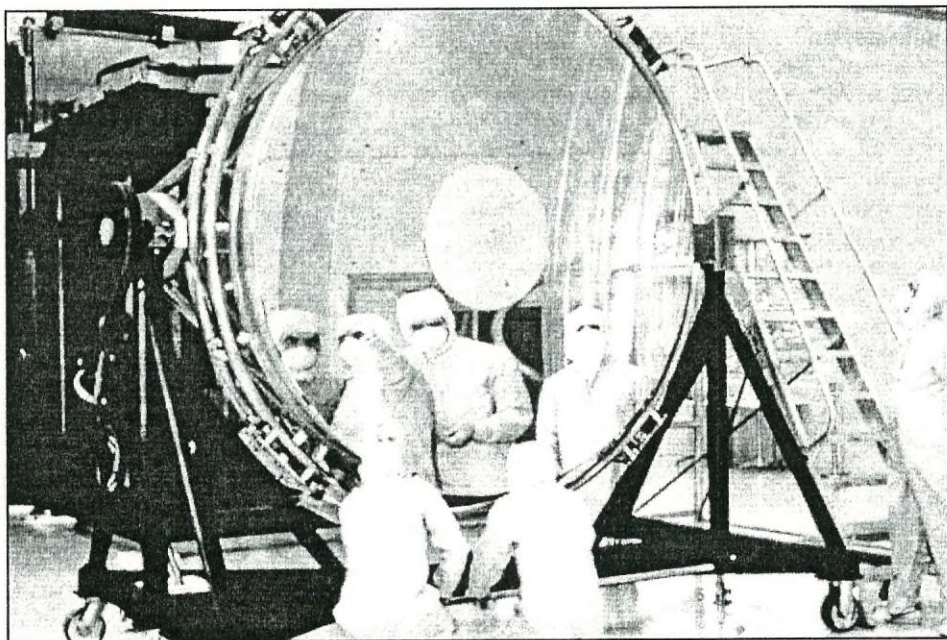
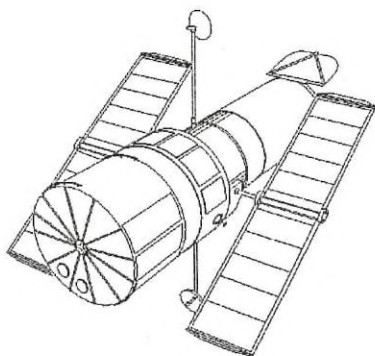


A Hubble Űrtávcső tíz éve

1990. június 27. A Goddard Űrkutatási Központ konferenciatermében feszült hangulat uralkodik. Jó tucatnyi NASA szakértő, mérnök és kutató állja a kíváncsi riporterhad kérdéseit. A NASA épp az imént jelentette be hivatalosan is, hogy a Hubble Űrtávcső (HST) főtükre különböző szférikus leképezési hibákkal terhelt és emiatt a távcső teljesítménye messze alulmarad az előzetes várakozásoknak.

A bejelentés egyrészt megdöbönt és haragos reakciókat váltott ki a szenátusban — az egyik szenátor elfuserált technokaleidoszkópnak nevezte a műszert —, másrészt a távcső visszatérő céltáblájává vált az éjszakai tévés humorhuszároknak. A „Hubble-zűr” a média minden szegletében megjelent, és egyes csillagászok már attól tartottak, hogy a NASA és a kongresszus már azelőtt leállítja az egész programot, hogy az elkezdéné a munkáját.



A HST főtükre — még a földi szerelőcsarnokban

Még a „vaksi” Hubble is képes volt első osztályú tudomány művelésére. Segített pl. megbecsülni a tejútrendszerbeli vörös törpecsillagok hozzájárulását a sötét anyaghoz, valamint új fényt vetett a kvazárok színképének abszorpciós vonalaira. Ez azonban nem az a minőségi tudomány volt, amiért a NASA és az Európai Űrkutatási Ügynök-

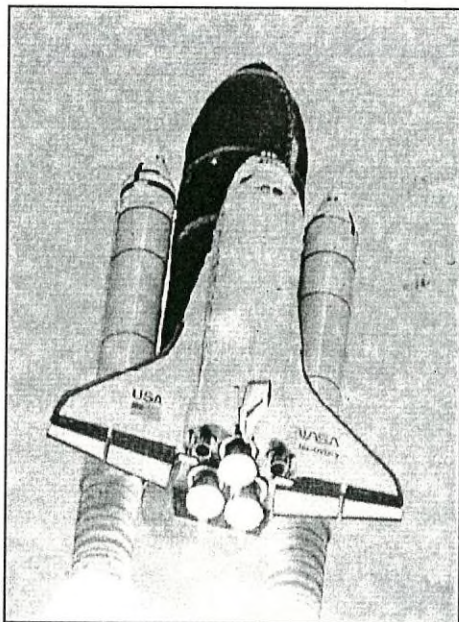
ség (ESA) kifizetett 2 milliárd dollárt. Lényeges előrelépést és általános társadalmi elismerést csak az 1993 decemberében végrehajtott fantasztikus technikai bravúr hozott, amikor az Ūrsikló asztronautái elhelyezték a COSTAR optikai korrekciós elemet, a felújított HST „szemüvegét”.

Az elmúlt 10 évben a HST a tudományos és technikai fejlődés egyik legismertebb jelképévé vált. A tervezett élettartam félidejénél immáron felmérhető, hogy az eredmények mennyire feleltek meg a fellövés előtti várakozásoknak és terveknek. Természetesen igen magas igényű elvárások fogalmazódtak meg az építés alatt, hiszen a HST lett volna az első nagyobb optikai távcső, ami igazi diffrakcióhatárolt leképezést valósított volna meg. Ezért a HST a legjobb földi felvételeknél egy nagyságrendnyivel jobb felbontású képeket ígért. További következmény, hogy mivel egy bontási elemre nagyságrendnyivel kisebb háttérfény esik, az elérhető kontraszt is óriásit javul. Emellett pedig a földi légkör elnyelő rétegei fölött keringve sokkal szélesebb hullámhossz-tartomány vált elérhetővé, mint amit a földfelszíni távcsövek lefednek.

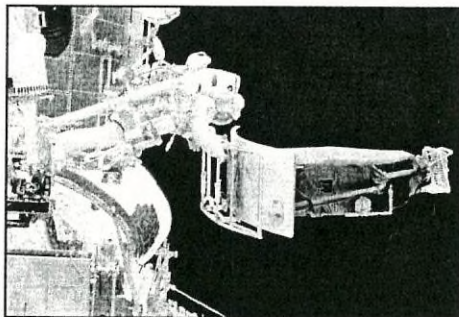
A HST-nek igen hosszú története van, mivel a csillagászok igénye egy űrben keringő óriástávcsőre részletesen először az 1960-as években fogalmazódott meg. A tervezéssel párhuzamosan nőtt az általános érdeklődés, az 1970-es években már a majdan megoldandó tudományos kérdések is körvonalazódtak. Az alábbiakban az elért célok közül válogatunk, természetesen a teljesség igénye nélkül.

A Naprendszer

Már a korai tervezés szakaszában is úgy gondolták, hogy a HST leginkább az extragalaktikus csillagászat terén fog új eredményeket hozni. Mindazonáltal világos volt, hogy a felbontásnak köszönhetően sokkal közelebbi égitestek is olyan hasznos megfigyelésekhez szolgáltathatnak alapot, mint például az óriásbolygók légköri változásainak nyomon követése. 1974-ben, amikor a jövőbeni HST-t szakmai berkekben LST-nek (Large Space Telescope) hívták, és a tervekben 3 m-es űrtávcső szerepelt, egyesek még azon aggódtak, hogy az Uránusz és a Neptunusz felszínén esetleg



A Hubble űrtávcső a Discovery űrrepülőgép fedélzetén indult útnak 1990 áprilisában

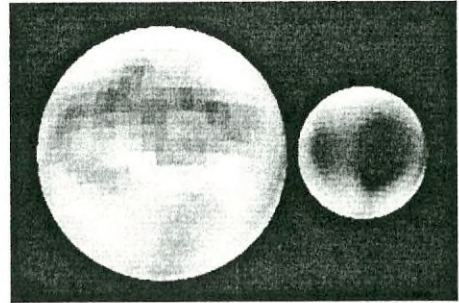


A WFPC2 kamerát az 1993-as nagyjavítás alkalmával szerelték a helyére

semmilyen részletet nem lehet detektálni. Ezzel szemben a HST rendkívül sikeresen feltérképezte a két külső gázbolygó felhőképeinek változásait. 1994 júniusában a HST-vel figyelték meg például, hogy a Neptunusz Voyager 2 által felfedezett nagy sötét foltja eltűnt, majd egy másik sötét folt keletkezett több, magaslégtéri fehér felhővel együtt. Ez utóbbiakat úgy értelmezték, hogy a keletkező sötét folt fölé emelkedő légtéri gázokból metánjégből álló kristályok váltak ki. Az Uránuszon pedig 1994–1998 között végzett megfigyelésekkel mutatták ki, hogy rendszeresen szezonális változások történnek, más óriásbolygókon tapasztalhatóhoz hasonló viharoknak köszönhetően.

A valószínűleg legnagyobb hatású naprendszeri megfigyelésekre 1994 júliusában került sor, amikor a Shoemaker–Levy 9-üstökös becsapódott a Jupiterbe. A HST-vel készültek a legnagyobb felbontású felvételek az eseményekről, amelyeket 320 km-es részletességgel sikerült megörökíteni.

Az LST-vel, ST-vel, majd a HST-vel kapcsolatban gyakran említett probléma volt a más csillagok körül keringő bolygók kimutatása direkt leképezéssel. Habár ez még a HST-nek is kemény dió, esetleges hatásai miatt mégis sokan próbálkoztak egy-egy objektummal. Mindeddig nincs egyértelmű siker, így ez egy még megoldatlan kérdés.



A Pluto és a Charon első térképe a HST felvételei alapján készíthetett el

Csillagkeletkezés és csillagfejlődés

1979-ben, egy a HST tervezett tudományos programjának szentelt konferencián James Gunn (akkor még a Hale Observatóriumok részéről) a következőképpen foglalta össze következtetéseit: a csillagkeletkezés, a csillagközi anyag és a gravitáció hozza létre a galaxisokat, és a különböző komponensek nagyfelbontású vizsgálata lesz az, ahol a HST várhatóan áttörést fog jelenteni a korábbi kutatásokhoz képest. Ez így is lett, ráadásul nemcsak több tucat cikk megjelenéséhez vezettek a csillagkeletkezési régiók látványos felvételei, hanem ezekből került ki jónéhány a legnépszerűbb HST-képek közül (l. pl. a Sas-köd, az M16 a Meteor 1996/1. számának címlapján).

Az űrtávcsővel mutatták ki az Orion-köd közelében található kistömegű csillagokat övező porkorongokat, valamint azt is, hogy a fiatal csillagok körüli protoplanetáris korongok igen gyakoriak. Az újonnan született csillagok akkréciós korongjára merőleges irányú kilövelléseket (jeteket) elméleti jóslatokat követve szintén a HST-vel sikerült egyértelműen leképezni.

A csillagfejlődés másik végén is jelentős eredményeket találunk. Nagyszámú planetáris ködöt rögzítettek a HST kamerái, rendkívül változatos szerkezeteket megörökítve. A megfigyelt szimmetriák izgalmas kihívást jelentettek a kutatóknak, hogy a különböző hidrodinamikai effektusokat figyelembe véve modellezni lehessen a változatos struktúrákat.

Az SN 1987A minden korábinál élesebben rögzült a HST felvételein, amelyeken fényévnél kisebb felbontással sikerült nyomon követni a szupernóva-robbanás tűzgömbjének, valamint a csillagot övező bizarr anyagkorong időfüggő változásait.

Szupermasszív fekete lyukak

Az említett 1979-es konferencián részt vett Wallace Sargent is (Hale Observatóriumok), aki azt emelte ki a megoldandó tudományos kérdések közül, hogy hogyan lehetne áthidalni a megfigyelések és az elmélet között tátongó űrt a Seyfert-galaxisok, kvazárok, blazárok és röntgengalaxisok energiatermelő mechanizmusaival kapcsolatban. Akkoriban a széles körben, de nem általánosan elfogadott kép szerint az aktív galaxismagok megfigyelt roppant teljesítménye mögött egy központi szupermasszív fekete lyuk áll, amely a behulló anyag helyzeti energiáját alakítja át a kisugárzott fény- (rádió-, röntgen- stb.) teljesítménnyé.

A HST tömegesen figyelt meg közeli galaxisokat, így meggyőzően demonstrálta a galaxismagokban található több millió naptömegű fekete lyukak létét. Csak egy példa: az M87 elliptikus galaxis magját közvetlenül övező, 120 fényév átmérőjű tartomány határán az ott található gáz mozgási sebességéből egy 2 milliárd naptömegű fekete lyuk léteére következtettek! Azóta már tucatnyi galaxis magjában sikerült elvégezni hasonló mérést, ezért egyre többen gondolják, hogy a galaxisok többsége rendelkezik nagytömegű centrális objektummal.

Kvazárok

Közvetlenül a kvazárok 1963-as felfedezése után a csillagászkör egy részében már kialakult egy kép, amely szerint a kvazárok távoli galaxisok magjában találhatók. Azonban a nagy távolság és maguk a kvazárok mindent elnyomó fényözöne miatt a feltételezett galaxisokat sokáig nem sikerült detektálni. 1973 elején Jerome Kristian azt állította, hogy a kis vöröseltolódású (azaz közeli) kvazárok körül halvány derengésként látszaniuk kell a galaxisoknak. Néhány esetben találtak is ilyeneket földi felvételeken, de hiányoztak a meggyőző erejű mérések.

A HST Halvány Objektumok Kamerája (Faint Object Camera, FOC) elnevezésű műszerének tervezői a kvazárok galaxisaira is gondoltak a FOC koronográfjának beépítésénél, ami éppen a csillagszerű kvazárok fényének kitakarását szolgálja, hogy a körülöttük levő diffúz fénylést is meg lehessen örökíteni. A kezdeti hibás leképezés, majd annak korrigálása ezt a célt lehetetlenné tette a FOC használatával, mivel erősen lecsökkent a látómezeje, így a kvazárok kutatói a WFPC2-vel (Wide Field and Planetary Camera 2) vadásztak a kvazárok szülőgalaxisaira.

Két kutatócsoport is nagyon hasonló eredményekre jutott. Ezeket a következőképpen lehet összefoglalni:

1. A vizsgált kvazárok többsége nagy luminozitású galaxisok magjában található.
2. A HST-s mérések előtt úgy gondolták, hogy a rádiótartományban is sugárzó kvazárok elliptikus galaxisokban, míg a rádiótartományban csöndes kvazárok spirálgalaxisokban helyezkednek el. Valóban, a legerősebb rádiósugárzó kvazárok tényleg elliptikus galaxisokban vannak, ám találtak néhány rádióban nem sugárzó kvazárt is elliptikus galaxisban.
3. Sok kvazár szülőgalaxisa éppen ütközik egy másikkal, de nem mindegyik.

Ezek az eredmények a kvazárokról alkotott fizikai kép letisztítása helyett sok olyan új kérdést vetettek fel, ami miatt néhányan úgy gondolják, hogy jelenleg az elméletek jelentős lemaradással küzdenek a megfigyelések értelmezése terén.

Hubble Deep Field

1995 decemberében a HST tíz napot töltött el egyetlen 2,7 ívperc átmérőjű tartomány leképezésével, ami a Hubble Deep Field (HDF) néven vonult be a köztudatba. Ez a mező a Göncölszekér rúdja közelében található, és mentes galaxisunk előtér csillagaitól. Így minden korábbinál távolabbi galaxisokat lehetett megörökíteni igen nagy határfényességgel (egészen 30 magnitúdóig!) és nagy szögfelbontással.

A HDF élénk érdeklődést és intenzív vizsgálatokat váltott ki. A csillagászatban szokatlan módon mindenki azonnal hozzáfért a mérésekhez, amelyek bő 1500 galaxist fedtek le a jelenleg belátható Univerzum legtávolabbi határáig. A HDF tulajdonképpen egy pillanatfelvétel az Univerzumból, amikor a mai korának alig feléig jutott el, így a galaxisok korai fejlődéséről kaphattunk részletes képet. A HDF nagy számú földi megfigyelést is indukált, ezért valószínűleg ez a legnagyobb hatású egyedi HST-felvétel, amit valaha is készítettek.

A Hubble-állandó

Ha volt olyan tudományos kérdés, amit már a HST fellövése előtt is hozzá kötött mindenki, akkor az az Univerzum távolságskálája és a Hubble-állandó értéke.

Az 1970-es évek közepén a Kongresszus arra kényszerítette a NASA-t és a csillagászatot, hogy csökkentsék a tervezett űrtávcső költségeit (és méretét), és egy ideig a kivitelező egy 1,8 m-es főtükrű távcsőben gondolkozott. Ez a csillagászok felháborodását váltotta ki. A fő tudományos érvük az volt, hogy a majdani teleszkópnak detektálnia kell a Virgo-halmaz galaxisaiban levő cefeida változócsillagokat, ami a periódus-fényesség reláció alkalmazásához alapvető fontosságú. Hasonló módon 1977-ben, amikor a NASA meghirdette a távcsőidő kihasználására vonatkozó pályázatot, a Hubble-állandó meghatározása volt a legfontosabb tudományos kérdés. Edwin Hubble 1929-ben még 558 km/s/Mpc értékűnek adta meg a később róla elnevezett állandót, ami a következő évtizedekben egyre csökkenő értéket mutatott a tudományos publikációkban. Az 1980-as évekre két tábor alakult ki az ezzel foglalkozó kutatókból, akik rendre az 50, ill. 100 km/s/Mpc értékek mellett álltak ki. Az ellentmondás világos volt és mindenki a HST-től várta a megoldást.

Egy 1984-es döntés értelmében a kérdés több mint 400 óra távcsőidőt kapott az űrben eltöltött első nyolc évre szétosztva. A cél egy olyan Hubble-állandó meghatározása volt, ami már csak 10%-os hibával rendelkezik. Itt is két nagy csoport jutott értékelhető eredményre a kilencvenes évek második felében. A Wendy L. Freedman (Carnegie Observatóriumok) által vezetett csoport szerint $H_0 = 70 \pm 7$ km/s/Mpc. Egy korábbi és csak előzetes eredményük 80 volt, ami sok fejfájást okozott a kozmológusoknak a következményképpen adódó túl fiatal Világegyetem miatt. Az utóbbi három évben Ia-típusú szupernóvák alapján kapott eredmények szerint még az Univerzum esetleg gyorsuló tágulása is bonyolítja a képet, ez az elképzelés azonban még közel sem hódította meg a kozmológus műhelyeket.

Az Allan Sandage (szintén Carnegie Observatóriumok) által vezetett másik nagy csoport némileg kisebb Hubble-állandót kapott: $H_0 = 58 \pm 5$ km/s/Mpc. Szerintük az 1980-as években fennálló ellentmondás enyhült ugyan, de nem oldódott meg. A következő mérföldkő — az 1%-os pontosságú H_0 — valószínűleg már csak az új generációs űrtávcsővel lesz elérhető — ha ez egyáltalán lehetséges.

Pillantás a HST eredményeire

Kutatási terület	A HST előtt (1990 körül)	A HST hozzájárulása (2000 körül)
Az Univerzum tágulása	1990: A kutatócsoportok egy kettes faktor erejéig ellentmondanak, az Univerzum kora 10–20 milliárd év	2000: A 10%-os pontosságú Hubble-állandó 70 km/s/Mpc (12–14 milliárd év), a különböző csoportok között kisebb, de még feloldatlan ellentmondás.
Gravitációs lencsék	1990: Néhány példány ismert.	2000: Nagyszámú kisebb lencsét fedeztek fel. Az Univerzum kora meghatározható a gravitációs lencsék alapján.
Kvazárok	1990: A korai Univerzumban található. Valószínűleg galaxisokban helyezkednek el, energiaforrásuk központi fekete lyuk.	2000: A HST tisztán feloldja több kvazár szülőgalaxisát. Jelentős hányaduk kölcsönhat más galaxisokkal, a behulló anyag táplálhatja a fekete lyukat.
Távoli galaxisok és galaxisfejlődés	1990: Viszonylag keveset tudunk a néhány milliárd fényév-nél távolabbi galaxisokról.	2000: Nagy határfényességű felvételek alapján következtethetünk a galaxisok morfológiai fejlődésére és a csillagkeletkezés ütemének változásaira. Az Ősrobbanás után 1 milliárd évvel galaxisokat látunk.
Szupermasszív fekete lyukak	1990: Meggyőző földi észlelések, de hiányzik a perdöntő felbontás.	2000: A HST-s felmérések alapján sok galaxis magjában találunk sötét, kompakt objektumokat, nagy valószínűséggel szupermasszív fekete lyukakat.
Galaktikus dudorok szerkezete	1990: Csak a Tejútrendszer és néhány közeli galaxis központi dudorját ismerjük.	2000: A HST képein a korai Univerzum elliptikus galaxisaival együtt kialakuló óriási galaktikus dudorokat találunk. A kisebb dudorokat „felfújja” a galaktikus ütközések által kiváltott intenzív csillagkeletkezés.
Protocsillagok környezete	1990: Keveset tudunk. Jetszerű képződmények a földi felvételeken. Infravörösben porkorongok a közeli csillagok körül.	2000: A protoplanetáris korongok igen gyakoriak. A csillagközi korongok meghatározzák a jetek irányát.

Kutatási terület	A HST előtt (1990 körül)	A HST hozzájárulása (2000 körül)
SN 1987A	1990: Az elmúlt 400 év legközelebbi szupernóvája. A déli féltéke összes távcsöve legalább egyszer „lekapja”.	2000: Csak a HST felbontásával lehet nyomon követni a fényévnél kisebb léptékű változásokat a szupernóva-robbanás tűzgömbjében és a csillagköri anyagfelhőben.
Plútó	1990: A Plútó–Charon rendszer kölcsönös fedései alapján elkészül a Plútó felszíni albedotérképe.	2000: A HST igazolja a korai térképet, majd változásokat talál. A képek tisztán felbontják a Plútót és holdját.

A HST hatása

A HST tudományos és műszaki hatásait igen nehéz felmérni — és nemcsak a csillagászati felfedezések sokrétősége miatt. Néhány a figyelembe veendő pontok közül:

1. Már a pályára állítás előtt is a HST volt az egyik legfontosabb hajtóerő a csillagászati CCD technika kifejlesztésében.

2. Az 1993-as nagyjavítás ugrásszerűen megnövelte a HST teljesítményét, ami a NASA társadalmi elismertségére is nagy hatással volt. Egy a Fehér Ház és a kongresszus támogatását nem élvező NASA nélkül az amerikai űrkutatás és csillagászat sokkal nehezebb helyzetben lenne (hogy a Nemzetközi Űrállomás pénznyelő programjait ne is említsük).

3. A HST, látványos felvételeinek köszönhetően, minden korábbi óriástávcsőnél jobban megragadta a széles közönség fantáziáját. Az elmúlt évtizedek egyetlen nagyobb teleszkópja sem rögzült ennyire a köztudatban.

4. A nagyságrendnyivel élesebb képek még az olyan jól ismert objektumokat, mint pl. az Orion-köd is, teljesen új oldalról mutatták meg. Márpedig a tudományos kutatás eredményességének előfeltétele a részletesebb megértés az új gondolatok, új elképzelések felvetésén keresztül. Ehhez adtak inspirációt a HST felvételei.

5. Amikor az 5 m-es Palomar-hegyi távcsövet átadták 1948-ban, sokáig egyeduralkodó volt a megfigyelő csillagászatban. Ma már a csillagászat egészen más kihívásokkal találja szembe magát, amelyek megoldásához egy regiment nagyteljesítményű földi és űrtávcső áll rendelkezésre, különböző hullámhosszokon, különböző felbontással. Egyetlen távcső sem dominálhat ma már, még a HST sem. Azt azonban nyugodtan elmondhatjuk, hogy a fő irányok kijelölésében nagyon fontos szerepe van az űrteleszkópnak (l. a HDF földi újraészleléseit).

A Hubble űrtávcső elérkezett a tervezett élettartamának feléhez. Hogy mit hoz a jövő, erősen függ a társadalmi és politikai támogatottságtól, ami az új generációs űrtávcsövek sorsát (is) meghatározhatja. Sok kérdés megoldásához közelebb kerültünk a HST által, de legalább annyi új, izgalmas probléma fel is vetődött. Ez azonban egyáltalán nem baj, hiszen ebben rejlik minden tudomány, köztük a csillagászat szépsége.

Robert W. Smith: Ten Years and Counting: HST in Orbit (Sky and Telescope 2000/4) cikkét fordította: Kiss László