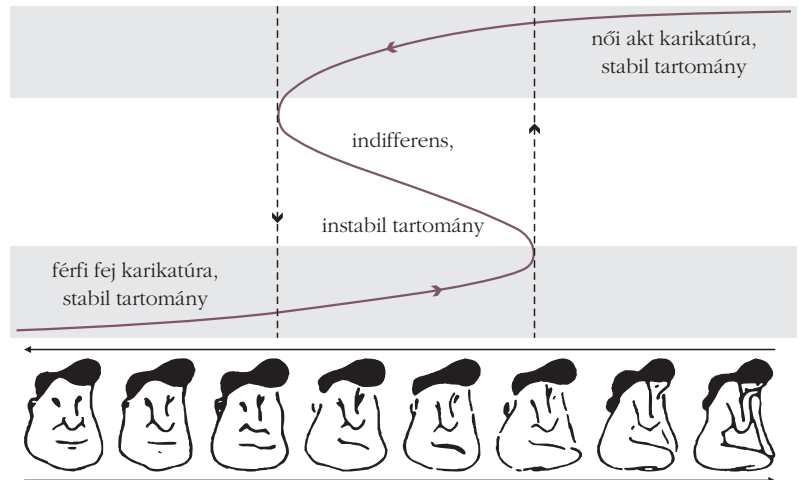


a) hiszterézisgörbe



b) vizuális (kognitív) hiszterézis

5. ábra. A hiszterézis jelensége.

jobbra jelenítjük meg őket – a közepén levő rajzokon más figurát érzékelünk (jobbról-balra sorrendben női akt figurát, balról-jobbra sorrendben pedig férfi fej karikatúrát látunk). Az 5.b ábra értelmezése rávilágít arra, hogy agyunk vizuális információfeldolgozása (a fentiekkel analógiában) tipikus hiszterézis-jellegű viselkedést mutat. A hiszterézis jelensége azonban a gondolkodás manipulációjának is alapja. A [16] videón remek, mulatságos példát láthatunk arra, hogy megfelelő kérdéssorral gondolkodásunk miként vezérelhető a megfelelő irányba, ugyanarra az eldöntendő kérdésre ellentétes választ kaphatunk, ha más irányú kérdéssorozatokkal jutunk el hozzá.

Irodalom

1. <http://csodafizika.hu/szimulaciok.zip>
2. Nagy P., Tasnádi P.: Parrondo paradoxon – avagy a kevert stratégiák csodája. *Fizikai Szemle* 63/2 (2013) 37–42., http://fizikaiszemle.hu/archivum/fsz1302/NagyP_TasnadiP.pdf

3. <http://csodafizika.hu/parrondo/>
4. http://csodafizika.hu/parrondo/store/parrondo_lepcso.avi
5. <http://arxiv.org/pdf/cond-mat/9810326.pdf>
6. Czírók A., Csahók Z., Derényi I., Vicsek T.: Biológiai mozgások statisztikai fizikai modelljei. *Fizikai Szemle* 46/6 (1996) 189.
7. <http://parrondoparadox.blogspot.co.uk/>
8. <http://www.sais.se/mthprize/2002/almberg2002.pdf>
9. http://www.cmth.bnl.gov/~maslov/optimal_investment_ijtaf.pdf
10. Jávor M., Geszti T.: Kollektív döntéseket hozni – hogyan látja ezt a szociofizika. *Fizikai Szemle* 66/2 (2016) 59–64., http://fizikaiszemle.hu/archivum/fsz1602/JavorM_GesztiT.pdf
11. K. Jimbo, H. Takamura, M. Okumura: Solving Crossword Puzzles Using Extended Potts Model. In H. Hattori et al. (eds.): *New Frontiers in Artificial Intelligence*. JSAI 2008 Conference, LNAI 5447, 39–47, 2009. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, http://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-642-00609-8_5#page-1
12. <http://cserti.web.elte.hu/okt/MonteCarlo-cikk.pdf>
13. <https://ccl.northwestern.edu/netlogo/>
14. <http://www.lassp.cornell.edu/sethna/OrderParameters/>
15. <http://jaced.com/2010/10/01/spinning-cat-illusion/>
16. http://indavideo.hu/video/Tudat_manipulacio

ÚRKUTATÁSSAL A SZERETHETŐBB FIZIKÁÉRT

Komáromi Annamária

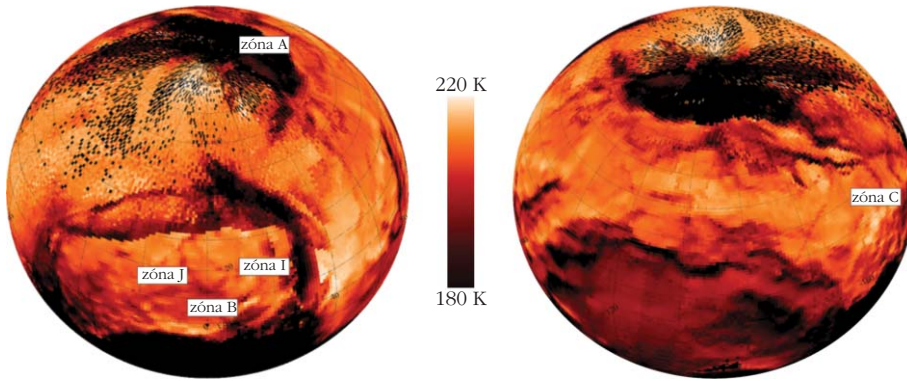
Balassi Bálint Nyolcévfolyamos Gimnázium

Első hallásra talán merész vállalkozásnak tűnik, hogy többek között műholdak, űrszondák segítségével il-



Komáromi Annamária fizikatanár doktori fokozat megszerzésére készül az ELTE Fizika Doktori Iskola Fizika Tanítása program keretében. Angol, olasz és magyar nyelvű publikációinak és előadásainak fő témái az űrkutatás fizikaoktatásba való nagyobb mértékű bevonása és a részecskefizika népszerűsítése. Tagja a Magyar Asztronautikai Társaságnak és az Eötvös Társulatnak. A Skylab űrállomás modelljén bemutatott hővédőernyő-kísérletével bekerült az európai Science on Stage 2017 fesztiválra.

lusztráljuk és magyarázzuk a középiskolai fizika tananyag nagy fejezeteinek alapvető törvényszerűségeit. Azonban, ha jobban belegondolunk, tanításunk során ezek az eszközök meglepően sok területen segíthetnek bennünket. Az űrkutatás révén olyan jelenségekről is egyre bővülő ismereteket kaphatunk, amelyek meghatározó szereplői Földünk további sorsának. Ennek ellenére az űrkutatás mindeddig nagyon szerény mértékben volt jelen az iskolai tantervekben, s csak mostanában kezd hangsúlyosabb szerepet kapni. Külön figyelmet fordítok arra, hogy minél többet hivatkozzak az Európai Űrügynökség (ESA) CubeSat programjának keretében, oktatási céllal készült első ma-



1. ábra. A 67P Csurjumov–Geraszimenko üstökös hőterképe, a zónák a leszállóegység szóba jehető landolási helyei [1].

gyar műholdra, a Masat-1-re, hiszen ez a műhold hazánk büszkesége. Tekintettel arra, hogy tervezői nagyrészt egyetemista diákok voltak, akik csak néhány évvel idősebbek a középiskolás korosztálynál, részletesebb tárgyalásával talán közelebb lehet hozni a természettudományokat a diákokhoz. A fizika tanítása során nagyon fontosak a kísérletek. A Masat-1-nek azért is helye van a fizikaórán, mert általa egy rendkívül sikeres diákkísérletnek lehetünk részesei.

Ebben a cikkben a fizika egy olyan témakörében mutatom be az űrkutatás – ezen belül a mesterséges égitestek – tananyagba történő beillesztését, illetve a tananyag megértését segítő alkalmazását, amelyben ez első ránézésre – talán – nem tűnik nyilvánvalónak, s ez a hőtan.

Hőmérséklet a Földön és az „égben”

A hőmérséklet fogalmának bevezetését követően egy on-line internetes műholdkövető honlap (www.n2yo.com) tanórai bemutatása közben feltehetjük a kérdést, mekkora hőmérsékletű térben keringenek a műholdak, illetve mekkora lehet a mesterséges hold külső felületének, valamint belső terének, berendezéseinek hőmérséklete. Mondjuk el, hogy a mesterséges égitestek rendkívül nagy külső hőmérsékleti tartományban kell, hogy jól működjenek. Ekkor megbeszélhetjük a diákokkal, nem mindegy, hogy a műhold keringése során – bár abban a magasságban a hőmérséklet közel állandó – melyik oldala néz a Nap felé: az árnyékos és napos oldal között jó néhány száz fok eltérés is lehetne, éppen ezért szokták forgatni a műholdat, hogy anyagában ne lépjenek fel akkora mechanikai feszültségek, amelyek a műhold meghibásodásához vezethetnének. A már említett CubeSat program „pikomű-

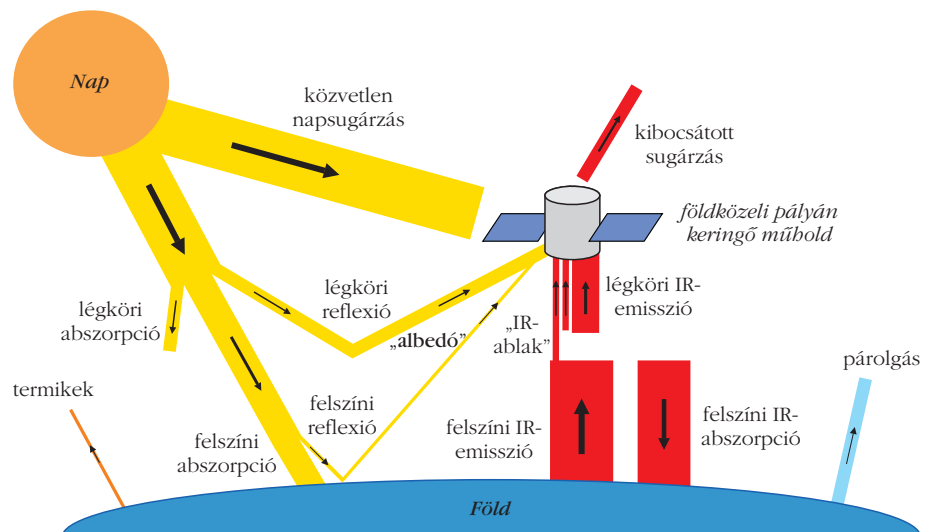
holdjai” közül például a teljes életciklusában (2012. február 13. – 2015. január 9.) kitűnően működő Masat-1-nél folyamatosan figyelték a belső hőmérsékletét is, és amikor $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ alá süllyedt, akkor elindult a fűtés, hogy védje az érzékeny akkumulátort. Fűtésre olyankor volt szükség, amikor a Masat-1 a Föld árnyékában tartózkodott, és így az oldal-lapjait borító napelemek nem tudták hasznosítani a Nap energiáját.

Még mindig a hőmérséklet fogalmánál maradván a mesterséges holdak felhasználási területei között megemlíthetjük, hogy az utóbbi években segítenek a vulkánkitörések előrejelzésében is, ugyanis vulkánkitörés előtt megemelkedik a kráter fölött a hőmérséklet, és ezt műholdas távérzékeléssel ki lehet mutatni. Ki lehet vetíteni – érdekességképpen – a Rosetta-űrszonda által 2014 augusztusában a 67P Csurjumov–Geraszimenko üstökösről készített hőterképet (1. ábra) [1]. Ez a hőterkép segített kijelölni a Philae leszállásának helyét, hogy a terület ne legyen se túl hideg, se túl meleg. Az üstökösrag túl hideg területén nem várható jelentős gáz- és porkibocsátás – amit érdekes lenne megfigyelni, megmérni –, illetve a túl meleg területen túl sok a kibocsátott por és ez veszélyt jelent a leszállóegység műszereire, berendezéseire, napelemeire.

Hőterjedés

A hő terjedésének módjait (hőáramlás, hővezetés és hősugárzás) felsorolva, megbeszélhetjük, hogy ezek közül melyik nem lehetséges a világűrben. A hősugárzás illusztrálásához célszerű kivetíteni a 2. ábrát.

2. ábra. Földközeli pályán keringő műholdat érő sugárzások a [2] alapján.



Az ábrán jól lehet elemezni a műholdat érő különböző hősugárzásokat. Egyúttal lehetőség nyílik a planetáris albedó fogalmának tisztázására is, amely ugyan nem tananyag, de hasznos megemlíteni. Az ábra továbbá felhívja a diákok figyelmét arra, hogy minden test hőt sugároz ki magából, amely tény *Kirchhoff* már a 19. században megállapította.

Fényvisszaverő, hővédő „napernyő” – a Skylab űrállomás hővédelme

Az Apollo-program során már megépített, de megmaradt Saturn V hordozórakéta S-IVB harmadik fokozatából alakították ki az első amerikai űrállomást, a Skylabet, amelyet 1973-ban – még személyzet nélkül – juttattak földkörüli pályára. Indításakor azonban az egyik napelemtábla leszakadt és megsérült a hővédő burkolat. A megmaradt fél napelemtábla nem adott elegendő energiát az űrállomás „klimatizálásához”, a hővédő pajzs hiánya ráadásul fokozta az űrállomás felfűtődését. Az első személyzet űrséta során egy – magával vitt fényvisszaverő és hőszigetelő – „napernyőt” nyitott ki és helyezte el az űrállomáson kívül, megfelelő helyen. Ennek következtében az űrállomás belső tere az üzemi hőmérsékletre csökkent és az így elviselhetővé vált hőmérsékleten megkezdődhetett a munka a fedélzetén [3]. A Skylab „napernyője” három rétegű volt: a Nap felőli felső rétege alumínium bevonatú mylar (erősített poliészterfilm), középső rétege laminált, hasadásnak ellenálló nylon, legalsó rétege pedig vékony nylon. Iskolai kísérlettel – egyszerű hőmérsékletméréssel – földi körülmények között is szemléltetni tudjuk azt, hogy egy hővédő ernyő miként védheti meg a mögötte levő tárgyakat egy hőforrás, például egy hősugárzó hőjétől.

Hőtágulás

Ebben a témakörben – miután elvégezzük az alapkísérleteket – ismét érdemes képzeletben kilépni a világrűrbe. Tanulságos azon feladat megtárgyalása, hogy hány százalékkal volt kisebb a Masat-1 éleinek a hossza, felszíne és térfogata a keringése közben, amikor hőmérséklete elérte a kritikus 5 °C -ot, ha feltételezzük, hogy a startnál 25 °C volt a környezet hőmérséklete. A feladat első ránézésre könnyen megoldhatónak tűnik, hiszen ha megadjuk a vázát képező fém anyagát, a függvénytáblázatból már kinézhető annak hőtágulási együtthatója. Közöljük, hogy 1 mm vastag speciális repülőgép-alumíniumból készítették a műholdat, majd beszéljük meg a tanulókkal, hogy tekintsünk el a speciális jelzőtől, számoljunk egyszerűen az alumíniummal. A diákok között van olyan, aki ezután a szokott képletbe behelyettesít, majd a számolás végeztével úgy gondolja, rendben megoldotta a feladatot. Néhányan talán elolvassák a táblázat felső sora fölött levő zárójeles megjegyzést, mely szerint ezek az adatok $101\,325\text{ Pa}$ nyomáson, azaz

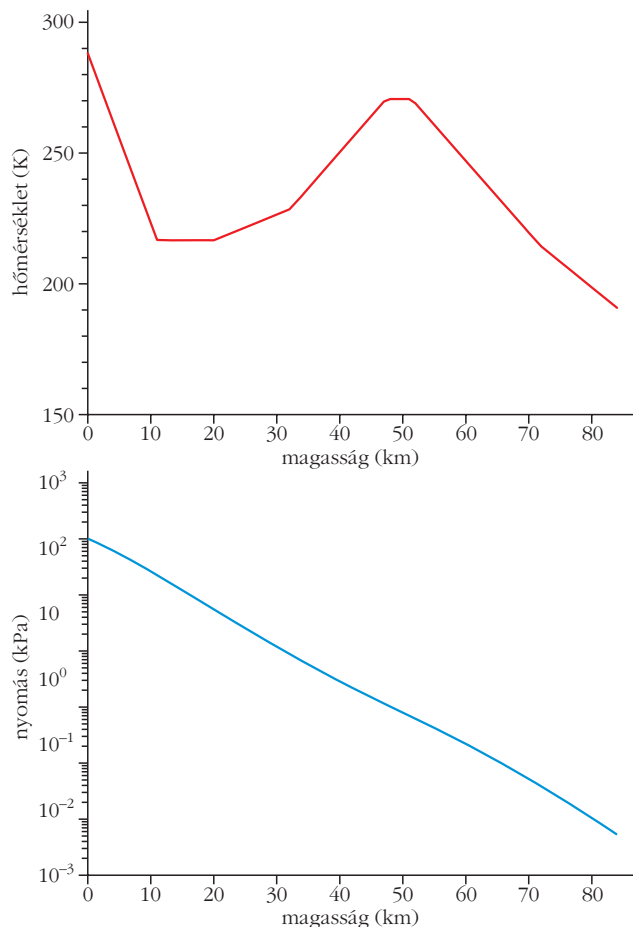
csak normál légköri nyomáson érvényesek, tehát az eredmény nem csak azért lehet különböző a valóságtól, mert nem a speciális alumíniummal számoltunk, hanem a nyomás eltérése miatt is. Ezt elemezve határozottabban tudjuk megbeszélni, a tervezők számára milyen nagy műszaki kihívás a műhold építő elemeit úgy megválasztani, hogy az illesztéseknél, a forrasztásoknál, az integrált áramkörök belső kötéseinél az űrben se legyen probléma.

Itt megemlíthetjük az űrtechnika fogalmát, amelynek keretén belül azok a kutatások és fejlesztések történnének, amelyek lehetővé teszik az űreszközök űrbéli működését. Példaként elmondhatjuk, hogy az űrtechnika fejlődésének köszönhetően a VesselSat-2 30 cm -es élhosszúságú kocka alakú műholdnál sikerült elérni, hogy a pálya mentén végighaladva a belső hőmérséklet ingadozása 1 °C -nál ne legyen több, illetve a Föld Nap körüli keringéséből adódó naptávolsági, illetve napközeli besugárzásból eredő hőmérséklet-ingadozás sem több 6 °C -nál [4]. A diákokat például azzal is motiválhatjuk, hogy elmondjuk, az említett műhold fedélzeti digitális modulátorát magyar űripari cég készítette.

Gáztörvények

A gáztörvények kapcsán érdemes foglalkoznunk a Föld légkörével. Ismertethetjük, hogy a mérések alapján a légkört alkotó gázok sűrűsége a magasság függvényében exponenciálisan csökken. Szakkörön részletesebben is megbeszélhetjük, hogy a barometrikus magasságformula szerint homogén gravitációs térben, állandónak tekinthető hőmérsékleten, a tengerszinttől felfelé haladva a nyomás is exponenciálisan csökken. Hívjuk fel a diákok figyelmét arra, hogy exponenciális összefüggések grafikus megjelenítése során célszerű logaritmikus skálát használni (3. ábra). Az ábra két grafikonját (hőmérséklet-magasság, illetve nyomás-magasság) együtt elemezve, első ránézésre ellentmondásba kerülünk az állandó hőmérsékletre vonatkozó előbbi feltételünkkel. A grafikonokat figyelmebben megvizsgálva azonban látható, hogy arányai-ban a hőmérséklet-ingadozás messze eltörpül a nyomás változásához képest, másrészt a nyomást ábrázoló görbén ki lehet venni az „enyhe hullámzást” (két alig észrevehető domborulat) a hőmérséklet változásainak megfelelően. Szintén kutatómunka lehet, hogy milyen okok húzódnak meg a hőmérséklet ingadozása mögött.

Az órán elmondjuk azt is, hogy a légkörnek nincs meghatározható felső határa. A részecskesűrűség közelítőleg $300\text{--}400\text{ km}$ magasságban éri el a Naprendszer bolygóközi részecskesűrűségének igen alacsony értékét. Itt említsük meg, hogy a műholdpályák magassága is legalább ekkora kell legyen ahhoz, hogy e műholdak zavartalanul működhessenek. Érdemes kis kitérőt tennünk a Marsra és a Vénuszra. Ezen Föld típusú bolygók teljes kémiai összetétele nagyon hasonló a Földéhez, a fő légköri összetevőjük viszont a CO_2 . A Mars légköre



3. ábra. A légkör hőmérsékletének és nyomásának változása a magasság függvényében a <http://www.pdas.com/atmosTable1SI.html> adatai alapján.

annyira ritka, hogy csak 0,7-0,9 kPa a felszíni légnyomás, a Vénusz felszínén ezzel szemben a légköri nyomás 9,2 MPa. Gyakorló feladatként a diákokkal kiszámoltathatjuk, hogy az óceánban milyen mélyen lenne ekkora a hidrosztatikai nyomás. Az említett két bolygó nemcsak felszíni légköri nyomásában tér el jelentősen a Földtől, hanem hőmérsékletében is. Az átlagos hőmérséklet a Marson 218 K, a Vénusz felszínén 730 K.

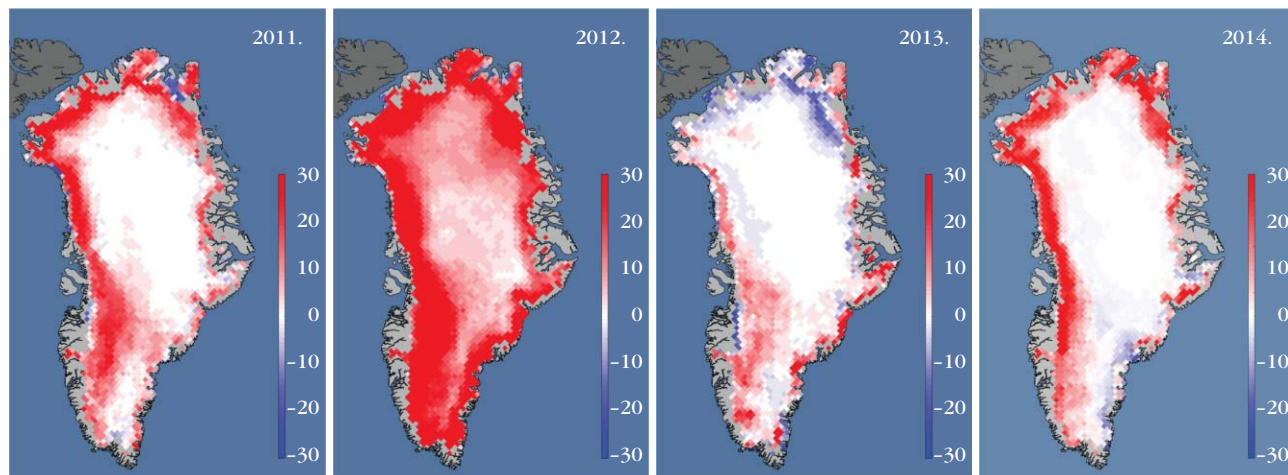
Halmazállapot-változás, éghajlatváltozás

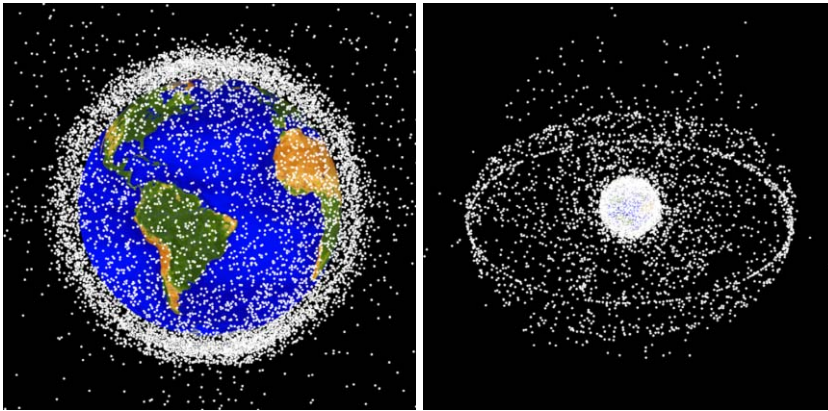
A termodinamikában vizsgáljuk a halmazállapot-változásokat. A 21. század fizikaóráján nem tehetjük meg, hogy az olvadásról például csak a főzőpohárban levő jég olvadása kapcsán beszéljünk. A halmazállapot-változás kapcsán felvetődhet az állandó jégtakarók nagyságának csökkenése, és így szóba kerülhet a klímaváltozás. Itt megint segítségünkre vannak a mesterséges holdak, amelyek segítségével évről évre vizsgálják az állandó jégtakarók alakulását. Az 4. ábrán a grönlandi jégtakaró esetében figyelhetjük meg négy egymást követő évben, hogy a különböző területeken a sok éves átlaghoz képest hány napon át volt olvadt a jég.

Az ábra alapján megállapíthatjuk: ahhoz, hogy éghajlatváltozásról lehessen beszélni, és az erre vonatkozó prognózist fel lehessen állítani, feltétlenül szükséges a folyamatos, hosszú távú adatgyűjtés. Ugyanis, mint az itt is látható, a folyamatok rövid távú mintavételezés alapján nem értelmezhetők, illetve téves következtetések vonhatók le. A kutatók az éghajlatváltozásra vonatkozó előrejelzéseiket hosszú távon gyűjtött adatok alapján elkészített modellek segítségével fogalmazzák meg. Mivel a modellek különböznek, így eltérések adódnak a különböző kutatási központok „jóslatai” között.

Beszélnünk arról is, hogy az adatokat különböző jellegű mérőállomásokon lehet regisztrálni. Két alapvető csoportot különböztethetünk meg: felszíni bázisú és űrbázisú mérések. A műholdak mérései jelentős szerepet töltenek be a klímaváltozás-modellek megalkotásában. A meteorológiai műholdakkal megfigyelhetjük a felhőzetet, a levegő páratartalmát, a légmozgásokat, valamint a felszín hőmérsékletét. Ezen adatok alapján születnek – többek között – az időjárás előrejelzések. A mesterséges holdak komoly előnye, hogy egy időben nagy területet látnak. Erre korábban egyetlen módszer sem volt alkalmas. Fizikátörténeti érdekességként elmondhatjuk, hogy az első meteorológiai műholdat 1960-ban helyezték Föld körüli pályára.

4. ábra. Olvadásos napok anomáliája Grönlandon 2011 és 2014 között [5].





5. ábra. Űrszemét a Föld körül közel és távol.

A termodinamika első főtétele és az űrszemét

A termodinamika első főtételének tanításakor rávezetjük a diákokat, hogy abban igazából az energia megmaradásának törvényét fogalmazzuk meg. A törvény jobb megértését szolgálja, ha minél szélesebb területről veszünk példákat. Nézzük meg, hogy a műholdak esetében milyen példát hozhatunk fel a törvény érvényességének bizonyítására. Probléma felvetése: tekintsünk egy geostacionárius műholdat. Együtt kering a Földdel, így a műholdat és a Földet zárt rendszernek tekinthetjük, amelyben a műhold és a Föld között fellépő gravitációs erő belső erő. Miért nem mond ellent ez az „örökmozgás” a termodinamika I. főtételének, amely tulajdonképpen az energia megmaradásának általánosabb törvénye? Valószínűleg azonnal érkeznek a válasz a diákoktól, hogy a műholdak nem maradnak örökké pályájukon, előbb-utóbb a sűrűlódás következtében (amely ugyan nagyon kismértékű az érintett magasságokban és ezért lehet sokáig eltekinteni tőle) összenergiájuk csökken, ezzel keringési magasságuk is kisebb lesz, idővel bekerülnek a Föld légkörébe. A növekvő sűrűlódás (közegellenállás) hatására bekövetkező légkörbe kerülés és megsemmisülés a műholdaknál időben nagyon eltérő hosszúságú folyamat lehet. Így előfordulhat, hogy egy már működésképtelen műhold évekig, esetleg évtizedekig is kering még az űrben. Meglepő példa erre az ESA ENVISAT földmegfigyelő műholdja, amely előrejelzések szerint még 150 évig „kísért” majd. Ez a probléma a huszonegyedik században egy újabb kihívást jelent az űrkutatók számára. A sokasodó űrszeméttel ma már feltétlenül foglalkozni kell, a 2013-as adatok alapján a félmilliót is meghaladja a Föld körül keringő kisebb nagyobb űrtörmelék. Fizikaórán is érdemes beszélni róla, és a téma érdekessége miatt biztosan van olyan diák, aki szívesen elmélyed az „űrszemétben”. A 5. ábrán illusztrációt láthatunk a Földün-

ket körülvevő sokasodó űrszemétről [6], a 6. ábra pedig a Föld körül keringő nyilvántartott mesterséges objektumok számának érzékelteti [7].

Az ESA honlapján egy 2014. júniusi hírben megemlítik, hogy az Európai Űrügynökség új, érdekes módszert próbál kidolgozni az űrszemét begyűjtésére [8]. Ez egy ősi vadászási technikához való visszatérést jelent: szígonnyal próbálnák levadászni a már működésképtelen és irányíthatatlan űreszközöket. A világűrben keringő irányíthatatlan objektumok kapcsán a diákokban is felmerülhet a kérdés, hogy mi történik akkor, ha

összeütköznek? Az űrszemét hihetetlenül nagy mennyisége ellenére számítások alátámasztják, hogy az ütközés valószínűsége nagyon kicsi.

Az említett űrkutatási vonatkozásokat tanításomban folyamatosan változtatom, bővítem, hogy ezzel színesítsem a fizika tananyagot. Fontosnak tartom, hogy olyan diákok is közelebbi információkat szerezzenek az űrkutatásról, akik egészen más területen képzelik el továbbtanulásukat, hiszen századunkban az űrkutatás egyre nagyobb hatással van mindennapi életünkre is.

Irodalom

1. <http://blogs.esa.int/rosetta/2014/09/08/virtis-maps-comet-hot-spots/>
2. Jánosi Imre, Tél Tamás: *Bevezetés a környezeti áramlások fizikájába*. Typotex, Budapest, 2012; http://etananyag.ttk.elte.hu/FiLeS/downloads/EJ-Janosi-Tel_kornyaram.pdf
3. <http://history.nasa.gov/SP-4208/ch14.htm>
4. http://www.urvilag.hu/hazai_kutathelyek_es_uripar/20140109_vesselsat2_a_hibatlan_keteves
5. <http://nsidc.org/greenland-today/2015/01/2014-melt-season-in-review>
6. http://www.nasa.gov/mission_pages/station/news/orbital_debris.html#.VQWyJo5wspk
7. www.oosa.unvienna.org/pdf/pres/stsc2011/tech-31.pdf
8. http://www.esa.int/spaceinimages/Images/2014/06/Harpoon_used_to_capture_a_satellite

6. ábra. Egyre sokasodó űrszemét.

