

# EXOBOLYGÓK MINDEN SZINTEN

Horváth Zsuzsa  
Kosztolányi Dezső Gimnázium, Budapest

A jelenlegi csillagászati kutatások egyik legeredményesebb ága az exobolygó-kutatás. A legújabb tudományos eredményeket általában nehéz megismertetni tanulóinkkal, de ez alól kivételt jelentenek az exobolygók. Napjainkban már nemcsak azt tudjuk, hogy vannak Napunkon kívül más csillagok körül is bolygókísérők, exobolygók, hanem több mint 3500 exobolygó sok tulajdonságát is ismerjük (például keringési idejét, tömegét, méretét, sűrűségét, hőmérsékletét) [1]. Így azt is látjuk, hogy léteznek a mi Naprendszerünkhöz hasonló és attól különböző bolygórendszerek is. Galaxisunk változatos, sokszínű exobolygó-rendszereinek megismerésén túl azt is szeretnénk tudni, hogy vannak-e máshol is Földhöz hasonló helyek, amelyek megteremtik az élet kialakulásának lehetőségét. A Föld ikertestvérét ugyan még nem ta-

lálták meg, de több exobolygó sok jellemzőjében hasonlít bolygónkra. Diákjaink filmekben, számítógépes játékokban találkoznak a földön kívüli (értelmes) élettel, így az is érdekli őket, hogy egyedül vagyunk-e a Világegyetemben.

Ezekről a kérdésekről a fizikaórákon is beszélhetünk. A fizika kerettanterv új tartalmi elemeinek egyike az exobolygók kutatása és a földön kívüli élet keresése, amit – a csillagászat egyéb más témái között – mindkét gimnáziumi fizika kerettantervi változat a 11. évfolyamon tárgyal. Az *A* változat *Az űrkutatás hatása mindennapjainkra* tematikus egységben az exobolygók kutatását, az élet feltételeinek tér- és időbeli korlátait, sőt az értelmes élet kutatását is megemlíti [2]. A *B* változatban a *Csillagászat és asztrofizika elemei* tematikai egységben kapott helyet a földihez hasonló élet, kultúra esélye és keresése, valamint az exobolygók kutatása [2]. Ezekből a megfogalmazásokból jól látszik, hogy mindkét változat összeköti az exobolygók témáját a földön kívüli (értelmes) élet keresésével. Logikus ez a kapcsolódás, hiszen először a megfelelő helyeket kell megtalálni, ahol majd további vizsgálatokkal esetleg életjeleket is felfedezhetünk. Csak a földi életformákat ismerjük, ezért vizet keresünk az Univerzumban, hiszen erre minden földi élőlénynek szüksége van. Így olyan exobolygók után kutatunk, amelyek csillaguk lakhatósági zónájában keringenek, azaz felszínükön tartósan jelen lehet a víz. A földrajz kerettanterv is fontosnak tartja ezt a témát, már a 9. évfolyamon *A Föld kozmikus környezete* tematikus egységben szerepelnek a Naprendszeren kívüli bolygók kutatásának új eredményei [2].

---

A cikk az Eötvös Loránd Fizikai Társulat szegedi Vándorgyűlésén, 2016. augusztus 25-én elhangzott előadás alapján készült.

A cikk elkészítését a Magyar Tudományos Akadémia Tantárgypedagógiai Kutatási Programja támogatta.

Köszönöm a munkám során nyújtott segítséget *Érdi Bálintnak* és *Tél Tamásnak*.

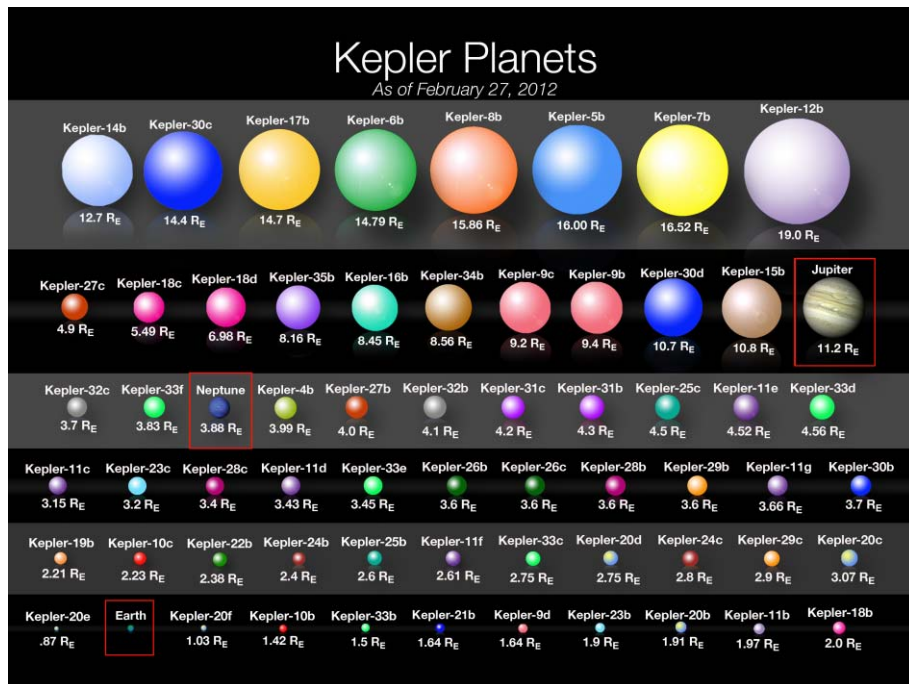


*Horváth Zsuzsa* a budapesti Kosztolányi Dezső Gimnázium matematika-fizika szakos tanára. Az ELTE TTK Fizika Doktori Iskola – Fizika Tanítása Program keretében a csillagászat tanítását kutatja, azon belül is főleg az exobolygók témájának oktatásával foglalkozik. Az Eötvös Loránd Fizikai Társulat és a Magyar Asztronautikai Társaság tagja.

Diákjaink többségének természetesen már van elképzelése a korábbi évfolyamokon is a távoli exobolygókról. Jobb esetben ismeretterjesztő műsorban hallanak róluk érdekességeket, de sokakban a számítógépes játékok, filmek, sorozatok helyszíneiként jelennek meg a Naprendszeren (vagy éppen galaxisunkon) kívüli exobolygók. Ezek általában különleges helyek, Földünkre ritkán hasonlítanak. Így van ez az eddig felfedezett exobolygókkal is, sok nemcsak bolygónkra, de a Naprendszer más bolygóira sem hasonlít. Új csoportosítást vezettek be a kutatók, amelyhez a bolygók tömegén kívül a hőmérsékletüket (vagy csillaguk körüli keringési pályájukat) is figyelembe vették. Meglepő kezdeti exobolygó-felfedezések voltak az úgynevezett forró jupiterek, a csillagukhoz igen közel keringő, sokszor még a Jupiternél is nagyobb gázóriások. A Naprendszerben nem találunk példát a Földünkénél lényegesen nagyobb (öt-tízszeres tömegű) kőzetbolygóra sem, amit szuperföldnek neveztek el. Nehéz a csoportba sorolás, mert már a Kepler-űrtávcső korai eredményeiből is látszott, hogy különböző méretű exobolygók léteznek (1. ábra), folyamatos az átmenet a Földnél is kisebbektől a Jupiternél jóval nagyobbakig [3].

Az ismert exobolygók egyfajta periódusos rendszerhez hasonló táblázatát találhatjuk meg a Puerto Rico Egyetem honlapján (2. ábra). Összehasonlítás-képpen a Naprendszer égitestjeit is hasonló táblázatba rendezték, sőt a Kepler-űrtávcső által felfedezett exobolygójelöltek csoportosítását is megadták ebben a formában [4].

Nemcsak a kerettantervbe került be az exobolygók témája, hanem a legújabb fizika- (és földrajz-) tankönyvek is foglalkoznak már az exobolygókkal. Pé-

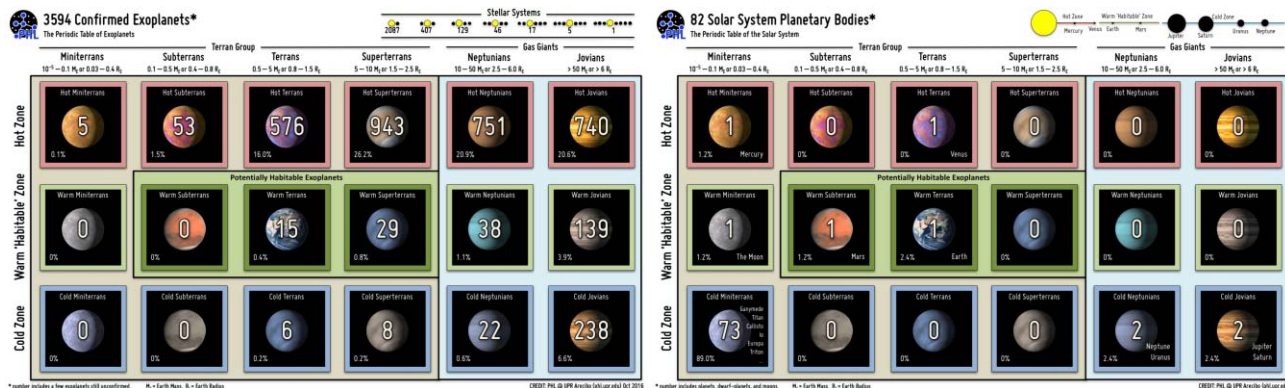


1. ábra. A Kepler-űrtávcső által felfedezett, különböző méretű exobolygók, R<sub>E</sub> a Föld sugarát jelöli (forrás: NASA/Kepler Mission/Wendy Stenzel).

dául a Nemzeti Köznevelési Portálon található 11. osztályos fizikakönyvben a *Van-e élet a Földön kívül?* című leckében az exobolygók legeredményesebb felfedezési módszerét, a tranzitmódszert is bemutatják. Egy következő *Ha majd a Nap kibűl...* című leckében újra előkerül az exobolygók témája, mint egy esetleges kitelepítési helyszín az emberiség számára [5]. Miután nemrég a legközelebbi csillag, a Proxima Centauri körül is felfedeztek exobolygót (Proxima Cen b), amely ráadásul csillagának lakhatósági zónájában kering, biztosan felgyorsulnak az űrutazással kapcsolatos kutatások is [1].

Érdekes, hogy még mielőtt a tankönyvekben olvashattunk volna az exobolygókról, már a fizikaérettségin találhattunk velük kapcsolatos feladatokat, mind közép-, mind emelt szinten [6]. Egy ilyen érettségi feladat kapcsán olvashatunk az exobolygókról és felfedezési módszereikről egy korábbi *Fizikai Szemle*-cikkben [7]. Érdemes megjegyezni, hogy néhány éven keresztül (2009–2014), (a 2007-ben akkreditált) csilla-

2. ábra. A Puerto Rico Egyetem „periódusos táblázatait” (credit: PHL@UPR Arcibo).



gászat tantárgyból is lehetett érettségizni, amelynek követelményrendszerében *A Naprendszer* témakörénél található az exobolygók és kutatásuk [8]. Csillagászatból ugyan már nem lehet érettségizni, de a legújabb változások nem érintették a fizikaérettségin a *Gravitáció és csillagászat* részarányát, maradt 10%.

A Nemzetközi Csillagászati és Asztrofizikai Diákolimpia követelményrendszerében is megtalálhatók az exobolygók és felfedezési módszereik. A 2015-ös diákolimpia egyik rövid elméleti feladata a GJ 876 exobolygórendszerrel volt kapcsolatos, megoldásánál pedig Kepler harmadik törvényének alkalmazását várták el a versenyzőktől. A feladatot és megoldását az alábbiakban közlöm, mert ez akár tanórán is felhasználható.

## Diákolimpiai feladat

A GJ 876 ( $M_{\text{GJ 876}} = (0,33 \pm 0,03) M_{\text{N}}$ ) csillag körül felfedeztek néhány exobolygót, ezek adatait láthatjuk a következő táblázatban, ahol  $M_{\text{N}}$  a Nap,  $m_{\text{F}}$  a Föld és  $m_{\text{J}}$  a Jupiter tömege ( $m_{\text{J}} = 1,8913 \cdot 10^{27}$  kg). Tételezzük fel, hogy az exobolygók ugyanabban az irányban keringenek a GJ 876 csillag körül. Két bolygóról akkor mondjuk, hogy rezonanciában van, ha a keringési idejük aránya jó közelítéssel kis egész számok hányadosa. Keressünk a GJ 876 rendszerben rezonanciában levő exobolygókat!

| GJ 876 csillag bolygója | tömege               | fél nagytengelye (CSE) |
|-------------------------|----------------------|------------------------|
| GJ 876b                 | 2,276 $m_{\text{J}}$ | 0,2083                 |
| GJ 876c                 | 0,714 $m_{\text{J}}$ | 0,1296                 |
| GJ 876d                 | 6,8 $m_{\text{F}}$   | 0,0208                 |
| GJ 876e                 | 15 $m_{\text{F}}$    | 0,334                  |

### Megoldás

Kepler harmadik törvénye írja le a kapcsolatot egy ( $M_{\text{cs}}$  tömegű) csillag körül keringő ( $m_b$  tömegű) (exo)bolygó  $T$  keringési ideje és pályája  $a$  fél nagytengelye között:

$$\frac{a^3}{T^2} = \frac{k^2 (M_{\text{cs}} + m_b)}{4 \pi^2},$$

ahol  $k = 0,0172$  a Gauss-féle gravitációs állandó, ha a tömeget a Nap tömegében, a keringési időt napban, a fél nagytengelyt csillagászati egységben adjuk meg. A Gauss-féle gravitációs állandó négyzete megegyezik az általános gravitációs állandóval ( $k^2 = G = 6,673 \cdot 10^{-11} \text{Nm}^2\text{kg}^{-2}$ ).

Két exobolygó  $T_1$  és  $T_2$  keringési ideje négyzetének hányadosa:

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{(M_{\text{cs}} + m_2) a_1^3}{(M_{\text{cs}} + m_1) a_2^3},$$

ahol  $M_{\text{cs}}$  most is a csillag,  $m_1$  és  $m_2$  pedig a két exobolygó tömege.

A tömegeket célszerű ugyanahhoz az égitesthez, például a Jupiterhez viszonyítani (bár értékeiket konkrétan is ki lehetne számolni, hiszen megadták a Jupiter tömegét, de ez a feladat szempontjából felesleges). A Nap tömege 1047-szerese a Jupiter  $m_{\text{J}}$  tömegének, míg a Jupiter tömege 318-szorosa a Föld  $m_{\text{F}}$  tömegének. A GJ 876 csillag tömege így:

$$M_{\text{GJ 876}} = (0,33 \pm 0,03) M_{\text{Nap}} = (345,5 \pm 31) m_{\text{J}}.$$

A GJ 876d (továbbiakban egyszerűen  $d$ ) jelű exobolygó tömege  $m_d = 6,8 m_{\text{F}} = 0,0214 m_{\text{J}}$ , az  $e$  jelű exobolygó tömege pedig:  $m_e = 15 m_{\text{F}} = 0,047 m_{\text{J}}$ .

Az exobolygó és a csillag tömegének összegét jó közelítéssel helyettesíthetjük a csillag tömegével, majd képletünk a középiskolások által ismert alakra egyszerűsödik:

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3}.$$

A GJ 876 csillag ismert exobolygói a következő sorrendben követik egymást a csillagtól távolodva:  $d$ ,  $c$ ,  $b$  és  $e$ . Ezt a sorrendet az exobolygópályák fél nagytengelyeinek értékéből lehet megállapítani. (A csillag neve utáni kis betűket az exobolygók felfedezésük sorrendjében kapják, a  $b$  betűtől kezdve.)

A  $c$  és a  $d$  exobolygók keringési idejének hányadosa:

$$\frac{T_c}{T_d} = \sqrt{\frac{a_c^3}{a_d^3}} \approx 31,7$$

amely nem írható fel kis egész számok hányadosaként. Ha a  $b$  vagy az  $e$  exobolygók keringési idejét viszonyítjuk a  $d$  keringési idejéhez, akkor még nagyobb számot kapunk, tehát ezeket nem érdemes kiszámolni. Hasonlóan a  $b$  és  $c$  keringési idejének aránya: 2,04, amely közelítőleg a 2:1-es rezonanciának felel meg. Meg kell még vizsgálnunk az  $e$  és  $b$  exobolygók keringési idejének arányát is, amelyre 2,03 értéket kapunk, ez az előzőhöz hasonlóan szintén 2:1-es rezonanciának felel meg. E két rezonanciából következik, hogy az  $e$  és  $c$  exobolygók 4:1-es rezonanciában vannak.

Tehát a GJ 876 csillag exobolygórendszerében három bolygó áll egymással rezonanciában ( $T_c : T_b : T_e = 1:2:4$ ). Ellenőrzésképpen a mért (exobolygó-katalógusban megadott) keringési periódusok: 30,23 nap, 61,03 nap és 124,69 nap, amelyek jól egyeznek eredményünkkel [1].

Ilyen rezonancia Naprendszerünkben is megtalálható, igaz nem bolygók, hanem a Jupiter három belső Galilei-holdja között ( $T_{\text{Io}} : T_{\text{Europa}} : T_{\text{Ganymedes}} = 1:2:4$ , keringési idejük rendre: 1,77 nap, 3,55 nap és 7,16 nap).

2019-ben Magyarország rendezte a Nemzetközi Asztrofizikai és Csillagászati Diákolimpiát, a feladatok között nagy valószínűséggel lesz exobolygókkal kapcsolatos, érdekes probléma. Ilyen feladatra a Nemzetközi Fizikai Diákolimpián is van esély, hiszen követelményrendszerében szerepel az égi mechanika témakör, de akár fényerősséggel vagy távcsövekkel kapcsolatban is adhatnak exobolygós feladatot.

Csillagászaink jeleskednek az exobolygó-kutatásban, több nemzetközi együttműködésben is részt vesznek, sőt van egy magyar exobolygó-felfedező csoport is, a HATNet (Hungarian-made Automated Telescope Network, Magyar Automatikus Távcsohálózat, <http://hatnet.org>). *Bakos Gáspár* vezetésével, 11 cm átmérőjű automatizált távcsovekkel keresnek exobolygókat. A robotizált távcsoveket olyan helyekre igyekeztek telepíteni, ahol nemcsak az észlelési feltételek megfelelőek, hanem a távcsovek egymás utáni megfigyelései szinte folyamatos mérést tesznek lehetővé. Vannak távcsovek Arizonában, a Hawaii-szigeteken, Izraelben, Chilében, Namíbiában és Ausztráliában is. A helyszínekből láthatjuk, hogy mind az északi, mind a déli égbolton (HAT-South, Hungarian-made Automated Telescope Network-South, <http://hatsouth.org>) is tudnak vizsgálni. Az első, 2006-os felfedezésük óta az északi égbolton 60, míg a déli égbolton 35 exobolygót találtak.

Az exobolygók témája igen alkalmas az olyan versenyekre is, amelyeken egy diák által kiválasztott témában kell elmélyülni, kutatni. Ilyen nemzetközi verseny például az *Első lépés a Nobel-díj felé* (<http://www.ifpan.edu.pl/firststep>), amelyet 1992-től kezdve évente rendeznek meg Lengyelországban. 2011-ben *Galgóczi Gábor* *Inferring the Physical Parameters of Extrasolar Planets with the Transit Method* című munkájával nyert első díjat ezen a versenyen. Munkájához exobolygó-kutatásokban járatos csillagászoktól kapott segítséget, illetve lehetősége nyílt többek között a Piskéztetői Observatóriumban méréseket végezni.

Amatőr csillagászok is végezhetnek exobolygó-észleléseket, amelyhez például az *Exoplanet Observing for Amateurs* ([http://brucegary.net/book\\_EOA/x.htm](http://brucegary.net/book_EOA/x.htm)) könyvből kaphatnak segítséget.

Arra is van lehetőség, hogy valódi mérési adatokból keressünk exobolygókat. A *Planet Hunter* weboldalon (<https://www.planethunters.org>) a Kepler-űrtávcso méréseiből készült fényörbékben bárki bejelölheti a fényességcsökkenési helyeket, amelyeket akár exobolygók is okozhatnak. Az emberek jó mintázatfelismerő képessége teszi eredményessé a keresést. Az e projektben felfedezett első exobolygó, a PH-1b (Kepler-64b) igen különleges hely, hiszen az egy négy csillagot tartalmazó rendszerben található. Az egyik csillagpár körül 138 napos periódussal, 0,6 CSE-re keringő, PH-1b exobolygó fél jupiternyi tömegű. A csillagpártól 1000 CSE-re egy másik csillagkettős is található a rendszerben.

Ezen „exobolygóvadász” program sikerességét mutatja, hogy a NASA-val együttműködve egy 9 leckéből álló, tanítást segítő anyagot készítettek (Planet Hunters Guide: <https://www.planethunters.org/#/education>). Ebben a Naprendszerből kiindulva jutunk el az exobolygókig. Felfedezési módszereikkel, tulajdonságaikkal, lakhatóságukkal ismertetnek meg az egyes tananyagleírások. A projekt jellegéből adódóan különös figyelmet szentelnek a tranzitmódszernek, és az egész anyagot átszövi a földön kívüli élet keresése.

Sajnos diákjaink többsége nemhogy csillagászati vagy fizikai versenyeken nem vesz részt, de a fizika érettségig sem sokan választják, így ilyen formákban nem találkozunk az exobolygókkal. Viszont számukra is érdekes a téma, róla szívesen hallgatnak információkat, gyűjtenek adatokat, néznek kisfilmeket, vagy éppen interaktív internetes oldalakat. Szerencsére rájuk is gondoltak az úrkutatási szervezetek, egyetemek, csillagvizsgálók, természettudományos múzeumok, számos lehetőséget teremtve az exobolygókkal való élményszerű ismerkedésre. Ezek közül ajánlok néhányat a következőkben.

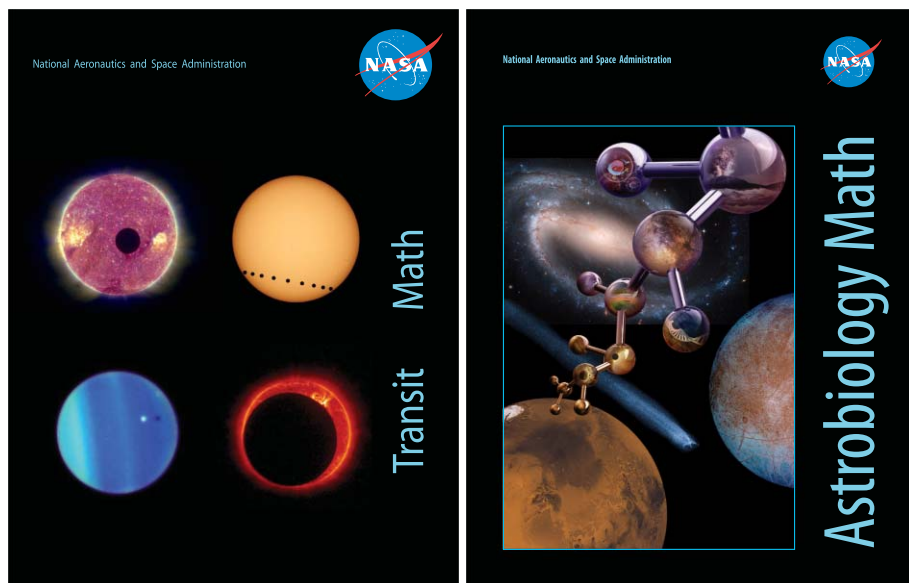
Több exobolygókatalógus is létezik. Ezek közül a *The Extrasolar Planets Encyclopaedia* az egyik leginkább naprakész, hitelességét tudományos cikkekkel támasztja alá [1].

Hasonlóan hiteles és tudományos a NASA *Exoplanet Archive* (A Service of NASA Exoplanet Science Institute) (<http://exoplanetarchive.ipac.caltech.edu/index.html>). Ezen a honlapon az exobolygójelöltek adatai is szerepelnek. Az előző *Exobolygó enciklopédiánál* interaktívabb keresést biztosít, és a legújabb exobolygókkal kapcsolatos eredményekre is felhívja a figyelmet.

Az *Open Exoplanet Catalogue* (<http://www.openexoplanetcatalogue.com>) művészi ábrázolásokat is mutat az exobolygókról. Láthatjuk a központi csillag(ok) lakhatósági zónáját és hogy ehhez képest miként helyezkednek el az exobolygók. A Naprendszer bolygóival való nagyság szerinti összehasonlító ábra is segít az exobolygók megismerésében.

A Puerto Rico Egyetem (Planetary Hability Laboratory) hozta létre a *Lakható Exobolygók Katalógusát* (PHL Mapping the Habitable Universe). Különbözőképpen rangsorolják a lakhatósági zónában keringő exobolygókat, például a Földhöz való hasonlóság szerint, vagy éppen, hogy milyen távol vannak tőlünk. Említésre méltó az exobolygó-felfedező módszereket bemutató animációjuk is, ahol azt mutatják meg, hogy milyennek látnánk egy exobolygó gazdacsillagának fényességváltozását. Az asztrobiológiai híreket is követhetjük ezen a webhelyen. Egy kisfilm (*Wanderers*) is található a kezdőoldalon, amely akár egy jövőbeli naprendszerbeli űrturizmus reklámfilmje is lehetne. Érdemes diákjainknak ajánlani, időről időre felkeresni ezt a honlapot. [4]

A NASA *Eyes on Exoplanet* interaktív oldalán (<https://eyes.nasa.gov/eyes-on-exoplanets.html>) a felfedezett exobolygók és csillagaik adatain kívül az exobolygók csillaguk körüli keringését is láthatjuk. Beállíthatjuk, hogy a program a lakhatósági zónát is mutassa. A Naprendszerrel való összehasonlításra is van lehetőség. Megadják az odautazás időtartamát különböző közlekedési eszközzel (autó, gyorsvonat, repülő), illetve fénysebességgel haladva. Exobolygós híreket lehet olvasni, különleges exobolygókat keresni, még az exobolygó-kereső űrtávcsovekről is találunk rövid leírást.



3. ábra. A NASA két, exobolygós feladatokat tartalmazó gyűjteménye.

Gl 581d exobolygó adatait és képét mutatják. Az *Alien Safari* a Föld extrém élőhelyeinek lakóival ismertet meg. Olyan különleges exobolygókat is bemutatnak (*Strange New Worlds*), amelyekhez hasonlóakat a Naprendszerben nem találunk. Néhány ilyen exobolygóra való (képzeletbeli) utazáshoz készítettek plakátokat is (*Exoplanet Travel Bureau*). Egyiken, a Taotooine-nak elnevezett exobolygóra invitálnak, ahol árnyékunknak mindig van társa, hiszen a Kepler-16b exobolygó kettőscsillag körül kering, mint a *Star Wars* film Taotooine bolygója. Említésre méltó még a PSO J318.5-22

Készültek olyan csillagászati feladatok (*SpaceMath*), amelyek megfogalmazásukban új ismeretet is tanítanak, és általában egy szép képpel keltik fel az érdeklődést. Ilyen típusú feladatokkal a diákok (tudományos) szövegértését is fejleszthetjük, és nagy értékük még ezeknek a feladatoknak a valós adatok használata. A NASA több kötetnyi feladatsort (<http://spacemath.gsfc.nasa.gov/books.html>) készített, az exobolygós feladatok főleg a *Tranzit* és az *Asztrobiológia* gyűjteményekben szerepelnek (3. ábra). A feladatok részletes megoldásán kívül a felhasznált ismeretek rövid összefoglalóját és a tantervi kapcsolódásokat is megadják, igaz az amerikaihoz viszonyítva. Táblázatban közlik az egyes feladatoknál alkalmazott matematikai ismeretanyagot, és hogy milyen korosztálynak tanácsolják a felhasználásukat. A matematika tanítása során is fontos a valós problémafelvetés, így ezek a csillagászati feladatok a matematikaórákat is színesíthetik.

A legsikeresebb exobolygó-kereső távcső, a Kepler honlapja is gazdag. A projektről, sőt névadójáról, *Johannes Keplerről* és törvényeiről is olvashatunk. A felfedezett exobolygók részletes tulajdonságait tartalmazó táblázaton kívül vannak exobolygókkal és kutatásukkal kapcsolatos videók, animációk is ezen a honlapon. Interaktív módon mutatják be a tranzitos módszer lényegét és a kutatás menetét. Külön foglalkoznak az oktatással, az ajánlott foglalkozásterveket korcsoport szerinti bontásban is megadják [3].

Szórazottató formában szerezhethetünk ismereteket az *Exoplanet Exploration* (Planets Beyond Our Solar System, <https://exoplanets.nasa.gov/interactives>) honlapról. A *Csillagközi utazástervezővel* (Interstellar Trip Planner) Naprendszeren belül, illetve azon kívül tervezhetünk utakat különböző közlekedési eszközökkel, közöttük a Voyager-űrszondával is. A *Bolygó-készítő* szimulációval láthatjuk, milyen lenne egy általunk elképzelt exobolygó. Csillagától való távolságát, méretét, életkorát és a csillag típusát is változtathatjuk. Összehasonlításképpen a Föld, a Mars és a

exobolygó, amelyet úgy hirdetnek, hogy ott az éjszakai élet soha nem ér véget. Ez az exobolygó szabadon vándorol a csillagok között, így egyik csillag fénye sem elég erős a nappali világosságához. Az exobolygó-kutatás jelentős állomásait a *Historic Timeline* mutatja be. Az exobolygó-felfedező módszereket pedig látványos szimulációkból érthetjük meg.

A szinte minden diáknál megtalálható okos telefonokra, tabletekre is készültek színvonalas, naprakész exobolygós alkalmazások, ilyen például a *Hanno Rein* által készített és folyamatosan frissített, ingyenes Exoplanet iTunes program.

## Versenyek diákoknak

Vannak olyan versenyek is, ahol a tudományosság mellett az érdekfeszítő feldolgozás- és előadásmód is fontos szerepet játszik. Ezekre hosszan készülnek diákjaink, így a megszerzett tudás is tartósan rögzül bennük. Általában több oldalról is megvizsgálják a kiszemelt problémát, és sokszor van szükség tantárgyközi együttműködésre is. Két ilyen versenyt említek meg, egy hazait és egy nemzetközit, amelyen sikeresen szerepeltek tanulóm.

A *Fizika mindenkinek* és *Matematika mindenkinek* versenyeken két kategóriában vehetnek részt diákjaink: 9–10. és 11–13. évfolyamos tanulók alkotnak külön csoportot. Erre az ingyenes versenyre internetes jelentkezés során egy 15 diás előadás beküldésével lehet jelentkezni, majd a döntőre kiválasztott tanulók 10 percen belül mutathatják be előadásukat [9]. Iskolánkból kilencdedikes tanulók a *Matematika mindenkinek* versenyen a Drake-egyenlet feldolgozásával szerepeltek sikeresen (4. ábra). A Drake-egyenletnek nevezett képlet segítségével becsülhető, hogy hány értelmes civilizációval kerülhet kapcsolatba az emberiség. A formula egyes összetevőit felbecsültettük iskolánk diákjaival. A kiértékelés nem volt egyszerű, mert sokan nem számszerűsít-

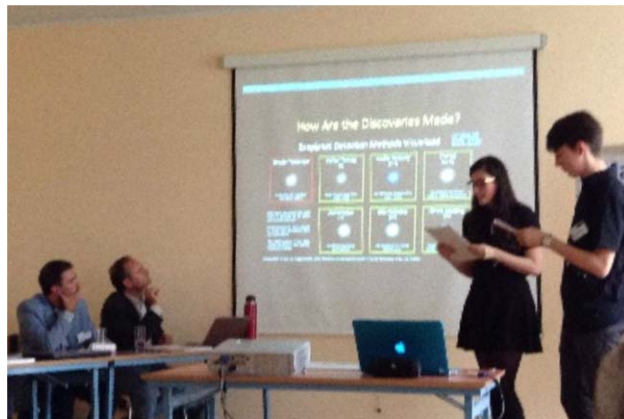


4. ábra. Brenner Dominik (Kosztolányi Dezső Gimnázium, Budapest tanulója) előadás közben a *Matematika mindenkinek* versenyen.

tették becsléseiket, de az kiderült, hogy nagyon kevés járatosak a témában. Az elkészített előadást nemcsak a versenyen mondták el tanulóim, hanem diáktársaiknak is, hogy ők is megismerhessék a tudomány mai állása szerinti eredményeket és összehasonlíthassák az általuk becsült (tippelt) értékekkel. A diasorozat megtalálható iskolánk honlapján [10].

Az *Odyseus* nemzetközi csillagászati versenyen több témakört és azokon belül is több lehetőséget adnak meg, de a versenyzők – három korcsoportban – lényegében bármilyen csillagászati témával jelentkezhetnek. A felső tagozatos korosztálytól rajzot vártak, a 14–18 évesek, illetve az egyetemisták pedig többféle módon dolgozhattak fel egy általuk választott csillagászati témát [11]. Volt, aki kísérletezett-mért, volt, aki filmet-animációt készített, voltak esszé-szerű kidolgozások, tanulóim pedig egy sci-fi képregénnyel készültek [9].

Négy nagy témakör szerepelt a versenyen: *A Naprendszer és űrtudományok*, *Európa az űrben*, *Embernek a Marson* és *Asztrobiológia – az élet keresése az Univerzumban*. Két kilencedikes diákom ez utóbbi témakörön belül választotta az *Írj egy sci-fit egy olyan űrutazásról, amelyben a fénysebesség 90%-ával repülhetünk egy exobolygóhoz* témát. A verseny első, országos fordulójában a diákok anyanyelvükön dolgozhattak, de a területi, majd az európai döntőre kijutott csapatoknak már angolul kellett előadniuk. Ajánlották, hogy egy projektmunkalapot is töltsünk ki, amelynek megírása folyamán többféleképpen is átgondoltuk a választott témát, megbeszéltük, melyek a valós és melyek a fantasztikus elemek a képregényben. Foglalkoztunk a fenntarthatóság témakörével és a földön kívüli élet kérdéskörének társadalmi vonatkozásaival is. A Grazban tartott területi döntőre készülve nemcsak angolra kellett lefordítani mindkét anyagunkat, hanem új ötletekre volt szükség az előadáshoz, hiszen nem vetíthettük ki diánként a képregényt. Diákjaim az igazi mozifilmekhez hasonlóan, figyelemfelkeltő rövid filmelőzetest készítettek a képregény képeiből. Három helyszínen (Föld, űrhajó, Gliese 667Cc), időrendben összehasonlítva mutatták be a jelentősebb történéseket. Végül pedig az exo-



5. ábra. Malatinszky Adél és Blum Norbert (Kosztolányi Dezső Gimnázium, Budapest tanuló) előadást tartanak *Odyseus-verseny* területi döntőjén Grazban.

bolygókkal kapcsolatos fontosabb ismeretek következtek. Többek között beszéltek az exobolygók változatosságáról, sokféleségéről. Készítettek a lakható exobolygókról egy szófelhőt, külön kiemelve a választott Gliese 667Cc exobolygót. Röviden ismertették a legeredményesebb exobolygó-kereső módszereket, és a legtöbb felfedezést adó Kepler-űrtávcsövet. Elmondták az űrből és a Földről történő távcsöves megfigyelések előnyeit és hátrányait. Megemlítették exobolygó-kereséssel foglalkozó jövőbeli űrmissziókat is. Ezek után beszéltek a lakhatósági zónáról. Megmutatták, hogyan függ e terület elhelyezkedése a csillag típusától, hőmérsékletétől. Ismertették a Földhöz leginkább hasonló exobolygókat, rögtön a lista elején a választott úti céllal, a Gliese 667Cc-vel. Bemutatták, hogy ez az exobolygó csillagának lakhatósági zónájában kering, majd érdekességképpen a földi és az ezen exobolygón látható naplementéket összehasonlító képet is mutattak. Ezen exobolygó különlegessége, hogy hármas csillagrendszerben kering, így az egén egyszerre akár 3 nap is ragyoghat. Végül hiteles forrásait, segítő tanáraikat, diáktársaikat is megemlítették [9]. Előadásukat színesítette, hogy mindketten egy általuk tervezett, csillagokkal díszített pólót viseltek. Munkájukat nemcsak a területi döntőn adták elő, hanem diáktársaiknak, tanáraiknak is, felébresztve bennük a téma iránti érdeklődést. Említésre méltó, hogy egyikük gyakorlasként egy angol nyelvtanfolyamon is elmondhatta az előadást, amely nagyon tetszett az ott nyelvet tanulóknak és a nyelvtanárnak is (5. ábra).

## Segítség a tanároknak

Készültek tanárokat segítő gyűjtemények is, mint például az igazán jelentős hírekhez kapcsolódó NASA *Teachable Moments* (<http://www.jpl.nasa.gov/edu/news/column/teachable-moments>), ebben egy-két éve tanácsokat, leírásokat, internetes forrásokat gyűjtenek össze, amelyek felhasználásával diákjainknak óráinkon hitelesen beszélhetünk ezekről a témákról. Exobolygókkal kapcsolatosan 2015-ben, a leginkább Földre hasonló Kepler-452b felfedezésekor adtak ki

egy ilyen anyagot, illetve a 2016. május eleji Merkúr-átvonulás kapcsán is utaltak az exobolygókra és azok tranzitjára.

Nemrég indult el a *Science WOW!* (<https://blogs.nasa.gov/educationsciencewow>) tanítást segítő csillagászati blog, amelyben egy-egy kérdés kapcsán gyűjtik össze a kapcsolódó anyagokat, forrásokat. A bolygók témaköre is szerepelt a *Mit nevezünk bolygónak?* kérdéskörnél.

Léteznek ingyenes tanártovábbképzések is a neten például *webinar* formában, amelyeken hozzáértő, sokszor tanítási tapasztalattal is rendelkező kutatók segítenek egy-egy téma tanításában. Gyakran tartanak ilyen előadást az exobolygókkal kapcsolatban is, egyiken többek között arra bátorítottak, hogy a Kepler-űrszonda valós anyagait felhasználva ismertessük meg diákjainkkal az exobolygókat és felfedezési módszereiket. Ezen alkalmakon tanítást segítő anyagokat is ajánlanak, és fontos, hogy naprakész információkkal ismertetik meg a hallgatóságot, akik bármely országból részt vehetnek, kérdezhetnek, véleményyt nyilváníthatnak ezen webinárokon.

Az eddig leírtak kis szépséghibája, hogy a lehetőségek angol nyelvűek, bár ez diákjainknak már kevesebb akadályt jelent, mint gondolnánk, és a tanárok többsége is rendelkezik megfelelő nyelvtudással.

Léteznek élvezetes magyar nyelvű könyvek, összefoglaló írások, és az exobolygókkal kapcsolatos új hírekről is beszámolnak hiteles folyóiratok, webhelyek is. Könyvek közül a következőket ajánlom: *Almár Iván: Kozmikus társskereső* (Kossuth Kiadó, 2011), *Kereszturi Ákos: Asztrobiológia* (Magyar Csillagászati Egyesület, 2010). A szegedi egyetem exobolygós webes összefoglalóját (<http://astro.u-szeged.hu/ismeret/exo/extrasol.html>) is ajánlhatjuk diákjainknak. Az *Élet és Tudomány* és a *Természet Világa* fo-

lyóiratokban rendszeresen közölnek exobolygókkal kapcsolatos írásokat. A [www.csillagaszat.hu](http://www.csillagaszat.hu) és a [www.urvilag.hu](http://www.urvilag.hu) több éve, rendszeresen hírt adó weboldalakon pedig lehetőség van az újakon kívül a régebbiek között is keresgélni például az exobolygók témájában is.

A cikk terjedelmi korlátai miatt nem tudtam több, exobolygóval kapcsolatos, hiteles, érdekes, sokszor interaktív elemekkel gazdagított honlapot bemutatni, de sok hasznos, tanórákon is felhasználható anyag van még a világhálón. Remélem, sikerült felkeltenem az érdeklődést az exobolygók világában való tájékozódáshoz, hogy ilyen módon is motiválhassuk tanulóinkat. A téma interdiszciplináris, több kapcsolódási pont adódik a csillagászat, fizika, földrajz, kémia és biológia között, de ha a gazdag tudományos-fantasztikus irodalmat, képregényeket, filmeket, műalkotásokat is figyelembe vesszük, akkor a humán tárgyakat is felsorolhatnánk. Színesítsük a fizika és egyéb tanóráinkat az exobolygókkal kapcsolatos ismeretekkel!

#### Irodalom

1. <http://exoplanet.eu> (3527 ismert exobolygó, 2016. 09. 12.)
2. [http://kerettanterv.ofi.hu/03\\_melleklet\\_9-12/index\\_4\\_gimn.html](http://kerettanterv.ofi.hu/03_melleklet_9-12/index_4_gimn.html)
3. <http://kepler.nasa.gov/multimedia/artwork/diagrams/?ImageID=221>
4. <http://phl.upr.edu/projects/habitable-exoplanets-catalog/media/pte>
5. <https://portal.nkp.hu>
6. <http://www.oktatas.hu/koznevelas/erettsegi/feladatsorok>
7. <http://fizikaiszemle.hu/archivum/fsz1301/horvath1301.html>  
Horváth Zsuzsa, Érdi Bálint: Exobolygók a fizika érettségén – I–II. *Fizikai Szemle* 63 (2013) 14. és 60. o.
8. [http://www.oktatas.hu/koznevelas/erettsegi/akkreditalt\\_vizsgatargyak](http://www.oktatas.hu/koznevelas/erettsegi/akkreditalt_vizsgatargyak)
9. [http://hik.bme.hu/fizika\\_mindenkinek\\_2017](http://hik.bme.hu/fizika_mindenkinek_2017)  
[http://hik.bme.hu/matematika\\_mindenkinek\\_2017](http://hik.bme.hu/matematika_mindenkinek_2017)  
[http://hik.bme.hu/matematika\\_mindenkinek\\_2016\\_dijazottak](http://hik.bme.hu/matematika_mindenkinek_2016_dijazottak)
10. <http://kosztolanyi-bp.sulinet.hu/hirek/eredmenyeink>
11. <http://www.odysseus-contest.eu>