

Van új a Föld felett

A FIZIKAI SZEMLE és METEOR on-line melléklete
Összeállította: Szabados László

A 20. század utolsó évtizedei látványos felfedezésekkel és eredményekkel jártak a csillagászat tudományában. A kvazárok felfedezése (1963) az első gammakitörések észlelése (1967), a pulzárjelek első detektálása (1968) váratlan események voltak, de nem kevésbé fontos a korábban elméleti úton már előre jelzett égitestfajták és jelenségek első képviselőinek kimutatása: fekete lyuk (1972), gravitációs lencse (1979), exobolygó (1995) (nem Nap típusú csillaghoz tartozó: 1992), barna törpe (1995). Bár ezek mind a közelmúltban történtek, már a csillagászat történet részei.

Mostanra a 21. századnak éppen a nyolcada telt el. A csillagászat fejlődése és eredményessége a legutóbbi időben is mindvégig töretlen maradt. Ebben az összeállításban – ha nem is történeti távlatból – megpróbáljuk áttekinteni a 2000 óta eltelt időszak fontos fejleményeit és jellegzetes eredményeit a kozmikus térség kutatásában, teljességre törekvés nélkül.

3. oldal

Videó: Tejútrendszer, 0:48 (ESO)

Életkép a Tejútrendszerből. A Skorpió csillagkép egy részletét ábrázoló felvétel bal szélén a csillagközi por által részben eltakart Antares, az éjszakai ég 15. legfényesebb csillaga látszik. A tőlünk 600 fényévre levő, feltűnően vörös, szuperóriás csillag dobta le magáról a körülötte levő felhő anyagának egy részét. A kép jobb oldalán látható fényes csillag a szigma Scorpii. A kép közepe alatt az M4 jelű gömbhalmaz fénylik. Ez a 7200 fényévre levő, százezernyi csillagból álló csillaghalmaz a Tejútrendszer legidősebb objektumai közé tartozik. A kép Éder Iván felvétele, Namíbia, 2010. május 10-én, 200/710 Newton-távcső + Canon EOS 5D Mark II fényképezőgépen, 2 óra expozícióval.

4–5. oldal

A 2000 óta felbocsátott csillagászati űrszondák

(a Holdhoz és a Marshoz küldött szondák külön táblázatban vannak)

Név	Indítási év	Felbocsátó	Kutatási cél
HETE2	2000	NASA	gammakitörések
Cluster	2000	ESA	a földi magnetoszféra és a Nap vizsgálata
Genesis	2001	NASA	napszélből mintavétel, a minta Földre juttatása
WMAP	2001	NASA	mikrohullámú-csillagászat, kozmológia
INTEGRAL	2002	ESA	gamma- és röntgencsillagászat
RHESSI	2002	NASA	a Nap vizsgálata röntgen- és gammatartományban
CONTOUR	2002	NASA	üstökös kutatás
GALEX	2003	NASA	égfelmérés ultraibolyában, galaxisfejlődés vizsgálata
Spitzer	2003	NASA	infravörös-csillagászat

Név	Indítási év	Felbocsátó	Kutatási cél
MOST	2003	Kanada	fényes csillagok nagy pontosságú fotometriája
Hayabusa	2003	Japán	kisbolygóból vett minta Földre juttatása
CHIPS	2003	NASA	a 9–26 nm közötti hullámhosszú sugárzás vizsgálata
MESSENGER	2004	NASA	a Merkúr feltérképezése, kutatása
Rosetta	2004	ESA	üstökös-kutatás közelről
Swift	2004	NASA	gammakitörések, forrásaik azonosítása
Gravity Probe B	2004	NASA	az általános relativitáselmélet ellenőrzése
Deep Impact	2005	NASA	üstökös-kutatás közelről
EPOXI	2005	NASA	Naprendszer-kutatás
Venus Express	2005	ESA	a Vénusz bolygó kutatása
Suzaku	2005	Japán	nagy energiájú kozmikus folyamatok
Akari	2006	Japán	infravörös-csillagászat
Hinode	2006	Japán	napkutatás
New Horizons	2006	NASA	a Plútó és a Kuiper-objektumok vizsgálata közelről
STEREO	2006	NASA	a Napot más-más irányból vizsgáló két szonda
CoRoT	2006	Franciao., ESA	pontos fotometria az űrből
THEMIS	2007	NASA	a Nap hatása a földi magnetoszférára
Dawn	2007	NASA	a Vesta kisbolygó és a Ceres törpebolygó vizsgálata közelről
Fermi	2008	NASA	gammacsillagászat
Kepler	2009	NASA	szuperpontos fotometria
Herschel	2009	ESA	infravörös-csillagászat
Planck	2009	ESA	mikrohullámú-csillagászat
WISE	2009	NASA	infravörös égtérképezés
SDO	2010	NASA	napkutatás
Akatsuki	2010	Japán	a Vénusz vizsgálata
Juno	2011	NASA	a Jupiter vizsgálata közelről
RadioAsztron	2011	Oroszo.	rádiócsillagászat az űrből
NuStar	2012	NASA	röntgencsillagászat

6. oldal

A 2000 előtt felbocsátott csillagászati űrszondák közül jelenleg is működik:

Név	Indítási év	Felbocsátó	Kutatási cél
Voyager	1977	NASA	2 szonda, jelenleg a helioszféra határvidékét vizsgálja
Hubble-űrtávcső	1990	NASA, ESA	optikai, infravörös- és ultraibolya-csillagászat
Geotail	1992	Japán, NASA	a Föld magnetoszférája
Wind	1994	NASA	a napszél hatása a Föld környezetére
SOHO	1995	ESA, NASA	a Nap folyamatos megfigyelése több hullámhossztartományban
Cassini-Huygens	1997	NASA, ESA	a Szaturnusz és holdjainak vizsgálata
ACE	1997	NASA	napfizika
Chandra	1999	NASA	röntgencsillagászat (főleg képalkotás)
XMM-Newton	1999	ESA	röntgencsillagászat (főleg spektroszkópia)

7. oldal

A Hold kötött tengelyforgása miatt mindig azonos felével fordul a Föld felé. A Hold tőlünk nem látható félgömbjét a NASA Lunar Reconnaissance Orbiter (LRO) szondája térképezte fel legrészletesebben. Az ortografikus vetületű fototérképet a szondán levő nagy látómezejű kamera 2009. november – 2011. február között készített 15 000 felvételéből állították össze. A Hold túloldala kevésbé vulkanikus, mint a felénk forduló félgömb, mivel kísérőnk kérge vastagabb a tőlünk nem látható oldalon. A kráterek túlnyomó többsége kozmikus becsapódástól származik.

Forrás: NASA/GSFC/Arizona State Univ.

8. oldal

A Hold felénk forduló oldalának egyik legjellegzetesebb képződménye a Tycho-kráter. A NASA LRO szondája egyik közelképén a Tycho középponti csúcsát örökítette meg, amint az a holdi napfelkeltekor hosszú árnyékot vet. A Tycho körülbelül 100 millió éve keletkezett egy hatalmas kozmikus becsapódás eredményeként. A méretek érzékeltetésére: a központi csúcs 2 km-re magasodik a kráteraljzat fölé.

Forrás: NASA/GSFC/Arizona State Univ./LRO

9. oldal

Videó: Merkúr, 0:14 (lásd alul)

A NASA űrszondája, a Merkúr körüli pályára állt MESSENGER 2013-ban befejezte a Naprendszer legbelső bolygójának feltérképezését. A térképet 88746 egyedi felvételből állították össze. A részletes és pontos térkép segít megérteni a Merkúr bolygó kialakulására és fejlődésére ható globális folyamatokat, különösen a Nap közelségének hatását.

Forrás: NASA/Johns Hopkins Univ. APL/Carnegie Inst. Washington

10. oldal

A Vénusz bolygó egyik furcsasága, hogy az atmoszférájában magasan megjelenő felhők sokkal gyorsabban forognak, mint maga a bolygó. A 2006 óta a Vénusz körül keringő Venus Express szonda méréseiből az a még meglepőbb tény derült ki, hogy az elmúlt 6 évben a felhőzet forgása jelentősen felgyorsult. A két görbe egymástól eltérő módszerrel kapott szélességet jelöl. Az eredmény így is egybehangzó – és rejtélyes.

Forrás: ESA/I. V. Katuncev

11. oldal

Hold-szondák 2000 óta

Név	Indítási év	Felbocsátó
Smart 1	2003	ESA
Selene (Kaguya)	2007	Japán
Chang'e 1	2007	Kína
LRO	2009	NASA
Chandrayaan-1	2008	India
Chang'e 2	2010	Kína
GRAIL	2011	NASA

12. oldal

Marsi tájkép 2005-ből. A Spirit marsjáró felvételén a Gusev-kráterbeli Columbia-domb látszik. Érdeemes megfigyelni a talaj rétegzettségét (és a marsjáró keréknyomait).

Forrás: NASA/JPL

13. oldal

Míg a Mars pólusain kialakuló jégsapka főleg szén-dioxid-jeget tartalmaz, a bolygó alacsonyabb szélességein (a képen a Tharsis-hátság vulkánjai fölött) vízjégből álló kékesfehér felhők jelennek meg a Mars Global Surveyor felvételén.

Forrás: NASA/JPL/MSSS

14. oldal

Már közel 10 éve működik a 3 hónapos működésre tervezett Opportunity marsjáró. Eddig 36 km-t tett meg a Mars felszínén, képeket és mérési adatokat szolgáltatva mindenhol, ahova eljutott.

Forrás: NASA/JPL

15. oldal

A Mars Phobos nevű apró holdján található, 9 km átmérőjű Stickney-kráterben egy kisebb, 2 km-es kráter is keletkezett egy későbbi becsapódáskor.

Forrás: NASA/MRO

16. oldal**Videó:** Curiosity érkezése a Marsra, 5:32 (NASA/JPL-CalTech)

Sikeres Mars-szondák 2000 óta

Név	Indítási év	Felbocsátó	Megjegyzés
Mars Odyssey	2001	NASA	a Mars körül keringő szonda
Mars Exploration Rover A	2003	NASA	Spirit marsjáró
Mars Exploration Rover B	2003	NASA	Opportunity marsjáró
Mars Express	2003	ESA	keringő egység (a leszálló egység kudarcot vallott)
Mars Reconnaissance Orbiter	2005	NASA	keringő egység, nagy felbontású képek készítése
Phoenix	2007	NASA	leszálló egység
Mars Science Laboratory	2011	NASA	Curiosity marsjáró, életfeltételek vizsgálata

(Az 1996-ban felbocsátott Mars Global Surveyor a bolygó körül keringve 2006 novemberéig működött.)

17. oldal

A Jupiter felszínének sávos szerkezete és az óriásbolygó erős mágneses mezejére utaló sarki fény egyaránt látszik a Hubble-űrtávcső által készített felvételen (optikai és UV-fényben készített képek egyesítése). A felvétel 2007 februárjában készült, amikor a Plútó felé haladó New Horizons űrszonda útközben a Jupiter plazmakörnyezetét mérte.

Forrás: NASA/ESA/STScI/AURA/Hubble Heritage Team

18. oldal

Teljes napfogyatkozás a Szaturnusznál a Cassini űrszondáról nézve. A lenyűgöző gyűrűrendszer fényes és halvány gyűrűk ezreiből áll. A képen balra, az egyik keskeny gyűrű és a fényes gyűrűk között látható (sejthető) fénypont a Föld 2006. szeptember 15-én.

Forrás: NASA/JPL/Space Science Institute

19. oldal**Videó,** 0:26 (NASA/JPL-Caltech/SSI/Hampton Univ)

A gyorsan forgó Szaturnuszon hatalmas örvények alakulnak ki. A Cassini űrszonda által készített képekből összeállított hamisszínes felvételen egy 2000 km átmérőjű hurrikán látható. A magasabb felhők zöldre, az alacsonyabban levők vörösesre vannak színezve.

Forrás: NASA/ESA/JPL/SSI/Cassini Imaging Team

20. oldal

A Szaturnusz kis holdja, a 250 km-es Hyperion szokatlan megjelenésű. A Cassini űrszonda 2005-ben készített felvételén rengeteg apró kráter látszik. Az enyhe színkülönbségek eltérő kémiai összetételre utalnak. A holdacska átlagsűrűsége ($0,54 \text{ g/cm}^3$) arra utal, hogy a belseje üreges.

Forrás: NASA/ESA/JPL/SSI/Cassini Imaging Team

21. oldal

A Cassini űrszonda Huygens leszállóegysége ilyenek látta a Szaturnusz Titan nevű holdját ereszkedés közben 10 km magasságból.

Forrás: NASA/ESA/JPL/SSI/Cassini Imaging Team

22. oldal

A Hartley-2 üstökös 700 km-ről a NASA EPOXI szondáján levő kamerával 2010 novemberében készített felvételen. Az üstökös mag 2 km hosszú, a „nyakánál” 400 m vastag. Jól látszik, hogy a Nap felőli, melegített oldalon a fagyott üstökös magból gázok szublimálnak.

Forrás: NASA/JPL-Caltech/UMD

23. oldal

Az 525 km átmérőjű Vesta az egyik legnagyobb kisbolygó. A NASA Dawn nevű szondája a Ceres felé vezető útját megszakítva 2011 július és 2012 szeptembere között a Vesta körül keringve készítette ezt a felvételt. A Vestát ért becsapódások során a kisbolygóról kirepült anyag egy része meteoritként a Földre került.

Forrás: NASA/JPL-Caltech/UCAL/MPS/DLR/IDA

24. oldal

Az elmúlt évtized egyik látványos jelensége volt a Machholz-üstökös – itt éppen a Fiastyúk mellett 2005. január 6-án. A 6 perc expozíciós idejű felvételt Zseli József készítette Canon 10D fényképezőgépre szerelt 2,8/180-as teleobjektívvel.

25. oldal

A Földről való látványt illetően a McNaught-üstökös feladta a leckét a 21. század többi üstökösének. 2007 januárjában a csóvája szabad szemmel is 15-20 fokos kiterjedésűnek látszott. A 6×30 s expozíciós idejű felvételt Ausztráliában készítette Takács István, Kiss László, Szabó Gyula és Derekas Aliz.

26. oldal

A Nemzetközi Csillagászati Unió által jelenleg törpebolygók közé sorolt égitestek

Név	Átmérő (km)	Átlagos távolság a Naptól (CSE)
Ceres	kb. 470	2,8
Plútó	2300	39
Haumea	1240	43
Makemake	1480	46
Eris	2325	68

27. oldal

A Naprendszer belső részében ismert kisbolygók és üstökösök 2000. október 9-én (balra) és 2013. június 17-én (jobbra). A két képet összehasonlítva feltűnő a kis égitestek számának rohamos növekedése. A kisbolygók helyzetét zöld pont, a Földhöz közel keringő vagy a Föld pályáján belülre kerülő aszteroidákat piros pont jelöli. Az ismert periodikus üstökösök helyét kék négyzetek mutatják. A nagybolygók pályáját kör jelzi. Figyeljük meg a Jupiter pályája mentén 60 fokkal a bolygó előtt, illetve mögött (a librációs pont környékén) keringő, úgynevezett trójai kisbolygókat (kis kék pontok).

Forrás: Gareth Williams, Minor Planet Center

28. oldal

A Földet megközelítő ismert kisbolygók száma a szisztematikus kutatások eredményeként 2013-ban elérte a tízezret. Az 1 km-t meghaladó méretűek közül 860 ismert. A földre potenciális veszélyt azok a kisbolygók jelentenek, amelyek 7,5 millió km-en belül megközelítik bolygónkat és 140 m-nél nagyobbak. Az ilyen méretű kisbolygóknak jelenleg csak alig harmada ismert.

Forrás: JPL/Alan B. Chamberlin

29. oldal

A La Palma szigetén felállított, 1 m átmérőjű svéd naptávcsővel készített legélesebb képeken előtűnik a napfoltok finomszerkezete. Az adaptív optikával készült 2002. július 15-i felvételen látható napfolt átmérője akkora, mint a Holdé. A sötét terület (umbra) alacsonyabb hőmérsékletű a környezeténél.

Forrás: SST/Svéd Királyi Tudományos Akadémia

30. oldal

Videó: a Nap felszíne, 3:34 (NASA/Goddard)

A Nap atmoszférája egy bonyolult szerkezetű napfoltcsoportok fölött 2011 szeptemberében. A plazmanylábok (erővonalak) jól kirajzolják a mágneses mező struktúráját és a napkitörések (flerek) helyét. A Solar Dynamics Observatory felvétele extrém-ultraibolya hullámhosszon készült.

Forrás: NASA/SDO

31. oldal

Videó: VLT, 0:20 (ESO)

Az ESO Very Large Telescope (VLT) négy, egyenként 8,2 m tükörátmérőjű távcsövének jelét egyesítve interferométerként szolgál. A VLT-vel az első interferometrikus észlelést 2001-ben végezték el, amikor az Alphard nevű csillag szögátmérőjét ($0,00929 \pm 0,00017$ ívmásodperc) sikerült meghatározni. Ilyen szögtávolságra látszik egy személyautó két fényszórója 35 000 km-ről.

Forrás: ESO, VLT

32. oldal

A Large Binocular Telescope (LBT) a Mt. Graham csúcsán működik Arizonában. A közös tengelyre szerelt két 8,4 m átmérőjű főtükre együtt a jelenlegi legnagyobb optikai távcsőnek tekinthető. A két főtükör egymástól 14,4 m távolságra van, ami egészen nagy optikai felbontást tesz lehetővé, így vizsgálhatók például az exobolygó-rendszerek és a fiatal csillagok környezete is.

Forrás: LBT/Marco Pedani

33. oldal

Videó: GTC, 1:45 (lásd a film végén)

A legújabb optikai óriástávcső a La Palma szigetén (Kanári-szigetek, Spanyolország) levő Gran Telescopio Canarias (GTC). A 10,4 m tükörátmérőjű teleszkóppal 2009 óta folynak a tudományos megfigyelések a CanariCam segítségével. A műszer spektroszkópiai, koronográfiai és polarimetriai észlelésekre alkalmas a 7,5–20 μm közötti infravörös hullámhossztartományban. Újabb műszere, az OSIRIS képek és színeképek készítését teszi lehetővé az optikai és közeli-infravörös tartományban.

Forrás: Wikipedia, Pachango

34. oldal

2000 óta működésbe lépett nagy optikai távcsövek

Név	Átadás	Effektív átmérő	Hely	Működtető
VLT3	2000	8,2 m	Chile	ESO, Chile
VLT4	2001	8,2 m	Chile	ESO, Chile
MMT	2000	6,5 m	Arizona	USA
Magellan-1	2000	6,5 m	Chile	USA
Magellan-2	2002	6,5 m	Chile	USA
Gemini Dél	2001	8,1 m	Chile	USA, Egyesült Királyság, Kanada, Chile, Ausztrália, Argentína, Brazília
LBT	2004	11,8 m (2×8,4 m)	Arizona	USA, Németo., Olasz.
SALT	2005	9,2 m	Dél-Afrika	Dél-Afrika, USA, Egyesült Királyság, Németo., Lengyelo.
GTC	2009	10,4 m	Kanári-szk.	Spanyolo., Mexikó, USA

(Ebben az időszakban üzembe helyezett további 13 távcső főtükre legalább 2 m átmérőjű.)

35. oldal

További működő óriástávcsövek (8 m tükörátmérő felett)

Név	Átadás	Effektív átmérő	Hely	Működtető
Keck-1	1993	10,0 m	Hawaii	USA
Keck-2	1996	10,0 m	Hawaii	USA
HET	1997	9,2 m	Texas	USA, Németo.
VLT1	1998	8,2 m	Chile	ESO, Chile
VLT2	1999	8,2 m	Chile	ESO, Chile
Subaru	1999	8,2 m	Hawaii	Japán
Gemini Észak	1999	8,1 m	Chile	USA, Egyesült Királyság, Kanada, Chile, Ausztrália, Argentína, Brazília

36. oldal

Az ALMA (Atacama Large Millimeter/submillimeter Array) antennaegyüttes 54 darab 12 m átmérőjű és 12 darab 7 m átmérőjű antennából álló rendszer az 5000 m magas Chajnantor-fennsíkon, Chilében. Az egyes antennák helyzete változtatható a többihez képest, a legkisebb távolság 150 m, a legnagyobb 16 km lehet. Az egyes antennák jelének összekapcsolásával egyetlen nagy felbontású rádiótávcsőként működik. Az ALMA telepítése 2003-ban kezdődött, és a rendszer 2013-ban épült ki teljesen. Az ALMA rendszerével az űsrobbanás után visszamaradt kozmikus mikrohullámú háttérsugárzás mellett a tejútrendszerbeli molekulafelhők és porfelhők is részletesen vizsgálhatók.

Forrás: ESO, ALMA

37. oldal

Az ALMA észlelései alapján a heves csillagkeletkezés az eddig vélténél jóval hamarabb, az Univerzum 2 milliárd éves korában beindult. A csillagontó galaxisokban vízmolekula jelenlétét is kimutatták – ezek a víz legtávolabbi ismert előfordulásai a kozmoszban (felső kép). A távoli, halvány galaxisok fénye az előtérbeli galaxisok gravitációslenccsehatására erősödött fel (alsó kép).

Forrás: ESO, ALMA

38. oldal

A Sloan Digital Sky Survey (SDSS) a csillagászat történetének egyik legmonumentálisabb égfelmérése. 2000–2008 között az égbolt negyedét feltérképezve 930 000 galaxis és 120 000 kvazár eloszlását és térbeli helyzetét határozták meg. Az itt bemutatott diagram az SDSS által $-1,25$ fok és $+1,25$ fok deklináció között észlelt galaxisok eloszlását ábrázolja. Minden pont egy-egy galaxisnak felel meg. A pont színe a galaxis korára utal (a vörösebbek idősebb csillagokat tartalmaznak). A diagram középpontjában a Föld van, sugárirányban kifelé nő a z vöröseltolódás (a növekvő távolságnak megfelelően). A külső kör 2 milliárd fényév távolságnak felel meg. Feltűnő a galaxisok egyenetlen, „buborékszerű” eloszlása, a buborékok között szinte üres térségekkel.

Forrás: SDSS/M. Blanton

39. oldal

Az ESO 2009 óta működő 4,1 m átmérőjű VISTA-távcsöve közeli-infravörös hullámhosszon végez égfelmérést. Első látványos eredményei között tartják számon, hogy eddig ismeretlen 96 csillaghalmazt fedeztek fel az általa készített képeken. Ezek a nyílthalmazok az optikai képeken azért nem látszanak, mert a csillagközi por abban a hullámhossztartományban elnyeli az irányukból érkező fényt. Jelenleg nagyjából 2500 nyílthalmazt ismerünk a Tejútrendszerben, ám becslések szerint a 30 000-et is elérheti a számuk. Jelentőségüket az adja, hogy a csillagok csoportosan, halmazokban keletkeznek (majd a csillaghalmazok idővel felbomlanak).

Forrás: ESO, VISTA

40. oldal, balra

Az első közvetlenül megörökített exobolygó (2004-ben). A vörös színű, halvány bolygó a képen kéknek látszó 2M1207 jelű barna törpe körül kering. A barna törpe olyan objektum, amelynek tömege nem éri el azt a minimális értéket, hogy gravitációs összehúzó-dással felforrósodva beinduljon a hidrogén fúziója héliummá. A Naptól 200 fényévre levő 2M1207-ben a barna törpe és a bolygója között 55 csillagászati egység a távolság.

Forrás: ESO, VLT+NACO/G. Chauvin et al.

40. oldal, jobbra

A béta Pictoris körül keringő bolygót úgy sikerült közvetlenül láthatóvá tenni, hogy a központi csillag erős fényét a Nap megfigyelésénél bevált koronográf alkalmazásával kitakarták. A 2010 áprilisában 4 mikrométeres közeli-infravörös hullámhosszon készített felvételen a csillagától mindössze 6,5 CSE-re levő bolygó a kitakart csillagtól balra látszó fénypont. Maga a bolygó 9-szer nagyobb tömegű, mint a Naprendszer legnagyobb bolygója, a Jupiter.

Forrás: ESO, VLT+NACO

41. oldal

A 130 fényévre levő HR8799 fiatal (300 millió éves) csillag (kitakarva) körül keringő bolygórendszer infravörös képe. A b, c, d és e betűkkel jelölt óriásbolygók egy évtized alatt befutott pályáivét nyilak jelzik.

Forrás: W. M. Keck Obs./NRC-HIA/C. Marois

42. oldal

A Kepler-űrtávcső az égboltnak a Lant (Lyra) és a Hattyú (Cygnus) csillagkép határán levő parányi részét figyel folyamatosan, az ott található csillagok fényességváltozásait követve. Az ismétlődő fényességcsökkenésekből a csillagok körül keringő bolygókra, a pulzációs eredetű, periodikus fényességváltozásokból pedig a csillagok belső szerkezetére lehet következtetni.

Forrás: NASA

43. oldal

A 2009-ben felbocsátott Kepler-űrtávcső méréseiből kimutatott exobolygójelöltek Földhöz viszonyított mérete a keringési periódusuk függvényében. A hosszabb megfigyelési időszak a kisebb bolygók felfedezésének kedvez.

Forrás: NASA, Kepler misszió

44. oldal

A csillagkorong előtt átvonuló (tranzitos) exobolygók (piros pontok) tömegének (pontosabban a tömeg és a pályahajlás szinusza szorzatának) függése a keringési periódustól. A kék pontok a csillag látóirányú sebességének változása alapján kimutatott exobolygókra vonatkoznak. A diagram szerint a csillaghoz közel nem keringhet akármilyen tömegű bolygó.

Forrás: Szabó M. Gy., Kiss L. L. 2011, ApJ, 727, L44

45. oldal

Az NGC 602 csillagkeletkezési tartomány a Kis-Magellán-felhőben. Középen a már megszületett fiatal csillagok halmaza fényesen ragyog 200 000 fényév távolságból is. A háttérben távoli galaxisok alakítják „háromdimenzióssá” a kozmikus csendéletet.

Forrás: NASA/ESA/STScI/AURA/Hubble Heritage Team

46. oldal

Életkép távoli tájakról. A 2,1 milliárd fényévre levő Abell 68 galaxishalmaz tagjainak egy részét a valódi alakjuktól eltérőeknek látjuk. Az előtérben levő galaxisok és a sötét anyag ugyanis gravitációs lencséként viselkedve eltorzítják (a kép közepén például megnyújtják) a távoli galaxisok alakját.

Forrás: NASA/ESA/STScI/AURA/Hubble Heritage Team

47. oldal

Az Arp 273 kölcsönható galaxispár az Andromeda csillagképben található, tőlünk 340 millió fényévre. A két galaxis szoros közelsége csillagkeletkezési hullámot indított el mindkét galaxisban. A gravitációs kölcsönhatást a szokatlan elhelyezkedésű spirálkarok is jelzik.

Forrás: NASA/ESA/STScI/AURA/Hubble Heritage Team

48. oldal

Százmillió évvel ezelőtt a képen felül látható NGC 2937 még közönséges spirálgalaxis volt. Azóta a vele szomszédos elliptikus galaxis vonzása így eltorzította az alakját. Az Arp 142 kölcsönható galaxispár egykori spirális tagjára ezért Delfin-galaxisként is hivatkoznak.

Forrás: NASA/ESA/STScI/AURA/Hubble Heritage Team

49. oldal

Az Arp 147 esetében is spirálgalaxis találkozott elliptikus galaxissal. Az eredmény mégis egészen más, ám ugyancsak megdöbbentő. A 440 millió fényévre levő galaxispár spirális tagjában beindult heves csillagkeletkezés sok nagy tömegű csillagot hozott létre, amelyek gyorsan fejlődve szupernóva-robbanás után fekete lyukakká váltak, és ezek a beléjük hulló anyag röntgensugárzásáról ismerhetők most fel (a képen rózsaszínű foltok).

Forrás: NASA/STScI + NASA/CXC/MIT/S. Rappaport et al.

50. oldal

Videó: Sas-köd, 0:55 (VLT/WFI/Hubble)

Csillagok tízezrei keletkeznek a Carina-ködben, amelynek itt az ESA Herschel-űrobszervatóriumával távoli-infravörösben készített felvételét mutatjuk be. E hullámhossztartományban az alacsony hőmérsékletű csillagközi anyag (a csillagképző molekulafelhők) sugárzása a legerősebb.

Forrás: ESA/PACS/SPIRE/T. Preibisch

51. oldal

A Spirálvarázs néven ismert planetáris köd finomszerkezete a Hubble-űrtávcső felvételén. A köd közepén néhány évezrede még vörös óriás fejlődési állapotú csillag burkát ledobva látványos fénylésre gerjeszti a környezetét. A köd most 0,2 fényév átmérőjű. Élete végén a Nap is hasonló fejlődési fázison megy át.

Forrás: NASA/ESA/STScI/AURA/Hubble Heritage Team/R. Sakai, A. Hajian

52. oldal

A Macskaszem-ködként is ismert NGC 6543 planetáris köd a Hubble-űrtávcső észlelései alapján. A koncentrikus gyűrűk jól érzékeltetik, hogy a ködöt gerjesztő központi csillag tömegvesztése nem egyenletes, hanem epizódszerűek és ismétlődőek a tömegledobások. A már több mint két évtizede keringő Hubble-űrtávcső felvételei alapján nyomon lehet követni a jelenleg 1 fényév átmérőjű köd tágulását is.

Forrás: NASA/ESA/STScI/AURA/Hubble Heritage Team/R. Corradi

53. oldal

A nagy tömegű zéta Ophiuchi csillag gyorsan (25 km/s sebességgel) mozogva lökéshullámot kelt. A Spitzer-űrszonda által készített felvételen a csillag által menet közben ledobott csillagszél okozta fejhullám látható infravörös (3,6–24 μm közötti) hullámhosszakon.

Forrás: NASA/JPL-Caltech

54. oldal

Négy űrtávcső észleléseiből állították össze a történelmi időkben legelsőként (i. sz. 183-ban) megfigyelt szupernóva-robbanás maradványfelhőjének képét. A 4 űrszonda: a röntgentartományban észlelő XMM-Newton és Chandra, valamint az infravörös sugárzást érzékelő Spitzer és WISE. A felvételen a röntgensugárzást a kék és zöld szín jelzi, míg az infravöröst sárga és vörös. Az egykor felrobbant csillag által ledobott felhő most 85 fényév átmérőjű.

Forrás: NASA/JPL-Caltech/Spitzer/WISE/CXC, ESA/XMM-Newton

55. oldal **Videó:** V838 Monocerotis – látványos csillagrobbanás 2002-ben, 0:49 (ESA)
Az 1006-ban a Lupus csillagképben bekövetkezett szupernóva-robbanás az ember által eddig megfigyelt legfényesebb szupernóva volt. Az egy évezrede történt robbanás egyre szétterjedő lökéshulláma ma is gerjeszti a maradványfelhőt. A színek eltérő hullámhosszú sugárzásra utalnak: a kék röntgensugárzást, a vörös rádióhullámokat jelent, a sárgás árnyalat az optikai sugárzást jelzi. Ilyen szupernóva-maradványokban tesznek szert extrém nagy energiára a kozmikus sugárzás Földön is észlelhető részecskéi.

Forrás: NASA/STScI/Z. Levay/ESA

56. oldal

A Vela csillagképben látható csillagközi hidrogénfelhő mélyén megbúvó pulzár. A bal oldali képen bejelölt piros téglalap kinagyítva látható a jobb oldalon, de az optikai helyett röntgenhullámhosszakon. A tengelye körül 0,09 másodpercenként körbeforduló neutroncsillag (a fényes pont a röntgenkép közepén) pulzárként viselkedik. A nagy energiájú sugárzást bemutató röntgenkép jól érzékelteti a 19 km átmérőjű neutroncsillag eszeveszett pörgését, és a forgástengelye mentén kilövellő anyag is látszik.

Forrás: NASA/CXC/Univ. of Toronto/M. Dunant et al.

57. oldal

A szupernóva-robbanások során nagy mennyiségű forró gáz lövell ki a csillagközi térbe galaktikus szökőkútként, a Tejútrendszer korongjára merőleges irányban is. Ez a gáz a nagy energiájú röntgensugárzásáról ismerhető fel a röntgentartományban működő űrtávcsövek segítségével.

Forrás: ESA/XMM-Newton

58. oldal

Az égbolt gammatérképe 1 milliárd elektronvolt (1 GeV) energián a Fermi-űrtávcső első két évben végzett mérései alapján. (A látható fény fotonjainak energiája 2-3 eV.) A világosabb színek fényesebb gammaforrásoknak felelnek meg. Az egész égbolt diffúzan fénylik a gammatartományban, a sugárzás a Tejútrendszer fősíkja mentén a legerősebb. A diszkrét gammaforrások között találjuk a pulzárokat, a szupernóva-maradványokat és a távoli galaxisok centrumában levő (több millió vagy milliárd naptömegnyi anyagot tartalmazó) fekete lyukakat.

Forrás: NASA/DOE/Fermi LAT Collaboration

59. oldal

Az NGC 5128 óriás elliptikus galaxis a Centaurus csillagképben az egyik legismertebb kozmikus rádióforrás. A galaxis centrumában meghúzódó szupernagy tömegű fekete lyuk által keltett rádiósugárzás zöme (amely nagy sebességgel mozgó részecskéktől származik) a galaxistól egymillió fényévig terjedő két lebenyből érkezik (balra). A Fermi-űrtávcső a rádiólebenyekből érkező gammasugárzást detektált (jobbra). Egy kis energiájú foton rádiósugárzó részecskével ütközve energiára tesz szert, és a megnövekedett energiája miatt a gammatartományba eső fotonná válik.

Forrás: NASA/DOE/Fermi LAT Collaboration/Capella Observatory

60. oldal

A kozmikus mikrohullámú háttérsugárzás hőmérsékleti egyenetlenségei az ESA Planck szondájának 2009–2010-es mérései alapján. Az átlagérték alatt és fölött 200 mikrokelvines határon belül ingadozó, néhány milliomod K pontosságú mérésekből az Univerzum legőssibb struktúráira lehet következtetni. A mérési adatokból továbbá az Univerzum korára 13,8 milliárd év adódott, a Világegyetem jelenlegi tágulását leíró Hubble-állandóra pedig $67,3 \pm 1,2$ km/s/megaparszek.

Forrás: ESA, Planck Collaboration

61. oldal

Abban biztosak lehetünk, hogy a közeljövőben sem törik meg a csillagászat látványos fejlődése. 2013 őszén indítják az ESA Gaia nevű asztrometriai űrszondáját, amelynek méréseiből egymilliárd csillag térbeli helyzetét és mozgását fogják pontosan meghatározni az évtized végére. Néhány éven belül a legnagyobb optikai távcső 40 méter tükörátmérőjű lesz (E-ELT, European Extremely Large Telescope, az ESO egyik chilei obszervatóriumában). Készül a Square Kilometer Array (SKA), az összesen egy négyzetkilométer antennafelületű rádiótávcső-rendszer. Ugyancsak a megvalósítás felé halad az LSST (Large Synoptic Survey Telescope) projekt, amelynek 8,4 m átmérőjű, 3,5 fok látómezejű távcsöve 3 naponként fogja leképezni a teljes égboltot, 24,5 magnitúdós* határfényességig, és gyakorlatilag minden ennél fényesebb átmeneti jelenséget (szupernóvák, változócsillagok, kisbolygók, gravitációs lencsétől származó felfényesedések) rögzíteni fog. Folytatódó nemzetközi együttműködés keretében pedig megkísérlik a gravitációs hullámok kimutatását is.

A csillagászok számára nem a csillagos ég a határ – azon túl is igyekeznek feltárni az Univerzum titkait.

* A magnitúdó (m) a csillagok látszó fényességének mértéke. A szabad szemmel való láthatóság határa körülbelül 6,5 m. A kisebb magnitúdó nagyobb fényességet jelent (így a Sarkcsillag 2,1, a Szíriusz –1,4, a Nap –26,7 magnitúdós, a skála logaritmikus).