

A 11. osztályban a csillagászat témaköréből emeltem ki egy epizódot, hogy szakköri munkában részletebben is megvizsgáljunk egy égitestet.

A Hold Föld körüli keringését játszottam el a diákokkal fizikaórán, amikor az egyik tanuló megkérdezte, hogy vajon a Föld tengely körüli forgásának kerületi sebessége, vagy a Hold Föld körüli keringési sebessége a nagyobb? Egy kis rávezetés után volt olyan diák, aki a periódusidők hányadosaiból megbecsülte a két szögsebesség viszonyzatát:

$$\frac{\text{Hold keringési ideje}}{\text{Föld forgásának periódusideje}} = \frac{27 \text{ nap}}{1 \text{ nap}} = 27.$$

Azaz a Föld $\omega_{\text{Föld}}$ forgási szögsebessége a Hold ω_{Hold} keringési szögsebességének 27-szerese:

$$\omega_{\text{Föld}} = \frac{2\pi}{T_{\text{Föld}}} \Rightarrow \frac{2\pi}{27 \cdot T_{\text{Föld}}} = \omega_{\text{Hold}}$$

ahol $T_{\text{Föld}}$ a Föld forgásának periódusideje, 1 nap = 86 400 s. A Föld egyenlítői kerülete $K_{\text{Föld}} \approx 40$ ezer km, így a Föld forgásának maximális kerületi sebessége:

$$v_{\text{Föld}} = \frac{K_{\text{Föld}}}{T_{\text{Föld}}} \approx \frac{4 \cdot 10^7 \text{ m}}{8,64 \cdot 10^4 \text{ s}} \approx 460 \text{ m/s}.$$

A Hold keringési sebességét a Föld–Hold-távolság \bar{d} átlagának felhasználásával kaphatjuk meg:

$$v_{\text{Hold}} = \omega_{\text{Hold}} \bar{d} \approx \frac{2\pi}{27 \cdot 8,64 \cdot 10^4 \text{ s}} \cdot 3,84 \cdot 10^8 \text{ m} \approx 1000 \text{ m/s}.$$

Tehát a Föld tengely körüli forgása maximális kerületi sebességének több mint kétszerese a Hold Föld körüli keringési sebessége. A keringési sebességeket a tanulók a függvénytáblázatból kikeresve ellenőrizték.

A diákok érdeklődése adta az ötletet, hogy mérjük meg a Hold keringési sebességét filmes technikával.

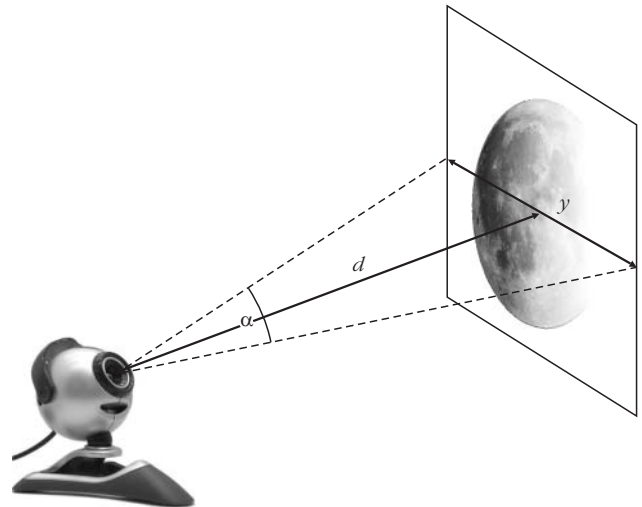
A mérés

Az érdeklődők először házi feladatot kaptak: sorozatfelvételt kellett készíteniük a WebCam Laboratory [1] programmal. A tanulók megmérték a saját kamerájuk α látószögét (1. ábra). A kamera látószögéből és a d Hold–Föld-távolságból a teljes képernyő által befogott szélességet meg tudták határozni.

$$y = 2 d \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}. \quad (1)$$

A Hold–Föld-távolságot a Hold felszínén elhelyezett lézertükrök segítségével mérik az Egyesült Álla-

Köszönöm Juhász András és Jánosi Imre segítségét.



1. ábra. A kamera kalibrálásához meghatározott távolságra levő, ismert méretű tereptárgyat kell lefényképezni.

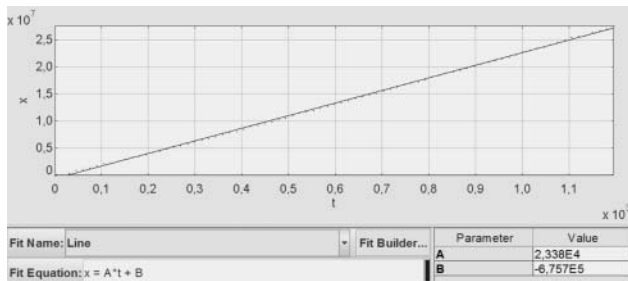
mokban és Franciaországban holdi lézertáv-méréssel foglalkozó obszervatóriumokban, néhány centiméteres pontossággal [2].

Mivel a Hold–Föld-távolság nem állandó az égitestek mozgása során, a felvétel dátumának megfelelő értéket kellett behelyettesíteni az (1) képletbe. A Hold–Föld-távolságot, tetszőleges dátumot választva, másodpercre pontosan a <http://time.unitarium.com/moon/where.html> weboldalon lehet megtalálni. A tanulók a felvétel kezdeti és végső időpontját átszámolták az egyezményes koordinált világidőre (UTC). Ezen időpontokra – 2012. december 30. 6:19:55 és 6:39:55 (UTC) – a weboldalon működő szoftver kiszámolta a keresett távolságokat, amelyek rendre 397 251,485 km, illetve 397 208,891 km. A kalibráláshoz szükséges távolságadat a két leolvasott érték átlaga volt (397 230,188 km).

A Tracker [3] szoftverrel a felvételekről szakköri munka keretében videóanalízist végeztünk. A szoftver

2. ábra. A 25. filmkocka nagyított képe a videóanalízis-szoftver képernyőjén.





3. ábra. A szoftver által meghatározott értékeket ábrázolva, és azokhoz egyenest illesztve, az A paraméter adja v_x nagyságát.

könnyen felismerte a sötét háttérből kiemelkedő Holdat, és követte annak mozgását. A programban a kalibráláson kívül rögzíteni kellett, hogy két szomszédos filmkocka között mennyi idő telt el (a mi esetünkben ez 15 s volt). A koordinátatengelyeket úgy állították be a tanulók, hogy az első filmkockán az origóba essen, az utolsó kockán pedig a x tengely pozitív részén legyen a Hold képe (2. ábra).

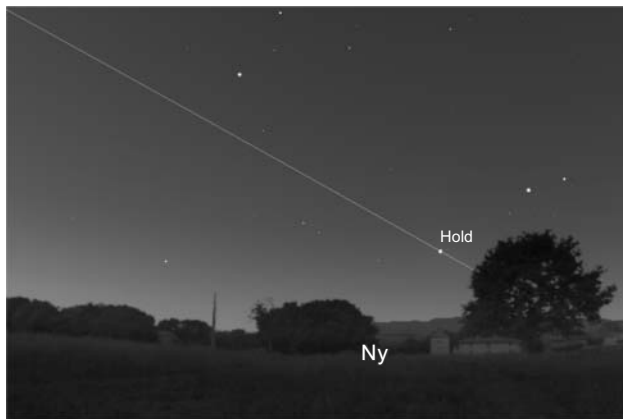
A szoftver által kiszámított x - t értékpárokhoz egyenest illesztve (3. ábra) a tanulók meghatározták a Hold látszó mozgásának sebességét az égbolton az x irány mentén, amire 23,38 km/s adódott.

A sebességvektor iránya változó volt, de a felvételekről elmondhattuk, hogy a Hold keletről nyugati irányba haladt az égbolton. A pontos tájolást a Stellarium nyílt forráskódú számítógépes planetáriumprogrammal [4] végezték el a diákok. Megadták a mérés pontos idejét és helyét, majd megkeresték a virtuális égbolton a Holdat (4. ábra).

Az elemzés során két „szokatlan” dologra lettek figyelmesek a tanulók: a Hold látszó pályája görbe, a kapott sebességérték pedig igen nagy.

A diákokat ötleteltettem, és a vita eldöntésének céljából azt a feladatot kapták, hogy a következő szakköri órára könyvtármunka alapján próbálják igazolni gondolatmeneteiket. A következő szakkör kiselőadásai alapján a tanulók megállapították, hogy a Hold látszólag kör alakú pályája és keletről nyugatra mozgása miatt lassan mozgó égitest kell, hogy legyen (5. ábra).

5. ábra. Minden álló, vagy lassan mozgó égitest látszólag körpályát ír le, amelynek középpontja az égi pólus, a Föld forgástengelyének dőfpontja az égbolton [6].



4. ábra. A mérési adatok alapján megadott virtuális kép a Stellarium programban.

Rájöttek, hogy a látszó mozgás (és a viszonylag nagy sebesség) a Föld tengely körüli forgásának eredménye. Ahhoz, hogy a Hold keringési sebességét megkaphassuk, le kell vonni a Föld forgásából származó v_l látszólagos mozgást.

$$v_l = \omega_{\text{Föld}} (d + R + r) = \frac{2\pi}{T_{\text{Föld}}} (d + R + r) = 29,48 \frac{\text{km}}{\text{s}} \quad (2)$$

Ahol R és r a Föld és a Hold sugara.

A számolásnál a Föld szögsebesség-ingadozásai elhanyagolhatók, a Hold-Föld-távolság változásai, amely 21 296 km, viszont kevésbé (6. ábra).

A tanulók a (2) sebességértéket összehasonlították a mért értékkel ($v_m = 23,38$ km/s), és a következő megállapításokat tették:

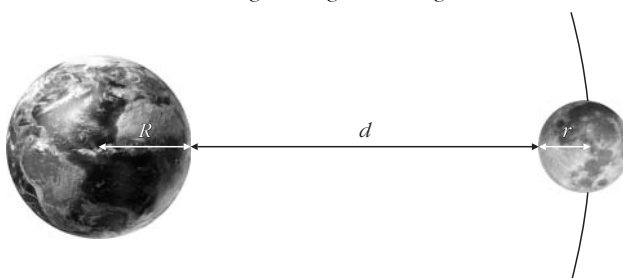
1. A mért sebességérték a Föld forgásának látszólagos mozgási sebességénél kisebb, tehát a Hold keringési iránya megegyezik a Föld tengely körüli forgásának irányával. Ennek ellenőrzéseként az adatok alapján lefuttattunk egy szimulációt, amely másodperc pontosan mutatja a két égitest helyzetét és mozgását [5] (7. ábra).

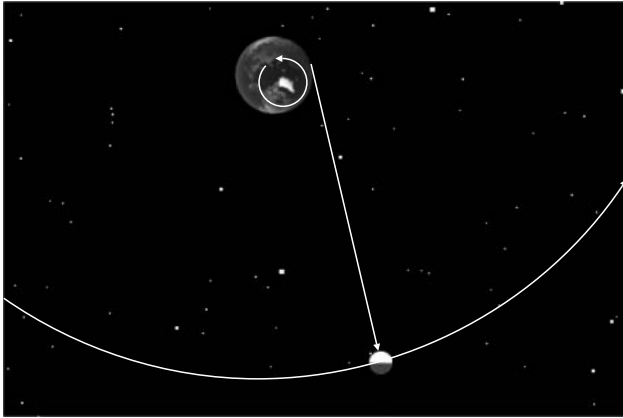
2. A Hold pálya menti sebességét az alábbi összefüggés alapján határoztuk meg:

$$v_{\text{Hold}} = v_l - v_{\text{mért}} \approx 6,1 \text{ km/s} \quad (3)$$

A tanulók a Wikipédián megkeresték a Hold pálya menti sebességét, amelynek legkisebb, átlagos és

6. ábra. A Hold-Föld-távolságból (d) és az égitestek sugaraiból (r , R) kiszámolható a látszólagos mozgás sebessége.





7. ábra. Az adatok alapján lefuttatott szimuláció [5] magyarázó nyelakkal ellátott képe.

legnagyobb értéke rendre 0,968 km/s, 1,022 km/s, illetve 1,082 km/s.

A látszólagos mozgási sebességhez képest a Hold mért keringési sebességére valóban kis értéket kapunk, de az a hivatalos értéktől eltért ($\Delta v \approx 5$ km/s). Az eltérés okainak tisztázása további vizsgáldást tett szükségessé.

A pontatlanság okai

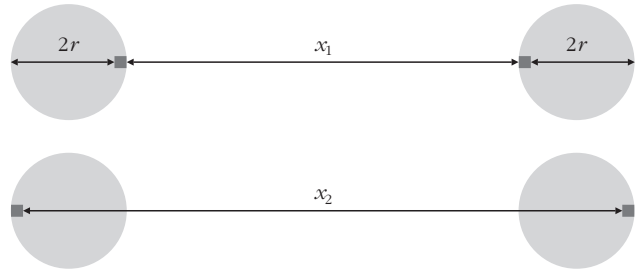
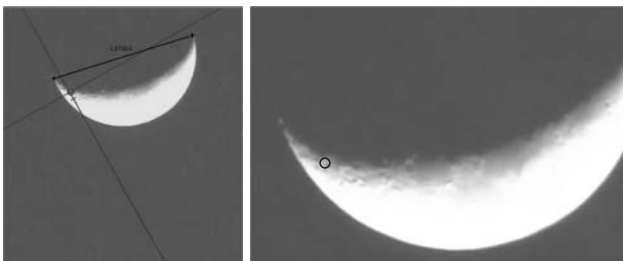
Munkánk során ügyeltünk a pontos időmérésre, a távolságadatokat precíz meghatározására, a kalibrálásra, tehát a hibát máshol kellett keresnünk. A felvett filmanyagot vettük görcső alá és vizsgáltuk meg részletesebben. A felvételen kinagyítottuk a Holdat és meglehetősen pixelesnek találtuk azt. A szoftver a Holdat, mint kis pixelekből álló fényes területet érzékelt, amelynek fényessége is változott az időben. A fényváltozás miatt a Hold szoftver által automatikusan detektált helyzete nem mindig esett a terület középpontjába.

A felvétel $t_{\text{videó}} = 1220$ másodperce alatt a Hold által megtett út a 4. ábra alapján: 27 850 km volt, ennek maximális hibája a 8. ábra szerint a Hold sugarának négyszerese. A keresett hibát a (4) összefüggés adja meg:

$$\Delta v = \frac{4r}{t_{\text{videó}}} = \frac{4 \cdot 1735 \text{ km}}{1220 \text{ s}} = 5,7 \frac{\text{km}}{\text{s}}. \quad (4)$$

Pontosabb mérést csak komolyabb optikával lehet megvalósítani. Ennek hiányában sem adtuk fel a reményt,

9. ábra. A Hold átmérőjét használtuk a kalibráláshoz. A koordinárendszer x tengelye a mozgás irányába mutat (balra). A felvétel nagyított képe (jobbra). A részletgazdagabb felvétel lehetőséget adott a pontosabb nyomkövetésre.



8. ábra. A lehető legrosszabb azonosítást feltételezve (az objektum helyzetét a kis négyzet jelöli) a felvétel első és utolsó képkockáján a Hold által megtett út: $x_2 = x_1 + 4r$.

hogy a méréseinket pontosítsuk. Feltételeztük, hogy a világhálón vannak olyan filmek, amelyek a webkamerás felvételeinknél sokkal jobb felbontásúak és azok elemzésével pontosabb mérési eredményekhez jutunk.

Mérések videómegosztón található filmekről

A YouTube videómegosztón rengeteg hasonló film közül választhatunk. A kamera látószögének legegyszerűbb meghatározása az lenne, ha a filmet feltöltő elárulja kamerájának adatait, ez azonban igen ritka. Ennek hiányában olyan filmet érdemes választani, ahol fel van tüntetve két képkocka között eltelt időtartam, és a kép meglehetősen nagyított. Ekkor a kalibráláshoz a kamera látószöge helyett a Hold átmérőjének számértékét használhatjuk fel. A nagyított kép lehetőséget ad egy kisebb kráter kijelöléséhez, ami lényegesen precízebb nyomkövetést eredményez az előző méréshez képest. Az egyik ilyen használható filmet a [7] webcímről töltöttük le (9. ábra). A film 1 kép/s mintavételezéssel, 6 percet fog át, és 2013. október 3-án készült.

A 6 perces időtartam alatt a Hold látszó pályája egyenesnek tekinthető. A videóanalízist lefuttatva a diákok a Hold látszó mozgására 27,2 km/s sebességet kaptak (10. ábra).

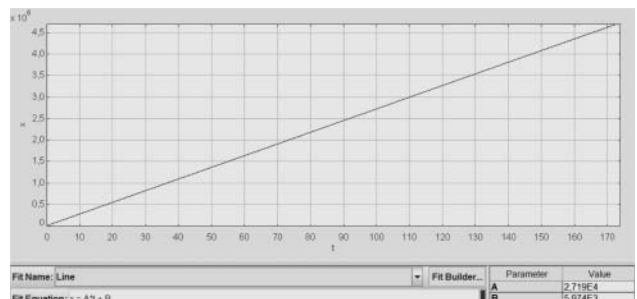
A felvétel időpontjához tartozó 385 288,989 km Hold-Föld-távolságot behelyettesítve a (2) összefüggésbe 28,6 km/s értéket kaptak.

A Hold pálya menti sebessége e két adatból:

$$28,6 - 27,2 \text{ km/s} = 1,4 \text{ km/s}.$$

A film készítésének napján a Hold-Föld-távolság körülbelül 385 000 km volt [5], ami megközelíti Hold

10. ábra. Az $x-t$ grafikonon a videóanalízissel meghatározott pontokra illesztett egyenes meredekségét az A paraméter adja meg, ami a Hold látszólagos mozgási sebességével egyezik meg.



pályájának fél nagytengelyét. A Hold keringési sebessége e helyzetben $\approx 1,1$ km/s, amit mérési eredményünk jól közelít.

Konklúziók

A Hold keringési idejének mérése jó lehetőség volt a tanulóknak a számítógép fizikai célokra történő használatára otthon és a szakkörön. A mérési eredmények ellenőrzése után rávettem őket arra, hogy a mérés hibáinak feltárása és korrigálása is hozzátartozik a tudományos munkához. A hiba felismerése és a mérés továbbfejlesztése abban erősítette meg a diákokat, hogy munkájukat körültekintően végezve, a körülmények részletes vizsgálatával sokszor adódik lehetőség a korábbi nehézségek

leküzdésére. Esetünkben drága műszerek hiányában az internet segítette az újabb mérések elvégzésében. A mérés során használt adatok önmagukban is beszédesek voltak, de a szimuláció segítségével jobban át tudták élni a vizsgált mozgásokat. Eredményeiket osztálytársaik kiselőadás formájában ismerhették meg.

Irodalom

1. <http://www.webcamlaboratory.com>
2. http://www.urvilag.hu/tavoli_vilagok_kutato/20070308_milyen_messze_van_a_hold
3. <https://www.cabrillo.edu/~dbrown/tracker> – ingyenesen letölthető videóanalízátor szoftver
4. <http://www.stellarium.org/hu>
5. <http://time.unitarium.com/moon/where.html>
6. <http://palomarskies.blogspot.hu/2008/07/stars-in-sky-go-round-and-round.html>
7. https://www.youtube.com/watch?v=kGrcC83zG_U

INFORMÁCIÓS ÉS KOMMUNIKÁCIÓS TECHNOLOGIÁK A SZALAY SÁNDOR EMLÉKVERSENY SZOLGÁLATÁBAN

Leitner Lászlóné

Nyíregyházi Evangélikus Kossuth Lajos Gimnázium

2014. október első hétvégéjén harmadik alkalommal rendeztük meg Nyíregyházán a Szalay Sándor Fizika Emlékversenyt. A kiírást eljuttattuk az ország minden evangélikus, néhány református, valamint Szabolcs-Szatmár-Bereg megye összes iskolájába. Végül az evangélikus intézményeken kívül egyetlen KLIKK

általános iskola jelentkezett. A névadó szelleméhez híven a verseny a tudományok közötti kapcsolatot, a kísérletek és a gyakorlati megvalósítások egységét szolgálja. Az emlékversenyen alkalmaztuk az információs és kommunikációs technológia (IKT) nyújtotta lehetőségeket a felkészüléstől a megvalósításig.



A 2015. évi

58. Fizikatanári Ankét és Eszközbemutató

A 2015. évi ankétot március 26-tól 29-ig Hévízen, a Hunguest Hotel Panorámában és az Illyés Gyula Általános Iskolában rendezzük meg.

Témák: 2015 a Fény Éve. Oktatás.

Állandóan frissülő részletek a Társulat www.elft.hu honlapján.

Az ankét 30 órás akkreditált továbbképzés.

A műhelyfoglalkozásokat március 27-én és 28-án délutánra tervezzük.

A műhelyfoglalkozások mellett a sikeres 10 perces kísérletek című programot is meg kívánjuk szervezni.

ELFT Tanári Szakcsoportjainak vezetősségei