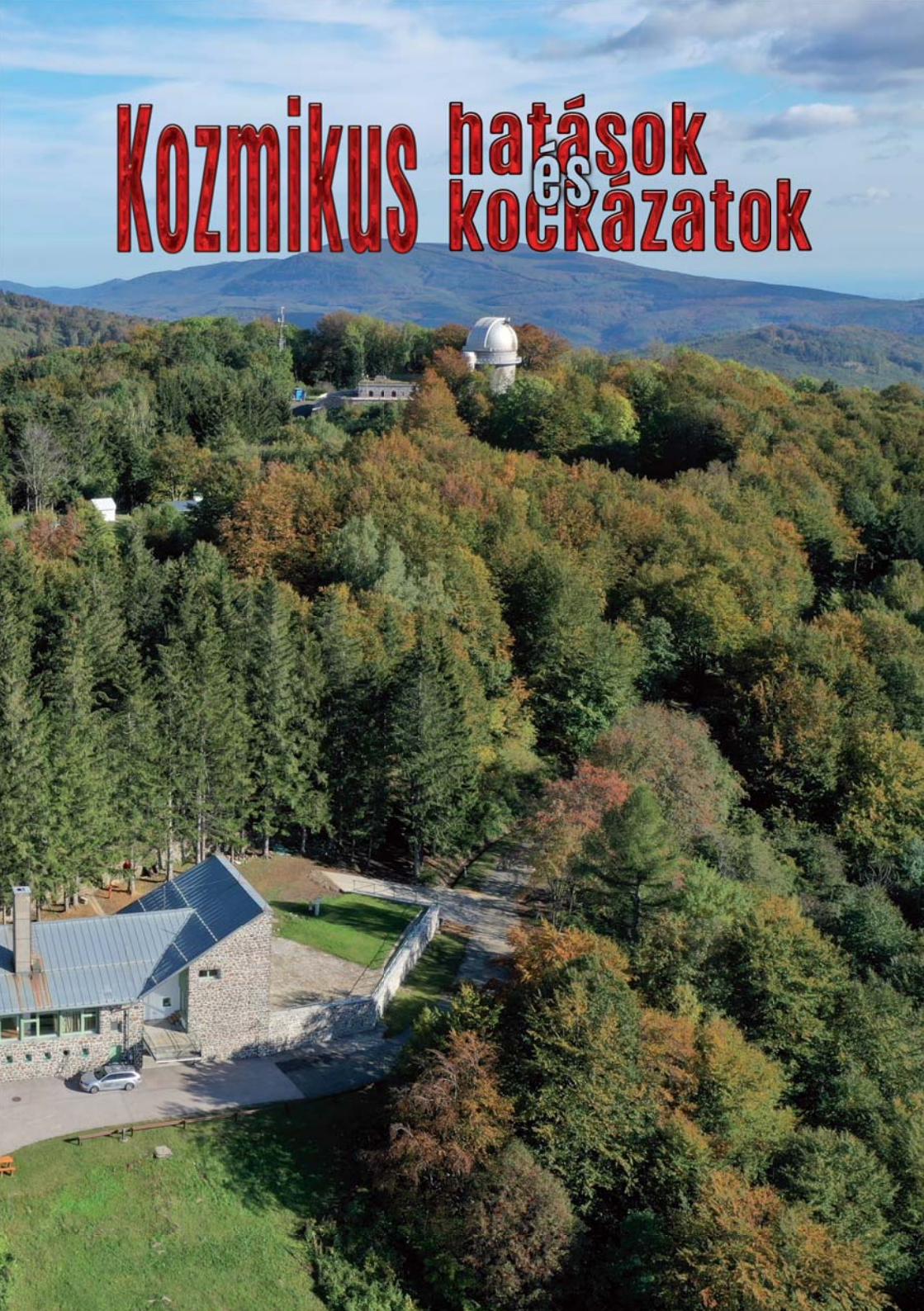
Kozmikus hatások és kockázatok



KOZMIKUS HATÁSOK ÉS KOCKÁZATOK

szerzők:

Barta Veronika
Csák Balázs
Deme Lívia
Igaz Antal
Kereszturi Ákos
Kiss László
Kuli Zoltán
Kovács József
Pál András
Rózsahegyi Márton
Sárneczky Krisztián
Sódor Ádám
Szabó M. Gyula
Tóth Imre
Vinkó József
Wesztergom Viktor

a GINOP 2.3.2-15-2016-00003 jelű projekt
eredménykommunikációs kiadványa

Kozmikus hatások és kockázatok

A Kozmikus hatások és kockázatok elnevezésű projektünk célja, hogy a bolygónkat megközelítő, a Holdba becsapódó, valamint a földi légkört és a felszínt elérő apró égitestek (kisbolygók, üstökösök, meteorok) kutatásában Európában egyedülálló kutató és fejlesztő központot hozzunk létre a Piszkéstetői Obszervatórium és az ELTE Gothard Asztrofizikai Obszervatórium területén. A megvalósítás négy éve alatt kiépített megfigyelőrendszer fontos lépés a Föld körüli térség veszélyeinek felmérésében. Az eszközök és korábbi szakmai tapasztalataik felhasználásával kutatócsoportunk tagjai a csillagászat és a geofizika kutatási módszereivel vizsgálják a Föld környezetét, elemzik a várható veszélyeket, így reális becslést tudnak adni azok mértékéről.

A bolygónkat a világűrből fenyegető veszély valós felméréséhez, illetve a földközeli égitestek űrszondás vizsgálatának, később pedig gazdasági hasznosításának tervezéséhez az első lépés a Föld közelébe kerülő égitestek felderítése, felfedezése. A földközeli égitestek kutatása a csillagászat egyik legaktuálisabb témája, az összes nagy, akár egészen más, például kozmológiai témájú égboltfelmérő programnak részét képezi a naprendszerbéli mozgó objektumok detektálása is. Mivel ezek a programok szinte kivétel nélkül az amerikai kontinensen működnek, hazánk ideális földrajzi hosszúságon fekszik egy világviszonylatban is jelentős, a kontinensen pedig egyedülálló kisbolygókereső központ működtetéséhez. Fejlesztésünkkel a korábbinál jóval nagyobb látómezejű, a kisbolygók keresésére specializált távcső állt munkába a Piszkéstetői Obszervatóriumban, amellyel releváns eredményeket érünk el a témában.

A holdi meteorbecsapódások felvillanásainak monitorozása friss téma a csillagászatban. A műholdakra és űrszondákra potenciális veszélyt jelentő nagyobb, akár kilogrammos meteoroidok gyakoriságának becslése nehéz, mivel ezek előfordulása még a meteorrajokon belül is alacsony, ezért hatalmas területet kell megfigyelni a megbízható statisztikához. A Hold felszínének távcsöves megfigyelésével egyszerre nagyjából 10 millió négyzetkilométeres becsapódási felület követhető. A holdi becsapódásokat figyelő, a korábbiaknál jelentősen nagyobb átmérőjű távcső szombathelyi felállításával a korábbinál kisebb mérettartományok felé terjesztettük ki az ezirányú kutatásokat, ezzel a holdi becsapódások monitorozása terén hazánk szintén a világ élmezőnyébe került.

A közelünkben elhaladó kisbolygók és a Holdba becsapódó meteoritok megfigyelése mellett egy egyedi fejlesztésű, az éjszakai égboltot folyamatosan figyelő intelligens kamerarendszer és egy dedikált ionoszféraradar segítségével lehetőségünk nyílik a légkörbe belépő meteorikus törmelékek korábbi pályájának és légköri repülésének részletes vizsgálatára, részben a testek fizikai jellemzésére, a lehulló törmelékek megtalálására, a hazánkban (és általánosságban a Föld egységnyi területén) földet érő meteoritok számának pontos becslésére. A több helyszínre telepített kamerarendszerünk lefedi Magyarország és a környező országok néhány 100 km-es közelségben húzódó területei felett a teljes légkört.

A projekt eredményeként olyan stratégiai K+F műhely jött létre, ahol a csillagászati képalkotás, a digitális kamerák építése és a hozzájuk tartozó szoftverfejlesztés minden területét nemzetközi szinten műveljük. A Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont és az ELTE Gothard Asztrofizikai Obszervatóriuma konzorciuma világszinten is egyedülálló bolygórendszeres kutatóműhellyé vált, ahol a protoplanetáris korongoktól a távoli üstökösfelhőkön át a belső törmelékzónákig, a földközeli kisbolygókon keresztül a lehulló darabok kereséséig és laboratóriumi elemzéséig foglalkozunk minden témával, az optikaitól az infravörös tartományon át a rádiótartományig terjedő hullámhosszakon. Folyamatosan üzemelő rendszereink a bolygónkra veszélyes égitesteket a felfedezéstől egészen a lehulló darabok megtalálásáig képesek követni.

Helyszínek

A Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont (CSFK) a magyar csillagászati és földtudományi kutatások vezető intézménye, amelyet 2012-ben hozott létre az MTA a csillagászati, a geodéziai és geofizikai, a geokémiai és a földrajztudományi intézetek összevonásával. A tudományos intézetek a tudományterület fő témaköreiben elsősorban alapkutatásokat

folytatnak. A kutatóközpont alapfeladata csillagászati és földtudományi (földrajzi, földtani, geokémiai, geodéziai és geofizikai) kutatások végzése, a felfedező kutatáshoz szükséges elméleti vizsgálatok, obszervatóriumi, terepi és laboratóriumi mérések végzése, tudományos műszerek építése, új kutatási módszerek kialakítása, valamint a mérési adatok tudományos feldolgozása és publikálása. A kutatóközpont kiemelt célja az univerzumban érvényesülő sajátos törvények feltárására és mind mélyebb megismerésére, a fényszennyezés környezeti hatásainak tanulmányozása és mérése, földi és űreszközökre műszer- és megfigyelési infrastruktúra fejlesztése, az ember és környezete kapcsolatának idő- és térbeli vizsgálata.

A megvalósítás fő helyszíne, a CSFK Piszkéstetői Obszervatóriuma hazánk legnagyobb és legjobban felszerelt csillagászati megfigyelőhelye. A több mint fél évszázados múltra visszatekintő obszervatóriumban található az ország legnagyobb távcsöve, itt működik a felfedezések ezreit szállító Schmidt-teleszkóp, és további kisebb távcsövek is szolgálják a csillagászati kutatásokat. Az obszervatórium a hazai asztroklíma szempontjából kiváló helyen, a Nyugati-Mátra második legmagasabb pontján, a 944 m magas Piszkés-tető csúcs környezetében épült ki az 1960-as és 1970-es években. Az itthoni lehetőségekhez képest a lehető legnagyobb tengerszint feletti magasságon található helyszínen a csillagászati megfigyelések szempontjából az is fontos körülmény, hogy a fényszennyezéstől mindmáig viszonylag megkímélt területet foglal el. A 9 hektáron három távcsőkupola, két kisebb műszerépület, a Geodéziai és Geofizikai Intézetszeizmológiai állomása, és egy kutatóház található.

A csillagvizsgáló területén található az ország legnagyobb távcsöve, az 1974-ben átadott 1 m-es tükrös teleszkóp, amely lenyűgöző méretű, 10 m átmérőjű kupolában kapott helyet. A távcső melléképületében további irodahelyiségek, műhely és tárgyaló biztosítja az eredményes kutatómunka feltételeit. A távcsőépülettől nyugatra találjuk a legkorábban felállított 60 cm-es Schmidt-teleszkópot, amely közel hatvan éve ontja magából a csillagászati felfedezéseket. Innen északra két további távcső működik, egy másik GINOP projekt keretében frissen beszerzett 80 cm-es tükrös teleszkóp, illetve egy 40 cm-es internetes távvezérlésű robotteleszkóp.

A Piszkéstetői Obszervatórium két kisebb kupolája madártávlatból. Az alsó kupola rejti a projekt fő fejlesztését befogadó 60/90/180 cm-es Schmidt-teleszkópot

Különleges műszerünk a Légyszem-kamera, amely 19 teleobjektív segítségével a teljes látható égboltot képes egyszerre lefotózni. Az obszervatórium területén találjuk még a soproni Geodéziai és Geofizikai Intézet szeizmológiai állomását. Az obszervatórium irodáival, műhelyeivel, laborjaival kiválóan szolgálja az itt dolgozó kutatókat, illetve a más hazai kutatóhelyekről érkező vendégészlelőket.

A megvalósítás CSFK-hoz kapcsolódó másik helyszíne a Széchenyi István Geofizikai Obszervatórium, amelyet 1957-ben, a Nemzetközi Geofizika Évben alapítottak Fertőbozon. Az obszervatóriumot a Föld elektromágneses tere külső eredetű változásainak megfigyelésére hozták létre. Ebben az évben kezdődött az űrkorszak, ami a földi atmoszféra és ionoszféra vizsgálatának új módszereit hozta el. Közvetlen geomágneses mérések mellett az indukált elektromos tér, a légköri elektromos potenciálgradiens, a légköri elektromos kisülések keltette VLF tartományú rádióhullámok, és a projekt fejlesztéseinek köszönhetően most már az ionoszféra E és F tartományának radarberendezéssel történő folyamatos megfigyelése történik itt.

A Gothard Asztrofizikai Obszervatórium és Multidiszciplináris Kutatóközpont (ELTE GAO MKK) Szombathely kertvárosi részén helyezkedik el, az egykori Kámon és Herény falvak területe között, az obszervatóriummal egy időben alapított arborétum szélén. Az intézmény 1978. július 1-je óta az Eötvös Loránd Tudományegyemhez tartozó szervezeti, kutatási egység. Az ELTE GAO MKK a magyarországi csillagászképzés bázisobszervatóriuma. Kiemelt szerepe van az egyetemi fizika-, informatika- és csillagászatképzés gyakorlati részének biztosításában, a tehetséggondozásban, a végzett hallgatók tudományos pályájának elindításában.

Az obszervatóriumban a főépületen kívül oktatóépület és két obszervatóriumi épület helyezkedik el. Ezek közül az egyik egy kupola, amelyben egy klasszikus típusú, 60 cm átmérőjű Zeiss-távcső foglal helyet. A másik épület letolható teteje alatt jelenleg egy távvezérelt 50 cm átmérőjű távcső és spektroszkópiai mérőberendezés működik. Az észlelő állomás területén található oktatóépület ideális helyszínnek bizonyult a projekt részeként beszerzett 80 cm-es távcső befogadására. A város közelsége rugalmas észlelés-tervezést tesz lehetővé, a rövid expozíciókkal dolgozó gyorsfotometriai módszer és a fényes jelenségek kutatása miatt pedig a közepes fényszennyezés sem zavaró.

Az 1990-es évekre tehető az obszervatórium megjelenése a hálózatos kutatásokban, elsősorban a csillagok spektroszkópiája területén. A kutatási profil később a naprendszerek kutatásával bővült, ami szakmai szempontból is ideális konzorciális partnerré tette az intézményt. A naprendszerek vizsgálata kiterjed saját Naprendszerünk kis égitestjeinek (holdak, kisbolygók, üstökösök, törpebolygók, távoli objektumok) megfigyelésére, illetve exobolygók, és e bolygók környezetének vizsgálatára is. A szakterület művelése jellemzően hálózatos formában zajlik, többek között a CSFK kutatócsoportjaival is.

A Kozmikus hatások és kockázatok pályázat keretében az intézmény meglévő tapasztalataira építve tűztünk ki egy olyan átfogó fejlesztést, amelynek műszeres, szoftveres és tudományos célkitűzése egyaránt teljesen újszerű. A gyors képalkotó technikákra épülő műszeregyüttes középpontjába egy új, nagy teljesítményű, könnyűszerkezetes automatizált teleszkóp beszerzését terveztük, amit az optikai platform elemei egészítenek ki. A műszeregyüttes telepítéséhez az ELTE a befogadó infrastruktúra kiépítésével járult hozzá. Így valósult meg a Gothard Asztrofizikai Obszervatórium történetének legjelentősebb műszerfejlesztése, amellyel sikerrel valósítottuk meg a kitűzött tudományos célokat.

Kozmikus hatások és kockázatok

A Gothard Asztrofizikai Obszervatórium és Multidiszciplináris Kutatóközpont két obszervatóriumi épülete. Jobbra egy klasszikus kupola, balra pedig egy építészeti különlegességnek számító, letolható tetős épület látható, amelyekben egy 60 cm-es és egy 50 cm-es távcső található

A következő fejezetekben részletesebben bemutatjuk a végrehajtott fejlesztéseket, a beszerzett eszközöket, majd néhány ismeretterjesztő cikkben ismertetünk néhány, az adott témához kapcsolódó friss – nem egyszer saját kutatási eredményt.

A földközeli kisbolygók felfedezését és követését célzó, Európában egyedülálló obszervatóriumi infrastruktúra kiépítése és üzemeltetése a Piszkéstetői Obszervatóriumban

A bolygónkat fenyegető kozmikus kockázatok felmérésének első lépése azon apró égitestek felfedezése, amelyek potenciális becsapódással fenyegetik a Földet. Jelenleg mintegy fél tucat ilyen program működik a világban, ám kivétel nélkül a Csendes-óceán tágabb környezetében (USA délnyugati államai, Hawaii, Kína, Japán). Hazánk a Föld átellenes oldalán, ezért ideális helyen fekszik egy olyan kutatóhely létrehozásához, amely mind az ismeretlen égitestek felfedezésében, mind a pacifikus térségben tett felfedezések megerősítésében kulcsfontosságú szerepet tölt be.

Egy hirtelen, akár órák alatt kifényesedő közeli égitest felfedezésére sokszor csak fél-egy nap áll rendelkezésre, így a keresőhelyek egyenlőtlen földrajzi eloszlása miatt veszélyes égitestek kerülhetik el a megtalálást. Részben a gyors mozgás, részben a másnap rosszra forduló időjárás miatt a nyugati féltekén felfedezett kisbolygók negyede is elvész, mire másnap meg tudnák erősíteni. Ezzel szemben mi akár 6-12 órával a felfedezés után, még kisebb bizonytalanság mellett eredhetünk a frissen felfedezett égitestek nyomába. Egy dedikált megfigyelőhely a felfedező műszerekhez hasonló képességekkel jelentősen csökkentené az elveszett földsúroló kisbolygók számát, megnövelné az ismertek pályaszámításának pontosságát, és számos elszalasztott égitest megtalálását is lehetővé tenné.

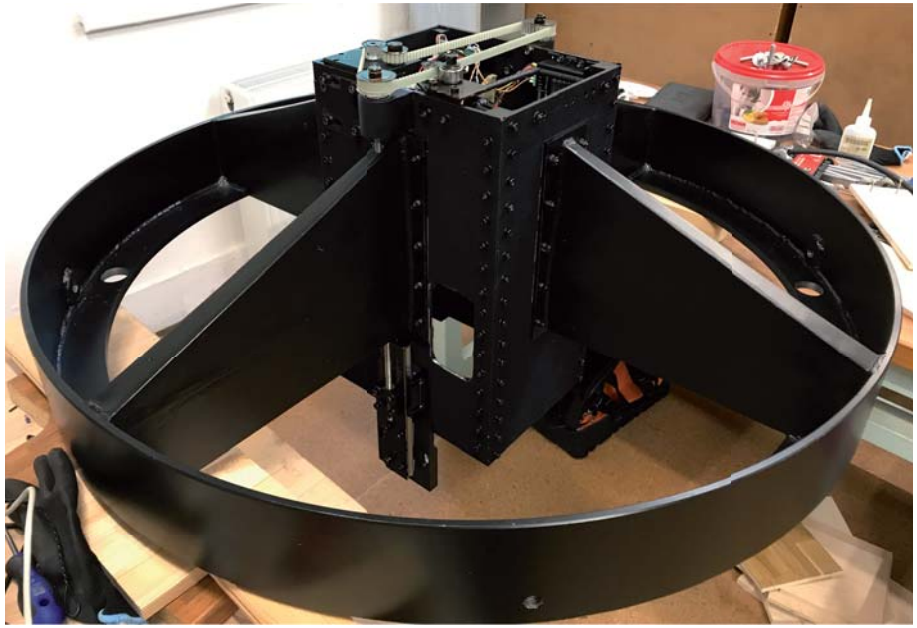
Jelen projekt egyik fő célja éppen ezért egy olyan, nagy látómezőt, pontos asztrometriát és fotometriát biztosító, modern CCD-detektor beszerzése és beüzemelése volt, amelynek segítségével kritikus fontosságú méréseket végezhetünk a potenciálisan veszélyes égitestekről. A program során Európa legnagyobb látómezejű Schmidt-távcsövét hoztuk létre, amely dedikáltan csak a földközeli kisbolygók megfigyelésének szenteli minden idejét.

Három évtizeddel ezelőtt a korábban csillagászati képrögzítésre használt fotólemezeket lassan mindenütt felváltották a digitális (CCD) kamerák, ám ezek egészen a legutóbbi évtizedig sokkal kisebb érzékelőkkel üzemeltek, mint a régi fotólemezek mérete. Ennek eredményeként a széles látószögűre tervezett távcsövek csak nagyon korlátozott mértékben voltak képesek kihasználni az optikai elrendezésükből adódó látómezőt. Így történt ez a Piszkéstető Obszervatóriumban található Schmidt-rendszerű távcsővel is, amely látószögének döntő részét elvesztette az új technológia miatt. Szerencsére a 2010-es évekre elérhetővé váltak az első igazán nagy (6×6 cm-től 10×10 cm-ig terjedő méretű), kereskedelmi forgalomban is kapható CCD-csipek, amelyek igazi reneszánszt hoznak el a széles látószögű csillagászati fotózásban. Ezek segítségével ismét a fotólemezekkel közel azonos látómezőt rögzíthetünk a régi teleszkópokkal, jellemzően 10-20-szor nagyobb érzékenységgel, és sokkal könnyebb feldolgozhatósággal, mint a fotólemezek idején.

Az ismert kisbolygók követésére, pozíciómérésére beszerzett FLI gyártmányú CCD-kamera a távcsőben

Mivel azonban egy ilyen kamera üzembe állítása a közbeszerzéssel, legyártással, tesztekkel, beüzemeléssel együtt több éves projekt, áthidaló megoldásként egy kisebb, jóval gyorsabban beszerezhető, 1,1×1,1 fokos látómezőt biztosító CCD beszerzését is beterveztük a projektbe. Egy FLI Pro Line PL16801 jelű kamerával már 2017 tavaszán el tudtuk kezdeni a frissen felfedezett földközeli kisbolygók megerősítését. A nagy detektor beérkezéséig 685 olyan földközeli kisbolygó létezését erősítettük meg, melyeket más obszervatóriumokban találtak, de sikerült nekünk is felfedezni két ismeretlen földközeli égitestet.

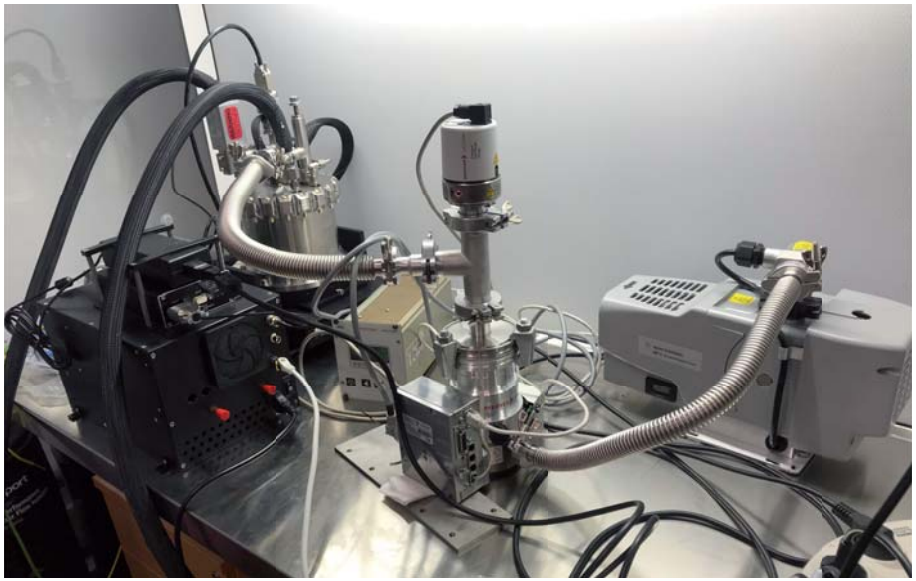
A projekt számára beszerzett nagy CCD kiválasztása egyértelmű döntés volt, ugyanis a piacot egyetlen gyártó, a kaliforniai székhelyű Semiconductor Technology Associates uralja, amelynek STA 1600LN jelű, hátsó megvilágítású CCD-kamerája a legnagyobb felületű csillagászati CCD, amely jelenleg „polcról" beszerezhető. Egy 10560×10560 pixeles, közel 112 millió képelemből álló érzékelő, a köré épített, ultravákuumot biztosító kameraház, a környezethez képes –60 fokos hűtést biztosító kriorendszer, és az alacsony zajszintet biztosító kiolvasó elektronika sztenderd tartozékai a kamerának, ám mivel egy már meglevő távcsővel kellett rendszert alkotnia, számos speciális módosítást is végre kellett hajtani. A Schmidt-rendszer sajátossága, hogy a fókuszterület – ahol a csillagok képe élesen rajzolódik ki – görbült, míg a CCD-csipek felülete sík. Ez kisebb méret esetén még nem zavaró, de egy ekkora érzékelő felületen már a 3×3 fokos látómező jelentős részén nem lenne éles a kép.



A kamerát tartó saját tervezésű kereszt és fókuszáló mechanizmus a kutatóintézet laborjában

Európában egyedülálló obszervatóriumi infrastruktúra kiépítése

Ezért a távcső görbült fókuszfelületét egyedi tervezésű lencserendszerrel síkitani kellett, ráadásul az optikai mérnökök arra jutottak, hogy az egyik lencsének az egyébként síküvegből álló, az ultravákuumot tartó kameraablak helyére kell kerülni. Végül hosszas egyeztetés után megszületett a terv, amely az osztrák, német, kaliforniai és hazai mérnökök fejlesztéseit is tartalmazta. Az elkészült kameraházat a második korrekciós lencsével, a fényzárral és a szűrővel összefogó váz, a váz finom mozgatását lehetővé tevő fókuszáló mechanizmus, a távcsőbe szerelést biztosító kereszt mind-mind egyedi tervezésű. Az új hűtő, elektronikai és kommunikációs vezetékek mellett egy korszerű párátlanító berendezés is felszerelésre került.



Az elkészült STA gyártmányú CCD-kamera (balra hátul), annak vezérlőelektronikája (előtte) és az ultravákuumot létrehozó szivattyúrendszer két lépcsője itt még a laborban, tesztelés közben látható

A közbeszerzés, a gyártás, a tartószerkezettel történő összeépítés és a beszerelés után 2020 júliusában jött el a várva várt pillanat, amikor az első képet is elkészíthettük az új kamerával. Az esemény feszültségét fokozta, hogy hiába végezte mindenki a legjobb tudása szerint a munkáját, csak

ekkor derült ki, hogy valóban éles képet ad a távcső, amelynek egyedisége miatt nem volt lehetőség tesztberendezést építeni egy laborban. A képminőség azonban minden várakozásunkat felülmúlta, a csillagok képe a teljes, 9 négyzetfokos látómezőben éles volt, így 2020 augusztusában elindulhatott a földközeli kisbolygók keresése.

A rendszer hatékonyságát jól mutatja, hogy már a második éjszaka sikerült egy ismeretlen földközeli kisbolygóra bukkanni, azóta pedig további hét, a bolygónkat veszélyeztető égitest is nyomot hagyott a képeken, amelyek közül végül három felfedező kreditjét kapta meg a Piszkéstetői Obszervatórium. A keresések közben további tucatnyi, a nyugati féltekén felfedezett földközeli égitest létezését is sikerült megerősíteni. A felvételeken négy hónap alatt további több mint 13 ezer főövi kisbolygót és öt üstököst is megfigyeltünk, amelyekről közel 46 ezer pozíciómérést készítettünk. Az előzetes eredmények alapján az ötéves fenntartási időszakban legalább száz új földközeli kisbolygó felfedezés várható az új kamerától.

jelölés	q (CSE)	i (fok)	P (év)	MOID (CSE)	d	felfedezés
(3103) Eger	0,90693	20,93	1,66	0,07984	1,5 km	1982.01.20.
2008 UZ201	1,17007	2,99	3,56	0,17545	100-120 m	2008.10.25.
2011 ET29	1,24177	11,56	3,65	0,27193	440-480 m	2011.03.07.
2011 SU232	1,28560	18,99	3,91	0,41051	250-270 m	2011.09.30.
2012 LG11	1,21567	36,97	2,85	0,20270	360-400 m	2012.06.14.
2013 PU13	1,20530	3,99	3,70	0,19317	130-150 m	2013.08.06.
2015 CA40	1,00454	15,01	1,16	0,01479	35-40 m	2015.02.15.
2017 BW	0,92534	4,76	1,12	0,01033	50-60 m	2017.01.19.
2018 TY5	0,45528	18,82	0,89	0,02792	90-100 m	2018.10.11.
2020 VL1	0,96179	5,15	1,40	0,00966	10-15 m	2020.11.09.
2020 WH1	0,99899	7,38	2,72	0,02857	35-40 m	2020.11.17.
2020 WJ3	0,61984	48,81	0,88	0,08357	50-60 m	2020.11.22.

A Piszkéstetőn felfedezett földközeli kisbolygók listája. A kisbolygó jelölése után a perihélium-távolság (q), a pályahajlás (i), a keringési idő (P), a lehetséges legkisebb földtávolság (MOID), a becsült átmérő (d) és a felfedezés időpontja olvasható

Európában egyedülálló obszervatóriumi infrastruktúra kiépítése

Autóbusz méretű földközeli kisbolygót fedeztek fel magyar csillagászok Piszkéstetőn

Az elmúlt évtizedekben közel tucatnyi földközeli aszteroidát fedeztek fel hazai csillagászok a Piszkéstetői Obszervatóriumból, ám a 2020. november 9-én megtalált 2020 VL1 jelű objektum mindegyiknél jóval kisebb, nagyjából autóbusz méretű. Az apró égitest november 13-án biztonságos, másfél millió km-es távolságban haladt el mellettünk.

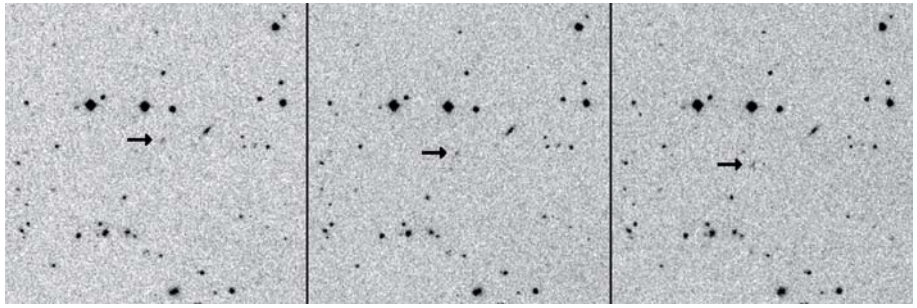
Az elmúlt évtizedekben egyre nagyobb erővel folyik közvetlen kozmikus környezetünk felderítése, az amerikai és az európai űrügynökségek is jelentős erőforrásokat biztosítanak a csillagászoknak, hogy azonosítsák a bolygónkra potenciálisan veszélyes kisbolygókat. Ennek a globális kutatómunkának részese hazánk is, hiszen a Piszkéstetői Obszervatóriumból már évtizedek óta folyik ezeknek az apró égitesteknek a keresése, illetve a mások által felfedezett égitestek követése, ami a mozgásuk jobb megismerését szolgálja.

Ehhez pályázatok segítségével folyamatosan fejlesztettük a műszereinket, elsősorban a témában legaktívabb 60 cm-es Schmidt-távcsövünket. Ennek legutóbbi lépése volt a digitális detektor nagyobbra cserélése. A korábbinál hétszer nagyobb területet lefedni képes detektor minőségi ugrást jelent a keresés hatékonyságában, hiszen egységnyi idő alatt hétszer nagyobb égterületet tudunk átvizsgálni.

Az új rendszer hatékonyságát jól mutatja, hogy már a második éjszaka, 2020. augusztus 25-én sikerült egy, a katalógusokban még nem szereplő földközeli kisbolygót találni, amelyről sajnos később kiderült, hogy pár héttel korábban már máshol lefotózták, így ez a felfedezés elveszett számunkra. Az őszi hónapokban kicsit a szerencse is elpártolt tőlünk, az egyik lehetséges felfedezés pont a CCD egyes mozaik elemeit elválasztó vékony, érzéketlen sávon volt, a másik túl gyorsan mozgott, így csak utólag találtuk meg hosszú csíkját a képeken, de a tapasztalatok alapján folyamatosan optimalizáltuk a keresési stratégiát. Végül egy hosszú borult időszak után november 9-én éjszaka ránk mosolygott a szerencse.

A kisbolygók keresése szisztematikus, a szakzsargonban csempézésnek hívott módszerrel történik. Egymáshoz illeszkedő képekkel szinte kicsem-

pézzük az égboltot, minden területről három felvételt készítve, amelyeken az erre a célra írt szoftverek már képesek azonosítani a csillagok között elmozduló égitesteket. Egy átlagos éjszakán nagyjából száz felvételhármast készítünk az égbolt kiválasztott területeiről, egy terület nagyjából a Hold látszó méretének 36-szorosát, 3×3 fokot fed le az égen. Amíg a távcső egy előre megírt program segítségével magától pásztázza az eget, az észlelő már át is nézi az elkészült felvételeket, mert a gyorsan mozgó földközeli kisbolygóknál a gyors megtalálás kulcskérdés. Egy felvételhármason átlagosan ötven jelöltet talál a szoftver, amelyeket egyenként kell szemügyre venni, és amelyek 99,99%-a valamilyen hamis jel. November 9-én este 10 óra körül a Halak csillagkép területén folyt a munka, amikor az egyik felvételhármas átvizsgálása során végre egy olyan gyorsan mozgó objektumot dobott ki a szoftver, amely valódi égitestnek tűnt.

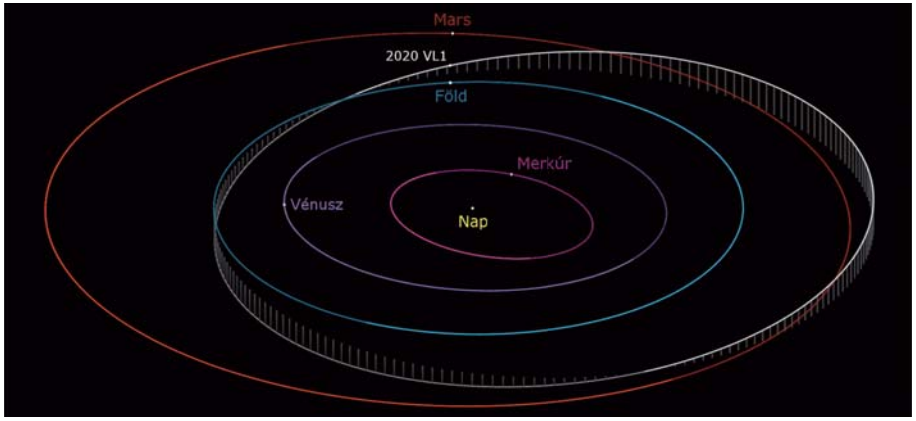


A 2020 VL1 jelű földközeli kisbolygó felfedezését eredményező felvételhármas. A halvány, a csillagok előtt elmozduló égitestet nyilak jelölik a képeken

Egy gyors internetes ellenőrzés után, amely szerint az adott helyen nincs ismert földközeli objektum, már jelentettük is az égitestet a Nemzetközi Csillagászati Unió berkein belül dolgozó kisbolygóközpontnak (Minor Planet Center). Miután ők is ismeretlen égitestnek ítélték, az objektum felkerült a földközeli objektumokat listázó oldalra (NEO Confirmation Page), ahol már a világ összes, a témával foglalkozó profi és műkedvelő csillagásza láthatta. Persze mi is megszakítottuk a keresést, és visszatérve a területre megerősítő felvételeket készítettünk a gyorsan, percenként nagyjából 20″-et elmozduló kisbolygóról (egy átlagos, főövi aszteroida percenként csak 0,5″-et mozdul el). De hamarosan több olasz, majd egy horvátországi magánobszervatóriumból is megerősítették a kisbolygó létezését, amelyről kiderült, hogy minden korábbi felfedezésünknél kisebb, szinte már a szikla kategóriába tartozó égitestről van szó.

Európában egyedülálló obszervatóriumi infrastruktúra kiépítése

Bár az első órákban úgy tűnt, hogy a 27,5 magnitúdó abszolút fényességű, nagyjából 10-15 méter átmérőjű égitest már távolodik tőlünk, később kiderült, a bolygónktól 2,1 millió km-re járó objektum közeledik, hogy november 13-án, magyar idő szerint 13:45-kor 1,5 millió km-re haladjon el mellettünk. A számítások szerint az apró égitest nagyjából a Föld és a Mars pályája között rója útját (a földpályán kicsit belülre, a marspályán kicsit kívülre kerül), keringési ideje 1,40 év, pályahajlása 5,2 fok. Napközelben 0,962 CSE-re jár a Naptól, vagyis a földpályán belülre kerül, így egy Apollo típusú földközeli kisbolygónak számít. A jelentős közelség annak köszönhető, hogy a pálya leszálló csomópontja pont itt van a közelünkben, de a számítások szerint a mostani 1,5 millió km-es távolságnál kisebb nem jöhet létre, így ütközéstől a közeljövőben sem kell tartanunk. A kisbolygó maximális fényessége a közelség idején is csak 18,5 magnitúdó volt, így csak fotografikusan, legalább 30-40 cm-es távcsövek bevetésével volt észlelhető. Az égitest legközelebb 2035-ben kerül valamelyest közel hozzánk, de ekkor sem jön 18 millió km-nél közelebb. Az ideihez hasonló közelségére ebben az évszázadban már nem számíthatunk.



A 2020 VL1 pályája (fehér ellipszis) a belső bolygók pályái közt. A világosabb fehér a Föld pályasíkjától északra, a halványabb az attól délre eső pályaszakaszt mutatja. A pályahajlást a Föld pályasíkjához húzott egyenesek szemléltetik (NASA/JPL)

Bár az alapvető paraméterek hamar kiderültek, a pályaelemek pontos meghatározásához, és a hivatalos jelölés megkapásához további megfigyeléseket kellett gyűjteni az égitestről. Ez nem csak újabb észlelések végzésével érhető el, hanem archív képek átvizsgálásával is. Ezt mi is megtettük, és nagy örömünkre egy három nappal korábbi, november 6-ai piszkéstetői felvételen is megtaláltuk a kisbolygó nyomát. Itt sajnos az első képen egy fényesebb csillag közelében látszott az égitest, ezért a keresőszoftver nem azonosította. De manuálisan sikerült kinyerni a pozíciókat, és végül ezeknek köszönhetően kapta meg a 2020 VL1 jelölést.

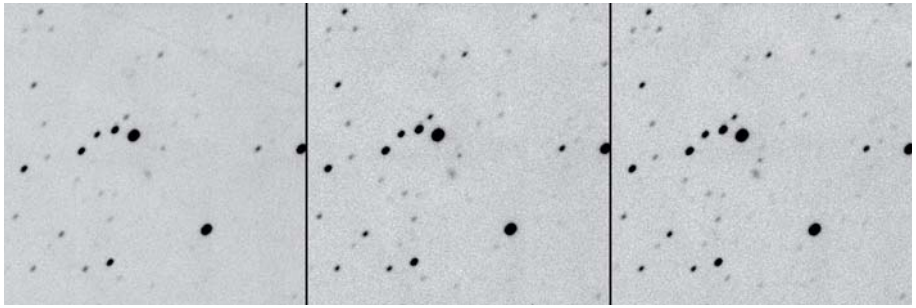
Az őszi tapasztalatokból okulva novemberben már sokkal sikeresebb volt programunk, mert a hónap második felében további két földközeli égitestet is sikerült felfedezni, amelyek a 2020 WH1 és 2020 WJ3 jelölés kapták. Mindkettő kicsit nagyobb volt a 2020 VL1-nél, és távolabb is haladtak el, de megtalálásuk bizonyította, hogy obszervatóriumunk a következő években igen sikeres lehet ebben a témában.

Felfedezték az első, teljesen a Vénusz pályáján belül keringő kisbolygót

A 2020-as esztendő jól kezdődött a Zwicky Transient Facility (ZTF) égboltfelmérő program számára. A kaliforniai Palomar-hegyi Obszervatórium munkatársai, Bryce Bolin, Frank Masci és Quanzhi Ye az 1,22 méteres Samuel Oschin Schmidt-teleszkóppal folytatott, teljesen a Föld pályáján belül keringő kisbolygók keresését célzó program során 2020. január 4-én egy különleges pályán mozgó aszteroidát fedeztek fel, amely a 2020 AV2 ideiglenes elnevezést kapta. Kiderült, hogy a kis égitest pályája nem csak a Föld, hanem teljes egészében a Vénusz bolygó pályáján belül is van, és ilyen aszteroidát eddig még nem ismertünk. Ezzel a felfedezéssel tehát a kisbolygók pályájuk szerinti besorolásában egy új osztály első képviselőjét sikerült azonosítani.

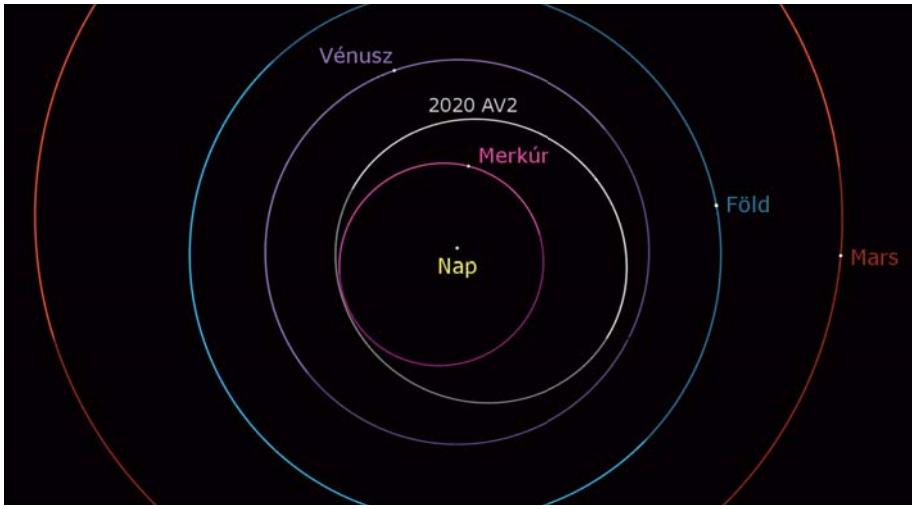
A felfedezés másnapján a Piszkéstetői Obszervatóriumból is megörökítettük a nyugati horizonton, nagyon alacsonyan mutatkozó égitestet, majd két további éjszaka is követtük, ami hozzájárult pályaelemei meghatározásához.

Európában egyedülálló obszervatóriumi infrastruktúra kiépítése



A 2020 AV2 felfedezését másodikként erősítettük meg január 5-én este a Piszkéstetői Obszervatóriumból. A vénuszpályán belül járó kisbolygó a képek közepén látszó, csillagszerű égitest. Az egyes szegmensek több felvétel összegéből készültek, amelyeket a kisbolygó mozgásának megfelelően összegeztünk, így a csillagok elnyúltnak látszanak

Ezek szerint az aszteroida napközelben 0,46 CSE-re, naptávolban 0,65 CSE-re van központi csillagunktól, keringési ideje 151 nap, azaz 0,41 év. Összehasonlításul, a Vénusz keringési ideje 225 nap, azaz 0,61 év, közepes naptávolsága 0,72 CSE. A kisbolygó pályasíkja mintegy 15,8 fokos szöget zár be az ekliptika síkjával, aminek következtében pályája jelentősen kiemelkedik, illetve alábukik a földpálya síkjához képest. Becslések szerint átmérője 1-2 km lehet.



A 2020 AV2 pályája teljes egészében a Vénusz pályáján belül húzódik (NASA/JPL)

Az első, teljesen a Föld pályáján belül keringő aszteroida a 2003-ban felfedezett (163693) Atira volt. Mivel a most felfedezett 2020 AV2 teljesen a Vénusz pályáján belül kering, az ilyen kisbolygók egy új osztályt alkotnak, amely a Vénusz szó kezdőbetűjét is figyelembe véve a Vatira (V(énusz) + atira) elnevezést kapja. Bár jelenleg nem keresztezi sem a Merkúr, sem a Vénusz pályáját, a két bolygó zavaró hatásai következtében néhány százezer év alatt ez változhat. A számítások szerint maximum néhány millió évig tartózkodhat ebben a tartományban, ezután vagy elkerül innen, vagy a Vénuszba történő becsapódással fejezi be hosszú, a kisbolygók fő-övéből indult pályáját.

Hogyan készüljünk fel egy becsapódásra Budapesten?

Az elmúlt évek kutatásai során kiderült, hogy a néhány méteres földközeli égitestek (főleg kisbolygók) időnként eltalálják bolygónkat. Ezek többsége nagy magasságban megsemmisül, de így is okozhat kellemetlen felszíni következményeket. A statisztikák alapján közel évente várható, hogy egy néhány méteres objektum eltalálja a Földet, nagyságrendileg a hirosimai atombombáéval megegyező energiájú robbanást produkálva. Nemrég az oroszországi Cseljabinszk térségében történt ilyesmi – de mi lenne, ha Budapestet találná el egy hasonló a jövőben?

A Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katasztrófavédelmi Intézete katasztrófavédelem mesterszakán egy ilyen kozmikus katasztrófát feldolgozó MSc diplomamunka készült 2020 tavaszán. Igaz-Danszky Tamás, aki az egyetem mellett a Fővárosi Katasztrófavédelmi Igazgatóság Műveletirányítási Ügyeletén dolgozik, a CSFK Csillagászati Intézete közreműködésével egy Budapesten történt, képzeletbeli becsapódási esemény következményeit és a katasztrófavédelem arra adott reakcióját elemezte.

Az „Idegen égitest becsapódása okozta veszélyhelyzetben a fővárosi védelmi igazgatás és a katasztrófavédelmi szervek tevékenysége a lakosság védelme érdekében” című diplomamunkájában egy 6 méter átmérőjű objektum becsapódását elemezte két esetben: amikor az objektum ún. kőmeteorit anyagú (ekkor néhány km magasan megsemmisül, mert szétdarabolódik, és ebben a magasságban éri el a légköri súrlódástól fellépett anyagveszteség nyomán a 6 méteres átmérőt), illetve amikor vasmeteorit anyagú és eléri a felszínt (ebben a elméleti esetben is kicsit nagyobb volt a légkörbe lépéskor, de nagy belső szilárdsága révén nem törött szét, és a légköri haladás anyagvesztesége végén éri el a 6 méteres átmérőt). Akkor nagy sebességű becsapódás történik, kellemetlen következményekkel. A feltételezett esemény a VII. kerület, István utca és Nefelejcs utca kereszteződésénél következik be.

Mi történik, amikor egy meteor becsapódik? Hatalmas mozgási energiáját néhány pillanat alatt átadja a környezetének. Egy kozmikus méretekben szinte elhanyagolható objektum óriási pusztításra képes Budapest sűrűn lakott területén. Hatásai között megjelenik a kráter kialakulása, ami esetünkben egy közel 160 méteres mélyedést jelent; a léglökés, amely a robbanás középpontjától jelentősebb távolságra is kitört üvegekkel borítja be az utcákat; a lökéshullám, amely a kráter által nem érintett közelben lévő épületeket és tárgyakat összedönti, vagy súlyosan megrongálja; illetve a kivetődés, ami törmelékkel szórja tele a környező utakat, ezáltal is nehezítve a mentést és a menekülést. Ezen elsődleges hatásoknak továbbgyűrűző következményei is lehetnek, mint pl. a megszűnt áram-, gáz- és vízszolgáltatás, a telekommunikációs hálózat hibái, a gázcsövek sérüléséből kialakuló tüzek, a járhatatlan utak, a beszorult, eltemetett és eltűnt emberek, a lakhatás nélkül maradt személyek, mind-mind ellátandó feladatok.

Egy ilyen esemény bekövetkezésekor az első beavatkozástól kezdődően az esemény felszámolásának lezárásáig (alkalmanként még az újjáépítés folyamatában is) a Katasztrófavédelem látja el a fő beavatkozó és szakmai irányító szerepét. Ilyenkor megmutatkozik, hogy a mai Katasztrófavédelem rendszere összetett, feladata és célja nem kizárólag a tüzek eloltása és az emberek kimentése, de feladata a mentés szervezése, az emberek ideiglenes elhelyezése és ellátása is. Esetünkben az első beavatkozó tűzoltó erőkön túl bevetésre kerülnek a különböző mentőcsoportok (HUNOR, HUSZÁR), amelyek felszereltségükkel és képzettségükkel a földren-

gésszerű károk esetén tudnak helytállni, valamint a Polgári Védelem szervezete is aktívan részt vesz a bajba jutott emberek elhelyezésében és ellátásában.

A képzelt becsapódási terület madártávlati látképe (Google Earth)

A diplomamunka megállapításai között szerepel, hogy az ekkora méretű objektum előrejelzése kétséges, a becsapódás elhárítása pedig jelenleg még lehetetlen, így a legnagyobb hangsúlyt a következmények elleni védekezés fejlesztésére szükséges fordítani. Ennek egy része a Katasztrófavédelem ilyen jellegű tevékenysége, amely szervezett formában valósítja meg a beavatkozást és a mentést, ugyanakkor nagy hangsúlyt kell fektetni a lakosság katasztrófahelyzetekre történő önálló felkészülésére. A jól felkészített lakosság menekülése és mentése jelentősen könnyebb, és nagyobbak a túlélési esélyei is.

A vizsgálat során megmutatkozott az a hiányosság, hogy a Katasztrófavédelem szervezete és a hazai csillagászati intézmények között nincs tervezett munkakapcsolat, így vélhetően nehézséget okozna, hogy egy ilyen esemény bekövetkezésénél milyen úton jut el az információ az illetékesekhez. Másik fejlesztésre szoruló kérdés, hogy nem szerepel ilyen jellegű eseményre vonatkozó terv a Katasztrófavédelemnél, amely az esemény bekövetkezésekor sorvezetőként szolgálhatna a beavatkozás során a helyzetnek megfelelő intézkedések és tevékenységek meghozatalához. Ugyanakkor

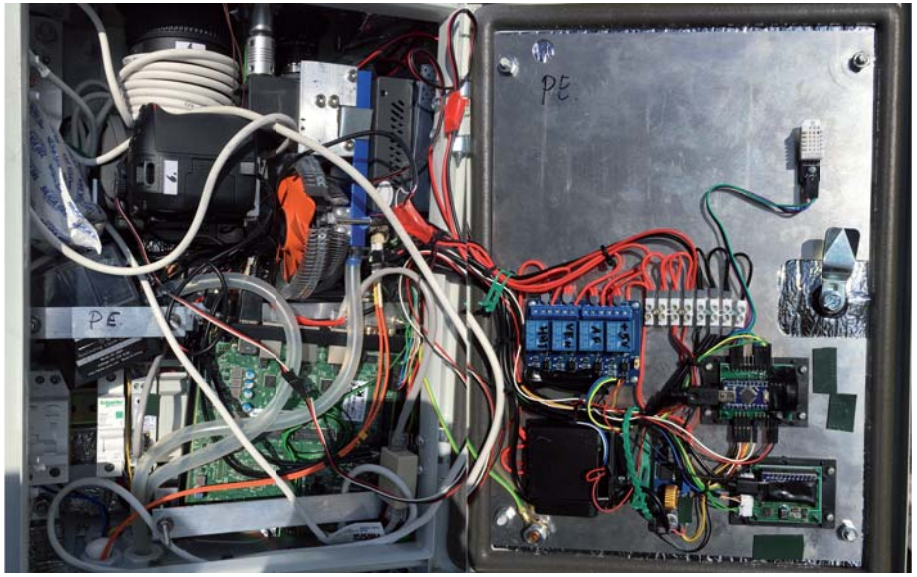
Európában egyedülálló obszervatóriumi infrastruktúra kiépítése

összességében a Katasztrófavédelem szervezete gyorsan, szakszerűen és hatásosan tudna beavatkozni egy ilyen esemény kezelésénél.

A kutatómunka dr. Muhoray Árpád ny. pv. vezérőrnagy közreműködésével és dr. Kereszturi Ákos bolygókutató támogatásával született.

A Kárpát-medence légterét figyelő meteorkamera-rendszer kiépítése

A bolygónkat közvetlenül elérő, meteorikus eredetű kozmikus kockázatok elemzése az alapkutatás kérdései mellett releváns az űrprogramok, különösen a tervezett mélyűri emberes űrutazások tekintetében is. A légkörünkben felvillanó meteorokat automatikusan detektáló meteorkamera-rendszerek az elmúlt két évtizedben kezdtek elterjedni a világban és hazánkban is, de számos fontos eredményük mellett ez az új terület még messze nincs kiaknázva. A magyarországi meteorkamera-rendszer a 2000-es évek elejétől kezdve folyamatos bővülésen és fejlesztésen ment keresztül, általában magánpénzből finanszírozott programok kezdeményezéseként. Ezek a rendszerek az akkoriban elérhető analóg ipari videokamerák felépítésén alapulnak, amelyek azonban ma már elavult technikát képviselnek, így a hálózat korszerűsítése projektünk egyik sarokpontja lett. További problémájuk volt, hogy éppen a legfényesebb meteorok, hullással kecsegtető jelenségek túl fényesek voltak a rendszer számára, a kamerák beégése miatt a felvételek rögzítése gyakran leállt vagy megszakadt.



A meteorkamerák belsejében igen kis helyre kellett bezsúfolni a két digitális kamerát, azok vezérlő és biztonsági elektronikáit, a hűtést és a fűtést

A digitális kamerák felbontása, és az érzékelőfelületek mérete az utóbbi években nagyon sokat nőtt, ennek köszönhetően ma már lehetőség van viszonylag kevés eszközzel olyan rendszereket építeni, amelyek részegységeit egymás mellé telepítve csaknem a teljes égbolt megfigyelhető. A projektben fejlesztett kamerarendszer újdonsága, hogy egy digitális videokamerát (NET GigE Pro GP 2239M) kombinál egy DSLR-fényképezőgéppel (Nikon D5300). A digitális kamerával történik a meteor első detektálása, majd ennek hatására – amennyiben a detektált fényfolt fényessége és sebessége egy előremegadott tartományba esik – a rendszer elektronikája aktiválja a DSLR-kamerát, amely egy 10 másodperc expozíciós idejű felvételt készít a jelenségről. Az expozíció alatt a kamera CCD-csipje elé helyezett LCD panel egy GPS alapú időjellel vezérelve tizedmásodpercenként megszaggatja a fényjelet, annak érdekében, hogy a detektált képen a meteorok pozíciója és sebessége ezredmásodperces pontossággal mérhető legyen. A gyorsan mozgó meteorok így szaggatott fénycsíkként jelennek meg a felvételeken, míg a lassú objektumok (repülőgép, műhold stb.) folyamatos vonalként, ami a meteorok felismerhetőségét segíti a lassan mozgó fényforrásokkal szemben.

A Gothard Asztrofizikai Obszervatóriumba telepített egyik meteorkamera és a 2020-as nyár nagy csillagászati szenzációja, a C/2020 F3 (NEOWISE) üstökös. Az üstökösök csóvájának poranyaga a legfőbb utánpótlása a légkörünkbe belépő, és a kamerákkal fotózható porszemcséknek

A fényes meteorok pályaszámítását, légköri darabolódásának megfigyelését és a lehulló meteoritok megtalálását célzó, intelligens kamerarendszer a korábbi meteorkamera-rendszerek képességeit több ponton is lényegesen felülmúlja. A detektorok jobb fizikai felbontása és az időadatok kódolása a rögzített képre sokkal jobb térbeli felbontást, és főként sebességmérést tesz lehetővé. A DSLR-rendszerek érzékenységét pedig úgy állítottuk be, hogy az analóg kamerákon beégő, így kimérésre nem használható legfényesebb – éppen ezért hullás szempontjából a legfontosabb – meteorok itt ne égjenek be, a nyomok a legfényesebb szakaszon is mérhetőek maradjanak.

Az állomások a konzorciális partnerek piszkéstetői és szombathelyi telephelyén, illetve Dévaványán és Becsehelyen kaptak helyet, de kiegészítő kamerák működnek Budapesten és Fertőbozon is. A kameraházak távolról vezérelhetők, ki-be kapcsolhatók, az objektívek fókuszálása is interneten keresztül történik. A kameraház és az elektronika számtalan állapotjelzőjét és paraméterét folyamatosan ellenőrizzük.

Az adatok első elemzése alapján 2019. december 1. és 2020. október 31. között 357 fényes meteort detektálnunk. Ezen meteorokon belül a tűzgömbök gyakoriságára átlagosan 40±5%-os értéket kaptunk, a detektált sporadikus meteorok óránkénti átlagos számát pedig 2,61±0,84 meteor/óra értékűnek mértük.

Az egyik piszkéstetői meteorkamera az 1 méteres távcső kupolájának körerkélyére szerelve

Porösvénye lett egy kisbolygónak a főövben

Az amerikai ATLAS kisbolygóvadász program során meglepő módon egy porcsóva jelenlétét fedezték fel a (6478) Gault főövbeli kisbolygónál. Ken W. Smith (Queen's University, Belfast) és Larry Denneau (University of Hawaii) az amerikai ATLAS (Asteroid Terrestrial-impact Last Alert System) égboltfelmérő projekt keretében 2019. január 5-én készített 7×30 másodperces képfelvételek összekombinálásával az égitesttől kiinduló egyenes csóvát fedeztek fel. A csóva nyugat–északnyugat irányban mintegy 2,25 ívperc hosszan húzódott. A korábban, még 2018. december 8-án készült ATLAS felvételeken szintén megtalálták az akkor még csak fél ívperc hosszan látszó egyenes csóvát. Megállapították, hogy a Pan-STARRS (Panoramic Survey Telescope And Rapid Response System) program során készített, 2010-ig visszamenőleg átvizsgált felvételek egyikén sem látható csóva, vagyis azokon klasszikus kisbolygónak látszott az égitest.

A különleges esemény a műkedvelő és szakcsillagászok figyelmét is felkeltette, így a következő hetekben számos megfigyelés készült a porcsóváról, amelyet a klasszikus, üstökösöknél előforduló porcsóváktól való megkülönböztetés miatt porösvénynek nevez a szakirodalom. A kis égitestből kiáramló porszemcsék által kialakított porcsóva modellezéséből az adódott, hogy nagyobb porszemcsék vannak a porösvényben, amelyek 2018. november elején hagyták el a kisbolygót, majd maradtak le annak pályája mentén, a napkörüli keringési iránnyal közel ellentétesen. Más becslések 2018. októberre tették a porkibocsátás idejét, amelyről először azt gondolták, hogy egy kis égitesttel történt ütközés indította el.

A Hubble-űrtávcső (HST) megfigyelései azonban más megvilágításba helyezték a történteket. A lélegzetelállító HST-felvételeken két porcsóva is látható, amelyek két különböző időpontban bekövetkezett kitörési, anyagvesztési esemény során alakultak ki. Ezek az anyagkiáramlási események 2018. október 28-án és december 30-án történhettek. A HST-megfigyelések alapján a csóvákba a por néhány óra, legfeljebb néhány nap alatt, tehát viszonylag rövid idejű kitörések során került ki, és a Nap sugárnyomása formálta hosszú egyenes alakjukat.

A (6478) Gault kisbolygóról a HST WFC3 kamerájával készült felvételen a hosszabbik csóva 800 ezer km hosszú és 4800 km széles, a rövidebb pedig 200 ezer km-es. Az ilyen események rengeteg kisbolygó-eredetű port juttatnak a bolygóközi térbe (NASA, ESA, K. Meech and J. Kleyna (University of Hawaii), O. Hainaut (European Southern Observatory)

A nagy porszemcséket és törmeléket a Nap sugárnyomása nem tudja a Nap-kisbolygó rádiuszvektorhoz közeli irányba terelni, ezért a kisbolygó pályája mentén, a keringési iránnyal közel ellentett irányban, a kisbolygó mögött hoznak létre egy porösvényt. Amennyiben olyan kis méretűek a szemcsék, hogy már hat rájuk a Nap sugárnyomása, akkor a csóva a Nap-kisbolygó rádiuszvektor irányához közeli irányban látszik. Ezek a porösvények a Földünket elérő meteorrajok, vagy rajhoz nem tartozó nagyobb darabok forrásai is lehetnek.

A kisbolygót a földsúroló égitestek kutatásának úttörői, Carolyne és Eugene Shoemaker fedezték fel fotografikus úton 1988. május 12-én a kaliforniai Palomar Obszervatórium 46 cm-es Schmidt-teleszkópjával. Az új aszteroida akkor az 1988 JC1 ideiglenes jelölést kapta, majd később Donald Gault (1923-1999) amerikai bolygókutató geológus emlékére (6478) Gault lett a végleges elnevezése. Az égitest a Mars és Jupiter pályái között a fő kisbolygóövben kering, ellipszis alakú pályájának fél-nagytengelye 2,30 CSE, napközelben 1,86 CSE-re, naptávolban 2,75 CSE-re

van csillagunktól. Pályasíkja 22,8 fokos szöget zár be a földpálya síkjával, keringési ideje 3,50 év.

A kisbolygó mintegy 3,7 km átmérőjű, valószínűleg S típusú, vagyis kőzetszerű kisbolygó, amelynek fényvisszaverő képessége 22%. A Gault a mintegy kétezer tagot számláló Phocaea kisbolygócsaládhoz tartozik, melynek legnagyobb tagja a (25) Phocaea, ennek átmérőjét 61-83 km közöttinek becsülik. A Phocaea család tagjai egyébként egy viszonylag közeli, a Mars pályáját metsző csoportot alkotnak, maga a család egy nagy, 2,2 milliárd évvel ezelőtti ütközés során alakult ki.

Egy kisbolygó darabjának elégése Földünk légkörében 2019. november 19-én hajnalban az észak felé néző piszkéstetői meteorkameránk felvételén. Ez a golflabdányi ködarab talán pont olyan folyamatok által szakadt ki egy kisbolygóból, amely a Gault porösvényét is létrehozta

A csillagközi térből érkezhetett a tűzgömböt létrehozó kis égitest

A Harvard Egyetem két kutatója szerint a 2014. január 8-án megfigyelt tűzgömböt létrehozó kis égitest a csillagközi térből érkezhetett, és a Föld légkörében fejezte be tejútrendszerbeli pályafutását. Radarmegfigyelé-

sek alapján már 1996-ban kimutatták, hogy vannak a csillagközi térből származó, a földi légkörbe belépő kis méretű meteorok, porszemcsék. A NASA Ulysses és Stardust űrszondái is kimutattak csillagközi porrészecskéket. Azonban nagyobb, égitest méretű objektum felfedezésére 2017-ig várni kellett. Az 1I/'Oumuamua felfedezésével az első, csillagközi térből érkezett kis égitestet sikerült azonosítani, amely a napközelség után a Naprendszer külső térségei felé vette az irányt, majd ismét a csillagközi térben folytatja útját. Két évvel később a 2I/Borisov üstökös is csillagközi vándornak bizonyult, így ma már teljesen biztosak vagyunk abban, hogy számtalan hasonló természetes kis égitest is ellátogathatott a Naprendszerbe az elmúlt 4,6 milliárd évben.

Amir Siraj és Abraham Loeb szerint a 2014. január 8-án 17:05:34 UTC-kor a NASA JPL CNEOS hálózat által lefotózott fényes tűzgömböt okozó, mintegy 90 cm átmérőjű égitest is a csillagközi térből érkezett, egyes darabjai pedig Pápua Új-Guinea térségében eshettek le. A két kutató meghatározta az égitest pályáját, eredményül azt kapták, hogy az hiperbolikus volt, amelyen a sebesség a végtelenben 43,8 km/s (ez az adott hiperbolapályán a maradéksebesség). Becslésük alapján a Nap galaktikus környezetében köbparszekenként mintegy $9 \cdot 10^{21}$ égitest lehet a csillagközi térben, amelyek valahogy kikerültek, elszöktek, kidobódtak, vagyis elhagyták valamely csillag vonzáskörzetét. A fenti térbeli sűrűség létrehozásához a Nap környezetében a csillagok körüli törmelékkorongokat, bolygórendszereket átlagosan 0,2-20 földtömegnyi törmeléknek kell elhagynia.

Az 'Oumuamua jóval nagyobb méretű volt, mint ez a talán csillagközi eredetű meteoroid, de ez utóbbi közvetlenül is kölcsönhatott a Földdel, illetve annak légkörével. Ehhez képest az 'Oumuamua messze volt tőlünk, földközelségét 2017. október 14-én érte el, amikor 0,16 CSE-re (mintegy 24 millió km-re) volt bolygónktól. A kutatók megjegyzik, hogy a jövőben a pályaadatok alapján érdemes lesz majd megjelölni azokat az új felfedezésű apró égitesteket, amelyek valószínűsíthetően nem a Naprendszerhez tartoznak, hanem a csillagközi térből érkeztek ide. Megfigyelésükkel meghatározhatók lesznek fizikai tulajdonságaik, illetve a pályájuk követésével az is kiderülhet, hogy meteorként belépnek-e majd a Föld légkörébe, és ennek időpontja és helye ismeretében színképük is megfigyelhető lesz.

A csillagközi térből a Föld légkörébe érkező meteorok azonosítása és színképük megfigyelése lehetővé teszi a más csillagok körül kialakult, és onnan elkerült, megszökött égitestek kémiai összetételének meghatározását, ami fontos a távoli bolygórendszerek és a Naprendszer kialakulási körülményeinek összehasonlításához. Nagyon jó lenne a Földre (szárazföldre, jégre vagy tengerbe) hullott, a Naprendszeren kívülről érkezett meteoritek azonosítása, és részletes laboratóriumi vizsgálata is.

Egy fényes, bár vélhetően nem a csillagközi térből érkezett meteor a nyugati irányba néző piszkéstetői meteorkameránk 2020. február 7-ei felvételén. A Fiastyúk felett látható két foltot a Hold becsillanása okozza

A lehető leghalálosabb szögben érkezett a dinók kihalását előidéző kisbolygó

Egy nemzetközi kutatócsoport megállapította, hogy azt a 66 millió éve bekövetkezett kozmikus katasztrófát, amely a dinoszauruszok kipusztulását előidéző eseménysort kiváltotta, egy 17 km átmérőjű égitestnek a lehető

leghalálosabb, a látóhatárhoz képest nagy szögben történt, meredek becsapódása váltotta ki.

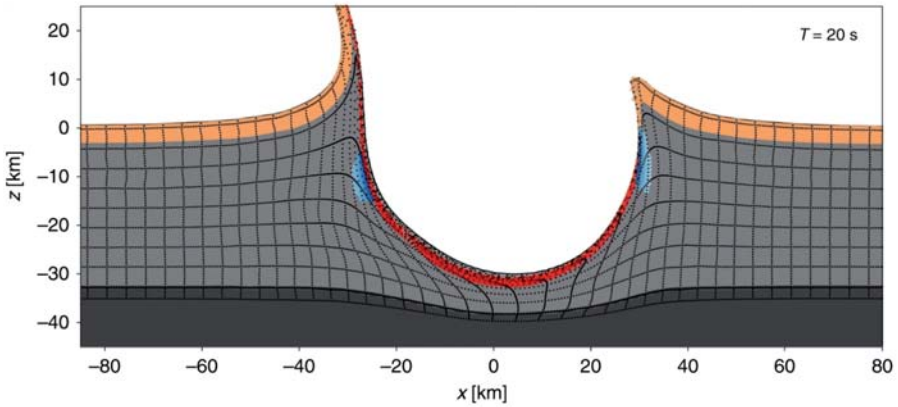
Ma már a kutatók egybehangzó véleménye szerint a földtörténet egyik legnagyobb kihalási eseményét, a kréta és a harmadidőszak határán történt eseményt (rövidítve K-T) egy kis égitestnek – legvalószínűbben egy kisbolygónak – a bolygónkba történt becsapódása váltotta ki, illetve ez adta meg a kezdő lökést egy nagyon összetett és időben elhúzódó kipusztulási eseménysornak. Bár a Föld történetében nem a K-T esemény volt a legkatasztrofálisabb, hanem a mintegy 245-250 millió évvel ezelőtt végbement perm-triász eseménysor, de a K-T kihalás közvetlen következménye az volt, hogy az emlősök elterjedhettek bolygónkon. Létüket és fejlődésüket nem fenyegették a rendkívül sikeres, és hozzájuk képest nagyobb méretű dinoszauruszok. Végső soron ez adott lehetőséget az ember megjelenésére, és civilizációnk létrejöttére.

Már az 1970-es évek vége óta ismert, hogy a mexikói Yucatan-félszigeten, részben a szárazföld alatt, részben a tengerben elfedve van egy mintegy 150-200 km átmérőjű gyűrűs medence. Ez egy nagy becsapódási kráter, amelyet a közeli településről Chicxulub-kráternek neveztek el, és egy 66 millió évvel ezelőtt történt becsapódás során alakult ki. A krátert és kialakulásának részleteit ma is kutatják, ugyanis eddig csak becslések voltak arra, hogy mekkora égitest, mekkora sebességgel és milyen szögben érte el a felszínt. Ezek a paraméterek a kis égitest belső szerkezete és sűrűsége mellett alapvetőek annak megállapításához, hogy mennyi anyag dobódott ki a becsapódáskor, és ennek milyen hatásai voltak a krétakori élővilágra.

Különböző mélyfúrások, geofizikai (gravimetriai, mágneses) mérések, valamint geomorfológiai és kőzettani vizsgálatok alapján elkészített térképeken szépen kirajzolódnak a Chicxulub-kráter részletei. A gravimetriai térképeken megfigyelhető, hogy a központi gyűrű közepe, a teljes kráter közepe, valamint a köpenykiemelkedés közepe nem esnek egybe. Ezek a középpontok lényegében egy északkelet-délnyugati irányú vonal mentén sorakoznak, egymáshoz viszonyított elhelyezkedésük pedig a becsapódás szögétől függ. Ezek alapján meg lehet adni, hogy a becsapódó égitest a helyi függőlegeshez képest milyen szöggel érkezett.

A Kárpát-medence légterét figyelő meteorkamera-rendszer kiépítése

Egy angol-amerikai-német együttműködésben elvégzett kutatás arra derített fényt, hogy milyen szögben érkezett az égitest. A kutatást Garreth Collins, az Imperial College London Földtudományi és Műszaki Tanszékének professzora vezette, mellette a németországi Freiburgi Egyetem, valamint a Texasi Egyetem (Austin, TX) munkatársai vettek részt benne. A vizsgálat során a Chicxulub-kráter ismert adatait egy szuperszámítógépbe táplálták be, és térbeli (3D) szimulációkat futtattak a DiRAC (Distributed Research using Advanced Computing) nagy számítási kapacitású és megbízhatóságú számítógéprendszere segítségével. Ezt a szuperszámítógépet egyébként az Egyesült Királyságban a részecskefizikai, csillagászati és kozmológia kutatásokra használják.

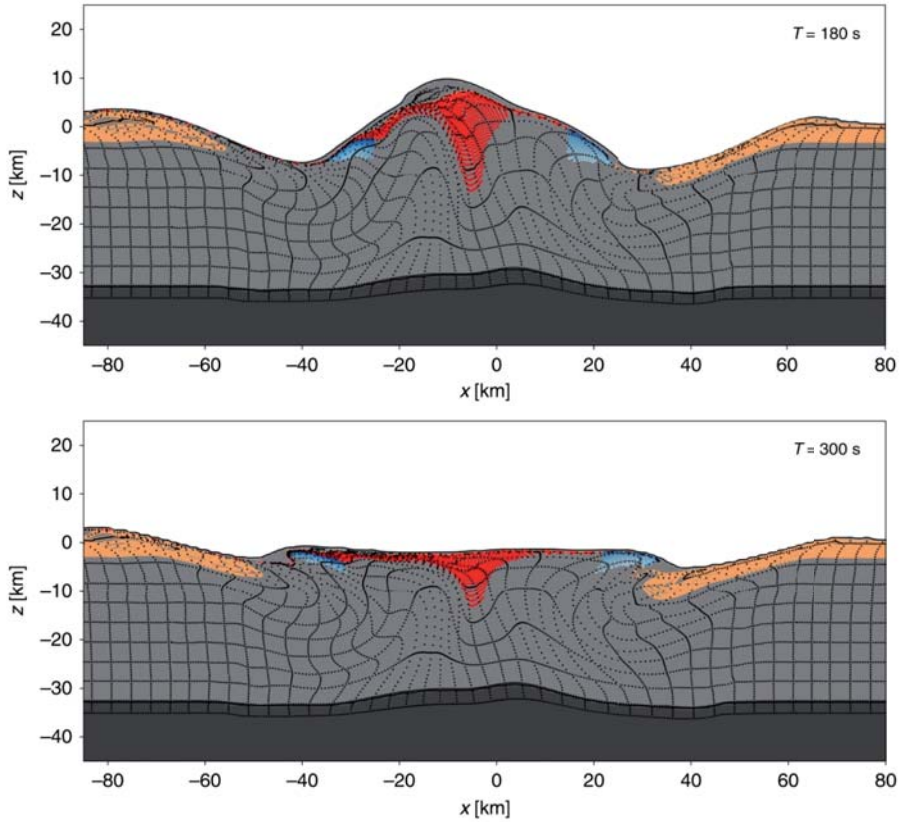


Meredek, a horizonthoz képest 60 fokos szögben érkező kisbolygó becsapódási krátere kialakulásának korai, 20 másodperccel a becsapódás utáni fázisa a számítógépes modell alapján. A becsapódó égitest átmérője 17 km, átlagos sűrűsége 2630 kg köbméterenként, becsapódási sebessége 12 km/s. A tengelyek beosztása kilométerben értendő (Gareth Collins/Imperial College London)

A horizonttól mért becsapódási szögre 90, 60, 45 és 30 fokot vizsgáltak meg, 12 és 20 km/s közötti becsapódási sebességgel, egy 17 km átmérőjű, köbméterenként 2630 kg átlagos sűrűségű kisbolygóval számolva. A valóságos kráter paramétereivel való legjobb egyezést a horizonthoz képest 60 fokos, vagyis igen meredek becsapódási szög adta, ami nagyon ritka az ilyen események között. A földi becsapódási kráterek képződésekor a kis

égitestek általában a helyi horizonttól mért mintegy 30-45 fokos szögtartományban érkeztek. A Chicxulub-kráterben a már említett eltolódott centrumok a becsapódó test érkezési irányát is kijelölik: északkeleti irányból jött, amit a számítógépes modell is megerősít. A szimuláció szerint a kráter teljes kialakulása mintegy öt perc alatt végbement.

A meredek szögben érkező kisbolygó becsapódása következtében jóval több anyag került a légkörbe, mintha laposabb szögben érkezett volna. A becsapódás hatása így elérte a kéreg és a köpeny határát, a mintegy 30 km-es mélységet is. Felforrósította, deformálta a kőzetanyagot, illetve



A Chicxulub-kráter kialakulásának további fázisai (3 és 5 perc) a számítógépes modell alapján. A kráter végső alakjának kialakulása öt perc alatt végbement (Gareth Collins/Imperial College London)

hatásos keveredés történt a földköpeny és a földkéreg kőzeteinek anyagában. A Chicxulub-kráter karbonátos alapkőzetben alakult ki, és a becsapódással együtt járó magas hőmérséklet a kőzetből a földi légkört időlegesen átalakító vízpárát, több milliárd tonna ként (savas eső), és más gázokat szabadított fel. A meredek szögű becsapódás hatására nagy mennyiségben forró törmelék dobódott ki, majd hullott alá, ami felfűtötte a légkört. Az aeroszolok megakadályozták a Nap fényének felszínre jutását, az úgynevezett nukleáris tél jelenségét létrehozva, így a fotoszintézis megszűnt, a hőmérséklet lecsökkent, a tápláléklánc összeomlott. A meredek becsapódási szög miatt kidobódott nagy mennyiségű anyag halálos volt a földi élővilág 75 százalékára, így megtörténhetett a tömeges kihalás, fajpusztulás a K-T határon.

A holdi meteorbecsapódásokat monitorozó 80 cm-es teleszkóp és CCD-kamera beszerzése

A műholdakra és űrszondákra potenciális veszélyt jelentő, több grammos, kilogrammos tömegű meteoroidok gyakoriságának becslése nehéz, mivel ezek előfordulása még a meteorrajokon belül is alacsony, ezért hatalmas területet kell kamerákkal monitorozni a megbízható statisztikához. A nagy energiájú becsapódások statisztikáját a holdkráterekből becsülhetjük, a kis energiájú, közvetlen veszélyt nem okozó meteorokat pedig a meteormegfigyelési adatokból ismerjük meg. A kettő közötti, jelenleg még ismeretlen, az energiaeloszlásban négy nagyságrendet átfogó tartományt a kráterkeletkezéssel nem, de felvillanással járó holdi meteorbecsapódások alapján lehet feltérképezni. A Hold felületének távcsöves megfigyelésével egyszerre nagyjából 10 millió négyzetkilométeres potenciális becsapódási felület követhető, a légkör hiánya miatt pedig a meteorikus testeket széttöredezés nélkül, az eredeti sebességgel látjuk becsapódni. Így a felvillanások kalibrált fotometriai mérésével a becsapódás energiája és a becsapódó test tömege közvetlenül becsülhető, ami a holdi megfigyelés további erőssége.

Projektünk harmadik programjában a szombathelyi ELTE Gothard Asztrofizikai Obszervatóriumban egy, az osztrák ASA Astrosysteme GmbH cég által gyártott AZ800 típusú könnyűszerkezetes, 80 centiméter tükörátmérőjű, azimutális szerelésű Ritchey–Chrétien (RC) teleszkóp került felállításra. A távcső egy négy méter átmérőjű, szintén új, erre a célra épített automata kupolában kapott helyet. A távcsőnek két optikai platformja (Nasmyth-fókusza) van, így szinte egyedülálló módon egyszerre két műszer használatát teszi lehetővé átszerelés nélkül. Az egyik Nasmyth-fókuszba a holdi becsapódások nagy időfelbontású monitorozására szolgáló Photometrics Prime 95B típusú kamera van felszerelve, amely 95%-os fénygyűjtőidő mellett képes másodpercenként 70 képkocka rögzítésére, az expozícióval párhuzamosan lementve a képeket. A másik optikai platformon egy FLI ML 2640919 típusú CCD-kamera kapott helyet, amely az SDSS 'griz' szabványnak megfelelő szűrőrendszerrel ellátva nagy látómezejű, nagy térbeli felbontású képek rögzítésére alkalmas.

Hazánkban 1974 óta nem üzemeltek be akkora távcsövet, mint az ELTE Gothard Asztrofizikai Obszervatóriumban felállított 80 cm-es teleszkóp. Az azimutális szerelésű távcső vízszintes tengelyének folytatásaiban látható a két korszerű digitális kamera is

A beüzemelés, a műszerhasználat és az adattárolás protokolljainak rögzítése, illetve a mérnöki üzemmód után 2020 januárjától elindultak a holdi meteorbecsapódások tudományos célú mérései. Az észlelésre alkalmas idő közel 100%-át kihasználva műszeregyüttesünkkel az eddig elérhető összeállításoknál két nagyságrenddel érzékenyebb és jobb térbeli felbontású monitorozást tudunk végezni. A nagy időfelbontású mérések esetében ez esetenként akár negyedmillió 1 megapixel nagyságú, 16 bites kép rögzítését jelenti óránként.

Éjszakánként külön kalibrált és folyamatosan irányított feltételrendszer alapján saját fejlesztésű szoftverrel keressük a becsapódásgyanús jelenségeket, amelyeket utána állóképi információvá alakítva egyesével elbírálunk, kimérünk, meghatározzuk a becsapódás helyszínét és fényességét is. A végső fázisban a becsapódásokat rögzítő felvételekből újra mozgóképet állí-

tunk elő. A projekt során bebizonyosodott, hogy a Holdba becsapódó meteorok keltette felvillanások rendszeresek, és ezeket a projekt keretében folyamatosan meg is tudjuk figyelni.

Észlelés a csillagok alatt az új távcsővel, az új kupolából

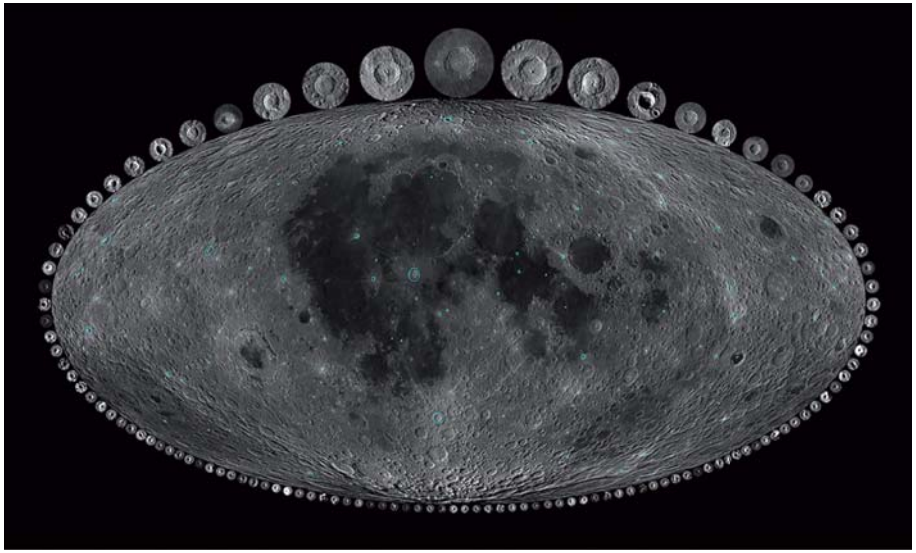
Az utóbbi néhány százmillió évben megsokasodtak a földi kisbolygó-becsapódások

A kozmikus környezete által a Földre gyakorolt egyik nagyon jelentős hatás a kisbolygók időnkénti becsapódása. Ha csak egy ilyen eseményt kellene megemlítenünk, a legtöbbünknek bizonyára a dinoszauruszok kihalásában is szerepet játszó, a mexikói Chicxulub-krátert létrehozó, 66 millió évvel ezelőtti becsapódás jutna elsőként eszébe. Azt tudjuk, hogy a Naprendszer és bolygónk kialakulásakor még sokkal több törmelék keringett központi csillagunk körül, így a becsapódási események is sokkal gyakoribbak és pusztítóbbak voltak, mint a jelenkorban. De hogyan változott az

idők során a becsapódások gyakorisága? Vajon folyamatosan csökkent az intenzitás?

Ezt a kérdést nem is olyan könnyű megválaszolni. A Földi becsapódások nyomait – a földtörténeti értelemben vett egészen közeli múltat, illetve a legnagyobb krátereket leszámítva – eltörölte a lemeztektonika, a Föld felszínének állandó megújulása, és az időjárás okozta erózió. A beazonosítható formában fennmaradt földi kráterek korát viszont radiometriai módszerrel jól meg tudjuk állapítani. Ezek a vizsgálatok már korábban is utaltak arra, hogy mintha az utóbbi 300 millió évből jóval több kráter maradt volna fenn, mint azelőttről. Azt azonban nem tudták egyértelműen eldönteni a kutatók, hogy csak azért nem találnak olyan sok régebbi krátert, mert az erózió mára eltüntette őket, vagy valóban kevesebb is keletkezett korábban.

Itt siet a segítségünkre a Hold. A holdi becsapódások relatív gyakorisága a földivel azonos módon változik. Így a Hold becsapódástörténetének ismeretében a Föld múltját is megérthetjük. Azonban a holdi kráterek korát a távolság miatt nem olyan egyszerű megmérni, mint földi társaikét.



A kutatók által vizsgált holdkráterek elhelyezkedése és méretarányos fotói.Legfelül a Kopernikusz-kráter (Torontói Egyetem; NASA GSFC / LRO / USGS; Alex Parker)

Egy, a Torontói Egyetem kutatói által vezetett nemzetközi kutatócsoport új módszert dolgozott ki a holdkráterek kormeghatározására a NASA tíz éve működő holdtérképező űrszondája, a Lunar Reconnaissance Orbiter hőkamerájának felvételei segítségével. A módszer alapja az, hogy a holdi éjszaka során a tömör sziklákkal borított talaj hatékonyabban adja le a nappal felvett hőt, mint a porózus, felaprózott regolittal fedett területek. Ezt a jelenséget kihasználva a kutatók korábban már megállapították, hogy milyen gyorsan erodálja, aprózza a becsapódások nyomán felszínre került sziklákat a mikrometeoritok zápora. Ennek az eróziónak ütemét ismerve már megmérhető az egyes kráterek kora.

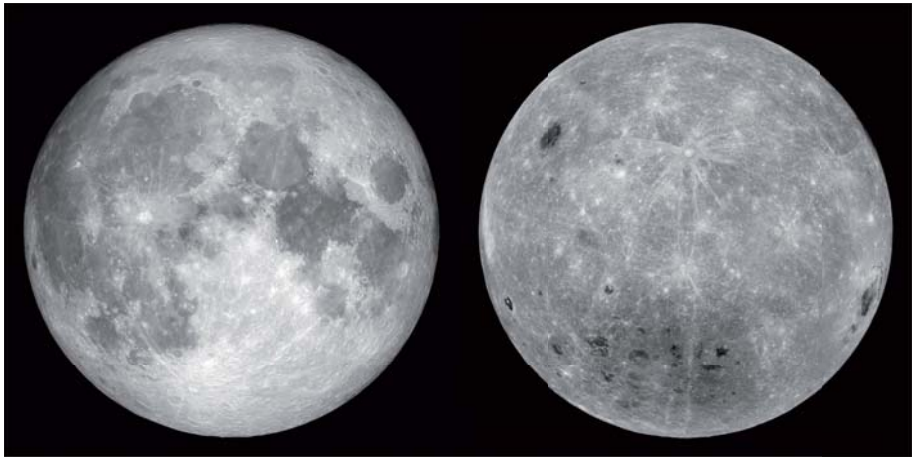
A kutatócsoport a Science folyóiratban publikált tanulmányában rámutatott, hogy a Hold és a Föld fenti módszerekkel az elmúlt évszázmilliókra megállapított becsapódástörténete jó egyezést mutat. A Föld legstabilabb felszínű régióiban, például a Kanadai-ősföldön talált relatív múltbéli kráterhiányt nem az erózió okozta. A kisbolygó-becsapódások intenzitása 290 millió évvel ezelőtt, a földtörténeti óidő, a paleozoikum végén hirtelen majdnem megháromszorozódott.

Az ugrásszerű növekedés okáról a tanulmány szerzői is csak találgatni tudnak. Elképzelhető, hogy abban az időben nagyobb ütközések történtek a Naprendszer fő kisbolygóövében. Az ilyen ütközésekből származó törmelék pedig bejuthatott a belső Naprendszerbe is. A becsapódások ugrásszerű megszaporodása hatással lehetett a földi élet fejlődésére is. Vajon találunk majd a jövőben közvetlen kapcsolatot a bombázás erősödése és bizonyos múltbéli földi események között?

A Hold tőlünk látható és túlsó oldalának eltérése egy gigantikus becsapódás következménye lehet

A földi megfigyelésekből, valamint a Hold tőlünk nem látható oldaláról készült felvételek alapján igen szembetűnőek égi kísérőnk két oldalának felszíni eltérései. Ezek a geológiai aszimmetriák a domborzat magassági különbségeiben, a kéreg vastagságában meglévő eltérésekben, valamint a két oldal felszíni ásványi és kémiai összetételében is megmutatkoznak. Így például a felénk forduló oldalon sokkal nagyobbak a mare területek, vagyis a holdi „tengerek” sötét foltjai, míg a túlsó oldalon csak kevés ilyen területet találunk. A felénk forduló oldalon a felszín alacsony kalcium-piroxén tartalma becsapódás következményére utal. A túlsó oldalon az eredeti ősi anortozitos felszínre a Hold belsejéből felszínre került, „kifröccsent” anyag rakódott rá a felénk forduló oldalról.

De miért különbözik a Hold felénk forduló és tőlünk nem látható oldalának felszíne? Egy nemzetközi kutatócsoport szerint ezek az aszimmetriák a Hold két oldala között egy nagy égitest becsapódását sejtetik, ami a felénk forduló oldalba ütközött. Ez megmagyarázhatja a Hold két oldala közötti eltéréseket. A becsapódó test egy törpebolygó vagy egy kisebb bolygótömegű égitest lehetett a korai Naprendszerben.



A Hold tőlünk látható és túlsó oldalának különbségét mutatja ez a képpár, amelyet a NASA Lunar Reconnaissance Orbiter (LRO) holdszondája felvételeiből állítottak össze (NASA/Goddard Space Flight Center/Arizona State University, LRO)

A Hold két oldala közötti eltérésekre már korábban is több magyarázat látott napvilágot, de most a hatalmas becsapódási esemény került előtérbe, amit számítógéppel modelleztek. A modellezés eredménye szerint egy 720-780 km átmérőjű, mintegy $7{,}6 \cdot 10^{20}$–$9{,}7 \cdot 10^{20}$ kg tömegű, belsejében

differenciálódott test csapódott a Hold felénk forduló oldalába. Ha 780 km átmérőjű égitest ütközött a Holdba, akkor 6,25 km/s-os, ha egy 720 km-es, akkor 6,80 km/s-os ütközési sebességet tételezhetünk fel. A becsapódó testnek mintegy 200 km átmérőjű vasmagja lehetett. Egy ilyen égitest vagy törpebolygó, vagy pedig bolygótömegű objektum, úgynevezett planetezimál lehetett. Egyébként a Hold két oldalának eltéréseit magyarázó nagy becsapódási esemény modellezése a wolfram 182-es izotópjának felszíni eloszlásában megmutatkozó eltéréseket is megmagyarázhatja.

A korai Naprendszerben igen gyakoriak voltak az ütközések, így például a ma legelfogadottabb elmélet szerint maga a Hold is egy ütközés következtében állt össze azután, hogy bolygónkba egy csaknem Mars méretű test, a Theia ütközött. Nem meglepő tehát az, ha később az egyébként nagyon gyorsan kialakuló Holdba is becsapódott egy nagyobb égitest.

A Tunguz-meteoroid még mindig a Nap körül keringhet, és újra lecsaphat

Egy nemrég napvilágot látott tanulmány szerint az 1908-ban Szibériában bekövetkezett Tunguz-eseményt okozó kisbolygó akár vissza is pattanhatott a földi légkörről, és még ma is a Nap körül keringhet, így a jövőben akár újra lecsaphat bolygónkra vagy a Holdra is. Június 30-a kisbolygókról szóló ismeretterjesztés nemzetközi világnapja, az Asteroid Day, amelyet 2014-ben Brian May, a legendás Queen együttes szólógitárosa, az asztrofizika doktora és több más neves személyiség kezdeményezett, és 2016-tól minden évben megtartanak. Az esemény célja, hogy a kisbolygók kutatásának nemzetközileg elismert szakemberei felhívják a világ figyelmét arra, milyen veszélyt is jelenthetnek bolygónkra lehetséges ütközésükkel az aszteroidák, illetve egyáltalán mit tudunk ezekről a kis égitestekről. A dátum nem véletlen, 1908-ban ezen a napon következett be a szibériai Köves-Tunguszka folyó forrásvidékén az a kozmikus katasztrófa, amelyre azóta Tunguz-esemény vagy Tunguz-jelenség néven hivatkozunk.

Eddig úgy tudtuk, hogy egy nagyjából 30-80 méteres égitest behatolt a Föld légkörébe, de nem érte el a felszínt, hanem 5-8 km körüli magasságban hatalmas robbanással szétaprózódott. A detonáció energiája egy 10-20 megatonnás (1500-2000 hirosimai atombomba), más becslés szerint 30 megatonnás robbanás energiájának felelt meg. Nincs egyértelmű becsapódási kráter, és nem találtak meteoritdarabokat, vagy a földfelszínből kidobott, a nagy hő és nyomás hatására átalakult törmelékdarabokat. A tajga fáinak lombjait az epicentrum környékén a robbanás lökéshulláma lecsupaszította, de a fákat függőlegesen hagyta, távolabb azonban sugárirányban kidöntötte azokat. A Tunguz-jelenség légköri robbanást idézett elő.

A Tunguz-esemény nyomán elpusztult erdőségek évtizedekkel később is drámai képet mutattak (Leonid Kulik expedíció felvétele)

Az esemény 112. évfordulóján annak magyarázatára orosz kutatók egy új, meghökkentő elmélettel álltak elő. Danyiil E. Krennyikov (Szibériai Szövetségi Egyetem, Krasznojarszk), valamint munkatársai, a krasznojarszki Szibériai Állami Egyetem, a Számítógépes Modellezési Intézet, a Kirenszkij Fizikai Kutatóközpont, a Moszkvai Fizikai és Műszaki Egyetem és a Lebegyev Fizikai Intézet kutatói részletes számítógépes modellezéssel azt vizsgálták, hogy 50, 100 és 200 méter átmérőjű, túlnyomórészt vízjég, kő vagy vas anyagú kis égitestek a Föld légkörébe különböző sebes-

séggel és szöggel érkezve elérhetik-e a felszínt, vagy vannak köztük olyanok, amelyek kipattannak a légkörből, és óriási lökéshullámot keltve visszakerülnek a világűrbe bolygóközi pályára.

Az orosz kutatók számítógépes szimulációi azt mutatták, hogy a vas anyagú, 50 és 200 méter közötti átmérőjű testek, amelyek 25 km/s sebességgel és 5-12 fok belépési szögtartományban lépnek be a légkörbe, kipattannak a földi légkörből, így nem érik el a felszínt. Csak 10-15 km magasságig juthatnak le, és közben még a tömegükből is alig veszítenek a súrlódás miatt, hiába tesznek meg mintegy háromezer kilométer hosszú utat. A túlnyomórészt vízjégből vagy kőből álló testek sebessége viszont annyira lecsökken, hogy szinte teljesen lefékeződnek, és a hatalmas nyomás és hő szétaprózza őket.

Nappali tűzgömb a Jackson Lake (Grand Teton Nemzeti Park, Utah, USA) felett 1972. augusztus 10-én (James M. Baker felvétele)

Krennyikov és munkatársai vizsgálatainak a Tunguz-esemény magyarázatán túlmutató általános következménye is van: a földi légkörbe a múltban is és a jövőben is behatolhatnak kis égitestek, majd onnan kipattanva

tovább folytathatják útjukat a bolygóközi térben, vagyis a Tunguz-jelenséghez hasonló lokális katasztrófák a múltban is bekövetkezhettek, illetve a jövőben is előfordulhatnak. Az apró égitesteknek a légkörből a világűrbe történő visszapattanása a földi atmoszféra egyfajta védelmi mechanizmusát is jelenti. A kisebb aszteroidák nem érik el a felszínt, és nem okoznak nagyobb becsapódási katasztrófát. Ilyen eseményre volt példa 1972. augusztus 10-én egy nappali fényes tűzgömb a Grand Teton Nemzeti Park (Utah) egén, amelyet több videó is megörökített. Akkor egy kb. ezertonnás vasmeteor zúgott el a megfigyelők szeme láttára a Sziklás-hegység felett délről észak felé, a kanadai Edmonton és Calgary városok irányába, de szerencsére kipattant a légkörből, vagyis a Föld atmoszférája megvédte ezeket a városokat és környéküket egy lokális katasztrófától.

A Tunguz-eseményt okozó kis égitest a fenti elmélet helyessége esetén a Földre és a Holdra továbbra is potenciális ütközési veszélyt jelenthet. Ez is alátámasztja azt a nyilvánvaló igényt, hogy a földközeli kis égitestek megismerése, felfedezésük és nyomon követésük még inkább hangsúlyos feladat legyen a jövőben is – az aszteroidanap szellemében is.

Digisonde 4D ionoszféraradar telepítése

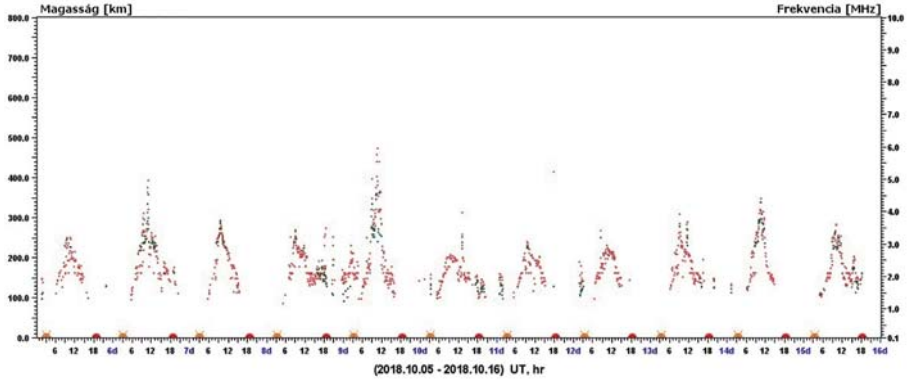
A program fontos innovációja az optikai megfigyelések összekapcsolása egy új digitális ionoszonda radarméréseivel. Utóbbival főleg az ionoszféra E-rétegében, 100-160 km magasan keltett plazmacsatorna révén igen apró testek is észlelhetők. Az apró meteorikus testek megismerése kritikus, mivel ezek adják a bolygónkra érkező évi 20-30 ezer tonnányi anyag többségét, főleg 100-300 mikrométeres testek formájában – ez az optikailag felvillanó meteorok alsó tartománya, ezért teljeségbolt-kamerás megfigyelésük és együttes ionoszferikus rögzítésük jelentős előrelépést hoz a becslések pontosításában, éves menetük és specifikus jellegzetességeik meghatározásában. A meteornyomok feltűnési régiójának vizsgálatával fontos felsőlégköri fizikai jellemzők (áramlási sebesség, hőmérséklet, diffúziós sebesség stb.) is meghatározhatók.

A legnagyobb aktivitású éves meteorrajok idején szimultán optikai-rádiós megfigyeléseket végzünk, különös tekintettel a sporadikus E-réteg viselkedésére, így a képeken feltűnő nyomok távolságát azonnal kimérhetjük, a feltűnés magasságát meghatározhatjuk. A radart az optikai megfigyelésekkel korrelálva a szemcseméretek eloszlása pontosítható, az optikai alapon becsült meteorikus tömeg pedig a radarmérésekkel összevetve a test jellemzésében segít.

A Lowell DPS4D ionoszféraradar vezérlőegysége a fertőbozi obszervatóriumban

A Lowell LLC legújabb DPS4D típusú ionoszféraradarja 2018 nyarán került telepítésre és üzembe helyezésre a Széchenyi István Geofizikai Obszervatóriumban. A digiszonda az ionoszféra egyes rétegeinek paramétereit (elektronsűrűség, magasság), valamint az ionoszférikus plazma mozgását képes monitorozni. A berendezés lehetőséget adott arra, hogy az obszervatórium csatlakozzon a legnagyobb nemzetközi ionoszférikus radarhálózathoz (Global Ionospheric Radio Observatory – GIRO), így más digiszonda állomásokkal összehangolt mérésekhez is, aminek köszönhetően új hazai és nemzetközi kutatási együttműködési lehetőségek nyíltak meg.

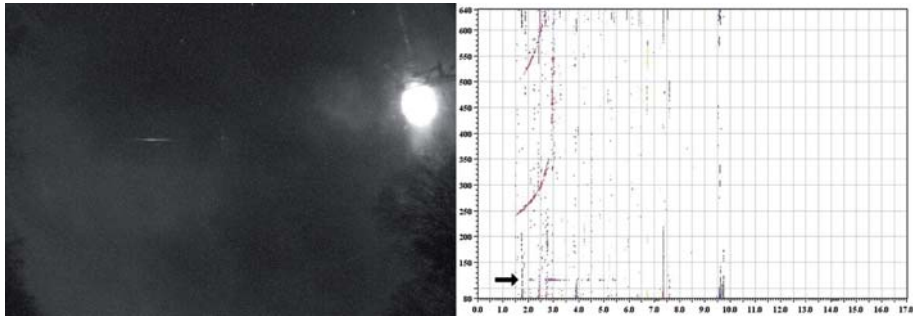
Az ionoszféraradar adatainak vizsgálatából kimutattuk, hogy jelentős meteoraktivitás esetén a sporadikus E-réteg aktivitása megnő, magassága megemelkedik, ami különleges lehetőséget teremt arra, hogy borult idő esetén is tudomást szerezzünk a Földet érő nagyobb meteorzáporokról. A felsőlégkörben lebegő mikroszkopikus méretű ionizált porszemcséket és nagy méretű fém ionokat az e magasságtartományban uralkodó szél nyírása egy vékony rétegbe tereli, így megnövelve ott az egységnyi térfogatra jutó ionok számát. Az ilyen rétegeket nevezzük sporadikus-E rétegnek.



A sporadikus E-réteg magasságának változását 2018. október 6-a és 16-a között mutató ionogram. Jól látható a Draconida meteorraj október 8/9-ére eső maximuma után a felsőlégkörben lebegő mikroszkopikus méretű porszemcsék hatása

Elsőként a Draconida meteorraj 2018. október 8/9-i éjszakai kitörése után sikerült egyértelműen kimutatni a sporadikus E-réteg emelkedését, amikor mintegy öt órán keresztül nagy mennyiségű meteorikus por bombázta légkörüket. Később a Perseidák meteorraj 2019-es maximumakor jutottunk hasonló eredményre, bár a nyáron aktívabb sporadikus E-réteg és a több éjszakára elhúzódó nagy aktivitás miatt itt nem annyira látványos az eredmény.

A projekt fontos célkitűzése volt, hogy összekössük az egyedi meteorokról készült optikai és radaros méréseket. Ennek érdekében az ioniszféraradar szokásos, 15 percenkénti méréseit a nagy meteorrajok idején 1 perce sűrítjük, hogy nagyobb esély legyen a radar felett feltűnő meteorok nagyjából 20-60 másodpercig megmaradó nyomát rögzíteni. Míg normál esetben a sporadikus E-réteg magassága és frekvencia-eloszlása is stabil az egymást követő ionogramokon, egy meteornyom feltűnése egyértelmű változást okoz. A radar a zenithez képest 45 fokos szögben képes észlelni, amely 100 km sugarú kört jelent az E-réteg 100–120 km-es magasságában.



A 2019. november 19-én hajnalban észlelt egyik leonidameteor fényképe (balra), és a 17 másodperccel később készült ionogram (jobbra). A meteor nyomának jelét nyíllal jelöltük az ionogramon, míg a felvétel jobb szélén a telehold fénylik

A minden évben megfigyelhető meteorrajok közül az egyik leghíresebb a leonidák áramlata, amely november 18-a környékén jelentkezik, és legfeljebb néhány éjszakán át ad meteorkat. Bár az utóbbi években kevésbé aktív, 2019. november 18/19-én éjjel is a percenkénti üzemmódban működtettük az ioniszféraradart, amely sikeresen detektálta az obszervatóriumba telepített meteorkamera által világidőben 00:48:23-kor rögzített, nagyjából +1 magnitúdós leonida meteort. A 17 másodperccel később készült ionogramon több hullámhosszon is szépen látszik a 115 km magasan feltűnt meteor maradványa által okozott jel. A környező napokban további nyolc ilyen esetet sikerült megfigyelni.

A radar képes megállapítani az általa észlelt plazmanyom irányát is, amely a megfigyelt eseteknél jó egyezést mutatott a kamerák által detektált meteorok zenithez képesti irányával. Több ilyen vizsgálatot követően egyértelműen be tudjuk azonosítani az egyedülálló meteorok nyomait az ionogramokon, így nappal is képesek leszünk megfigyelni a meteorzáporokat. Ezen kívül a radar megfigyelések lehetőséget adnak a meteor típusának megállapítására is, mivel az ionoszférában létrejövő plazmanyom erőssége függ a meteorból származó fémion-koncentráció mértékétől.

Digisonde 4D ionoszféraradar telepítése

Tartalom

Kozmikus hatások és kockázatok 2
Európában egyedülálló obszervatóriumi infrastruktúra kiépítése 8
A Kárpát-medence légterét figyelő meteorkamera-rendszer kiépítése 22
A holdi meteorbecsapódásokat monitorozó 80 cm-es teleszkóp 34
Digisonde 4D ionoszféraradar telepítése 44

SZÉCHENYI 2020

Címlapon

Piszkéstető Obszervatórium madártávlatból. Az előtérben a Szrogh György Ybl Miklós-díjas építész által tervezett kutatóház látható, az erdőben lapulnak a távcsöveket rejtő kupolák, a háttérben a Galya-tető, még távolabb pedig a Kékes csúcsa is kivehető.

Belső borítón

Két fényes meteor a piszkéstetői meteorkamerák felvételein. Felül egy 2019. december 15-én hajnalban rögzített geminida tűzgömb, alul pedig egy 2019. május 8-án este hullott sporadikus meteor látható.

Hátsó borítón

Az ELTE Gothard Asztrofizikai Obszervatórium új kupolájában felállított 80 cm-es Ritchey–Chrétien rendszerű távcső.

Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont
Budapest, 2020
ISBN 978-615-00-9970-5
Felelős kiadó: Kiss László, a CSFK főigazgatója
Nyomdai előkészítés: Molnár Péterné