

GMT: a 25 méteres óriás

A 21. században talán elsőként megvalósuló óriástávcső neve, a GMT sajnós nem a Gigantikus Magyar Távcső rövidítése. A *Giant Magellan Telescope* több tudományos intézet és egyetem összefogásával útjára indult terv (partnerek: Carnegie Observatories, Harvard University, Smithsonian Astrophysical Observatory, Massachusetts Institute of Technology, University of Arizona, University of Michigan, University of Texas), ami várhatóan 2015–2020 között fog megvalósulni. S hogy mit is takar a GMT? Előljáróban csak annyit, hogy 7 db, egyenként 8,4 méteres tükörből álló, virágsziromszerű mozaik alkotja a főoptikát, ami felbontóképesség tekintetében 27, fénygyűjtő képesség tekintetében 22 méternek felel meg.



A GMT mellett eltörpül a 6,5 méteres Magellan-távcső

A több intézet együttműködésére nem csak a terv technikailag igen komplex és merész mivolta, hanem a becsült 500 millió dolláros fejlesztési és kivitelezési költségét tekintve is szükség van. De mit is lehet építeni félmilliárd dollárból? Hogyan? És miért jó ez? Ezekre szeretnék

válaszolni az alábbiakban, a cikk második részében pedig bemutatom a technikai részleteket, s szintén ott térek ki az adaptív optikai kérdésekre, amelyek nélkülözhetetlenek egy ekkora távcsőszoronyeteg működtetésében.

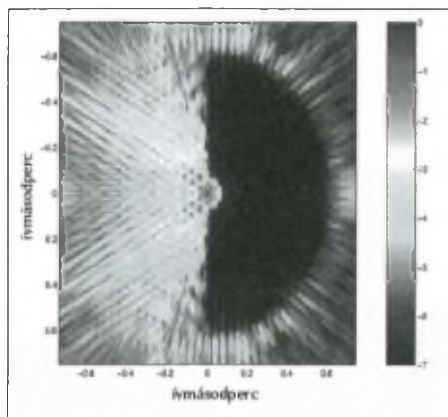
Mire jó egy óriástávcső?

A következőkben vázlatos összefoglalót szeretnék adni azokról a tudományos kérdésekről, amelyek megválaszolásában a GMT fontos szerepet játszhat.

I. Exobolygók detektálása és jellemzése

Közvetlen leképezés: Nemrégiben több hír is megjelent, miszerint Naprendszeren kívüli bolygó képét rögzítették. Valójában ez igen merész állítás, hiszen egyetlen kép alapján semmi nem mondható a pályáról, s a két, egymáshoz közel látszó égitest fizikai kapcsolatáról sem. Egy kettős rendszer barna törpéje pedig relatíve fényes egy bolygóhoz képest. Az igazán érdekes és kihívást jelentő planéták az 1–10 jupitertömeg, 0,05–3 Cs.E. pályasugar-tartományba esnek, ezek megfigyelése fedheti fel a már tucatnyi ismert 2–20 jupitertömegű, 5–40 Cs.E. pályasugarú bolygók fejlődésének, kialakulásának, összetételének titkait. Ehhez 0,05–5 ívmásodperc látszó szögtávolságon belül tízmilliószoros intenzitáskülönbségű források egyidejű detektálása szükséges, ami nemcsak nagy távcsőátmérőt, de extrém adaptív optikai technológiát is követel. (Ezen eljárás során a főtükrök különböző pontjairól érkező fény fázisát módosítják, s így a diffrakciós kép – aminek alakja torzult az ismert Airy-koronghoz képest a szegmentált főtükör miatt – egy részét teljesen el lehet sötétíteni, ami esélyt adhat a

csillaghoz nagyon közeli és halvány objektumok megpillantására.)



A GMT-vel vizsgálható lesz csillagok közvetlen (tized ívmásodperces) környezete

Protoplanetáris korongok struktúrája és dinamikája: Térbeli feloldású spektroszkópiával a bolygók bölcsőjeként szolgáló korongok szerkezete, azokban megjelenő sűrűsödések, gyűrűk, esetlegesen vízjégben gazdagabb zónák mutathatók ki. A század ívmásodperces feloldóképesség a közel infravörösben 1–2 Cs.E. méretű fizikai struktúrák kimutatását tenné lehetővé a közeli csillagkeletkezési régiókban.

Kis tömegű csillagok körüli bolygók kimutatása radiális sebesség változásából: mint az talán már jól ismert, egy csillag körül keringő bolygó magát a központi csillagot is keringésre készíti a közös tömegközéppont körül, ami a csillag színképvonalaival periodikus eltolódását eredményezi a Doppler-effektus miatt. A jövő óriástávcsöveivel 13–14 magnitúdós csillagok esetében 2–3 m/s sebességmérési pontosság lesz elérhető, ami nagyságrendekkel növeli meg az ezen technikával jelenleg vizsgálható csillag szá-

mát, valamint kiterjeszti a detektálási küszöböt a Föld méretű bolygók felé.

II. Kuiper-objektumok populációjának vizsgálata. A külső Naprendszer apró égitestjei szolgálnak a legtöbb információval a Napot létrehozó felhő dinamikai és kémiai tulajdonságairól. Jelenleg ezen égitestek a legnagyobb távcsövek számára elérhetők, ha képrögzítésről van szó, spektrumok felvétele azonban csak nagyon kis feloldással és limitált jel/zaj viszonyok mellett lehetséges. Egy GMT méretű távcsövel a színekép – és ezáltal a kémiai összetétel – nagy számú Kuiper-objektum esetében lesz vizsgálható.

III. Csillagkeletkezés. Mennyi és milyen tömegű csillag alakul ki egy olyan felhőben, mint pl. az Orion-köd? Az ezt leíró kezdeti tömegfüggvény a galaktikus csillagászat egyik legnagyobb nyitott kérdése. Jelenlegi műszereink előtt rejtve maradnak a kis tömegű csillagok, nem tudjuk pontosan, mekkora is a barna törpék aránya egy csillagkeletkezési régióban. Ezen kérdés remélt megválaszolására a Tejútrendszer, a galaxisok fejlődéséről, a sötét anyagról alkotott (egyelőre igen halvány, mondhatni sötét) képünkre nagy hatással lehet.

IV. A galaktikus halo csillagainak összetétele. A 2MASS és az SDSS programok hatalmas adatbázisait nagy léptékű struktúrák után kutatva többen is elemezték – nem eredménytelenül. A Tejútrendszer halvány kísérőkkel, törpegalaxisokkal, csillagáramlatokkal „gyarapodott” az elmúlt években. A már bekebelezett, s a még galaktikus kannibalizmus előtt álló törpegalaxisok, a halo csillagai túl halványak a jelenlegi óriástávcsövek számára, hogy nagyfelbontású spektrumot készíthessünk számos csillagról, ami segíthet felfedni ezen galaktikus komponensek eredetét, fejlődéstörténetét.

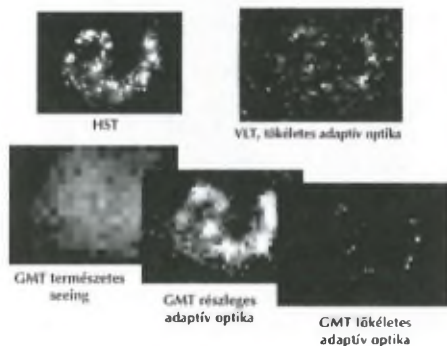
V. Fekete lyukak kémiája közepes vöröseltolódásnál. Az aktív galaxis-magok szinte felkínálják a fekete lyukak, s az abba behulló anyag vizsgálatát. A hatalmas távolságokban lévő objektumok térbeli feloldásához, az akkréció szerkezetének, dinamikájának megismeréséhez nagy felbontás (nagy átmérő és adaptív optika) és nagy fénygyűjtő képesség szükséges, hogy térbeli feloldású spektrumokat tudjunk készíteni.

VI. Nagy vöröseltolódású szupernóvák. A robbanó csillagok szolgálhatják a kulcsot a sötét anyag és az Univerzum tágulásának titkaihoz. Egy 20–30 méteres távcső nemcsak a megfigyelhető tartományt tolja ki térben és ezáltal időben, esetleg véglegesen eldöntve a kérdést, miszerint régebben is ugyanolyan gyorsan tágult-e a Világegyetem, mint ma, hanem lehetőséget ad a közeli szupernóvák pontosabb megértéséhez is. A galaxisok spektruma ugyanis elkerülhetetlenül összehasonlítható a robbanó csillagével, egy érzékeny, nagy térbeli feloldású spektroszkóp azonban könnyen mintavételezheti a szupernóva közvetlen környezetét is, aminek jele így szeparálható.

VII. Galaxisok fejlődése. Ezen kérdés egy galaxis kémiai összetételét, dinamikai viselkedését, csillagkeletkezési történetét, a jelenlegi csillagpopulációk tulajdonságait vizsgálva fejthető ki. Azonban egy galaxis csak egy pillanatfelvétél egy komplex rendszerről, az evolúció megértéséhez Hubble-típus és időbeli, azaz vöröseltolódás szerinti alosztályokat kell vizsgálni, csoportonként több száz taggal, hogy a statisztikus módszerek valós képet adjanak. Egy homogén minta megfigyelése, a szükséges adatok kinyerése óriástávcsövekért, adaptív optikáért, térbeli feloldású spektroszkópiáért kiált.

VIII. A galaxisközi anyag fejlődése. Azt tudjuk, hogy a galaxisok közötti tér nem üres, galaxishalmazokban forró gáznyomait már kimutatták korábban. De

hogyan kerül oda ez az anyag, mi fűti azt fel? Távoli, $z > 6$ vöröseltolódású kvazárok megfigyelése során a kvazár és a köztünk lévő térről kaphatunk információt, hiszen a fény magában hordozza a lenyomatát mindazon térrészeknek, amelyeken áthalad.



A Csápok galaxispár a HST-vel, ill. a VLT/GMT-vel nézve – utóbbiak esetében képzeletben 50-szer messzebbre helyezve a galaxist

IX. Az első galaxisok kialakulása. Az Univerzum legtávolabbi objektumait dektálni nem elég ahhoz, hogy megérthessük fizikájukat. A nagy vöröseltolódás miatt a közeli infravörös tartományban végzett spektroszkópiai megfigyelések szükségesek az érdemi munkához.

Mint a fentiekből látszik, nemcsak a nagy távcsőátmérő a fontos, hanem sok esetben a nagy feloldóképesség is, ami adaptív optikát, annak is ma még nem létező, extrém változatát követeli meg. Az amatőr körökben jól ismert mondás: „az okulár a távcsöved fele” az óriástávcsövekre is igaz. Persze kis módosítással, hiszen itt sző sincs okulárról, hanem az annak „szerepét” és fizikai helyét betöltő műszerekről. Jelen írás második részét mégiscsak a távcsőre, és az adaptív optikára korlátozom, a műszerekről, mint pl.

a spektrográfok különböző válfajairól a tervek szerint 2006-os Csillagászati évkönyvben találhat majd információt az Olvasó.

Megéri?

Mekkora tudományos értéke lesz? Mennyibe kerül? A hidegháború idején – elsősorban az űrkutatás területén – a fenti kérdések nemigen merültek fel. A „mi csináljuk meg elsőként – kerül amibe kerül” filozófia azonban már a múlt, a mai gazdasági, politikai viszonyok mást diktálnak. Talán többen türelmetlenül ugranak át ezeket a sorokat, hogy a „tényleges” GMT-ről olvassanak, nézzék meg a lenyűgöző méreteket tükröző ábrákat. Azonban mégiscsak szükségét érzem annak, hogy röviden ezt az oldalát is megvilágítsam kissé egy távcső születésének.

A nagy műszerfejlesztési programokban ma már általánosan követett elv az, amit a NASA vezetett be, miszerint a programot több fázisra bontják. Ezen szervezési egységek olyan természetes töréspontokat definiálnak, amik lehetőséget adnak a felülvizsgálatra és döntéshozatalra, miszerint biztonsággal folytatható-e a program, újra kell-e gondolni bizonyos elemeket, vagy meg kell szakítani a programot, mert az nem kivitelezhető az anyagi/technikai keretek között. Ezen fázisok az alábbiak:

A1 – koncepció-tanulmányok. Ezek célja az, hogy feltárja és vázolja a tudományos és megvalósítási ötleteket. Az eredmény ezen fázis végén egy tiszta tudományos célkitűzés: milyen területek kutatására használható a műszer, és ezen célok eléréséhez milyen paramétereknek kell minimálisan megfelelni a műszernek ideális esetben.

A2 – előzetes analízis. A tudományos érvek további mérlegelése, finomítása, rangsorolása, melyek a legfontosabbak és azok ténylegesen elérhetőek-e a fel-

használható idő- és technikai keretek között. Ennek megítéléséhez szükség van több megvalósítási elképzelés vázlatos kidolgozására, s egy vagy két tervezet részletekbe menő vizsgálatára a célokat lefedtető csillagászok és a megvalósítást tervező mérnökök, a technológiát biztosító ipari szakemberek együttes bevonásával.

B – a program definiálása. Ezen fázisban az előzetes analízis során legjobbnak ítélt megközelítést olyan részletekbe menően ki kell dolgozni, hogy hiteles értékelés születhessen a program létjogosultságáról, ami alatt annak a költség-, technológia- és időbeli korlátait értjük. Ezen fázis végén már nem lehetnek olyan pontok, amiknél a terv még nem rutinszerű, hanem teszt vagy csak a tervezés fázisában álló technológiákra támaszkodik. (Ezért lehetséges, hogy amikor a HST az első képeket rögzítette, akkor detektorai „réginek” számítottak, mert a földi obszervatóriumok a sokkal rövidebb átfutású idejű műszerfejlesztési programjaiknak eredményeként már sokkalta nagyobb, érzékenyebb CCD-detektorokat használtak.) Épp nemrégiben lehettem tanúja egy találkozásnak, ahol a GMT infravörös spektrográfiának lehetséges változatai közül kiválasztottak egyet, és nem azt, amelyik a legjobb optikai teljesítményt nyújtotta, hanem azt, amelyik az infravörös CCD-detektorokat gyártó cégek ígérete szerint egy éven belül el tudnak látni detektorokkal. Ez esetben tehát bizonyos technológia többet engedett volna (optika), azonban kompromisszumot kellett kötni a lassabban fejlődő detektor-technikával.

Érdekes, $1/x$ függés figyelhető meg az ezen fázisra elköltött pénz és a program idő- és pénzbeli túlfutása között. Ha spórolnak ezen tervezési fázison, a program terméke nagy valószínűséggel a határidők leteltével és több technikai komp-

romisszummával készül el, ha egyáltalán elkészül.

C – tervezés. Egyszerűen fogalmazva ekkor készülnek el a tervrajzok végleges formában, amelyek alapján a műszert megépítik. A kritikus elemeket, eljárásokat élethű modelleken, prototípusokon próbálják ki, hogy meggyőződjenek azok alkalmazásának létjogosultságáról, biztonságáról. Bármiféle eltérés a definiált tervektől csak finomítás lehet, kísérleti eredményekkel, tényekkel alátámasztva; alapvető változtatások nem történhetnek a terven.



Készítik a GMT első tükrének öntőformáját

D – kivitelezés. E fázis során megépül a műszer, s tudományos szakemberek részvételével tesztek során bebizonyosodik, hogy teljesíti-e a vele szemben támasztott követelményeket. Ezzel párhuzamosan részletes dokumentációnak kell születnie a működtetés és karbantartás biztosítására. Erre a célra személyzetet kell kijelölni, betanítani, akik asszisztálnak a későbbi megfigyelések során.

E – működés. A rendszeres észlelések megkezdésével működésbe lép a műszer. Ez alatt karbantartási munkálatok, valamint az újabb technológiák alkalmazása, beépítése történhet meg, amennyiben lehetőség van, azok implementálására a rendszerben annak működését hosszabb távon nem megzavarva, s a tudo-

mányos adatok minőségét érdeemben javítva.

A GMT program 2005 során lép át a C fázisba. Ennek talán legkézzelfoghatóbb jele az, hogy 2005 júliusában kiöntik az első 8,4 méteres tükröszegmenst, amelynek öntőformája ezen sorok írásakor már majdnem készen áll.

Költségbecslés

Mennyibe is kerül egy ilyen óriás tervezése, kivitelezése? Hogyan lehet ezt megbecsülni? A részletes tervek elkészítésekor már árajánlatokat lehet összegezni, azonban az A fázisban csak az eddigi távcsőépítési programok tapasztalataira lehet támaszkodni. Ez azonban szolgál egy kis kockázattal. Az 1980-as évekig az átmérő 2,6-ik hatványa szerint nőttek a költségek, vagyis az átmérő kétszeresére növelése 6-szorosára növelte a költségeket. Ezen törvényszerűséget követve azonban a Palomar-hegyi 5 méteres távcső költségeit alapul véve egy 8–10 méteres műszer megfizethetetlen lett volna 10 évvel ezelőtt, de legalábbis nem érte volna meg. Szerencsére azonban egy sor technikai újításnak köszönhetően a költségek nagymértékben csökkenthetőek voltak:

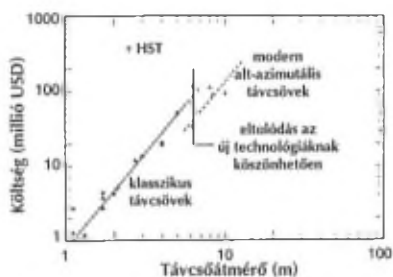
- az aszférikus felületek csiszolását lehetővé tevő technikák nagyobb fényerejű, ezáltal rövidebb, kisebb kupolában elérő távcsövek készítését engedik meg;

- a jobb tesztelési eljárások és a számítógép vezérelte optikai munkálatok a tükrökészítést a fekete mágiától a szinte teljesen előre jelezhető és felmérhető munkafolyamatokhoz sorolta át;

- a tükrök új generációja (méhsejt szerkezetű könnyítés, vékony, aktívan kontrollált alakú tükrök) tovább csökkentették a mechanikával szembeni követelményeket;

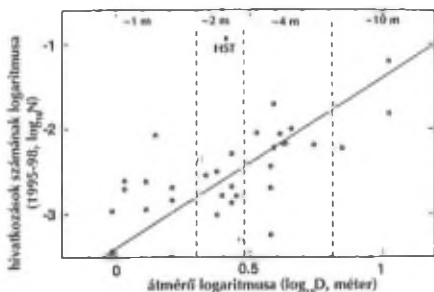
- a számítógép-vezérelt azimutális mechanikák redukálták az ormótlanul nagy

patkóvillás szerelések méretét és tömegét stb.



A távcsövek átmérője és ára közötti összefüggés

Ezek az újítások azonban nem redukálták jelentősen a kivevőt az említett költségnövekedési empirikus törvényben, inkább csak zéruspontját tolták el. Az ezredfordulón egy 2-, 4- és 8 méteres távcső elkészítése (beleértve a kupolát és kiszolgáló épületeket) 5, 18 illetve 80 millió dollárba került. Mivel azonban inkább a 8 méteres osztályba tartozó műszerek épültek, kevés a tapasztalat ahhoz, hogy a következő méret-generáció költségeit megbecsüljük. Ugyanakkor valószínű, hogy a 20–30 méteres távcsövek terveinek megvalósulása olyan időskálán fog lezajlani, melynek során a költségeket jelentősen (az előbb említett, s az ábrán is látható mértékben) csök-



A tudományos hivatkozások száma a távcsőátmérő függvényében

kentő technikai újítások nem kerülnek bevezetésre. Már csak azért sem, mert mint említettük, a tervezési fázisban – ahová a GMT hamarosan belép – már nem lehetnek nem megvalósult technológára alapuló pontok a programban. Mindezek alapján a GMT várható költsége félmilliárd dollár, vagyis 5 db 10 m-es Keck-távcső költségével egyenértékű.

Teljesítőképeség-becslés

Hogyan lehet lemérni, hogy mekkora haszna lesz egy új távcsőnek? A tudományos életben ma elsősorban a publikációk és hivatkozások számát tekintik ezen mércének. Több obszervatórium szerkeszti a listáját és tartja napra készen azon tudományos publikációknak, amelyekben az adott csillagvizsgáló műszereit használták a közölt/feldolgozott adatok gyűjtésére. Azonban nem minden tudományos program mérhető össze, ezért inkább a rangosabb folyóiratokban megjelent publikációk száma, de még inkább az azokra más cikkekben történt hivatkozások száma az, ami reális összehasonlítási alapot teremt. Utolsó ábránkról az olvasható le, hogy a távcsőátmérő és a hivatkozások száma egyenes arányban van: minél nagyobb egy műszer, annál többen hivatkoznak annak eredményeire. Mivel azonban az átmérővel nem négyzetes, hanem még meredekebb hatvány szerint nőnek a költségek, ezért az „egységnyi tudomány per egységnyi költség” mércével nézve a kisebb távcsövek még kicsit jobban is állnak a tudományos versenyben. Persze ez nem jelenti azt, hogy nincs szükség nagyobb műszerekre. Inkább csak azt mutatja, hogy az új, nézeteket átformáló, nagy kérdéseket megválaszoló tudományos megfigyelések nagyobb távcsövekkel készülnek inkább, amikből kevés van, s azok használati ideje a csillagászat sok részterülete között megoszlik. A hosszabb távú, lassabban eredményt hozó

	Rossz időjárás	technikai problémák	kalibráció, fejlesztés	észlelés alatti veszteség	tudományos munka
Keck I	16	4	11	26	43
VLT	12	2	5	15	63
Gemini	20	3	10	15	52
CFHT	16	5	11	15	53
HST	-	2	5	50	43

megfigyelések a nagyobb számban elérhető, kisebb távcsövekkel folyik tovább, ezzel párhuzamosan. A HST persze messze kiugrik ebből a diagrafból, de nem is helyénvaló egy 3 milliárd dolláros űrtávcsövet összemérni földi társaival.

Újabb megközelítés a technikai oldal: a rendelkezésre álló megfigyelési idő mekkora hányadát töltik a műszerrel ténylegesen az égboltot megfigyelve? Er-

ről néhány jelenleg is működő nagy távcsőre, a fenti táblázat ad tájékoztatást (az értékek százalékban értendők). Természetesen ezt a kihasználtsági tényezőt nem lehet előre megmondani, azonban nagyon fontos és objektív jellemzője egy műszer értékének, minőségének.

FŰRÉSZ GÁBOR

MCSE-tagtoborzó 2005

Kérjük tagjainkat, hogy – mint eddig is – hívják fel a csillagászat iránt érdeklődő ismerőseik figyelmét az MCSE-re. Nem csupán új tagokat várunk, hanem régi amatőröket is, akik korábban már kapcsolatba kerültek az MCSE-vel, de különféle okok miatt – elköltözés, anyagi okok – „lemorzsolódtak”, és már nem fizetnek tagdíjat (2005-re 5200 Ft). Tagfelvételt minden kedden tartunk a Polaris Csillagvizsgálóban, 18 órától, az MCSE-ügyelet keretében. Tagdíjak fizethetők postai úton, rózsaszín postautalványon, az MCSE postacímére (1461 Budapest, Pf. 219.), vagy banki átutalással, bankszámla számunk: 62900177-16700448 (feltétlenül tüntessék fel a közlemény rovatban teljes címüket)!

Örömmel küldenénk befizetési csekkeket és MCSE-tájékoztatókat mindazoknak, akik részt vennének tagtoborzó akciónkban.

Belépési nyilatkozat

Kérem felvételemet a Magyar Csillagászati Egyesületbe rendes tagként 2005-re
(a tagdíj összege 5200 Ft, illetmény: Meteor csillagászati évkönyv 2005 és az MCSE Meteor c. havi folyóirata)

Név:

Cím:

Szül. dátum: év hó nap

Telefonszám: E-mail:

A tagdíjat az MCSE címére (1461 Budapest, Pf. 219.)
kérjük feladni rózsaszín postautalványon!