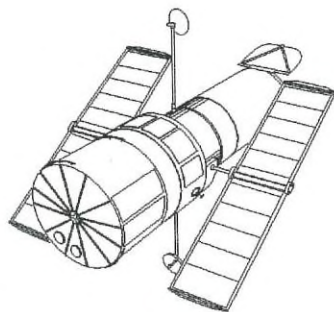


A Hubble Űrtávcső eredményeiből

1998. március–december



Lapunk hasábjain tavaly februárban és áprilisban jelentek meg utoljára hosszabb összefoglalók az optikai távcsövek koronázatlan királyával végzett megfigyelésekről. A következőkben az azóta nyilvánosságra hozott legfontosabb eredmények összefoglalója következik. Ezúttal színes képek kíséretében mutatjuk be az anyagokat, fotómellékletünk felhasználásával.

A Hubble öröksége

A tudomány örök problémája a nagyközönséggel való kapcsolatteremtés. Hogyan lehet hétköznapi nyelvre lefordítani az eredményeket, hogyan lehet oldani a tudósokat körülvevő, már-már misztikus hangulatot? Napjaink tudományos intézményeinek jó része fokozott figyelmet fordít az ismeretterjesztésre, az Űrtávcső Tudományos Intézetet pedig a legaktívabbak között jegyezhetjük e tekintetben. Most újabb projektet indítottak el, amelynek célja a tudományos tevékenység és az érdeklődő közönség közötti híd további erősítése.

A Hubble Űrtávcső több mint 130 000 felvételt tartalmazó archívumából a legzebbeket választják ki a csillagászok, hogy bőséges szöveges információk kíséretében megosszák őket minden érdeklődővel. A program a Hubble Heritage Project (Hubble Örökség Projekt) nevet kapta. A fotókat új képfeldolgozási eljárásoknak vetik alá, hogy minél élethűbb, valódi színeket mutató képet kaphassunk az égi objektumokról. A „valódi” alatt itt nem feltétlenül azt kell értenünk, amit szabad szemmel látnánk. A HST ugyanis a spektrum sokkal szélesebb sávjában érzékeny, így a képek színeinek kiválasztásánál a tudósok az emberi korlátokat is kitágítják.

A címlapon látható Gyűrűs-köd (M57) az elsők között lett az örökség része. A Lyra (Lant) csillagképben, tőlünk 2300 fényévnnyire fekvő planetáris ködöt összességében 1 órán keresztül fényképezte a WFPC-2. Az alakzat kb. 1,3 fényéves átmérője ebben a távolságban 2 ívperces szögátmérőnek felel meg.

Ez az eddigi legélesebb kép a leghíresebb és legismertebb planetáris ködről, amelynek gázanyagát pár ezer éve, a vörös óriás fázisban dobhatta le a köd közepén látható, kékes színű csillag. Jelenleg már kisebb, mint a Nap, de a felszíne igen forró — úton van a fehér törpe állapot felé. Intenzív ultraibolya sugárzása felfűti és fénylésre készíti a köd anyagát. A gyűrű pereménél a gázba ágyazódott hosszúkás, sötét anyagcsomókat figyelhetünk meg, amelyek a ledobott csillaganyagban lévő por összesűrűsödésével alakultak ki. A por igen sok

A szövegben szereplő rövidítések

HST: Hubble Space Telescope (Hubble Űrtávcső)

WFPC-2: a Wide Field and Planetary Camera 1997-ben beszerelt, második változata (nagy látószögű és bolygófényképező üzemmódban működő optikai kamera)

NICMOS: Near Infrared Camera and Multi Object Spectrometer (infravörös kamera és spektrométer, amely a 2,5 mikrométeres hullámhosszig észlel; beszerelve 1997-ben)

STIS: Space Telescope Imaging Spectrograph (spektrográf, szintén 1997-es műszer).

szenet tartalmaz, amely valamikor a jövőben talán szerves molekulák építésében vesz részt egy távoli bolygón.

A közel valódi színekben pompázó ködben a kék a héliumnak, a zöld az oxigénnek, míg a vörös a nitrogénnek felel meg.

A Hubble Heritage Project által eddig feldolgozott objektumok (1999. január): NGC 253 (egy csillagontó galaxis), NGC 3132 (Nyolc Kitöréses-köd), NGC 7635 (Buborék-köd); NGC 7742 (egy Seyfert-galaxis), Szaturnusz, s végül egy lenyűgöző csillagmező látványa a Sagittarius (Nyilas) csillagkép területén. A galéria képeit minden hónap első csütörtökén frissítik, de a látogatókat gyakrabban várják a honlapon. Többek között azért is, hogy segítsenek kiválasztani a program által megfigyelésre javasolt célpontokból 2 objektumot.

A Hubble Heritage Project honlapja: <http://heritage.stsci.edu/>

Naprendszer

A HST kisbolygóészleléseiről és a Triton felmelegedéséről már olvashattunk a Meteorban (1998. június, illetve szeptember), így ezekre most nem térünk vissza. A HST nyolcadik „születésnapján” (1998. április 24.) élénk színű képeket kaptunk a **Szaturnuszról**, amelyek a NICMOS első felvételei a bolygóról (1,0, 1,8 és 2,1 mikrométeres hullámhosszon). A Meteor 1998. július–augusztusi számának hátsó borítóján látható hamisszínes kép az égitest infravörös fényviszaverését mutatja, részletes információkat nyújtva a felhőkről és a légköri páratartalomról. A kék szín a tiszta légköri területeket jelzi, ahol egészen a fő felhőszintig láthatunk le. A kék különböző árnyalatai a felhőreszcsek méretének és kémiai összetételének variációi miatt alakultak ki (a felhőreszcsek zöme ammóniakristály). Megfigyelhető az északi félteke viszonylagos tisztasága. A déli pólus körüli sötét, kék terület egy lyuk a fő felhőszintben. A zöld és a sárga színek párákat jeleznek a fő felhőszint felett. A zöld szín a vékonyabb, a sárga a vastagabb páráteget jelenti. A déli félgömb jól láthatóan igen páráz.

A vörös és narancssárga területek olyan felhőcsoportok, amelyek felszálló légáramlásoknál alakultak ki. A legmagasabbak a vörös színben megjelenő felhők. A bolygó egyenlítőjének környékén két vihar tombol. Fehér színű középső részük a legsűrűbb légköri területeknek felel meg. A kisebbik (bal oldali) vihar Föld méretű.

A gyűrűk fehér színe hasonlít a látható fényben nyújtott képhez. Infravörösben azonban a víz infravörös fényelnyelése árnyalatokat eredményez, ami a legbelső gyűrű barna színénél a legfeltűnőbb. A gyűrűk árnyékot vetnek a bolygóra. Az árnyékban egy világos vonal figyelhető meg a bal oldalon, ahogy a napfény áthatol a Cassini-résen. Legközelebb 2006-ban lesz részünk ilyen látványban. A képen két hold is feltűnik. A Dione a bolygó korongjának bal alsó, a Tethys a jobb felső szélén bukkan elő, utóbbi éppen egy fedés után.

1998. augusztus 8-án a NICMOS ismét az **Uránuszt** vizsgálta a közeli infravörös tartományban. A **2. képen** a bolygót övező gyűrűrendszer 4 főgyűrűje és a 17 ismert hold többsége (10 db) is megfigyelhető. Több mint egy évvel ezelőtt e bolygó már okozott meglepetést a tudósok körében. Akkor 6 különösen fényes felhőt vettek észre a légkörben. A Hubble most 20 felhőt észlelt a planéta légkörében, ami közel annyi, mint amennyit az ezt megelőző kutatások során összesen találtak. A bolygót övező legfényesebb felhő (a korong bal oldalán) mellett látható narancssárgás felhők több mint 500 km/h sebességgel mozognak. A legnagyobb felhő (a bolygó korongjának jobb szélénél) a legfényesebb ilyen alakzat, amit valaha is láttunk.

A képen az egyes színek a légkör más-más magasságú területeit mutatják (ez hasonló az imént a Szaturnusznál leírtakhoz). A jelenlegi képet a Hubble korábbi felvételeivel összehasonlítva kimutatható a bolygót övező gyűrűrendszer legfényesebb tagjának precessziós mozgása. Megfigyelhető, hogy a gyűrű jobb felső része halványabb. A precessziós mozgás miatt e halvány rész kilenckavonta fut körbe a bolygó körül. A jelenséget leginkább egy hulahoppkarika mozgásához hasonlíthatjuk, vagyis a gyűrűk síkja állandóan billeg (az Uránusz nagy tömegvonzása miatt). Az elhalványodást az okozza, hogy a gyűrűt alkotó részecskék az egyik oldalon — ahol a „karika” éppen lefelé billent — eltakarják egymást.

A legtávolabbi gázóriás, a **Neptunusz** is nyújtott újdonságokat. A HST felvételeinek segítségével egy — időben nem folyamatos — filmet készítettek a gázóriás forgásáról, amelynek segítségével a kutatók figyelemmel kísérhetik a távoli planéta légkörének változásait. A megfigyelések három Neptunusz-napon keresztül zajlottak (kb. 48 óra). Az animáció honlapunkról letölthető, de vigyázat, mert a mérete 18 Mbyte!

A legnagyobb rejtély még mindig a légkörben lévő sötét foltokat övezi, amelyek feltehetően hatalmas, örvénylő viharok. A Voyager-2 űrszonda 1989-ben fedezte fel a Nagy Sötét Folt nevű, közel Föld-méretű alakzatot. A HST két évvel ezelőtti megfigyelései azt mutatták, hogy a folt eltűnt, ugyanakkor viszont egy kisebb, hasonló alakzat bukkant fel. Ez azonban ahelyett, hogy a Nagy Sötét Folthoz hasonló szerkezetű fejlődött volna, megállapodott egy meghatározott szélességen és valószínűleg az intenzitása is csökkent.

A Neptunusz légkörének másik jellemző vonása az egyenlítővel párhuzamos, a bolygót körbefutó időjárás zónák jelenléte. Az egyenlítő mindkét oldalán bizonyos szélességeken állandóan fényes felhők alakulnak ki. Ezek egyesek szerint hasonlóak a Föld trópusi övezetének egyenlítői övében lévő passzátszélrendszer felszálló ágához.

Csillagok, csillagfejlődés

Az SN 1987A az utóbbi évtized „szupersztár-szupernóvája”, amelynek fejlődését folyamatosan követik a csillagászok. A Hubble Űrtávcső észlelései során egy fényesedő csomót fedeztek fel az egykori csillagot övező gázgyűrűben. A csomó területe nagyenergiájú ütközőzóna lehet a szupernóva-robbanás következtében kifelé mozgó lökeshullámfront és a gyűrű legbelső tartományának anyaga között.

A régóta ismert gyűrű valószínűleg abból a gázanyagból áll, amelyet a szupernóva elődcsillaga a felrobbanása előtt dobott le magáról. A szupernóva-robbanás előtt nem volt látható; a robbanás során felszabaduló sugárzás azonban felhevítette és intenzív sugárzásra készítette az anyagát. Ezután fokozatos elhalványodás következett, miközben a szupernóva-maradvány folyamatosan tágult (legbelső, sűrűbb, lassabban táguló részének mozgását egy ideje már az optikai tartományban is megfigyelhetjük). Néhány évvel ezelőtt rádió- és röntgensugárzást észleltünk a gyűrűn belüli tartományokból, ahogy a táguló törmelékfelhő leggyorsabban mozgó, láthatatlan frontja „legázolta” az ott lévő ritkább, hidegebb gázt. A kérdés az volt, hogy a front mikor éri el igazán látványosan a gyűrű belső szélét. A várva várt esemény 1997 nyarán bekövetkezett: a hatalmas, kb. 1 fényév átmérőjű gyűrű — bár egyelőre csak egy területen — intenzíven felfénylett. A **3b képen** ezt a kb. 160 milliárd km széles foltot figyelhetjük meg, a gyűrű jobb felső részében.

A táguló törmelékfelhő több mint 50 millió km/h sebességgel száguldott bele a gyűrű anyagába. A fokozatosan forrószódó folt hőmérséklete máris néhány ezertől egymillió fokig terjedő skálán változik. A csillagászok jóslatai szerint egy évtizeden belül az egész gyűrű „lángokban áll” majd, ahogy az ütközés teljes erővel végigsöpör rajta. A lökéshullámfront végül valószínűleg elpusztítja a gyűrűt, szétszórva anyagát a csillagközi térben.

A drámai folyamat megfigyelése során több fontos kérdésre kaphatunk választ. Milyen volt az elődcsillag? Magányos óriás, vagy egy kettősrendszer tagja? Ha az utóbbi az igaz, akkor felfúvódása során könnyen bekebelezhette társcsillagát, s ez is kiválthatta a belső gyűrű gázanyagának ledobódását.

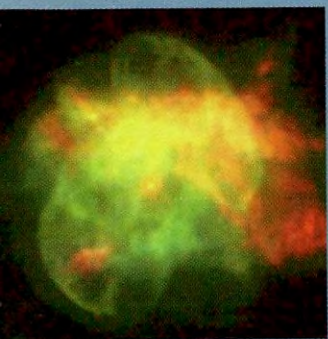
Fény derülhet végre a titokzatos külső gyűrűpár kialakulására is, amelyek homokóraszerű alakzatot rajzolnak az objektum köré (Meteor 1997/2.). A szakemberek szerint sokkal több gázanyag övezheti az objektumot, mint amennyi a szupernóva-robbanás hatására vált láthatóvá. Most talán ezt is megfigyelhetjük. Nagyon izgatottak azok a fizikusok is, akik a lökéshullámfrontok jellemzőit tanulmányozzák. Bár sok szupernóva-maradványt vizsgáltak már ebből a szempontból, ezek mind több száz évesek voltak. Az SN 1987A esetében a front mozgása még tízszer gyorsabb, mint öregebb társainál.

A **3a képen** a három évvel ezelőtti állapot látható, ahol még nyoma sincs a forró foltoknak. A gyűrű bal alsó részén fénylő folt egy olyan csillag, ami az SN1987A látóirányába esik, de fizikailag nem tartozik hozzá. A gyűrű részleteinek felerősítéséhez számítógépes képezelést alkalmaztak.

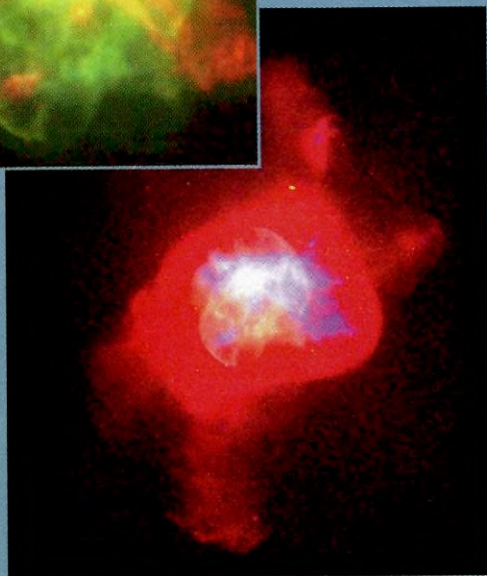
A közepes tömegű csillagok nem robbannak fel, hanem fehér törpévé alakulnak. Nagy meglepetést keltett, amikor a Nagy Magellán-felhő egyik fiatal (kb. 40 millió éves) halmazában egy ilyen objektumot találtak a csillagászok. A fehér törpék ugyanis olyan idős, roppant sűrű és forró felszínű objektumok, amelyek Naphoz hasonló tömegű csillagokból alakulnak ki, miután azok átmentek egy kiterjedt vörös óriás fázison. A problémát az okozza, hogy a Naphoz hasonló tömegű csillagok milliárd évekig élnek, így fehér törpének semmi keresnivalója nincs egy ilyen fiatal halmazban. Amennyiben mégis helyben, egy gyorsabban fejlődő nagy tömegű csillagból alakult ki, akkor tovább kell finomítanunk csillagfejlődési elméleteinket. A megfigyelések alapján ugyanis úgy tűnik, hogy az elődcsillaga 7,6 naptömegű volt. Eddig azt tartottuk, hogy a 6 naptömegnél nehezebb csillagok már nem végezhetik fehér törpeként, hanem felrobbannak, neutroncsillagot vagy fekete lyukat hagyva maguk után. Az új alsó határértéknek — amennyiben valóban helytálló — számos következménye lehet. Pontosíthatjuk a korai Univerzum galaxisainak fejlődésére vonatkozó modelljeinket, jobb becslést adhatunk a neutroncsillagok számára és jobban meghatározhatjuk azt az értéket, amely megmutatja, milyen mértékben gazdagították a szupernóvák a csillagközi teret az általuk kiszórt nehéz elemekkel. Az új felfedezés az utóbbi szempontból kicsit lehangoló is lehet, hiszen ezek szerint kevesebb a „csillagpor” a Világegyetemben.

A Hubble Űrtávcső a planetáris ködök természetének tanulmányozásában is új korszakot nyitott. Pazar felvételei megmutatták nekünk, hogy e haldokló csillagok körüli gázburkok rendkívül változatos alakúak, összetett szerkezetűek és bonyolult folyamatok során fejlődnek ki. A Hubble planetáris-kód-galériáját már a tavaly februári szám hátoldalán is megcsodálhattuk, májusban pedig az eddigi legfiatalabb képviselőjükről, a Rája-ködről olvashattunk.

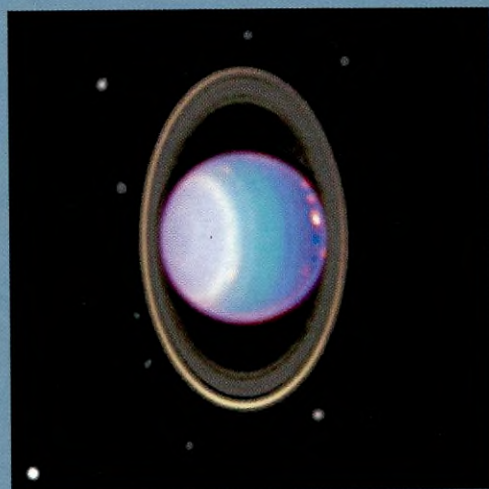
A Hubble-űrtávcső eredményeiből



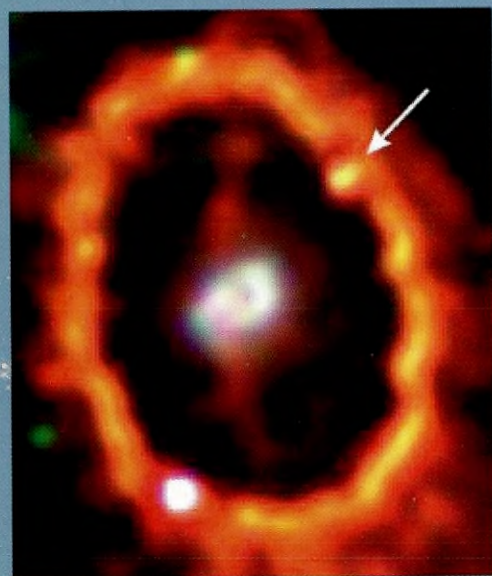
1a



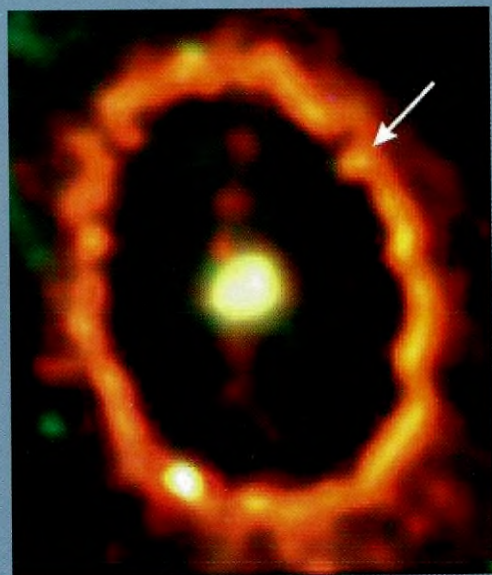
1b

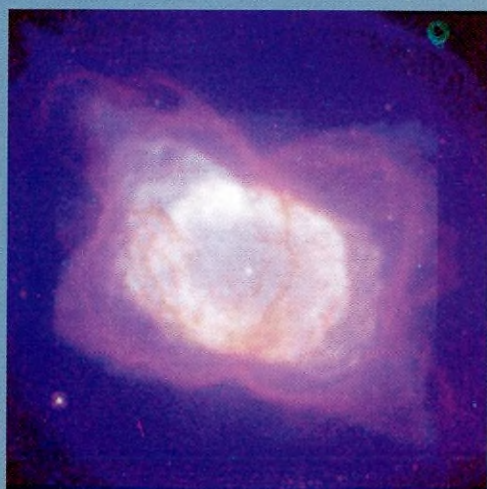


2



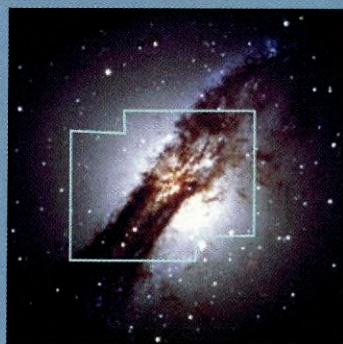
3a, b





4a, b

5a



5b

5c





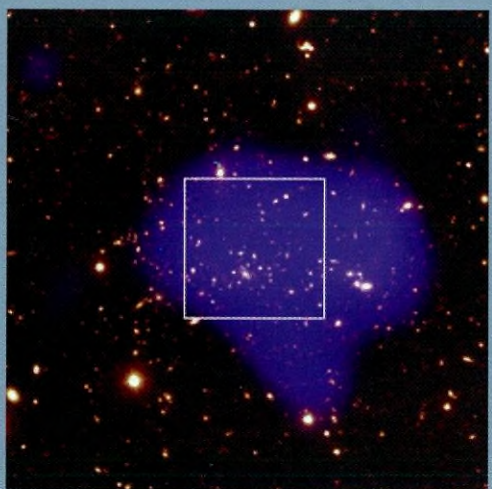
6



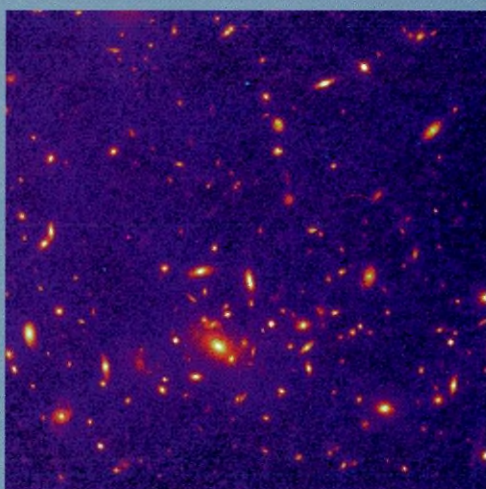
7a

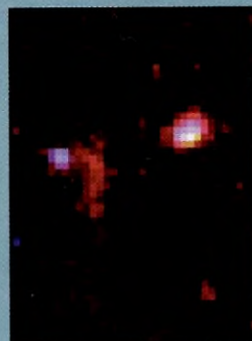
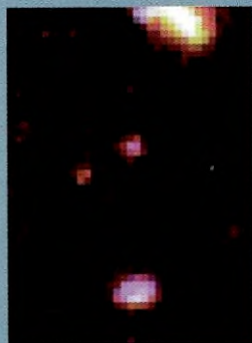


7b

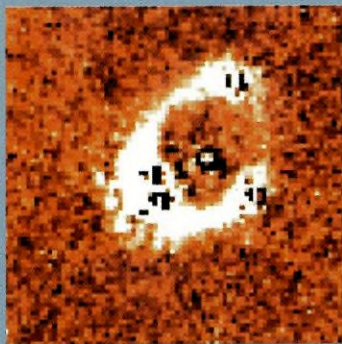
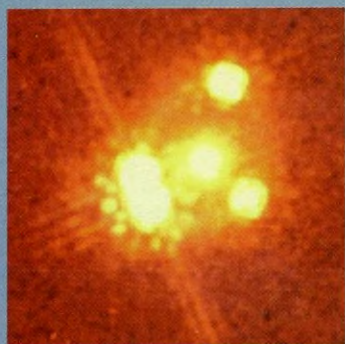


8a, b



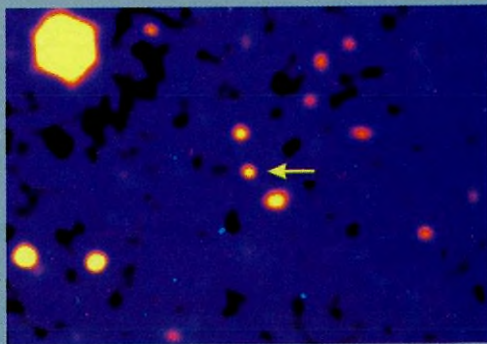
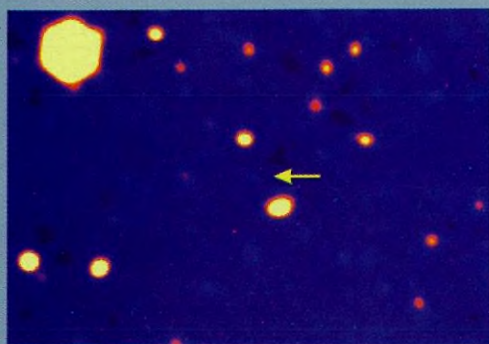


9a, b, c



10a, b

11a, b



Az NGC 6210 jelű **planetáris ködről** készült felvételek egy újabb furcsa alakkal gazdagítják ez eddig is sok meglepetést okozó, bizarr szerkezeteket (*1a, b kép*). Találkoztunk már macskaszemmel, óraíveggel, pillangóval és rájával, de a mostani alakzat valószínűleg elviszi a pálmát, amennyiben egy tengeri kagylót nyelt teknősre emlékezteti a csillagászokat. Az elnevezés persze sokkal könnyebb dolog, mint e furcsa forma kialakulásának magyarázata. A nagyobb kép a teljes ködöt mutatja, míg a kisebbben csak a haldokló csillag körüli bonyolult struktúráját láthatjuk. A teljes képen megfigyelhető külső, négy különböző hosszúságú nyúlvánnyal rendelkező gázanyag a „teknősbéka” (pirosas színben), míg a belső, fényesebb, rendkívül összetett szerkezetű tartományok alkotják a „kagylót”.

Szokatlan vonás a belső gázhéjon ütött sok lyuk, amelyeken a csillag által generált jetek (anyagkilövellések) haldadnak át. A jetek által alkotott oszlopszerű képződmények egymásra közel szimmetrikusan helyezkednek el. A külső gázanyagon végső soron négy jet iránya követhető (6 és 12, illetve 2 és 8 óra irányában), ezek alkotják a teknősbéka „lábait”. Szimmetriaviszonyaik arra utalnak, hogy bipoláris keletkezésűek. A jeteket valószínűleg a később fellépő gyors csillagszél alakította ki, amely a forró központi csillag erőteljes sugárzásából nyeri energiáját. Úgy tűnik, hogy a jetek intenzitása időben nem egyenletes, inkább szakaszosan sodorják ki az anyagot. Ez leginkább a teknősbéka 6 óra irányában álló „végtagján” látható, amely erősen szaggatott bennomást kelt.

Újabb megfigyelések történtek az NGC 7027 jelű ködről is (a korábbi eredményeket lásd Meteor 1996. július-augusztusi számában). Az objektum igen fiatal, fejlődésben lévő planetáris köd, amely egy gyors és rövid (kb. 1000 évig tartó) átmeneti fázis közepén van. A *4a képen* az objektum új infravörös képét, a *4b.-n* pedig ennek és a már korábról ismert optikai képnek a kombinációját láthatjuk.

Az infravörös képet három különböző infravörös hullámhosszon készített felvételtől állították össze. A képen jól láthatjuk a központi csillagot, amelyet a látható fényben igen nehéz megfigyelni. Egy kékes-fehéres színű ovális gáz- és porfelhő övezi, amelyben az ionizált gáz hőmérséklete eléri a néhány tízezer fokot. E forró belső felhőt egy kettős kúppalástot formázó alakzat öleli körül, amely molekuláris hidrogénből áll (a képen vöröses színben). Anyagát a csillag ultraibolya sugárzása halvány fluoreszkálásra készíti, miközben a hidrogénmolekulák atomjaikra bomlanak. A kombinált infravörös és optikai képen már a legkülső, kékes színű, hideg molekuláris gáz- és porfelhő tartományát is megfigyelhetjük, így a színek a csillag által ledobott anyag három fő rétegét jelentik. Az alakzatban megfigyelhető fonálszerű képződmények jelenlétét még nem tudjuk magyarázni.

A *6. kép* a csillagok haldoklásának olyan fontos és rövid szakaszába enged bepillantást, amely a vörös óriás állapot és a planetáris köd kialakulása között zajlanak. Az ilyen alakzatokat ezért protoplanetáris ködöknek nevezzük. Ezek az objektumok mindössze 1000 évig léteznek, ami csillagközi viszonylatokban számolva csak egy szempillantásnyi idő. A HST az átmeneti állapot legelső fázisát kapta lencsevégre.

A protoplanetáris ködök természetének megértéséhez tisztában kell lennünk a csillag haldoklásának folyamatával. Egy csillag akkor kezdi meg élete utolsó szakaszát, amikor magjában elfogyott a magfúzióhoz szükséges anyag, a hidrogén. A csillag ezután vörös óriássá fújódik fel: mérete az eredetinek néhányszor tízszerese lesz, külső burkai pedig lehűlnek. Ez az állapot nem stabil. A belső tartományokban zajló folyamatok hatására a csillag folyamatosan anyagot veszít. Vékony anyagburkokat dobál le magáról, amelyek gáz- és porgubókat formálnak körülötte. A képen jól megfigyelhetők ezek a koncentrikus, gyűrűszerű alakzatok.

A vörös óriás fázis után heves folyamatok indulnak be. A csillag egyre inkább összezsugorodó, fehér törpe állapot felé tartó forró magjának hatására egy gyors csillagszél támad fel. A kb. 1500 km/s-os sebességgel kifelé tartó részecskék valószínűleg átszakítják a gáz- és porhéjakat. Az általuk ütött lyukon aztán szabadon áramolhat kifelé az anyag, utat engedve a köd növekedésének. A „ködpillangó” kibújik a „porgubóból”.

De miért pillangó? Mi magyarázza ezt a formát? A legtöbb protoplanetáris ködnél megfigyelhetjük ezt az elrendeződést, amelynek általánosan elfogadott magyarázata az, hogy a központi csillagot övező, korábban kialakult anyagkorong csak ebben a két irányban enged ki a gyors csillagszelet. Vagyis a csillagszél részecskéi csak a korongra merőlegesen távozhatnak, más irányokban elakadnak és eltérítődnek. A korong közvetlenül nem látható a képeken, de a köd középvonalában megfigyelhető sötét hasadékokból következtethetünk a jelenlétére. Az ilyen korongok kialakulása akkor a legvalószínűbb, ha a központi objektum eredetileg kettős rendszer volt. Egy tömörebb társ csillag részben elszívta a vörös óriás anyagát, amely a keringési síkjukban korong formát öltött.

A ködöket a központi csillag fénye világítja meg, amely a képen sem látható. Néhány száz év múlva a központi csillag erőteljes ultraibolya sugárzással árasztja el környezetét, amely felfűti és fénylésre készíti a körülötte lévő por- és gázanyagot. Attól kezdve teljes pompájában tárul utódaink szeme elé egy új planetáris köd.

Galaxisok, galaxishalmazok

Példátlan részletességű képek készültek a Földhöz legközelebb lévő aktív galaxis, a **Centaurus** A körüli porgyűrűről (5. kép). Az alakzat szinte teljes hosszában elképesztő heveségű, robbanásszerű csillagkeletkezési zajlik.

A földi telepítésű távcsővel készült felvételen (5a) jól látható, hogy a sötét, vastag porsáv az egész galaxist körülöleli. E hatalmas mennyiségű poranyag valószínűleg egy olyan kisebb spirálgalaxis hagyatéka, amelyet nagyobb elliptikus társa, a Centaurus A gravitációs hatásánál fogva magához vonzott és szétszakított. A szétépett spirálgalaxis gáz- és poranyaga felrétegződött az elliptikuséra, az ütközési zónában összesűrűsödött és összenyomódott, viharos csillagkeletkezési folyamatokat indítva el.

Az 5b képen az 5a felvétel bekeretezett területét csodálhatjuk meg. Ezt a felvételt már a HST készítette. Akárcsak a földi viharfelhők, úgy gomolyognak a hideg hidrogéngázzal keveredett csillagközi por sötét tömegei a háttérben izzó, sárgás-narancssárgás színű forró gáz és az idősebb csillagmezők előtt. A porsáv szinte teljes hosszában kékes színű fiatal csillagok halmazai tűndökölnek, a jelenleg is zajló csillagkeletkezés ékes bizonyítékaként.

A porgyűrű kissé meg van billenve: látóirányunkkal kb. 10–20 fokos szöveget zár be. Anyagának még nem volt ideje lapos korongba rendeződni, sok helyen görbült, fodros, hullámos szerkezetű. Mindez arra utal, hogy a két galaxis összeolvadása csak nemrég következett be. A WFPC–2 képeinek felbontása 7 fényév.

Az 5c képen az intenzív fénylő sárgás terület a galaxis magját rejt. Megfigyeléséhez a NICMOS-t használták, amelynek segítségével „átláthatunk” a poranyagon, s egy megdőlt, forró gázokból álló anyagkorongot fedeztünk fel a galaxis centrumában. A jobb oldali képen ez a közepén lévő fényes terület két pirosas nyúlványaként látható. A 130 fényév átmérőjű alakzat egy olyan feltételezett fekete lyuk körül örvénylik, amelynek tömege 1 milliárd naptömeg lehet. A korongból

feltehetően egy másik, kisebb belső korong táplálkozik, amely már közvetlenül a fekete lyuk hatása alatt áll. A fekete lyuk beszívja a korong anyagát, amely a bezuhanás előtt iszonyatosan összesűrűsödik és felforrósodik. Ennek következtében robbanásszerű termonukleáris láncreakciók indulnak el. A felszabaduló energia hatására a behulló anyag egy része visszalövell a világtűr felé, intenzív röntgen- és rádiósugárzást produkáló jeteket (anyagkilövelléseket) alakítva ki. A képen a jetek és a kisebb belső korong nem figyelhető meg.

Azok a galaxisok, amelyeknek a magjában ilyen drámai folyamatok zajlanak, az átlagosnál jóval több energiát sugároznak ki. Ezért nevezzük őket aktív galaxisoknak. Egy-egy ilyen galaxis aktivitását az határozza meg, hogy a központi fekete lyuknak milyen az anyagutánpótlása, vagyis van-e elég por- és gázanyag a körülötte lévő korongban (az ilyen korongokat tömegbefogási korongoknak nevezzük). A korongok anyaga lassan is felgyűlhet, de ha a galaxis egy másik csillagvárost kebelez be, a mag gyorsan aktivizálódhat. A Centaurus A esetében jelenleg ez a helyzet, mivel nemrég vonzott magához és szakított szét egy kisebb spirálgalaxist.

Egy 3700 fényév átmérőjű porkorong övezi a 300 millió naptömegű fekete lyukat az **NGC 7052 jelű elliptikus galaxis** középpontjában (*7a, b kép*). A WFPC-2 felvételeinek felbontása 50 fényév. A korong százszor kisebb tömegű a fekete lyuknál. A közepén látható fényes folt azoknak a csillagoknak az együttes ragyogásától ered, melyeket a fekete lyuk gravitációs vonzása tart fogva. E csillagtömörülés megfigyelése megerősíti azokat az elméleteket, melyek kapcsolatot teremtenek a fekete lyukak tömege és a körülöttük lévő csillagsűrűség mértéke között.

Az NGC 7052 két ellentétes irányú kilövelléssel (jet) rendelkezik, melyek a magból erednek. Az intenzív rádiósugárzást kibocsátó kilövellések erős mágneses térben mozgó nagy energiájú elektronok áramlásai. A galaxis így erős rádióforrásként is ismert.

Az a tény, hogy a kilövellések nem merőlegesek a korong síkjára, azt jelezheti, hogy a korong és a fekete lyuk nem közös eredetűek. Az egyik elmélet szerint a korong anyaga egy szomszédos, kisebb galaxissal való összeütközésből és annak bekebelezéséből származik.

A *8a, b képen* az **MS1054-0321 jelű galaxishalmaz** látható. A tekintélyes méretű és tömegű, távoli objektum galaxisok ezreit és csillagok billióit tartalmazza. Tömege a Tejútrendszerének néhány ezerszerese, távolsága 8 milliárd, átmérője pedig néhány millió fényév.

A bal oldali kép földi telepítésű távcsövek és röntgenműholdak megfigyelései alapján készült hamisszínes kép, amelyen a teljes galaxishalmazt megfigyelhetjük, a környező előtér- és háttérgalaxisokkal egyetemben. A kép közepén megfigyelhető kékes derengés attól az anyagtól származik, amely a galaxisok közötti teret tölti ki. Ez a gáz az optikai tartományban nem érzékelhető, csak erőteljesen röntgensugárzása révén fedtük fel a létezését. Hőmérséklete közel 300 millió K, így az egyik legforróbb galaxishalmazzal van dolgunk.

A bekeretezett mező a WFPC-2 megfigyelési területét jelzi, s ez van kinagyítva a jobb oldali képen, ahol a halmaz szívében lévő galaxisokat vehetjük szemügyre.

A halmaz tömegének egy része sötét anyag formájában van jelen. A fénylő anyag mennyisége ugyanis nem lett volna elegendő ahhoz, hogy fogva tartsa az intergalaktikus térben lévő forró, röntgensugárzó gázanyagot. A sötét anyag nélkül már rég szétoszlott volna a halmaz környezetében. Ezt beszámítva a halmaz becsült tömege 1 trillió naptömeg.

A halmazt a Medium Deep Survey kutatási program keretében fedezték fel, 92 időben és térben is távoli társával együtt (l. még Meteor 1998/11., 12. o.). Ha a méret- és távolságbecslések eredményeit a földi telepítésű távcsövek is megerősítik, akkor jó képet kaphatunk arról, hogyan fejlődtek a ma ismert nagy szerkezetekké a galaxishalmazok, röviddel az Ósrobbanás után. A kutatási eredmények fényében az Univerzum végső sorsába is betekintést nyerhetünk.

A jelenleg elfogadott elméleteknek megfelelően, amennyiben ezek az objektumok valóban távoli és nagy tömegű, jól strukturált és fejlett galaxishalmazok, furcsa módon azt bizonyíthatják, hogy nyitott Világegyetemben élünk. Az elmélet lényege: az Univerzumban lévő anyag nem elegendő mennyiségű ahhoz, hogy gravitációs hatásánál fogva megállíthatná és visszafordíthatná a tágulást. Az Univerzum örökké tágul, miközben egyre ritkább és hidegebb lesz. E modellek szerint az Univerzum galaxishalmazainak legnagyobb része már nagyon régen kialakult, s azóta nem fejlődött jelentősen. A fejlődés lelassulásának oka a kis anyagsűrűség, amely nem teszi lehetővé, hogy a gravitációs hatások még jobban „összetereljék” a galaxisokat.

Infravörös HDF. Az 1995-ben készült Hubble Deep Field (Legmélyebb-ég Objektumok) felvételein az Univerzum minden korábbinál távolabbi képe bontakozott ki számunkra a látható fény tartományban (Meteor 1996. szeptember). A képeken látható legtávolabbi galaxisok az Ósrobbanás után mindössze 1 milliárd évvel léteztek. Vannak-e még távolabbi csillagvárosok, amelyeket már a Hubble sem képes észlelni? Az optikai képek számítógépes felerősítése nem hozott eredményt e tekintetben. Pedig a galaxisok kialakulása és az első csillagképződési folyamatok megértése szempontjából létfontosságú, hogy bepillantsunk az Univerzum „sötét korába”, vagyis az Ósrobbanást követő első évmilliárd történéseibe. Az elméletek szerint ehhez már az infravörös tartományban kell vizsgálódnunk, mert a Világegyetem tágulása miatt fellépő vöröseltolódás a legtávolabbi objektumok fényét már az infravörös hullámhosszakra nyújthatja meg.

A Hubble teljesítményét tehát csak úgy lehetett tovább fokozni, hogy az infravörös kameraként is működő, 1997-ben beszerelt NICMOS nevű műszerrel végeztek észleléseket. Az eredmények összefoglalója a Meteor 1999. januári számában jelent meg (15. oldal), ezért itt csak a kép rövid leírására szorítkozunk.

A **9a képen** több mint 300 spirál-, elliptikus és szabálytalan galaxis figyelhető meg. A fotó 2 millió fényév szélességű területet tár elénk, de ekkora távolságban ez is csak igen keskeny szelete az Univerzumnak: a szögátmérő mindössze 1/100-ad része a teliheld szögátmérőjének.

A **9b, c képek** közepén vörös színű csillagvárosokat vehetünk szemügyre. Színüket vagy a nagymértékű vöröseltolódás okozza (ez esetben ezek a legtávolabbi objektumok), vagy a csillagfényt elvörösítő poranyag hatása (ebben az esetben közelebb is lehetnek). A képek 1998 januárjában készültek. Az expozíciós idő összesen 36 óra volt, ami 30-as határmagnitúdót eredményezett. A hamisszines felvétel színei: kék: 0,45 mikrométeres hullámhossz, zöld: 1,1 mikrométer, vörös: 1,6 mikrométer.

A Hubble Űrtávcső 1998 októberében a déli égbolt legtávolabbi galaxisait is megcélozta. A megfigyelés ismét több mint 12 milliárd fényév hosszú folyosót nyitott előttünk a térben, megduplázva az ismert HDF-objektumok számát. A **Hubble Deep Field South** (HDF-S) elkészítése a klasszikus HDF-hez hasonló technikával történt — igen hosszú expozíció az égbolt egy egészen szűk területéről, a déli égi pólushoz közeli Tucana csillagképben. A megfigyelések 10 napon át zajlottak. Az eredmény a *hátsó külső borítón* látható.

Az adatok elemzése természetesen még hosszú időt vesz igénybe, de első pillanásra is levonható a következtetés, hogy a HDF-S igen hasonlít az eredeti HDF-hez, ami alátámasztja azt a széles körben elfogadott nézetet, mely szerint az Univerzumnak minden irányban nagyjából ugyanolyan képet kell nyújtania. Itt ragadható meg a HDF-S jelentősége: most már két olyan — összehasonlítható — megfigyelésünk van, amelyek segítségével az Univerzum evolúcióját, térben és időben távoli tartományainak szerkezetét és eseményeit tanulmányozhatjuk. Az ideális állapot persze az lenne, ha minden irányban végeznénk hasonló kutatásokat, de ez lehetetlen: a számítások szerint 900 ezer évig tartana az egész égbolt ilyen jellegű feltérképezése. Ehelyett a csillagászoknak néhány szűk mintavételi lehetőséggel kell beérniük, hogy a korai csillagszületési folyamatokra és a galaxisok kialakulására vonatkozó modelleket alkothassanak.

A képen a galaxisok alakja is tisztán kivehető. Uralkodóak a mi Tejútrendszerünkhez hasonló, spirális szerkezetű csillagvárosok. Több különleges formájú, egymással kölcsönhatásban álló objektumot is megfigyelhetünk — az ilyen folyamatok a múltban sokkal gyakoribbak lehettek. Az elliptikus galaxisok vörös színű, kerekded képződmények formájában tűnnek fel. A fényes, pontszerű, diffrakciós tüskékkel rendelkező égitestek nem galaxisok, hanem a látómezőbe tévedt, a Tejútrendszerhez tartozó előtérscillagok. A kép színei a galaxisokban lévő csillagok természetes állapotára utalnak: kék színben tűnnek fel a fiatal, forró csillagokban gazdag csillagvárosok, vörösben pedig az idős csillagokban és/vagy porban gazdag, illetve a nagy távolság miatt „bevörösödött” objektumok.

A 10.a és b képen egy gravitációs-lencsehatás által felerősített és megsokszorozódott távoli kvazár képét láthatjuk. Bal oldalon a **PG 1115+080** jelű kvazár 4 példányban megsokszorozott képe látható (kettő szinte összeolvadva). A kvazár távolsága 8 milliárd fényév, a lencsehatást okozó elliptikus galaxisé (a kép közepén) pedig 3 milliárd fényév. A kép az infravörös tartományban, az 1,6 mikrométeres hullámhosszon készült a HST NICMOS nevű műszerével. A fényes csíkok a műszer műtermékei, nem természetes alakzatok. A jobb oldali képen már eltávolították a fényes forrásokat, így egy közel összefüggő infravörös gyűrű bontakozik ki. A gyűrű a kvazárt befogadó galaxis lencsehatás miatt eltorzított képe. A jelenséget arra használták fel, hogy megmérjék az Univerzum tágulási ütemét, amely az egyik legtöbbit vitatott érték napjaink csillagászatában.

A jelenleg általánosan elfogadott elmélet szerint a Világegyetem tágul. Azt is tudjuk, hogy minél messzebb van egy adott galaxis, annál sebesebben távolodik tőlünk. A jelenséget Hubble-effektusnak (a HST névadója, E. P. Hubble amerikai csillagász után), az 1 megaparszekre (Mpc) jutó sebességnövekedést pedig Hubble-állandónak nevezzük (1 megaparszek = 1 millió parszek; 1 parszek = 3,26 fényév). Mivel a galaxisok távolsága elég nehezen határozható meg, a Hubble-állandó értéke is bizonytalan, a becslült érték jelenleg 50 és 100 km/s/Mpc között van. Nagyon fontos lenne pontosabban meghatározni ezt a számot, mivel az Univerzum tágulási sebessége alapvető következményekkel jár végső sorsára nézve is. Az Arizona Egyetem kutatói most jelentős és meglepő felfedezést tettek ez ügyben.

A jelenlegi mérések azt mutatják, hogy Világegyetemünk egy kissé lassabban tágul, mint azt az eddigi eredményekből számítottuk. Az eltérés nem jelentős, így jó hír, hogy az eddigi kutatások alapvetően megállják a helyüket.

Szintén jó hír, hogy e lassú tágulás elegendő időt hagy a Világegyetem számára ahhoz, hogy legidősebb objektumait is befogadhassa. A legidősebb gömbhalmazok

— korukat más mérésekből elég pontosan ismerjük — egy gyorsabban táguló, mai méretét tehát sokkal rövidebb idő alatt elérő és így fiatalabb Univerzumba egyszerűen „nem férnének be” időben. Lehetetlen viszont, hogy a Világegyetem egyes részei idősebbek, mint maga az egész.

A problémák ott lépnek fel, hogy ezzel a lassú tágulással egy alacsony anyagsűrűség társul. A közelmúlt számos új mérési eredménye szerint (lásd pl. a távoli galaxis-halmazokat a cikkben) az Univerzumot csak igen ritkán tölti ki az anyag. A jelenlegi elméletek szerint ebből egy gyorsabb, de legalábbis egyre gyorsuló tágulásnak kellene következnie, mivel ezek szerint Világegyetemünk nem áll az anyag gravitációs „visszahúzó” hatása alatt. Nagy anyagsűrűség esetében a nagyobb gravitációs hatások fokozatosan lassítanák, egy kritikus sűrűség felett pedig megállítanák és visszafordítanák a tágulást, s idővel minden egy Nagy Reccsben, az Ősrobbanás fordítottjában érne véget. E „vánszorgó” tágulás és az alacsony sűrűség azonban a mai modellekben nem illik össze.

E kínos ellentétet úgy oldhatjuk fel, ha elvetjük azt a modellt, amelyet ma a legtöbb tudós elfogad. Vagyis felvetjük azt a lehetőséget, hogy Világegyetemünk — s vele az anyag, energia, tér és idő — nem egy Nagy Bummal született meg. Tehát nem volt Ősrobbanás, nem volt abszolút kezdet. Egy elsöprő erejű kezdeti „lökés” kiiktatásával ugyanis alacsony sűrűség mellett is elfogadhatjuk világunk öreguras tágulási sebességét.

A jelenlegi mérések azt a jelenséget használták ki, hogy a kvazár gravitációsan torzított, ugyanabból az időpillanattól származó képe különböző utakon, eltérő időpontokban érkezett meg hozzánk. Ennek oka, hogy a lencsehatást előidéző galaxisban nem egyenletes a tömegeloszlás, így a mellette elhaladó fénysugarak különböző mértékben térültek el. Az időkülönbségekből a kutatók minden eddigi módszernél pontosabban kiszámíthatták a kvazár távolságát, az Univerzum tágulási ütemét, és ez az érték megerősíti a lassú tágulás elméletét.

A **GRB 971214 jelű gammakitörésről**, ami az Univerzum legnagyobb robbanása lehetett a Big Bang óta, már volt szó az 1998. szeptemberi számban, így most csak egy képet mutatunk be, a változatosság kedvéért nem az űrtávcsőből. A Keck II óriástávcső (Mauna Kea, Hawaii-szigetek) egy igen halvány galaxist azonosított a gammaforrás helyén (**11a, b kép**). A decemberi fényes terület helyén februárban egy halvány folt azonosítható. A HST megfigyelései is megerősítették, hogy a kitörésnek ez a csillagváros adott otthont. Távolsága a mérések szerint 12 milliárd fényév.

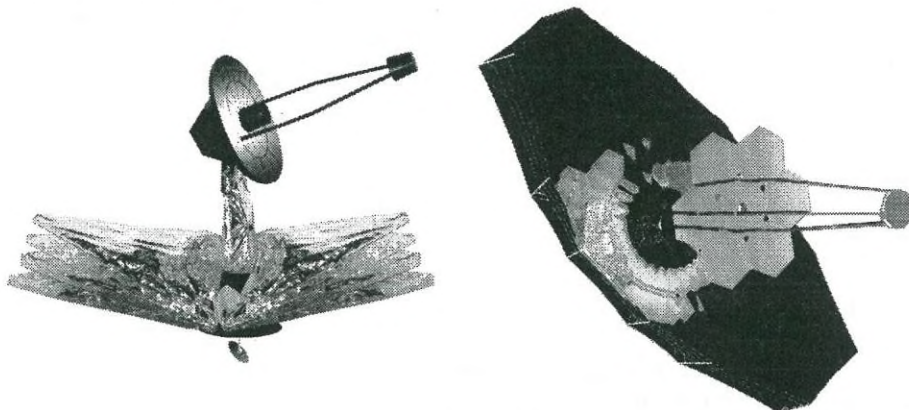
A legfontosabb kép?

Végül következzen a „hab a tortán”. A *hátsó belső borítón* látható felvétel talán az eddigi legfontosabb a HST archívumában. Éppen ezért úgy gondoltuk, hogy a Meteor olvasóinak gyűjteményéből sem hiányozhat. Az 1998. július–augusztusi számban közölt cikk tartalmát itt nem ismételjük meg, csak emlékeztetőül idézzük fel, hogy ez az első olyan felvétel, amelyen egy Naprendszeren kívüli bolygójelölt látható. A **TMR-1C** jelzéssel katalogizált objektum egy fiatal, néhány százézer éves kettőscsillag környezetében bukkant elő, 450 fényévnyi távolságban. A képen a kettőscsillagot (a fényes folt formájában) és az azt övező porkorongot is megfigyelhetjük. A korongból balra lefelé egy csóva nyúlik ki, amelynek a végén látható a bolygójelölt, 200 milliárd km-es távolságban a kettőscsillagtól.

A jövő

1998. június 8-án a NASA hivatalosan is bejelentette, hogy meghosszabbítja a Baltimore városban (USA) lévő Űrtávcső Tudományos Intézet (Space Telescope Science Institute) működését. Az STSCI működteti majd a 2007-ben felbocsátandó Új Generációs Űrtávcsövet (Next Generation Space Telescope), a Hubble Űrtávcső utódját. Az STSCI 1983 óta irányítja a HST-programot. Az intézmény tudományos munkáját és ismeretterjesztő tevékenységét mindenhol a legnagyobb elismerés övezi.

Az NGST a NASA űrprogramjának egyik sarokköve, a jövő évezred elejének egyik legnagyobb vállalkozása. A távcső különösen érzékeny lesz az infravörös tartományban is, mivel tőle várjuk a választ arra az alapvető kérdésre, hogy mikor és hogyan kezdtek formálódni az első csillagok és galaxisok.



Két egzotikusnak tűnő javaslat az NGST-re

A NASA jelenleg a műszer megépítésére beérkezett pályázatokat mérlegeli. A távcső építését 2003-ban szeretnék megkezdeni, pályára állítása pedig 2007-ben történne. Ezután kb. 3 évig a nagy előddel párhuzamosan dolgozna, majd 2010-től, amikor a HST befejezi küldetését, már egyedül az NGST érdemelné ki az Űrtávcső elnevezést. Nem lesz könnyű túlszárnyalnia a HST teljesítményét, de 10 évvel ezelőtt még mi sem gondoltuk, hogy valaha is olyan képeket láthatunk, amelyeket ma megcsodálhatunk.

Az eredeti anyagok elérhetők a Hubble Űrtávcső honlapján (publikus információk):
<http://oposite.stsci.edu/>

Fordították: Simon Tamás és diákjai: Kiss Marcell, Kristóf Júlia, Münz Márton, Radnai Zoltán, Selmeczi Anna (AKG Csillagászati szakkörének tagjai)

A fordítók ezúton is szeretnék megköszönni a lehetőséget, hogy a Meteor hasábjain is publikálhatták anyagaikat.

A HST eredményeinek részletesebb leírásai, további cikkek, képek és animációk mellett az Alternatív Közgazdasági Gimnázium Csillagászat szakkörének honlapján található meg: <http://www.supernova.akg.hu>