

A KISBOLYGÓK VILÁGNAPJÁRA

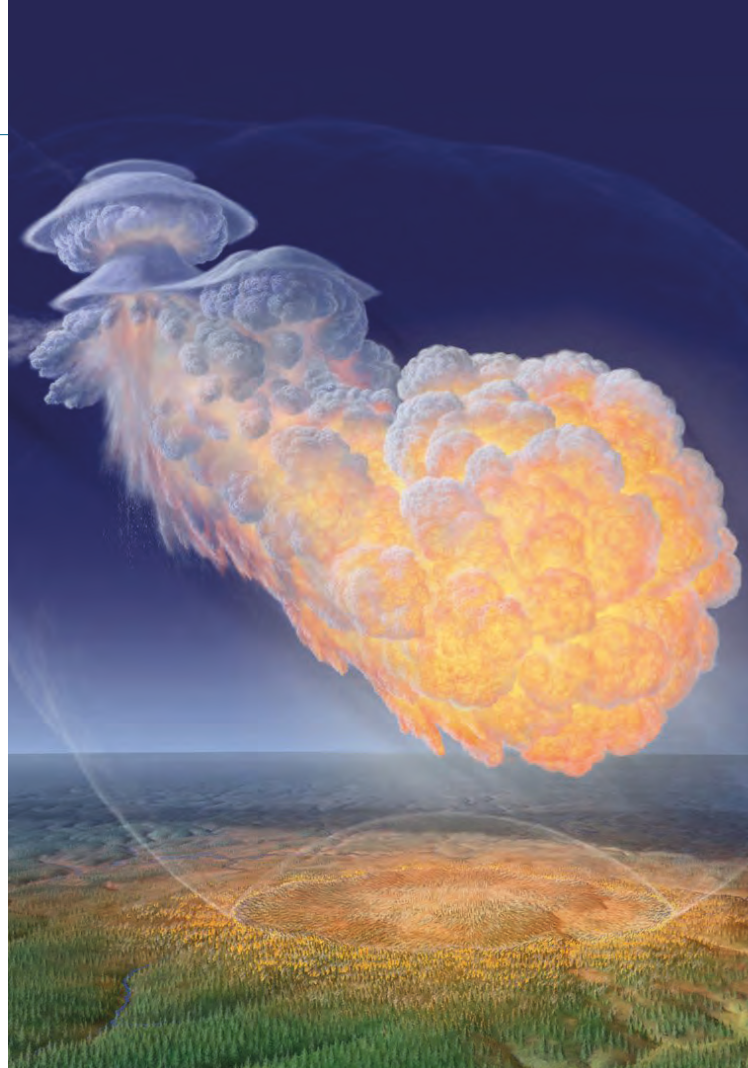
Kis égitestek földközelenben

1. RÉSZ A 2018-as év bővelkedik a földközeli természetes kis égitestekkel kapcsolatos évfordulókban, illetőleg a kutatással, közelebbi megismerésükkel kapcsolatos eseményekben. Ezek a nevezetes és emlékezetes események az első földközeli kisbolygó, az Eros felfedezésének 120. évfordulója, az 1908. június 30-i Tunguz-esemény 110. évfordulója.

Az ENSZ június 30-át a Kisbolygók Világnapjává (Asteroid Day) nyilvánította, ami egyben a Tunguz-jelenségre emlékeztet, és minden évben a kisbolygókról szerzett tudásunk és lehetséges hatásaik ismertetésére ad lehetőséget. Tehát ez a nap nem csupán az 1908-as Tunguz-meteor emléknapja, hanem sokkal inkább figyelemfelkeltés kozmikus fenyegetettségünkre, illetve a kisbolygókkal kapcsolatban eddig szerzett tudományos ismeretek minél szélesebb körben történő terjesztésére a nagyközönség számára egészen a hivatalos döntéshozókig, kormányokig. Tudjuk, hogy a Csillagászat Nemzetközi Éve (2009) hivatalos ENSZ-évvé nyilvánítása már 2002-ben felmerült, és hosszas szervezőmunka előzte meg a minősítést. A Fény Éve esetében gyorsabban zajlottak a folyamatok, a Kisbolygók Napja esetében pedig úgy tűnik, egészen gyorsan, hiszen meglehetősen új kezdeményezésről van szó. Első ízben 2015. június 30-án tartották meg a jeles napot, a Tunguz-meteor 1908-as pusztítására emlékezve.

A Kisbolygók Világnapja gondolatát először Grigorij Richters filmproducer, egy elképzelt veszélyes kisbolygó várható becsapódásáról szóló „Az 51. északi szélesség” című film rendezője, Russel (Rusty) Schweickart amerikai űrhajós és Brian May asztrofizikus, a Queen együttes gitárosa, vetették fel, majd egy deklarációt fogalmaztak meg, amelyhez több mint 200 neves személyiség, többek között James (Jim) Lovell, Michael Collins, Alexej Leonov, William (Bill) Anders, Chris Hatfield űrhajósok, valamint Kip Thorne fizikus, Lord Martin Rees kozmológus, asztrofizikus csatlakoztak (1. ábra).

May és Richters úgy gondolták, erre a fenyegetettségre egy nemzetközi nappal is felhívják a figyelmet. Felhívásukhoz 2014 őszén az űrhajósokon és



asztrofizikusokon kívül egy sor híresség csatlakozott, mint például Peter Gabriel vagy Bill Nye. Eddig három alkalommal tartották meg a Kisbolygók Napját, a projekt honlapja szerint 78 országban több mint 600 helyszínen szerveztek programokat, bemutatókat. Ahhoz, hogy az ENSZ valamilyen napot nemzetközivé nyilvánítson, valakinek el is kell indítania a folyamatot. Dumitru Prunariu román űrhajós és az Association of Space Explorers (az űrhajósok nemzetközi egyesülete) kezdeményezte a nemzetközi nappá nyilvánítást 2016 februárjában, az ENSZ Világúrbizottságához eljuttatott beadványban. A javaslatot az ENSZ közgyűlése december 7-én elfogadta. 2017. június 30-án első ízben emlékeztünk meg a Kisbolygók Nemzetközi Napjáról.

Az utóbbi három évtizedben a tudományos vizsgálatok és a nagyközönség érdeklődésének közepontjába kerültek a Föld közelében elhaladó előrejelzett vagy teljesen váratlanul feltűnő természetes kis égitestek, a földközeli objektumok: kisbolygók, aktív vagy kihunyt, kigázosodási aktivitást már nem mutató üstökösök. A földközeli kis égitestek széles méretskálán fordulnak elő. A jelenleg érvényes osztályozás szerint a 30 mikrométer és 1 méter közé eső testeket meteoroidnak, a kisebb szemcséket bolygóközi



1. ábra. A Kisbolygók Világnapja alapötletének megálmodói balról jobbra: Lord Martin Rees, Királyi Csillagász (Egyesült Királyság), Grigorij Richters filmrendező és producer (Egyesült Királyság), Brian May PhD asztronfizikus, a Queen együttes gitárosa (Forrás: International Business Time, 2014. december 4.).

(vagy kozmikus) pornak, míg a nagyobbakat anyagi összetételük alapján kisbolygónak, vagy üstökösmag-nak nevezzük.

A légkörben elég meteoroid testekből és a kozmikus porból folyamatosan naponta mintegy 100 tonna anyag érkezik a Föld légkörébe („kozmosz porszitalás”). Ezek közül a nagyobbak éjszaka látványos meteor (hullócsillag, tűzgömb vagy bolida) jelenséget produkálnak.

A kis égitestek mozgásának égi mechanikáját, valamint fizikai és kémiai tulajdonságaikat is meg kell ismerni, hiszen akár a földi evolúcióra is közvetlen hatást tudnak kifejteni. Az ütközési, becsapódási kozmikus katasztrófáknak nagy a jelentőségük a Naprendszer égitestjeinek életében, mind a kisebb égitestek, mind a nagybolygók és holdjaik fejlődéstörténetében.

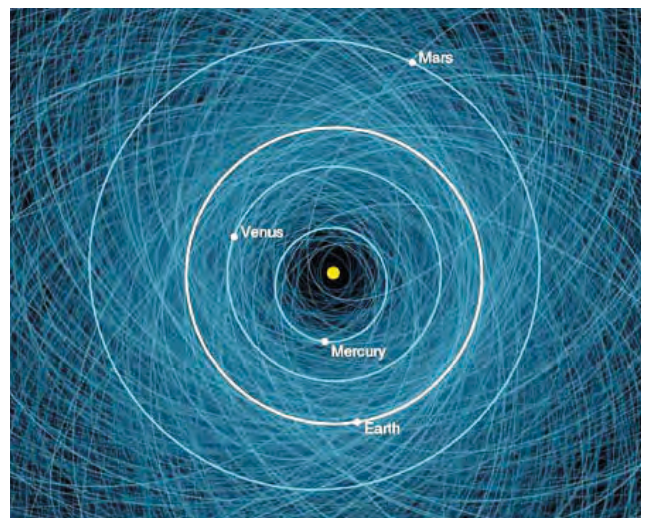
Mit is tudunk tehát a földközeli természetes égitestekről: honnan jönnek, milyen fizikai tulajdonságaik vannak, mi az összetételük és jelenthetnek-e veszélyt a Földre nézve?

Definíció szerint földközeli objektum (Near-Earth Object, NEO) vagy földközeli kisbolygó (Near-Earth Asteroid, NEA) esetleg földközeli üstökös (Near-Earth Comet, NEC) az, amely pályájának napközeli pontja (perihéliuma) $1,3 \text{ CsE}^1$ távolságnál kisebb. A Földdel való ütközés lehetőségét tekintve potenciálisan veszélyes objektumnak (Potentially Hazardous Object, PHO) vagy kisbolygónak (Potentially Hazardous Asteroid, PHA)

1 Csillagászati Egység – csillagászati távolság mértékegység, ami a Nap-Föld közepes távolságának, a Föld ellipszis pályája fél-nagyengelye hosszának felel meg és közelítőleg 149,6 millió km (kerekítve 150 millió km). Elsősorban a Naprendszeren belüli távolságok kifejezését könnyíti meg, de alkalmazható más csillagok körüli bolygórendszerekben, törlemékkorongokban a távolságok mérésére is.

tekintünk egy olyan kis természetes égitestet, aminek a pályája és a Föld pályája $0,05 \text{ CsE}$, azaz 7,5 millió kilométernél ($19,5 \text{ Föld-Hold}$ közepes távolságnál) közelebb van egymáshoz (2. ábra) és a test 140 méternél nagyobb, vagyis egy lehetséges ütközés legalább egy regionális kiterjedésű és mértékű katasztrófát okozna bolygónkon (megkülönböztetünk lokális, regionális, kontinensre kiterjedő, illetve globális kozmikus becsapódási katasztrófális eseményt). Ezeken az égitesteken különösen „rajta kell tartani szemünket”, azaz időben fel kell fedezni ezeket és pályájukat folyamatosan nyomon kell követni, fizikai tulajdonságaikat, összetételüket meg kell ismerni.

A földközeli kisbolygók felfedezésének története 120 évvel ezelőtt, 1898. augusztus 13-án vette kezdetét, amikor Carl Gustav Witt (1866–1946) német csillagász a berlini Uránia Csillagvizsgálóban felfedezte a később (433) Eros nevet kapott kisbolygót. Witt megfigyelésétől függetlenül ugyanazon az éjszakán Auguste Honoré Charlois (1864–1910) a Nizzai Observatóriumban lefotózta a kisbolygót, de csak később ismerte fel, hogy egy új



2. ábra. A Földre nézve potenciálisan veszélyes (PHA) aszteroidák pályái a földpálya (ekliptika) síkjába vetítve: 2014. január 1-jén már 1400 ilyen objektum ismert, 2018 elején pedig már 1800-nál is többet ismertünk (Forrás: NASA/PL Caltech, 2014. január 1.).

kisbolygó van a felvételen. Így végül is Witt lett a felfedező, mert ő jóval korábban bejelentette a felfedezését (3. ábra). Az Eros kisbolygó közepes naptávolsága $1,46 \text{ CsE}$, $1,13 \text{ CsE}$ -re közelíti meg a Napot, naptávolságban $1,78 \text{ CsE}$ -re kerül tőle és mintegy 1,76 év (643 nap) alatt tesz meg egy keringést. Az ellipszis pályája excentricitása²

2 e: numerikus excentricitás – az ellipszis elnyújtottságának mértéke: a középpont és az egyik fókuszpont távolsága (c lineáris excentricitás) és az ellipszis fél-nagyengelye hosszának (a) aránya: $e=c/a < 1$ (speciális esetben, azaz a kör esetén $c=0$, a =rádiusz, így $e=0$).



3. ábra. Az elsőnek felfedezett földközeli kisbolygó, a (433) Eros felfedezője Carl Gustav Witt (1866-1946), és aki ugyanazon az éjszakán készített felvételén később megtalálta, August Honoré Charlois (1864-1910). Középen a NASA NEAR-Shoemaker űrszondája által az Eros kisbolygó felszínétől mintegy 200 km magasságból készített, hat felvételtől összeállított színes kompozit kép. Az Eros alakja egy "banánra" vagy "nyereg" emlékeztet, hossza mintegy 34 km, szélessége két irányban egyaránt 11 km
(Forrás: NASA/JPL Photojournal PIA02923).

0,223, a pálya síkja 10,8 fokos szöget zár be az ekliptika³ síkjával. Az Eros egyébként a földközeli kisbolygók Amor pályatípusának névadója, az elsőnek felfedezett olyan aszteroida, ami a Mars pályájánál közelebb kerül a Naphoz (Erosz görög mitológiai isten, akinek latin megfelelője Amor).

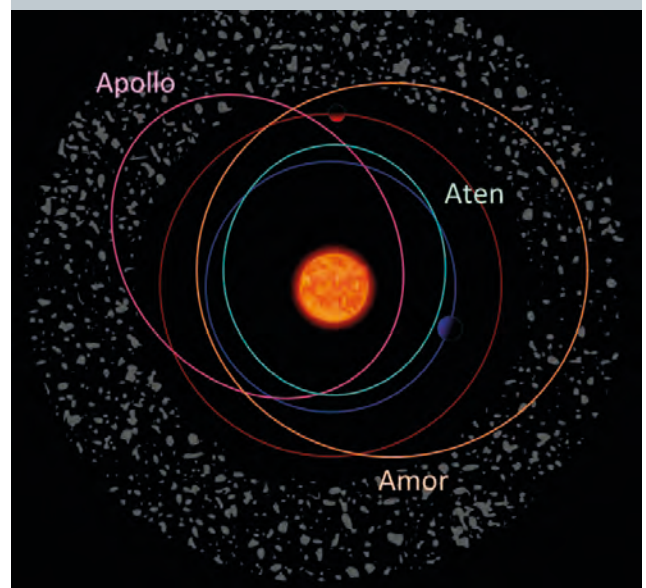
A földközeli objektumokat az alapján is lehet osztályozni, hogy a Föld pályájához képest hogyan helyezkedik el a pályájuk a perihélium (napközeli) és aphélium (naptávoli) távolságuk figyelembevételével, azaz metszik-e vagy sem a Föld pályáját. Ezek alapján az Amor pályatípusú kisbolygók pályája nem metszi a Föld pályáját, mindig kívül marad a Föld pályáján. Az Apollo-típusú kisbolygók közepes naptávolsága a Földénél nagyobb, de a perihéliumuk a Föld pályáján belül van. Az Aten-típusú kisbolygók pályájának legnagyobb része a földpályán belül van, de az aphéliumuk közelében metszik a földpályát (4. ábra). 1998 óta több olyan kisbolygót is felfedeztek, amelyek pályája teljes egészében a földpályán belül van. Ezek az Inner-Earth Objects (IEO) aszteroidák. 2017 végéig 18 IEO-t fedeztek már fel. A Naprendszer belső térségeiben mozgó kis objektumok, úgy a NEO-k és az IEO-k nagy része kaotikusan mozog, jó részük idővel a Napba zuhan vagy a földtípusú bolygókkal esetleg azok holdjaival ütközik. Érdekesség, hogy a Földével közel azonos középmozgással (közepes pályabeli szögsebességgel) a Nap körül több természetes objektum (nem űreszköz vagy annak darabja) is kering,

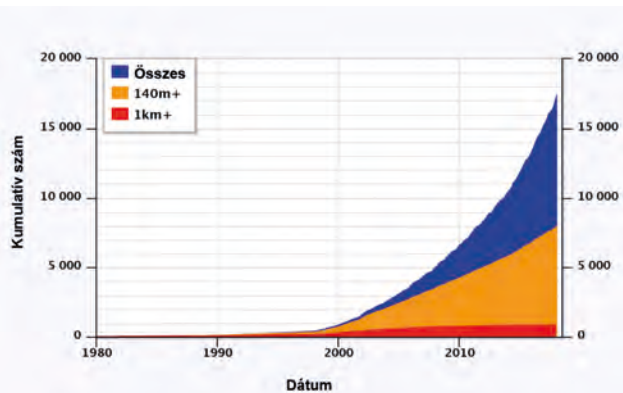
3 A Nap évi látszólagos útja az égbolton, másképp fogalmazva a Föld keringési síkja és az éggömb (pl. egységnyi sugarú gömb) metszészvonala. Általában a földpályát is jelenti, az ekliptika síkja pedig a Nap körül keringő Föld pályájának síkja (az első közelítésben ellipszisnek vehető pálya síkja).

amelyek bolygónkkal koorbitális pályán, illetve mozgásban vannak, vagyis a Földnek a földpályán mozgó időleges koorbitális holdjai vagy kvázi-holdjai ezek. A koorbitális mozgás egy speciális esete az 1:1 rezonancia, illetve annak Lagrange-féle megoldásai. Eddig a Nap-Föld-kisbolygó égi mechanikai háromtest-probléma L4 stabil Lagrange-pontja közelében ismerünk egy Föld-trójai konfigurációban lévő kisbolygót, aminek ideiglenes neve 2010 TK7. A koorbitális pályán levő objektumok nem ütköznek a bolygónkkal.

Különösen fontosak az Apollo és Amor aszteroidák. Az Apollo-típusú kisbolygópálya azt jelenti, hogy a pályájuk metszi a Föld pályáját, lényegében tehát térben nagyon közel van a Föld és a kisbolygó útvonala, az Amor pályák nagyobbik íve pedig teljesen a földpályán belül van és az Amor kisbolygók a naptávoli pontjuk környékén keresztezik a földpályát. Megjegyezzük, hogy a 2013. február 15-én az oroszországi Cseljabinszk városa felett felrobbant meteoroid a pályája alapján szintén egy Apollo-típusú kis égitest volt, tehát az ilyen kis égitestekre különösen oda kell figyelni, meg kell találni őket és a pályájukat figyelemmel kell kísérni. A már több mint kilencezer ismert Apollo aszteroida közül mintegy ezer lehet potenciálisan veszélyes a Földre. Fontos megjegyezni, hogy jelen sorok írásakor nem ismerünk olyan természetes égitestet, amelyről biztosan tudnánk, hogy ütközni fog bolygónkkal, de természetesen a jövőben előfordulhat ilyen esemény, mint ahogyan az a múltban többször már megtörtént.

4. ábra. A földközeli kisbolygók a pályájuk alapján három fő típusba sorolhatók: Aten, Apollo, Amor. A Mars és Jupiter pályái között a kisbolygók fővívét szürke szín jelöli
(Forrás: ESA)





5. ábra. A felfedezett földközeli kisbolygók kumulatív számának növekedése 2017 elejéig. A 140 méteresnél nagyobbakat narancs szín, az 1 km-nél nagyobbakat pedig vörös szín jelöli, míg az összes darabszámot sötét kék mutatja. 2017 elejéig összesen több mint 15 000 földközeli kisbolygót fedeztek fel, 2018 elejéig számuk meghaladta a 18 000-et

(Forrás: NASA/JPL NEO, Alan B. Chamberlin).

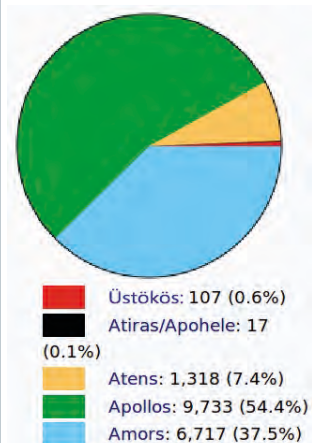
Az ENSZ 2014-ben hozta létre az International Asteroid Warning Network-öt (IAWN), amely riasztást ad ki, ha a jövőben a Földet veszélyesen megközelítő égitestet találnak. Feladatuk a távcsöves megfigyelések koordinálása, a pályák meghatározása és a becsapódás kockázatának elemzése. Az eredetileg egyéni szakemberekből álló nemzetközi szervezethez mostanra főként obszervatóriumok, szervezetek (pl. az ESA) csatlakoztak, de természetesen a megfigyelések jelentős részét továbbra is a munkát támogató egyének végzik. Ennek köszönhetően tavaly a hálózathoz 47 országból (és a világról) mintegy 22 millió észlelés futott be, amelyek közül körülbelül 201 ezer vonatkozott földközeli objektumokra (NEO). Az ismert földközeli égitestek számának gyarapodását a 5. ábrán mutatjuk be. A NASA JPL CNEOS (Center for Near Earth Object Studies) földközeli kisbolygókkal foglalkozó központja 2018. március 1-i adatai szerint összesen 17 982 földközeli objektumot fedeztek már fel, amiből 107 földközeli üstökös van és a többség pedig 17 785 földközeli aszteroida. Ezek között 1886 a Földre nézve potenciális veszélyes ismert kisbolygó van. A becslések szerint összesen mintegy 13 ezer 140 méternél nagyobb földközeli aszteroida lehet, de azok nem mindegyike veszélyes a Földre. A földközeli kis égitesteket a pályájuk szerint csoportosítva ebben a mintában 9773 (54,4%) Apollo pályatípusú kisbolygó van, 6717 (37,5%) Amor, 1318 (7,4%) Aten, 17 Atiras/Apohele (IEO) van, illetve a már említett 107 földközeli üstökös a minta 0,6%-át teszi ki (6. ábra). A földközeli kisbolygók felfedezéséhez több földi obszervatórium (elsősorban amerikai, illetve európai), továbbá néhány űrtávcső is hozzájárult.

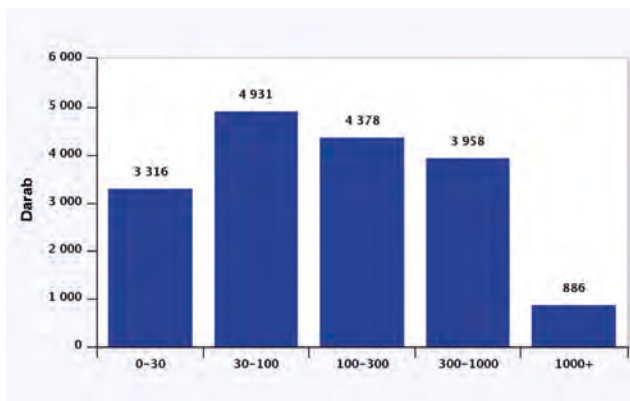
Egyébként magyar csillagászok is kivették, illetve kivették részüket a földközeli objektumok felfedezéséből, megfigyeléséből: az IRAS infravörös űrtávcsővel felfedezett gyorsan mozgó, földközeli aszteroidák és üstökösök (fast moving objects) követésében az (akkori nevén) MTA Csillagászati Kutatóintézet pizskéstetői 60/90/180 centiméteres Schmidt-teleszkópjával fotografikus módszerrel (Lovas Miklós és e sorok írója), illetve később erre a teleszkópra szerelt különböző CCD kamerákkal (Sárnecky Krisztián és munkatársai). A NASA Kepler űrtávcső K2 elnevezésű programja során is sikerült földközeli kisbolygót felfedezni. (Lásd Juhász Áron cikkét – a Szerk.) Ennek a projektnek a vezetője Szabó Róbert.

A 40 méternél nagyobb földközeli kis égitestek becsült száma 840 ezer, ezeknek eddig mintegy 1,5%-át fedezték fel. A 3,5 méteresnél (tehát egy személygépkocsi méreténél) nagyobbak összesen 400±100 millióan lehetnek. Ezeknek csak csupán körülbelül 0,003%-át ismerjük. Az eddigi legkisebb földközeli égitest egy 1 méteres meteoroid, a 2008 TS26. A legnagyobb NEA pedig a nagyjából 36 kilométer méretű (1036) Ganymed, ami egy Amor-típusú és egyben a Mars pályáját metsző kisbolygó, ez azonban nem veszélyes a Földre. A NASA becslése szerint az 1 km-nél nagyobb földközeli aszteroidák száma 500 – 2000 között lehet (7. ábra). A Földre veszélyes első négy legnagyobb kisbolygó az (53319) 1999 JM9 (~7 km), (4183) Cuno (5,6 km) és (3200) Phaethon (5,1 km) és (3122) Florence (4,5 km). A Földbe tehát a legvalószínűbben a meteoroid méretű kis égitestek csapódhatnak be és nem a náluk jóval kevesebb számban levő kilométeresnél nagyobb földközeli objektumok.

A földközeli objektumok földi optikai és radarcsillagászati megfigyelése, valamint néhány NEA és földközeli üstökös űrszondákkal történt közvetlen közeli vizsgálata megmutatta ezek változatos méretét és alakját. A NASA NEAR-Shoemaker (Near-Earth Asteroid

6. ábra. A 2018. március 1-ig felfedezett földközeli kisbolygók száma a pályájuk típusa szerint elkülönítve: földközeli üstökösökből 107 van (0,6%) a földpályán belüli IEO (Atiras/Apohele) 17 van, 1318 (7,4%) Aten, 9733 (54,4%) Apollo és 6717 (37,5%) Amor van (Forrás: NASA/JPL NEO).





7. ábra. A földközeli objektumok (NEO) méret szerinti eloszlása hisztogramja a következő bin-intervallumokban: 30 méternél kisebbek, 30-100 m, 100-300 m, 300-1000 m (1 km), 1000 méternél (1 km-nél) nagyobbak száma (NASA/JPL CNEOS, Alan B. Chamberlin, 2017).

Rendezvous) űrszondája a (433) Eros kisbolygót tanulmányozta, majd a küldetés befejezésekként a szonda simán leszállt az aszteroida felszínére, bár a szondát nem erre tervezték. A JAXA (Japan Aerospace Exploration Agency) Hayabusa-1 („Sólyom”) űrszondája felszíni talajmintát vett és juttatott el a Földre a (25143) Itokawa Apollo-típusú kisbolygóról. A kínai Chang’e-2 („Holdistenő”) holdszonda bolygóközi térbe történő átírányítása után elrepült a (4179) Toutatis földközeli

8. ábra. Néhány jellegzetes földközeli objektum (földközeli kisbolygó és a Föld közelébe kerülő üstökös) a közletről meglátogató űrszondák felvételein, illetve földi radarcsillagászati megfigyelésből: felső sor balról jobbra: (433) Eros (NASA NEAR-Shoemaker), (4179) Toutatis (Kína Chang’e-2 űrszondája), (25143) Itokawa (Japán JAXA/ISAS Hayabusa-1). Az alsó sorban balról jobbra: 103P/Hartley 2-üstökös magja (NASA Deep Impact Extended mission DIXI/EPOXI), 67P/Churyumov-Gerasimenko-üstökös magja (ESA Rosetta/OSIRIS felvétele)



kisbolygó közelében és felvételeket készített róla. A pályájuk következtében a Föld közelébe kerülő üstökösök is változatos alakot mutatnak és esetenként a földközeli aszteroidákhoz is hasonlóak, mint például az ESA Rosetta űrszondája által részletesen vizsgált 67P/Churyumov-Gerasimenko-üstökös magja és a radarcsillagászati eszközökkel megfigyelt 2014 JO25 földközeli kisbolygó két összetevőből álló testének megjelenése. A NASA DIXI/EPOXI (Deep Impact Extended Investigation (DIXI) and Extrasolar Planet Observation and Characterization (EPOCH)) a Deep Impact űrszonda kiterjesztett programja során a 103P/Hartley 2 földközeli üstökös közelében végzett vizsgálatokat, amely során a közeli képfelvételek egy igen aktív és elnyújtott alakú, „kuglibábura” emlékeztető üstökösököt mutattak (8. ábra).

Nemcsak a Naprendszerünk kisbolygói, üstökösei kerülhetnek a Föld közelébe, hanem a csillagközi térből is kis égitestek léphetnek be a Naprendszerbe és egy kozmikus időskálán rövid idejű látogatás után el is hagyhatják a Nap családját. Csillagászat-történeti jelentőségű felfedezés történt 2017. október 18/19-ra virradó éjszaka az amerikai Pan-STARRS (Panoramic Survey Telescope and Rapid Response System, azaz Panoráma-felmérő távcső és gyors reagálású rendszer, PS1 teleszkópja) égboltfelmérő program során: felfedezték az első, csillagközi térből érkezett kis égitestet, amelynek végleges elnevezése 1I/Oumuamua (A/2017 U1) lett. (lásd Sódor Ádám cikkét áprilisi számunkban – a szerk.). A csillagközi térből érkezett kis égitesteknek van a legkisebb ütközési valószínűségük a Földdel, a Naprendszerhez tartozó földközeli objektumok sokkal nagyobb valószínűséggel közül kerülhetnek ki a potenciálisan veszélyes testek.

Az eddigi becslések szerint a Naprendszerben a Neptunusz pályáján belül mintegy tízezer 100 méteres méretű csillagközi eredetű kis égitest lehet és ebben a térségben ezek mintegy 10 évig tartózkodnak, majd elhagyják a Naprendszert. A Földhöz közel kerülő és esetleg potenciálisan veszélyes objektumok leltára a csillagközi térből érkező kis égitestekkel bővült, de ezek bolygónkba ütközésének igen kicsi az esélye a Naprendszerhez tartozó földközeli objektumok által jelentett veszélyhez képest.

TÓTH IMRE

Vége az I. résznek

 Következik júliusi számunkban: Kozmikus fenyegetések