitás változása a lemezek közötti távolság csökkenése/növekedése miatt. A síkkondenzátor kapacitása a fegyverzetek közötti dielektrikum tulajdonságaitól ( $\epsilon_r$ ), a fegyverzetek területétől ( $A$ ) és az azok közötti távolságtól ( $d$ ) függ.

$$C_o = \epsilon_r \cdot \frac{\epsilon_o A}{d} \quad (10)$$

Az érzékelő membrán vagy a rugalmas lemez síkkondenzátort alkot a mérőegység belsejében kialakított vékonyréteg fém fegyverzettel együtt, amelyek egy szigetelő réteggel (dielektrikum) vannak elválasztva egymástól. A kezdeti kapacitását a viszonyítási -referencia- nyomáson határozzuk meg. Ha külső erő ( $p$ -nyomás) hatására elmozdul az érzékelő lemez, akkor csökken a kondenzátor lemezei közötti távolság ( $d$ ) és növekszik a kapacitása. A kapacitásváltozás arányos a nyomással.

$$\frac{\Delta C}{C_o} \approx -\epsilon_o \epsilon_r \frac{A}{d^2} \Delta d \quad \text{és} \quad \frac{\Delta C}{C_o} = -\frac{\Delta d}{d} \cdot \Delta p \quad (11)$$

Ahol:  $C_o$ - a kapacitás kezdeti (viszonyítási) értéke;

$C$  - a kapacitás értéke a  $p$  nyomáson;

$d$ - a kondenzátor lemezei közötti távolság; Ez mikrométer nagyságrendű.

$\Delta d$ - a rugalmas membrán finom elmozdulása a külső erő (nyomás) hatására;  $\Delta d \ll d$

$\epsilon_o$ - a légyeres tér elektromos permittivitása;  $\epsilon_o = 8,854 \cdot 10^{-12} \frac{F}{m}$



$\epsilon_r$ - a kondenzátor lemezei között levő anyag légüres térre vonatkoztatott relatív elektromos permittivitása.

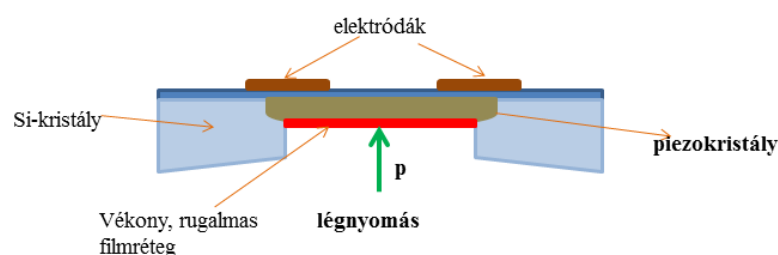
Más mérési lehetőség lehet a nyomásváltozás és a frekvenciaváltozás közötti kapcsolat felhasználása. Ebben az esetben is a mérőeszköz meghatározó eleme egy nagyon rugalmas, vékony membrán (lemez), amelynek ismerjük a sajátfrekvenciáját ( $\nu_0$ ). A mérési elv az, hogy a külső erő hatására a membrán rezgése megváltozik, a rezgési frekvencia ( $\nu$ ) pedig függ a nyomás különbségtől (alakváltoztató erőtől).

$$\nu = \nu_0 \sqrt{1 + K \left(\frac{\Delta x}{x}\right)^2} \quad (12)$$

Ahol:  $K$ - a membrán geometriájától függő állandó (négyzetes lemez esetén  $K=1,464$ )

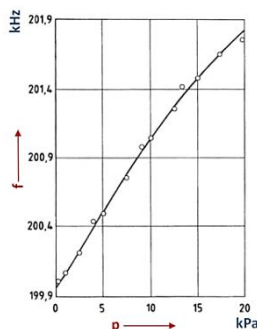
$x$ - a membrán (film) vastagsága

$\Delta x$ - a membrán elmozdulása a  $\Delta p$ - nyomáskülönbség hatására;



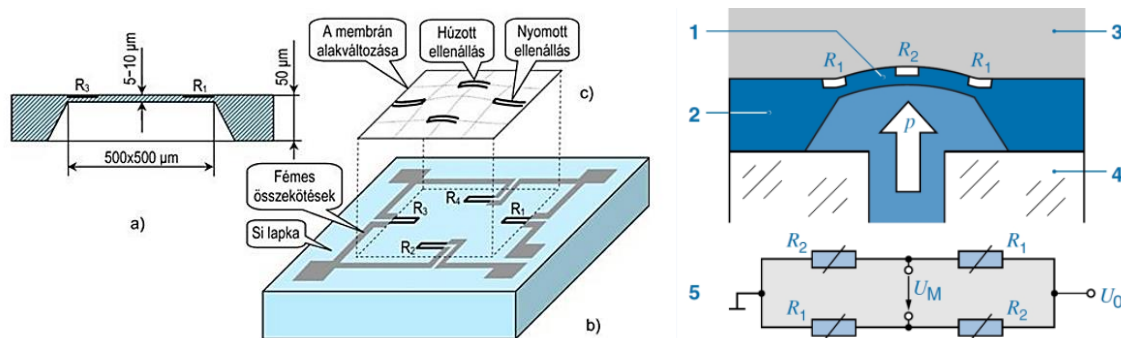
3.5. ábra Piezokristályos nyomásérzékelő elvi vázlata

Ilyen membrán (lemez) készülhet piezokristályból. (3.5. ábra) A piezokristályok olyan anyagok, amelyeknek alaptulajdonsága, hogy külső feszültség hatására megváltoztatják a geometriai méreteiket (rugalmassági határon belül), és fordítva: egy külső erő hatására elektromos töltés (illetve feszültség) keletkezik bennük. Ez a feszültség mérhető és jellemzően a mV-os tartományba esik. Ilyen piezokristályos anyag például a kvarc ( $\text{SiO}_2$ ) és a ZnO, amelyet jellemez a saját rezgési frekvenciája ( $\nu_0$ ) (3.6. ábra)



3.6. ábra. A nyomás - frekvencia diagram ZnO-piezokristály esetén (forrás: Mescheder: Mikrosystemtechnik).

A nyomás vagy a nyomás változása meghatározható piezorezisztív szenzorokkal is. A szenzor lényegi eleme egy vékony szilíciumból készült hártya, amelyre híd-kapcsolásban ellenállásokat alakítanak ki. A membrán megnyúlása (deformációja) az alakváltoztató ellenálláshíd segítségével elektromos jellé (feszültségkülönbség -  $\Delta U$ ) alakítható, ez pedig arányos a lemez két lapja közötti nyomáskülönbséggel ( $\Delta p$ ). (3.7. ábra)



3.7. ábra Szilícium-egykristály lapkán kialakított nyomásérzékelő cella. A lapka keresztmetszete a jellemző méretekkel (forrás: <http://www.tankonyvtar.hu> és [http://www.ob121.com/hard\\_sensor.html](http://www.ob121.com/hard_sensor.html))

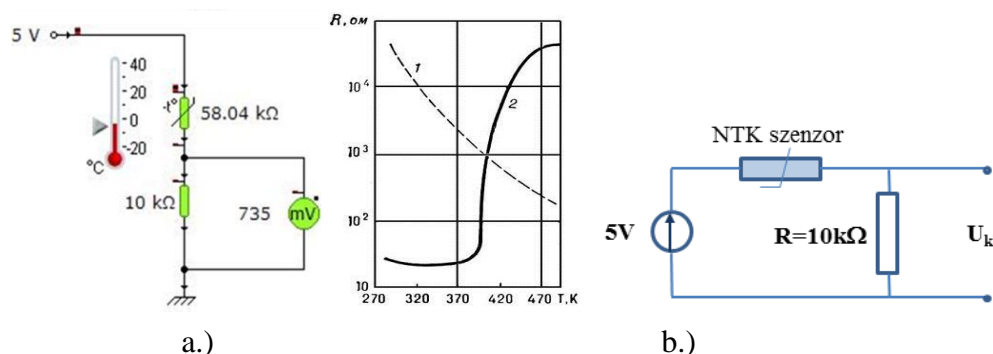
A hőmérsékletmérés elve a fajlagos ellenállás ( $\rho$ ) hőmérsékletfüggésére épül, vagyis a fajlagos ellenállás változása a hőmérséklet hatására feszültségingadozást jelent, ezt rögzítjük. A félvezetők fajlagos ellenállásának hőmérsékletfüggése (14) sokkal érzékenyebb, mint a fémeké (13), ezt hasznosítják a negatív illetve pozitív karakterisztikájú termisztorok. (3.8. ábra)

$$\rho = \rho_0 [1 + \alpha_1 \cdot T + \alpha_2 \cdot T^2 + \dots] \approx \rho_0 (1 + \alpha \cdot \Delta T) \quad R = \rho \frac{l}{S} \quad (13)$$

$$\rho(T) = \frac{1}{\sigma(T)} = A \cdot e^{\frac{\Delta E}{2kT}} \quad (14)$$

Ahol:

- $\rho$ - az anyagra jellemző fajlagos ellenállás a T- hőmérsékleten;
- $\rho_0$ - az anyagra jellemző fajlagos ellenállás  $T_0=0K$  hőmérsékleten;
- A- a hőmérséklettől független anyagállandó;
- $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{J}{K}$  Boltzmann- állandó;
- $\Delta E$ - az az energia, amely a töltéshordozók egyik energiaszintről a másikra való átmenetéhez szükséges;



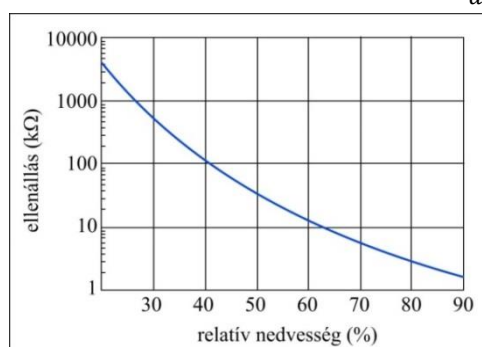
3.8. ábra. A hőmérsékletmérés elve: Fémek (a) és termisztorok (b) ellenállásának hőmérsékletfüggése: 1) NTK- csökken az ellenállás a hőmérséklet növekedésével 2) PTK-az ellenállás növekszik a hőmérséklet növekedésével.

(forrás: <https://hu.wikipedia.org/wiki>)

A légköri páratartalom is meghatározható szenzorokkal, ha keresünk egy olyan anyagot, amelynek az elektromos jellemzői (vezetőképesség, ellenállás, kapacitás) változnak a légköri nedvesség hatására. Áramkörbe illesztve az ilyen elemet, mérjük a feszültség vagy áramerősség változásokat, egy viszonyítási értékhez képest. Kondenzátor esetén a kapacitás függ a lemezek

közötti dielektrikumtól. A lemezek közötti dielektrikum érzékeny a légköri nyomásra és páratartalomra, ez meghatározza a kondenzátor C-kapacitását.

$$\Delta C = (\varepsilon_{RH} - \varepsilon_r) \cdot \frac{\varepsilon_0 A}{d} \quad (15)$$



3.9. ábra. A páratartalom és ellenállás közötti kapcsolatot: Ha növekszik a páratartalom, akkor csökken az ellenállás.

(EFs10 szenzor LiCl bevonattal; forrás: <http://www.tankonyvtar.hu>)

A kapacitív szenzorokkal tulajdonképpen összekapcsolhatjuk egyetlen eszközben a nyomás és a légköri páratartalom mérését. Rezisztív szenzorok esetén a páratartalom függvényében változik az ellenállás. (3.9. ábra)

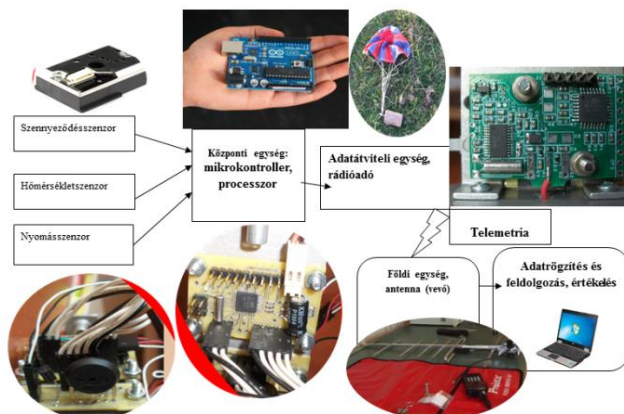
### 3.3. CanSat versenyek. Mini-műhold építése

2012-2016 során háromszor vettünk részt a CanSat verseny országos vagy nemzetközi döntőjén és minden alkalommal egyre bonyolultabb mérőeszközt építettünk az elsődleges (légköri paraméterek meghatározása) és a választott, másodlagos feladat elvégzésére. [37, 38]

Az első megépítettünk egységünk nagyon egyszerű volt (kezdő szint): mérte a nyomást (magasságot), hőmérsékletet és a szilárd/por szennyeződés eloszlását a légkörben, amely alapján kapcsolatot kerestünk a szennyeződés légköri eloszlása és emberek egészségi állapotának esetleges romlása (alakulása) között. Azért választottuk ezt másodlagos feladatként, mert a diákjaim éppen akkor tanultak ezekről a kérdésekről biológia órán, és válaszokat kerestek a témával kapcsolatban. A légkör legveszélyesebb szennyezőanyagai a PM10 és PM 2,5-ös jelzésű, úgynevezett szállóporok (átmérőjük 10µm és 2,5 µm alatti). A PM10 lehet: kadmium-, réz-, nikkel-, cink-, molibdén-, ólomion, azbeszt. A PM2,5 szennyeződés kevésbé ismert, de méreténél fogva nagyon veszélyes, mert könnyen bejut a tüdőbe és a hozzátapadó járulékos részecskékkel sokféle betegséget okozhat.

Ehhez az egységhez a legegyszerűbb MPX4115A nyomás, az LM335 hőmérséklet és a Sharp GP2Y1010AU0F típusú szennyeződés szenzorokat használtuk a mérési feladatokhoz. A légköri szilárd szennyeződés mérésére optikai érzékelőt használtunk. Ebben egy fototranzisztor és egy infravörös impulzust kibocsájtó dióda van átlósan elrendezve, így a szenzor képes érzékelni a közötte átáramló szennyező részecskékről visszaverődött fényt (a fotometrikus analízist egy megfelelően elhelyezett lencserendszer segíti), a tranzisztorban keletkező áramimpulzust felerősítjük, és a kimenő analóg feszültség pedig egyenesen arányosan változik a mért por koncentrációjával (érzékenysége 0.5V/0.1mg/m<sup>3</sup>). A szenzor képes nagyon finom részecskék érzékelésére is (PM2,5; d<2,5µm), valamint a szivarfüst és a házi por megkülönböztetésére a

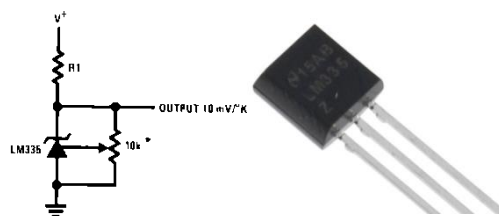
kimenő feszültség pulzálási mintája alapján. Ez lehetővé teszi, hogy laboratóriumi körülmények között is, tanórán is használjuk mérési feladatokhoz.



3.10. ábra A mérőegység (CanSat2012) elvi vázlata és szerkezeti elemei

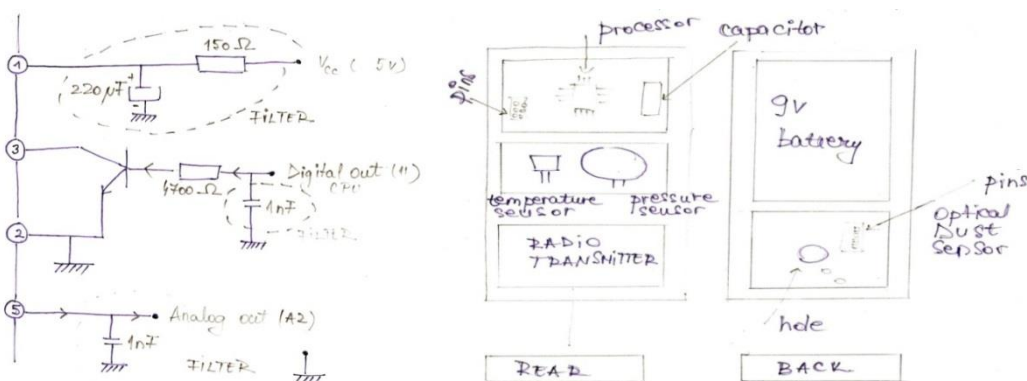


3.11. ábra MPX4115A- szilícium vékonyréteg piezorezisztív nyomásmérő és altiméter (forrás: TME)



3.12. ábra LM335- integrált hőmérsékletszenzor 10mV/K; (forrás: Texas Instruments)

Az áramkört a szenzorok, a mikrokontroller és a rádióadó műszaki adatlapja valamint a működési feltételek alapján készítettük. Az áramkörtörvények (Ohm, Kirchhoff, Joule, stb.) figyelembevételével ahol szükséges volt feszültségosztó ellenállásokat, szűrő kondenzátorokat iktattunk be és hűtőbordát szereltünk fel. (3.10-3.13. ábra)



3.13. ábra. Így készültek az áramkörtérvek és az egység megépítési vázlata (Popescu A.)

Az egész egységet egy 9V-os alkáli elem táplálta, amelynek a teljesítménye megfelelt az áramkör teljes fogyasztásának, és megbízhatóan működött a megszabott 3 órás mérési idő alatt. Az egység működését egy Arduino alapú **Atmega628 20UA** mikrokontroller vezérelte, amely a szenzorok mérési analóg jelét digitálissá alakította, illetve irányította az adatgyűjtési és továbbítási folyamatot. [42, 43, 44]



3.14. ábra Készül a CanSat burkolata. A doboz alá furatokat készítünk, hogy a levegő átáramolhasson rajta, és megfelelő hűtést biztosítson az egységnek.

Az ejtőernyő megtervezése sok nehézséget okozott, mert a legtöbb bizonytalansági tényező hozzá kapcsolódott. Repülés közben milyen erős lesz a szél? Milyen irányú? Mikor fog kinyílni az ernyő? Nyíláskor mennyire változtatja meg az egység mozgását, és ez által a mérés folyamatát? Felhasználva a diákok IX-es mechanikai ismereteit, és kiegészítve azt az áramló fluidumok törvényeivel több ejtőernyőt terveztünk és készítettünk. Az elméleti számítások alapján megvarrt ernyőket próbalandóval teszteltük, illetve több kiszámított modellt előbb az OpenModellica program szimulációival ellenőriztünk. Fontos feltétel volt a tervezéskor, hogy bármilyenek a légköri körülmények az esési sebesség (7-11)m/s közötti legyen, azért hogy kis sebesség esetén a szél ne sodorja el az egységet. Tervezéskor figyelembe vettük, hogy az esés során a rendszerre hat a nehézségi (G) és a légellenállási erő (F), amely függ a test homloklfelületétől (A), a levegő sűrűségétől ( $\rho$ ), az ernyő alaki tényezőjétől ( $C_d$ ) és a sebességtől (v). Kezdetben a nehézségi erő nagyobb, mint a légellenállási erő, tehát a rendszer gyorsul, de az esés során folyamatosan növekszik a légellenállási erő. Az egyensúlyi ereszkedés ( $v$ =állandó, (18)) hamar beáll, amikor a nehézségi erő és a légellenállás kiegyenlítik egymást.

$$G = F \quad (16)$$

$$m \cdot g = \frac{1}{2} \rho A C_d v^2 \quad (17)$$

$$v = \sqrt{\frac{2mg}{\rho A C_d}} \quad (18)$$

Az ernyő átmérőjét (d) a fenti összefüggésből (17) határoztuk meg, különböző esési sebességek és alaki tényezők esetén.

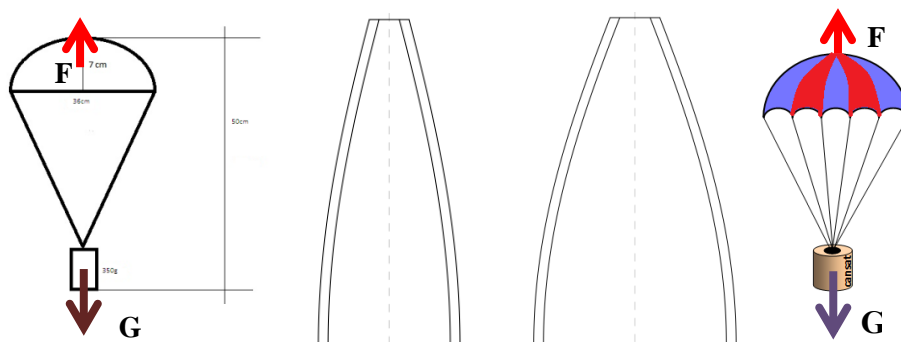
$$d = \frac{\sqrt{8mg}}{\sqrt{\pi \rho C_d v^2}} \quad (17)$$

Ahol:

- **m** –az egység tömege (max. 350g), g-gravitációs gyorsulás ( $g=9,81\text{m/s}^2$ ),
- **$\rho$** - a levegő sűrűsége ( $\rho=1,225 \text{ kg/m}^3$ ).
- **v**-az esés során elért legnagyobb sebesség; a tervezett érték  **$v=8,5\text{m/s}$** .
- **$C_d$** -alaki légellenállási tényező; gömbsüveg esetén  **$C_d=1,42$** .
- **A**- az ernyő homloklfelületének keresztmetszete; kör esetén:  $A = \pi \frac{d^2}{4}$
- **A** sugár és a kupola magasságának aránya: 0,707



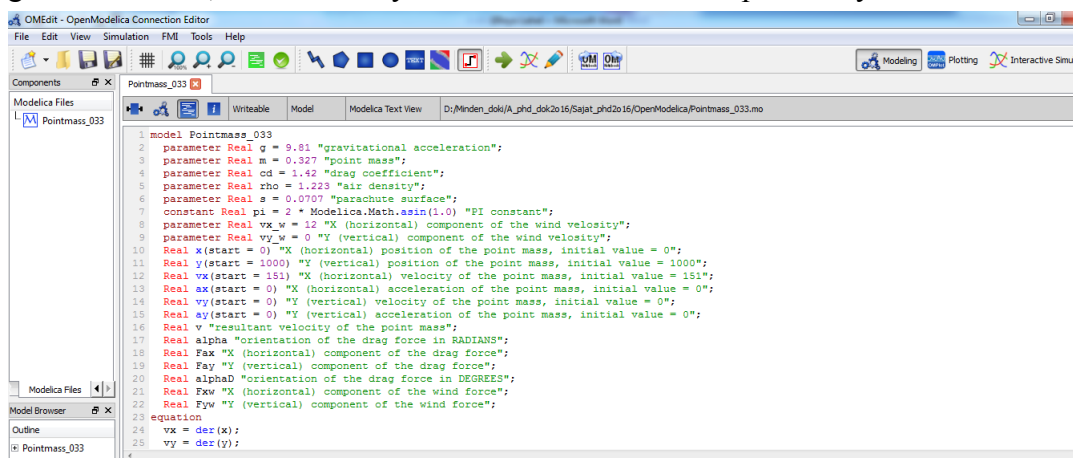
Ezek alapján az ernyő átmérője 26,364cm. Az ernyő kupoláját viszont úgy kellett megtervezni, hogy az ereszkedés stabil legyen és szél esetén is lengésmentesen tartsa az egységet. Az nyilvánvaló, hogy a nagyobb átmérőjű ernyő kisebb esési sebességet biztosít, de stabilabb.



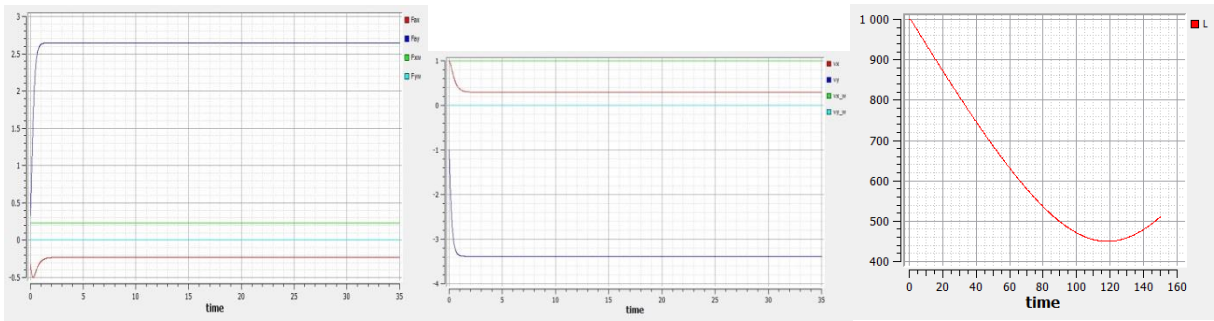
3.15. ábra Félgömbszerű, 12 és 8 elemes ejtőernyő szelvényei.

Mindezek figyelembevételével az alapmodell átmérőjét 27cm-nek választottuk és 12 egyforma (3.15. ábra) szelvényből állítottuk össze. Ez mellett készítettünk egy kisebb 24cm átmérőjű és egy nagyobb 30cm átmérőjű ernyőt is. Minden terv esetén előbb selyempapírból elkészítettünk egy próba változatot, azt teszteltük és az eredmények alapján egy erősített, műszálas selyem anyagból varrtuk meg az ernyőt. Az ernyő zsinórjait úgy méreteztük, hogy 1,5-ször hosszabbak legyenek, mint az ernyő átmérője. A zsinórokat terheléses tesztnek vetettük alá, 120kg-os terhet függesztve rájuk.

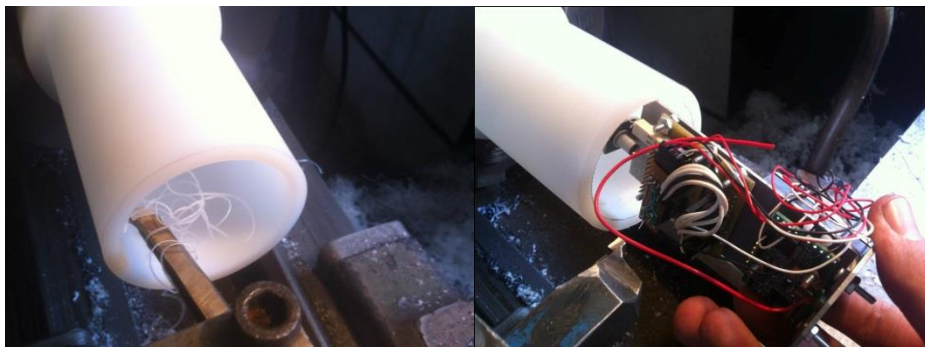
Az alábbi szimulációs ábrák (3.17-3.19) Openmodelica programmal készültek, és azt mutatják, hogy mennyi idő múlva lesz egyensúlyi (egyenletes) az egység esése különböző kezdőfeltétek esetén. A programot úgy írtuk meg, hogy a paraméterek változtathatók legyenek (kezdősebesség, az alak tényező, tömeg, stb.) és több környezeti feltétel esetén nyújtson információt az esési folyamatról (3.18. ábra). A kezdősebesség vektora két összetevőből állhat:  $v_x$ -a rakéta sebessége az egység kilövésének pillanatában, és a függőleges menti komponens, amely kezdetben  $v_y=0$ . Az „Intruder” rakéta sebessége 1km magasságban (500-550)km/h közötti, a tervezett landolási idő pedig 120-200s volt, ehhez viszonyítva méreteztünk többféle próbaernyőt.



3.16. ábra Részlet a tesztelési OpenModelica 1.8 programból



A kiválasztott szenzorokat rácineztük az áramköri lapra, összekapcsoltuk a rendszer működését vezérlő mikrokontrollerrel és feltöltöttük a megírt programokat. A rádióadót és a vezérlő elemeket egy függőleges alumínium vázhoz rögzítettük, majd rákapcsoltuk a 9V-os elemet. Az így összerakott egységgel előbb az iskola udvarán majd a városhoz közeli dombon végeztünk próbaméréseket.



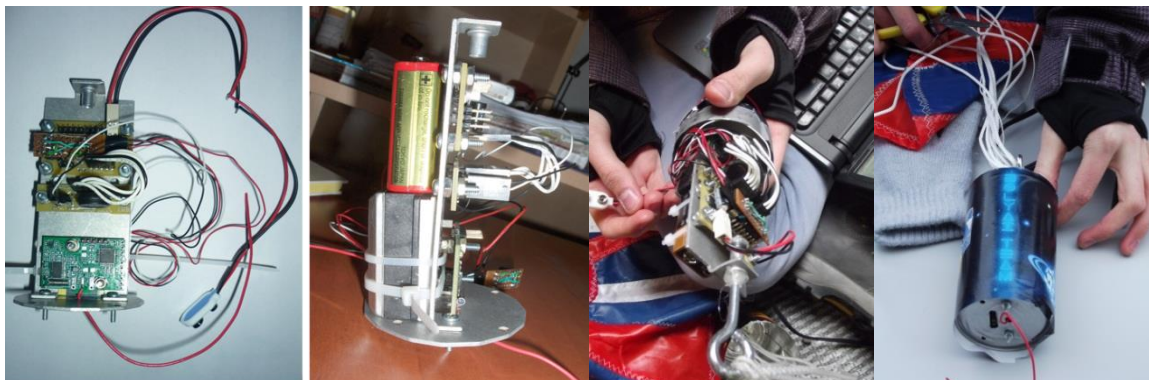
3.20. ábra Készül a műhold külső poliamid burkolata

Ahhoz, hogy az áramköri elemek ne sérüljenek kilövéskor vagy földet éréskor, poliamid típusú műanyagból készítettünk egy külső burkolatot. A termékleírások alapján (nem törik, nagy a szakító szilárdsága 70–110MPa, keménysége M85–M98, kopásálló, széles működési hőmérséklet tartomány (-40°C-tól +140°C) jellemzi) úgy találtuk, hogy ez jó lesz ahhoz, hogy megvédje az egységet a megrongálódástól. (3.20. ábra)



3.21. ábra Próbarepülés: ejtőernyő- és burkolatesztelés

Az első próbarepülésnél azonban a burkolat nem bírta ki az ütközést, a kavicsos talajon megrepedezett, ezért új megoldást kellett keresni. Több próbálkozás után egy vékony acéllemezből készített hengert használtunk burkolatként, amelyet egy méretre szabott erősített körlappal zártunk le. Ez az anyag már megfelelt a 20G-s gyorsulásnak és a 40atm-ás kilövési nyomásnak is. (3.21. és 3.22. ábra)

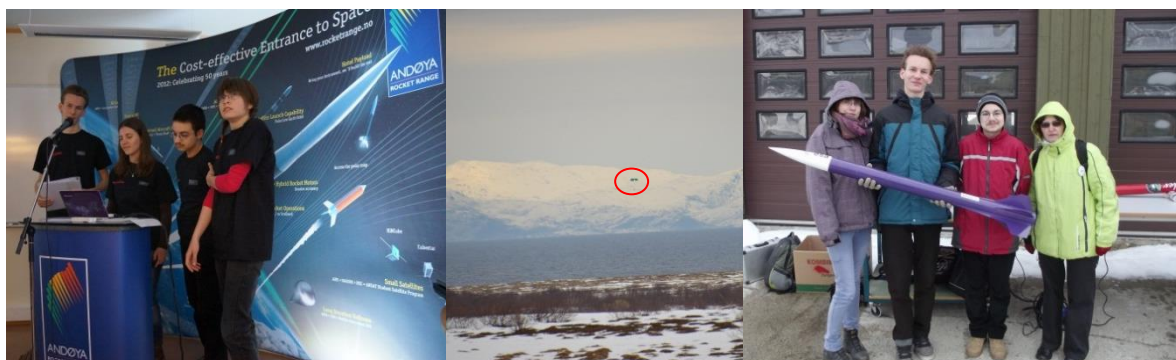


3.22. ábra. Az egység felépítése és az acélburkolat az Andoya-i (Norvégia, 2012) versenyen.



3.23. ábra. A CanSat új acél burkolata és a csapat posztere

A szenzorokat egy Arduino processzoron futó C<sup>++</sup>- nyelven megírt program vezérelte, amelyet a csapat informatika szakos diákjai írtak meg és töltöttek fel a beépített Atmel168A mikrokontrollerre. Ez a program biztosította az érzékelők által adott feszültségimpulzusok regisztrálását, átalakítását és egy hangolt rádióadón (RMBP433;  $\nu=433,15\text{MHz}$ ) keresztül a földre való továbbításukat (az adatátvitelhez egy saját készítésű Yagi antennát használtunk).

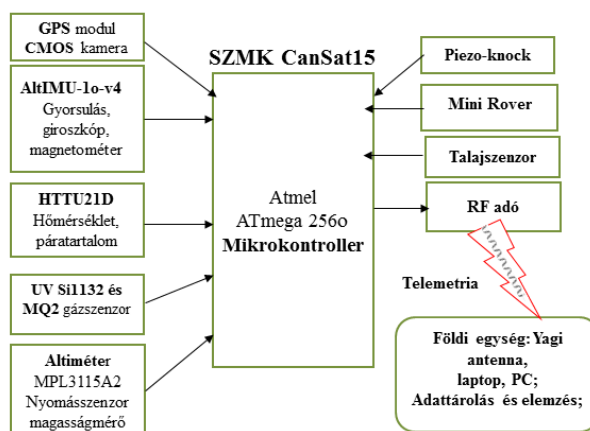


3.24. ábra Képek a Norvégiában rendezett döntőről, Andoya Rocket Range, 2012.

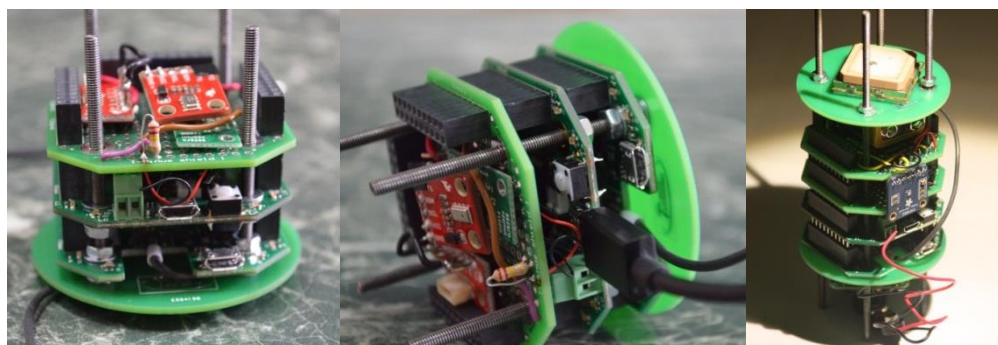
Számítástechnikai programjaink lehetővé tették, hogy a földi egységhez küldött adatokat a számítógéppel azonnal (valós időben) feldolgozzuk és kövessük a mért paraméterek változását a



földet érésig. A verseny ideje alatt a műholdacska jól működött, folyamatosan mérési adatokat küldött a földi egységnek és ejtőernyővel biztonságosan érkezett vissza a földre 165s alatt. A következő évi „miniműhold” egységünk sokkal összetettebb volt, mert a norvégiai verseny minden tapasztalatát és tanulságát, valamint a tanév során tanult új ismereteket megpróbáltuk felhasználni. Az új ötlet az volt, hogy úgy készítjük el a CanSat-et, mintha ez az egység egy ismeretlen bolygó felszínén landolna és azt „térképezne” fel. Úgy terveztük meg a rendszert, hogy határozza meg a bolygó légkörének összetevőit, hőmérsékletét, a nyomást, páratartalmat, UV indexet, földet érés után pedig a felszínen egy kis roverrel gyűjtsön talajmintát és készítsen képeket. Az egység helyzetét minden pillanatban a beépített GPS adatai alapján rögzítettük, és közben mértük a mágneses mező erősségét, a készülék gyorsulását, mozgási irányát. Az egység működését egy Atmel ATmega2560-as mikrokontroller vezéreltük. (3.25-26. ábra)



3.25. ábra A 2015-ös versenyre készített egység elvi szerkezete



3.26. A 2015-ös egység moduláris felépítése

Az új CanSat külső felszínét üvegszál hengerből alakítottuk ki. A „törzs burkolata” egy 116 mm hosszú, 66,5 mm átmérőjű, 4 mm vastag erősített üvegszál kompozit hengerből állt. A könnyebb összeszerelés érdekében két részből (félhengerből) alakítottuk ki, amelyek elkészítéséhez előzetesen egy gipsz matricát készítettünk majd ebben formáztuk meg a henger falait, több réteg 100-160g/m<sup>2</sup>- es üvegszál szövetből, amit epoxigyantával (műgyanta) rétegeztünk egymásra. (3.27. ábra). Első lépésben esztergáltunk egy fenyőfa hengert, ami 64,5 mm átmérőjű és 157 mm hosszú volt. Ennek a hengernek a felületén az esztergáláskor keletkezett egyenetlenségeket viasszal simítottuk ki, majd egy dobozt készítettünk neki, besíroztuk a hengert és a dobozt is, és kiöntöttük a formát gipszből. A gipsz matricát bekentük a

műgyantával és beletettük egy réteg üvegszálalás anyagot, majd lekentük kötőanyaggal. Ilyen módon annyi üvegszálalás szövetet rétegeztünk egymásra, amíg elértük a kívánt vastagságot, majd száradni hagytuk. A száradás után a burkolat hosszát levágtuk a megfelelő méretre, és miután az egységet belecsúsztattuk két alumíniumból készített körlappal zártuk le. A CanSat belső vázát az 4 fémrúddal erősítettük meg, amelyet a henger felső végénél levő zárólapokhoz csavaroztunk. (3.27. ábra)

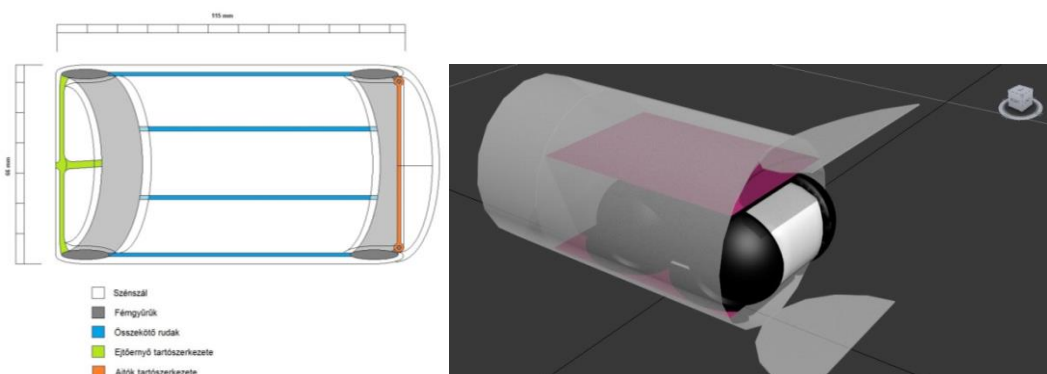


3.27. Így készült a CanSat2015 üvegszálalás burkolata

A felszínre való leérkezés után, a becsapódást egy ütőszensor (piezo-knock) jelzete. Amikor az ennek megfelelő jel eljutott a mikrokontrollerhez, akkor ez vezérelte burkolat alsó részén kialakított „ajtó” nyílását, kiengedte a rovert majd a rugókkal visszazárt.

A tesztek során azt tapasztaltuk, hogy az üvegszövet burkolat megfelelően ellenálló, több magasságból (500-600m) kisebb nagyobb sebességgel (8-12m/s) ütköztettük a kavicsal megtöltött burkolatot (400g), és nem szenvedett látványos sérüléseket.

A rover tervezését és mozgásszimulációját az Autodesk123D Design (ingyenesen elérhető szoftver) programmal készítettük, majd megépítettük a 2 elektromos motorral, saját áramforrással, Atmel ATmega 328-as mikrovezérlővel és talajszenzorral felszerelt mini-rovert. (3.28-29. ábra)



3.28 Autodesk 3DSmax programmal készített látványterv a burkolatról és a rovról (Krecht R. tervei)

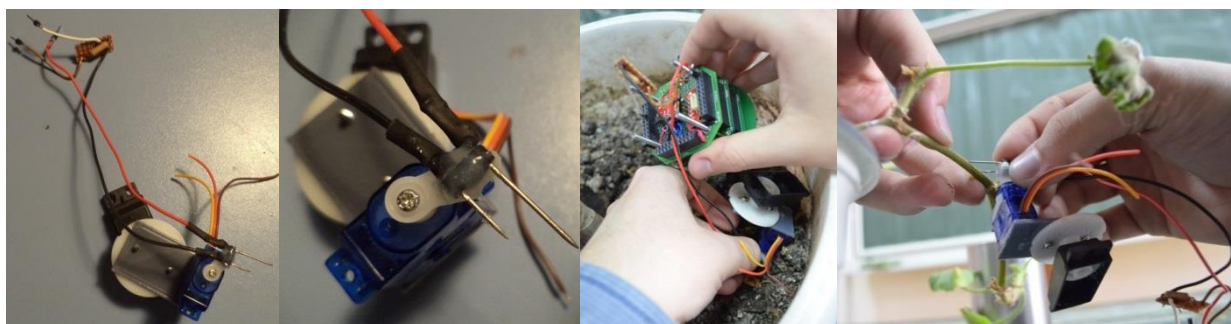
A rover alaplapja PLA (PolyLacticAcid-politejsav) típusú hőre lágyuló, környezetbarát műanyagból készült 3D-s nyomtatással, a kerekei pedig egy Lego játéksomagból származnak, tengelytávolságuk 35mm (3.29. ábra):





3.29. ábra A rover alkotó elemei és az elkészült modell

A roverre szerelt talajszenzort két nem korrodáló fémtű segítségével alakítottuk ki, felhasználva azt, hogy a nedves és a száraz talaj ellenállása különböző. Tehát a nedvességtől függően mindig más kimeneti feszültséget mérhetünk az érzékelőköz kapcsolt ellenálláson. (3.30. ábra)



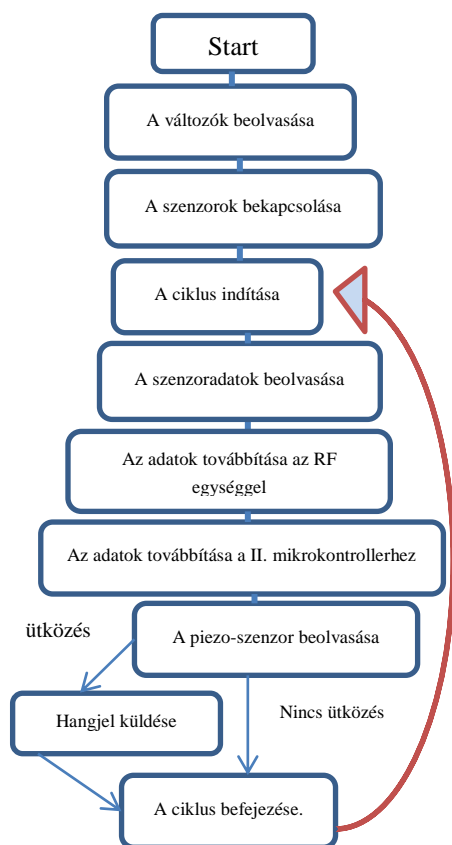
3.30. ábra A talajszenzor és az első próbamérések

A 2015-es egységünk mérőegységeit egy Arduino alapú 328-as mikrokontrollerrel vezéreltük. Az ATmega328-as mikrovezérlő jól használható az általunk tervezett egységhez, mert kis fogyasztású, de ugyanakkor nagyteljesítményű 8 bites RISC típusú (Reduced Instruction Set Computing) könnyen programozható processzor, 32 Kbytes, EEPROM memóriával és 23 szabad felhasználású be/kimeneti vonallal.



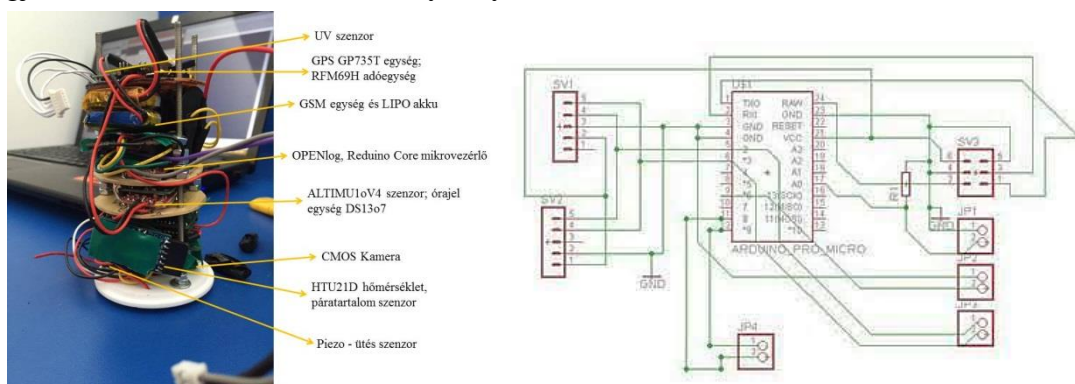
3.31. ábra Ezekkel a gépekkel emelték 1km magasba az egységet a 2015 és 2016-os országos versenyen.

A MikoCansat16 egységbe új mérési modulokat építettünk: AltIMU-10 v4 komplex szenzort (ennek a részei egy LPS25H – digitális barométer és altiméter, LSM303D - 3-tengelyű gyorsulásmérő és magnetométer, L3GD20H- giroszkóp), HTU21D - a relatív páratartalom és hőmérsékletméréshez, GP-735T- GPS helymeghatározó modult, Si1145 - UV szenzort, OpenLog - adatgyűjtőt, Nano-GSM, GPRS adattároló és továbbító modult, DS1307-órakezelő és piezo-knock szenzort. (3.33-3.34. ábra)

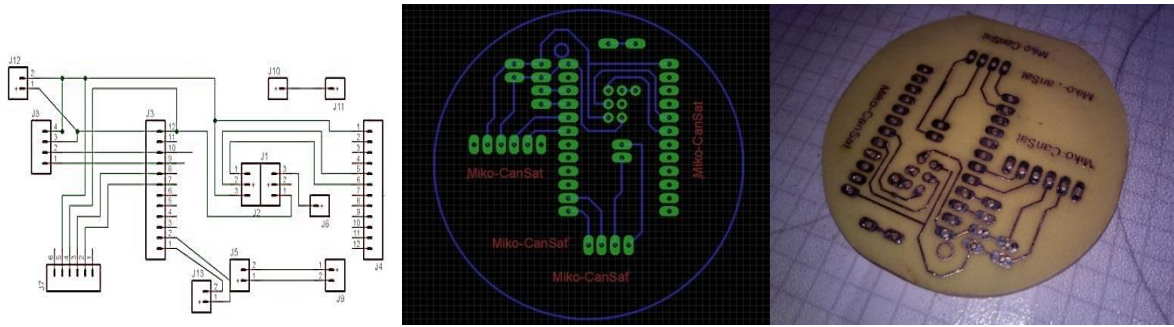


3.32. ábra A vezérlő program logikai vázlatja. Selyempapír és a próba ejtőernyő tesztelése (2015).

Másodlagos küldetesként ezúttal egy olyan feladatot választottunk, amely a repülés során összegyűjtött légköri adatokat összekapcsolja mozgás jellemzőivel és erről egy megfelelően megírt adatfeldolgozási program segítségével úgynevezett réteg térképeket készít. Ehhez egy CMOS kamera segítségével készített képsort társítottunk illetve a GPS adatok alapján ráillesztettük egy valódi, helyszíni térképre. Az egységbe épített GSM kommunikációs modul biztosította számunkra, hogy a szenzorok által rögzített adatokat azonnal továbbítsuk a csoport többi tagjához, akik nem voltak a verseny helyszínén.



3.33. ábra. Az egység elemei és a kapcsolási rajz terve (MikóCansat 2016).



3.34. ábra Az áramkör számítógépes terve és a nyomtatott alaplap.

A másodlagos feladatunk egyik fontos eleme egy 3 lépcsős adattárolási és feldolgozási rendszer és egy napelemes feszültségforrás elkészítése volt. A szenzoroktól kapott adatokat, a CMOS kamera képeit, a giroszkóp és a GPS modul által továbbított koordinátákat egy mozgás szimulációs programmal dolgoztuk fel, amely animált, grafikus formában mutatja a műhold földet érését (fékezett esés) valós környezetben (magasság, sebesség, gyorsulás, a függőlegeshez viszonyított helyzet). A kamera képeit egy térképhez rendeltük, és 100 méterenként bejelöltük a mért légköri adatokat.

Mivel az országos versenyen az egységeket nem rakétával lötték ki, hanem ultrakönnyű repülőgéppel (ULM Apollo Fox, 3.31. ábra) emelték a megfelelő magasságba, a landoláshoz szükséges ernyőket újra kellett méreteznünk figyelembe véve, hogy ezek a gépek vízszintes irányú 100-120km/h utazósebességgel repülve engedték el az egységeket. Ennek megfelelően az új ernyőt 12 szelvényesre terveztük és újra számoltuk a szelvények területét úgy, hogy zártabb gömbsüveg legyen, mint a korábbi változat. (3.35 - 3.37. ábra)

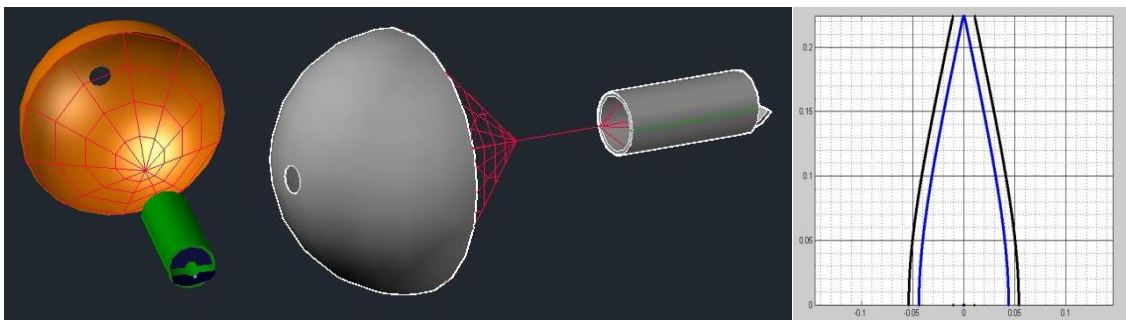
A cansat16 versenyre készített ernyő méretezéséhez használt összefüggések:

$$S_{\Delta} = \frac{1}{2} r^2 \sin \alpha \quad (19)$$

$$n \cdot \alpha = 360^\circ; S_{\Delta} \cdot n \approx A \quad (20)$$

$$m \cdot g = \frac{1}{2} \rho C_d A v^2 \quad (21)$$

$$r = \sqrt{\frac{4mg}{n \cdot \rho \cdot C_d \cdot v^2 \cdot \sin\left(\frac{360^\circ}{n}\right)}} \text{ vagy } d = 2 \cdot \sqrt{\frac{4mg}{n \cdot \rho \cdot C_d \cdot v^2 \cdot \sin\left(\frac{360^\circ}{n}\right)}} \quad (22)$$



3.35. ábra. Az ejtőernyő látványterve Autodesk123D Design-el szerkesztve

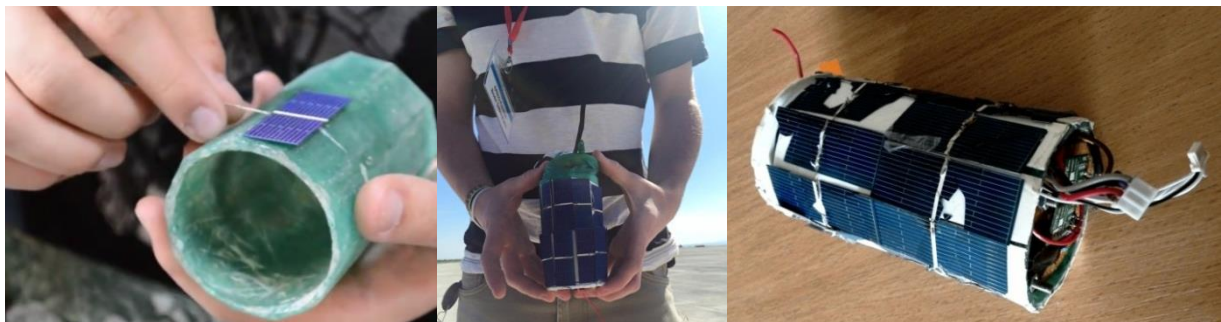




3.36. ábra 12 szelvényes ejtőernyő terve, szabása és a papírmmodell

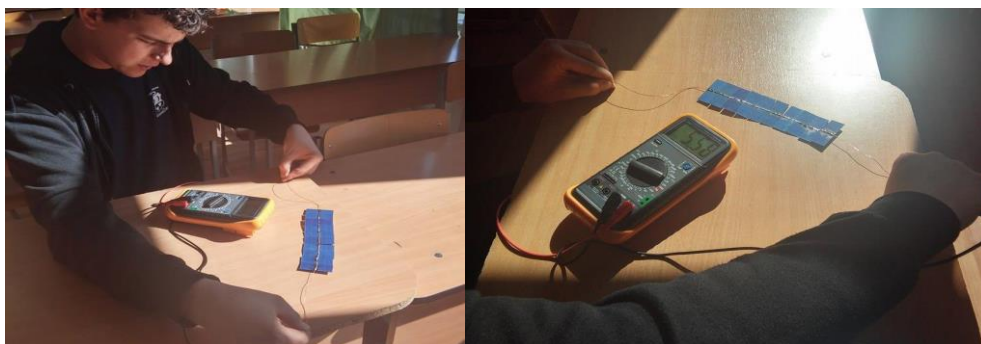


3.37. Cansat16-ejtőernyő tesztek az iskola udvarán



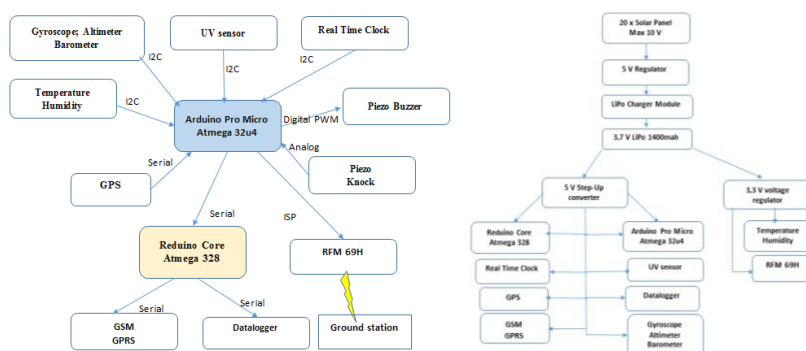
3.38. Új burkolat, megerősített műanyag és üvegszálás rétegekből, napelemek, földet érés előtt és után

Tesztelési eredményeink azt mutatták, hogy a Cansat16-os egységbe beépített szenzorok és áramköri elemek fogyasztása olyan nagy, hogy az 4-5 órás kötelező működési idő alatt az 1400mAh teljesítményű 3,7V-os Li-Po akkumulátor nem tudja biztosítani az összes elem folyamatos működését.



3.39. ábra A napelemek tesztelése

Ezért úgy terveztük az egységet, hogy 2 külön moduláris egységre osztsuk a szenzorokat, amelyeket két mikrokontroller vezérel (3.40-es ábra). A két modult párhuzamosan kapcsoltuk a feszültségforrásra, és csak akkor kapcsoltuk be az egyes tömböket, amikor azokkal a mérés kezdődött. A napelemeket a burkolatra szereltük, amelyek napos időben feszültséget termeltek a légköri modulnak. (3.38. és 3.39. ábra)



3.40. ábra. A Miko-Cansat16 vezérlési diagramja és szerkezeti terve.

Az Arduino ProMicro Atmega 32u4 mikrokontroller gyűjtötte össze a légköri szenzorok, a giroszkóp és a magnetométer adatait és továbbította a rádióegységen keresztül a földi egységnek. A második mikrokontroller (ReduinoCore Atmega 328) vezérelte az adatok rendszerezését, mentését az SD kártyára illetve a feltöltését a web szerverre. A webszerver MySQL adatbázisban tárolta az adatokat és összekapcsolta az adatfeldolgozó programokkal, minden felhasználó számára. A szenzorok illetve a két mikrovezérlő köré épített moduláris rendszer I<sup>2</sup>C kommunikációs rendszert használt, az analóg szenzorok pedig soros csatornán kapcsolódtak a kontrollerhez. (3.40. ábra) Az OpenLog, a GSM adatgyűjtő és továbbító egység is soros ágon csatolódt a vezérlőkhöz. A rádióvevő a ProMicro kontrollerrel SPI adatátviteli rendszeren kommunikált a TX és RX csatornákon keresztül. Mivel a mikrokontroller csak egyetlen TX-RX porttal rendelkezik, nekünk pedig kettőre volt szükség a biztonsági adatátvitelhez, ezért digitálisan két virtuális vonalat alakítottunk ki a SoftwareSerial könyvtár felhasználásával. Így minden ¼-ed másodperc alatt kaptunk adatokat. Ennek köszönhetően az 500 mérés során hozzávetőlegesen 100 kb adatot rögzítettünk.

A földi egység a Cansat-tól szöveges állományként, soronként, vesszővel elválasztva kapta az adatokat az RFM69H típusú rádió adó-vevőn keresztül, ezeket karakter (char) formátumban rögzítette, majd átalakította egészekké (int). Mivel az adatok tömbösített formában, íródtak ki a földi egység számítógépén, ezeket le kellett válogatnunk és csoportosítani. Ehhez egy C# alapú (Windows Form) programot írtunk a diákokkal, amely vessző szerinti felbontással válogatta szét a különböző adatokat, majd típus szerint rendezte őket. (3.41. ábra) A légköri és mozgásszenzorok mérési eredményeit adatbázisban rögzítettük majd csoportonként elemeztük őket, illetve grafikusán ábrázoltuk és értelmeztük.

A kommunikációs egységünk egyik lényeges eleme a Yagi antenna, amelyet úgy kellett megépíteni, hogy 433,19MHz-es frekvenciára legyen hangolva. Az antenna méretezésekor azt



vettük alapul, hogy a hullámhossz ( $\lambda$ ) és a szerkezeti elemeinek a hosszúsága ( $l$ ) arányosak kell, legyenek. Ha félhullámhossz antennát készítünk, akkor:

$$l = \lambda/2, \text{ ahol } \lambda = c/v \text{ és } v = 433\text{MHz}, c = 299792458\text{m/s} \quad (23)$$

Ennek alapján  $\lambda = 69,236\text{cm}$  és  $l = 34,618\text{cm}$ . Az antenna készítésekor egy 80cm hosszú alumínium rudat vágunk fő tartógerincnek, amelyre ráillesztettük az elektromágneses dipólust (34,618cm), a reflektort (36,374cm) és a vezérlő rudakat, amelyek 32,909cm, 31,177cm és 29,445cm hosszúságúak, átmérőjük 4 mm. Az így elkészített antennánk nyeresége 8,917dB.



3.41. ábra Antenna. (Veres V. Á., Szucsáva, 2016)

Azért, hogy ne veszítsünk adatokat, biztonsági megoldásként két hasonló antennát készítettünk és mindkettőt egymástól függetlenül egy adatgyűjtő és tároló számítógéphez kapcsoltuk. A diákok számításai szerint a két antenna egymástól vízszintes irányban legalább 74,42cm és függőlegesen pedig 68,07cm-re kell, legyen, hogy ne zavarják egymás működését. (3.41. ábra)



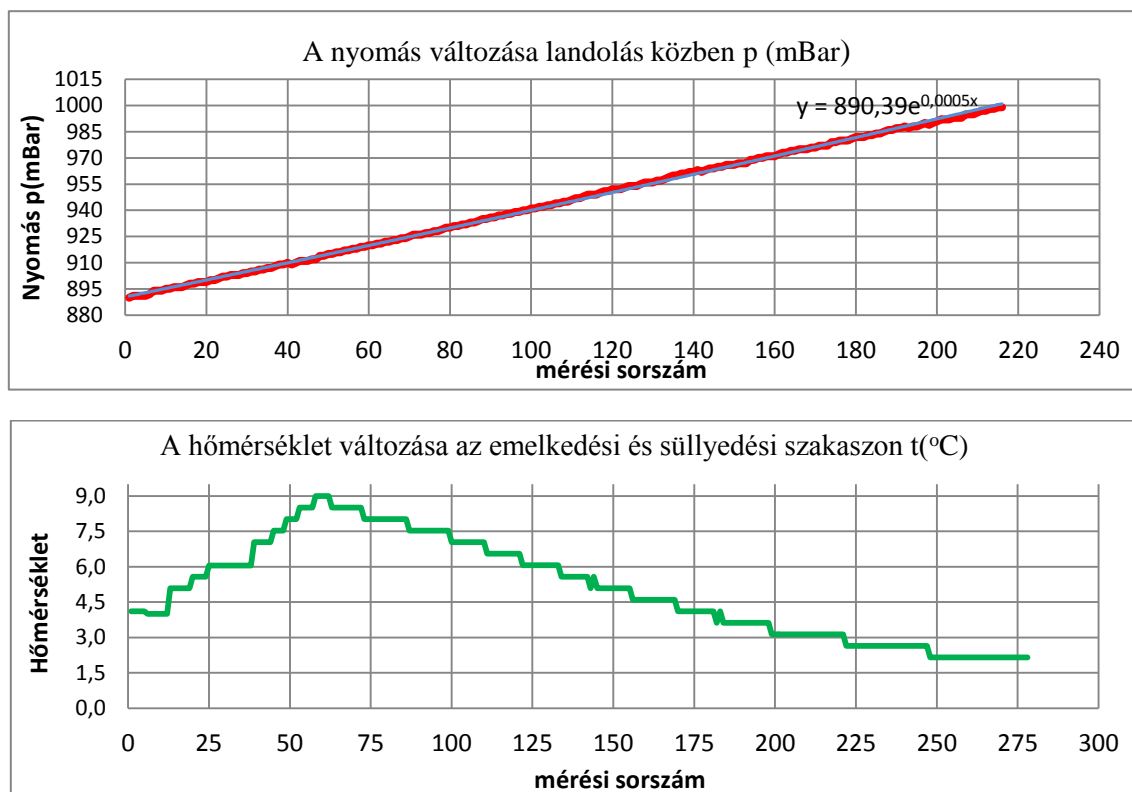
3.42. A Miko-Cansat16 csapat II. díjas lett az országos döntőn (Szucsáva, 2016. 04. 14.)

### 3.4 Mérési adatok feldolgozása

Minden mérés során a szenzorok áram- illetve feszültségimpulzusait az előre megírt és a mikrovezérlőkre feltöltött programok segítségével számszerű adattá alakítottuk, rögzítettük és a földi egység számítógépén tároltuk. A mérések befejezése után ezeket az adatokat különféle módszerekkel feldolgoztuk és értelmeztük (ehhez számítógépes adatfeldolgozó programokat írtak a diákok C++ és C# nyelven).

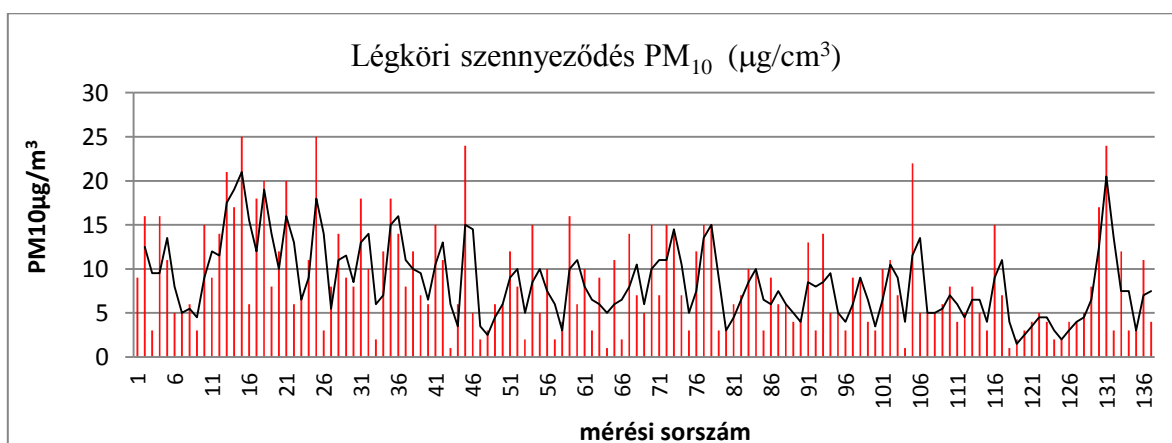
Mivel a verseny egyik alapkövetelménye a légköri jellemzők mérése, ezért a nyomás, hőmérséklet, páratartalom grafikont minden alkalommal elkészítettük. Minden mérés során

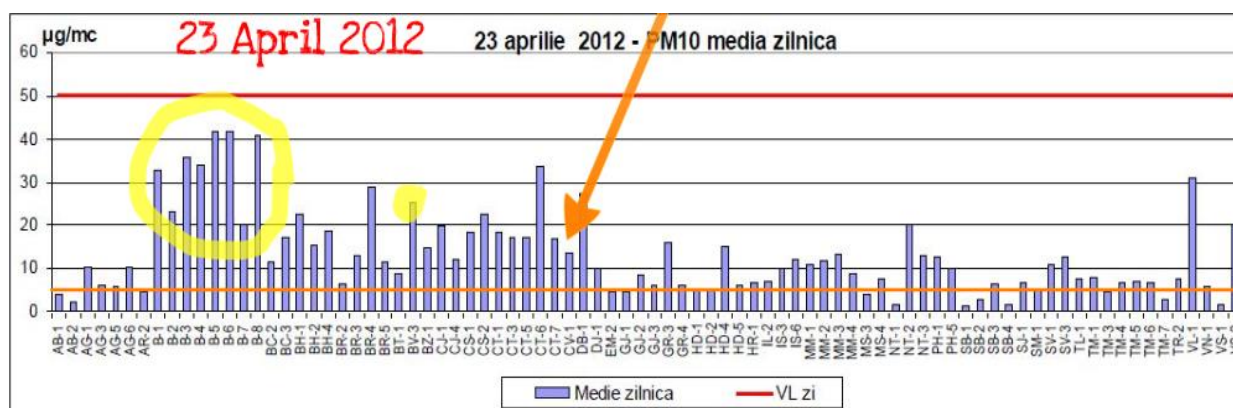
sikerült igazolni a nyomás és a hőmérséklet magasság szerinti változását (csökkenését), amint azt az elmélet alapján vártuk is. (3.44. ábra)



3.44. ábra. Nyomás, hőmérséklet grafikon. Andoya, 2012. ápr. 23.

A norvégiai verseny során sikerült rögzítenünk egy hőmérsékleti inverzió adatsorát. A versenyt megelőző napon tiszta volt a légkör, egész nap sütött a nap, meleg volt. A műholdacsókák kilövésének reggelén alacsony, sűrű rétegfelhőzet volt, fölötté pedig napsütés. A talaj menti levegőrétegek sokkal jobban lehűltek, mint a magasan levők és ez megmutatkozott a mért hőmérsékleti értékekben is.



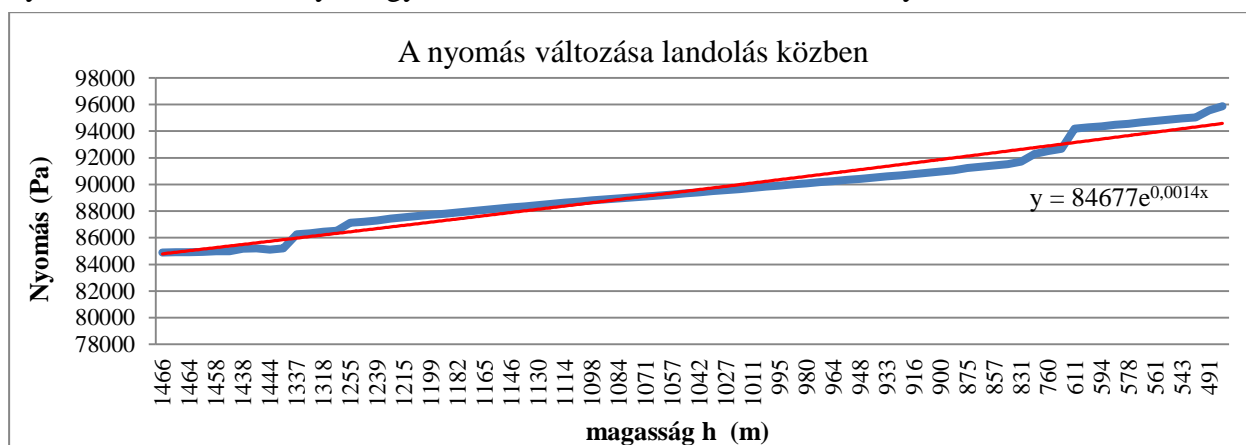


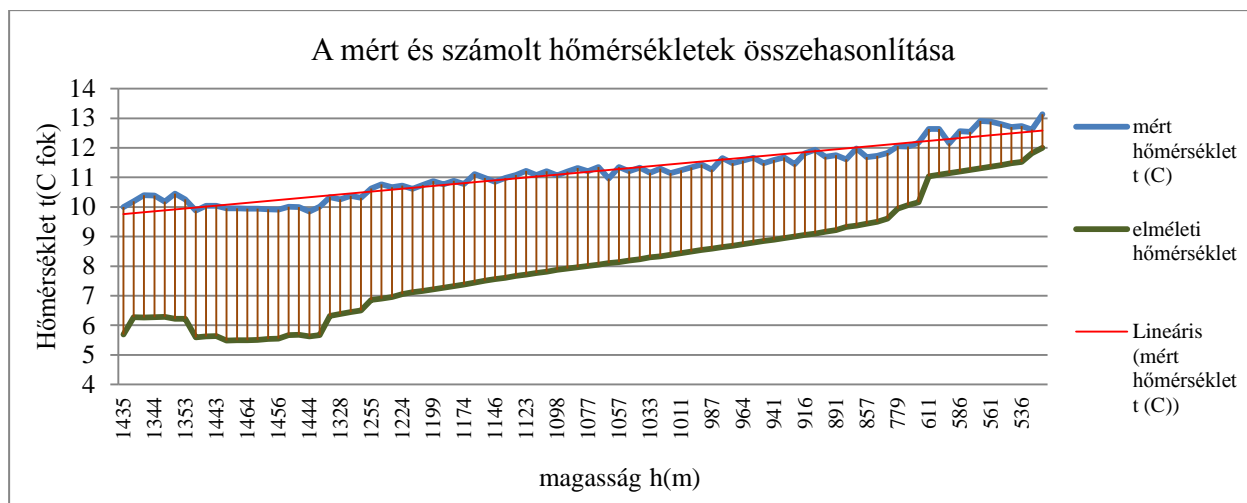
3.45. ábra. Szállópor (PM10) szennyeződés napi átlaga Norvégia és Románia légkörében (saját mérés illetve a romániai adatokhoz forrás: [www.calitate aer.ro](http://www.calitate aer.ro))

A grafikon és a mérési adataink is azt mutatták, hogy a vizsgált terület légtérében (É70°, K16°, Norvégia) nem volt számottevő szállópor szennyeződés 2013. április 23-án. Légköri mérésünk átlaga  $9\mu\text{g}/\text{m}^3$  volt, néhány  $25\mu\text{g}/\text{m}^3$  körüli értékkel. (3.45. ábra) Ezek a magasabb értékek annak tudhatók be, hogy a mérőegység gyors esése során nem mindig tudott úgy átáramolni a levegő az egységen, hogy az pontosan mérhessen.

A verseny után rendszeresen mértük a szállópor szennyeződést városunk légtérében, egy az iskolaudvaron elhelyezett szenzorral, amely a CanSat légköri szenzorjaival volt összekötve. A szennyeződés legmagasabb értékeit augusztusban illetve május elején mértük (a havi átlag  $33\text{--}35\mu\text{g}/\text{m}^3$  között volt). Ezeket az adatokat nemcsak fizika órákon használjuk fel, hanem a biológia vagy földrajz leckék során is gyakran használják iskolánk tanárai.

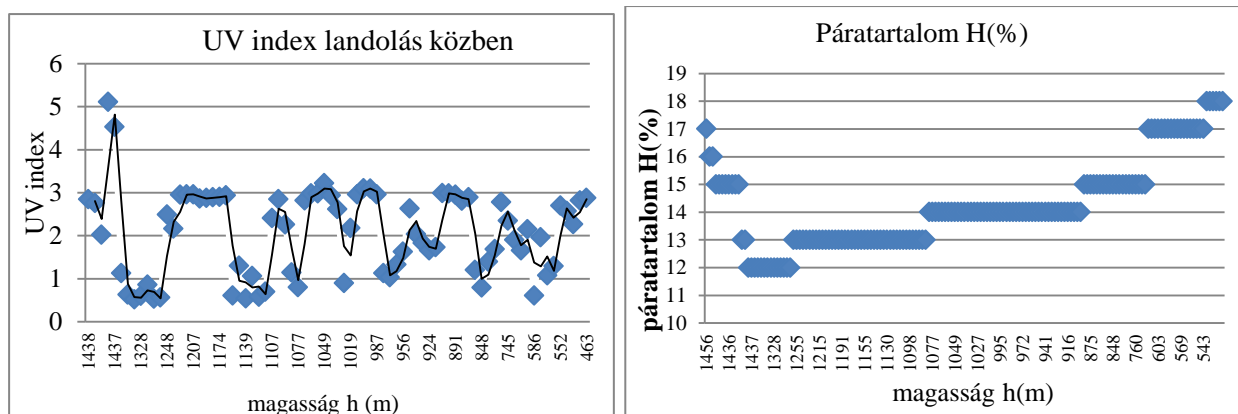
A 2016-os mérőegység AltimuV10 szenzorja sokkal pontosabb adatokat szolgáltatott a hőmérséklet és nyomás magasságfüggésére, mint a korábbiak. Ezeket az adatokat értelmezve igazolni tudtuk, hogy a földrajzi helynek megfelelően (Szucsáva,  $h=419\text{m}$ , É 47,68°; K26,35°) a nyomás változása mennyire egyezik az elméleti barometrikus törvénnyel.



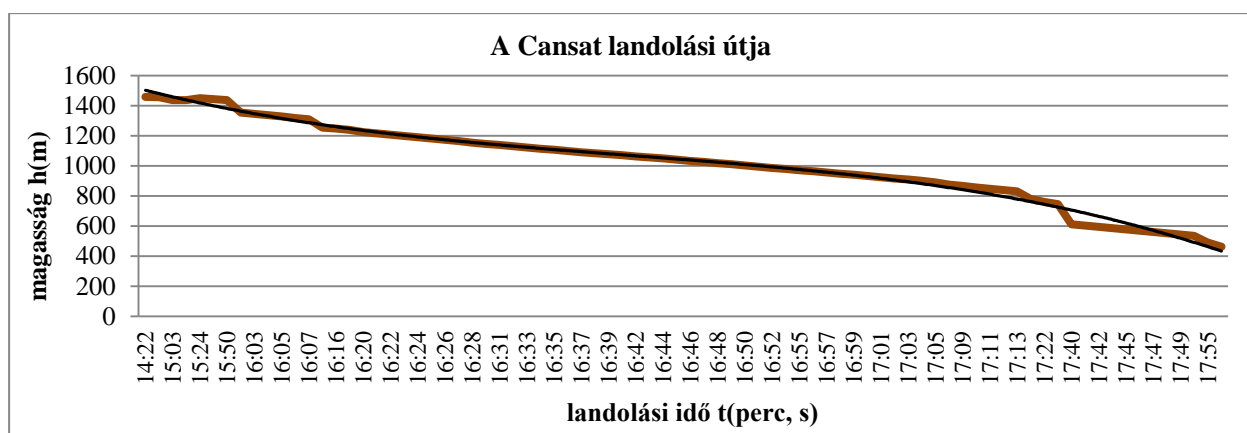


3.46. ábra A nyomás és hőmérséklet magasságfüggése a Cansat16 mérései alapján

A hőmérséklet a gradiens törvény szerint csökken a magassággal, az elmélet szerint 1000m-en megközelítőleg 6,4 fokkal. A hőmérséklet csökkenése a magasság növekedésével a mi méréseinkből is elég jól látható. A különbség az elméleti (3.46. ábra) és a mért értékek között abból adódik, hogy a hőmérséklet szenzor részben a CanSat dobozában volt. Az áramkörök folyamatos működése miatt a dobozban egyre nagyobb volt a hőmérséklet, kidobás előtt az egység a repülő belsejében is melegedett. Az esés ideje alatt a dobozon keresztüli áramlás elég gyenge volt ahhoz, hogy megszüntesse ezeket a hatásokat. A verseny kezdetétől a befejezésig a levegő hőmérséklete is sokat emelkedett (reggel 7°C, délben 13°C), ezért a hőmérséklet csak enyhén, néhány fokkal változott a földet érés során. A légkör (a mérés napján) tiszta volt, az UV index 1-3 között gyengén változott, ami megfelelt a körülményeknek. A páratartalom 12-19% volt a méréseink szerint, amit mindenképpen befolyásolt az a tény, hogy ez a szenzor is részben az egység belsejében volt. A pontosabb mérésekhez úgy kell elhelyezni a páratartalom szenzort, hogy a szatellit oldalán legyen, nyitott mérőablakban. (3.47. ábra)



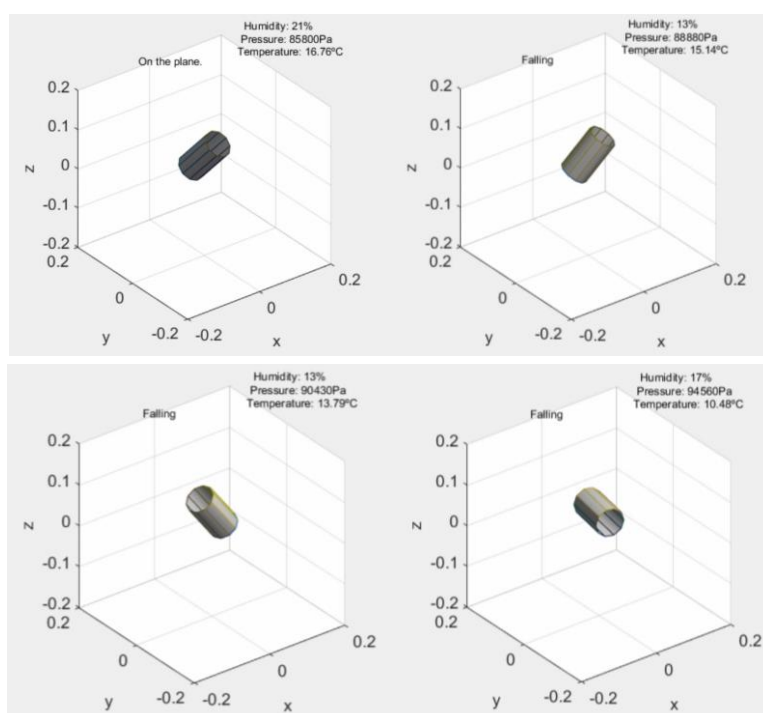
3.47. ábra A páratartalom és UV index magasságfüggése a MikoCansat16 mérései alapján



3.48. ábra A Miko-Cansat16 esési pályavonala

Technikai adatok: a földet érés kezdete: 12:15:05, emelkedési magasság:  $H=1466\text{m}$ , földre érkezés: 12:18:37, földet érési magasság:  $h=463\text{m}$ , mozgási idő:  $t=3:32\text{s}$ . Átlagsebesség:  $v=6,598\text{m/s}$ . Ez kisebb volt, mint az elmélet alapján meghatározott érték, de a változó irányú szél miatt ez elfogadható. (3.48. ábra)

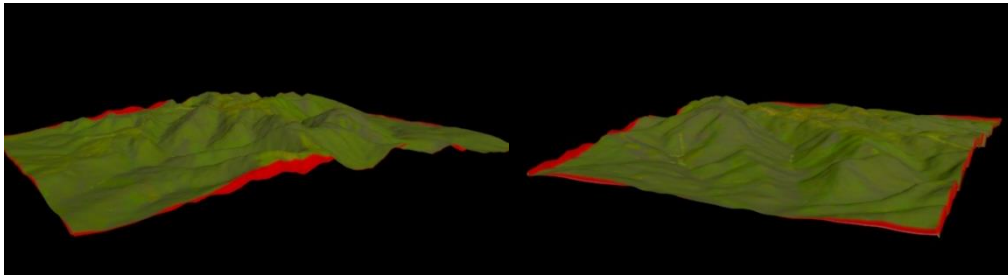
Az egység mozgásának szemléltetésére egy 3D-s animációt is készítettünk a giroszkóp és gyorsulásmérő adatainak a felhasználásával. A grafikonon 100 méterenként a mért légköri adatokat hozzárendeltük a zuhanó műhold helyzetéhez. Így nemcsak azt tudjuk nyomon követni, hogy esés közben milyen az egység helyzete a függőleges irányhoz viszonyítva, hanem azt is meg tudjuk mutatni, hogy különböző magasságokban miként változik, a nyomás, hőmérséklet illetve a páratartalom. (3.49. ábra) Mivel a CanSat tömege alig 342g volt, a szél pedig elég erősen fújt (9-12m/s sebességgel, állandóan változó iránnyal ÉNY és Ny-DNy között) könnyen elforgatta az egységet a levegőben. Ezt szépen igazolták az animációs képek is. Az animációhoz felhasznált adatok segítségével meg akartuk határozni a szél sebességét is, de ez nem sikerült.



3.49. ábra Az egység helyzete landolás során Matlab animációval (Veres V. Á.)



A kamera által rögzített képeket összevetettük az altiméter magasság adataival és egy felszíni térképet készítettünk 3Dmax programmal. Ezt a felszíni grafikont összehasonlítottuk a Google Earth helyszíni térképével, az egyezés elég jó volt. (3.50. és 3.51. ábra)



3.50. ábra Ilyennek láttuk mi a földre érés helyszínét; a CMOS kamera és az altiméter adatai Matlab adatfeldolgozással (Veres V. Á.)

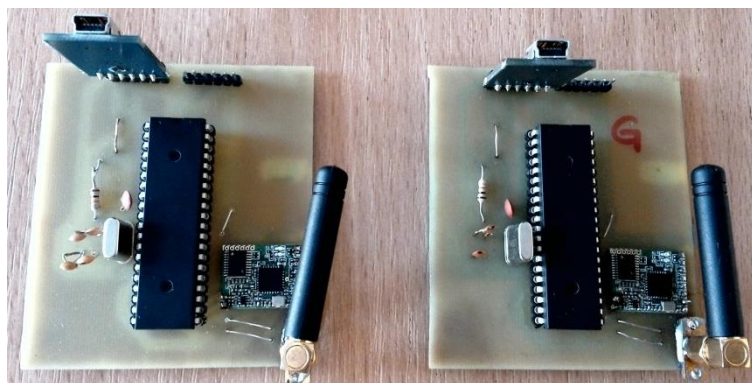


3.51. Szucsáva Nemzetközi repülőtér, a 2016-os verseny helyszíne ilyen a Google-térkép alkalmazással (Az egység a bejelölt területek fölött mozgott)

### 3.5. CanSat és a más gyakorlati alkalmazások- Mini meteoállomás

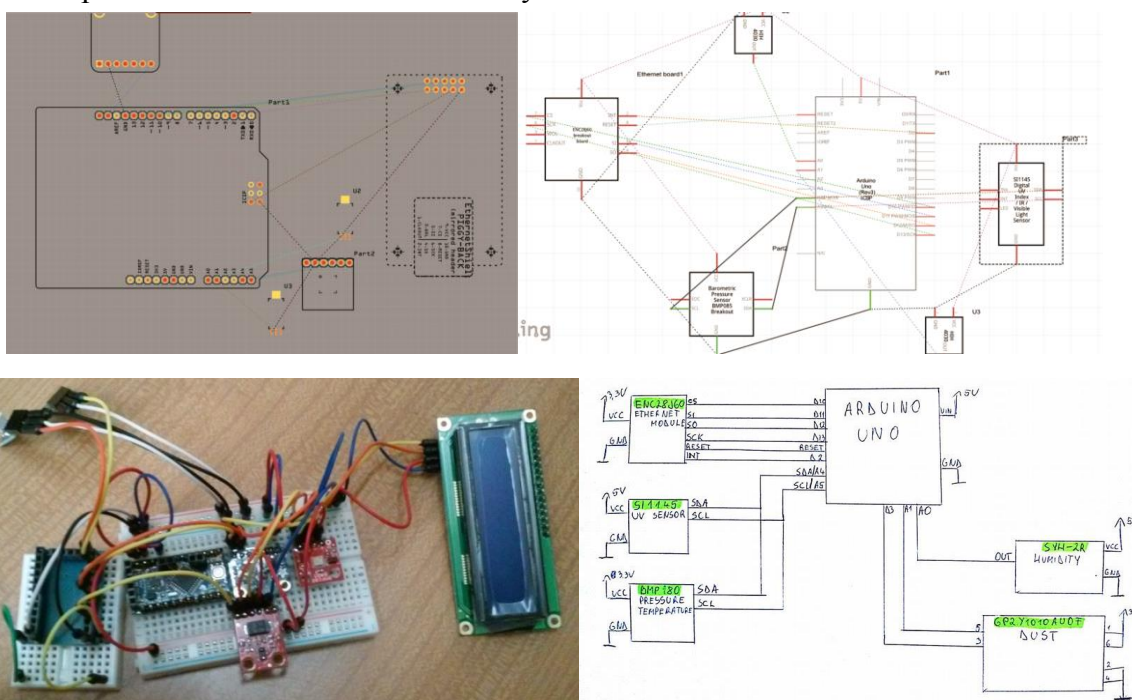
Miután véget ér egy CanSat verseny mindig fontos, hogy a szerzett tapasztalatokat valamilyen módon hasznosítsuk órai körülmények között is illetve megmutassuk az iskola kis- és nagydiákjainak eredményeinket. Mindig olyan eszközöket próbálunk tervezni, amelyeknek valódi gyakorlati haszna van. Ebből kiindulva adódott az ötlet, hogy a léghőmérséklet szenzorokat működtessük folyamatosan és a kapott adatokat használjuk hőtan, termodinamika, földrajz vagy biológia órán. Két olyan eszközt készítettünk a CanSat elemeiből, amelyeket azóta is folyamatosan használunk. Az egyik egy olyan mérőeszköz, amellyel az elektromágneses hullámok levegőbeli terjedési sebességét határozhatjuk meg. Illetve azt próbáljuk követni, hogy a

légtéri feltételek (hőmérséklet, páratartalom, nyomás, szennyeződés) okoznak-e valamilyen kimutatható sebességváltozást.



3.52. ábra Az elektromágneses hullámok sebességének a meghatározására épített mérőeszköz

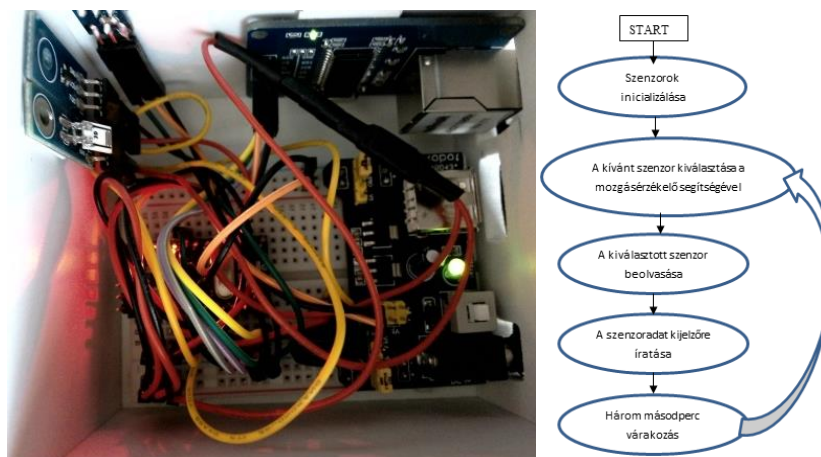
A másik mérőeszköz egy mini-meteoállomás. Ennek érdekében úgy alakítottuk át az egységet, hogy könnyen kezelhető legyen, mérési adataink az iskola minden diákja és tanárja számára elérhetőek legyenek. Ezt a meteo állomást a tornaterem egyik külső oszlopára (DNy- irány) illetve a főépület I. emeleti északi oldalára helyeztük.



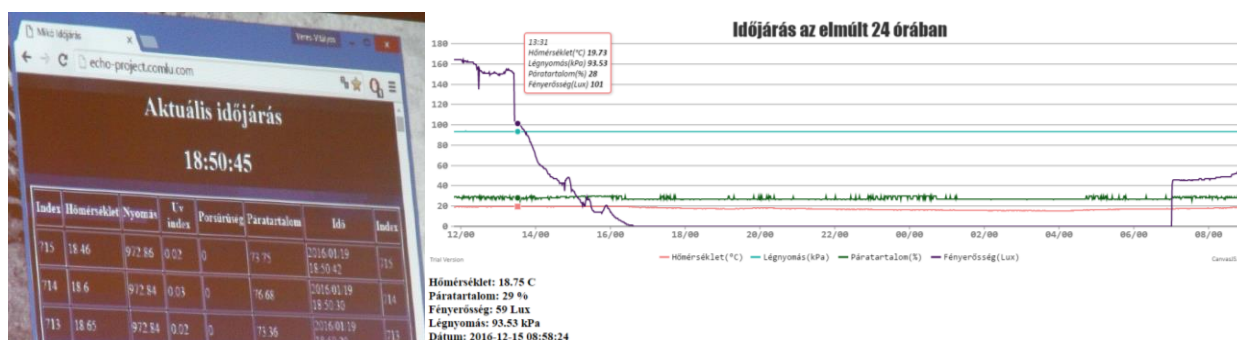
3.53. ábra A meteoállomás áramköri tervei és a tesztváltozat (Medgyesi A. XI.A)

Az időjárás állomás egy Arduino alapú mikrokontroller által vezérelt mérőeszköz, amely szenzorok segítségével a pillanatnyi légkörfizikai jellemzőket érzékeli és jeleníti meg. Az egység központi eleme egy Arduino Uno R3 mikrokontroller, amely egy nyílt forráskódú szoftverrel programozható egyszerű feladatok elvégzésére. [42, 43] Ez a vezérlő a pára-, szállópor-, UV index-, hőmérséklet- és légnyomás szenzoroktól olvas be adatokat. (3.52. ábra) Az adatok egy részét analóg módon, a többit digitális csatornán keresztül kapja. Az adatokat egy Ethernet modul segítségével töltjük fel egy szerverre, majd az internetre. A begyűjtött értékek a szerveren egy MySQL adatbázis és egy php oldal segítségével egy weboldalon (<http://cansattest.netai.net>)

jelenítődnek meg, interaktív grafikon segítségével valós időben (3.54. ábra). Az egész egység egy 12V-os adapterrel, hálózati feszültségről működtethető, könnyen programozható, alkatrészei cserélhetőek, a szenzorok száma bővíthető. (3.53. ábra)



3.54. ábra A megépített időjárás-állomás működés közben és a vezérlési diagram



3.55. ábra A honlapon megjelenített adatok (<http://cansat.netai.net>)

A VI-VII. osztályokban, amikor a mérési adatok grafikus adatfeldolgozásáról tanulunk, a meteoállomás adatbázisából töltjük le a nyomás, hőmérséklet adatait és azokat ábrázoljuk. Biológia vagy technika órán is használhatók az információk, amikor a tanulók a növények fejlődési fázisait követik a környezeti feltételek függvényében.

## Összegzés

A versenyen résztvevő illetve a műholdépítő csoportban dolgozó diákok beszámolóit azt bizonyítják, hogy szívesen vesznek részt ebben a munkában. A Cansat versenyekre való készüléskorán illetve a verseny alatt sokkal eredményesebben sajátították el a termodinamika, környezetfizika, elektronika alapelveit, mint azok, akik csak a tanórákon hallottak a témáról.

A középiskolában tanórai keretek között alkalmazva a mini-szatellit egyszerűsített mérési eljárását a diákok egy átfogó, egységes képet kaphatnak a földi légkör szerkezetére, állapothatározóira illetve azok változásait leíró törvényekre vonatkozóan, ugyanakkor gyakorlati jártasságokra tesznek szert a mérőegység megtervezésével, megépítésével kapcsolatosan. Megtanulják, hogyan kell költséghatékonyan összehangolni a tudományos kutatás feladatait a megadott pénzügyi kerettel, hogyan kell egy tudományos beszámolót készíteni. A verseny során készített műszaki jelentések és haladási naplók készítése arra ösztönzi őket, hogy jól tervezzék

meg a feladataikat, pontosan osszák be a rendelkezésre álló időt, minden feladatra (tervezés, építés, tesztelés, újratervezés, kivitelezés) figyeljenek, pontosan írják le a munkafolyamatokat, eredményeket, hiányosságokat.



## 4. Becsapódási kráterek. Geomorfológia

A középiskolás fizika tananyag önmagában nem elég vonzó a diákok számára, a sok elmélet és a számolást igénylő feladatok megoldása nem tartozik a kedvenc elfoglaltságaik közé. Ennek ellensúlyozására olyan feladatokat, kísérleteket dolgoztam ki és javasolok a diákjaimnak, amelyek segítségével a természettudományok iránti érdeklődésük fenntartható, szívesebben kezdik el figyelni a környezetükben végbemenő fizikai jelenségeket és kíváncsian keresik a magyarázatokat mindennapi kérdésekre.[13]

A IX-es tananyag része a mechanikai mozgások, a mechanikai munka, az energia és az impulzus törvényeinek a tanulmányozása. A mechanika bevezető óráin a tanulókkal beszélünk azokról az „izgalmas, nagy kérdésekről” is, amelyek megválaszolhatók (legalábbis részben) a mechanika törvényeinek a segítségével, de más témakörhöz tartoznak. Ilyenkor kerül sor a földrajzból már ismert földrengésekkel, égitestek mozgásával, ár-apály jelenségekkel, meteorit becsapódásokkal kapcsolatos kérdések megfogalmazására és a magyarázatok keresésére. [40] A tanév során többször visszatérünk ezekre a fogalmakra, és a megértésük megkönnyítésére egy projekt jellegű feladatot dolgoztam ki. Ez (a becsapódási kráterek tanulmányozása) összegzi és összekapcsolja a fizika törvényeit (szabadesés, hajítások, energia, impulzus, ütközések, mechanikai munka, stb.) a földrajz órán szerzett ismereteikkel. A diákoknak olyan kérdésekre kell választ keresniük, mint például:

- Hogyan keletkeznek a becsapódási kráterek a föld felszínén, a Marson vagy a Holdon?
- Milyen feltételek határozzák meg a kráter mélységét és formáját?
- Lehet-e vagy hogyan lehet modellezni a kráterképződést?
- Milyen kapcsolat létezik a becsapódási energia és a felszín formáló folyamatok között?
- Hogyan írható le a fizika törvényeinek a segítségével folyamat?

A projekt előkészítésére az osztályban egy teljes órát szánunk és közösen beszéljük meg, hogy miként lehet körüljárni az adott témát. Hogyan kell megfogalmazni a kérdéseket, hol lehet támpontokat keresni a jelenségek elméleti leírásához, mit kell mérni és ahhoz milyen eszközök szükségesek, miként kell mérni és hogyan kell az adatokat rögzíteni, hogyan lehet összegezni a megfigyeléseket, észrevételeket, hogyan kell megfogalmazni a következtetéseket és ezt miként kell bemutatni. A munkacsoportok (3-4 diák) megalakítása a diákokra van bízva, egy hét áll a rendelkezésükre, hogy kialakítsák a csapatokat és a csoporton belül leosszák a feladatokat egymás között. A projekt többnyire februárban indul és április végéig kell elkészülni a munkával. Ez idő alatt folyamatosan konzultálunk és az órai tananyag megfelelő részeit, a tanult törvények gyakorlati alkalmazásait külön is megbeszéljük. A projekt eredményeit májusban ismertetik a csoportok az osztályban illetve az “Iskola másként” projekthét során az iskola diákjainak mutatják be. Minden csoport maga választja meg, hogy milyen formában dolgozza fel a témát és miként prezentálja a következtetéseit, eredményeit. Ez lehet tudományos dolgozat, poszter, videófilm, „műalkotás”, számítógépes szimuláció, stb. [31, 32, 33]

A bemutatott anyag kell tartalmazza az alábbiakat:



1. A feladat megfogalmazását.
2. A mérés elméleti alapjait (milyen fizika törvények írják le a vizsgált jelenségeket, folyamatokat, hogyan kell alkalmazni ezeket a törvényeket a folyamat leírásában: szabadesés és ferdehajítás, energia- és impulzusváltózási törvények, munkavégzés, energia- és impulzus-megmaradás, ütközések.)
3. A kísérleti módszer kidolgozását.
4. A mérés leírását, adattáblázatot, adatfeldolgozást.
5. A kísérlet megfigyeléseit, következtetéseit, értékelését.
6. A projekt összegzését.

A témán belül emelt szintű követelménynek számít a kráterek modellezése különféle anyagok esetén és a becsapódási folyamat számítógépes szimulációjának vagy animációjának az elkészítése. Ezért alkalmas feladat humán és reál tagozatos diákok számára egyaránt.

#### 4.1. A kísérlet leírása

A becsapódási krátereket az űrből érkező kőzettörmelék darabok hozzák létre, amelyek az atmoszférán keresztül nagy sebességgel csapódnak a földfelszínbe. A légkörrel való súrlódás következtében a meteoritok tömegük nagy részét már zuhanás közben elveszítik, de még egy ököl nagyságú kőzettömb is nyomot hagy a felszínen.

A kráterek kialakulásának tanulmányozásához minden csoport szabadeséssel és ferde hajítással (szög alatt) létrehozott becsapódást figyel meg és ír le. A méréseket legalább 3 különböző magasságból, 3-4 szabadon eső golyóval (testtel) végzik. Az esési magasságokat a diákok határozzák meg a választott golyó mérete, tömege és a becsapódási anyag minőségének függvényében (legalább 4 különböző anyagfajttal kell dolgozni). [41]

A ferde irányú becsapódás esetén külön feladat a becsapódási szög meghatározása illetve az ütközés előtti sebesség kiszámítása. Fontos követelmény, hogy a becsapódási szög állandó legyen az ismételt mérések esetén, de hogy ez miként valósítható meg az a tanulók leleményességére van bízva. Minden esetben a keletkezett krátert le kell fényképezni, a mélységét és az átmérőjét meg kell határozni, illetve ezeket össze kellett hasonlítani különböző becsapódási felületek, de azonos esési körülmények esetén. A kráter térfogatának és mélységének a meghatározásához olyan módszert kell találniuk a diákoknak, hogy azzal ne sérüljön a keletkezett lyuk, fala ne omoljon be, de a mérés pontos legyen.

Az eddigi projektek azt mutatják, hogy a legpontosabb mérési eredményt azok a csoportok érték el, akiknek sikerült lenyomatot készíteni a kráterről vagy számítógépes adatfeldolgozással modellezték azt.

Szemelvények Blényesi B., Erdélyi Ö. (IX. osztály) diákköri konferencián díjazott dolgozatából:  
„Kísérleti eszközök:

- 3 különböző tömegű, de azonos térfogatú labda illetve golyó. A háromféle labda nehézségi sorrendben: fehér (üreges műanyag, tömege 2,8 g), piros (tömör műanyag, tömege 6,85 g), üveggolyó (tömege 19,6 g). Mivel a mérés nagyon tetszett többféle

golyóval, labdával dolgoztunk, de a mérési adatokat az előbbi három esetben dolgoztuk fel. (4.1. ábra)

- Különbőféle szerkezetű és szemcsézettségű anyagokat használtunk: homok, liszt, homok és agyagos föld keveréke. Azért volt szükséges többféle anyag használata, mert általános érvényességű következtetéseket csak nagyszámú mérés és sokféle anyagminta esetén lehet megfogalmazni.
- Mérőeszközök: kronométer, mérőszalag, tolómérce, vonalzó, mérőhenger, mérleg.



4.1. ábra. A golyók, a mérőeszközök és egy kráter lenyomat (Erdélyi Ö., Blényesi B. IX. A)

### Mérések:

- Három különböző magasságból (1, 1,5 és 2 m) szabadon eső golyók különböző anyagokba.
- Két különböző, tetszőlegesen választott,  $\alpha$ - szög alatti ferde becsapódás mindhárom anyagba. Az általunk használt két mérési szög a  $45^\circ (\pm 5^\circ)$  és a  $25^\circ (\pm 5^\circ)$  volt. Mind a 3 labdával elvégeztük a kísérletet mind a kétféle homokos, köves talajon. Egy külön állványt készítettünk erre a célra.



4.2. ábra Kísérleti állvány az állandó becsapódási szög biztosítására  
(forrás: Blényesi B., Erdélyi Ö. IX. A dolgozata)

A kráterterfogatok mérésére két különböző módszert használtunk az amúgy is sok hibalehetőség lecsökkentésére. Az általunk használt két mérésfajta a viaszos és a pillanatragasztós mérés. Először megolvasztottuk a viaszt és óvatosan belecseppentettük a kráterbe. Aztán, később rájöttünk, hogy ez a módszer nem feltétlenül a legpontosabb, mivel a viasz viszonylag nagy súlya miatt deformálhatja a krátert. A második módszerrel pontosan fel tudtuk használni a keletkezett kráter lenyomatát. A kráter felszínére pillanatragasztót cseppentettünk, azt az anyag felszívta és a kráter mentén pontosan összeragadt. Ennek megmértük a szélességét és a mélységét.” A fenti részletből kiderül, hogy miközben azzal kísérleteztek a diákok, hogy a mélység mérése miként végezhető el, tulajdonképpen rájöttek arra, hogy miként válik maradandó szerkezetű, formájú a kráter, milyen szerepe van a kötőanyagoknak a föld különböző rétegei között.

A durva, tömör összetételű homok esetén nem volt megfigyelhető eredménye a becsapódásnak, mivel a golyók túl könnyűek voltak, nem hagytak maguk után megfigyelhető nyomot, csak elgurultak a felszínen, így mérést sem tudtak végezni a diákok.

Mérési adatok: A golyók által létrehozott kráterek átmérői és mélységei finoman szemcsézett homokban (1. táblázat).

1. táblázat Kráter átmérők (d) és mélységek (y) (Blényesi B., Erdélyi Ö., IX. A)

h (cm)	Piros d (mm)	Fehér d (mm)	Üveg d (mm)	h (cm)	Piros y (mm)	Fehér y (mm)	Üveg y (mm)
100 cm	25,72	27,9	30,16	100	4,32	6,82	7,16
150 cm	21,38	22,68	26,88	150	3,02	4,82	5,48
200 cm	28,3	29,78	31,58	200	9,52	10,02	11,38

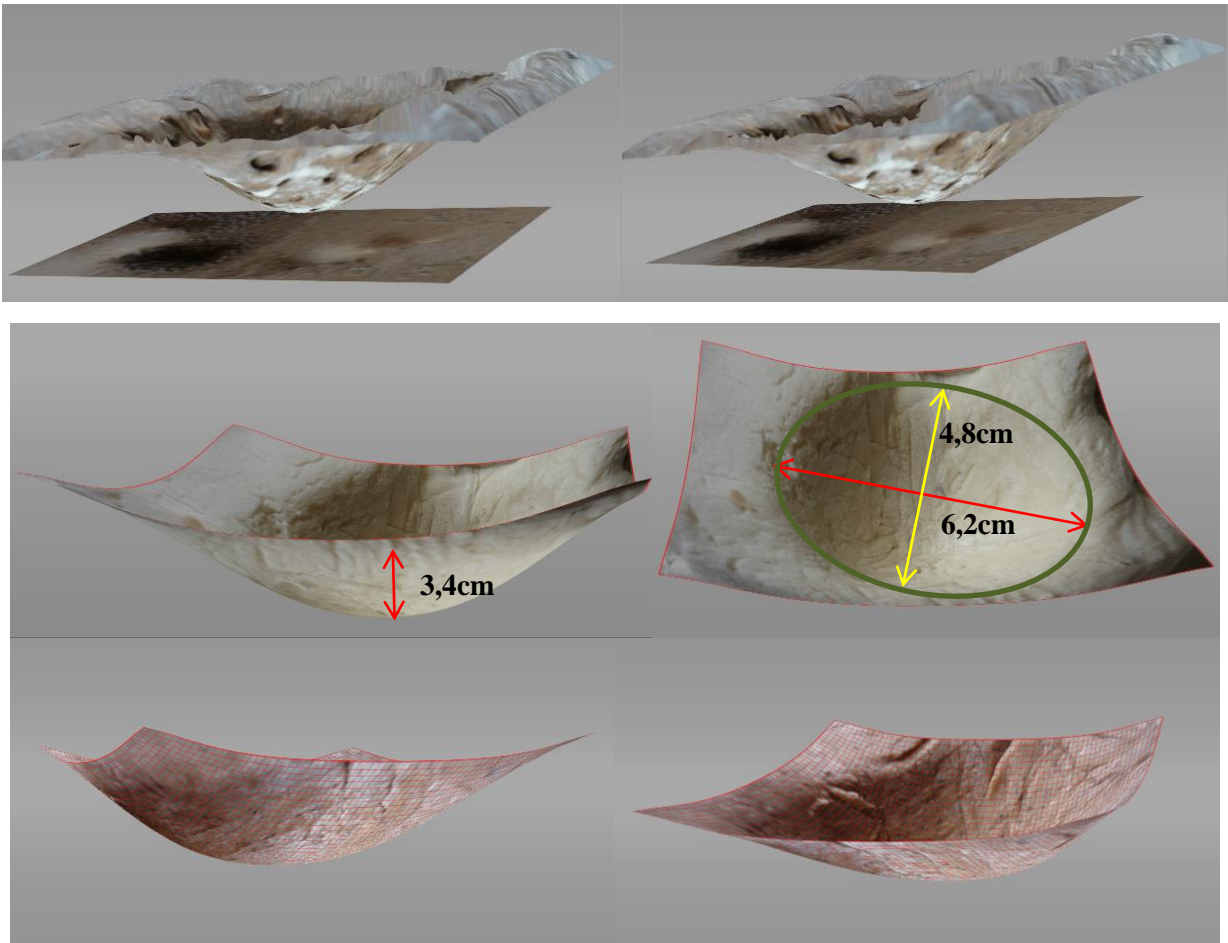
Nagyon jól tanulmányozható kráterek keletkeztek a házilag gyártott gyurma segítségével, amelyet az egyik IXB-s csoport használt. Az 1m, 2m és 2,5m magasságból függőlegesen és ferdén eső labdák és golyók szép, határozott körvonalú nyomokat hagytak, és a gyurma száradása során megfigyelhető volt a felszíni réteg változása, átalakulása. Amíg a gyurma friss, nagyon képlékeny volt, akkor olyan kráterek is keletkeztek, amelyeknek a közepe cseppszerűen kitüremkedett (gyűrűs kráter, 4.3. ábra)



4.3. ábra Házilag készített gyurmában keletkezett kráterek (friss és száradt állapotban) függőleges és szög alatti becsapódás esetén. (forrás: P. Ágnes IX. B dolgozata)

A videó- és számítástechnikában jártasabb diákok eredeti mérési módszereket dolgoztak ki illetve animációt, rövid videót készítettek a kráterek kialakulásáról. (4.4. ábra) Az egyik csoport a kráterekről készített képeket a 3Defy szabad forráskódú program segítségével elemezte és hasonlította össze, figyelve a felszínen kialakult mintázatokra is.





4. 4. ábra. A kráter lenyomat vizsgálata 3Defy programmal: átmérő, mélység, hosszúság mérésére és a felszíni mintázat elemzése (Veres-Vitályos Á. IX. A.)

Egy másik csoport nagyon sokféle anyagot használt a becsapódás tanulmányozására és ezek mintázatait hasonlították össze: cukor, liszt, kakaópor, durva só, prészli, kukoricaliszt, fűrészpor, vízzel vegyített könnyű állagú gipszpor, tengeri homok és agyag esetén. A gipsszel könnyen lehetett modellezni a keletkezett krátereket és a méréseket nagyon pontosan el tudták végezni a lágy gipszformákba csapódó vasgolyókkal. Ezeket pedig összehasonlították a Holdtérképeken található ismert kráterekkel. A könnyű, finom állagú anyagokban (liszt, finom szemcsézett homok, kakaó, stb.) nagyon szép kráterüreg keletkezett minden becsapódási magasságból, de amiután a golyót kiemeljük, könnyen beomlik, nem lesz maradandó a mintázat. (4.5. ábra)





4.5. ábra Könnyű, finom szemcsézettségű anyagokban keletkezett becsapódási minták (forrás: Mátyás Á., Papp Cs., Vargyasi B. IX. G. dolgozata)

Ha az anyag keményebb, durva szemcsézettségű, akkor nehezebben alakul ki a kráter, de megőrzi a formáját, és könnyebben mérhető. (4.5. ábra) Ha rétegezzük a finom és durva szemcsézettségű anyagokat, akkor minden becsapódás esetén a finomabb réteg a felszínre kerül (homok és liszt rétegezésnél nagyon jól látszik, hogy a becsapódás után mindig lisztes a felszín, holott az utolsó réteg mindig a szürkés színű homok volt.)



4.6. ábra Könnyű, finom szemcsézettségű anyagokban keletkezett becsapódási minták (forrás: Csősz S, Damokos D, Csia K., Bernád A.M. IX. B. dolgozata)

A liszt-kakaó-liszt rétegezésű anyagban is jól lehet látni, hogy a becsapódás során a kakaó a felszínre kerül, és ott gyengén keveredik a felszíni liszt réteggel. Ugyanezt figyeltük meg akkor is, ha a finom homokba 5cm-es rétegenként elszórtunk néhány színes apró cukorkát és borszemet. (4.6. ábra) Ezzel igazoltuk, hogy a becsapódás nemcsak krátereket hoz létre, hanem az anyag mélyebb rétegeit is feltárja, keveri a gyengén kötött rétegeket a felszínivel. Ugyanakkor az is jól megfigyelhető, hogy a ferde becsapódás során keletkezett kráterek nem teljesen kör alakúak (mint azt elvárnánk a golyók formájából adódóan), hanem kissé elnyújtott, elliptikus formájúak. (4.6. ábra)



2. táblázat Kráter átmérők (d) és mélységek (y) a becsapódási magasság függvényében (K. Máté, T. Hunor, S. Gergő, IX. B. dolgozata alapján)

Vizes agyag	Szélesség/ mélység		Szélesség/ mélység		Szélesség/ mélység	
Esési magasság H (cm)	Teniszlabda d=6cm		Kicsi golyó d=2cm		Közepes golyó d=3m	
100	4cm	3mm	1cm	2mm	75mm	0,5cm
200	5,5cm	1cm	1,5cm	4,5mm	2cm	75mm
410	6cm	2,5cm	1,8cm	5mm	2,5cm	1cm

A 2. táblázat adatai azt igazolják, hogy a golyók (testek) esési magassága és a vizes agyagban keletkezett kráter fizikai jellemzői szoros kapcsolatban vannak, tehát a becsapódási energia egyenesen arányos a kráter mélységével.

#### 4.2. A mérési eredmények értékelése

- A mérés során jól nyomon követhetők a becsapódási kráterek kialakulásának a fázisai: ütközés (összenyomódás), kiválás és átalakulás. Ha hosszabb ideig a szabadban hagyjuk a kísérleti mintákat, akkor már látszik a szél, napsütés felszínformáló hatása is.
- A kráter térfogata valamint az átmérője a labdák és golyók tömegétől függően is változott. A becsapódó test méreteiből adódó különbség nagyon szembevető volt minden típusú becsapódási felület és anyag esetén. Ha összehasonlítjuk az elmélet alapján (szabadesés, ütközések, impulzus) végzett számolások eredményét a keletkezett kráterek adataival mindig elfogadható az egyezés (az eredmények igazolják a tanult törvényeket).
- A kisebb esési magasságnál ( $h \leq 1\text{m}$ ) a kráter alakja nagyon hasonlított egy kúpéhoz, a nagyobb magasságoknál ( $h \geq 2\text{m}$ ) a kráter egyre jobban elterebélyesedett (tálszerű az alakja), nagyobb lett az átmérője és a mélysége, egyre kevésbé mutat arányosságot az esési magassággal. Tehát a becsapódási energia nem a krátermélységének a növelésére használandó fel, hanem átadódva a kőzet részecskéinek azok vízszintes elmozdulását okozza.
- A kísérlet során a többféle becsapódási felület szerepét betöltő anyagokban minden esetben különböző méretű kráterek jönnek létre, azonos esési magasságnál és becsapódási szögnél. A gipsz és a ragasztós kráterminták segítségével lehetett, tanulmányozni a földrajzból ismert felszíni krátereket illetve a modelljeinket össze lehet azokkal hasonlítani (a Földön látható becsapódási kráterekkel illetve a Mars és Hold felszínén levőkkel). Az összehasonlításból következett, hogy a módszerünk jól modellezi a becsapódási kráterek képződését.
- Szög alatti becsapódás esetén a kráterek felszíni pereme nem kör alakú, egy elnyújtott ellipszishez hasonlítható leginkább. Ezért itt az átmérő helyett inkább hosszúsággal és szélességgel írható le a becsapódási mintázat. A kráter mélysége kisebb (sekélyebb), mint az azonos magasságból, de függőleges becsapódással keletkezett kráterek esetén. Ha ilyen szempontból vizsgáljuk a Hold vagy Mars felszínén levő becsapódási nyomokat, akkor úgy tűnik, hogy azokat nagy magasságból érkező, nagy energiájú, függőlegesen becsapódó meteoritok vagy kőzetek hozták létre. Ha a vizes agyagba, gyurmába illetve homokkal vegyített termőföldben keletkezett krátereinket több napon át figyeljük, akkor jól látható hogyan változik a felszíni mintázat, az átmérő és a mélység aszerint, hogy az anyag

összeszáradt vagy éppen a szétmorzsolódott. Ezekben az esetekben a felszín morfológiája is modellezhető (többször meglocsoljuk, szárítjuk, szél hatásának tesszük ki).

- A mérési adatok és az elmélet alapján kiszámolt krátermélység és szélesség összehasonlítása illetve a megfelelő adatok egyezése - a mérési hibahatáron belül- igazolják a felhasznált törvények érvényességét, megmutatják azok „működését” a gyakorlatban.

### **Értékelés, összegzés**

A fent bemutatott projektet nagyon kedvelik a diákok, és minden alkalommal jobbnál – jobb ötleteik vannak az eredmények bemutatására vagy a mérések kivitelezésére vonatkozóan. Nagyon sikeres a módszer azért is, mert nem csak a fizika tananyagot mélyíti el, hanem segít a földrajz és geológiai kérdések megértésében is, valamint nagyon jól felhasználható csillagászati, kozmológiai és asztrofizikai témák bevezetésére a XI-XII. osztályokban. A projekt rendkívül hasznos az órán tanult elmélet megértésében, rögzítésében és a gyakorlati alkalmazási lehetőségek megismerésében. A csoportmunka és a projekt elkészítése újfajta jártasságokat, készségeket alakít ki a diákokban, új munkamódszereket sajátítanak el, megtanulnak pontosan, összehangoltan mérni, megtanulják, hogy miként lehet a nagy mennyiségű mérési adatot feldolgozni és kiértékelni, megtapasztalják a felfedezés, és az egyéni vagy kutatómunkával szerzett tudás örömét.

## 5. Robotika. Szakköri munka a Tudós Klubban

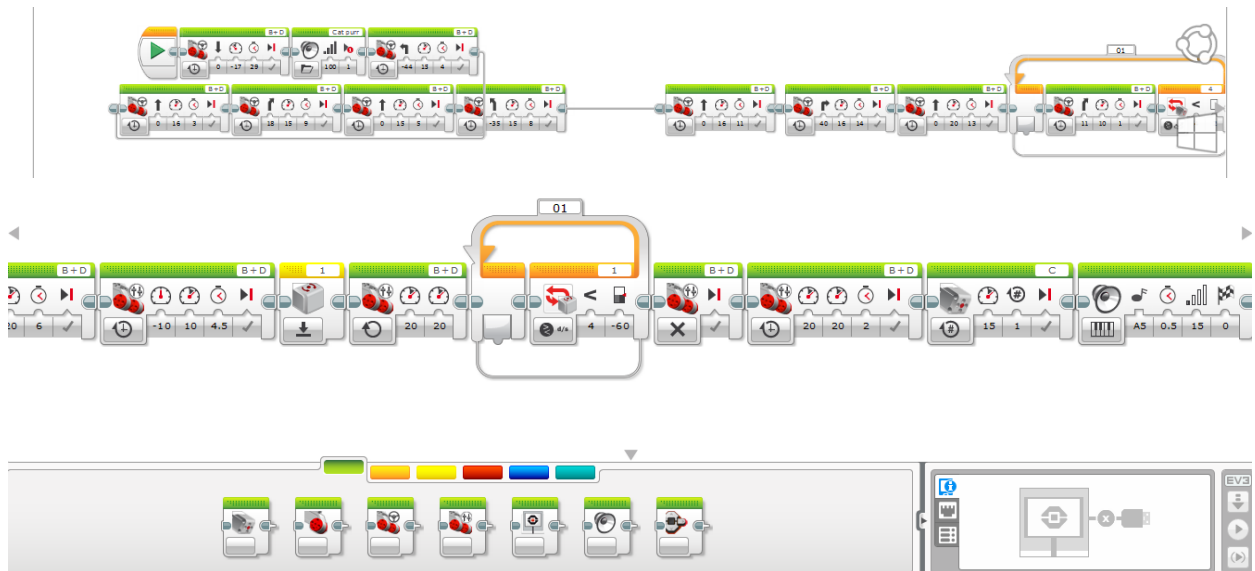
A Tudós Klubot néhány éve hoztam létre iskolánkban azért, hogy újszerű keretet biztosítsak a diákjaimnak és az érdeklődőknek arra, hogy ismerkedjenek a határtudományokkal, és ha szeretnének, akkor kapcsolódjanak be a szakköri munkába is. Ez, azóta is sikeresen működik. Ezeken a foglalkozásokon olyan témákkal, feladatokkal foglalkozunk, amelyek órai tevékenység során nem érhetők el, de foglalkoztatják a diákat. A foglalkozások a tehetséggondozás lényeges elemei éppen ezért változatos a szervezési keret is: hagyományos szakköri foglalkozás, tudományos előadás, vitaest, nyílt műhelymunka havi 2 alkalommal. Mivel több évfolyam diákjai járnak ide, a feladatok feldolgozása többnyire kiscsoportokban zajlik, hogy mindenki a tudásához közeli szinten ismerkedjen az új témákkal. A klub- és a szakköri tevékenység eredményeinek a bemutatása a nagyközönség felé is nagyon fontos eleme a munkámnak. Ezeken az előadásokon a nemcsak a diákok kapnak azonnali visszajelzést munkájuk eredményéről és megtanulják, hogy miként kell bemutatni egy tudományos-műszaki eredményt, hanem a nagyközönség is ismerkedik az alap- és műszaki tudományokkal. Ezen kívül a modern tudomány eredményeinek a népszerűsítése alkalmat ad arra, hogy tisztázzunk olyan tévhiteket vagy rosszul rögzült információkat, amelyek olyan területekhez kapcsolódnak, mint a részecskefizika, asztrofizika, nanotechnológiák, anyagtudomány, stb., amibe a témán kívül álló szemlélő nehezen lát bele. [6, 14, 15, 4. melléklet]

A robotok nagyon komoly kihívást jelentenek a diákok számára, mind technikai, mind elméleti szempontból, de ennek ellenére (vagy éppen ezért) óriási vonzóerővel bírnak. Erre az érdeklődésre alapozva alakítottam szakköri csoportot azokkal a tanulókkal, akik elég kíváncsiságot és kitartást mutattak a téma iránt. A robotépítés egy komplex tehetségfejlesztő program meghatározó eleme a munkámban. Ez az a terület, ahol a teljes, addig felhalmozott elméleti tudást ötvözhetik a diákok a műszaki jártassággal, a mérnöki munka kihívásaival, kreativitással, innovatív ötletekkel.

### 5.1. Lego NXT és EV3 robotok

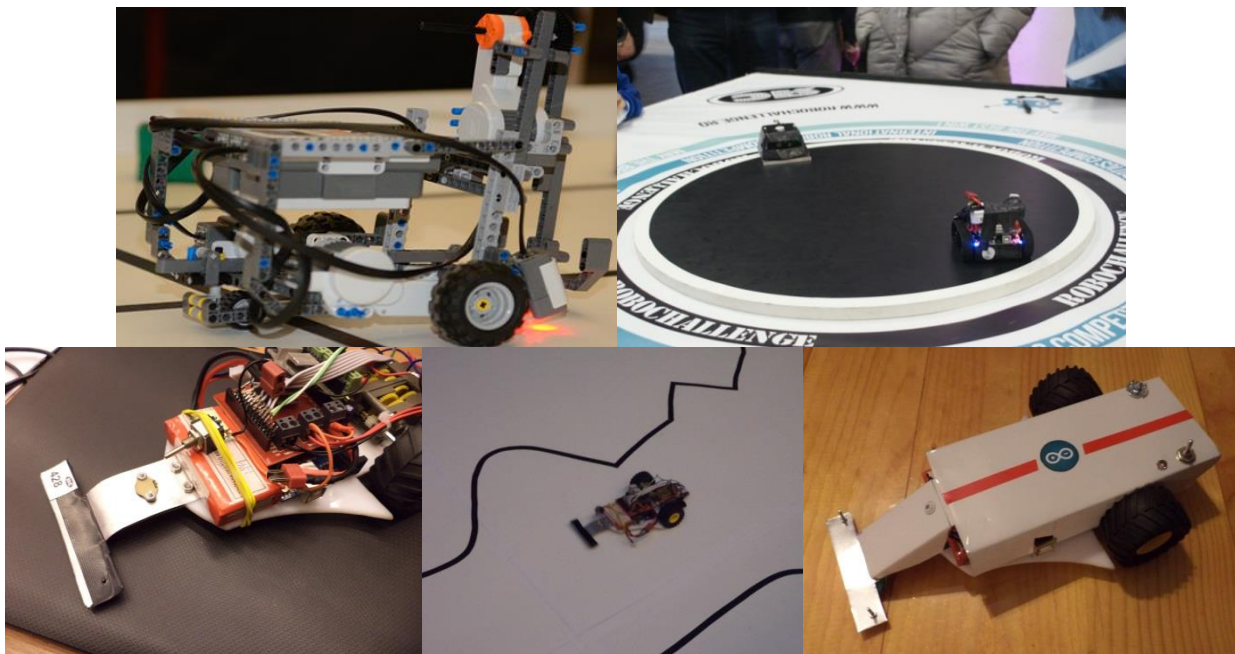
Az elmúlt évek során egyaránt foglalkoztunk LEGO robotok illetve saját tervezésű, jól meghatározott feladat elvégzésére szánt Arduino vezérelte robotok építésével. Kezdetben a LEGO NXT csomagjával dolgoztunk és próbáltuk megérteni az okostéglával vezérelt egyszerű eszközök működését. Első robotjaink az egyensúlyozó robot, emelő és teherszállító kocsik voltak. Ezek segítettek abban, hogy a diákok megértsék, az ikonos programozás alapjait illetve ezt összehangolják a robot kívánt mozgásával. A robotok megépítése és vezérlése során sikerült tisztázni a mechanikai mozgással kapcsolatos kérdéseket, a mozgást leíró törvények gyakorlati megnyilvánulását, működését. Főként a körmozgás, görbevonalú mozgás megértésében segítettek sokat a megépített autók, eszközök. Sikerült tisztázni olyan fogalmakat, mint a fordulatszám, forgatónyomaték, kerületi- és szögsebesség, dinamikus egyensúly. Az első megépített robotjaink csak tanulási célt szolgáltak, kíváncsiak voltunk arra, hogy miként lehet a

megépített kocsit/robotot úgy vezérelni, hogy éppen a kívánt feladatot végezze el. Az okostéglák (Lego robotok vezérlő rendszere) ikonos programozása (feladatobjektumok illesztése) könnyen megtanítható az olyan kisdíákoknak, akik semmit nem tudnak a számítástechnikai programokról, de kihívást jelentenek a nagyoknak, akik jártasak a C-alapú vagy más programozási nyelvekben. (5.1. ábra)



5.1. ábra Ikonos Lego-programozás (részlet a „Mars” robotkocsi programjából).

Az elkészített robotokat hasznosítjuk tanórákon, de versenyeken, előadásokon és tehetségnapi bemutatókon is részt veszünk. Minden évben benevezünk a RoboChallenge nemzetközi robotépítési versenyre nyomkövető, labirintust feltáró vagy szumó robotokkal. (5.2. ábra)



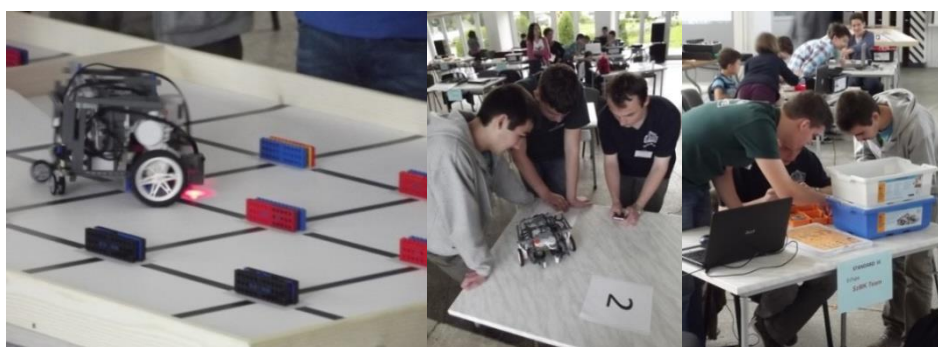
5.2. ábra RoboChallenge versenyek Lego és Arduino nyomkövető robottal (2013-2016)



A robot olimpiára (WRO) olyan eszközöket építettünk, amelyekkel egy egzotikus szigeten „sárkánytojásokat” gyűjtöttünk illetve egy napelemparkban feltérképeztük a meghibásodott elemeket, és egy lerakatba szállítottuk őket. (5.3. és 5.4. ábra)



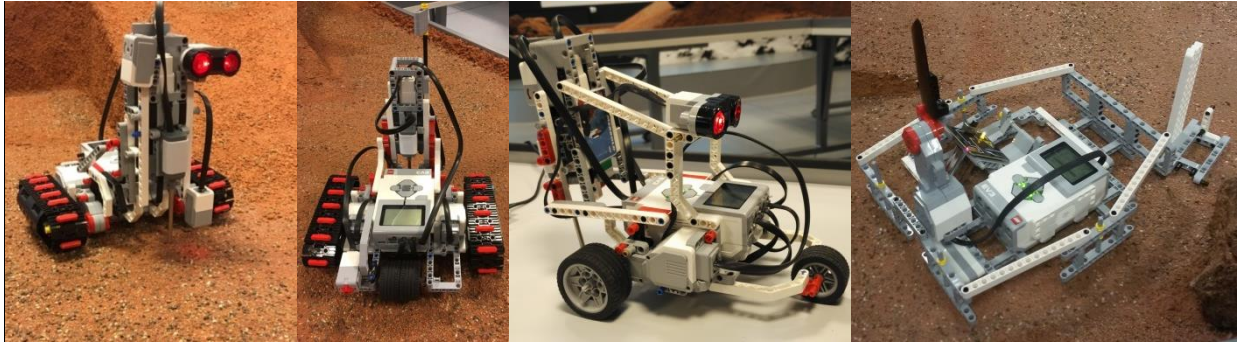
5.3. ábra Lego robotok a WRO2013 versenyre



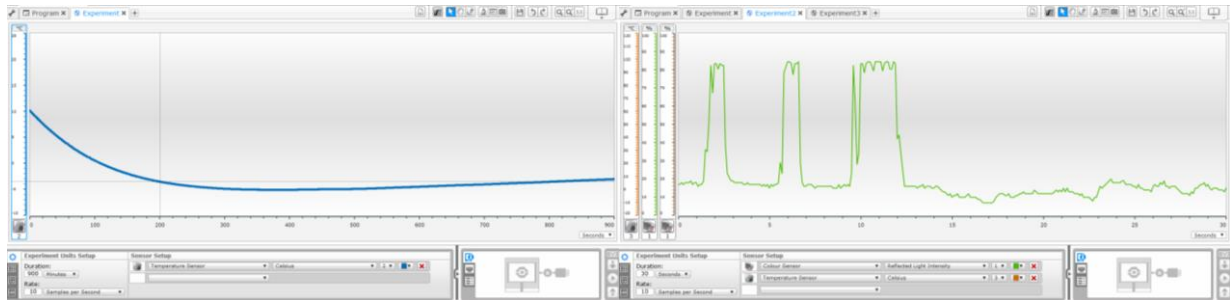
5.4. ábra WRO2014 versenypálya és a verseny

A versenyek után, olyan témákat javasolok a diákoknak, amelyek felhasználásával a megépített eszközök a tudomány vagy számítástechnika egy számunkra még nyitott kérdésére válaszolnak. Lego elemekből nemcsak játékokat készítünk (Rubik kocka kirakó), hanem olyan vezérelhető eszközöket, amelyekkel egyszerű mérések is elvégezhetők. Sikeres eszközeink egyike egy „Mars -rover” volt, amellyel mértük a felszíni közetréteg hőmérsékletét, vízre utaló nyomokat kerestünk és talajmintát gyűjtöttünk egy sajátosan kialakított terepen. (5.5. ábra) A felszínen réseket és gödröcskéket alakítottunk ki, amelyekbe jeget illetve párolgó alkoholt teszünk. Ezekbe a résekbe a robot tühőmérőket bocsájt le és megméri a hőmérsékletet, ez pedig a csatolt számítógép kijelzőjén mutatja a hőmérséklet változását (grafikonját). A mérési folyamat egy valódi kutatási eljárást szimulál, amelynek a segítségével tanórákon tanult ismereteket bővítjük, illetve rögzítjük. Egy ilyen mérés megtervezéséhez szükség van az exoterm és endoterm folyamatok ismeretére illetve a tanulók ki kell, dolgozzanak egy eljárást, hogy minként lehet azonosítani ezeket a folyamatokat mérés alapján, anélkül hogy az egyes helyeken elhelyezett mintákat kivennék, közvetlenül megvizsgálnák.

A felszínen egy olyan kommunikációs egységet is elhelyeztünk, amelynek a segítségével üzenetek (fény, hangjel formájában) küldhetők például a földre.



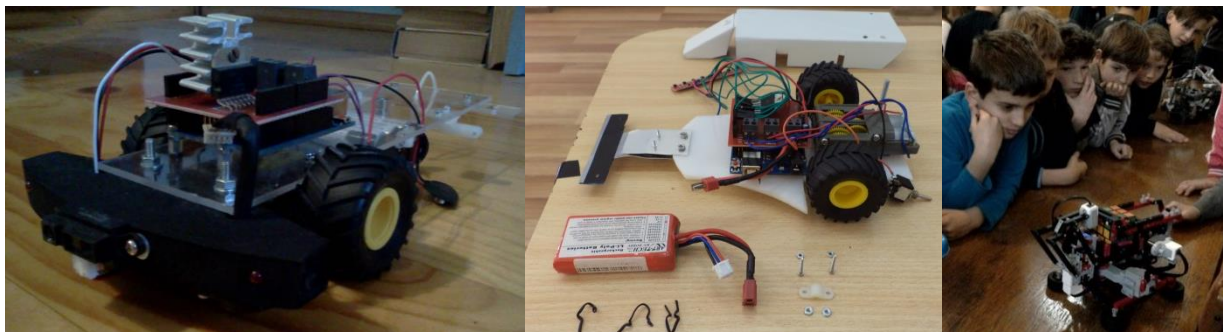
5.5. ábra LegoEV3 robotok egy bolygó felszínének a vizsgálatához és a kommunikációs állomás



5.6. ábra Hőmérséklet- és fényerősség-mérési eredmények LegoEV3 robottal

Az NXT Mindstorm Lego csomag nem csak azért hasznos a tanulási folyamatban, mert fejleszti a tanulók kreativitását, hanem alkalmas a mérési eredmények azonnali megjelenítésére, grafikus elemzésekre is, ha egy számítógépes kijelzőhöz kapcsoljuk a mérőrobotot.

A tanulási folyamat egyik fontos lépése és eredménye a Lego alapú robotok összekapcsolása az Arduino alapú mikrovezérlőkkel és ezáltal olyan feladatok végrehajtása, amelyeket lego-rendszerekkel nem lehetne megoldani. Ilyen ötletből született egy olyan terep felderítő autó készítése, amely csak Lego elemeket tartalmaz, de fel van szerelve Arduino Uno vezérelte szenzorokkal: fényerősség, hőmérséklet, nyomás valamint távolságérzékelőkkel. A kocsí úgy van megépítve, hogy működhet két és négykerék meghajtással a tereptől függően, minden keréknek saját rugós felfüggesztése van, és egy kiegyenlítőmű vezérli a kerekek optimális mozgását a terepviszonyoknak megfelelően.



5.7. ábra Egyszerű eszközöktől a bonyolultig: Harckocsi és Rubik-kocka kirakó robot



## 5.2. Tűzoltó- és életmentő robotok

A saját tervezésű robotok egyik első darabja a nyomkövető (vonalkövető 5.2. ábra) volt, amelyet a RoboChallenge nemzetközi Robotika versenyre készített Gál B, Krecht R. és Szigeti B. A tervezés és építés során megtanultuk, hogy miként kell kiválasztani a meghajtó motorokat és kerekeket, hogy jó elég nagy legyen a sebesség, de ugyanakkor stabil is legyen a rendszer. Hogyan kell társítani a szín- és távolságszenzorokat illetve hogyan kell őket programozni ahhoz, hogy a nagy sebességgel mozgó robot megfelelően kanyarodjon, mindig kövesse a pályát, ne térjen arról le semmilyen megvilágítási viszony esetén. Megismerkedtünk az Arduino mikrovezérlővel és megtanultuk a programozását. [42, 43, 44]

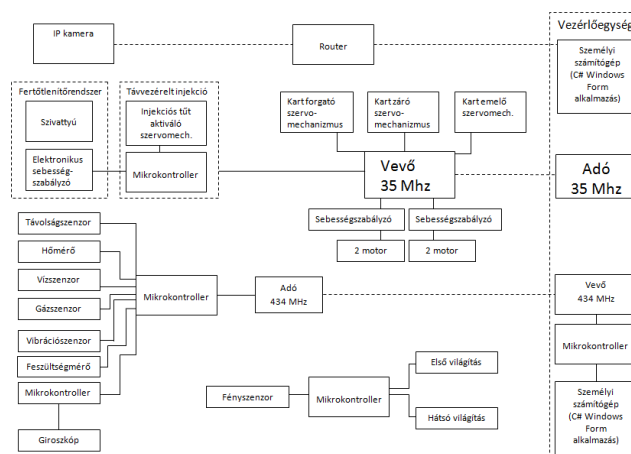


5.8. ábra Készülnek a tűzoltó- (a) és életmentő (b) robotok (fotó: Harkó Cs. és Krecht R.)

Kezdő szinten nagyon jól sikerült már az első vonalkövető robotunk is; stabil volt, jó sebességgel sikerült teljesíteni az egész pályát, a vezérlőprogram megfelelt a verseny feltételeinek. Ez arra ösztönzött, hogy alkalmazzuk a tanultakat egy bonyolultabb eszköz építésénél. Így született meg a tűzoltórobot ötlete. Ez a kocsis egy gáz- és hőmérséklet szenzor segítségével érzékelt a tűzforrásokat, egy tartályból pedig vizet fecskendezett az égési területre. (5.8. a. ábra). Ezzel a robottal már jelentkeztünk a 23. Ifjúsági Tudományos és Innovációs Tehetségkutató versenyre, de nem volt eléggé meggyőző alkotás innovációs szempontból. Ezért egy átalakított, kibővített változatot készített az ötletgazda Krecht R., életmentőrobot (Lifebot) néven. Ez a robot arra hivatott, hogy természeti katasztrófák vagy tűzvész esetén segítse a mentőcsapatok munkáját azáltal, hogy felderíti a katasztrófasújtott, nehezen megközelíthető területeket. (5.8. b. ábra).

A robot alumínium alvázra épül, külső burkolata pedig fém, üvegszál-műanyag kompozit és 3D-nyomtatással készített elemekből áll. A kocsi mozgását hat kerék biztosítja, amelyek közül négy elektromosan meghajtott kerék. A robot jobb és bal oldalán levő kerekek különböző fordulatszámmal való mozgását egy elektronikus fordulatszám szabályzó biztosítja. Ez teszi

lehetővé az irányváloztatást és a kormányzást. Minden motorhoz egy nyomatékváltó mechanizmus van csatolva, ami 1:75 átalakítási arányt hoz létre (nagy nyomaték 4-9,4kg-cm alacsony áramfelvétel mellett 4-900 mA).



5.9. ábra Lifebot elvi diagram Krecht R. tervei alapján, amellyel a 24. Ifjúsági Tudományos és Innovációs Tehetségkutató versenyen II. díjat nyert

A robotra szerelt szenzorok egyrészt a felderített terepről küldenek információt (akadályok helyzete, füst és mérgező/gyúlékony gázok jelenléte, hőmérséklet) másrészt pedig a robot állapotáról, helyzetéről (vízszint, az akku töltési szintje, giroszkóp- MPU 6050, ütközés érzékelő). A vízszint érzékelő szenzor tulajdonképpen azért van felszerelve, hogy védje a robotot abban az esetben, ha 10cm-nél magasabb vízen kellene áthaladni, mert akkor az áramkörök sérülnének. A robot pillanatnyi egyensúlyi helyzetét egy giroszkóp (MPU 60509) méri. Ez a szenzor nagyon sok mérést végez másodpercenként, amit egy Atmega328-as mikrokontroller vezérel. Ez a mikrovezérlő háromféle adatot továbbít a központi vezérlőhöz: normál helyzet, dőlés jobbra vagy balra. (5.9. ábra)

A robot egyik fontos feladata, hogy tájékoztassa a mentőcsapatokat a mérgező és gyúlékony gázok jelenlétéről, amihez egy MQ-2 típusú szenzort használ. Ennek az érzékelő anyaga ón-dioxid ( $\text{SnO}_2$ ), melynek vezetőképessége tiszta levegőben alacsony, gyúlékony gáz (propán, bután, hidrogén, metán és autógáz (LPG)) jelenlétében nagy. Így adott tápfeszültség esetén áramerősség növekedés jön létre, amit jelez az érzékelő. Ahhoz, hogy ez a szenzor megbízhatóan működjön, magas hőmérsékletre van szükség, amit egy fűtőszál biztosít.

A szenzorok adatait egy központi Atmel Atmega 32u4 mikrokontroller gyűjti össze és küldi a számítógéphez egy RF434MHz-es adón keresztül, amelynek hatótávolsága 150 m. A mikrokontroller és az adó között soros kommunikáció van, ezért a szenzorok adatait előre rendezni és „csomagolni” kell. A szenzoroktól beolvasott adatok formátuma egész szám (int), ezeket karakterekké (char) alakítja, majd az összes szenzortól beolvasott adatot egyetlen üzenetként, karakterláncba (string) rendezi, pontosvesszővel elválasztva. Az adatokat egy Atmega 328-as mikrokontroller és egy RF434MHz-es vevő fogadja, majd USB csatlakozón keresztül továbbítja a számítógéphez. Az adatok beolvasását és megjelenítését a számítógépre külön megírt C# Windows Form alkalmazás végzi (5.10. ábra)



A robot minden funkciója egy rádióadó-rendszerről is távvezérelhető. A rendszer hat csatornás: a robot irányításához két csatorna szükséges (jobb-bal/előre-hátra), a robotkar vezérléséhez három csatorna kell (forgatás/zárás), az injekció beadása még egy csatornát igényel. Az rendszer működési frekvenciája 35MHz.



5.10. ábra A számítógép kijelzőjén megjelenő kép a robot adataival és a vizsgált terepről készült kép (forrás: Krecht R. díjnyertes dolgozata)

A robotra egy vezeték nélküli IP kamera is van felszerelve, amely élő képet küld a megvizsgált területről illetve az esetleges sérültekről. Amikor elindítjuk a robotot a kamera is bekapcsol és a vezérlőegységhez kapcsolt routeren (számítógépes hálózati útválasztó) keresztül továbbítja a képeket a számítógéphez, ahol a C# Windows Form alkalmazással készített böngészőablak megjeleníti azt. (5.10. ábra)

A robot különlegessége a távvezérelt kar, amely a beépített szenzorok segítségével megméri a sérült testhőmérsékletét, a pulzusát és, ha az orvosi csapat kéri, akkor fertőtleníti és mesterséges adrenalin injekciót ad be, majd újra fertőtleníti. A robotkar és az injekciózó kialakításában tanácskoztunk a helyi kórház két orvosával. Az összes megvizsgált lehetőség közül a toll típusú (adrenalin oldatot tartalmazó előretöltött vagy az inzulin adagolásához használt tollfecskendőpen) injekciózási rendszer bizonyult a legmegbízhatóbbnak és kezelhetőnek. (5.11. ábra).



5.11. ábra Injekciózásra alkalmas tollfecskendő (foto: Krecht R.)

A tűzoltó és életmentő robotokat a helyi katasztrófavédelmi csoport nyílt napján mutattuk be a szakembereknek, egy szimulációs gyakorlat során. A bemutató annyira sikeres volt, hogy javasolták szabadalmaztassuk ezeket az eszközöket.

### Breakthrough és Beamline4schools versenyek

Annak ellenére (vagy éppen azért), hogy a romániai oktatási rendszer elsősorban az elméleti oktatásra összpontosít, nagyon sok diák érdeklődik a gyakorlati alkalmazások és

kísérletező tudományok iránt. Az elmélet tanulása helyett/mellett a diákjaim azt keresik, hogy milyen nem hagyományos út vezet a tudás felé, milyen más lehetőség van arra, hogy hasznosítható ismereteket szerezzenek. A Breakthrough Junior Challenge és Beamline4schools projektek éppen egy ilyen lehetőséget nyújtanak az érdeklődő diákok számára.

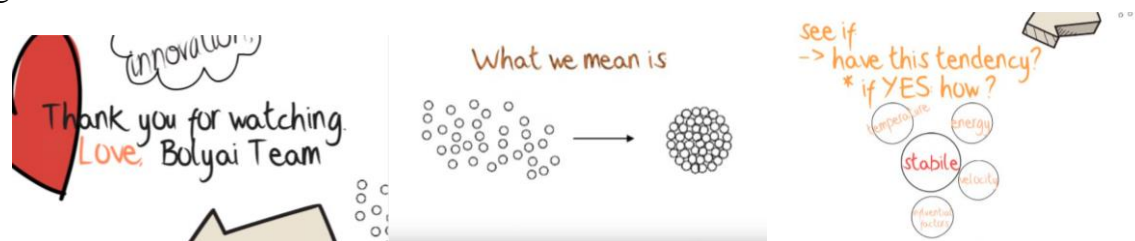
A CERN által meghirdetett verseny arra ösztönzi a diákokat, hogy készítsenek egy kutatási, kísérleti tervet, amellyel valamilyen elemi részecske tulajdonságait, kölcsönhatásait, viselkedését lehet vizsgálni, majd ezt a mérést alkalmazzák a Nagy Hadron Ütköztető (LHC) valamelyik kísérleti egységére. A feladat nagyon sokrétű, mert a benevező diákoknak nem csak alapos ismereteket kell gyűjteniük az elemi részecskékről, hanem tanulmányozniuk kell az LHC detektorait, a részecskegyorsítókat és azok működési elvét, az adatgyűjtés és feldolgozás módozatait ilyen berendezések esetén.

A versenyre való nevezés feltétele egy írott pályázat és egy olyan videó készítése, amely bemutatja a tanulmányozandó feladatot, a kísérleti berendezést, eljárást illetve azt, hogy mire lesz jó a kapott eredmény. Amikor „Bolyai” csapatunkkal, első alkalommal jelentkeztünk a versenyre arra gondoltunk, hogy ez egy remek lehetőség olyan utat kipróbálni, amit egyszerű középiskolás tanóra körülményei között nem lehetett. Nyilván az is motivált, hogy milyen lenne eljutni a CERN-be és ott elvégezni egy komoly mérést.

Az első alkalommal arra voltunk kíváncsiak, hogy a szabad részecskék külső hatásra képeznek-e agglomerátumokat, és hogyan viselkednek ilyen körülmények között. A második projekt a helyi jellegzetességekhez, a mofettákhoz kapcsolódik.

Célunk az, hogy a helyi borvizekből, gyógyforrásokból vett mintát elemezzük összetétel szempontjából és a különböző részecskék viselkedést vizsgáljuk meg a ködkamrában (CLOUD) természetes állapotban illetve erős protonszugár hatása alatt. Tudott tény, hogy a helyi mofetták és gyógyvizek radioaktív részecskéket is tartalmaznak. A kérdés az, hogy ezek a radioaktív összetevők hogyan viselkednek, ha nagy energiájú részecskékkel bombázzuk őket. Milyen bomlási folyamatok mennek végbe? Milyen bomlási részecskék keletkeznek, milyen sebességgel mozognak? Milyen gyakorisággal keletkezik bétabomlás, a keletkező neutrínók detektálhatók? A többféle forrásból vett mintákat elemezve egy radioaktív részecske eloszlási térképet készítünk.

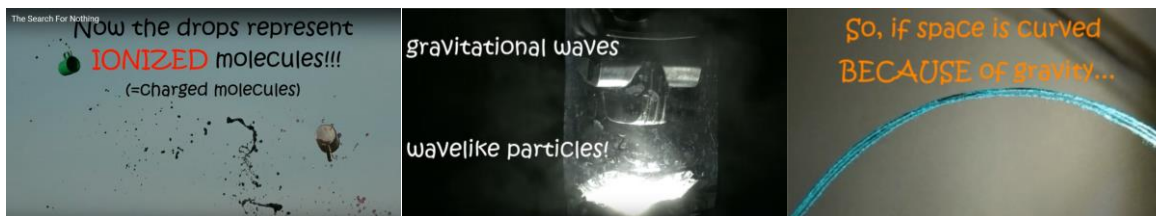
A projekt során fontos megtanulni, hogyan hasznosítsuk a rendelkezésünkre álló forrásokat egy feladat érdekében, és ezáltal egy új nézőpontot alakítsunk ki, amely segít a mikrovilág megértésében.



5.12. ábra A Bolyai-csapat nevezési videója a B4S versenyre (<https://www.youtube.com/watch?v=V2Sj129VObE>)

Breakthrough versenyek célja, hogy a diákok kreatív, ötletes módon dolgozzanak fel egy olyan nehezen érthető témát (fogalom, törvény, jelenség), amely a fizika, matematika vagy a tudományok tárgykörébe tartozik, de egyre többször találkozunk velük mindennapjainkban. A

pontozás alapja: mennyire bonyolult, nehéz témát választottunk, mennyire kreatív, ötletes a magyarázat, mennyire érthető és mennyire újszerű a technikai megoldás. Erre a versenyre két témát dolgoztunk fel a Tudós Klub diákjaival: a semmi fogalmának a magyarázata és a hálózatok modellezése.



5.12. ábra A semmi keresése Bartha-Veres A. pályázata (<https://www.youtube.com/watch?v=5If6fnOONIo>)



5.13. ábra A skálafüggetlen hálózatok- Bakó B. pályázata (<https://www.youtube.com/watch?v=fKSNme3fnL0>)

## Összegzés

A robotok világa mindig ösztönzően hat a diákokra, de ha ezt a kíváncsiságot sikerül tanulási célokra felhasználni, akkor tud igazán eredményes lenni a munkánk. Az elmúlt néhány év során nagyon sokat tanultunk együtt a vezérelhető, feladatorientált eszközökről és már sikerült olyan eszközöket is megépítenünk, amelyek különböző versenyeken díjakat szereztek. A mikrovezérlők világával való ismerkedés és ezek beépítése hasznos, önműködő eszközökbe nagy kihívás, de a kiválóan működő gép nagy örömet jelent.

A versenyekre épülő feladatok színesítik a Tudós Klub munkáját, mert mindig egy teljesen új helyzet elé állítanak. Ez az a pillanat, amikor az iskolában tanultakat egy teljesen új, idegen környezetben kell használni. Az ilyen felhívások mindig ösztönzően hatnak a diákokra és igazi kreatív, felfedező, kutató munkára sarkallják őket, még akkor is ha éppen semmi díjat nem nyernek az adott versenyen.

„A projekt egyik fontos célja az volt, hogy motiváljuk, ösztönözzük a diáktársainkat, hogy vegyenek részt hasonló feladatokban, szerezzenek hasonló tapasztalatokat és élményeket. Egy ilyen feladat megtervezése és a kísérlet elvégzése mindannyiunk életében meghatározó és talán egyedi élmény lehet.”[Kiemelt részlet a Bolyai csapatunk pályázati anyagából.]



## 6. Tudománynépszerűsítés

A tudománynépszerűsítés nemcsak azért fontos, mert a segítségével bemutathatjuk a tudomány érdekes eredményeit, hanem azért is, mert a tudás csak akkor válik igazán értékesé, ha meg is tudjuk osztani másokkal. A „nyitott-ajtós” bemutatókat az iskola nagy előadójában, illetve a Megyei Könyvtárban tartjuk kéthavonta nagy közönség előtt. Rendszeresített programunk egy tudományos előadás a vezetésemmel vagy meghívottként az adott téma elismert szaktekintélyével. Ezt egy interaktív foglalkozás követi a diákok által készített robotokkal, modellező programokkal, saját készítésű eszközökkel. [6, 14, 15]

### 6.1. Tudománynépszerűsítő előadások, tábori műhelymunka

A Bod Péter Megyei Könyvtár Tudás-Élmény-Tapasztalat tudománynépszerűsítő sorozatában néhány éve rendszeresen tartunk foglalkozásokat. Utóbbi témáink az ESA üstökös-vadászat programjához kapcsolódó Rosetta–Philae- program, Mars-kutató roverek, rákkutatás, új részecskék és antianyag, exobolygók kutatása, New Horizon program, stb. voltak. (6.1. ábra). Az iskolai szakkörön készített olyan eszközeiket és alkotásaikat ismertetik a diákok, amelyeket mérésre vagy jelenségek szemléltetésére használunk. A bemutató után együtt mérünk az érdeklődő hallgatósággal, robotokat építünk és programozunk. [w43-w44]

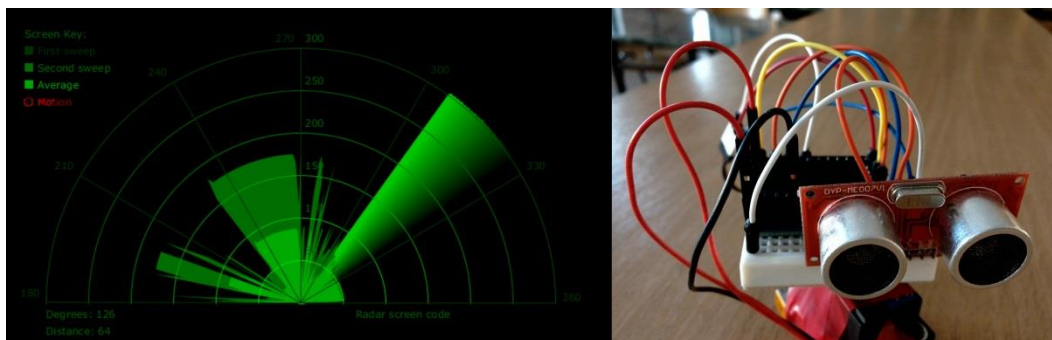


6.1. ábra Tudománynépszerűsítő előadások a Bod Péter Megyei Könyvtárban

(<http://www.kmkt.ro/article/>; w43, w44)

Egyik kedvenc eszköz, amit a bemutatón építettünk meg a távolságmérő radar volt. Ehhez egy Redboard típusú mikrovezérlőt, 2 szervómotort, egy ultrahang szenzort és egy LiPo akkut használtunk. Működési elve a tengeralattjárók szonárjához hasonló, az ultrahangszenzor jeleket bocsájt ki, amelyek az akadályról visszaverődve a képernyőn kirajzolják az objektum körvonalait, programozása Arduino IDE és Processing 3 alapú, hatótávolsága 0-500cm.





6.2. ábra Távolságmérő radar kijelzőjén megjelenő kép (Medgyesi A., Bölöni Cs. és Veres-Vitályos Á. munkája)

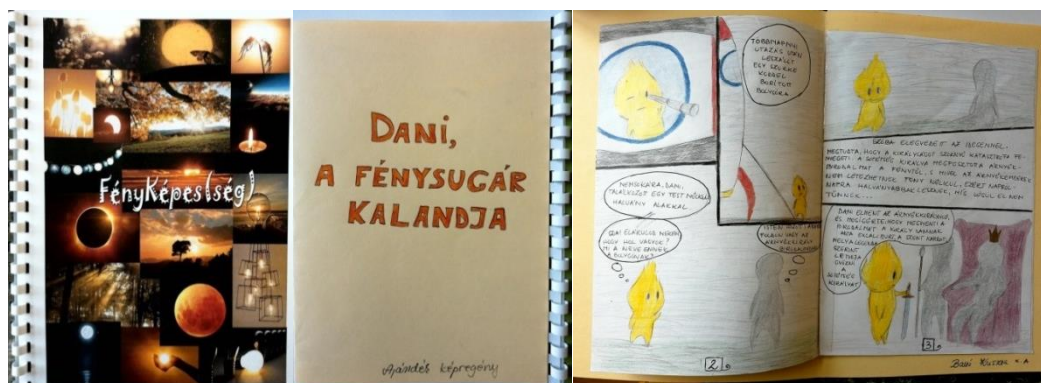
Népszerűsítő munkánk másik fontos eleme a tábori foglalkozások tartása és a nyílt napi bemutatók a város több iskolájában. A foglalkozásainkon elsősorban elemista vagy V-VI-os diákok vesznek részt és a robot ötletétől a megépítésig illetve a programozásig mindent végigcsinálunk. A Tudós Klub 5-6 X-XI-es diákja vezeti a különböző csoportok munkáját, majd a nap végeztével mindenki bemutatja, hogy mit sikerült elkészíteni. (6.3. ábra a Váradi József Általános Iskolában és a bikfalvi táborban tartott foglalkozások)



6.3. ábra. Műhelymunka, tábor a III. és V. osztályos kisdíjakoknak (Váradi József Iskola és Bikfalva, 2016)

A kis és nagy diákok közös munkájának egy másik területe a közös kísérletezés (Tudomány-nap) vagy az „újságszerkesztés”. Ezeket a foglalkozásokat az iskola udvarán vagy valahol a szabadban tartjuk az Iskola Másként projekthét során. A középiskolás diákok egyszerű kísérleteket, jelenségeket mutatnak be, amelyek alapján a kicsik új méréseket találnak ki illetve

rajzos- mesét, történetet írnak a megfigyelt jelenségekről. Ezeket a történeteket, rajzokat és képeket a nagydiákok újsággá szerkesztik, majd bemutatjuk őket az következő előadásokon. A mesékből néhány animációs filmet, videót is készítettünk különféle technikával. Ezzel nemcsak a jelenségek jobb megértéséhez kerülnek közelebb a diákok, hanem közben új eljárásokat tanulnak, okosan hasznosítják az animációs videó készítési programokat. A jól sikerült alkotásokat az iskola Kavarkád újságában is megjelentetjük.



6.4. ábra „Fényújságok” (V. V. Anna és Balló K. munkája)

A minden évben, májusban tartott iskola börze egyik rendszeresített foglalkozása „Az időtlen játék (kissé felturbózva) Lego és Arduino robotok” bemutatója. Ez egy összegző jellegű előadás, amelyen bemutatjuk a tanév során épített minden eszközt, versenyre épített robotot és az eredményeinket. Ezek olyan foglalkozások, ahol mindenki szabadon kérdezhet, és minden kérdésre válaszolunk vagy egy kísérlettel, méréssel vagy egy eszközzel. [w37-38]



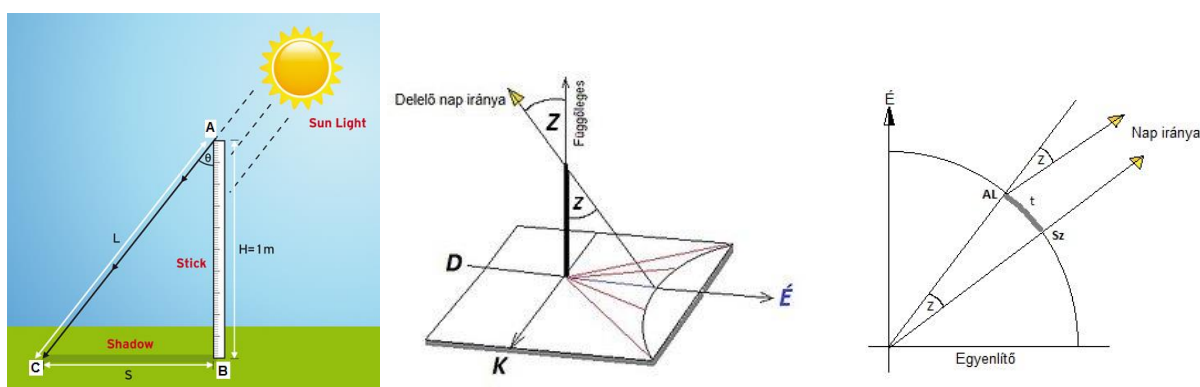
6.5. ábra Arduino és Lego robotok bemutatója a díszteremben (Krecht R, Pünkösti Zs)

## 6.2. A Föld kerületének meghatározása Eratoszthenész módszerrel

Az Eratoszthenész-féle módszer mindenki számára ismert, egyszerű eljárás a Föld sugarának (kerületének) a meghatározásra, de ugyanakkor egy jó lehetőség lehet is arra, hogy felébresszük a tanulók érdeklődését a fizika kutatási módszerei iránt. Ezeket a méréseket az iskola udvarán és a közeli dombon végezzük azokkal a VII-es és IX-es diákokkal, akik geometriai fénytant tanulnak éppen, de úgy, hogy bevonjuk a mérésbe az udvaron játszó kíváncsiskodó elemista diákokat is. A kisdíákok segítenek a mérés elvégzésében, és



megtanulják, hogy a Nap mozgása miként használható fel olyan távolságok meghatározásában, amit másként nem tudunk elvégezni. A foglalkozás során megmutatjuk, hogyan változik az árnyék hossza a Nap helyzetétől függően, hogyan lehet napórát készíteni, milyennek látjuk a Nap relatív mozgását. Az iskola udvarán van néhány kijelölt pont, ahol a napfordulókor, napéjegyenlőségkor mindig elvégezzük a mérést. Ezeken a helyeken pontosan tudjuk követni, az árnyékminta segítségével, a Nap viszonylagos mozgását, amely segít a földrajz és természetismeret órán tanultak rögzítésében, pontosításában. A mérési eredményeket nyílt napokon mutatjuk be a készült fotók és videók kíséretében, illetve a programban résztvevő országok mérési eredményének az összegezését is elvégezzük. A foglalkozást egy feladatlappal kezdjük és fejezzük is be, a fogalmak tisztázására, a tanultak rögzítésére. [36, 3. melléklet]



2.35. ábra A mérés elve (Eratoszthenész-mérése: [http://www.csillagaszat.hu/2016/03/20160301\\_eratosthenes2.jpg](http://www.csillagaszat.hu/2016/03/20160301_eratosthenes2.jpg), [http://users.atw.hu/images/eratosthenesz/meresi\\_elv.jpg](http://users.atw.hu/images/eratosthenesz/meresi_elv.jpg))

Az ábrák alapján nagyon egyszerű a mérési elv és a számolás elvégzése is.

$AB=h$  a mérőrúd hossza,  $BC=s$  a mérőrúd árnyékának a hossza

$$\frac{d_{\text{Egyenlítő}}}{\widehat{CAB}} = \frac{K}{360^\circ} \quad (1)$$

$$\text{de: } \operatorname{tg}(\widehat{CAB}) = \frac{CB}{AB} \text{ ahonnan } \widehat{CAB} = \operatorname{arctg} \frac{CB}{AB} \quad (2)$$

$$K = D_{\text{Föld}} = \frac{2\pi d_E}{\operatorname{arctg} \frac{s}{h}} \quad (3)$$

ebben az esetben a szöget radiánban határozzuk meg;

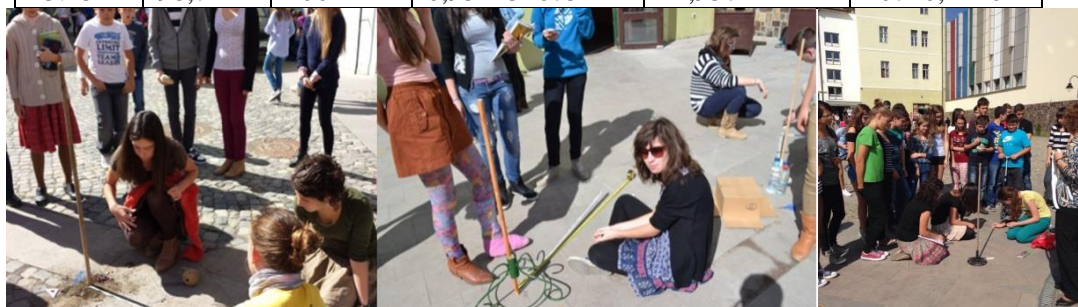
A számítások elvégzéséhez tulajdonképpen egyszerű mértani (derékszögű és hasonló háromszögek) módszereket használunk (ezeket hetedik osztályban tanulják a diákok), megmutatva ezek gyakorlati alkalmazási lehetőségeit.

A tulajdonképpeni árnyékmérést mindig a napfordulókat (június 20, december 21) illetve a napéjegyenlőségeket (március 21, szeptember 22) megelőző és követő napokon végezzük. Napéj egyenlőségkor a sugarak merőlegesek a felszínre ( $\varphi=0^\circ$ ), a Nap az egyenlítő felett delel, napfordulókor pedig a Nap látszólagos évi mozgása során észak-dél illetve fordított irányúvá változik. Nyáron a Ráktérítő felett delel a Nap ( $\varphi=23,26^\circ$ ), télen pedig a Baktérítő felett ( $\varphi=23,26^\circ$ ).

A feladat elkezdése előtt a tanulók dokumentálódnak a mérési módszerről, a Nap delelési időpontjáról a földrajzi helyünknek megfelelően (É45,865351; K25,78755), a világhálón társ iskolákat keresnek, akikkel feldolgozzuk a mérési adatokat. A nemzetközi tanulói hálózat, amelyben 2014 óta veszünk részt, Európa és Amerika több száz iskolájának a diákjait kapcsolja össze erre a közös projektre (legutóbb 118 iskola diákjaival közösen határoztuk meg a Föld kerületét). Nemcsak közös adatfeldolgozást végzünk, hanem online vitafórumokon, beszélgetéseken vesznek részt a diákok, megvitatva a megfigyeléseiket, eredményeiket. Az alábbi mérési eredményeket a Tragaia Senior High School (É 37,06449; K25,48392), görög iskola diákjaival dolgoztuk fel együtt az elmúlt tanévben. (6.1. táblázat)

6.1. Táblázat Az I. csoport mérési adatai 2016. 03. 22. (téli időszakítás)

Időpont	Árnyék	Mérőrúd	Árnyék	Árnyék szög	Föld kerület
hh:mm	s (cm)	h (cm)	$\text{tg}\alpha=s/h$	$\alpha$ (fok)	d(km)
12:59	99,9	106	0,94245283	43,303	39985,94424
13:10	99,2	106	0,935849057	43,102	39917,8
13:12	98,6	106	0,930188679	42,928	40054,51281
13:15	98,7	106	0,931132075	42,957	40740,14264



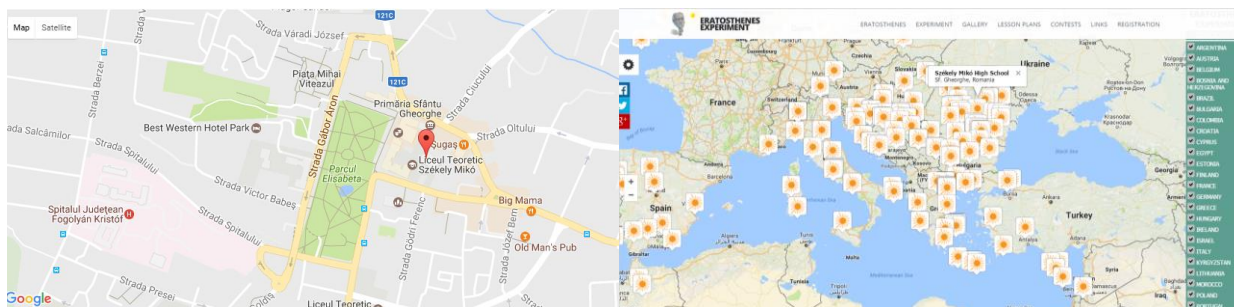
6.6. ábra Eratoszthenész projekt 2015 (tavasz- nyár-ősz).

Ha nem találunk társ iskolát, akik azonos hosszúsági körön vannak velünk, akkor a számításokhoz az egyenlítőől mért távolságunkat használjuk fel, amely 5098km (6.2. táblázat).

6.2. Táblázat A II. csoport mérési adatai 2016. 09. 22. (téli időszakítás)

időpont	L-rúd	árnyék-	tg alfa=	alfa	alfa	Kerület	A föld
(hh:mm:ss)	(cm)	s (cm)	s/L	(radián)	(fok)	(km)	sugara
						szept. 22	R(km)
12:17:23	106,5	107,2	1,00657	0,78867	45,1877	40616	63799,5
12:18:23	106,5	106,3	0,99812	0,78446	44,9462	40834,3	64142,3
12:19:10	106,5	105,9	0,99437	0,78257	44,8381	40932,7	64296,8
12:21:12	106,5	105,8	0,99343	0,7821	44,8111	40957,4	64335,7
12:22:22	106,5	105,7	0,99249	0,78163	44,784	40982,2	64374,6
12:23:41	106,5	105,8	0,99343	0,7821	44,8111	40957,4	64335,7





6.7. ábra A 2016-os Eratosthenész projekten résztvevő iskolák (forrás: <http://eratosthenes.ea.gr/>)

A projekthez egy feladatlap is tartozik, amelynek segítségével tisztázzuk a mérési eljárást, a méréshez kapcsolódó földrajzi, csillagászati és fizikai fogalmakat, tisztázzuk a felszínes vagy téves ismereteket. (3. melléklet)

Az asztrofizikai népszerűsítő foglalkozásaink másik fontos eleme a teleszkópos megfigyelések, asztrofotózás szakemberek bevonásával.

### Értékelés:

A Tudós Klub szakköri munkája, a tudománynépszerűsítő előadások mind olyan lehetőségek, amelyek során a diákok személyisége új környezetben fejlődik, gazdagodik. Ezek azok a területek, ahol a csapatmunka, a felfedezés és az alkotás öröme egészen más értékű lesz, mint a tanórákon. A robotépítés, a programozás olyan izgalmas tanulási alkalmakat biztosít a diákok számára, ahol azok is szívesen vesznek részt, akik nem érnek el jó eredményeket fizikából vagy informatikából. Minden új megépített eszköz egy komplex tanulási folyamat, az ötlet megszületésétől a kész termékig végigjárjuk az alkotás, tervezés, tesztelés, újratervezés, kivitelezés minden egyes tanulási fázisát.

## II. Összegzés

A XXI. század számtalan lehetőséget kínál fel a diák számára minden téren, de mérhetetlen információhalmaza bonyolult feladat elé állítja a középiskolában tanító tanárokat, a fizikát, a tudományokat oktató pedagógusokat különösképpen. A romániai iskolarendszerben nemcsak az információt közlő, képletorientált feladatmegoldásra épülő zsúfolt tantervekkel kell megbirkóznunk, hanem azzal is számolnunk kell, hogy a diákok egyre kevesebb időt hajlandók fordítani hagyományos házi feladat készítésére, tanulásra. Dolgozatomban olyan lehetőségeket mutattam be, amelyeket munkám során eredményesnek találtam. A doktori iskolában és tanári továbbképzéseken tanultakat átdolgoztam, aktualizáltam a tudomány és technika új eredményeinek a felhasználásával, és így alkalmaztam tanóráimon vagy a szakkörön.

Az asztrofizika, részecskefizika, űrkutatás mind olyan területek, amelyekben az utóbbi húsz évben jelentős, meghatározó eredményeket értek el a kutatók, és ma szinte minden technikai alkalmazásban felleljük a nyomaikat. Ezek azok a területek, amelyeknek a tanórai felhasználásával úgy érzem sikerült színesebbé tennem a tanítási, tanulási folyamatot a mindennapi tanári munkámban, valamint lehetővé tették azt, hogy eredményesebben motiváljam a diákjaimat a kutatás, az elmélyülő, értő tanulás irányába.

Az első négy fejezetben olyan módszereket írtam le, amelyeknek a segítségével a modern fizika (részecskefizika, asztrofizika, félvezetők) és a mechanika tanítása sikeres lehet a középiskolában. Az egyszerűsített detektoros nyomelemzés, a detektorépítés vagy sugárzásmérés „láthatóvá teszi a láthatatlant” a diákok számára. Lehetővé teszik számukra, hogy jobban megértsék az atom, atommag felépítését illetve ismerkedjenek azokkal az elemi részecskékkel, amelyek az világmindenség keletkezésére, abban végbemenő folyamatokra adhatnak választ.

A Nap tanulmányozásának segítségével az asztrofizika alapjaihoz jutunk közelebb. A napfoltok követése segít abban, hogy ezáltal leírassuk a Naprendszer központi csillagának a mozgását, összefüggéseket keressünk a napfoltciklusok és az űridőjárás alakulása között. A rendszeres napfoltmegfigyeléssel a tanulók amellet hogy pontos információkat kapnak a foltok mozgásáról, alkalmazzák is a tanórákon tanult elméleteket. Ez a téma kiválóan alkalmas arra, hogy kapcsolatokat teremtsünk más tantárgyak (földrajz, biológia, kémia) óráin szerzett ismeretek és a természetben végbemenő összetett folyamatok között, ezen kívül ösztönzi a közös kutatási projekteket kidolgozását.

Az űrkutatás, mini-műhold építése, CanSat versenyek a modern fizikának a félvezetők fejezetének a gyakorlati alkalmazásai felé irányítja a tanulók figyelmét. A CanSat versenyek adták az alapötletet, de néhány év alatt sikerült kidolgoznom egy olyan módszert, amely tanórákon is használható, segít abban, hogy az elektronika alapjait jobban elsajátítsák a tanulók, miközben érdekes eszközöket építenek.

A becsapódási kráterek és a geomorfológia tanulmányozása elsősorban a mechanika törvényeinek a megértésében segít, de ugyanakkor másfajta, hatékony megközelítés a Naprendszerbeli bolygók, objektumok keletkezésének a magyarázatához.

A szakköri munka a robotépítési, csillagászati feladatokon keresztül jobban megmozgatja a diákok alkotó fantáziáját és arra készíti őket, hogy keressék a következő lépést és a megoldást az egész megértéséhez. A szakköri feladatok biztosítják azt a szabadságot a diák számára, amely során olyan energiákat és rejtett képességeket mozgatnak meg, amely nem kerülhet a felszínre egy hagyományos óra során. Ezáltal az egész tanulási folyamat érdekessé, izgalmassá válik, és jobban átlátják a kutatás, a mérnöki tudományok világát.

A dolgozatomban bemutatott módszerek nemcsak abban segítenek, hogy hatékonyabb legyen a diákok ismeretszerzési munkája, hanem abban is, hogy a tehetséggondozási feladatokat is eredményesebben lássam el. Lényegében, a néhány éve elkezdett munkám első eredményeit összegeztem, és megkerestem azokat az utakat, amelyeken haladva ez a folyamat gazdagítható és bővíthető. A robotika, űrkutatás, részecskefizika tanításához használt eddigi módszereim csak a kezdetét jelentik annak a munkának, amit a hatékony tanítás és tanulás érdekében nap mint végzek, és folytatni fogok a következőkben is.

### III. Summary

Students of the 21<sup>st</sup> century can meet more interesting challenges and exciting opportunities than ever. Nonetheless, the abundance of information in our era of technology places high-school teachers in a challenging situation, especially those teaching sciences. The Romanian school system is not only centred on retaining formulas and information, which is a challenge in itself, but it also faces the challenge of more and more students unwilling to spend time on traditional, individual schoolwork. The aim of this dissertation is to present methods which have proven to be efficient during my work in education. Updated and adapted to new scientific fields, I have applied in my classes the knowledge acquired in teacher training courses and doctoral school, including the extracurricular ones. Astrophysics, Particle Physics, Space Exploration are three fields of science that have witnessed tremendous progress even within the past 20 years. Applying these areas of science in my teaching process, I feel I have managed to make my classes more colourful and have been able to create a motivating learning environment for my students. In addition, involving these subjects has proved to be an aid in sparking students' interest in research, and inquiry- based learning.

The first four chapters discuss new paths in teaching Mechanics and Modern Physics for secondary school students. Building a detector (cloud chamber) and carrying out experiments with this, radioactive radiation measurement and particle trace analysing all serve the purpose of “making the invisible visible”. Consequently, difficult, abstract concepts (for instance: the structure of atoms and nucleus) become more accessible for students. Creating a solid understanding of basic particles can lead to answering questions on a broader scale, such as the birth of the universe and the processes that take place in it.

Another way of for interactive learning is the study of sunspots, which helps to familiarize basic astrophysical concepts. By collecting data of the above-mentioned phenomena, we can describe the Sun's movement, as well as space weather. These measurements can be considered, in fact, as applications of theories learned in class, while also establishing a connection between different subjects (Geography, Biology, Chemistry) and different complex natural processes, and they act as a motivator for developing joint research projects. An example for this would be the CanSat competitions: building a miniature satellite highlights the practical aspects of space research and semi-conductors. Despite being originally inspired by the CanSat competitions, the idea of learning electronics by building devices has been successfully adapted in the classrooms. The study of the craters is especially helpful in understanding the laws of mechanics, but at the same time, it is a different, efficient approach to explain the formation of planets and objects in the Solar System.

Extracurricular activities related to robotics and astronomy trigger students' imagination, prompting them to put together pieces of information in order to arrive at the bigger picture. The non-compulsory aspect of the activities ensures the freedom necessary for bringing previously



latent skills to the surface. Thus, the learning process becomes more self-driven, and as an effect, students gain an insight into the world of research and engineering sciences.

The methods presented in my doctoral paper induce a double set of benefits. On one hand, they assist students in deep, inquiry- based learning. On the other hand, they help me to find and support the most talented students.

To summarize, I have collected the results of a project that I started a few years ago, and considered the possible ways necessary for enriching and broadening the processes described above. The methods applied in teaching space research, robotics and particle physics can be considered only a part of my daily work in an efficient teaching-learning process, and I want to continue in the future.

## IV. Köszönetnyilvánítás

Köszönöm témavezetőmnek dr.Cynolter Gábornak a folyamatos segítő biztatást, ötletet, útbaigazítást és tanácsot, amivel a munkámon végig vezetett, segített abban, hogy jobbá tegyem azt.

Köszönöm dr.Tél Tamásnak, a Fizika Doktori Iskola vezetőjének a támogatását, tanácsait, a sok bátorítást, amelyek segítettek abban, hogy munkámról egy olyan dolgozatot készíthessek, ami hasznos lehet más tanár számára is.

Hálás vagyok a Fizika Doktori Iskola minden tanárának, akik újra eszembe juttatták a tanulás örömét, akik megmutatták számomra nem csak a tudományos világ új útjait, hanem azokat a lehetőségeket is, hogy miként lehet és kell ezeket a középiskolás diákok számára is érthetővé tenni.

Külön köszönöm a Tudós Klub diákjainak a munkáját, azt hogy velük együtt megvalósíthattam sok érdekes ötletet és vonzóbbá tettük a szakköri munkát a többi diák számára is. A Cansat és robotika szakkör diákjai (volt és jelenlegi tagjai): Medgyesi Attila, Veres-Vitályos Álmos, Harkó Csanád, Veres-Vitályos Áron, Bálint Hunor Ferenc, Máté Zsolt, Püskösti Zsolt, Popescu Andrea, Rosu Kriszta, Kovács Gellért Pál, Krecht Rudolf, Vítus Regina, Bölöni Csaba, Boér Sebestyén, Szigeti Botond, Gál Béni, Szabó Richárd, Demeter Ábel, Kovács Hanna, Bakó Bence, Vörös Ábel, Kónya Karola.

Köszönöm a sok segítséget (honlap, e-tananyag készítése) volt tanítványomnak Molnár Botond fizikusnak. Köszönet, Szabó Sinka Sámuel informatika szakos hallgatónak, akivel sok órát töltöttünk nem csak a web-cam laboratory program kipróbálásával, tesztelésével majd alkalmazásával hanem a honlapszerkesztéssel is.

## V. Saját publikációk:

1. Pető M.: Részecskefizikától az Ősrobbanásig, 2012; (html elektronikus oktatási anyag), <http://csodafizika.hu/fiztan/kozkinsc/szakhallg/index.html>
2. eRészecskeFizika, e-tananyag; <http://localhost/epp/>
3. Pető M.: CERN, LHC és a www avagy a részecskefizikától a CT-PET-ig, „Stiintele Naturii” (Természettudományok, Románia) szakfolyóirat, (román-magyar nyelvű), 12/2011, ISSN 1841-7914; (7-11.);
4. Pető M. Differential rotation of the sun using the sunspots, in: Astronomy at our Schools, EAAE-IAU Course on Astronomy Education, Loulé, Portugal, 2016, R. M. Ros, A. Costa (szerk.), konferenciakötet, ISBN: 978-989-99631-0-8, (49-55);
5. Pető M. Rotação diferencial do sol usando as manchas solares, in: Astronomia nas nossas escolas, curso EAAE-IAU para o Ensino da Astronomia, Loulé, Portugal, 2016, Atas, R. M. Ros, A. Costa (szerk), előadáskivonatok, ISBN: 978-989-99631-1-5, (49-55);
6. Pető M. Astronomy and Cosmic Light activity at Székely Mikó Science Club; in: The Universe in the classroom, EAAE-IAU Course on Astronomy Education, Proceedings, London United Kingdom, July 20th-24th, R. M. Ros (szerk), előadáskivonatok, London, 2015, ISBN: 978-84-15771-51-7;
7. Pető M. Napfizika a középiskolában, Juhász A., Tél T. (szerk); Természettudomány tanítása korszerűen és vonzóan, ELTE, Természettudományi Oktatásmódszertani centrum, Budapest, 2011, konferenciakötet, ISBN 978-963-284-224-02; (341-347); <http://csodafizika.hu/fiztan/letolt/konfkotet2011.pdf>
8. Pető M. A napfoltok és napfizika oktatása a középiskolában; EMT Körmöczi János Fizikusnapok, Csíkszereda, 2011. szept. 23-25, konferencia-kiadvány, Horváth E., Pap T., Pap Zs. (szerk.), Kiadó: EMT Kolozsvár, (20-27).
9. Pető M. Experiments with Cansat-in ICPE-EPEC 2013 Conference Proceedings, The International Conference on Physics Education; Active learning - in a changing world of new technologies; Editors: L. Dvořák és V. Koudelková; Prága, 2014, ISBN 978-80-7378-266-5; (766.-774.); [http://www.icpe2013.org/uploads/ICPE-EPEC\\_2013\\_ConferenceProceedings.pdf](http://www.icpe2013.org/uploads/ICPE-EPEC_2013_ConferenceProceedings.pdf)
10. Pető M. Légkörfizika egy üdítő dobozban avagy CanSat12- Juhász A., Tél T. (szerk)-A fizika, matematika és a művészet találkozása az oktatásban, kutatásban, Nemzetközi konferencia magyarul tanító tanárok számára, előadáskivonatok, Eötvös Loránd Tudományegyetem, Fizika Doktori iskola, Budapest, 2013, (272-284.); ISBN 978-963-284-346-9; e- formátum: <http://csodafizika.hu/fiztan/kozkinsc/magypub/pub/kornyezet/cansat.pdf>
11. Pető M. Measuring the speed of light; in: Astronomy at our Schools, EAAE-IAU Course on Astronomy Education, Loulé, Portugal, 2016, R. M. Ros, A. Costa (szerk), konferenciakötet, ISBN: 978-989-99631-0-8, (88.-91.);
12. Pető M. Medição da velocidade da luz; in: Astronomia nas nossas escolas, curso EAAE-IAU para o Ensino da Astronomia, Loulé, Portugal, 2016, Atas, R. M. Ros, A. Costa (szerk), konferenciakötet, ISBN: 978-989-99631-1-5, (88.-91.);

13. Pető M. A kráterképződés tanulmányozása – Juhász A., Tél T. (szerk)-konferencia-kiadvány: „A fizika tanítása tartalmasan és érdekesen”, ELTE, Budapest, 2010, (237-242.). ISBN 978-963-284-150-2, <http://fiztan.phd.elte.hu>
14. Pető M. Robotics, Cansat, Arduino – Physics at Székely Mikó Science Club; Teaching Physics Innovatively New Learning Environments and Methods in Physics Education, Proceedings of the international conference Teaching Physics Innovatively (TPI-15) New Learning Environments and Methods in Physics Education Budapest, 17-19 August, szerk. Király A., Tél T., 2015. ISBN 978-963-284-815-0; (169-174); e-formátum: <http://csodafizika.hu/fiztan/letolt/konfkotet2015.pdf>
15. Pető M. Space research and mini-satellites in secondary school (Űrkutatás és „műholdépítés” a középiskolában), 3<sup>rd</sup> International Conference on research, technology and Education of Space, H-Space 2017. február 9-10., Budapest, (előadás kivonat), ISBN 978-963-7367-12-0.
16. Pető M. Arduino robotics and Cansat Physics; Universal Journal of Educational Research (előkészületben, 2017.)

## Irodalomjegyzék

17. Horváth D.: Higgs bozon, Budapest, Typotex Kiadó, ISBN: 9789632794174, 2014.
18. Pető M. Részecskevadászat a középiskolában, avagy hogyan látjuk a láthatatlant, 56. Fizikatanári Ankét, előadás kivonat, Székesfehérvár, 2013.
19. Patrignani et al. Particle Data Group, Review of Particle Physics, Chinese Physics C, 40, 100001 (2016). <http://pdg.lbl.gov/>
20. M. Voiculescu, I.G. Usoskin, K. Mursula: Different response of clouds to solar input, Geophysical Research Letters, 2006,10.1029/2006GL027820
21. M. Voiculescu, I.G. Usoskin, K. Mursula: Effect of ENSO and volcanic events on the Sun–cloud link, Advances in Space Research, 40-2007, (1140–1145).
22. LHC - the guide, CERN Communication group, June 2010. <http://cdsweb.cern.ch/record/1165534>
23. Gyila S., Csige I. Mérési nehézségek a mofetták kutatásában; 10. Bányászati, Kohászati és Földtani Konferencia. Nagyszeben, Románia, 2008. április 3-6. Szerk.: Wanek F., Gagyai Pállfy A., Kolozsvár, Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság, 2008, (148-152);
24. Are cold winters in Europe associated with low solar activity? M. Lockwood, R. G. Harrison, T. Woollings, S. K. Solanki; IOP Publishing Ltd.; 2010 Environmental Research Letter, 5/021001; <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/5/2/024001>



25. An influence of solar spectral variations on radiative forcing of climate, J.D. Haigh, A.R. Winning, R. Toumi, J.W. Harder; Nature nr. 467, 07 October 2010, pp.696–699; [http://www.nature.com/articles/nature09426.epdf?referrer\\_access](http://www.nature.com/articles/nature09426.epdf?referrer_access)
26. ESAC SOHO Science Archive tutorial, editors: L. Sanchez, D. Baines, P. Osasuna, ESAC Science Archives and Virtual Observatory Team, 2014; <http://www.sciops.esa.int>
27. Stellar process and evolution, Teacher's Notes Booklet 5; ESA Science Educational Support, 2005, <http://sci.esa.int/education/37857-teacher-notes-5/>
28. Eyes on the Skies- 400 years of Telescopic Discovery, Editors: G. Schilling, L. Lindberg Christensen; Wiley-VCH Verlag, Darmstadt. ISBN 978-3-527-40865-8.
29. ESA Science Educational Support, Teacher Notes- Stellar Distances, editors: A. Brumfitt, Ch. Lawton, K. O'Flaherty, ESA, 2005, <http://sci.esa.int/teachernotes>
30. M. Rees: Csak hat szám - Az univerzumot kialakító erők, Vince kiadó, Budapest, 2001.
31. Pető M. Arguments for teaching astronomy, Proceedings – Adventures in teaching astronomy, EAAE-IAU Course on Astronomy Education, Madrid, Spain, ISBN: 978-84-937604-0-3. 2009.
32. Pető M. How can we explain the birth of craters on the Moon or Mars?, Proceedings- 1st ESO-EAAE Astronomy Summer School- Strategies for effective teaching Astronomy, Garching, Germany, 2007. ISBN: 978-84-611-7944-2.
33. Adventures in teaching Astronomy- EAAE-IAU Course on Astronomy Education, Proceedings, editor: R. M. Ros, Madrid, Spain, Antares production & Distribution, 2009. ISBN: 978-84-937604-0-3.
34. 1st ESO-EAAE Astronomy Summer School, Proceedings; editor: R. M. Ros, Garching, Germany, 2007. ISBN: 978-84-611-7944-2. <http://www.eaae-astronomy.org/workshops>
35. European Association for Astronomy Education, International Summer School, Course Proceedings, editor: R. M. Ros, Utrecht, The Netherlands, 2004. Unitat de Formacio de Formadors Universitat Politecnica de Catalunya, ISBN 84-933274-4-1.
36. Exercises in Astronomy, Teachers Booklet 1-6, ESA/ESO Astronomy Excercise series, 2005, <http://sci.esa.int/education/35011-exercises-in-astronomy/>
37. The CanSat book - ESA, NAROM (Norwegian Centre for Space-related Education)-e-könyv: [https://www.narom.no/bilder/bilde1\\_20130826154135.pdf](https://www.narom.no/bilder/bilde1_20130826154135.pdf)
38. European Cansat Competition Tips for Teams; European Space Agency Education Office, e-könyv: [http://esamultimedia.esa.int/docs/edu/Tips\\_for\\_teams\\_2015.pdf](http://esamultimedia.esa.int/docs/edu/Tips_for_teams_2015.pdf)
39. Fizika, szerk. Holics L., Akadémiai Kiadó, Budapest, 2011,
40. Szabó J, Borsy Z: Csillagászati földrajz, Tankönyvkiadó, Budapest, 1991.
41. Juhász A., Tasnádi P: Érdekes anyagok, anyagi érdekességek; Akadémiai Kiadó, Budapest, 1992
42. R. Petrianu, A. Velcu: Elemente practice de baza in dezvoltarea sistemelor cu microprocesoare integrate (Basic knowledge to developing microcontroller-based devices; román nyelven), Tehno Media, Sibiu, ISBN 978-606-616-140-4; 2014.

43. Curs Arduino si robotica (Arduino and robotic lessons for beginners), Robofun, Bukarest, 2013. (román nyelven) ISBN 978-606-616-167-1; 2015.
44. R. Petrianu: 10 (zece) proiecte cu Arduino (Ten Arduino projects; román nyelven), Tehno Media, Sibiu, ISBN 978-606-616-167-1; 2015.

**A műhelyfoglalkozásokhoz felhasznált adatbázisok, képek és honlapok jegyzéke:**

- w1. [http://www.physicsmasterclasses.org/index.php?cat=teachers\\_educators](http://www.physicsmasterclasses.org/index.php?cat=teachers_educators)  
[http://atlas.physicsmasterclasses.org/en/wpath\\_data.php](http://atlas.physicsmasterclasses.org/en/wpath_data.php)
- w2. <https://www.i2u2.org/elab/cms/ispy-webgl/>
- w3. [http://www.physicsmasterclasses.org/index.php?cat=local\\_organisation&page=measurements#atlas](http://www.physicsmasterclasses.org/index.php?cat=local_organisation&page=measurements#atlas)
- w4. <http://education.web.cern.ch/education/Chapter2/Teaching/PP.html>
- w5. <http://education.web.cern.ch/education/Chapter2/Teaching/experimental.html>
- w6. <http://atlas.ch/students-teachers.html>
- w7. <https://project-physicsteaching.web.cern.ch/project-hysicsteaching/hungarian/lectures.htm>
- w8. <http://beamline-for-schools.web.cern.ch/beamline-schools-proposal-submission-2017>
- w9. <http://ippog.web.cern.ch/>
- w10. <http://pdg.lbl.gov/>
- w11. [http://www.esa.int/Education/Teachers\\_Corner/Cloud\\_chamber\\_-\\_radioactivity\\_in\\_a\\_cosmic\\_setting\\_Teach\\_with\\_space\\_P03](http://www.esa.int/Education/Teachers_Corner/Cloud_chamber_-_radioactivity_in_a_cosmic_setting_Teach_with_space_P03)
- w12. [http://www.esa.int/Education/Teachers\\_Corner/Science\\_ESA\\_Episode\\_8\\_The\\_Sun\\_our\\_local\\_star](http://www.esa.int/Education/Teachers_Corner/Science_ESA_Episode_8_The_Sun_our_local_star)
- w13. <https://solarmonitor.org>
- w14. [http://www.lmsal.com/get\\_aia\\_data/](http://www.lmsal.com/get_aia_data/)
- w15. [http://iris.lmsal.com/iristoday/?iristoday\\_date](http://iris.lmsal.com/iristoday/?iristoday_date)
- w16. <https://sdo.gsfc.nasa.gov/data/dataaccess.php>
- w17. [http://sdownwww.lmsal.com/suntoday\\_v2/index.html?suntoday\\_date](http://sdownwww.lmsal.com/suntoday_v2/index.html?suntoday_date)
- w18. <https://solarscience.msfc.nasa.gov/>
- w19. [http://mlso.hao.ucar.edu/mlso\\_datasum](http://mlso.hao.ucar.edu/mlso_datasum)
- w20. <http://termtud.akg.hu/okt/7/idojaras/3vizlegkorben.htm>
- w21. <https://www2.hao.ucar.edu/hao-science/science-feature/beyond-sunspots-studies-using-mcintosh-archive-global-solar-magnetic>
- w22. <http://solarscience.msfc.nasa.gov/SunspotCycle.shtml>
- w23. [http://solarscience.msfc.nasa.gov/images/Zurich\\_Color\\_Small.jpg](http://solarscience.msfc.nasa.gov/images/Zurich_Color_Small.jpg)
- w24. <http://www.sidc.be/silso/ssngraphics>
- w25. <http://lasp.colorado.edu/home/sorce/>
- w26. <http://www.nature.com/nature/journal/v467/n7316/full/nature09426.html>
- w27. <http://www.nature.com/news/2010/101006/full/news.2010.519.html>
- w28. <http://earthsci.org/fossils/space/craters/impact/imp.html>
- w29. <http://www.atmel.com/Images/doc8161.pdf>
- w30. <https://www.sparkfun.com/products/9689>
- w31. [http://www.ob121.com/hard\\_sensor.html](http://www.ob121.com/hard_sensor.html)

- w32. [http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412A/2011\\_0079\\_jobbagy\\_orvosbiologiai/ch02.html](http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412A/2011_0079_jobbagy_orvosbiologiai/ch02.html)
- w33. <https://www.elnec.com/sw/30277d.pdf>
- w34. [http://www.esa.int/spaceinvideos/Videos/2014/07/Gravity\\_wells\\_-\\_classroom\\_demonstration\\_video\\_VP04](http://www.esa.int/spaceinvideos/Videos/2014/07/Gravity_wells_-_classroom_demonstration_video_VP04)
- w35. <http://tamop412a.ttk.pte.hu/files/kornyezettan9/www/out/html-chunks/ch01s06.html#d6e616>
- w36. <http://eratosthenes2014.ea.gr/en/content/activity>
- w37. <http://www.szekelymikokollegium.ro/index.php?csapat=28>
- w38. [http://www.szekelymikokollegium.ro/index.php?vm=6&cikk\\_id=68](http://www.szekelymikokollegium.ro/index.php?vm=6&cikk_id=68)
- w39. <http://www.szekelymikokollegium.ro/index.php?csapat=39>
- w40. <https://www.youtube.com/watch?v=5If6fnOONIo>
- w41. <https://www.youtube.com/watch?v=fKSNme3fnL0>
- w42. <https://www.youtube.com/watch?v=V2Sj129VObE>
- w43. [http://www.kmkt.ro/article/344\\_ore\\_de\\_fizica\\_in\\_biblioteca\\_-\\_prezentari\\_stiintifice/;](http://www.kmkt.ro/article/344_ore_de_fizica_in_biblioteca_-_prezentari_stiintifice/)  
[http://www.kmkt.ro/article/281\\_universul\\_in\\_mic\\_si\\_in\\_mare\\_prezentari\\_stiintifice/](http://www.kmkt.ro/article/281_universul_in_mic_si_in_mare_prezentari_stiintifice/)
- w44. [http://www.kmkt.ro/article/315\\_prelegere\\_a\\_lui\\_balazsi\\_gabor\\_despre\\_cercetarile\\_din\\_biolologia\\_sintetica\\_privind\\_cancerul/](http://www.kmkt.ro/article/315_prelegere_a_lui_balazsi_gabor_despre_cercetarile_din_biolologia_sintetica_privind_cancerul/)
- w45. <http://www.antarcticglaciers.org/glacial-geology/dating-glacial-sediments-2/cosmic-rays/>

## VI. Függelék

### 1.A részecskefizika feladatlapok és a megoldásához használt összefoglaló táblázatok [19]

Néhány elemi részecske alapvető tulajdonsága

Részecskecsalád/részecske		Elektromos töltés (Q)	Barion - szám (B)	Ritkaság (S)	Spin (s)	Nyugalmi energia/tömeg ( $m_0c^2$ -MeV);	Közepes élettartam (s)	Jellemző bomlási mód	antirészecske
Leptonok	Elektron ( $e^-$ )	-1	0	0	1/2	0,51	$\infty$	stabil	Pozitron - $e^+$
	Müion ( $\mu^-$ )	-1	0	0	1/2	105,6	$2,2 \cdot 10^{-6}$	$\mu^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e + \nu_\mu$	$\mu^+$
	Tau ( $\tau^-$ )	-1	0	0	1/2	1777	$3 \cdot 10^{-13}$	$\tau^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e + \nu_\tau$ $\tau^- \rightarrow \mu^- + \bar{\nu}_\mu + \nu_\tau$	$\tau^+$
	Neutrínók ( $\nu$ ) - minden leptomnak van megfelelő neutrínója	0	0	0	1/2	Nagyon kicsi (?)	$\infty$	stabil	$\bar{\nu}$ - minden antileptonnak van megfelelő antineutrínója
Mezonok	Töltött pion- $\pi^+$ ( $u\bar{d}$ )	+1	0	0	0	139,57018	$2,6033 \cdot 10^{-8}$	$\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu$	$\pi^-$ ( $d\bar{u}$ )
	Semleges pion - $\pi^0$	0	0	0	0	134,9766	$8,52 \cdot 10^{-17}$	$\pi^0 \rightarrow \gamma + \gamma$	$\pi^0$
	Töltött kaon - $K^+$ ( $u\bar{s}$ )	+1	0	+1	0	493,677	$1,238 \cdot 10^{-8}$	$K^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu$	$K^-$ ( $s\bar{u}$ )
	Semleges kaon- $K^0$ ( $d\bar{s}$ )	0	0	+1	0	497,614	$K_s^0 - 0,8954 \cdot 10^{-10}$ $K_L^0 - 5,116 \cdot 10^{-8}$	$K_s^0 \rightarrow \pi^+ + \pi^-$ $K_s^0 \rightarrow \pi^0 + \pi^0$ $K_L^0 \rightarrow \pi^- + e^+ + \nu_e$ $K_L^0 \rightarrow \pi^+ + e^- + \bar{\nu}_e$	$K^0$ ( $s\bar{d}$ )
	Semleges eta - $\eta^0$	0	0	0	0	547,862	$\sim 10^{-22}$	$\eta^0 \rightarrow 2\gamma$ ; $\eta^0 \rightarrow 3\pi^0$	$\eta^0$
	Üpsziilon - $\Upsilon$ ( $b\bar{b}$ )	0	0	0	0	9460,30	$1,3 \cdot 10^{-20}$	$\Upsilon \rightarrow \tau^+ \tau^-$ ; $\Upsilon \rightarrow \mu^+ \mu^-$ ; $e^+ e^-$	$\Upsilon$
	J/pszi - $J/\Psi$ ( $c\bar{c}$ )	0	0	0	0	3096,916	$0,8 \cdot 10^{-20}$	$J/\Psi \rightarrow e^+ + e^-$ vagy $\mu^+ \mu^-$	$J/\Psi$
Barionok	Proton - p ( $uud$ )	+1	+1	0	1/2	938,3	$\infty$	stabil	$\bar{p}$ ( $\bar{u}\bar{u}\bar{d}$ )
	Neutron - n ( $ddu$ )	0	+1	0	1/2	939,6	917	$n \rightarrow p^+ + e^- + \bar{\nu}_e$	$\bar{n}$ ( $\bar{d}\bar{d}\bar{u}$ )
Hiperonok	Lambda - $\Lambda^0$ ( $uds$ )	0	+1	-1	1/2	1115,683	$2,5895 \cdot 10^{-10}$	$\Lambda^0 \rightarrow p + \pi^-$	$\bar{\Lambda}^0$
	Szigma - $\Sigma^+$ ( $uus$ )	+1	+1	-1	1/2	1189,37	$0,8018 \cdot 10^{-10}$	$\Sigma^+ \rightarrow p + \pi^0$ $\Sigma^+ \rightarrow n + \pi^+$	$\bar{\Sigma}^+$
	Szigma - $\Sigma^-$ ( $dds$ )	-1	+1	-1	1/2	1197,449	$1,479 \cdot 10^{-10}$	$\Sigma^- \rightarrow n + \pi^-$	$\bar{\Sigma}^-$
	Szigma - $\Sigma^0$ ( $uds$ )	0	+1	-1	1/2	1192	$7,4 \cdot 10^{-20}$	$\Sigma^0 \rightarrow \gamma + \Lambda^0$	$\bar{\Sigma}^0$
	Kszi - $\Xi^0$ ( $uss$ )	0	+1	-2	1/2	1314,86	$2,9 \cdot 10^{-10}$	$\Xi^0 \rightarrow \pi^0 + \Lambda^0$	$\bar{\Xi}^0$
	Kszi - $\Xi^-$ ( $dss$ )	-1	+1	-2	1/2	1321,71	$1,64 \cdot 10^{-10}$	$\Xi^- \rightarrow \pi^- + \Lambda^0$	$\bar{\Xi}^-$
	Omega - $\Omega^-$ ( $sss$ )	-1	+1	-3	3/2	1672,45	$0,821 \cdot 10^{-10}$	$\Omega^- \rightarrow K^- + \Lambda^0$ $\Omega^- \rightarrow \pi^- + \Xi^0$	$\bar{\Omega}^-$

Az elemi részecskék osztályozása nyugalmi tömegük szerint

Nincs tömegük	foton ( $\gamma$ )		
Könnyű részecskék	Leptonok		elektron ( $e^-$ ); müion ( $\mu$ ); tau ( $\tau$ ); neutrínók ( $\nu$ )
	Nehéz részecskék	Hadronok	Mezonok
Barionok			Bájós és ritka nukleon
		hiperonok	$\Lambda^0; \Omega^-; \Sigma^0; \Sigma^+; \Sigma^-; \Xi^-; \Xi^0;$



Az alapvető kölcsönhatások összefoglaló táblázata

Kölcsönhatás	Közvetítő bozon	A bozon nyugalmi tömege	Töltés/tulajdonság	Mire fejt ki hatást	Hatótávolság (m)	Relatív erősség
erős	8 – glüon; ( $\pi^-$ csere)	0	Szintöltés SU (3)	Kvarkokra, glüonokra, hadronokra	$10^{-15}$	1
gyenge	$Z^0$ ; $W^-$ ; $W^+$ ;	91,187GeV 80,385GeV	gyenge töltés/kvark-íz	minden fermionra	$10^{-18}$	$10^{-6}$
Elektromágneses	foton	0 ( $<10^{-18}$ eV)	elektromos töltés	Elektromosan töltött részecskékre	$\infty$	1/137
gravitációs	graviton	0 ( $<10^{-32}$ eV)	tömeg	Minden tömegre	$\infty$	$6 \cdot 10^{-39}$

**2. A Cansat és robotépítési szakkörön felhasznált szenzorok általános jellemzői, adatlapok, amelyek alapján az áramköröket megterveztük és megépítettük**

**a). LM 335- Philips hőmérsékletszenzor**

Az LM 335- Philips hőmérsékletszenzort, amely (-15°C, 25°C) között mér, azért választottuk, mert ennek a mérési paraméterei leginkább megfeleltek a norvégiai illetve itthoni mérési körülményeknek, alacsony fogyasztású és jól illik a többi alkatrészhez.

1. táblázat. Az LM335-ös hőmérsékletszenzor jellemzői

Paraméterek	Feltételek	LM335
kilépési feszültség	$400\mu A \leq I_R \leq 5mA$	3mV; max. 14mV
dinamikus impedancia	$I_R = 1mA$	0,6 $\Omega$
a hőmérséklet kilépési feszültségi együtthatója		+10mV/°C
mérési időegység	nyugalomban levő levegő esetén $v=0,5m/s$ sebességgel áramló levegő esetén,	80s. 10s.
mérési stabilitás	TC=125°C	0,2°C/

**b). MPX4115A nyomásszenzor:**

Működési jellemzői: mérési határ (15-115)kPa

Minimális nyomásra adott válasz feszültség: (0,135-0,273) V<sub>-</sub>

Maximális nyomásra adott válasz feszültség: (4,521-4,659) V<sub>-</sub>

Érzékenység: 45,9mV/kPa

Válaszidő: 1,00ms

Várakozási idő: 20ms

**c). Adattovábbítási, kommunikációs modul**

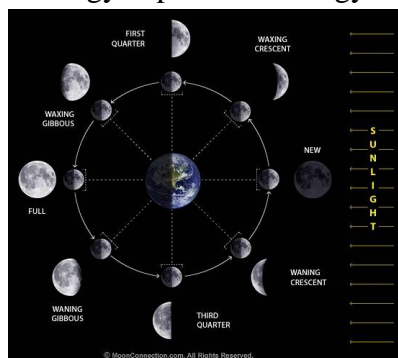
Az SPI egy nagy sebességű háromvezetékes soros szinkron átviteli rendszer: DI (adatbemenet), DO (adatkiemenet) és CLK (órjel). Az SPI alkalmas egy számítógép, mikrovezérlő és a



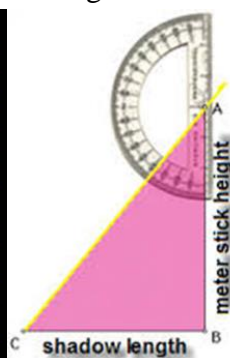


6. feladathoz

7. Hogyan magyarázhatók a Hold fázisai?
8. Mikor van a helyi dél vagy napdelelés? Magyarázd meg a választ.



9. Feladathoz

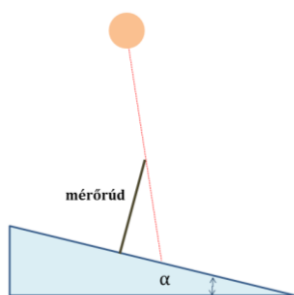


10. feladathoz

10. Eratoszthenész a mérések elvégzésekor a következőket feltételezte: a Föld nem lapos és a fénysugarak párhuzamosan érkeznek a felszínre. Mit figyelhetnénk meg napdeleléskor, abban az esetben, ha a Föld felszíne lapos lenne és a fénysugarak merőlegesen érkeznének a felszínre?

11. Egy egyszerű függőleges mérőrúddal, hogyan határozhatók meg az égtájak? Mit kell ehhez tenni? Ha elvégezték a mérést, akkor keressétek meg mikor lesz az árnyék hossza a legrövidebb. Ennek a mérésnek az adatait rajzoljátok le méretarányosan a munkalapra, készítsétek így egy háromszöget. Határozzátok meg az AC és AB oldalak által közrezárt szöveget. Ismerve az iskola távolságát az egyenlítőtől ( $d=5098,2\text{km}$ ) az adatokat írjátok be a képletbe és számítsátok ki a Föld kerületét.

$$\frac{d_{\text{Egyenlítő}}}{\widehat{CAB}} = \frac{K}{360^\circ} \quad \text{tg}(\widehat{CAB}) = \frac{CB}{AB} \quad \text{ahonnan } \widehat{CAB} = \arctg \frac{CB}{AB}$$



12. feladathoz

12. Mi történik, ha így helyezzük el a mérőrúdat? Milyen mérési hibát követtek el így? Indokoljátok meg a választ? Mit jelent az, hogy „helyi függőleges”? Hogyan határozható ez meg?

13. Nézzétek meg a projektben résztvevő néhány ország mérési adatainak az összefoglaló táblázatát. Keressétek kapcsolat az azonos hosszúsági körön levő települések mérési adatai (árnyékhosszúság) és a Föld geoid alakjának magyarázata között.

Adatfeldolgozás. Értékelés (2017)



## Részecskefizika és asztrofizika a középiskolában

Dátum	Időpont	É-Szélesség	K- hosszúság	alfa (fok)	D-egyenlítő (km)	Kerület - hosszúsági kör (km)	Iskola
márc. 21.	12:25:22	41,124392	25,4134656	41,3477772	4577	39850,26794	2nd Minority Primary School of Komotini
márc. 21.	12:23:00	47,1804356	23,0546996	47,20259816	5228	39872,38146	Simion Barnutiu Iskola, Zilah
márc. 21.	12:35:02	37,9731758	23,7300964	37,086808	4178,12	40556,82549	1st Experimental Middle School Athen
márc. 21.	12:32:01	38,0632861	23,770564	35,678347	4178,12	42157,87239	4th Junior High School Metamorphosis Athen
márc. 21.	12:39:58	38,527839	21,534268	37,73987109	4235,38	40401,21908	Junior High School of Gavalou, Etoloakarnania
márc. 21.	12:27:02	40,5714985	22,9915155	40,331257	4516,743	40316,80639	American Farm School Thessaloniki
márc. 21.	12:35:22	43,1965416	23,2843208	43,53119928	4801,63	39709,1472	Ivan Vazov High School Varshetz
márc. 21.	11:43:02	44,4430873	21,4786309	43,83086062	4951,17	40665,89555	Jovan Serbanovic Primary School Ranovac
márc. 21.	11:43:20	35,1174916	32,4312992	34,840944	3897,403	40270,58164	Polis Chrysochos and Primary School of Argaka
márc. 21.	12:23:02	37,6724079	26,8314886	36,8698977	4028	39329,64533	Primary School of Pagondas, Samos
márc. 21.	12:35:12	37,9731758	23,7300964	43,92017685	4948	40557,21374	Goga Ionescu Tehnological School, Titu
márc. 21.	11:43:02	47,8764187	21,8389535	46,3721	5340,43	41459,29988	Nagykálló Rubic Cube
márc. 21.	12:37:02	39,3514895	22,9653955	44,1275428	4333,17	35350,73791	2th Junior High School of Volos
márc. 21.	11:52:00	34,9210562	33,5943943	34,8476603	3900,43	40294,09114	Verginas Lyceum Larnaca, Cyprus
márc. 21.	13:27:02	54,730624	25,222258	53,066667	6002,66	40721,56256	A. Puskin School Vilnius
márc. 21.	12:38:22	35,0121382	25,74267	34,56321	3903,11	40653,61985	1st Gymnasium of Ierapetra
márc. 21.	12:25:22	41,120885	25,3945407	39,86188142	4466,46	40337,42369	3rd Junior High School Komotini, Greece
márc. 21.	11:25:34	65,3209478	25,3641722	63,25641	6956,16	39588,36108	Valtari Upper Comprehensive School, Finland
márc. 21.	12:23:53	45,865334	25,7884361	45,59456	5098,2	40253,74957	Székely Miko High School Sf. Gheorghe
márc. 21.	12:40:00	36,8968443	25,9768596	36,129444	4029,318	40148,81823	Elementary School of Aigiali-Tholaria Amorgos, Greece
márc. 21.	12:25:22	41,124392	25,4134656	41,18	4577	40012,62749	2nd Minority Primary School of Komotini
átlag						<b>40119,4356</b>	Sugár= <b>6385,2064km</b> (gömbszerű test)

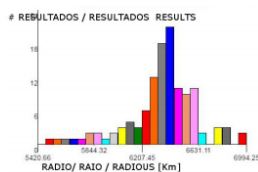


Fig. 1. Histogram corresponding to the values obtained for the terrestrial radius. The horizontal axis corresponds to the values of the radii in km. The vertical axis is the number of results in the corresponding interval.

The average value of the data is  $R = 6.363\text{km}$  and standard deviation  $S = 262\text{km}$ . The standard error of mean  $Sp$ .  $S$  obtained by dividing by the square root of the number of measurements, it turns  $Sp = 24\text{km}$ .

$$R = (6.360 \pm 20) \text{ km}$$

Only statistical errors were considered, as we have not asked schools to report on the estimates of the errors of their measurements. Indeed, in many cases the schools did not discuss this issue, considering that has a level of complexity too high to discuss in class.

According tabulated values the Earth's radius is  $R = 6371 \text{ km}$ , very close to the value obtained.

A 2016-os Nemzetközi Eratoszthenész mérésünk hivatalos értékelése (forrás: <http://difusion.df.uba.ar/Erat/>)

#### 4. Tudománynpszerűsítés- Tudós Klub Nemzetközi konferenciákon:

4.1. Science Club and Astronomy at Székely Mikó Secondary School. Astronomy Education Alliance Meeting - European Planetary Science Congress 2014 and Global Hands-On Universe. 2014, Estoril, Portugália;

**SCIENCE CLUB AND ASTRONOMY at Székely Mikó High School**  
 Pető Mária  
 Székely Mikó High School, St. George

#### Science Club

**Science Club activities**

1. Measuring the diameter of the Sun
2. CanSat programme
3. Study of the Sunspots
4. Eratosthenes measurement
5. Robot building
6. Measuring the speed of the light
7. Globe at night/ Orion hunting
8. Astro-nights
9. Science Day programme
10. Particle Physics masterclass

**Science Days at the school**  
First week of April

1. Project presentation: Our craters are similar with Moon craters?- Study of the impact craters
2. Lego-robots. Arduino and Raspberry
3. Amazing science-Experiments with home made tools
4. Fire and rescue Robot
5. Studying the quality of the minerals waters in our region
6. Measurement: Diameter of the Sun and spectra
7. Studying the rotation of the Sun with Aladin or JHelviewer

#### Measurements and robotics

Diameter of the Sun and spectra

Build solar system in the lab

Project presentation: Our craters are similar with Moon craters?- Study the impact craters

Firebot and lego robots

#### Minisatellite project

cansats in europe 2012 european competition - boljai team

cansats in europe 2012 european competition - boljai team

Percentage during the ascent landing  $\theta$  (rad/s)

Temperature during the landing  $T$  (K)

cansats in europe 2012 european competition - boljai team

Air pollution PM10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

CanSat flying diagram

#### Speed of light

Measuring the speed of electromagnetic waves

Measuring results

$a$ (deg)	0.382151	0.388516	0.329877	average
$c$ ( $10^8$ m/s)	2.616766	2.713584	3.051431	2.787264
$\theta$	0.221698	0.31883	0.3508146	average
$t$ ( $10^6$ ms)	3.314702	3.13644	2.850206	3.033882

$f = \frac{c}{\lambda}$ , fix  $\lambda$ , time,  $a$ -distance (d)

#### Astrophysics project

„Astro-night presentation”

KÍSÉRLETEK EMBERKÖZELBEN

Előadások és bemutató

11. évfolyamos tanulókat

Galilei Arén termében

2013. november 8-án

17.00 óra

Robotok és miniatűr a kollégiumban

Az űrrepülés története

CERN avagy Nobel-díjas részecskék a gyorskörben

11. évfolyamos tanulókat

17.00 óra

#### Celebrate the Science

„Amazing Science” Science Day

Web-cam Project

kollegium@gmail.com

http://www.szekelymikocollgium.ro



4.2. Astronomy and Cosmic Light activity at Székely Mikó Science Club; The Universe in the classroom, EAAE-IAU Course on Astronomy Education, London, United Kingdom, July 20<sup>th</sup>-24<sup>th</sup>, 2015.

# Székely Mikó Science Club Activity

## Mária Pető

### Székely Mikó High School, Sf. Gheorghe



---

#### Light speed measurement

527TH CanSat

Last year we built an experiment to measure the speed of electromagnetic waves. We propose to study its dependency from pressure, temperature and humidity. The device included: two emitter-receivers (ER), the CanSat (coke-can-sized-satellite) sensors for pressure, humidity and temperature, communication unit and Arduino board connected all to a computer. With a Quadrocopter we elevated the cansat measuring device up to (400-500)m, established a wireless radio connection between the CanSat and signal emitter-receiver. We recorded a lot of overtrick data from the CanSat and radio wave emitters (ER); we compared them and calculated the speed of electromagnetic waves based on the overtrick time of the signal. We plotted the mean-flight time for each measurement as function the distance between ER-s and calculated the speed of the electromagnetic waves. For each measurement we changed the distance between the ER-s 5 times. So we recorded data from 5 different distances more 100 minutes, this means more than one million data. Our average result was acceptable:  $c=2,85783 \cdot 10^8$  m/s.



Our measuring device at camp near our town.



The mean flight time for the EM- waves between the two ER-s.



Pressure and humidity dependency

dist. of ER	1	2	3	4	5
Time (s)	700.847	726.400	750.470	775.220	799.220
Pressure (atm)	0.9320797	0.9348811	0.9368140	average	
Humid	1.1077740	1.1147722	1.1204312	1.1250900	1.1297484

$f(x)=ax+b$ ;  
 $f(x)$ - mean flight time  
 $x$ - distance between ER-s (d)






**Eratosthenes-measurement and IYL 2015**


Our school took part in the "Global Eratosthenes IYL 2015" programme, and we made measurements from June 2014 to March 2015 several times to determine the perimeter of the Earth. This project is a special opportunity for the students to study astronomy, geography, physics and IT during outdoor activities in a funny way. In this project I involved more than 65 students organized in mixed groups, from 7<sup>th</sup> grade to 10<sup>th</sup> grade.

Measuring the perimeter of the Earth ... 2014-2015.








This schoolear my students edited few brochure dedicated to IYL 2015. This publications are short presentations about they experiments and researches with light.

#### Robotics

At the Science Club we built a couple of robots which participated at several contests: WRO2014, RoboChallenge, Robotics-workshop, etc. For the WRO2014 we made a service rover which operates at the surface of an imaginary planet. This robot checks for bad Solar panels and replaces them with good ones. The wicked panels later are transported to the storage. A second robot follows the coloured track and collects soil sample for analysis and detects the fire sources near the route. With these robots we organised interactive presentations and workshops for primary school students.



WRO2014, Mars service robot



LEGO-NXT Mindstorm



European CanSat contest held by ESA and NAROM at Andoya Rocket Range



Tracking robot for RoboChallenge contest

#### Astro-watching at school yard.

Space, space research, satellites, galaxies, exoplanets are all notions that are interesting to almost everyone but they seem very distant and inaccessible. This is just the appearance, because even the 9<sup>th</sup> or 10<sup>th</sup> grade students' knowledge, curiosity, fantasy and inquisitive attitude are enough to bring these notions closer, into the classroom during the lessons or outdoor activities. I think it's easier to understand a theory that is a bit more complex than the classical, idealistic models but it describes the nature far more realistically. Our experiment with the mini satellite, Science and Astronomy Day, astro-watching programmes could help the students to understand more the theory also could be an excellent exemplification for new teaching opportunities.



Astro Day – 25th April 2015.

#### Watching the Moon .




The most fascinating special activities are the astro-photo camps with Csere Mihály astro photographer



NGC6888 and Messier 33 with 1503 Kuopio Asteroid





Sponsors. Contact: rkollegium@yahoo.com