

Lehullt a hályog — akcióban a HST

A Hubble Space Telescope-ot (Hubble Űrtávcső) 1990. április 25-én állították pályára. Már az első felvétel lehívásakor kiderült, hogy igen nagy baj van, a kép egyértelműen komoly szférikus aberrációra utaló jeleket mutatott. Ahelyett, hogy egy pontszerű forrás (csillag) képezne 70%-a egytized ívmásodpercen belülre (a fókusz-síkban mérve 20 mikrométer átmérőjű felület) képeződött volna le, ténylegesen a csillag fényének csak a 15%-a jutott ekkora területre. A többi rész egy 600 mikrométer átmérőjű területen volt elkenődve. A hiba olyan jellegzetesen „tankönyvi” volt, hogy habár a teleszkópot a pályára állítás előtt évekig elzárt, steril körülmények között raktározták, mégis sikerült a tükör csiszolásakor elkövetett hibát, illetve annak pontos mértékét rekonstruálni.

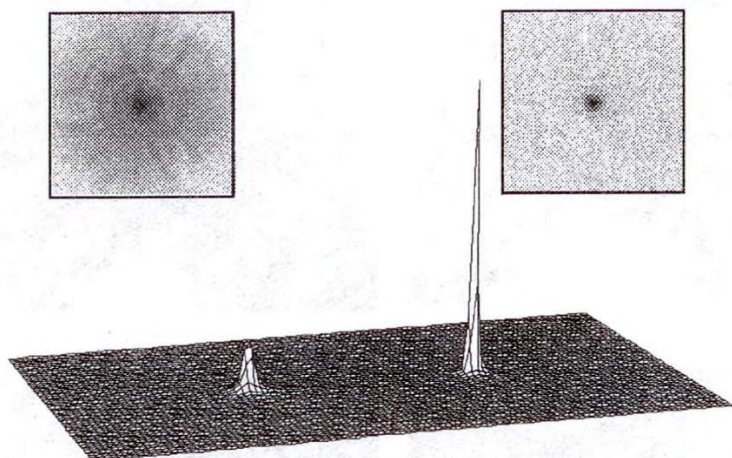
Mint kiderült, a 2,4 méteres tükör csiszolásakor egy optikai mérőeszközt hibásan raktak össze, emiatt az automata berendezés hibás alakúra (de egyébként nagyon szabályosan, és meghatározható módon hibás alakúra) csiszolta a főtükört. Konkrétan a tükör széléről 0,002 mm-rel többet csiszolt le mint kellett volna. Emiatt a tükör széléről jövő fény 38 mm-rel hátrébb fókuszálódik, mint a tükör közepéről jövő, másszóval a tükörnek nem fókuszpontja, hanem egy 38 mm hosszú „fókuszvonala” van. Aki csiszolt már tükört — és sok ilyen amatőr van —, az jól tudja, hogy ilyen hibát „nem illik” elkövetni még kezdő távcsőépítőnek sem. Hogy fordulhatott ez elő a világ legdrágább, legnagyobb ráfordítással készült távcsővével?

Ismét bebizonyosodott, hogy az olcsó megoldás bizony sokszor drágább. A nagy precizitással készült, és mindenféle szennyeződéstől féltve őrzött teleszkóp eredetileg betervezett ellenőrzése több száz millió dollárba került volna. Újabban sajnos Amerikában sem ismeretlen fogalom a költségvetés visszavágása, a korábban már megadott pénz visszavonása. Ugy gondolták, hogy ebben a helyzetben megtakarítják a „fölösleges” ellenőrzésre szánt milliókat. Azt meg is takarították, csak éppen a nagyon sokszorosát kellett utólag kiadni hibajavításra.

A hibajavítás első lépcsőfoka az volt, hogy számítógépeknek „megtanították”, hogyan néz ki egy pontszerű forrás képe a HST hibás tükrével. A számítógép ezáltal képessé vált arra, hogy akár egy bonyolultabb kép minden egyes fényes részletének megfelelő környezetét levonja a képből, és ezáltal jelentős képjavulást érjen el.

Ugyanakkor nyilvánvaló volt, a legjobb számítógép program sem képes arra, hogy olyan halvány részleteket előcsalogasson a képből, amelyek a tükör hibája miatt teljesen szétkenődtek. Mivel a hiba jellegét és mértékét pontosan ismerték, még 1990-ben felmerült a gondolat, hogy egy korrekciós optikával („szemüveggel”) lehetne a hibát a legkönnyebben eltüntetni. A szemüveget COSTAR-nak (Corrective Optics Space Telescope Axial Replacement) nevezték el, és a Ball Aerospace nevű coloradói cég készítette el.

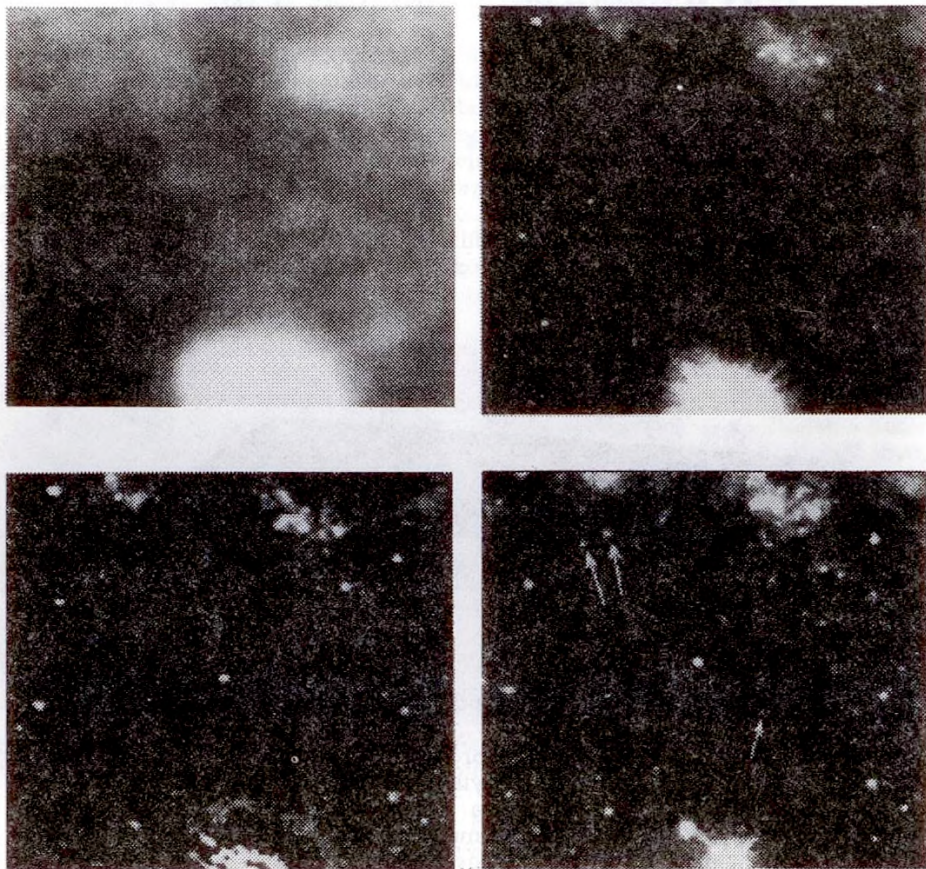
Természetesen nem ez volt az egyetlen javaslat a hiba elhárítására. Komoly formában 28 javítási lehetőséget vizsgáltak me*g. Ezek többségét azért kellett elvetni, mert vagy túl drágák voltak, vagy pedig olyan veszélyeket hordoztak magukban, melyek nem érték meg a kockázatot. Arról is sokat vitatkoztak, hogy visszahozzák-e a HST-t a földre a javításhoz. Ez biztosabb, de lényegesen drágább megoldás lett volna. Végül azonban a kockázatosabb, de olcsóbb, a földközi pályán történő javítás mellett döntöttek.



A két ábra a HST COSTAR előtti és utáni képképzésének összehasonlítása

Mint minden javításnál, itt is kellett kompromisszumokat kötni. A primer fókuszban eredetileg elhelyezett négy műszer egyikét fel kellett áldozni, hogy a helyére kerülhessen a COSTAR. Ez a műszer a Nagysebességű Fotométer (High Speed Photometer) volt. A megmaradó három műszer a következő: Halvány Objektumok Kameratelepe (Faint Object Camera), a Nagyfelbontású Spektrográf (Goddard High Resolution Spectrograph) és a Halvány Objektumok Spektrográfja (Faint Object Spectrograph). Ezek összesen öt fényútjába két-két kis tükröt került. Az első tulajdonképpen gömbtükröt, mely leképezi a főtükör képét egy másik bonyolult, negyedrendű felülettel rendelkező tükröre, mely korrigálja a főtükör által „elrontott” képet, és egyúttal visszajuttatja a fényt a szóban forgó műszerbe. Ezek a tükrök 20 µm átmérőjűek, és 1 nm (!) pontossággal vannak csiszolva. Bármennyire is tökéletesek azonban, minden tükröt veszteséget jelent, így a két tükröt összesen 22% fényvesztést okoz (a feltételezett, eredetileg jól csiszolt tükrű HST-hez képest). Maga a COSTAR berendezés kb. telefonfülke méretű, és a kis tükrök belőle kihajtható karokra vannak erősítve. Ezek mindegyike 1 cm-nyit mozdítható el a pontos finombeállításhoz. (Az 1 cm-en belül 9000 pozíció állítható be).

Mivel a NASA-t elég sok kudarc érte mostanában (a Mars Observer elvesztése, a Galileo ki nem nyílt antennája stb.), ezért nagyon figyeltek a biztonságra. A COSTAR minden egyes tükrőpárja — ha kiderülne, hogy nem javít, hanem esetleg ront a helyzeten — eltávolítható a fényútból, és akkor visszaállna a HST eredeti (javítás előtti) állapota.



A négy ábra az M100 spirálgalaxis középponttól tovább eső vidékének ugyanazon részletét mutatja. A bal felső felvétel a Palomar hegyi 5 m-es teleszkóppal készült. A felbontás valamivel $1''$ alatt van, ami földi körülmények között csak ritka, kivételes esetekben érhető el. A jobb felső kép a régi WFPC I kamerával készült 1993 novemberében, nem sokkal a javítás előtt. A földi felvételhez képest persze már ezen is számos új részlet található. A bal alsó kép ennek az 1993 novemberi felvételnek a számítógépes eljárással feljavított változata. A kép ugyan sokkal élesebb, de újabb részletek nem jönnek elő. A jobb alsó kép már az új WFPC II kamerával készült. A kép azt tanúsítja, hogy a HST decemberi javítása sikeres volt, a felvételnek számos olyan részlete van, ami korábban egyáltalán nem látszott. Ilyenek például a nyíllal jelölt csillagok. Ezek nem biztos, hogy cefeidák, de az M100 galaxis távolságában levő cefeidák várhatólag ilyen fényesek. Kimérve az M100 cefeidáinak a fénygörbéjét, a periódus ismeretében meghatározható abszolút fényességük. Ezt összevetve a megfigyelt fényességgel, megkapjuk az M100 galaxis távolságát. A mérést több, hasonlóan távoli galaxisnál megismételve megkaphatjuk a galaxisok távolsága és távolodási sebessége közötti összefüggést adó Hubble-állandót. Ez utóbbi mutatja az Univerzum tágulásának mértékét.

Egyéb hibák

Habár a HST javításával kapcsolatban a legnagyobb érdeklődést és figyelmet a főtükör hibája és annak javítása keltette, voltak más, sőt komolyabb, az egész vállalkozás létét veszélyeztető hibák is. Szintén hamar, közvetlenül a pályára állítást követően kiderült, hogy baj van a napelemtáblákkal. Amikor ugyanis a HST földköri keringése során a napfényből a Föld árnyékába kerül (és vissza), akkor hirtelen kb. 200 fokalos hőmérsékletingadozást kell elviselnie. Kiderült, hogy ennek hatására a napelemtáblák rezgésbe jönnek, és ez a rezgés átterjed az egész teleszkópra, ami szintén jelentősen rontja a képminőséget.

Ennek megfelelően az 1994 decemberi javítás egyik fő tétele új, rezgésmentes napelemtáblák felszerelése volt. Ez különben tervezett javításnak is nevezhető, ugyanis a 4,5 kW teljesítményű napelemtáblák elfáradnak, teljesítményük folytonosan csökken. Bár az első cserét csak öt év utánra tervezték, a rezgések miatt ezt is kénytelenek voltak előrehozni.

A legveszélyesebb hiba azonban a HST iránystabilitását biztosító kis pörgettyűk sorozatos meghibásodása volt. A HST eredetileg hat ilyen berendezéssel volt ellátva. Az első közülük még 1990 decemberében meghibásodott, a második 1992 júniusában, sőt 1992 novemberétől egy harmadik — habár még nem ment teljesen tönkre — szintén a várható meghibásodás jeleit kezdte mutatni. Mivel az iránytartáshoz legalább három pörgettyű szükséges, ez volt a tulajdonképpeni ok, ami miatt a javítás halaszthatatlanná vált.

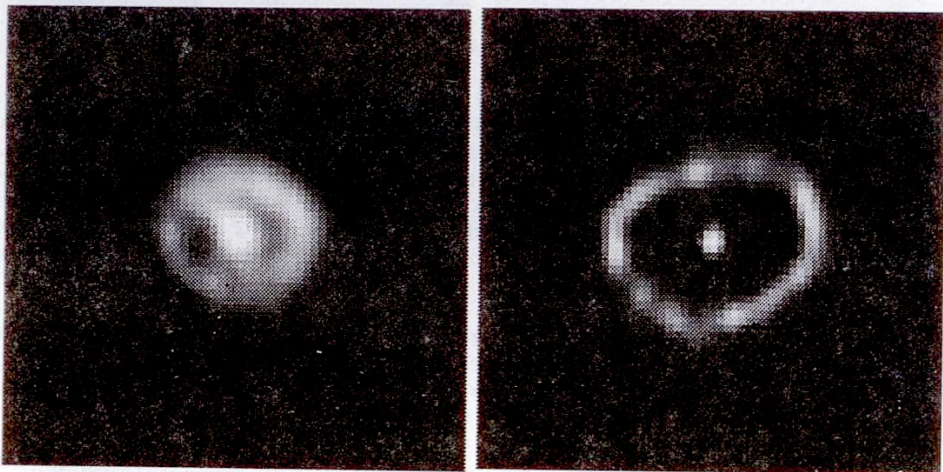
Kisebb, bár nem ennyire meghatározó hiba volt még a fedélzeti számítógép tárolóegységének részleges kiesése. Ennek kijavítására egy koprocesszort vittek föl, ami nemcsak a műveleti sebességet fokozza, de külön memóriaegysége révén a hiányzó tárolókapacitást is pótolja.

Érdekes és igen örömteli dolog, hogy maguk a tudományos mérőműszerek igen jól vizsgáztak. Az egyedüli, kisebb jelentőségű meghibásodás a Nagyfelbontású Spektrográf két független detektorrendszer egyikének áramellátásában jelentkezett. A hibás részt itt egy, a javítás során beépített áramkörrel kerülték meg.

A HST egyik legfontosabb műszere a Nagylátószögű/Bolygó Kamera (Wide Field/Planetary Camera). Decemberben ezt is kicserélték, annak ellenére, hogy nem hibásodott meg. Ez a csere ugyanis kezdettől be volt tervezve. Az első WF/PC kamera eredeti tervei ugyanis még a hetvenes évek technikai szintjén alapultak, és a start időpontjában is eléggé elavultnak számítottak. Jóval a start előtt, még 1985-ben megkezdődött a WF/PC II kamera építése, de 1990-re nem készült el, ezért a cserét az első karbantartás idejére tervezték. Mikor a start után kiderült a főtükör szférikus aberrációja, akkor az addigra már elkészült optikát úgy módosították, hogy a tükrök hibáját kompenzálja. Mivel itt eleve tervbe vették a cserét, ez a műszer egy könnyen hozzáférhető oldalsó rekeszbe került, hogy könnyen cserélhető legyen. (A COSTAR-nak tehát nincs szerepe a WF/PC II képalakításában, de a saját korrigált optika és az új, korszerűbb CCD detektorok révén a WF/PC II-től is jobb képek várhatók, mint elődjétől, a WF/PC I-től). A HST-t eleve modul rendszerűnek tervezték, számítva arra, hogy az esetlegesen meghibásodó egységeket űrbeli körülmények között, űrhajós kesztyűben, kevés szerszám felhasználásával cserélik.

A javítás

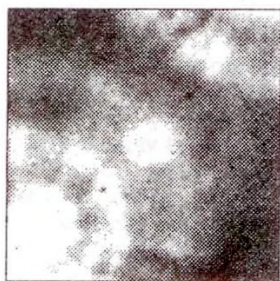
Az Endeavour nevű űrrepülőgép útja a terveknek megfelelően zajlott le. A start után 1993. december 2-án először megközelítették az 580–593 km közötti földtávolságban keringő HST-t. (Előzőleg gondosan lezárták a távcsövet, nehogy az Endeavour hajtóműveiből kijövő gázok esetleg kárt tegyenek valamelyik berendezésben). Az első két nap az előkészületek jegyében telt. Ennek során például csökkentették a kabinban a légnyomást. Erre azért volt szükség, mert az űrruhában kis nyomású tiszta oxigént használnak, és így az átállási időt rövidebbre szabhatták. (Az űrruhában az oxigén nyomása csak egyharmada a földi légnyomásnak, mert különben a fölfúvódott ruha akadályozná a mozgást). Volt idő a manipulátor-kar kipróbálására is.



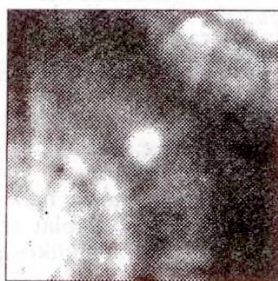
A két felvétel a Nova Cygni 1992-t ábrázolja. (A nóvakitörés termonukleáris robbanás. Akkor következik be, amikor a fehér törpecsillag felszínén a kísérő csillagról átjutó hidrogén tömege eléri a kritikus értéket). A bal oldali felvétel 1993. május 31-én készült, 467 nappal a robbanás után. A hét hónappal későbbi — már a COSTAR közbeiktatásával készült — felvételen (a képminőség javulásán kívül) az is látszik, hogy a ledobódó (nem egészen szabályos) gömbhéj átmérője megnövekedett. Megmérve — a színképvonalak eltolódásából — a tágulási sebességet, és ezt összehasonlítva a látszó átmérő megnövekedésével, kiszámítható a nóva távolsága. Erre 10430 fényév adódott.

A HST-t először december 4-én pillanthatták meg az űrhajósok mintegy 15 km távolságból. Két órával később már csak néhány száz méter volt a távolság. Claude Nicollier, a manipulátorkar svájci specialistája, 9:34 (KözEI)-kor ragadta meg a HST-t, mely fél óra múltán már a „helyén” is volt az űrrepülőgép rakodóterében. Az űrhajósok először szemrevételezték a teleszkópot, de az egyik napelemtábla már távolról felfedezett deformálódásán kívül nem találtak sérülést.

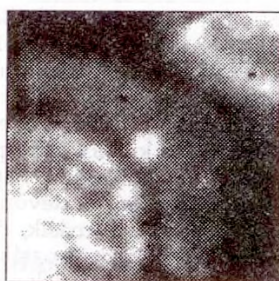
Az első űrsétára december 5-én került sor. Ennek során két hibás pörgettyűt cseréltek ki, valamint azok irányító áramköreit. A munka simán zajlott, problémát csupán az okozott, hogy azt az ajtót, amelyen keresztül a javítást végezték, csak



1990. augusztus



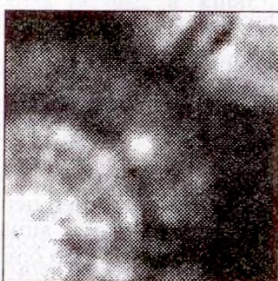
1991. december



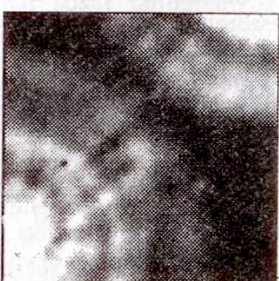
1992. április



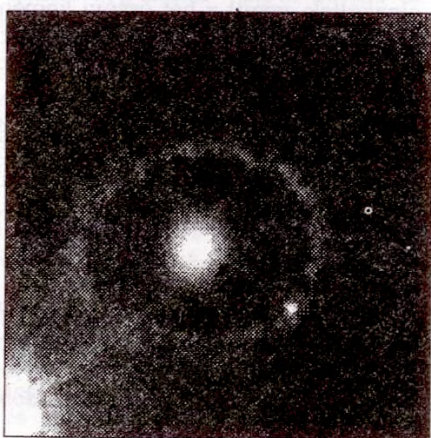
1992. szeptember



1993. május



1993. október



1994. január (a COSTAR-ral készült kép)

A felvételsorozat az 1987 februárjában a Nagy Magellán felhőben történt szupernóvarobbanás maradványainak elhalványulását mutatja 1990 augusztusa és 1994 januárja között. A képek bal alsó és jobb felső sarkaiban levő fényes csillagok azok a — valójában halvány — csillagok, melyek a szupernóvarobbanáskor nem is látszottak, csak a területről korábban készült felvételekről tudtuk, hogy egyáltalán léteznek. A felső hat felvételen látható, hogy a szupernóva lassan teljesen eltűnik e csillagok háttérében. Az alsó (kinagyított) felvételen viszont ismét jól látszik a szupernóva és a körülötte kialakult gyűrű (l. még Meteor csillagászati évkönyv 1992, 113–114 oldal)

többszöri sikertelen próbálkozás után lehetett újra becsukni. Kicséréltek még néhány biztosítékot, majd befejezték a 7 óra 54 perces első úrsétát. A HST áramellátását már korábban átkapcsolták az űrrepülőgépre, és megkezdték a napelemtáblák összerakását. Az elsőnél ez sikerült is, de a másik (a sérült) félúton megakadt. Ekkor úgy döntöttek, hogy nem erőltetik tovább a dolgot, a sérült táblát egyszerűen elengedik az űrbe. Ez a következő napon történt meg, amikor ismét két űrhajós végzett úrsétát. Amikor az elengedett napelemtábla biztonságos távolságra úszott, rövid időre bekapcsolták az Endeavour hajtóműveit, hogy nehogy esetleg később összeütközzenek vele. A másik, összetekert napelemtáblát az űrrepülőgép rakodóterében rögzítették, és visszahozták a Földre. Ezután helyükre tették az új táblákat, majd hat és fél óra után befejezték a második úrsétát is.

A december 7-i úrséta a WF/PC I kamera leszerelésével, és a WF/PC II kamera beszerelésével telt el. Felszereltek még a HST elülső részére két magnetométert.

A legnehezebb feladatot, a COSTAR beszerelését, a december 8-i úrsétán hajtották végre. Mivel ez a tervezettnél is gyorsabban sikerült, maradt még idő a koprocesszor beszerelésére a fedélzeti számítógépre is. Ez az úrséta 6 óra 45 percig tartott.

Az utolsó úrséta december 9-én volt. Először a napelemtáblák mozgató egységét kellett kicserélni. Ez nehéz munka volt, eredetileg nem arra készült, hogy majd űrbeli körülmények között legyen cserélve. Mégis simán ment minden, csupán egy csavar nem akart sehogy sem engedni. Végül több óras kemény fizikai munkával az is megmozdult, és végül is sikerült kicserélni az elektronikus egységet. Ezután a Nagyfelbontású Spektrográf detektorát árammal ellátó kábelt építették be, majd a korábban felszerelt magnetométert kellett hőszigeteléssel ellátni. Ezután minden szerszámot véglegesen elpakoltak, végül a hét órányi kemény munka után visszatértek a fedélzetre. Ekkor a napelemtáblák szétnyitása következett, ami 35 percig tartott. Egy órával ezután már az új táblák szolgáltatták az energiát a HST-nek.

December 10-én elengedték a HST-t, de még két napig a közelében maradtak arra az esetre, ha valami váratlan dolog közbejönne. A teljes sikerrel zárult vállalkozás december 13-án ért véget, amikor az Endeavour baj nélkül landolt a Kennedy Space Center kifutópályáján.

DR. PATKÓS LÁSZLÓ

Címlapunkon

Az η Carinae nevű csillag robbanása 1841-ben volt megfigyelhető. Ekkor az égbolt második legfényesebb csillaga volt. Mára már elhalványodott, szabad szemmel még éppen hogy csak látható. Becsült távolsága 10 ezer fényév. Az — itt nem közölt — korábbi HST felvételekhez képest jól megfigyelhető a ledobódó anyag tágulása

Hátsó borítónkon

Az M100 galaxis magvidékéről készült új HST-felvétel láttán az objektumot jól ismerő amatőrök az első pillanatban talán meglepődnek. Ha esetleg nem találják ismerősnek a képet, az azért van, mert a kép csupán a belső, kb. egytized részét mutatja az M100-nak. Az új képen először váltak láthatóvá az M100 galaxis távolságában levő mintegy 30 fényév méretű részletek