

## Nyugdíjba vonul a Spitzer-űrteleszkóp

Az aktív működési időt tekintve az infravörös űreszközök között messze rekordtartónak számít, a NASA négy nagy obszervatóriuma közé tartozó Spitzer infravörös űrtávcső – hűtőfolyadék elfogyása után egy évtizeddel, többszöri hosszabbítás után, de még mindig kifogástalan műszaki állapotban – hivatalosan 2020 január végén fejezi be küldetését. Az alábbiakban röviden összefoglaljuk az űrteleszkóp tudományos eredményekben rendkívül gazdag „pályafutását”, külön hangsúlyt helyezve az örömtelen nagy számú, magyar kötődéssel bíró felfedezésre.

### (Infravörös) távcsöveket az űrbe!

Földünk légköre – közismert módon – a teljes elektromágneses spektrum csak néhány sávjában engedi át a világűrűről érkező sugárzást (a látható fényben, a mikrohullámok és a rövid hullámhosszú rádiótartomány nagy részében, illetve néhány keskeny, közeli és közepes infravörös sávban). Az űrkorszak beköszöntével a csillagászok felismerték a lehetőséget, hogy a légkörön túlra juttatott eszközökkel az addig elérhetetlennek gondolt hullámhossz-tartományokban is esély nyílhat a Világegyetem vizsgálatára. Az első, csillagászati célú eszközöket már az 1960-as években Föld körüli pályára állították, megnyitva ezzel az űrcsillagászat korszakát.

Az infravörös (IR) tartományban végezhető megfigyelések lehetősége sok szempontból élénk érdeklődést váltott ki a csillagászok körében. Míg a csillagok energiájuk nagy részét általában a látható tartományban sugározzák ki, a jóval alacsonyabb (néhány száz, vagy akár csak néhány tíz K) hőmérsékletű égitestek és közegek (pl. bolygók, kisbolygók, csillagközi gáz- és porfelhők) hőmérsékleti sugárzása alapvetően a hosszabb hullámhosszú régióra esik; emellett infravörös vonalemissziókként figyelhetők



A Spitzer-űrteleszkóp fantáziaképe (NASA/JPL-Caltech)

meg például a molekulák forgási és rezgési átmenetei. Fontos előny a látható tartományhoz képest, hogy a csillagközi extinkció jóval kisebb az infravörös hullámhosszakon; így a közeli IR-tartományban (kb. 0,7–5 mikron), ahol még nem a hideg por saját sugárzását látjuk, lehetőségünk van „átnézni” a porral övezett régiókon (így pl. a csillagkeletkezési területek porburkain vagy Galaxisunk por-sávjain), bepillantást nyerve azok belsejébe, illetve azok mögé. (Természetesen az IR-tartományban való vizsgálódásoknak nehezítő tényezői is vannak: egyrészt a közép- és távoli IR-tartományban nagyon jelentőssé válik a naprendszerbeli poranyag mint égi háttérsugárzás, másrészt a hosszabb hullámhosszak felé haladva egyre csökken a felbontóképesség.)

A kezdeti, ballonos ill. repülőgépes megfigyelőeszközöket követően az első, jelentősebb infravörös űrtávcső az IRAS (Infrared Astronomical Satellite, 1983) volt, amit 1995-ben a mindössze egy hónapig üzemelő, japán IRTS (Infrared Telescope in Space), illetve az Európai Űrügynökség (ESA) 2,5 évig szolgálatot teljesítő, ISO (Infrared Space Observatory) nevű távcsöve követte. Ezek mellett a Hubble-űrteleszkópon is helyet kapott egy, a közeli IR-tartományban érzékeny kamera, továbbá jó néhány föld-

felszíni teleszkópot is részben vagy teljesen a légkörön átjutó IR-sugárzás detektálására dedikáltak. Az első három-négy évtized tapasztalatai és biztató eredményei után került sor 2003-ban a NASA eddigi utolsó nagy űrobzervatóriuma (a korábbiak: Hubble-űrteleszkóp, Compton gamma-űrteleszkóp, Chandra röntgen-űrteleszkóp), a Spitzer infravörös-űrteleszkóp felbocsátására.

### A Spitzer-űrteleszkóp

Az eredetileg SIRT (Space Infrared Telescope Facility) néven futó misszió végleges nevét Lyman Spitzer (1914–1997) amerikai fizikus-csillagászlól, a nagy teljesítményű optikai távcsövek űrbe juttatásának egyik vezető kezdeményezőjéről kapta. A 85 cm átmérőjű berillium főtükörrel rendelkező űrteleszkópot 2003 augusztusában egy Delta II hordozórakétával állították pályára (a korábbi három NASA-űrobzervatóriumot az űrsiklók segítségével juttatták a világűrbe). A Spitzer egy speciális, ún. Föld-követő pályán kering a Nap körül (így kevésbé zavaró a Föld infravörös „hője”, valamint a célpontokra állás is egyszerűbbé válik). Az űrtávcső három műszere a négycsatornás (3,6, 4,5, 5,8 és 8,0 mikron) képalkotó Infrared Array Camera (IRAC), a három csatornán (24, 70 és 160 mikron) képalkotó, ill. kis felbontású spektrofotométerként is használható Multiband Imaging Photometer for Spitzer (MIPS), valamint az 5,2–38 mikron közötti spektrumokat, plusz 13–26 mikron között széles sávú fotometriai méréseket is rögzíteni képes Infrared Spectrograph (IRS).

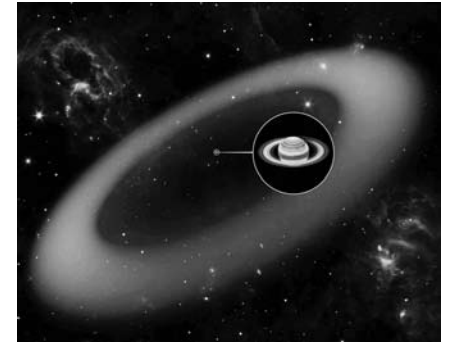
A detektorok teljes értékű üzemeléshez azonban – folyékony hélium segítségével – 5,5 K-es hőmérsékleten kellett tartani a berendezéseket; ez az állapot 2009 májusáig volt fenntartható. A hűtőanyag előre kalkulált elpárolgása óta a Spitzer az ún. Warm Mission fázisban üzemel – ebben az állapotban csak a két legrövidebb hullámhosszú IRAC-csatornán lehet méréseket végezni.

A Spitzer-űrteleszkóp a csökkentett üzemmódú időszakban is rendkívül értékes megfigyeléseket szolgáltat(ott) a kutatók számá-

ra, ezért a küldetés az eredeti tervekhez képest többször is meghosszabbították. A költségvetési megszorítások és más projektek (elsősorban a James Webb űrtávcső) kiadásainak megnövekedése miatt a NASA – egyéb, potenciális finanszírozó szervezet hiányában – 2020 január végén hivatalosan is lezárja a programot. Az alábbiakban a Spitzer bő másfél évtizednyi adatregisztrálásának eredményeiből válogatunk – átfogó, de közel sem mindenre kiterjedő módon.

### Égitestek vizsgálata a Naprendszerben

Bár az „űrteleszkóp” szót először hallva az lehet az elképzelésünk, hogy egy ilyen eszközzel csak az emberi ésszel felfoghatatlanul távoli világok titkait kutatják a csillagászok, ez nincs így. Akárcsak más űreszközök (pl. a méltán híres Hubble-űrteleszkóp), úgy a Spitzer látóterébe is sokszor kerültek szűkebb kozmikus környezetünkben lévő égitestek – s ezekről jellemző módon számos, korábban nem ismert érdekesség derült ki.



Fantáziakép a Szaturnusz óriási, a bolygótól kb. 6–12 millió km közötti sávban húzódó, a Spitzer felvételei előtt nem ismert porgyűrűjéről; a kép közepén kinagyítva a planetának a Keck-távcsővel készített, közeli infravörös képe látható (NASA/JPL-Caltech/R. Hurt (SSC))

A Spitzerrel dolgozó kutatók az egyik leg-híresebb felfedezést sokak kedvenc bolygója, a Szaturnusz kapcsán tették 2009-ben – egy óriási, a bolygó körül 6–12 millió km közötti térrészben húzódó porgyűrűt sikerült kimutatniuk. Az eddig ismeretlen gyűrű anyaga minden bizonnyal a benne keringő Phoebe

holdból ered, s egyúttal magyarázatul szolgálhat egy másik hold, a „kétarcú” (egyik felén sötét, másik felén világos) Iapetus régi rejtélyére: a gyűrű sötét, poros anyagának egy része hullhat a forgásával ellentétes irányban keringő kísérő felszínére.

A Spitzer emellett lehetővé tette a látható tartományban csak nehezen vizsgálható (sötét felszínű, hideg, kis méretű) aszteroidák alakjának és szerkezetének pontosabb meghatározását. Ezen vizsgálatok során nyert bizonyítást többek között az az elképzelés, hogy a kisbolygók tömör sziklák helyett inkább szivacosabb, „kórákás-szerkezetű” testek; de így sikerült például megállapítani – Kiss Csaba (MTA CSFK) és más magyar kutatók vezetésével, a Spitzer mellett a Kepler- és Herschel-űrtávcsövek adatai révén – a Neptunusz Nereida nevű holdjának közelítő alakját és felszíni hőmérséklet-eloszlását.

**Távoli csillag- és bolygórendszerek**

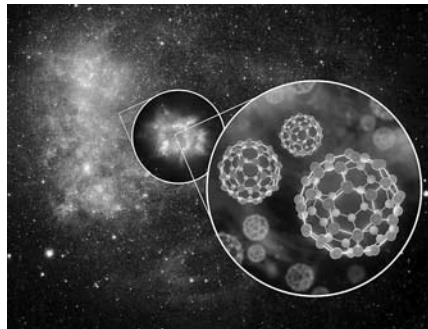
A Spitzer-űrtávcső segítségével elért eredmények jelentős részben fiatal, születőben lévő csillag- és bolygórendszerekhez, valamint távoli csillagok bolygóhoz kötődnek. Előbbiek esetében főként a fiatal csillagok körüli korongok termális sugárzásának elemzése révén lehet szerkezetükre és dinamikájukra, ez alapján pedig a bennük zajló folyamatokra (pl. bolygókeletkezés, bolygócsírák ütközése, csillag-korong kölcsönhatások) következtetni. (Ebben a témakörben számos rangos szakcikk közreműködői,

illetve vezető szerzői honfitársaink közül pl. Balog Zoltán (SZTE, majd University of Arizona / MPIA Heidelberg), Ábrahám Péter, Kóspál Ágnes, Kun Mária, Moór Attila (mind MTA CSFK), Gáspár András (SZTE, majd University of Arizona), Juhász Attila (MPIA Heidelberg / Leiden University)).

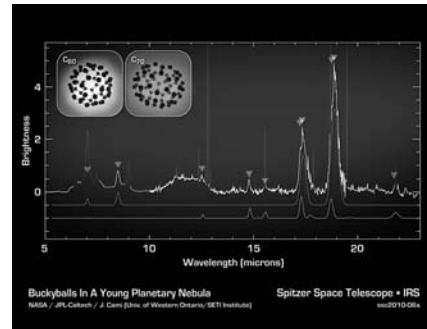
A már „kiforrott” állapotban létező bolygórendszerek esetén az infravörös tartományban a csillag fénye jóval kevésbé „nyomja el” a bolygó(k) hősugárzását, így lehetőség van tanulmányozásukra akár közvetlenül, akár másodlagos fedési fénygörbék segítségével (vagyis a fedést mutató rendszer infravörös összfényességének periodikus csökkenése azokban a fázisokban, amikor a bolygó tőlünk nézve a csillag mögött halad át). Ilyen jellegű megfigyelések révén számos bolygó(jelölt) paramétereit (csillagtól való távolság, méret, hőmérséklet) lehetett pontosítani; Spitzer-adatok alapján sikerült többek között elkészíteni az első „exobolygó-hőterképet”, vagy pl. közelítőleg meghatározni a nemrégiben azonosított TRAPPIST-1 rendszerben lévő planéták sűrűségét (így közvetve lehetséges víztartalmukat).

**Kémiai analízis: vízmolekulától a fullerénig**

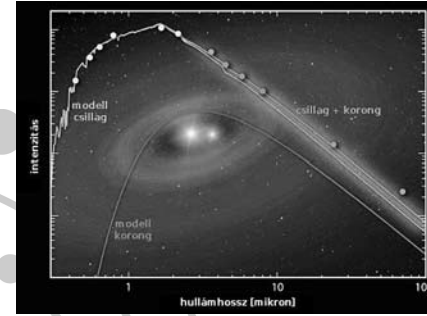
Külön fejezetet érdemelnek a Spitzerhez kapcsolható spektroszkópiai eredmények. Ahogy fentebb említettük, a közeli és közép-IR tartomány kiválóan alkalmas molekulák energia-átmeneteinek megfigyelésére – a Spitzerrel pedig több témában is nagyon



C<sub>60</sub> és C<sub>70</sub> fullerénmolekulák rezgési átmeneteinek nyomai egy fiatal planetáris kód infravörös spektrumában

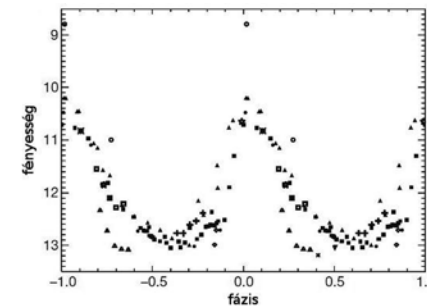


Buckyballs In A Young Planetary Nebula Spitzer Space Telescope + IRS  
NASA / JPL-Caltech / J. Carr (Univ. of Western Ontario, SETI Institute) 20101004



Törmelékcorongra és bolygóütközésekre utaló infravörös többlet szoros kettőscsillagok spektrális energiaeloszlás-görbéin (NASA/JPL-Caltech/M. Matanga, Harvard-Smithsonian Cfa)

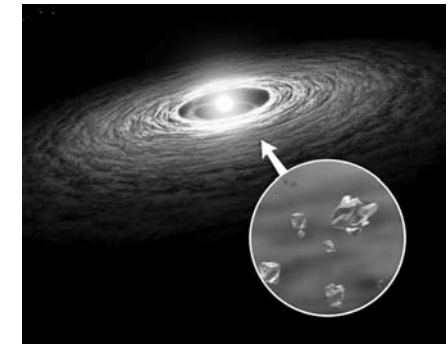
fontos előrelépést lehetett tenni e téren. Maradva az előző fejezetben taglalt témánál: több exobolygó légkörében sikerült például vízgőz jelenlétét kimutatni (sajnos egyelőre nem Föld-szerű bolygóknál, jóval inkább a csillagukhoz rendkívül közel keringő, ún. „forró jupiterek” esetén), míg magyar kutatók vezetésével két, nagy visszhangot kiváltó tanulmány is született fiatal csillagok körüli korongokban lévő kristályos anyagok jelenlétéről és keletkezési folyamatairól (Apai Dániel (University of Arizona)



Az L54361 protocsillag 25,34 napos periódussal feltekert infravörös fénygörbéje. Az eltérő szimbólumokkal jelölt pontok különböző műszerekkel (Spitzer IRAC és MIPS, HST WFC3) és infravörös hullámhosszakon – 1,6, 3,6 és 24 mikron – végzett mérések jelölnek. A 24 mikronos és az 1,6 mikronos mérések adatai +7,3 és -5,3 magnitúdóval el vannak tolvá, hogy a többi méréssel azonos skálán lehessen ábrázolni őket (Muzerolle, ... Balog Z. és munkatársai, 2013, Nature)

és munkatársai cikke 2005-ben a Science, Ábrahám Péter és munkatársaié 2009-ben a Nature folyóiratban kapott helyet).

A molekulákkal kapcsolatos, talán legmegdöbbentőbb felfedezése azonban az volt, hogy a csillagközi térben, illetve planetáris ködökben sikerült kimutatni fullerénmolekulák (a Földön csak mesterségesen előállítható, hatvan, vagy akár még több atomból álló „szénlabdák”) színképi nyomait.



Fantáziarajz az EX Lupi körüli por- és gázkorongról (NASA/JPL – Caltech). A központi fiatal csillagra anyag hullik be a korongból és a felszabaduló energia felfűti a csillagot, illetve annak közvetlen környezetét. Ahol a korongban a hőmérséklet 900 °C fölé emelkedik, a korong felszínén található amorf szerkezetű porszemcsék átkristályosodnak (Ábrahám P. és munkatársai 2009, Nature)

**A Tejútrendszer és más galaxisok**

A Spitzerrel végzett vizsgálatok a Tejútrendszer, valamint más galaxisok feltérképezésében is úttörő jelentőségűek. Saját Galaxisunk síkjában vizuális tartományban gyakorlatilag nem lehet keresztüllátni a vastag porsávokon, de a közeli és közép-IR tartományban ez jóval hatékonyabban működik – ez alapján sikerült például sokkal alaposabban megismerni a Tejútrendszer spirálszerkezetét. A GLIMPSE nevű, nagyszabású program keretében az IRAC kamera négy szűrőjével készített, összesen csaknem félmillió (!) felvétel segítségével immár 360 fokok kép áll rendelkezésre a galaktikus síkról, olyan részleteket feltárva, amelyeket korábban soha nem láttunk (a végső mozaikképek elérhetők a projekt weboldalán is).

Szintén a Spitzer segítségével sikerült minden eddigénél távolabbi galaxisokat és galaxishalmazokat azonosítani, valamint kimutatni, hogy az Univerzum első galaxisai sok mindenben különbözhetnek a később keletkezéskor: egy részük porban nagyon gazdag, sokuk pedig elképesztően nagy mennyiségben bocsát ki ionizáló sugárzást. Ugyanakkor infravörösben néhány jól ismert, közeli galaxis is egész más arcát mutatja, mint látható fényben.

### Fekete lyukak, szupernóvák és kozmológia

Jórészt az űrtávcsöveknek hála, bizonyos objektumok és események még több százmillió (vagy akár több milliárd) fényévre lévő galaxisokban is megfigyelhetők. Ilyenek például a csillagvárosok centrumaiban lévő, gigantikus fekete lyukak; közvetlenül persze nem ezeket, hanem a környezetükben zajló anyagáramlási és sugárzási folyamatok jeleit lehet észlelni. A Spitzer ezen a téren is tudott új információkat szolgáltatni, például arról, hogy a fiatal aktív galaxismagok környezete szinte pormentes volt, ellentétben az Univerzum közelebbi szegleteiben megfigyelhetőkével.

Az infravörös tartomány nagyon fontos terep a nagy tömegű, illetve kettős rendszerekben lévő csillagok életét lezáró szupernóva-robbanások késői nyomon követéséhez. Míg látható fényben a táguló és hűlő maradványok a robbanást követően néhány hónap alatt elhalványulnak, infravörösben még évekig, vagy akár évtizedekig is követhetők; emellett az IR tartományban speciális asztrofizikai folyamatok – pl. porképződés, lökéshullámok kölcsönhatása a csillagkörülállékkal – is vizsgálhatók (a témában többek között e sorok írójának vezetésével, szeptemberi és külföldi kutatók közreműködésével megvalósult szakcikkek is születtek).

A csillagászat egyik legrégebbi és legszettebb problémájához, a kozmológiai távolságméréshez ugyancsak fontos hozzájárulást adtak a Spitzer adatai: ezek segítségével nagy mértékben csökkenteni lehetett a Tejútrendszerben, illetve a Nagy Magellán-

felhőben lévő cefeida változócsillagok periódus-fényesség relációjának szórását, ami az ún. kozmikus távolságlétra egyik legfontosabb módszerének használatában jelentett komoly előrelépést.

### A Spitzer-űrtávcső hagyatéka

Bár a Spitzer-űrtávcső küldetése a végéhez közeledik, a működése során rögzített adatok feldolgozása várhatóan még évekig (vagy akár évtizedekig) ad munkát a csillagászoknak. A „Spitzer-örökség” (Spitzer Heritage) program keretében számos közeli galaxisról készült felvétel, amelyeket más hullámhossz-tartományokban készített űrtávcsöves képekkel – sőt, egyes esetekben amatőr csillagászok nagyfelbontású fotóival – kombinálva esztétikai szempontból is kiemelkedő hatású alkotások maradtak az utókorra. A Spitzer-űrtávcső archívumában a másfél évtized alatt készült felvételek nagy része feldolgozott FITS-kép formájában is elérhető. Akár saját galaxisfotóinkat is megpróbálhatjuk kombinálni a különböző csatornákon készült infravörös képekkel, míg a digitális fotometriában jártasak – a program tudományos honlapján leírtakat követve – akár infravörös fényességmérés is végezhetnek egy-egy kiválasztott objektumra. A hatalmas mennyiségű, éppen ezért nagyon alacsony kiértékelési arányú adatot figyelembe véve egy-egy ilyen próbálkozás akár új tudományos eredményekhez is vezethet!

Ami a tudományos jövőképet illeti, a Spitzer-űrtávcső alapján szerzett tapasztalatok és eredmények kellő motivációt és felkészültséget biztosítanak a szakembereknek a következő évek, évtizedek tervezett infravörös űrtávcső-misszióikhoz (James Webb Űrtávcső, WFIRST, LUVOIR). Ezek az űreszközök a kutatók reményei szerint fontos válaszokat eredményeznek majd – többek között – az élet kialakulása, az exobolygók tulajdonságai és lakhatósági viszonyai, valamint a Világegyetem kialakulása és fejlődése kapcsán – és persze minden bizonyosnál további kérdéseket is.

Szalai Tamás

## De miért nem viszik a csillagászok egyszerűen az űrbe a távcsöveiket?

A kutatók egyre inkább kongatják a vészharangot, hogy a tervezett nagy műholdfloták, mint a Starlink, tönkreteszik az éjszakai égboltot. A kérdést azonban nem lehet azzal elintézni, hogy használjunk űrtávcsöveket, a probléma ugyanis összetettebb.

A csillagászat a történelem nagy részében azt jelentette, hogy az emberek felnéztek éjszaka a csillagos égboltra, és próbálták megfejteni, mik azok a fura kis fénypontok odafent. Ehhez nem is volt szükségük másra, mint türelemre, kitartásra és tiszta, sötét égboltra. A modern kor viszont nem csak a távcsöveket, kamerákat, számítógépeket hozta el, hanem a fényszennyezés különböző formáit is. A földfelszíni fajta, a települések karácsonyfaként történő kivilágítása elől még valamennyire el lehet menekülni – igaz, a városi ember már így is inkább ismeri a Tejút látványát fényképről, mint saját tapasztalatból. De a felülről jövő fényszennyezés, repülők és műholdak formájában, még a Mauna Kea vagy az Atacama-sivatag tetején is megtalál bárkit.

A műholdak jelenlegi sűrűsége mellett ez azt jelenti, hogy időről időre rákerül egy ronda, fényes csík azokra a digitális képekre, amiket aztán naptárra, poszterre nyomtatunk, mert szépek. Vagy amiken képesek vagyunk mondjuk más csillagok körül keringő bolygókat közvetlenül megörökíteni.

Most körülbelül 4–5000 műhold kering felettünk. Vannak már most is ezek között nagyobb csoportok: amerikai GPS műholdakból 74 van fent, az Iridium két típusa összesen 170-et ad, az apró Dove földmegfigyelő cubesatokból pedig 300 ment fel eddig, de ezek le is potyognak néhány év után. Ha viszont ténylegesen beindulnak a nagy műhold-konstellációk, ez a szám nagyságrendekkel fog megugrani. A SpaceX a kezdeti 12 000 műhold mellett már további 30 000-ról is beszél. A OneWeb 2000-ről.

Az Amazon 3236-ról. Ennyi műhold már önmagára is veszélyes: az Amazon saját becslése szerint ha tízből egy műholdjuk meghibásodik, 12 százalék az esélye, hogy az egyik irányíthatatlan példány nekiütözik majd valaminek. De ez egy másik cikk témája lesz.

Ez a három cég tehát megtízszerezné a felettünk keringő műholdak számát, ami egy-két bosszantó csík helyett telepítőzöngé a csillagászati megfigyeléseket zavaró jelekké. Ez nagyon megnehezítené, vagy akár ellehetetlenítené olyan kutatások végzését, mint például a Földre veszélyes kisbolygók keresése és nyomon követése, hiszen ott ugyanúgy kis mozgó bigyókat keresünk a képeken, csak lassabbakat és sokkal halványabbakat. Egy amatőr csillagász, akit a képek szépsége érdekel, beérheti annyival, hogy több összecsiszkított egyedi képet dob ki nagy fotosoppal meg: a tudományos méréseknél viszont, ahol a távcsőidőt akár órákra beosztják, ilyen luxusra nincs lehetőség.

### Az űrtávcsövek létjogosultsága

Erre volt az többszörös válasz (beleértve rengeteg SpaceX fanboyt és magát Elon Muskot is), hogy a csillagászat jövője úgyis az űrben van. Természetesen számos előnye van egy űrtávcsőnek: kikerüli a földi légkör, az időjárás és a nappalok okozta problémákat és fennakadásokat. Számos tudományterület nem lenne meg nélküle, röntgen, gamma, vagy infravörös csillagászatot nem is tudunk máshogy végezni, csak az űrből, mert a légkör nem engedi át ezeket a hullámhosszakat. Nélkülük nem tudnánk kutatni fekete lyukakat vagy a Tejútrendszer középpontját. A Kepler-űrtávcső is azért tudott négyezer exobolygót felfedezni, mert nem kellett minden hajnalhasadáskor leállnia, hanem négy éven át folyamatosan mért. Nincsenek a műszereink felett olyan gonosz molekulák,