

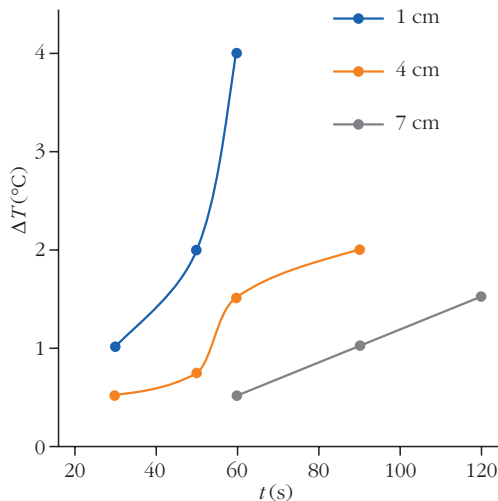
# A TORZIÓS INGÁTÓL AZ ŰRGRAVIMETRIÁIG

Komáromi Annamária

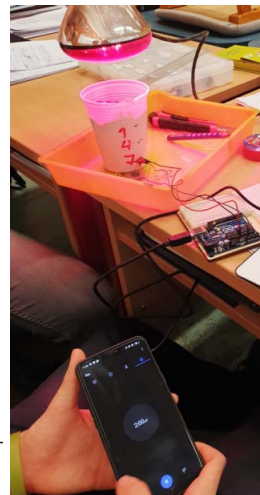
Balassi Bálint Nyolcévolyamos Gimnázium, Budapest

Eötvös Loránd torziós ingáját gravitációs mező egyenletlenségeinek kimutatására, az iparban olajmezők felkutatására egészen a hatvanas évekig használták. A diákok részéről felmerülhet a kérdés, hogy Eötvös Loránd után 100 évvel vajon milyen eszközökkel hajtják végre ezen méréseket? Válaszként elmondhatjuk, hogy napjainkban elsősorban repülőgépek, illetve műholdak segítségével történik a Föld gravitációs mezejének vizsgálata [1]. Időközben kialakult egy új tudományterület, az űrgravimetria, amelynek nemzetközileg is elismert szakértője volt *Izsák Imre*, akit tanításunk során Eötvös gravitációval kapcsolatos munkássága mellett érdemes megemlíteni. Izsák Imre 1956-ban elhagyta az országot, mert Magyarországon nem volt lehetősége a nyugati, illetve az amerikai tudományos világgal való kapcsolattartásra, s ezáltal a tudományos fejlődésre sem. Disszidálását rövid idővel követően nagy elismertségre tett szert a tudományos világban a Föld alakjának pontosabb meghatározására vonatkozó számításaival. E számításokat az akkor már bőségesen rendelkezésre álló műholdpályaadatok elemzésével hajtotta végre. Elismertségét bizonyítja, hogy Magyarországról való távozását követően nem sokkal a Harvard Egyetemen kapott állást, illetve a NASA tudományos munkatársa lett. Sajnos pályafutása – 36 éves korában bekövetkezett hirtelen halálával – hamar befejeződött. 2017-ben a Vega Csillagászati Egyesület kiadta *Csizmadia Ákos* Izsák Imre életéről szóló könyvét, amelyben részletesen tájékozódhat az olvasó a tudós eredményeiről [2].

Az űrgravimetriai mérésekről szóló cikkek keresésekor a NASA honlapján egy igen egyszerű, de ötletes mérést találtam, amellyel a Mars belsejéből mintát vevő első űrszonda (InSight) összetett vizsgálatát le-



1. ábra. A „talaj”-hőmérséklet változása a felszín alatt 1, 4 és 7 cm-es mélységben a hőszugárzás időtartamának függvényében és a mérés összeállítása Arduinóval.



het „diákközze” hozni egy vizsgálati részletet bemutató tantermi kísérlettel. Híradásokban is olvashattuk, hogy 2018 novemberében landolt az InSight űrszonda a Mars felszínén. Ez az első olyan űrszonda, amely a talajba fúrva tud mintát venni a Mars belsejéből. Figyelemre méltó, hogy az űrszonda marsi leszállása után néhány héttel a program egy részének iskolai modellezését is kitalálták. A NASA által javasolt modellkísérlettel a homokos talajbéli hőterjedés sebességét lehet iskolai körülmények között megmérni.

Megnyugtató volt olvasni, hogy az amerikai honlap a méréshez – a lehetséges mikrovezérlők között – a hazánkban közkezdelt Arduinót is ajánlja. Lényegében egy pohár földet és egy hőmérőszenzort ajánl a NASA oktatással foglalkozó honlapja a kísérlethez. A hőmérőszenzort különböző mélységekben kell elhelyezni, majd – azonos külső melegítési (megvilágítási) körülmények között – az idő függvényében mérjük a hőmérséklet emelkedését a különböző mélységekben. Mi az iskolában egy régi infralámpával oldottuk meg a melegítést. Az 1. ábrán láthatjuk a kísérleti összeállítást, valamint a mérési eredményeket bemutató grafikont.<sup>1</sup>

A NASA javaslata alapján elvégzett fenti kísérlet tapasztalatai alapján úgy gondoltam – különösen az Eötvös-évforduló kapcsán –, hogy érdemes lenne egy iskolai körülmények között könnyen megvalósítható, Eötvöshöz kapcsolható, mai modern gravitációs mérést imitáló összeállítást kitalálni. Ezzel a diákok is bepillantást nyerhetnek a jelenleg folyó legmoder-

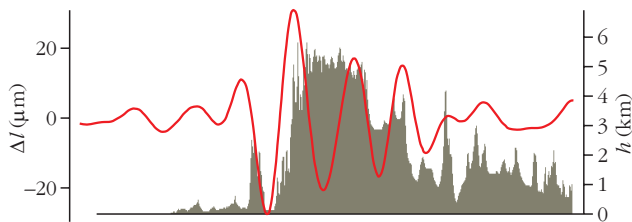
Készült a 30. Magyar Fizikus Vándorgyűlésen (Sopron, 2019. augusztus 21–24.) elhangzott előadás alapján. Az előadáshoz tartozó bemutató megtalálható az Eötvös Loránd Emlékév honlapján [6].

A tanulmány elkészítését a Magyar Tudományos Akadémia Tantergypedagógiai Kutatási Programja támogatta.



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.

<sup>1</sup> A kísérleti összeállítás útmutatója angol nyelven található a honlapon, így diákjaim az eredeti bemutató grafikont is angol nyelven készítették. Végzős diákjaim feladatlapokat is szerkesztettek a tanórai méréshez, szintén angolul. Az olvasót ezzel nem terhelem.



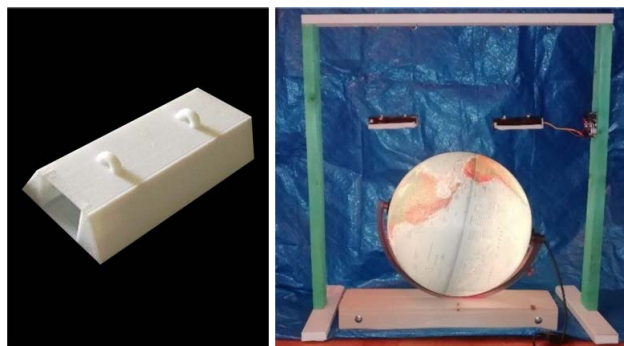
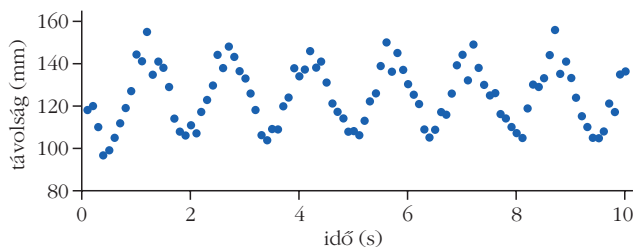
2. ábra. A két műhold közti  $\Delta l$  távolság változása a Himalája  $h$  magasságú hegyvonulata felett [4].

nebb mérési eljárásokba. Így vetődött fel az ötlet, hogy hozzuk be a fizikaórára az űrgravimetriát.

A műholdas gravimetriai mérések közül a tanítás során a GRACE (Gravity Recovery And Climate Experiment) missziót szoktam megemlíteni, amelyben egy műholdpáros végezte a méréseket. A műholdak a Föld körüli keringésükkor szabadon esnek, ezt a jelenséget kihasználva, a mesterséges holdak között lévő távolság változásának mérésével a Föld gravitációs mezejének apró egyenletlenségeit lehet kimutatni. A GRACE program, amelyet legnagyobb részben a NASA és a német repülési és űrkutatási intézet, a DLR (Deutsche Forschungsanstalt für Luft und Raumfahrt) dolgozott ki, 2002-től egészen 2017-ig működött. A két műhold változó távolságát az egyik műholdról kibocsátott mikrohullám másik műholdról való visszaverődésének eltérő idejéből határozták meg – sok egyéb paraméter figyelembe vételével. A GRACE program befejezése után 2018 májusában bocsátották fel a GRACE Follow műholdpárost. A mikrohullámú távolságmérést a jelenleg legmodernebb technikát képviselő lézer-interferometria alkalmazásával egészítették ki, s ezzel a Föld gravitációs mezejének sokkal pontosabb meghatározására nyílt lehetőség. A lézer-interferométerről például a [3]-ban olvashatunk bővebben. Ezen mérésekre is igaz, hogy fizikai alapjuk a műholdak szabadesése. Az 500 km magasságban keringő műholdak egymástól 220 km-re helyezkednek el, és szintén a köztük lévő távolság változásainak méréséből következtetnek a gravitációs mező erősségére [4]. A 2. ábrán a GRACE-FO műholdpáros mérési eredményét láthatjuk a Himalája fölött.

A mérések során a Föld gravitációs mezejének pontosabb megismerése mellett – kihasználva, hogy a mező erősségének változása a tömegátrendeződés következménye – számos egyéb fontos ismeretet is nyerhetünk bolygónkról. Többek között a jégtakarók, gleccserek változásáról, az óceáni áramlásokról, nagyobb tavak, folyók vízmennyiségének alakulásáról, a

4. ábra. A műholdmodellek közötti távolság lézeres mérésének eredménye az idő függvényében.



3. ábra. A GRACE-FO műholdpáros 3D nyomtatású makettje, valamint a mérést bemutató iskolai modell.

talaj víztartalmának ingadozásairól, illetve a tengerek vízszintjének emelkedéséről kaphatunk információt.

Diákjaim Arduino felhasználásával a GRACE Follow műholdpáros mérésének egyszerűsített változatát készítették el. Egy 8. osztályos tanítványom az interneten található fantáziarajzok segítségével tervezte meg, majd 3D nyomtatóval nyomtatta ki a műholdmodelleket. A 3. ábra bal oldalán látható, miként oldotta meg – saját ötlete alapján – nyomtatással a felfüggesztés lehetőségét. Sőt a tervezéskor azt is figyelembe vette, hogy a modellben az Arduino jeladót – amely kibocsátja a lézert, illetve érzékeli a másik műholdmodellről visszaverődött lézert – is el kell majd helyezni. Ezt a képen látható téglalap alakú lyukkal biztosította.

Ezek után egyik földrajz szakos kollégámtól kölcsönkaptam a földgömböt, majd a barkácsboltban vásárolt lécek és egy kis családi fűrész, faragás segítségével elkészült a kísérleti összeállítás. A szükséges Arduino alkatrészeket diákjaim szerezték be, illetve a mikrovezérlőt is ők programozták. A műholdak felfüggesztését horgászdramillal oldottuk meg. A maketteket színes lappal borítottuk be az interneten talált fantáziaképek stílusában. A 3. ábrán jobbra láthatjuk a kísérleti összeállítást. Maga az Arduino mikrovezérlő a jobb oldali függőleges lécen kapott helyet. A kísérletet sötétben a földgömbben elhelyezett lámpa teszi még hangulatosabbá. A kísérletről működés közben készült videót a <https://youtu.be/g0C5vT7a2DE> helyen lehet megnézni.

A kísérleti összeállítást egy régi, kedves, ma már egyetemista tanítványom azzal fejlesztette tovább [5], hogy a műholdak mozgásakor a köztük létrejövő távolságváltozást valós időben, grafikonon nyomon lehet követni. Ez látható a 4. ábrán.

#### Irodalom

1. Patkós András: Eötvös Loránd időszerűsége – 2. *Fizikai Szemle* 69/2 (2019) 39.
2. Csizmadia Ákos: *Izsák Imre*. Vega Csillagászati Egyesület, Zalaegerszeg, 2017.
3. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/610/1/012010/pdf>
4. <https://www.aei.mpg.de/2277280/first-light-for-grace-follow-on-laser-interferometer>
5. Komáromi Annamária, Nagy Dániel: Akusztikus lebegtetés és más kísérletek Arduino felhasználásával, avagy ne féljünk attól, ha a tanár tanul a diáktól. *Fizikai Szemle* 68/10 (2018) 356–360.
6. [https://eotvos100.info/mediagyujtemeny/other/fizikus\\_vandorgyules/A\\_torzios\\_ingatol\\_az\\_urgravimetriaig.pdf](https://eotvos100.info/mediagyujtemeny/other/fizikus_vandorgyules/A_torzios_ingatol_az_urgravimetriaig.pdf) vagy [https://eotvos100.hu/hu/page/tovabbi\\_eloadasok](https://eotvos100.hu/hu/page/tovabbi_eloadasok)