

Az üvegházgázok légkörmelegítő hatását a GWP (global warming potential) értékkel jellemezhetjük. A szén-dioxid GWP-értékét 1-nek definiálták. Az adott gázra jellemző GWP-érték azt jelenti, hogy e gáz hányszor annyi energiát nyel el adott idő alatt, mint az ugyanakkora tömegű szén-dioxid ugyanannyi idő alatt [6]. A GWP-értékek az időtartamtól is függenek, általában a 20 vagy a 100 évre vonatkozó értékeket használják. (Az időfüggés oka, hogy a különböző gázok légköri koncentrációja az idő múlásával nem ugyanolyan mértékben csökken.) A legtöbb CFC-, HCFC- és HFC-vegyület GWP-értéke általában több ezer. A legújabb, „környezetbarát” klímaberendezésekben az R32 (difluormetán, CH_2F_2) klímagáz található, aminek GWP-értéke csak 675. (Ez még mindig elég magas érték, de nagy a fejlődés a korábbi, gyakran használt, 2088 GWP-értékű R410a nevű hűtőközeghez képest [7].)

Az épületek hatására használt hőszivattyúk fajtáit és a környezeti hatásokat még a kevésbé matematikus hajlamú diákcsoportokkal is érdemes megbeszélni. Tapasztalataim szerint a diákokat érdeklik az új megoldások, kis irányítással önálló vagy csoportos „kutatómunkára” is alkalmas a témakör.

Összegzés

A hőpumpákról – bár mindennapjainkban egyre nagyobb szerepet kapnak és kiváló alkalmazásai lehetnének a termodinamikának – szinte semmit sem tanítunk a középiskolákban. A cikk középiskolás szinten ad rövid leírást a hőszivattyú elvéről, a hatékonyságára jellemző jósági tényezőről, továbbá bemutatja a hőpumpák gyakorlati megvalósításainak főbb típusait, a hőpumpák használatának néhány előnyét, illetve hátrányát, és a hőszivattyúkkal kapcsolatosan felmerülő környezeti megfontolásokat.

Irodalom

1. D. A. Reay, D. B. A. Macmichael: *Heat Pumps*. Pergamon Press, Oxford (1988) 3–12.
2. Budó Á., Pócza J.: *Kísérleti fizika I.* Tankönyvkiadó, Budapest (1965) 400–401.
3. Litz J.: *Hőtan*. Dialóg Campus Kiadó, Pécs–Budapest (2001) 421.
4. J. Cantor: *Heat Pumps for the Home*. The Crowood Press, Ramsbury, Marlborough (2011).
5. Bartholy J., Brauer H., Pieczka I., Pongrácz R., Radics K.: *Megújuló energiaforrások*. ELTE, Budapest (2013).
6. https://en.wikipedia.org/wiki/Global_warming_potential
7. https://www.linde-gas.com/en/images/Refrigerants%20environmental%20GWPs_tcm17-111483

ÚRTEVÉKENYSÉGRŐL A KÖZÉPISKOLÁBAN

– műholdas távérzékelés

Komáromi Annamária

Balassi Bálint Nyolcévolyamos Gimnázium, Budapest

2015 óta Magyarország az Európai Űrügynökség (European Space Agency, ESA) teljes jogú tagja. Ennek révén hazánk egy olyan intézmény létrehozására pályázhat, amelynek célja, hogy az űrtevékenységek részletesebb bemutatásán keresztül növelje a diákok körében a STEM (Science, Technology, Engineering and Mathematics, vagyis természettudományos, műszaki, mérnöki és matematikai) területek iránti érdeklődést. Az intézmény többek között űrkutatással kapcsolatos továbbképzési lehetőségeket nyújt majd az általános és középiskolákban STEM tárgyakat tanító pedagógusoknak. Ezen felül népszerűsíteni, koordinálni és irányítani fogja a diákok, tanárok számára kiírt, űrkutatással és egyéb űrtevékenységgel kapcsolatos hazai és

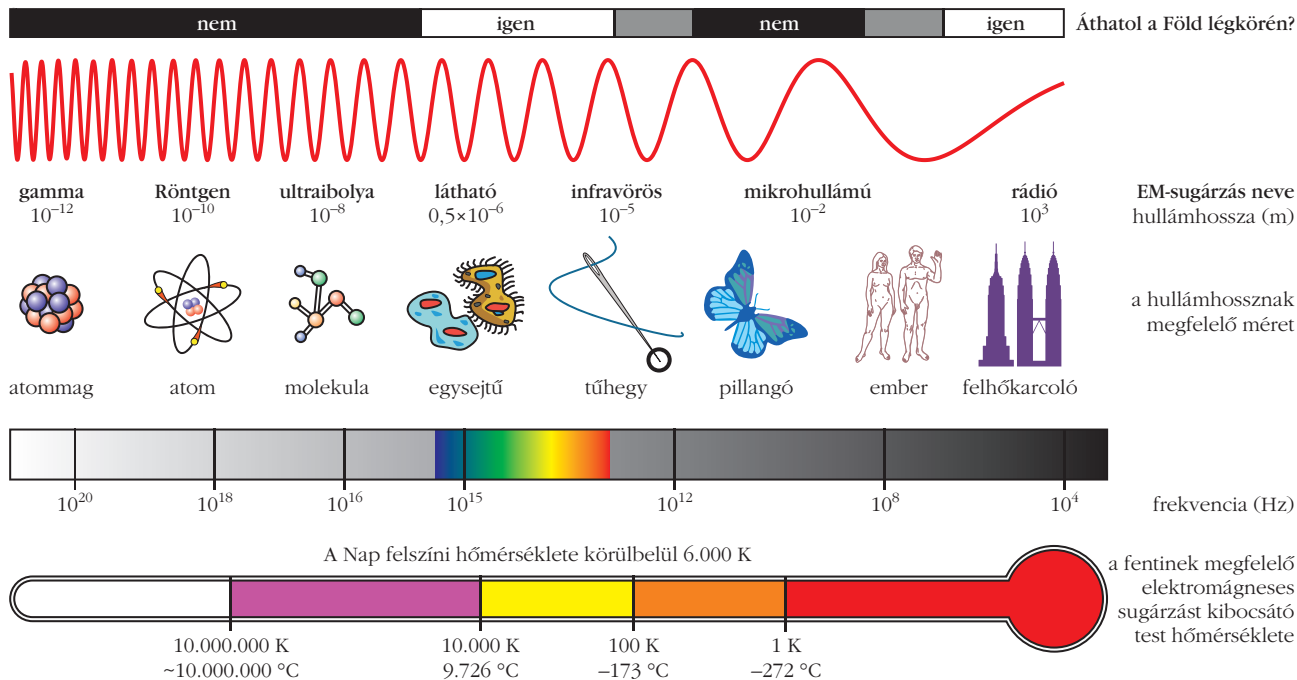
a nemzetközi (elsősorban európai) pályázatokat és programokat. Ez a leendő intézmény az ESERO (European Space Education Resource Office) iroda.

Az űrtevékenységekre való nagyobb odafigyelés jegyében született meg az *Irány az űr!* többfordulós középiskolai csapatverseny is, amelyet első alkalommal a 2020/21-es tanévben hirdettek meg. E versenyben szó lesz az alkalmazásokról is, amelyekben az űrtevékenység nem feltétlenül egy távolabbi bolygó, vagy például a Nap behatóbb megismerését jelenti, hanem éppen a Föld vizsgálatára irányul. A versenyző diákok a felkészülés során a hazai űripar eredményeiből is megismerhetnek néhányat. A verseny érdekessége, hogy a matematikai, fizikai, kémiai, biológiai, földrajzi űrkutatási vonatkozások mellett az űrtevékenységgel kapcsolatos gazdasági, jogi kérdéseket is érinti, tehát egyáltalán nem egy hagyományos, egy vagy néhány tantárgyra kiterjedő feladatmegoldó versenyről van szó. Két online forduló után a döntőbe jutó diákok nyílt online környezetben, a zsűri és a közönség előtt adhatnak számot az űrtevékenységekkel kapcsolatos ismereteikről.

Az űrtevékenységek közül a műholdas távérzékelés egyike a kulcsfontosságúaknak, amit fizikaórán az elektromágneses hullámok gyakorlati alkalmazá-



Komáromi Annamária a budapesti Balassi Bálint Nyolcévolyamos Gimnázium matematika-fizika szakos tanára. 2019-ben PhD fokozatot szerzett az ELTE-n. Az ELTE-MTA Fizika Tanítása Kutatócsoport tagja.



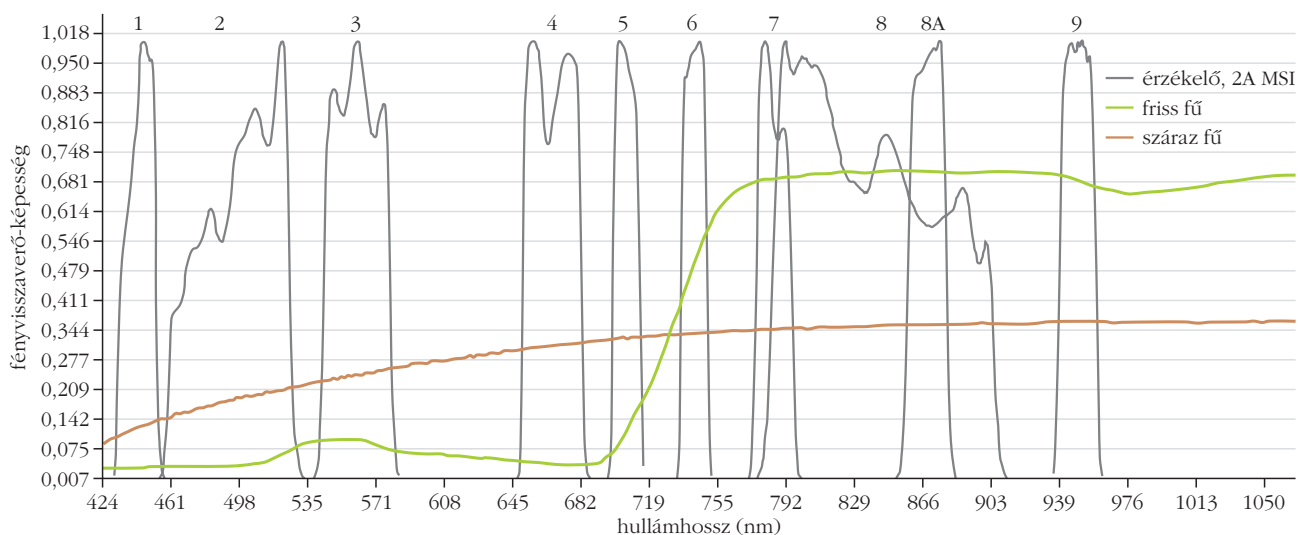
1. ábra. Az elektromágneses sugárzás spektruma (forrás: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:EM_Spectrum_Properties_reflected.svg).

sának tárgyalásakor – a hagyományos alkalmazások mellett – ma már feltétlenül meg kell említeni. A távérzékelés – mint a neve is sugallja – olyan mérési technika, amikor az adatgyűjtő berendezés nincs közvetlen (fizikai) kapcsolatban a vizsgált tárggyal. Tulajdonképpen valamennyi mesterséges hold lelke – ha szabad ilyet mondani – a távérzékelés, amely alatt a műhold által felfogott, illetve az általa kibocsátott elektromágneses hullámok észlelését, illetve érzékelését értjük. Pályaorientálás céljával elmondhatjuk diákjainknak, hogy a távérzékelés szoros kapcsolatban van a térinformatikával, amely az egyetemen önálló tantárgyként szerepel. Az elmúlt évek során több ingyenesen használható program készült,

amelyek használata során a középiskolás diákok kicsit belekóstolhatnak a nyers műholdképeket feldolgozó szakemberek munkájába.

A klasszikus távérzékelés legfontosabb tárgya bolygónk, a Föld. Földmegfigyelés alatt a Föld légkörének, felszínének, illetve mélyének vizsgálatát értjük. Itt fontos megjegyezni, hogy ebben az esetben az óceánok felszínére és mélyének vizsgálatára is gondoljunk. A hagyományos módszerek mellett, mint a meteorológiai állomások, földfelmérés vagy mintavétel, ma már nélkülözhetetlen adatforrások a műholdas mérések eredményei. Előnyük, hogy segítségével egyszerre nagyobb területen, többféle mérés és adatgyűjtés lehetséges. Ugyanakkor az

2. ábra. A természetes (zöld) és a műfű, vagy kiszáradt fű (barna) reflektanciája különböző frekvenciákon. Az 1-től 9-ig számozott szürke görbék a műhold szenzorainak mérési tartományát és érzékenységét mutatják (forrás: <http://www.space-awareness.org/en/activities/6035/a-view-from-above/>).



adatok feldolgozásához, megfelelő értelmezéséhez, illetve felhasználásához speciális ismeretanyag elsajátítása szükséges.

A távérzékelés során nyert képek többféle elven működő felvevőrendszerekkel (szenzorokkal) készülhetnek. A távérzékelés fizikai alapja az elektromágneses sugárzás spektrális eloszlásának (1. ábra), illetve a sugárzás változásának detektálása. A passzív távérzékelő rendszerek többnyire a Naptól eredő és az adott tárgy által visszavert, illetve kibocsátott sugárzást mérik általában a látható fény és az ahhoz közeli optikai sávban (0,4–15,0 μm hullámhossz). Az aktív távérzékelő rendszerek (legismertebbek a radarok) a saját maguk által kibocsátott és a vizsgált felületek, tárgyak által visszavert sugárzást érzékelik többnyire a 0,0075–0,60 m hullámhosszon.

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

A műholdképek olyan pixelértékeket tartalmaznak, amelyek a fényerőt vagy a visszavert fény intenzitását mutatják egy adott optikai sávban. Egy adott frekvenciatartományban csak az adott frekvenciájú sugárzás energiáját tudjuk mérni. Mivel az anyag a különböző frekvenciájú sugárzást különböző mértékben nyeli el, eresztik át, illetve veri vissza, ezért többféle frekvencián mérünk, hogy ki tudjuk választani a keresett anyagot. Például így érzékelhető, látható a természetes fű és a műfű, vagy a friss és elszáradt növényzet közötti különbség (2. ábra).

A Föld műholdas megfigyelése során figyelemmel kell lennünk arra is, hogy a Naptól érkező elektromágneses hullámok a légkörrel kölcsönhatásba lépnek: az energia egy része visszaverődik vagy elnyelődik, illetve nagyobb szóródás is felléphet a légkör magas páratartalma (a felhők) és egyes gázok (például O₂, NO₂, CO₂) miatt. Azokat a hullámhossz-tartományokat, ahol nagyon csekély a szóródás és az el-

nyelődés, légköri ablakoknak nevezzük. A műholdakra olyan szenzorokat szerelnek, amelyek ezen légköri ablakokba (lásd újból az 1. ábrát) eső hullámhossz-tartományokban működnek.

Az emberi szem is szenzorként működik, és mérési tartománya éppen egy légköri ablakba esik. Ráadásul szemünk úgy fejlődött ki, hogy pont arra a frekvenciatartományra érzékeny, amit legnagyobb energiával bocsát ki a Nap, így a „látáshoz” a legkisebb érzékenységre van szüksége. Ezt nevezzük „látható fény tartománynak”. Szemünkben három színtartományba (piros, zöld és kék) eső színérzékelők vannak, s ezek együttes hatásából jön létre agyunkban az általunk megszokott színes kép. (Az emberi szemben további érzékelők is vannak, például a fény intenzitásának, illetve telítettségének érzékelésére.) A műholdak látható fény tartományban működő szenzorai az emberi szemhez hasonlóan általában piros, zöld és kék frekvenciasávokban („csatornában”, lásd a 3. ábra bal oldalát) érzékelnek, és a felvételekből – megfelelő sávszélességek esetén – az RGB (red-green-blue) színkeverés szabályait követve valós színhatású képeket is elő lehet állítani.

Szakkörön a spektrális index fogalmát is megemlíthetjük diákjainknak. A spektrális indexek olyan származtatott mennyiségek, amelyeket különböző hullámhosszokon mért adatokból számítunk ki. Az indexek elméleti modellek alapján készültek. A spektrális indexekkel különböző tárgyakat jellemezhetünk, például az épületeket vagy a növényzetet. Az egyik, talán legelterjedtebb ilyen index az NDVI (Normalised Differenced Vegetation Index) [1], amit gyakran az egészséges növényzet azonosítására használnak, de alkalmas a vegetáció állapotának részletesebb elemzésére is [2]. A vörös (R) és közeli infravörös (NIR) spektrumban mért intenzitásadatokból határozzák meg. Az NDVI értékét a következőképpen számítjuk ki:

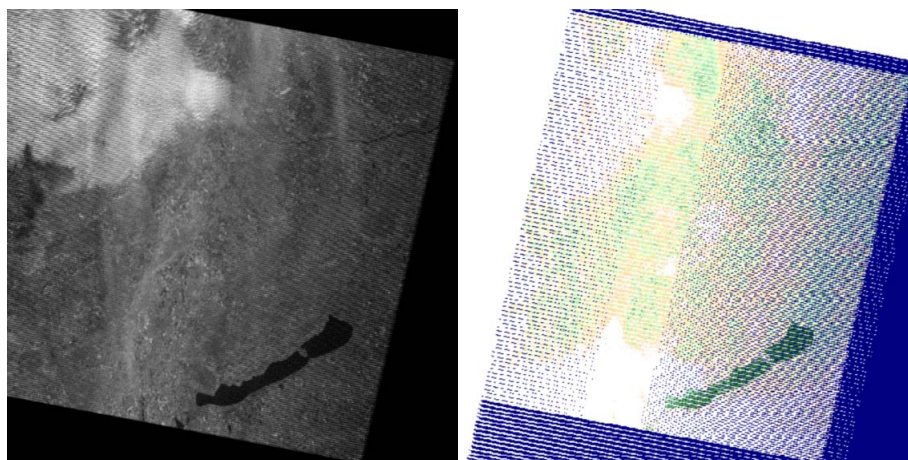
$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R}$$

Az Európai Unió és az Európai Űrügynökség támogatásával egy oktatási szoftvert fejlesztettek ki, amely

információt szolgáltat az érdeklődő középiskolás tanulóknak és tanároknak a műholdas mérésekről. Ez a program a *Leoworks*, amely részletesen bemutatja a műholdas adatok elemzésének alapvető lépéseit, illetve segítségével a diákok is szerkeszthetnek műholdképeket. Az ingyenesen letölthető program a <http://leoworks.terrasigna.com> honlapon található.

A 3. ábra jobb oldalán a kilencedik osztályos diákjaim által szerkesztett, a *Fizika Mindenkinek* országos kö-

3. ábra. Balra: műholdkép egy adott csatornán (forrás: <https://ers.cr.usgs.gov>), jobbra: NDVI-értékek térképi ábrázolása Leoworks programmal (forrás: diákmunka).



zépiskolai csapatversenyen bemutatott előadásukban szereplő kép látható, amely a Balaton-felvidék és környezetének „zöldnövényzet borítottságát”, azaz a területre jellemző NDVI-értékek térképi megjelenítését ábrázolja. A képet a Leoworks program segítségével készítették a <https://ers.cr.usgs.gov> internetes forráson található, ingyenesen letölthető műholdfelvételek felhasználásával.

Irodalom

1. J. W. Rouse, R. H. Haas, J. A. Schell: Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In: S. C. Fredeen, E. P. Mercanti, M. A. Becker (eds.): *Third Earth Resources Technology Satellite Symposium, December 10–14, 1973*. NASA STI Office, Goddard SFC and Washington D. C. (1974) 309–317.
2. K. Kovács, A. Cs. Dobos, R. Víg, J. Nagy: Relation analysis between biomass and yield in maize seed production. *Időjárás* 114/4 (2010) 263–273.

JÁRMŰVEK MOZGÁSÁNAK FIZIKÁJA

A kerekes járművek teljes mozgási energiájának törvénye

Varga János
Székesfehérvár

Kinematikai példákban egy jármű mozgásának kapcsán általában a haladási sebességgel – amely alatt a test (jelen esetben a jármű) tömegközéppontjának sebességét értjük – foglalkozunk. Nem vizsgáljuk külön a jármű többi része – például kerekek, illetve annak különböző pontjai – mozgásának kinematikai jellemzőit: pályáját, sebességét stb. Pedig ennek vizsgálata során sok érdekes, olykor meglepő, esetenként pedig a hétköznapi szemléletünkkel teljesen ellentétes eredményre jutunk. Ezen cikk célja, hogy ráirányítsa a figyelmet e kevésbé ismert területre. Ezek némelyike annyira egyszerű, amolyan „övegesi”, hogy tanítása még a közép-szintű fizikaoktatásban is megfontolandó.

A szerző szakítani kíván azzal a rossz gyakorlattal, hogy írásában csak a kész tényeket, eredményeket teszi közzé, és elhallgatja a hozzájuk vezető utat, azt az ötletet, ami a téma boncolgatásában elindította. Sajnos ez a gyakorlat a matematikai publikációkban még inkább megfigyelhető. Erre már *Abel* is felhívta a figyelmet, és emiatt sokszor neheztelt is *Gaussra*, akit „a hóban a nyomokat elseprő lomposfarkú rókához” hasonlított, mivel sohasem írta le, hogy miként jött rá valamire, pedig annak is van információtartalma, és esetleg mások segítségére lehet a kutatásban.

Neumann Jánost remek előadónak tartották, aki tisztán és világosan, ösztönzően és felemelően adott elő. Ez főleg annak volt köszönhető, hogy nem csupán a bizonyításokat mondta el, hanem a hozzá veze-



1. ábra. Járműkerék külső pontjának pályája.

tő útról is beszámolt, a kitérőket is megemlítette. (Érdekes módon, írásaiban viszont hiányzott az oda vezető út ismertetése, amit előadásaiiban sosem hagyott el. Emiatt írásai előadásaihoz képest nehezebben követhetők, ráadásul a bennük rejlő gondolatok megértése összetettségük miatt magukban is szellemi erőfeszítést kívánnak.)

Egy teniszparti után, a felfrissítő fröccs közbeni beszélgetés során egy kamionsofőr-ismerősöm elmesélte egyik éjszakai vezetési élményét. Egy vele szemben haladó másik jármű kerekére rátapadt valami világító-fényvisszaverő gyurmaféle (1. ábra), aminek pályája nagyon érdekes görbe – elmondása szerint „fél hurka” formájú – volt. Matematikai tanulmányaimból én persze egyből tudtam, hogy ez valójában egy *csúcsos ciklois* (egy speciális *ruletta*¹), ami egy kör egyenesen történő csúszásmentes legördítésekor keletkezik, azaz amit egy kerületi pont bejár.

¹Ruletták azok a görbék, amelyeket úgy származtatnak, hogy egy álló görbén csúszás nélkül legördítenek egy másik görbét. A cikloisok olyan ruletták, amelyeknél a legördülő görbe kör. A cikloisokat először *Nicolaus Cusanus*, német püspök vizsgálta az 1400-as években. Pontos definíciójukat csak 100 évvel később tudta megadni *Marin Mersenne* francia szerzetes.



Varga János mérnök-tanár, rendszerszervező gépészmérnök, diplomáját a Miskolci Nehézipari Műszaki Egyetemen szerezte 1974-ben. Kitüntetéses gépész mérnök-tanári képesítését a Budapesti Műszaki Egyetem Gazdaság- és Társadalomtudományi karán szerezte 1996-ban, majd közép- és főiskolai tanárként dolgozott. Rendszeresen publikál, tart előadásokat tudománytörténetről, saját matematikai-fizikai eredményeiről itthon és külföldön, és gyakran szerepel ismeretterjesztő tudományos rádióműsorokban.