

Nuklearna astrofizika

Matko Milin

Fizički odsjek

Prirodoslovno-matematički fakultet

Sveučilišta u Zagrebu

20. listopada 2013.

1

Astronomija: kratki uvod

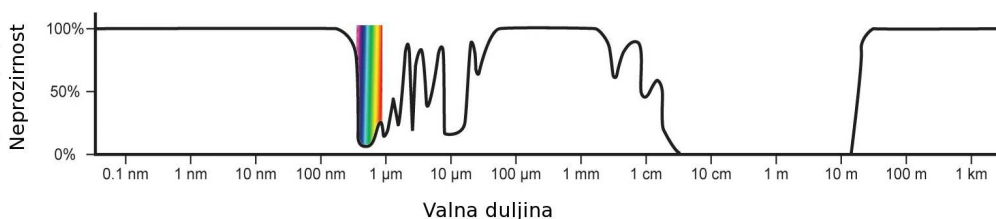
1.1 Uvod

Astrofizika je specifičan dio fizike jer je najveći dio spoznaja unutar nje dobiven jednostavnim *promatranjem*. Najveći dio svemira nam je posve nedostupan za bilo kakav drugi način istraživanja, a dakako, s astrofizičkim objektima (galaksijama, zvijezdama, planetima itd.) nemoguće je vršiti eksperimente. Posao astrofizičara je zato iz podataka koji se dobivaju promatranjem rekonstruirati procese koji se u pojedinim djelovima i fazama svemira odigravaju. Najvažniji unos u svaki astrofizički model su dobri rezultati astronomskih opažanja i njihova elementarna interpretacija. Brz tehnološki napredak rezultirao je u velikom broju novih uređaja koji su revolucionirali astronomiju u posljednjih dvadesetak godina...

1.2 Moderni astronomski uređaji

Posljednja dva desetljeća dešava se brz rast broja i kvalitete uređaja kojima se prikupljaju informacije o Svemiru. Napredak je vezan uz brojne tehnološke inovacije, poput CCD-kamera (njevini izumitelji, W. Boyle i G.E. Smith, dobitnici su Nobelove nagrade za fiziku za 2009. godinu). CCD (od *engl.* charge coupled device) je uređaj osjetljiv na upadnu svjetlost i segmentiran u dvije dimenzije: na taj je način podijeljen na sitne elemente (“piksele”) koji nezavisno bilježe upadne fotone. U CCD-u se u principu dešavaju dva bitna koraka: konverzija fotona u električni naboj (u tzv. fotoaktivnom području, koje je uobičajeno silicijski MOSFET), te prebacivanje naboja s piksela na piksel (“područje prenošenja”) do ruba CCD-a (gdje se naboj pomoću nabojnog pojačala pretvara u naponski impuls). Upravo je tehničko rješenje prebacivanja naboja “u skokovima” bilo ključno u realizaciji CCD-kamere, uređaja koji je u međuvremenu proizveden u više desetaka milijardi primjeraka ().

Dio novih uređaja vezan je za površinu Zemlje, no i broj teleskopa i uređaja iznad Zemljine atmosfere vrlo brzo raste - kod njih je glavna prednost činjenica da zračenje koje primaju s astronomskog objekta nije modificirano atmosferskim utjecajem (vidi sliku 1.1). U nastavku će biti dan popis najvažnijih novih uređaja, te kratak opis svakog.



Slika 1.1: Ovisnost prozirnosti atmosfere o valnoj duljini.

1.2.1 Uređaji na površini Zemlje

Većina modernih teleskopa su reflektori, kojima su zrcala vrlo velikog promjera zbog odnedavne primjene tehnologije tzv. “aktivne optike” - riječ je o teleskopima kojima se oblik (vrlo tankog) zrcala aktivno prilagođava položaju i time poništava efekte gravitacijske distorzije, te vanjskih utjecaja (temperature, vjetra itd.). Daljni napredak donosi tzv. “adaptivna optika”, kod koje se sekundarno zrcalo (ili pak posebno korektivno zrcalo) na vremenskoj skali reda stotinke sekunde prilagođava atmosferskim promjenama, koje se uočavaju promatranjem valne valne fronte svjetlosti koja dolazi s nekog sjajnog objekta (u pravilu zvijezde). Današnji najveći teleskopi imaju stoga promjere i preko 10 m; u nastavku će biti diskutirani najveći i najvažniji.

Keck

Teleskop Keck je donedavno bio najveći optički teleskop na svijetu smješten na planini (vulkanskog porijekla, visokoj 4145 m) Mauna Kea, Hawaii, SAD. Riječ je o dva identična ogledala efektivne veličine 10 metara (a koja se sastoje od 36 manjih heksagonalnih ogledala); prvi od dva teleskopa pušten je u rad 1992. godine, a drugi 1996. Zajedno, blizanci Keck imaju moć razlučivanja jednaku jednom teleskopu koji bi imao promjer od 90 metara: u stanju su razdvojiti izvore razmaknute samo jednu lučnu milisekundu.

LBT

Teleskop LBT (od *engl.* Large Binocular Telescope) nalazi se na planini Mount Graham u Arizoni i sastoji se od dva vezana teleskopa od kojih svaki ima primarno zrcalo veličine 8.4 m; u rad je pušten 2004. godine.

GTC

Teleskop GranTeCan ili GTC (od *španj.* Gran Telescopio Canarias) je trenutačno najveći teleskop na svijetu. Lociran je na otoku La Palmi (Kanarsko otočje) i u pogonu je od srpnja 2007. godine (“punom snagom” radi tek od srpnja 2009. godine). Primarno zrcalo mu je segmentirano, promjera 10.4 metara!

Subaru

Optički teleskop Subaru se također nalazi na Mauna Kea, Hawaii, SAD iako je u vlasništvu japanskog nacionalnog astronomskeg opservatorija (ime mu na japanskom označava Plejade). Riječ je o 8.3 metra velikom teleskopu tipa Cassegrain; ujedno i najvećem monolitičnom teleskopu na svijetu. Pomoću ovog teleskopa je, između ostalog, 2006. godine nađena najstarija galaksija, stvorena svega ≈ 800 milijuna godina nakon Velikog Praska.

VLT

Projekt “Vrlo velikog teleskopa” (*engl.* Very Large Telescope Project - VLT) sastoji se od četiri odvojena optička teleskopa (Antu, Kueyen, Melipal i Yepun) složenih u niz. Projekt organizira ESO (od *engl.* European Southern Observatory) i lociran je u pustinji sjevernog Čilea (opservatorij Paranal na visini 2635 m). Svaki teleskop ima aperturu od 8.2 metra, a povezani su interferometrom (VLTI) kojim će se moći razlučiti vrlo fini detalji; interferometar će sadržavati i više teleskopa promjera 1.8 m. Primarni način rada je nazavisan rad svakog od četiri teleskopa; interferometrija se koristi samo u specijalnim slučajevima.

VLA

Jedan od najvažnijih opservatorija radio-valova je “Vrlo velik niz” (*engl.* Very Large Array - VLA) lociran u pustinjama Novog Meksika, SAD. VLA se sastoji od ukupno 27 velikih satelitskih “tanjura”; svaki od njih velik je 25 metara i postavljen na tračnice da bi se mogao pomicati. Najveća udaljenost na koju je moguće postaviti 2 tanjura je 35 kilometra! VLA je najosjetljiviji radio-teleskop do sada napravljen; pomoću interferometrije ima rezoluciju od 0.04 lučne sekunde (na udaljenosti 150 km može razlučiti radio-izvor veličine loptice za golf). VLA radi na valnim duljinama od 0.7 do 400 cm.

VLA kontinuirano ostvaruje nova otkrića; neka od njih su određivanje sastava galaksija, proučavanje prolazećih kometa, te nove spoznaje o kvazarima, HII-područjima i klasterima galaksija. Koristi se također za primanje slabih radio-signalata s međuplanetarnih letjelica. U planu je značajna nadogradnja ovog opservatorija u bliskoj budućnosti.

ALMA

Radio-observatorij ALMA (od *engl.* Atacama Large Millimeter Array) je netom dovršen niz koji se sastoji od 66 antena (promjera 12 ili 7 metara), namijenjen promatranju Svemira na milimetarskim (0.3 - 9.6 mm) valnim duljinama (dakle, manjim od VLA). Riječ je o trenutačno fizički najvećem astronomskom objektu u svijetu, koji se nalazi u pustinji Atacama na sjeveru Čilea (na nadmorskoj visini većoj od 5000 m). Cijena izgradnje bila je veća od milijardu dolara, a pokrile su ju EU, SAD, Kanada, Japan, Tajvan i Kina.

ALMA bi trebala raditi u interferometrijskom načinu rada. Kao i kod VLA, pojedine antene niza mogu se pomaknuti na vrlo velike udaljenosti (do 14 km). Rezolucija ALMA-e trebala bi biti 10 lučnih milisekundi, oko 10 puta bolja od VLA i 5 puta bolja od Hubbleovog teleskopa. Osjetljivost ALMA-e trebala bi biti oko 20 puta bolja od VLA.

SNO

Neutrinski opservatorij Sudbury (*engl.* Sudbury Neutrino Observatory - SNO) detektor je smješten u rudniku nikla dvije tisuće metara ispod površine Zemlje u Ontariju, Kanada. SNO je dizajniran da detektira Sunčeve neutrine preko njihove interakcije s deuteronomima. U principu detektor je sfera promjera 12 metara napunjena teškom vodom (ukupno 1000 tona) okružena s 9600 fotomultiplikatora (i, dakako, odgovarajućom zaštitom od zračenja). Eksperiment ne detektira neutrine direktno već preko Čerenkovljeve svjetlosti koju relativistički elektroni proizvode u vodi. SNO je osjetljiv na sve tipove neutrina (za razliku od recimo Super-Kamiokande koji je osjetljiv samo na elektronske i tau-neutrine) i njegov je osnovni zadatak bilo rješavanje problema Sunčevih neutrina. Rezultati objavljeni od 2001. godine naovamo potvrđuju da je prividan nedostatak broja neutrina koji dolaze sa Sunca posljedica promjene njihovog okusa.

SNO je također bio u mogućnosti detektirati supernove unutar naše galaksije. Kako se neutriini kod takvih eksplozija emitiraju prije fotona, njihovom detekcijom moguće je vrlo rano okrenuti optičke teleskope prema supernovoj. Originalni detektor ugašen je 2006. godine, a trenutačno se na njegovoj lokaciji konstruira veći i poboljšani detektor (SNO+) kojim će se moći proučavati neutriini iz raznih izvora i u bitno širem opsegu energija.

HESS

HESS (od *engl.* High Energy Stereoscopic System) je tzv. Čerenkovljev atmosferski teleskop gama-zraka ili IACT (od *engl.* Imaging Atmospheric Cherenkov Telescopes). Princip rada mu je detekcija Čerenkovljeve svjetlosti koja nastaje pri prolasku visoko-energijskih čestica ili fotona kroz atmosferu (jedna upadna čestica ili foton stvaraju čitav pljusak sekundarnih čestica). Nalazi se u Namibiji i radi od 2002. godine. Pomoću njega je 2004. godine prvi put prostorno razlučen izvor vrlo visokog gama-zračenja.

MAGIC

Teleskop MAGIC (od *engl.* Major Atmospheric Gamma-ray Imaging Cherenkov Telescope) je namijenjen prvenstveno detekciji gama-zraka visoke energije (od 50 GeV-a do 30 TeV-a). Lociran je na Kanarima i radi od 2004. godine. Princip rada mu je isti kao i za HESS; no s promjerom od 17 m, riječ je o najvećem svjetskom teleskopu ovakvog tipa.

Od 2009. godine u pogonu je MAGIC2, praktično identičan teleskop na udaljenosti od 85 m od prvoga.

Opservatorij Pierre Auger

Opservatorij Pierre Auger je niz detektora-teleskopa dizajniran za proučavanje kozmičkih zraka ogromnih energija ($>10^{20}$ eV) - očekuje se da takvih kozmičkih zraka ima otprilike 1 po godini po km^2 pa je stoga 1600 "stanica" ovog detektora jednoliko raspodijeljeno na površini od 3000 km^2 u južnoj Argentini (u planu je gradnja i sjevernog dijela detektora u SAD-u). Svaka stanica je zapravo relativno velika cisterna vode u kojoj nastaje Čerenkovljevo zračenje; detekcijom istog u više stanica moguće je u potpunosti rekonstruirati energiju i smjer upadne čestice kozmičkog zračenja.

1.2.2 Uređaji u orbiti oko Zemlje

Da bi razumijeli što više fenomena u Svemiru, nužno je proučavati sve informacije koje nam iz njega stižu, prvenstveno čitav elektromagnetski spektar. S tim ciljem NASA (američka agencija za svemirska istraživanja, *engl.* National Aeronautics and Space Administration - NASA) je krenula u projekt "Velikih zvjezdarnica" (*engl.* Great Observatories), nizom svemirskih teleskopa dizajniranih tako da vrše astronomska istraživanja na raznim frekvencijama elektromagnetskog zračenja. Konkretno, za promatranja na frekvencijama vidljive svjetlosti u orbitu je postavljen svemirski teleskop "Hubble", za gama-zrake opservatorij "Compton", za X-zrake "Chandra", te za infracrvenu svjetlost "Spitzer". Važan dio projekta bilo je preklapanje operativnih faza sve četiri misije ne bi li se omogućilo istovremeno promatranje nekih zanimljivih objekata na raznim valnim duljinama. Osim ovog velikog projekta, NASA je pokrenula i niz manjih projekata (kao što je npr. Swift), a i druge su se organizacije (npr. ESA, *engl.* European Space Agency) pridružile u postavljanju istraživačkih satelita u orbitu oko Zemlje...

Hubble

Prvi korak NASA-inog projekta Velikih opservatorija je i najpoznatiji - Svemirski teleskop Hubble (HST od *engl.* Hubble Space Telescope). HST je lansiran je 1990. godine kao zajednički projekt ESA-e i NASA-e. Postavljen je u nisku orbitu na 600 km iznad površine Zemlje. Zbog velike greške na optici teleskopa, 1993. godine je servisiran čime je pogreška u potpunosti ispravljena. Slijedeći uspješan servis obavljen je 1997. godine. Tijekom 20 godina HST je snimio oko milijun fotografija, a očekuje se da će s radom prestati 2018. godine, kada bi u upotrebu trebao ući njegov nasljednik, svemirski teleskop James Webb (*engl.* James Webb Space Telescope, JWST¹).

HST je 2.4-metarski reflektor s 3 kamere, 2 spektrografa i vrlo preciznim uređajima za navođenje. S vremenom su dodani uređaji za promatranje u ultraljubičastom i bliskom infracrvenom dijelu elektromagnetskog spektra.

Doprinos HST-a modernoj astronomiji i astrofizici je golem: dobivena je velika količina novih spoznaja o nastanku i smrti zvijezda, evoluciji galaksija, a i pojam crnih jama je definitivno postao realan. Nezanemariva je i uloga ovog teleskopa u popularizaciji astrofizike i fizike općenito; neke od HST-ovih spektakularnih fotografija postale se dio opće kolektivne svijesti modernog društva...

¹James Webb - drugi ravnatelj NASA-e, u doba lansiranja proba Mercury, Gemini i neposredno pred početak misija Apollo.

Compton

Opservatorij gama-zraka Compton (*engl.* Compton Gamma Ray Observatory - CGRO) je najteži (17 tona!) instrument ikada prenešen u Svemir pomoću NASA-inih letjelica "Space Shuttle". Lansiran je 1991. godine i zahvaljujući njemu, gama-astronomija je doživjela eksplozivni rast. Postavljanje iznad atmosfere je ključno za ovaj dio elektromagnetskog spektra jer se fotoni visokih energija u potpunosti apsorbiraju u njoj.

Rezultati dobiveni ovim uređajima pokazuju da je Svemir vrlo živ, pun za sada nerazumljenih eksplozivnih događaja. Neka otkrića su i identificiranje misterioznih provala gama-zraka, pronalaženje posve nove vrste kvazara te otkriće objekata za koje se još uopće ne zna što su.

CGRO je imao četiri instrumenta koja su pokrivala šest redova veličine energije elektromagnetskog spektra, od 30 keV do 30 GeV. To su (poredani po rastućoj energiji): Burst And Transient Source Experiment (BATSE), Oriented Scintillation Spectrometer Experiment (OSSE), Imaging Compton Telescope (COMPTEL) i Energetic Gamma Ray Experiment Telescope (EGRET). U lipnju 2000. godine ovaj je opservatorij sigurno vraćen u Zemljinu atmosferu.

Chandra

Teleskop X-zraka Chandra je treći od četiri NASA-ina satelita-teleskopa, lansiran 1999. godine. Osnovni zadatak teleskopa je detekcija X-zraka koje pristižu iz raznih nebeskih objekata. Korišteni detektori pokrivaju područje 0.09 - 10 keV. Teleskop je postavljen u orbitu velikog ekscentriciteta (najbliže je Zemlji dolazio na udaljenost od $\approx 10^4$ km, a najdalji je bio na $\approx 14 \times 10^4$ km, jednoj trećini udaljenosti do Mjeseca). Takva je orbita korištena da bi se na njenom dijelu (tijekom 55 sati od ukupnog ciklusa od 65 sati) sasvim izbjegao utjecaj Zemljinih radijacijskih pojasa.

Teleskop je ime dobio po nobelovcu Subrahmanyamu Chandrasekharu, pioniru mnogih dijelova astrofizike (a riječ Chandra na Sanskritu znači "mjesec"). Prije lansiranja, ovaj je teleskop bio znan i kao AXAF, od *engl.* Advanced X-ray Astronomical Facility.

Ovim teleskopom proučavani su svi izvori X-zračenja u Svemiru, s rezolucijom 25 puta boljom od bilo kojeg prethodnog X-detektora. Neka od otkrića ovog teleskopa su: otkriće kompaktnog objekta (neutronska zvijezda ili crna jama) na mjestu gdje je eksplodirala supernova Cassiopeia A, prva detekcija X-zračenja supemasivne crne jame Sagittarius A* u centru naše galaksije, te otkriće nove vrste crnih jama (u galaksiji M82) srednje mase. Nadalje, po prvi put je istovremeno uočeno X-zračenje i provala γ -zračenja. Na temelju podataka za objekte RXJ1856 i 3C58, sugerirano je da oni nisu pulsari kao što se do tada mislilo, već čak i gušći objekti: kvarkovske zvijezde (ove tvrdnje su i dalje kontroverzne). Pomoću satelita Chandra primijećene su i "super-baklje" X-zraka (2005. god) u Orionovoj maglici, vrlo bitan podatak za teoriju nastanka planetarnih sustava. Nedavno je i izmjerena Hubbleova konstanta metodom posve nezavisnom od tradicionalnih; dobivena vrijednost u slaganju je s trenutačno prihvaćenom što diže povjerenje u standardne načine mjerenja udaljenosti u astronomiji.

Iako je originalno trebao raditi samo do 2004. godine, teleskop Chandra i dalje je operativan i daje zanimljive astronomske rezultate.

Spitzer

Svemirski teleskop Spitzer (*engl.* Spitzer Space Telescope - SST) četvrti je dio NASA-inog programa velikih opservatorija i to onaj koji pokriva termičko infracrveno zračenje (valne duljine od 3 do 180 μm); taj dio spektra posve je prigušen Zemljinom atmosferom. Sam teleskop je lansiran u orbitu u kolovozu 2003.; ukupna cijena bila mu je 800 milijuna US dolara. Sastoji se od teleskopa velikog 0.85 m i 3 hlađena instrumenta. Poznat je i kao SIRTF, od *engl.* Space Infrared Telescope Facility. Ime Spitzer dano mu je u spomen Lymana Spitzera Jr., znanstvenika koji je prvi predložio postavljanje teleskopa u orbitu oko Zemlje (sredinom 40-tih godina prošlog stoljeća).

Važniji rezultati uključuju detekciju najmlađe zvijezde (2004.), preciznije mjerenje geometrije naše galaksije, detekciju prvih zvijezda stvorenih u Svemiru (2005.) itd. Jedan od najvažnijih

rezultata SST-a je i prvo direktno opažanje ekstrasolarnih planeta (2005.), kao i opažanje dotad neotkrivenog Saturnovog prstena (2009.). Krajem 2009. godine potrošen je sav tekući helij i odonda je operativnost teleskopa bitno smanjena.

Swift

NASA-in satelit Swift² izrađen je (u partnerstvu s Italijom i Velikom Britanijom) s ciljem da detektira i vrlo brzo locira izvore gama-provala. Prvi takav direktno primijećen događaj zbio se 9.5.2005. (GRB 050509B) kada je Swift uhvatio X-zračenje sa samo minutom zaostatka (koji se ugasio za daljnih pet minuta); Swiftov optički i ultraljubičasti teleskop nije vidio ništa. Pretpostavlja se da je sama provala bila vrlo kratka - otprilike 50 ms.

Swift sadrži više instrumenata; prvi koji reagira je tzv. BAT (od *engl.* Burst Alert Telescope) koji reagira na γ -zrake i u stanju je otprilike odrediti smjer njihovog izvora. Sljedeći korak je brzo okretanje Swiftovih teleskopa za detekciju X-zraka i UV-zračenja.

Tijekom 2008. i 2009. godine Swiftom je opaženo više zanimljivih pojava, između ostalih i najudaljeniju opaženu svemirsku eksploziju (GRB 090423 na udaljenosti od 13.04 milijardi svjetlosnih godina). Do sredine 2013. godine Swift je detektirao više od 750 GRB-a.

Newton

XMM-Newton (od *engl.* X-ray Multi-Mirror) je ESA-in opservatorij X-zraka, imenovan u čast Isaaca Newtona. Lansiran je 1999. godine u vrlo ekscentričnu orbitu; planiran vijek rada mu je do 2010. godine, no naknadno produžen do 2018.

Popis rezultata dobivenih ovim uređajem je impresivan. Npr. po prvi put su uočena rotirajuća vruća područja na površinama bliskih neutronske zvijezde.

MOST

Svemirski teleskop MOST (od *engl.* Microvariability and Oscillations of STars) je za sada jedini kanadski teleskop na satelitu (i najmanji od svih postojećih). Lansiran je 2005. godine i planirani vijek bio mu trajanja pet godina, no i tijekom 2013. godine i dalje je uspješno funkcionirao.

Kao što mu i ime govori, osnovni zadatak ovog teleskopa je praćenje varijacija zvijezda; svaka zvijezda se prati unutar perioda i do 60 dana. Pojave koje se proučavaju na ovaj način su npr. zvijezde tipa Wolf-Rayet (pronađena periodičnost njihova sjaja).

INTEGRAL

Gama-teleskop INTEGRAL (od *engl.* INTErnational Gamma-Ray Astrophysics Laboratory) ESA-in je projekt za mapiranje dijela elektromagnetskog spektra najviših energija. Lansiran je 2002. godine u vrlo ekscentričnu orbitu (poput Chandre) i za sada je najosjetljiviji gama-opservatorij ikada postavljen u orbitu oko Zemlje; predviđen mu je rad do 2010. godine, no 2013. radio je posve uspješno, pa se očekuje da će mu se "životni vijek" produžiti do 2015. godine. Osnovni zadaci su mu istraživanje provala gama-zraka i neobičnih kvazara, te potraga za dokazima postojanja crnih rupa.

Za razliku od drugih uređaja na satelitima koji se zbog ogromne osjetljivosti ne smiju uperiti prema Zemlji, INTEGRAL je 2006. godine izmjerio atmosfersko pozadinsko gama-zračenje upravo usmjeravanjem prema Zemlji!

AKARI

Japanski teleskop za infracrveno područje AKARI lansiran je početkom 2006. godine u suradnji s ESO-om. Ime mu na japanskom znači "svjetlost". Primarni zadatak mu je napraviti mapu cijelog

² *engl.* swift - čioipa

neba u infracrvenom području. Vijek trajanja (oko 550 dana) mu je limitiran činjenicom da se senzori za daleko i srednje infracrveno područje moraju hladiti tekućim helijom. Senzor za blisko infracrveno područje nastaviti će raditi i nakon što se potroši sav helij.

1.2.3 Uređaji u pripremi

Prema predviđanjima astronoma, u idućih 10 do 15 godina mogla bi biti proizvedena nova generacija zemaljskih teleskopa koji bi bili do deset i više puta veći od postojećih i čija bi slika bila do 40 puta oštija od one HST-a. Cijena tekavih teleskopa je oko milijardu eura. Europski projekt Ekstremno Velikog Teleskopa (EST od *engl.* Extremely Large Telescope) ulazi u fazu dizajna. Teleskop "Owl" (od *engl.* Overwhelmingly Large Telescope) razmatra se od strane European Southern Observatory i trebao bi imati ogledalo efektivnog promjera 100 m!

NASA-in svemirski teleskop James Webb (*engl.* James Webb Space Telescope - JWST) koji će zamijeniti HST prvobitno je trebao biti postavljen u orbitu još tijekom 2013. godine, no zbog promjene američke "svemirske politike", lansiranje se ne očekuje prije 2018. godine. Promjer zrcala ovog teleskopa trebao bi biti 6.5 m (skoro tri puta veći nego kod HST-a), a i udaljenost od Zemlje trebala bi biti mnogostruko veća.

KM3NeT ("Cubic Kilometre Neutrino Telescope") i NEMO ("Neutrino Ettore Majorana Observatory") su dva europska "teleskopa neutrina" u pripremi, koji će se nalaziti na dnu mediteranskog mora i koristiti veliki volumen mora za stvaranje Čerenkovljeve svjetlosti. Zbog problema s financiranjem, izgleda da je projekt NEMO napušten dok je budućnost KM3NeT neizvjesna. Na južnoj polutki (Antartiku) nedavno je dovršen američki neutrinjski teleskop "IceCube Neutrino Observatory", koji će očito do daljnjega ostati najveći neutrinjski teleskop na svijetu. Prvi se znanstveni rezultat očekuju uskoro.

U pripremi je i satelit "Gaia" (lansiranje je predviđeno za 2013. g.) kojim bi se paralaksa izmjerila za $\approx 10\%$ zvijezda u našoj galaksiji; to je nasljednik ESA-in satelita "Hipparcos" (od *engl.* "High Precision Parallax Collecting" satellite) koji je radio je u periodu 1989-1993.