



Naše novo nebo – pregled moderne astronomije

Miljenko Čemeljić

Institut za fiziku, Šlesko sveučilište u Opavi, Češka

&

Nicolaus Copernicus Astronomical Center Poljske akademije znanosti,
Varšava, Poljska

&

Academia Sinica Institute of Astronomy and Astrophysics,
Taipei, Tajvan

&

Centar izvrsnosti za astronomiju, Varaždin



SILESIAN
UNIVERSITY
INSTITUTE OF PHYSICS
IN OPAVA

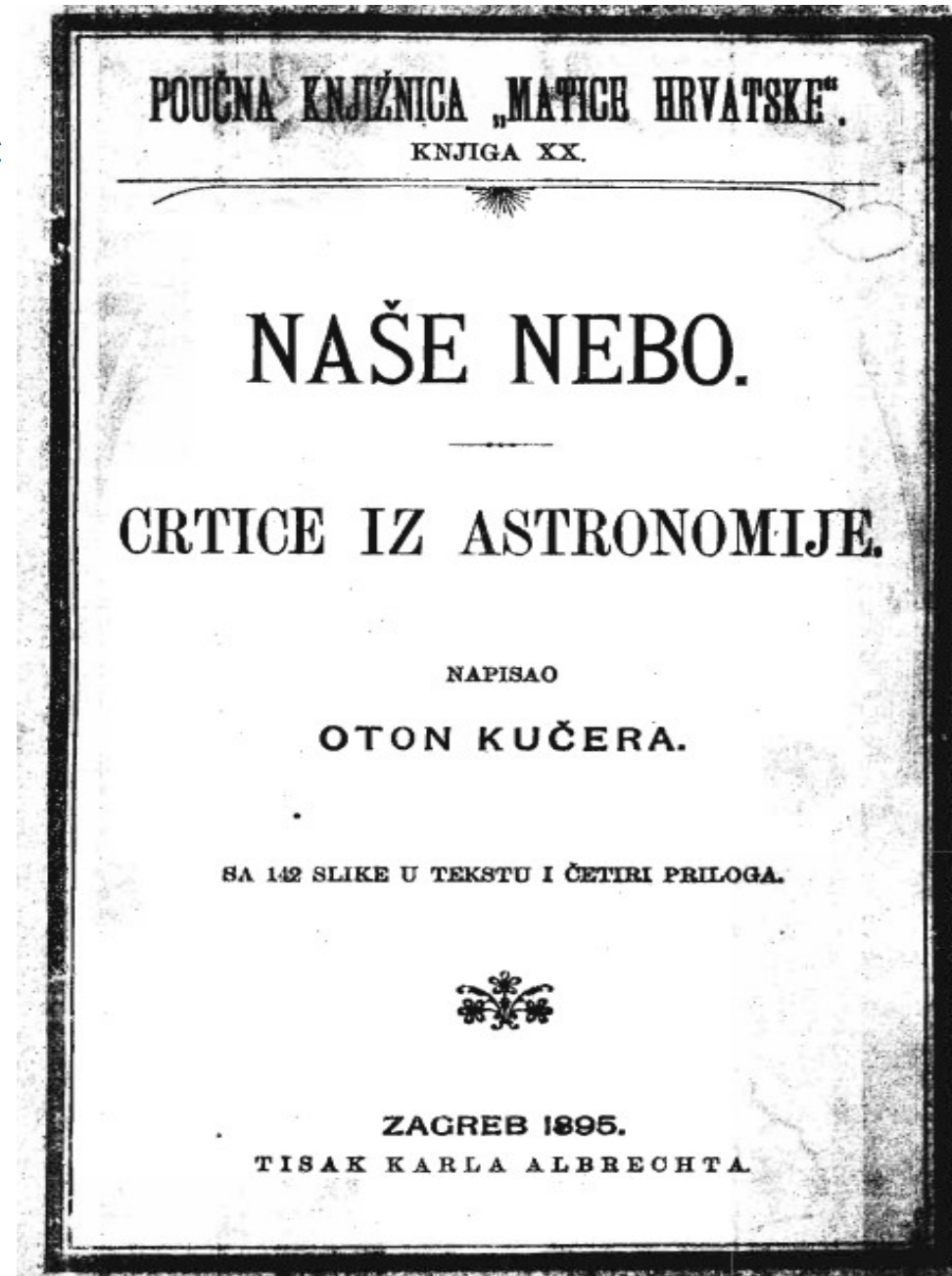
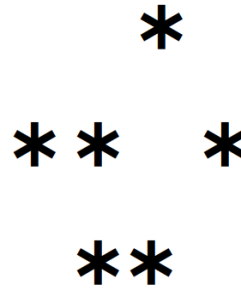


ETC Hrvatska | European Talent
Centre Croatia

Miljenko Čemeljić, 06. 06. 2023., Kolan

Pregled

- Motivacija
- Uvod
- Astrometrija
- Astronomija više glasnika
- Astronomska šetnja kroz elektromagnetski spektar
- Promatranje čestica
- Kozmologija i kozmološke tenzije
- Život u svemiru
- Sažetak



•Knjiga Otona Kučere “Naše nebo” iz 1895. je bila prva popularno-znanstvena knjiga iz astronomije na hrvatskom jeziku. Nebo se nije mnogo promijenilo od tada, ali naše shvaćanje onog što vidimo na njemu je upotpunjeno novim znanstvenim spoznajama. U tri izdanja za njegova života, a zadnje je bilo 1930-tih (1995 je tiskano četvrto, jubilaro), u tekstu Kučerine knjige nisu činjene promjene, tako da se čitajući to djelo može vidjeti kako je izgledala astronomija prije ere moderne fizike: nema kvantne fizike, Einsteina, ničeg osim klasične fizike. Nema ni galaksija-tek dobrano u 20. stoljeću, sa pojavom velikih teleskopa i upotrebom fotografije u astronomiji, se moglo pouzdano odrediti što (i koliko daleko) su neke od mnogih “maglica” na nebu.

•Dio Kučerinaog teksta, koji se odnosi na izgled neba u našim krajevima tokom godine, bio je praktični priručnik za ljubitelje neba. Danas ćemo umjesto papirne karte neba radije koristiti aplikaciju na pametnom telefonu ili prijenosnom računalu. Glavni problem će nam biti pronaći dovoljno tamno mjesto da vidimo bar najsvjetliji dio zvjezdanog neba iz njegova opisa.

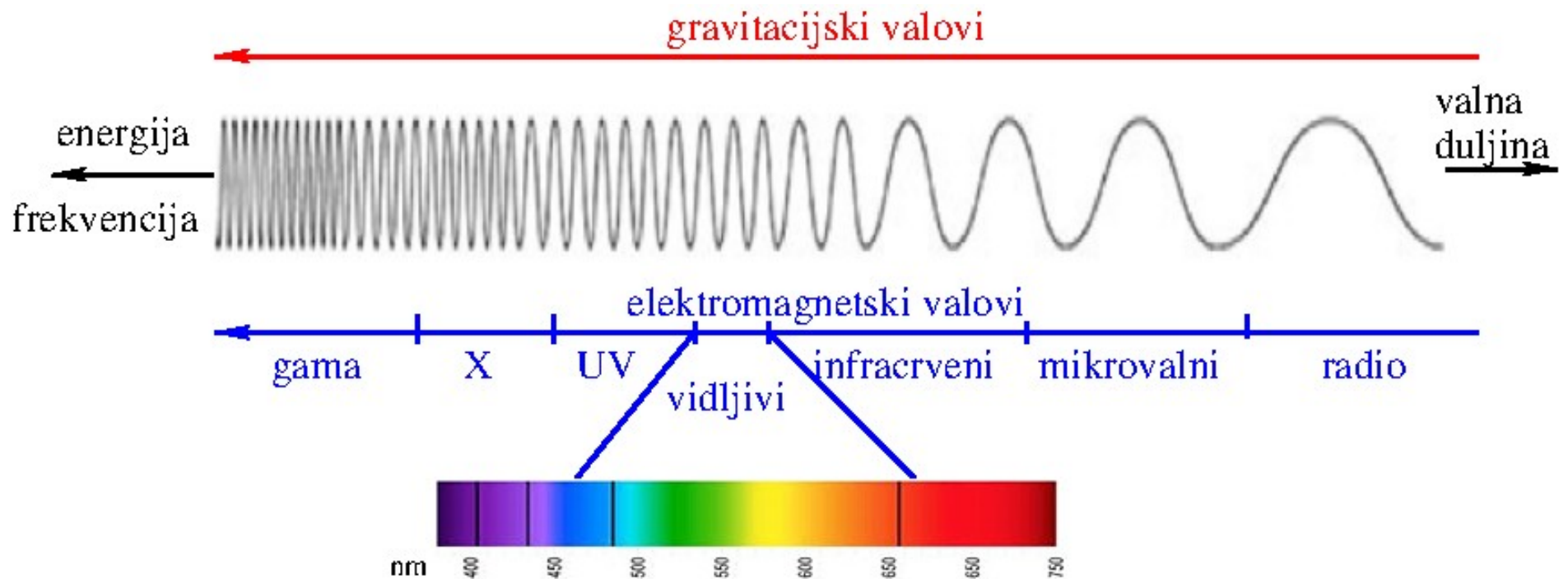
•Dostupnost znanja o nebu i opća naobrazba su ozbiljno porasli od Kučerinih vremena. Svemirska istraživanja su postala domaća tema i nitko se više ne čudi snimkama s površine Marsa ili čak površine komete ili asteroida. Svemirski teleskopi su razmazili suvremenog ljubitelja neba, koji je postao naviknut na prekrasne snimke zvjezdanih jata, maglica i galaksija.

•Zbog senzacionalističkog pristupa informacijama u masovnim medijima, osnove astronomije ponovo postaju manje poznate-ističe se samo “najveće”, “najudaljenije”, “naj...”. U ozbiljnijim tekstovima s objašnjenjima pojava, astronomiju je zamijenila astrofizika sa svojim kompliciranijim pojmovima i nije se lako snaći u labirintu podataka i njihovih tumačenja.

•Napredak je posljednjih godina postao galopirajući, posebno u instrumentaciji, ali ga je moguće pratiti uglavnom na internetu, na engleskom jeziku. Za lakše i sređenije snalaženje u masi novosti, odlučio sam napraviti svojevrсни nastavak klasične Kučerine knjige, koji bi morao olakšati našem čitaocu praćenje daljih pothvata astronoma tokom 20. i 21. stoljeća-i u 22., ne zaboravimo da će danas rođena djeca to doživjeti! Taj napredak je uglavnom temeljen na tehnološkom unaprijeđivanju pa sam pokušao prikazati i osnove na kojima počivaju mjerne metode, da knjiga bude upotrebljiva bar upola toliko vremena nakon izdavanja koliko je Kučerina do sada!

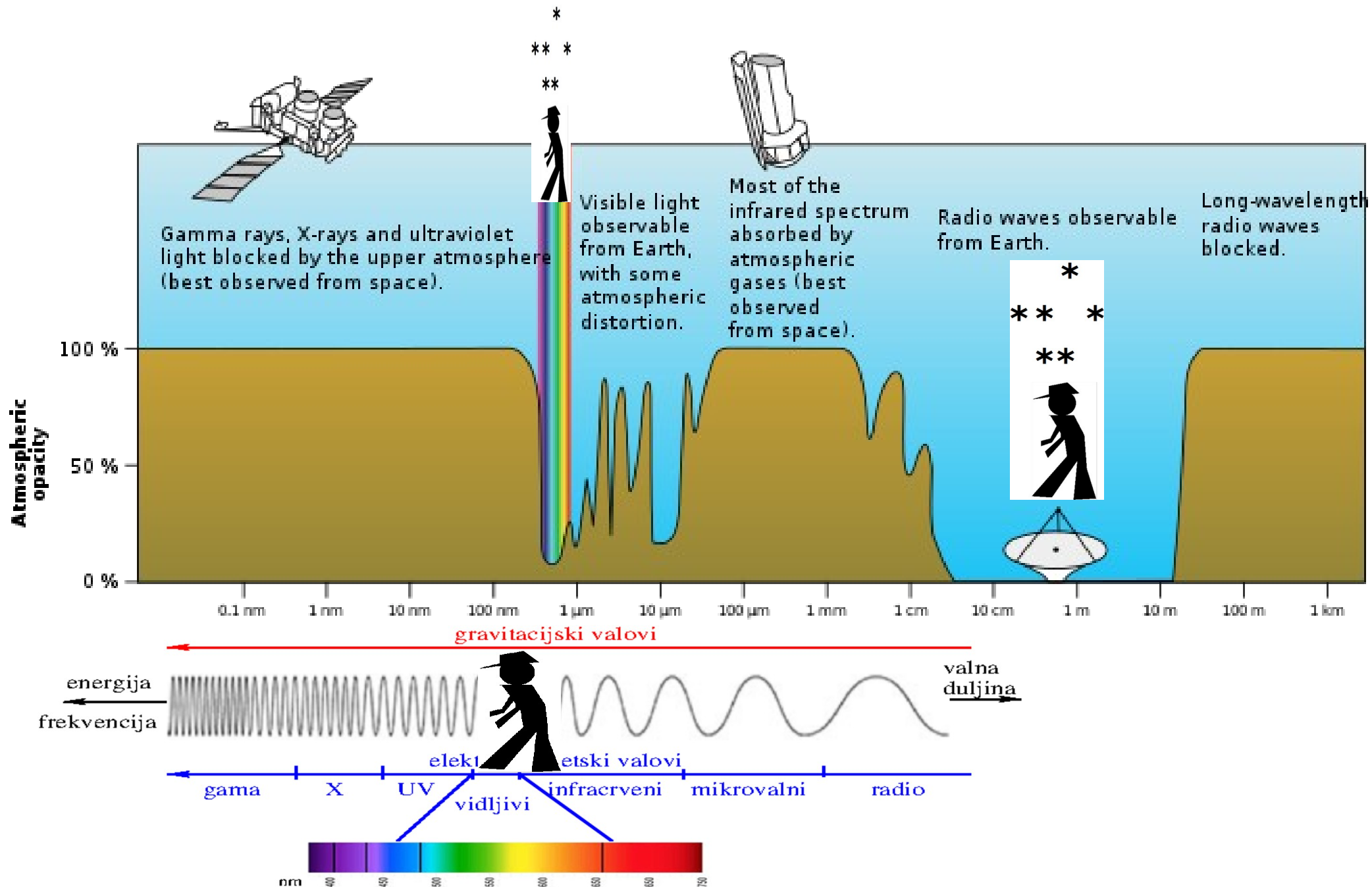


•Astronomski objekti su uglavnom astronomski daleko (osim meteorita), pa je astronomija prvenstveno promatračka znanost. Promatranja u astronomiji vršimo instrumentima koji mjere pojave na različitim valnim duljinama **elektromagnetskog** zračenja, **gravitacijskog** zračenja ili detektorima **čestica** koje do nas dolaze iz svemira ili nastaju u zemaljskoj atmosferi pod utjecajem upadnih čestica ili zračenja iz svemira. Gravitacijski valovi mogu biti bilo koje frekvencije, pokazat ću kasnije i njihov spektar.



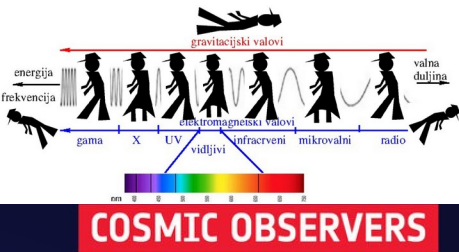
•Cijeli niz instrumenata na tlu prati događaje u dijelovima spektra koje ne apsorbira atmosfera, ali od događanja na višim energijama obično nas (na sreću!) ona štiti, pa za ta promatranja moramo izaći izvan nje. Za preciznija mjerenja, obično je i u dijelovima spektra koje vidimo sa tla, bolje izaći iz nemirne atmosfere i ograničenja koja nam nameće ciklus dana i noći-svemirski teleskop će svakako biti bolje iskorišten jer može raditi 24 sata na dan, bez prekida zbog lošeg vremena ili smetnji zbog prolaska nekog od tisuća umjetnih satelita.

Propusnost atmosfere

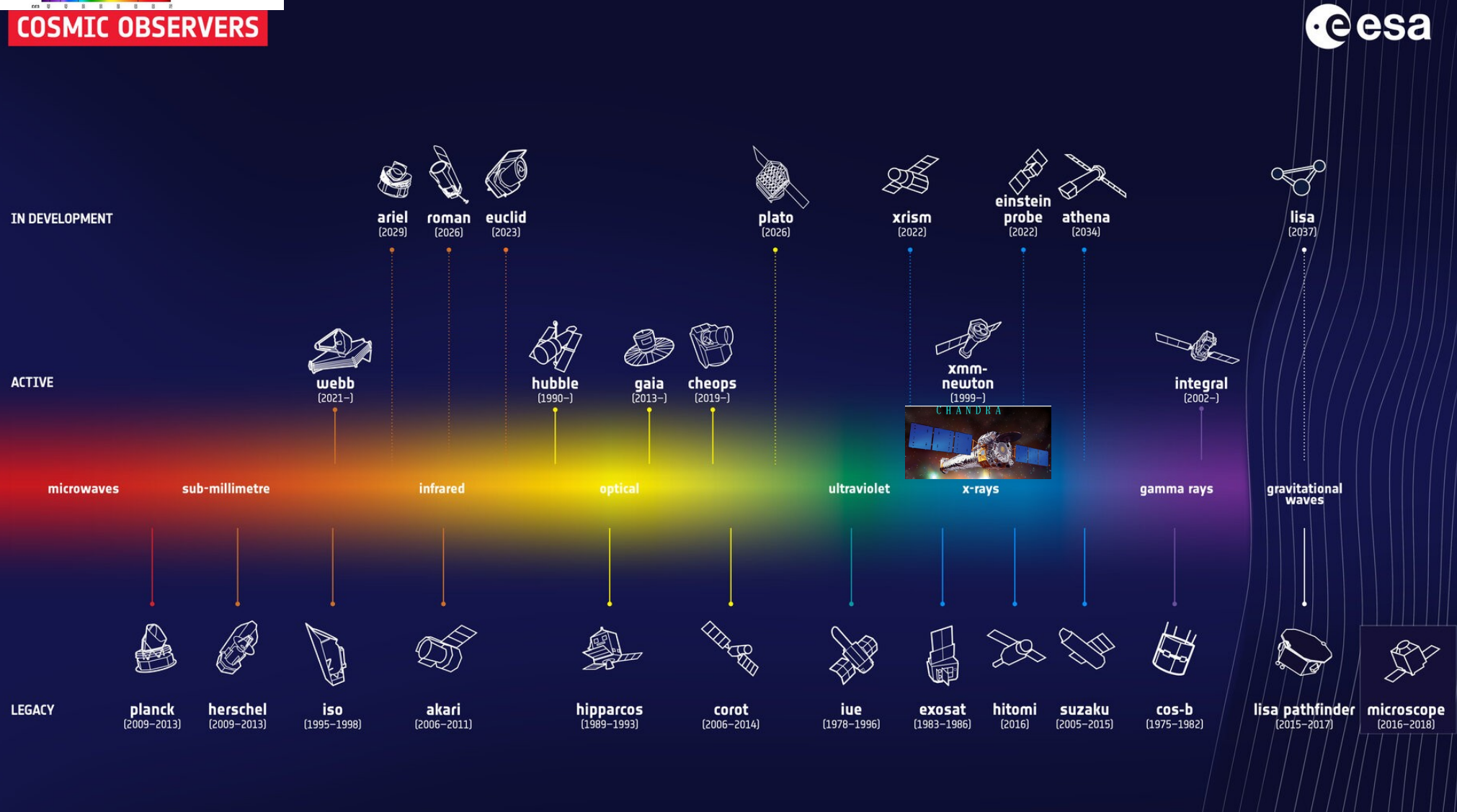


• Atmosfera Zemlje je neprozirna za veliki dio zračenja - zahvaljujući tome smo ovdje, nismo ispečeni zračenjem iz svemira, kao npr. površina Mjeseca ili asteroida, koji nemaju atmosferu.

Prošli, sadašnji i budući svemirski teleskopi



COSMIC OBSERVERS



Svi svemirski instrumenti su automatizirani, kao i velika većina današnjih zemaljskih instrumenata. Ne zbog lijenosti astronoma ili nepristupačnog položaja na vrhovima planina ili u pustinji, nego jer je za potrebne operacije nužna veća preciznost, brzina i pouzdanost od ljudske. Za uspješan rad tog instrumentarija potrebna je precizna karta neba da bi ih se moglo što točnije usmjeriti. Kako preciznost instrumenata raste, mora rasti i preciznost karte neba.

Astrometrija: ESA misije Hipparcos → Gaia



Kučera piše kako je do kraja godine 1888. izmjerena paralaksa, dakle udaljenost direktnom metodom, tek za 34 zvijezde. Opisujući kako veći objektiv teleskopa omogućuje vidjeti slabije objekte, dakle i sve više njih, piše kako bi se te godine dovršenim James Lick teleskopom od 91 cm promjera moralo vidjeti oko 43 **miliona** zvijezda i pita se gdje je tome kraj. Ta brojka je danas na par **triliona** galaksija.

ESA je dala veliki doprinos u astrometriji, konstruiranjem najpreciznijih uređaja za mapiranje neba. Uzastopno je poboljšavana preciznost mjerenja i broj objekata. To omogućava dalji razvoj robotičkih promatranja, koja su osnova za astronomiju više glasnika (multimessenger astronomy).

 Image credit: ESA	 Image credit: ESA/ATG medialab
HIPPARCOS	GAIA
08 Aug 1989	19 Dec 2013
Aug 1993	Normal mission ended on Jul 2019, extended to 31 Dec 2025 (subject to a review in 2022)
Hipparcos mission opens up the era of precision space astrometry. It catalogued over 100,000 bright stars and determined distances to over 20,000 stars with uncertainties of less than 10%.	Gaia has measured the positions of 10,000 times as many stars as Hipparcos with accuracies 100 times higher. It has catalogued almost 1% of all the stars in the Milky Way, and so far has measured parallax-based distances to over 50 million stars with uncertainties of less than 10%.



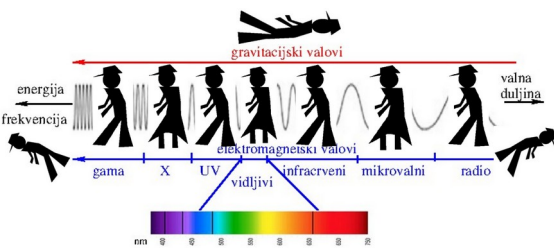


Od Ptolemeja na dalje bilo je mnogo karti neba. Među vama ima onih koji se sjećaju Yale (Bright Star Catalogue, Pickering 1884 i kasnije nadopune, za vidljive objekte do magnitude 6.5) i Dreyerovog NGC (New General Catalogue) katalogizacije (iz 1888, uključuje i objekte slabijeg sjaja, ono što bi danas nazvali “deep sky” objektima) koji je proširio i ujednoličio rad “dinastije” Herschel. To je bilo dovoljno do pojave modernih teleskopa, s razlučivanjem **do lučnih sekundi**, ali s interferometrijom, kad se ide do kutnih mikrosekundi i objekata mnogo slabijeg sjaja, postalo je nedovoljno.

Satelit Hipparcos (1989-1993) je imao za zadatak tokom 2 i pola godine rada precizno izmjeriti položaje (do **2-4 lučne milisekunde**), udaljenosti (paralakse), vlastita gibanja, sjaj i boju zvijezda za 120 tisuća zvijezda. Za dodatnih 400 tisuća zvijezda izvršio je ta mjerenja sa nešto manjom astrometričkom preciznosti (u okviru programa prigodno nazvanog Tycho).

Gaia (2013-) (Global Astrometric Interferometer for Astrophysics-u konačnoj verziji nema interferometra, ali ime je ostalo) tvori vrlo preciznu 3D mapu više od milijarde zvijezda Mliječnog Puta (dakle, oko 1%) i van njega, bilježeći njihovo gibanje, sjaj, temperaturu i sastav. Napravljena je da obradi 10 tisuća puta više zvijezda i uz 100 puta veću preciznost nego Hipparcos. Uz zvijezde, bilježi i parametre planeta, kometa, asteroida i kvazara.

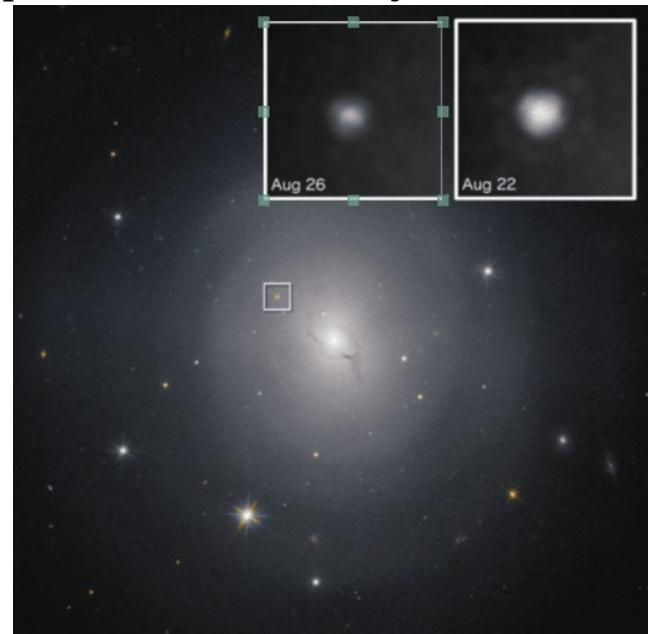
Što znači “velika preciznost”? Za različite zvijezde/objekte nije ista, ali npr. za zvijezde 10-te magnitude i sjajnije od toga, **7 lučnih mikrosekundi**-to je npr. debljina ljudske vlasi sa 100 km udaljenosti. Do 15-te magnitude mjerenja su sa preciznosti 12-25 lučnih mikrosekundi, a do 20-te magnitude 100-300 lučnih mikrosekundi, ovisno o boji zvijezde. Uz astrometriju, napravljena su mjerenja cijele liste kemijskih i fizikalnih karakteristika zvijezda. Gaia je donijela i još donosi, preko specijaliziranih kataloga pojedinih vrsta objekata, revoluciju u astrometriji i katalogizaciji populacija objekata. To je “NGC” za našu djecu i unuke.

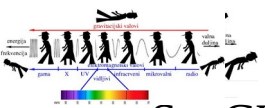


Kad se uoči neki novi događaj na nebu, bitno je sakupiti što više informacija. Kod objekata kao zvijezde, koje svijetle stalnim sjajem, informacije se može sakupljati postupno. Isto tako i za periodički promjenjive zvijezde. Astronomija prethodnih stoljeća je uglavnom prikupljala podatke sa takvih objekata. Od prikupljanja podataka i mjerenja se prelazilo na objašnjavanje onog što je promatrano, pa se od XIX stoljeća može govoriti o astrofizici. Prvi javni **astrofizički** opservatorij bio je otvoren na Babelsbergu u Potsdamu, 1874. god.

- Jednokratni i uglavnom kratkotrajni, bljeskovi kao FGRB (fast gamma ray bursts=brzi bljeskovi gama zraka), eksplozije supernova, stapanje crnih rupa, neutronske zvijezde i slični događaji, traže brzu reakciju i promatranje svim raspoloživim instrumentima. “**Astronomija više glasnika**” je započela nedavno, promatranjima gravitacijskih valova s objekta GW170817, koji je nastao stapanjem dvije neutronske zvijezde. To je bilo tek peto uspješno mjerenje gravitacijskih valova, koje se razlikovalo od prva četiri, u kojima su bile promatrane mnogo (nekoliko desetaka puta) udaljenije sudarajuće se crne rupe-kod toga nema elektromagnetskog traga, pa su astronomi željno čekali stapanje dvije neutronske zvijezde, gdje se očekuje i el.mag. zračenje:

NGC 4993 sa stapanjem 2 neutronske zvijezde, GW170817, trajanje oko **100 s**

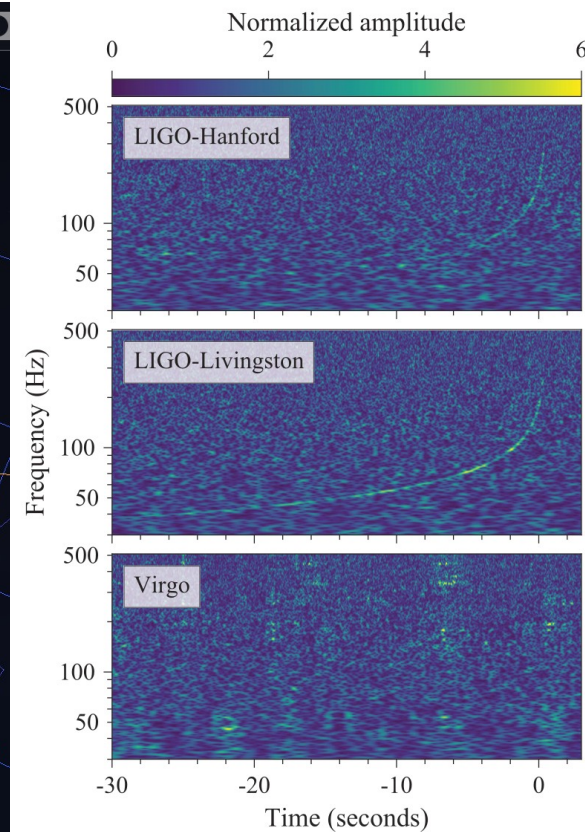


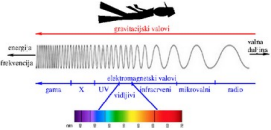


Astronomija više glasnika

Sa GW170817 je gotovo istodobno (svega 1.7 sekunde kasnije) sa gravitacijskim, izmjereno i visoko-energetsko gama zračenje (GRB 170817A, gdje GRB znači “gamma-ray burst”, tj. provala gama zračenja), u skladu sa predviđanjima iz modela.

Optički teleskopi su uočili signal 11 sati kasnije. Karakteristike i vrijeme stizanja različitih signala (koji svi putuju brzinom svjetlosti, ali lokalna emisija zračenja na različitim valnim duljinama zahtijeva različita vremena) su sa velikom točnosi potvrdili postojanje gravitacijskih valova i fizikalne modele promatranih objekata. GW170817 se nalazi u zviježđu Hidre, u galaksiji NGC 4993, udaljenoj 130 miliona svjetlosnih godina. To je bilo **prvo istovremeno promatranje gravitacijskog i elektromagnetskog zračenja s istog objekta, rođenje nove metode u astronomiji.**





Spomenuli smo gravitacijske valove kao najnoviji dodatak astronomskom instrumentariju, pogledajmo prvo njih malo detaljnije, dok smo još svježiji. Mjerenje gravitacijskih valova je, zbog brojnih smetnji, vrlo kompliciran proces sa mnogim pretpostavkama i kompliciranom statističkom obradom. **Često bez dodatne potvrde u elektromagnetskom dijelu spektra nije moguće precizno odgovoriti na pitanje kakvi objekti su se sudarili i radi li se uopće o stvarnom događaju ili statističkoj slučajnosti.** Naknadna analiza je mnogo preciznija ako se zna o kakvim objektima se radi, a to možemo doznati ako ih promatramo drugim teleskopima, u elektromagnetskom dijelu spektra i detektorima čestica.



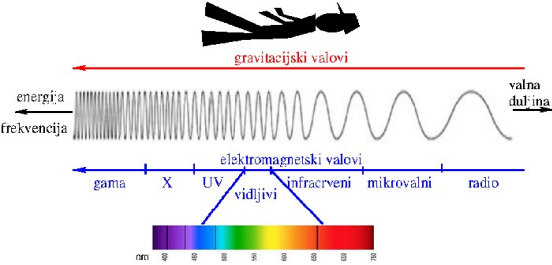
Ova slika je poznata iz starijih udžbenika. Joseph Weber je u pionirskom radu 1960-tih prvi pokušavao izmjeriti gravitacijske valove rezonantnim valjkom. Tvrdio je da je uspio, ali drugi to nisu uspjeli ponoviti. Kasnije je ocijenjeno da je osjetljivost njegovog uređaja bila premala.

Njegov trud ipak nije bio uzaludan, jer se praktično prišlo rješenjima problema i vjerojatno je on svojim pokušajem ubrzao taj razvoj.

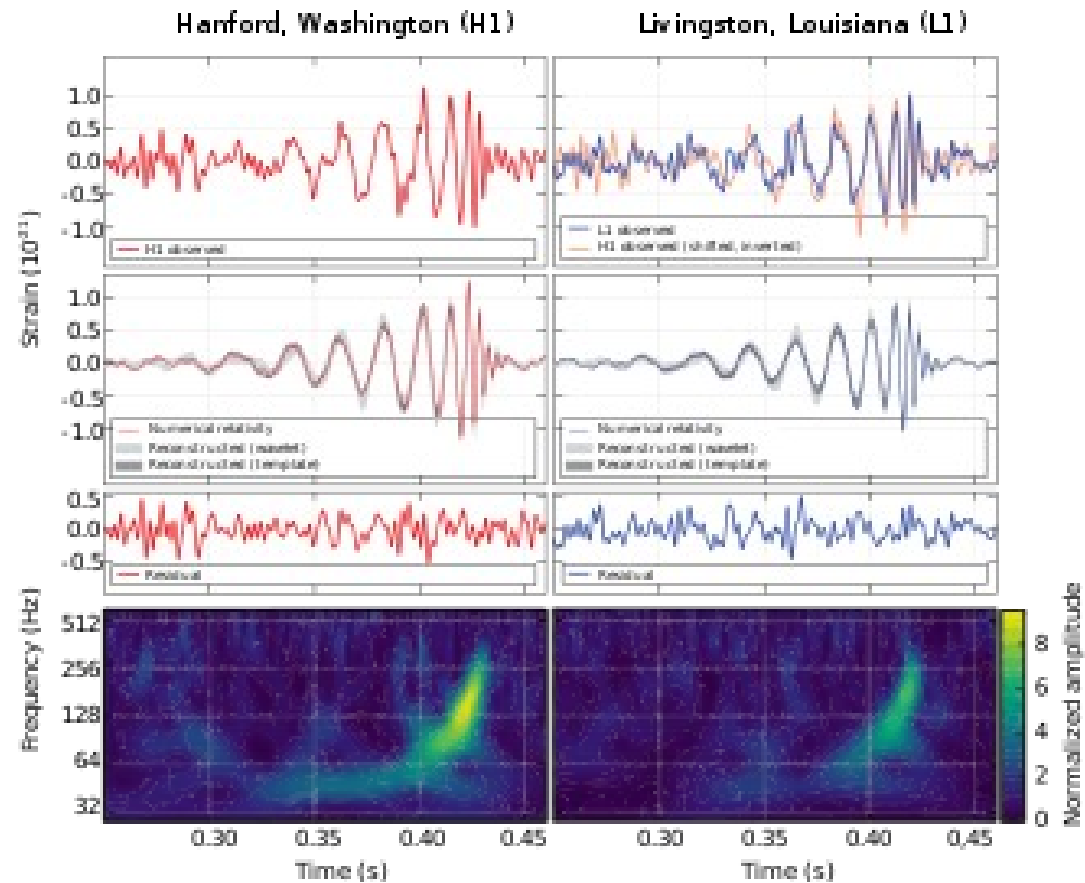
Robotizacija i umrežavanje instrumenata su nužni za astronomiju više glasnika, što traži novu infrastrukturu i nove modele suradnje među istraživačkim organizacijama i centrima. Na istraživanja u elektromagnetskom dijelu spektra, sada su nadodana i mnogo zahtjevnija promatranja gravitacijskih valova.

- Sad znamo koje je najnovije područje u astronomiji. Prošetat ćemo unatrag kroz stoljeće nakon Kučerinovog teksta, i kroz trenutno stanje stvari, s naznakama razvoja u idućih nekoliko desetljeća.

Gravitacijski valovi

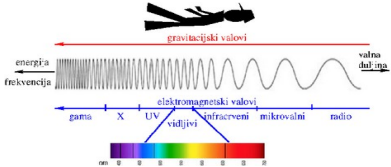


Prvo direktno promatranje gravitacijskih valova bilo je posljedica stapanja dvije supermasivne crne rupe, GW150914, trajalo je oko 0.4 s.



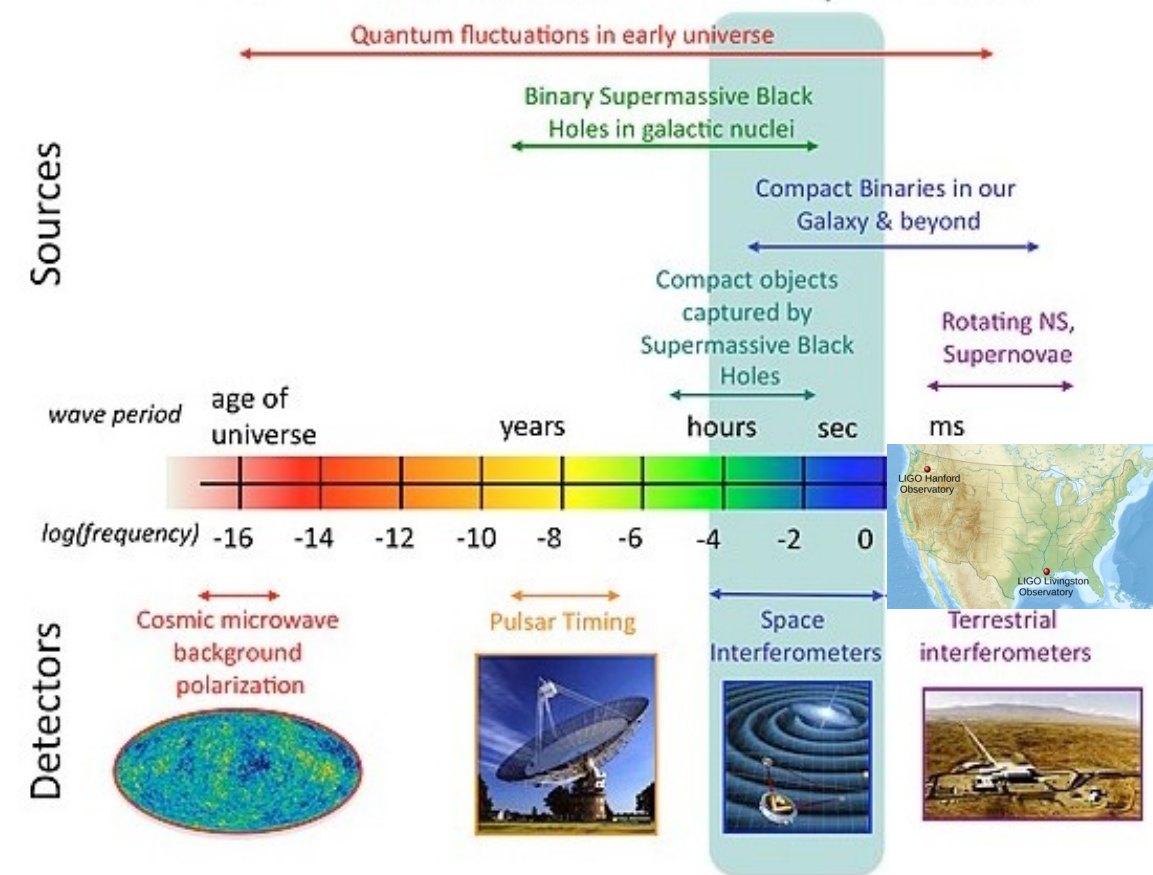
Ono što je bitno razumjeti u mjerenju gravitacijskih valova je da se radi o događajima na velikoj udaljenosti, u kojima učestvuju ekstremno gusti objekti. Njihovo međudjelovanje je kratko ali snažno-za sada možemo mjeriti samo najjače signale, dakle one emitirane pri sudaru ili stapanju takvih objekata. Uz veću preciznost mogli bi mjeriti i promjene na njima zbog brze rotacije i slično. U slučaju pulsara to izgleda ovako: negdje u Galaksiji, stotine ili tisuće svjetlosnih godina daleko, se vrlo brzo vrti oko svoje osi supergusta zvijezda promjera Zagreba i mi želimo, na Zemlji, izmjeriti gravitacijske valove emitirane zbog njene vrtnje ili neravne površine-”planine” na takvoj zvijezdi su veličine milimetra!

Spektar gravitacijskih valova



•LIGO u SAD čine dva interferometra sa krakovima od 4 km. Kasnije im je dodan još jedan u Italiji, VIRGO, pa se moglo bolje odrediti položaj izvora na nebu. Dodatkom KAGRA u Japanu i Indigo u Indiji, to će se još poboljšati. GEO600 u Njemačkoj je više razvojni i testni instrument, nije dovoljno osjetljiv za promatranja. Osnova rada tih detektora je vrlo precizno mjerenje udaljenosti; kako gravitacijski val prolazi preko instrumenta, udaljenost se mijenja i treba tu promjenu izmjeriti-preciznost jedne stomilioninke promjera atoma. Promjene duljina u okomito postavljanim laserskim zrakama mjere prolaz gravitacijskih valova od udaljenih događaja u kojima sudjeluju (astronomski) velike mase.

The Gravitational Wave Spectrum

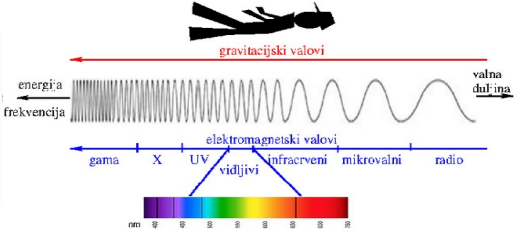


Kao za elektromagnetsko zračenje, i za gravitacijske valove možemo govoriti o spektru, koji je vrlo rastegnut:

LIGO:10-1000 Hz,

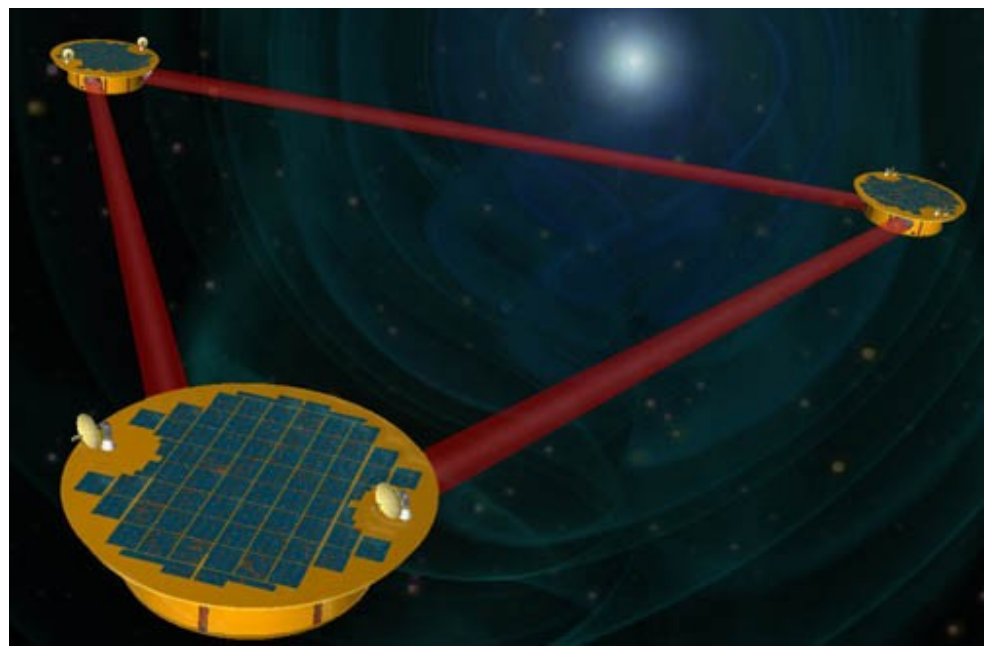
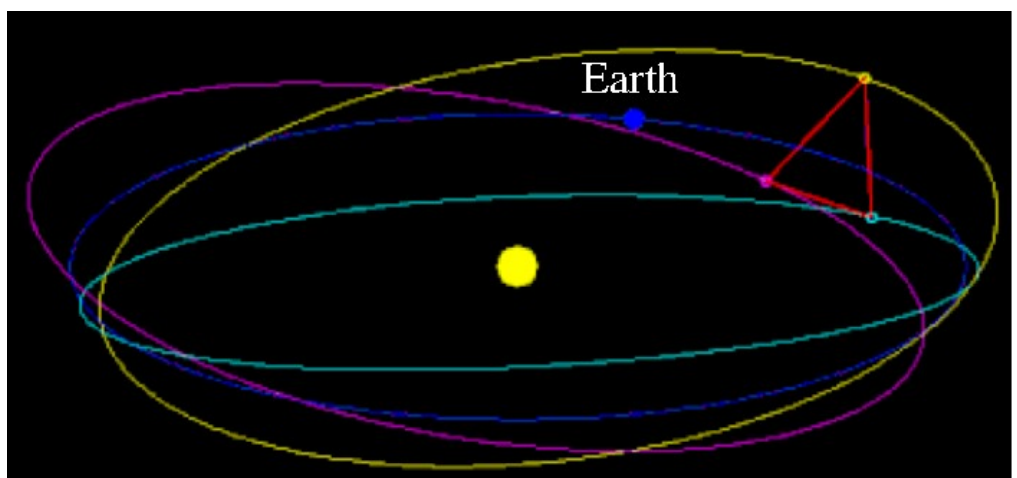
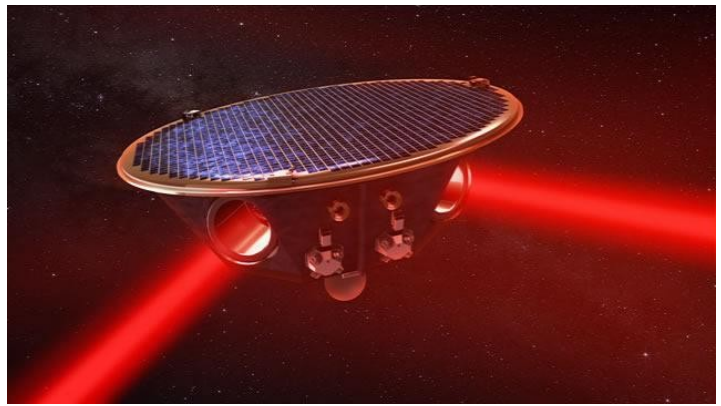
LISA:0.1mHz-1Hz, dulji valovi, dakle za rastegnutije i masivnije objekte (ultra-compact binaries, SMBH mergers, exotics).

Gravitacijski valovi-LISA

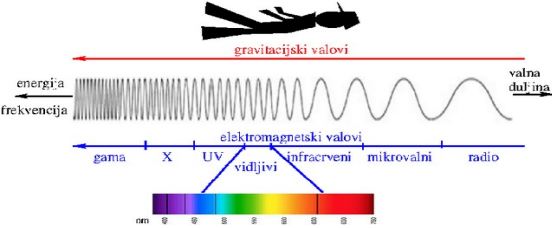


Interferometar u svemiru će izbjeći mnoge zemaljske probleme, ali oni u svemiru isto nisu mali. Prije svega, nije moguće riješiti problem odmah čim se pojavi, treba doći do instrumenta!

- Za dokazati da smo tehnološki i tehnički sposobni za to, poslana je misija LISA Pathfinder (2015-2017). Očekivana preciznost-smanjenje šuma-je nadmašena oko 100 puta!
- ESA (+NASA i međunarodni konzorcij) planira 2030-ih poslati eLISA, (evolved Laser Interferometer Space Antenna), sa ogledalima interferometra postavljenim u istokračni trokut stranica 2.5 miliona km u heliocentričnoj orbiti bliskoj Zemlji. Princip mjerenja je kao i kod zemaljskih, Michelsonov interferometar.



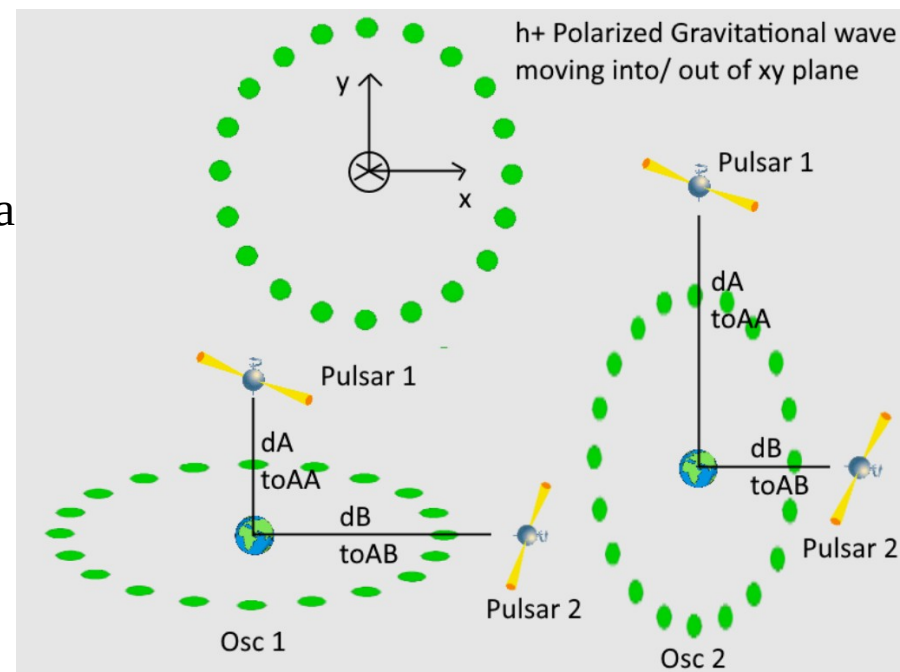
Gravitacijski valovi-PTA, polarizacija

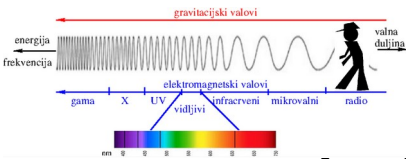


Za precizno mjerenje prolaza gravitacijskog signala možemo mjeriti i promjene u signalu sa više milisekundnih pulsara, brzo rotirajućih neutronske zvijezde. Pulsari su vrlo precizni satovi. Rotirajući snop zračenja s njihove površine nas “pogađa” pri svakoj rotaciji, a rotiraju s periodom od oko tisućinke sekunde.

•Ako između pulsara i nas prođe gravitacijski val, mjerit ćemo drugačije vrijednosti pulseva. Izmjerimo li korelaciju promjene signala sa više pulsara, možemo odrediti kako je izgledao gravitacijski val koji je prošao, i otkuda je emitiran. To je princip PTA (Pulsar Timing Array). Iskorištena je mreža postojećih radio-teleskopa.

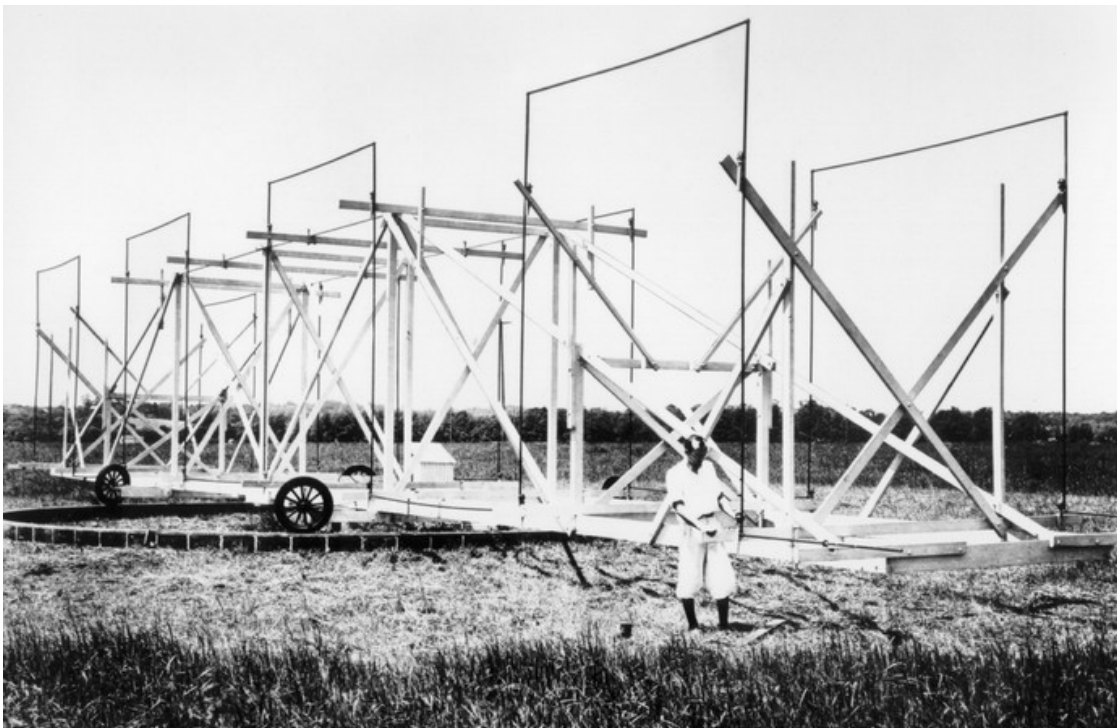
•Mjerenje polarizacije pozadinskog zračenja je još jedan način. S prolaskom gravitacijskog vala, mijenja se polarizacija mikrovalnog zračenja. To se može iskoristiti na velikoj skali, za kozmološke studije.



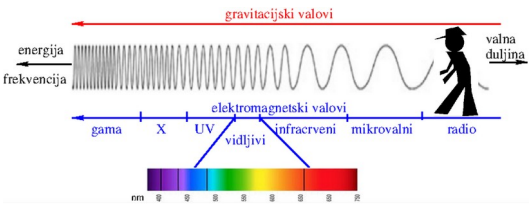


Krenimo od nižih prema višim energijama-dakle od nižih prema višim frekvencijama elektromagnetskog zračenja. Toliko smo naviknuti na slike radio-teleskopa i radio astronomiju da bi se činilo neprikladnim uvrštavati ju u “modernu” astronomiju, ali činjenica da je njen ozbiljni razvoj započeo tek nakon 1950-te, podsjeća nas da smo tek na početku razvoja znanosti.

- Tokom XIX st. pokušavalo se izmjeriti očekivano el.mag. zračenje sa Sunca. Npr. Oliver Lodge iz Liverpoola je 1895 želio provjeriti nisu li novootkriveni elektromagnetski valovi (Heinrich Hertz 1888) emitirani sa Sunca, ali nije ništa izmjerio osim-već tada!-smetnji od prolazećih tramvaja i električnih uređaja. Zaključio je da bi nova, osjetljivija mjerenja, trebalo izvesti podalje od gradskih smetnji.
- Začetnik radio-astronomije bio je Karl Jansky. 1 Jansky= $1\text{Jy}=10^{-26}\text{ W}/(\text{m}^2\text{ Hz})$ je jedinica spektralne gustoće toka energije elektromagnetskog zračenja u radio području (**“Radio” područje je na valnim duljinama >3m**), uočimo vrlo malu brojku, 10^{-26} Watta po metru kvadratnom, sunčevo zračenje kroz naše prozore je $1.36\text{ kW}/\text{m}^2$.



Radio-astronomija

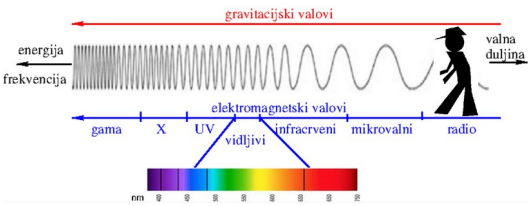


Prvo sistematsko pretraživanje svemirskih radio valova napravio je Grote Reber, radio-tehničar i radio-amater, ali i astronom-amater, koji je spojio svoja dva hobija i 1937. konstruirao prvi parabolični teleskop (9 m promjera) u dvorištu iza svoje kuće. Desetak godina je Reber bio jedini radio-astronom na svijetu! Prvo je probao na 3300MHz i nije detektirao nikakav signal iz svemira, kao ni na 900 MHz, ali na 1300 MHz je konačno bio uspješan i potvrdio je Jansky-jeve rezultate. Također je otkrio neslaganje promatračkih rezultata s teorijskim: prema do tada važećoj teoriji, gdje se mislilo da radio signal emitiraju vruća tijela, prema zakonu zračenja crnog tijela, većina radio signala bi morala biti visokih energija. Promatranja su pokazivala obratno, znatan dio radio signala je bio niskih energija i sve do otkrića sinhrotronskog zračenja (od gibanja relativistički brzih elektrona u magnetskom polju) 1950-tih nismo razumjeli zašto. Reber je napravio prve radio mape neba.



Nakon 2. Svjetskog rata, zahvaljujući razvoju radara tokom rata, radio tehnika i elektronika su se ubrzano razvile i era radio-astronomije je započela. Najpoznatije iz tog dijela astronomije je bilo otkriće već spomenutih pulsara (1967), brzo rotirajućih neutronske zvijezde.

Veliki radio-teleskopi



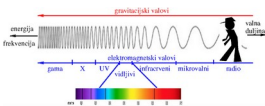
Krajem 2020 urušio se Arecibo teleskop na Puerto Rico, koji je sa 1000 stopa (305 m) promjera od 1963., kada je izgrađen, bio najveći radio-teleskop na svijetu. Tek 2016. godine ga je pretekao FAST (Five-Hundred-Meter Aperture Spherical Telescope) teleskop u Kini, koji je 500 m promjera. FAST ne može raditi kao radar, kao Arecibo, dakle ne može npr. mapirati površinu Venere, ali veća površina omogućava veću osjetljivost i sasvim sigurno ćemo njime vidjeti mnogo zanimljivih novih rezultata.

ARECIBO



FAST

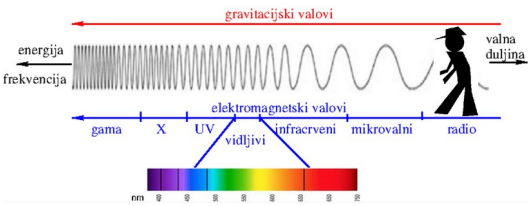




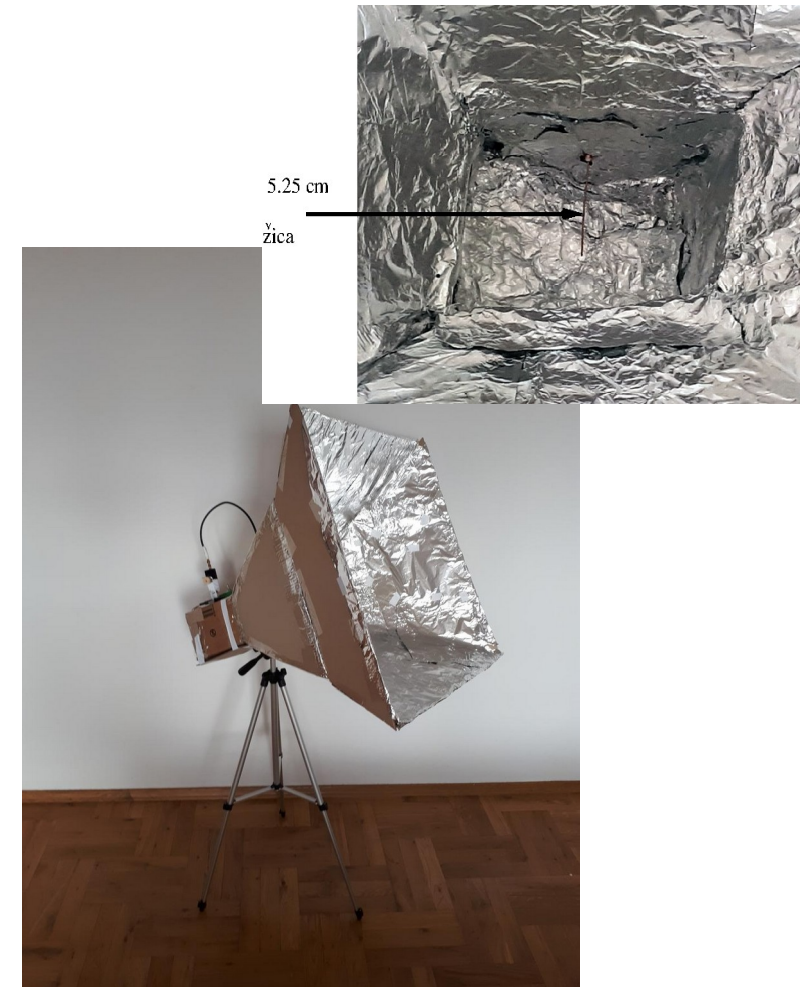
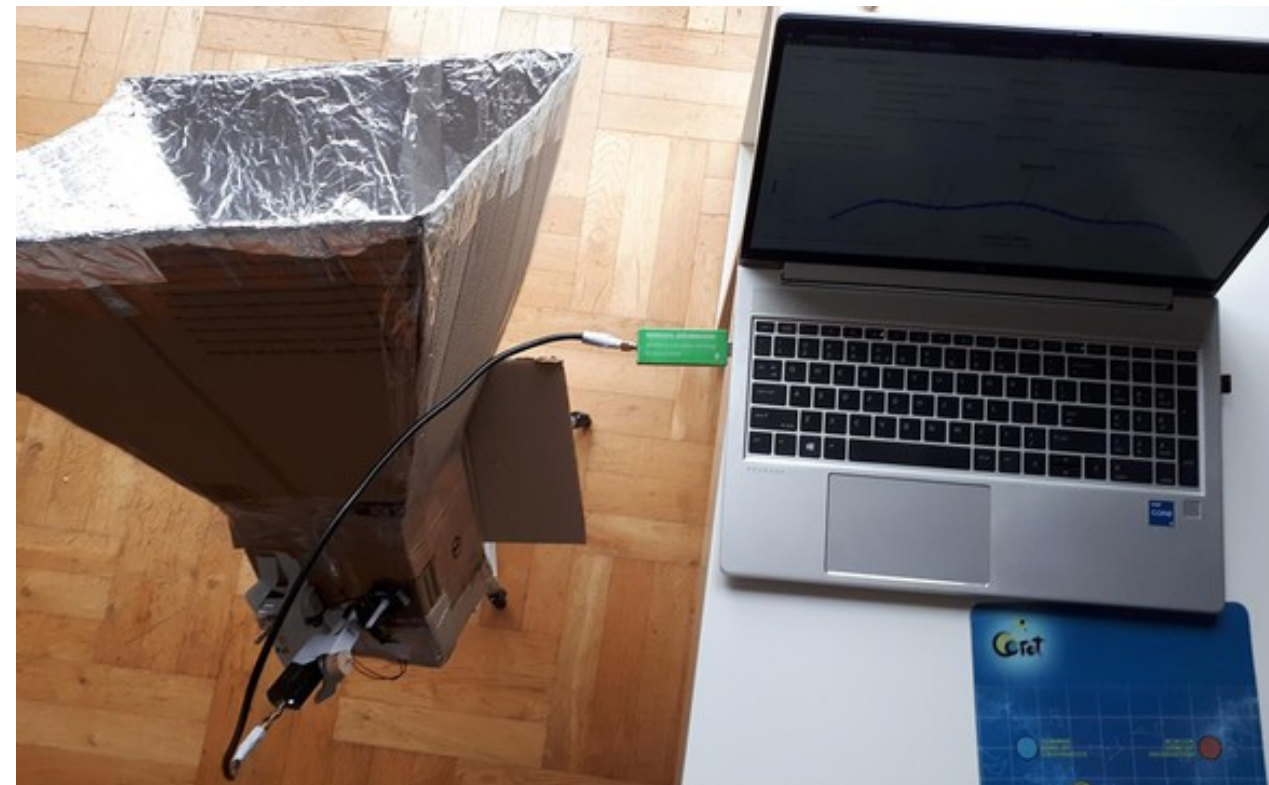
Budućnost radio-astronomije

- Mjerenja svemirskog elektromagnetskog zračenja ispod 100 MHz je izuzetno teško sa Zemlje zbog opće buke od umjetnih i prirodnih izvora, a bilo što ispod 30 MHz je praktički nemoguće izmjeriti, zbog apsorpcije u ionosferi. Zbog pomaka prema crvenom, informacije o prvih milijardu godina razvoja Svemira dolaze nam upravo pri tim frekvencijama, ali signal je 100 000 puta slabiji od onog što dolazi od naše Galaksije na istim frekvencijama pa je mjerenje vrlo teško.
- Era svemirskih radio teleskopa nije dobro ni započela, a već se mora baviti pitanjem “zagađenja” najtiše potencijalne lokacije: tamne strane Mjeseca. Istraživanja, a zatim iskorištavanje Mjeseca, bi mogla uskoro uništiti jedinstvenost koju bi za radio-astronomiju pružale tamo smještene opservatorije: nigdje drugdje u Sunčevu sustavu nije moguće biti tako stalno zaštićen od elektromagnetskog zagađenja kao na tamnoj strani Mjeseca. Na Zemlji, najveća zona bez elektromagnetskog zračenja oko radio-teleskopa je Murchison Widefield Array u Zapadnoj Australiji, radijusa od oko 500 km, ali prirodni okoliš postavlja svoja ograničenja.
- Chang-4, Kineska sonda koja se spustila na tamnu stranu Mjeseca 2019 imala je mali radio-teleskop i prvi su obavili promatranja sa tamne strane, ali antena nije bila optimizirana za kozmološka promatranja, pa je sama sonda proizvodila šum koji je spriječio takva mjerenja.
- NASA planira misiju LuSee-Night koja bi na tamnoj strani Mjeseca postavila dvije 3-metarske dipolne antene u križ, za mjerenja “kozmičke zore” (Cosmic Dawn), za koju se pretpostavlja da bi mogla nositi informaciju o prvim zvijezdama u svemiru. Jedini način za spriječiti elektromagnetske smetnje sonde je potpuno ju isključiti i pogoniti radio-teleskop baterijama (punjenim solarnim ćelijama u dvotjednim razmacima kad je ta strana Mjeseca osunčana) i elektronikom sa dobro poznatim-i stabilnim-izvorima šuma, tako da ih se može pouzdano isfiltrirati pri obradi podataka.

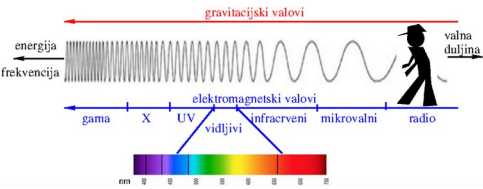
Slušanje svemira komadićem žice: amaterska radio-astronomija



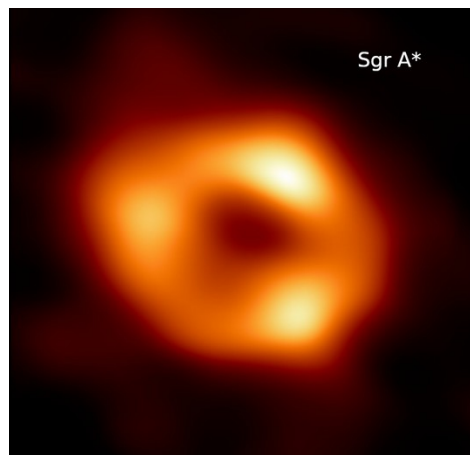
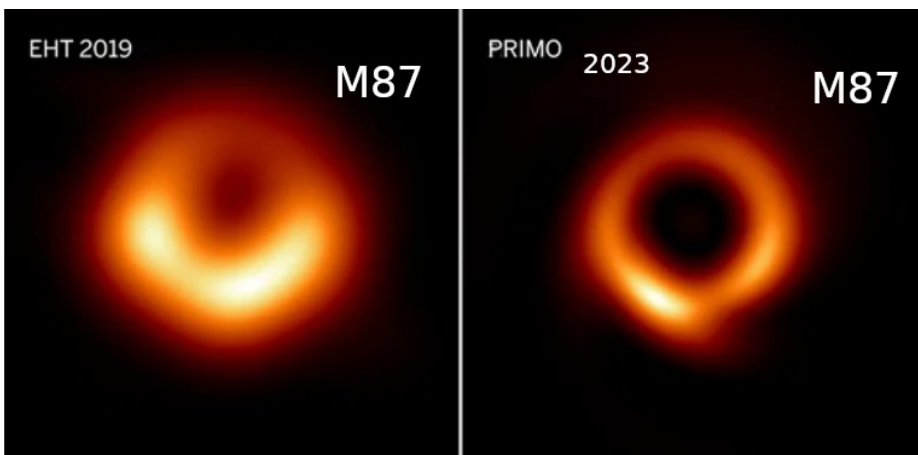
Krajem 1980-tih, u srednjoj školi, htio sam napraviti radio-teleskop. Ostalo je samo na želji- iako nisam točno ni znao, tada bi to još bilo preskupo. Danas više nije, zahvaljujući razvoju SDR (Software Defined Radio): iako je koncept smišljen 1980-tih, tek pred desetak godina, kad je uočeno da se sveprisutni prijemnik za satelitsku TV može iskoristiti kao uređaj za prijem na cijelom radio-spektru, počela je cijena padati. Danas se takav prijemnik može kupiti za 30 EUR- jedan primjerak je pokazan na slici dolje, u zelenom kućištu, spojen na laptop preko USB, i koaksijalnim kablom na pojačalo (30 EUR) i rog-antenu napravljenu u kuhinji, od kartona i alu-folije. To je prototip zahvaljujući kojem se konačno možemo pohvaliti da, nakon gotovo 100 godina od početaka radio-astronomije, imamo prvi radio teleskop u Hrvatskoj!



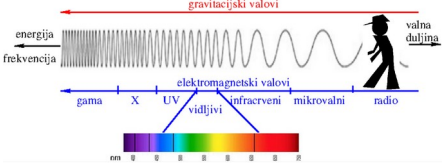
EHT mreža teleskopa



- EHT (Event Horizon Teleskop) je globalna mreža radio teleskopa u različitim dijelovima el.mag. spektra. 2019. je ta kolaboracija postigla svoj glavni cilj: dobili su sliku sjene crne rupe u centru galaksije M87-to je uvelike doprinijelo Nobelovoj nagradi iz Fizike za 2020. Kasnije su napravili sličnu za Sgr A* u centru naše Galaksije, koja nam je mnogo bliža, ali je i mnogo manja pa su ju obradili kao drugu metu.



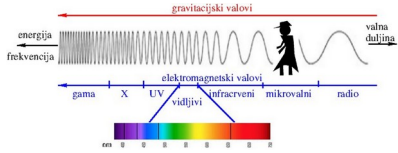
Astronomija u milimetarskom dijelu spektra



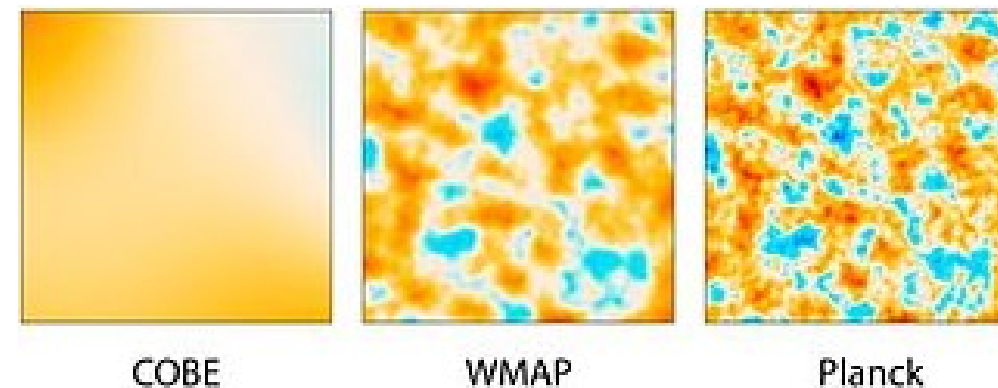
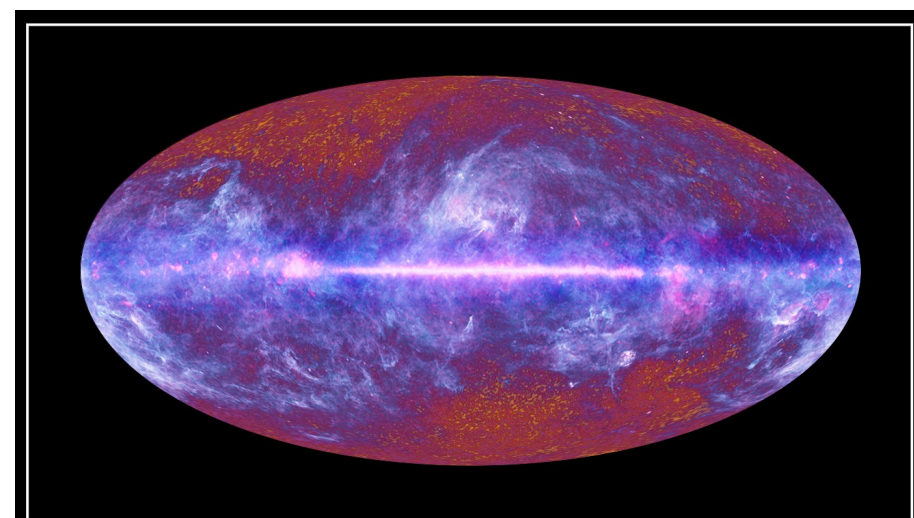
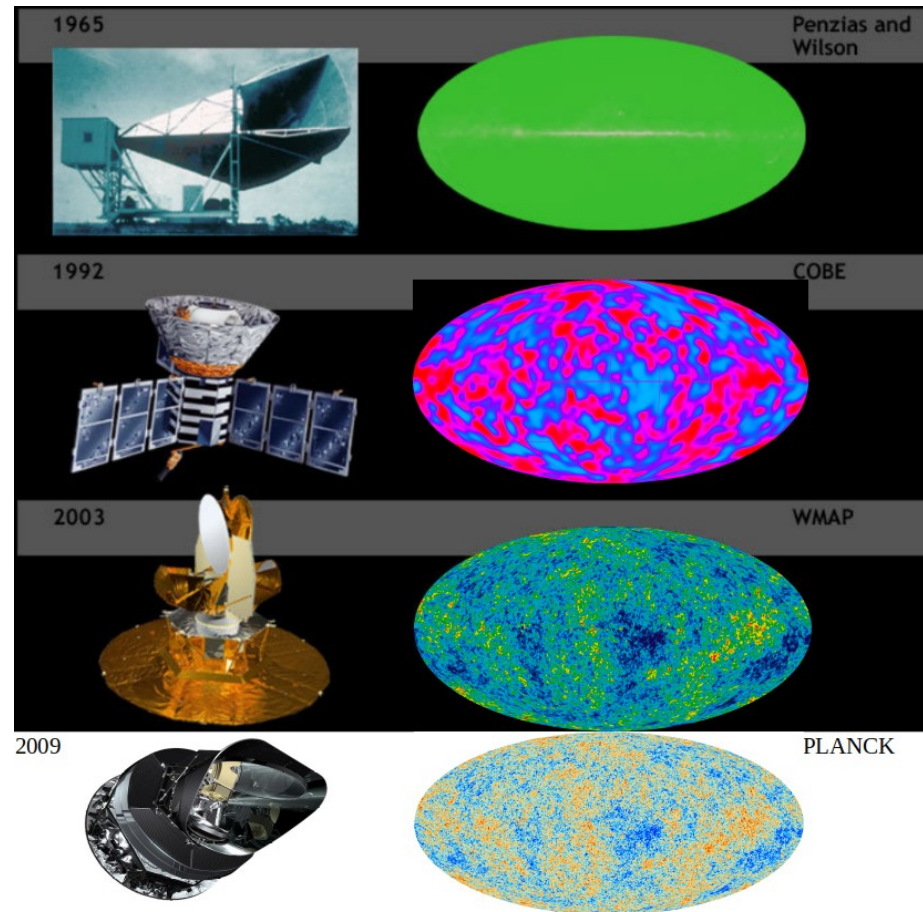
- Nakon klasičnog radio dijela, slijedi milimetarski dio spektra, **0.85 do 4 mm**. Dolje je jedan manje poznati primjer teleskopa iz EHT kolaboracije, LMT (Large Millimeter Telescope, 2011) u Meksiku, najveći u mm području. Smješten je na 5-om po visini vrhu Meksika, ugaslom vulkanu Sierra Negra, na 4850 mm. Tanjur promjera 50m ima multi-fokalne plohe različitih namjena, kao i cijelu seriju detektora
- U optičkom području teleskopima vidimo vrući svemir, npr. zvijezde su obično na par tisuća cels, a u mm radio području vidimo “hladni”, na oko -250 C.



Astronomija u mikrovalnom dijelu spektra



Mikrovalni dio spektra: **1 mm do 0.3 m** specifičan po tome da cijelo nebo jednoliko zrači, nema točkastih objekata.: Penzias i Wilson su (1965) pomoću rog-antene, koja pomaže smanjiti šumove, slučajno našli pozadinski signal koji nisu mogli objasniti. Pošto je dolazio iz svih smjerova jednako, nije se mijenjao kako god okretali antenu, pa su mislili da se radi o nekom šumu u njihovom uređaju. Na kraju se pokazalo se da se radi o stvarnom signalu, ehu Velikog Praska, koji je početno bio u vrućem, rendgenskom dijelu spektra, ali danas je, zbog Dopplerovog efekta i pomaka prema crvenom, u mikrovalnom dijelu spektra. Sateliti COBE (1989-1993, Nobel 2006) i WMAP (2001-2010) su izmjerili **pozadinsko zračenje** preciznije i pokazalo se da nije jednoliko-desno su slike cijelog neba. Zadnje mjerenje je napravljeno sondom PLANCK (2009-2013), sa rezolucijom 3 puta boljom od WMAP, a imao je i više, 9 pojasa mjerenja, u odnosu na WMAP-ovih 5, dakle moglo se bolje razlučiti rezultate po frekvencijama-time se može bolje iz rezultata ukloniti utjecaje bližih izvora, npr. iz naše Galaksije.

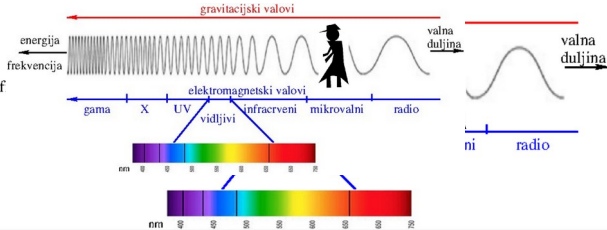


COBE

WMAP

Planck

Astronomija u mikrovalnom dijelu spektra

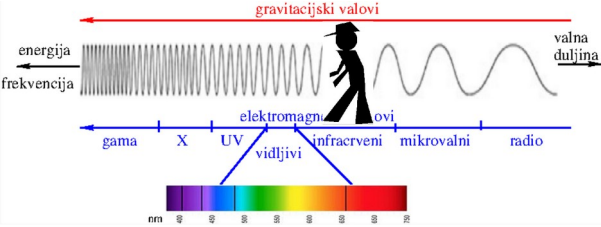


Takva mjerenja se koriste za provjeru teorija postanka svemira i velikih struktura u njemu. Prema standardnoj kosmologiji, ovi rezultati pokazuju snimku svemira u momentu kad se dovoljno ohladio od Velikog Praska da bi elektroni i protoni mogli stvarati vodikove atome (=rekombinacija). Svjetlo više nije bilo raspršeno na slobodnim elektronima (Comptonovo raspršenje), pa je zračenje moglo izaći-to se dogodilo oko 380 000 godina nakon Velikog Praska, pri temperaturi svemira od oko 3000 K. Od tada, zbog širenja svemira, pomakom prema crvenom je to od rendgenskog zračenja (pri visokim temperaturama X-zračenje imamo) došlo prema radio, na mikrovalno.

Za mikrovalnu astronomiju, teleskope moramo postaviti na visoka i suha mjesta: ALMA raspored antena u pustinji Atacama u Čileu (lijevo). Manje je poznato da i Evropa ima što za reći: NOEMA u Francuskim Alpama na 2500m, Plateau de Bure, je najveći opservatorij u Evropi. Ovdje se 9 (biti će ih 12) antena od 15 m promjera može premještati u promjeru 1.7 km i u interferometrijskom načinu rada mjeriti s rezolucijom 0.1 kutne sekunde na 350 MHz. U kombinaciji sa 30 m širokokutnim radio-teleskopom IRAM u Španjolskoj, dio je globalnog rasporeda EHT.



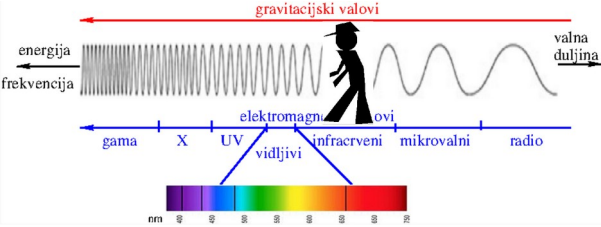
Astronomija u infracrvenom dijelu spektra



Infracrveni dio spektra: **700nm-1mm**

- Odavno se znalo da vatra proizvodi nevidljivo toplinsko zračenje, a još 1681. je Edme Mariotte, francuski eksperimentator i istraživač, pokazao da staklo, iako propušta svjetlo, ometa toplinu sučevih zraka. Astronom William Herschel je 1800. pronašao “calorific rays=kalorifske zrake”, uočivši da se, kad obasjamo termometar različitim bojama iz spektra iza prizme kroz koju propuštamo sunčevu svjetlost, temperatura mijenja. Mjerena temperatura je ovisila više o materijalu prizme nego sunčevom zračenju, ali najviša temperatura je bila u području iza crvene svjetlosti, što je Herschel ispravno protumačio kao postojanje zračenja sa Sunca u nevidljivom, infracrvenom dijelu spektra.
- Tokom 19-og stoljeća izmjereno je infracrveno zračenje sa Mjeseca i najsjajnijih zvijezda kao Vega i Arktur (Crookesovim radiometrom, 1873), a kasnije, bolometrom (1878, Langley, s temperaturom se mijenja otpor) i termočlankom (Seebeck, 1821, promjene temperature uzrokuju promjene napona) to postaje moguće i za slabije objekte.
- Infracrvene zrake prodiru kroz gusti plin i prašinu, gdje je vidljiva svjetlost apsorbirana ili reflektirana, pa nam astronomija u infracrvenom dijelu spektra može pružiti saznanja o npr. rođenju zvijezda, koje je obično sakriveno za optičke teleskope gustim oblacima materije iz koje se zvijezde rađaju.

Astronomija u infracrvenom dijelu spektra



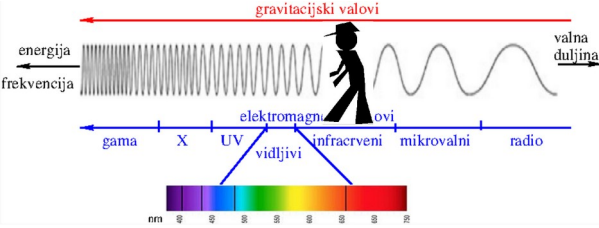
Za infracrveni dio spektra pogodna su ista ogledala kao za optičke teleskope, problem je u detektorima: da bi mogli mjeriti niske temperature (i male razlike temperatura), moraju biti ohlađeni na još niže temperature, inače bi tvorile šum mnogo jači od (vrlo dalekog) signala. Također, moraju biti van utjecaja atmosfere, koja apsorbira infracrveno zračenje. Zato su prvi teleskopi bili postavljeni visoko u planinama ili nošeni balonima, raketama, avionima, što više u atmosferi. Dolje je SOFIA (Stratospheric Observatory for Infrared Astronomy, 2010-2022), misija na modificiranom Jumbo Jetu (Boeing 747, do 12km visine) sa 2.5m ogledalom. To je bio nastavak sličnih programa iz 1960-tih, na avionima Lockheed.



Prvi svemirski infracrveni teleskop bio je IRAS, sa 22 in (57cm) ogledalom, poslan 1983 i radio je 10 mjeseci-toliko vremena je trajao plin za hlađenje (tekući helij) koji je poslan uz njega. To je bilo dovoljno za promatranje oko 250 tisuća objekata. Dodatno, Spacelab 2 projekt na NASA Space Shuttle-u "Challenger" je 1985. ponio 6 in (15.2cm) infracrveni teleskop IRT, kojim je promatrano oko 60% diska naše Galaksije. 1995-1998 je radio Infrared Space Observatory (ISO), sa 60cm teleskopom, u suradnji ESA sa NASA i Japanom. WISE (Wide-field Infrared Survey Explorer, 2009-2011) sa 16 in (40 cm) teleskopom, je mapirao cijelo nebo u infracrvenom, a kasnije je prenamijenjen u tražioca objekata bliskih Zemlji u misiji NEOWISE (misija produžena do 2023).

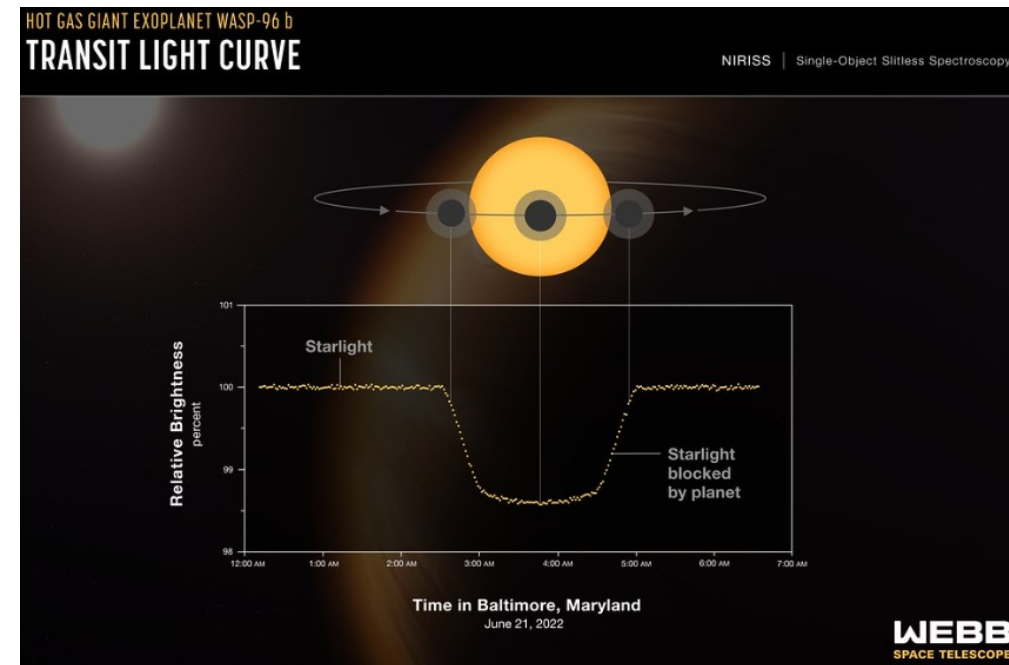
Astronomija u infracrvenom dijelu spektra

27



Slijedeći u nizu bio je Spitzer teleskop, 2.8ft (85cm), koji je radio od 2003-2009 do trošenja sveg tekućeg helija za hlađenje, sa produženjem u “topli” dio misije do 2020, gdje su dva kratkovalna kanala i dalje mogla normalno raditi i bez hlađenja.

• Nakon njega, Herschel teleskop, sa svojih 11,5 ft (3.5m) je bio najveći infracrveni teleskop do tada (2009-2013), i bio je postavljen u L2 točku, kao i njegov nasljednik, James Webb Space Telescope (JWST), sa 6.5m ogledalom, koji je počeo raditi 2022. Jedna od njegovih zadaća je istraživanje planeta van Sunčeva sustava (exoplanets). Dovoljno je precizan da može mjeriti smanjenje sjaja zvijezde kad planet prijeđe preko diska!



Vidljivi i IR dio spektra: Hubble/Webb promatranja “Stupova stvaranja” 28

“Stupovi stvaranja” unutar Maglice Orla, M16 u zviježđu Zmaja, svojevrsne zvjezdane jaslice, udaljenim od nas oko 6500 svjetlosnih godina. Hubble uglavnom "vidi" u vidljivom dijelu spektra, ali nakon instaliranja Wide Field 3 kamere mogao je bolje snimati i u infracrvenom području, u kojem Webb vidi-vidimo više detalja kroz prašinu koja obavija zvijezde dok se iz nje rađaju.

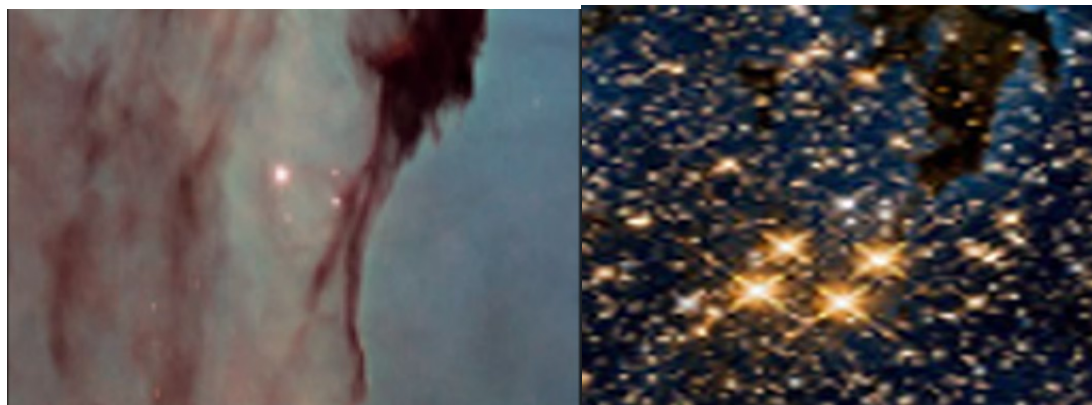
HST



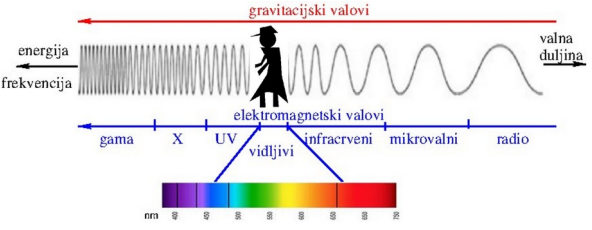
JWST



Izdvojio sam detalj da se bolje vidi što donosi gotovo 3 metra veći promjer ogledala:



Astronomija u vidljivom dijelu spektra

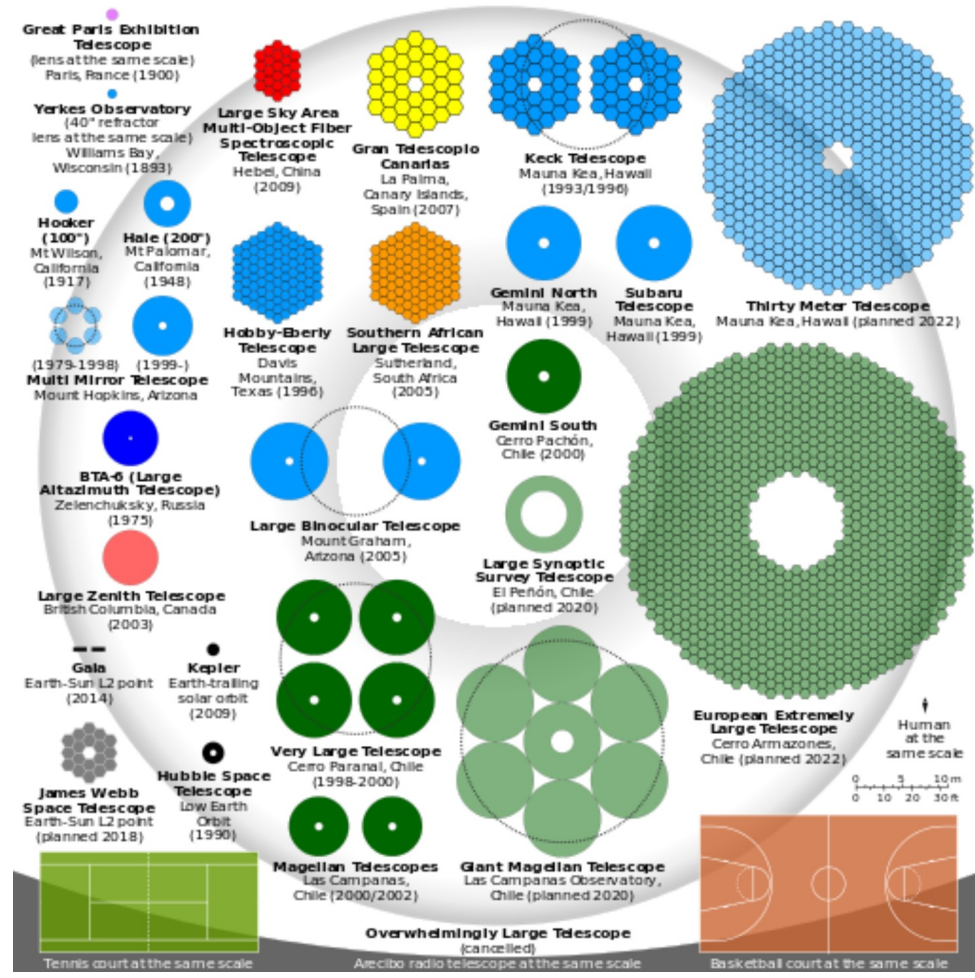


Vidljivi dio spektra: **380-700 nm** (1nm=10⁻⁹ metara). Nemojmo misliti da se ništa novog ne događa u području klasične, optičke astronomije: zahvaljujući napretku elektronike možemo u stvarnom vremenu ispravljati smetnje od atmosfere (adaptivna optika) i zemaljski teleskopi, zbog svoje veličine, danas mogu opet konkurirati svemirskim kao Hubble. Postavljeni na velikim visinama, kao npr. na vrhovima vulkana na Havajima, posebno kad se više ogledala spoji u interferometar, mogu postići nevjerovatnu preciznost. Zato za sada nema planova slanja većeg optičkog teleskopa u svemir.

• Današnji teleskopi su često spektrografi, svaki piksel kamere je spojen optičkim kabelom i odmah mjeri spektar-količina podataka je nevjerovatna. Ono što se prije moralo mjeriti u tisuću promatranja, danas se izmjeri u jednom!

• Najveći na Zemlji je u gradnji, 39m promjera, Extremely Large Telescope (2027) u Cerro Armazones, Chile. Veći je od Koloseuma u Rimu! Na slici desno su zgodno pokazani sadašnji i budući

• Teleskopi sa naznačenim veličinama i vrstama ogledala. Neki su u gradnji, neki samo planirani, a od nekih se već odustalo. Ispod njih je usporedba sa teniskim/košarkaškim terenom.

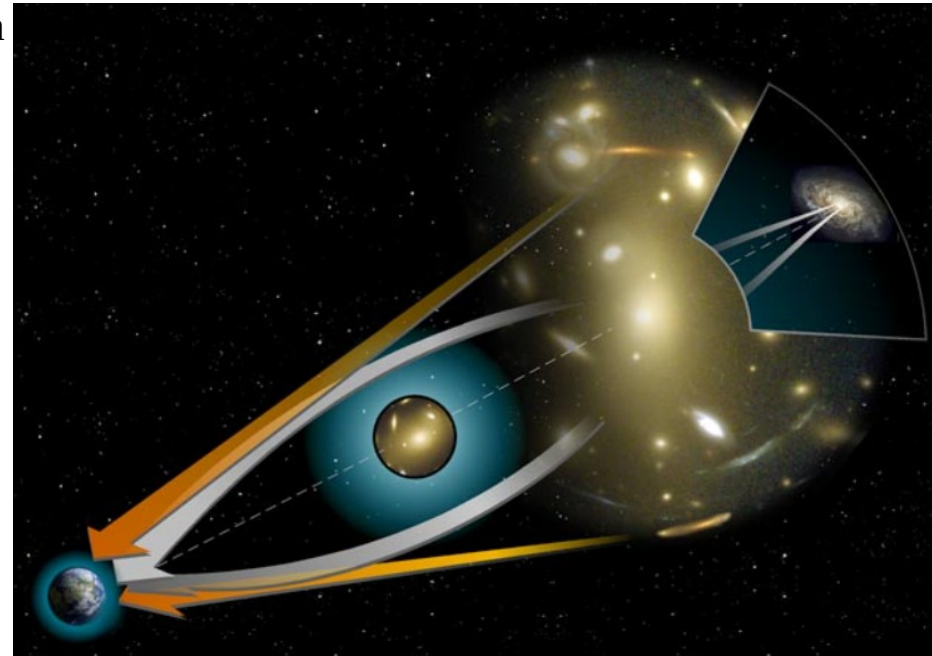




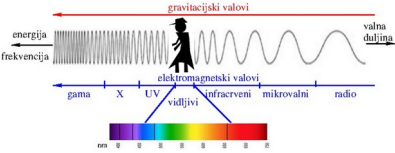
Hubble ST je doprinio astronomiji promatrajući objekte dubokog neba pomoću još jednog Einsteinovog efekta: gravitacijske leće. Zrake svjetlosti su zakrivljene u prostor-vremenu zbog velike mase između nas i udaljenog objekta, pa se u nekim slučajevima vidi lukove svjetla oko centralne mase-računski možemo rekonstruirati izgled objekta iza velike mase! Postignuto povećanje (i sjaj!) od desetak puta omogućuje vidjeti ono što inače ne bi mogli vidjeti.

•Danas rutinski vršimo takva promatranja, čak i sa manjim objektima iskorištenim kao leće (microlensing).

Par poznatih primjera: jato galaksija Abell 1689 sa lukovima manjih pozadinskih galaksija, Einsteinov prsten udaljenije plave galaksije oko masivne crvene galaksije LRG 3-757, “Smiley” jato galaksija SDSS J1038+4849 sa rastegnutim pozadinskim galaksijama i “očima” koje su zapravo dvije masivne galaksije.



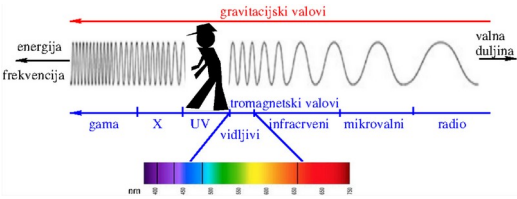
Vidljivi dio spektra-TAOS



- Nije samo veličina teleskopa bitna, dosjetljivost je često bitnija. Naizgled nemoguća promatranja daju se ostvariti zahvaljujući tehnicima i upornosti promatrača-napori oko mjerenja gravitacijskih valova tokom 20 godina su budili podsmijeh, a danas to postaje “uobičajena” stvar.
- Projekt TAOS sam pratio od samog početka na Tajvanu, gdje je grupa astronoma radila na prototipu teleskopa koji bi pronalazio male (0.5km do 30km) trans-neptunske objekte u Sunčevom sustavu prateći zasjenjivanje zvijezda na nebu tokom njihovog prolaska preko njih.
- TAOS nije, tokom desetak godina, imao ni jedno potvrđeno promatranje. Ali, radilo se o prototipu, znali su koliko je to teško. U Meksiku, na planini San Pedro Martir, gradi se TAOS II, tri širokokutna teleskopa (2.3 kv.stupnja) promjera ogledala 1.3m (2017), sa brzim kamerama (postavljene 03.2023) koje mogu snimiti 20 snimaka neba u sekundi sa 10 tisuća zvijezda na svakoj slici. Izazov je veliki, jer treptaj oka je eonima dug u usporedbi sa trajanjem prolaska komada kamena na vanjskim rubovima Sunčevog sustava preko zvijezda u pozadini.
- Ako vam se to čini nemogućim, usporedite sa projektom (uspješnim!) (ne?)traženja smeđih patuljaka. Snima se nebo i traži piksele na snimkama gdje **nema ničega**. Pretpostavi se da je to zbog smeđeg patuljka koji zaklanja ono iza sebe i iz toga, statističkom obradom, zaključuje o čestoci smeđih patuljaka, iz čega onda možemo dalje zaključivati o načinima njihovog nastanka. Za proces zaključivanja važno je i gdje ih lociramo, jer dobro znamo evoluciju zvijezda i zahtjeve na okolinu koji moraju biti ispunjeni da bi nastala neka vrsta objekta (prisutnost oblaka materijala, drugih zvijezda, da li su one mlade ili stare (npr.u kuglastim jatima) i slično. Uvjereni? “Funding agencies” su bile.



Vidljivi dio spektra-promatranja u stvarnom vremenu

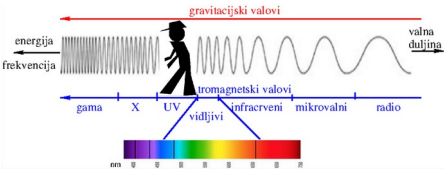


• Najveći instrument-u gradnji-za astronomiju u realnom vremenu biti će (2024) u Čileu, 8.4m promjera LSST, (Large-->Legacy Synoptic Survey Telescope), preimenovan u Vera C. Rubin Observatory (USA astronom, mjerila krivulju rotacije galaksija). Radit će u (320-1060) nm, razlučivanje 0.7''. Grade ga Charles & Lisa Simonyi fondacija+SLAC. Zanimljivo je da je direktor projekta naš čovjek, Željko Ivezić, koji je radio na prethodnici, SDSS (Sloan Digital Sky Survey, 1998-2009), sa 2.5m teleskopom na Apache Point u New Mexico, USA. [Alfred P. Sloan (fondacija osn.1934) je bio bogati industrijalac, CEO General Motors.]

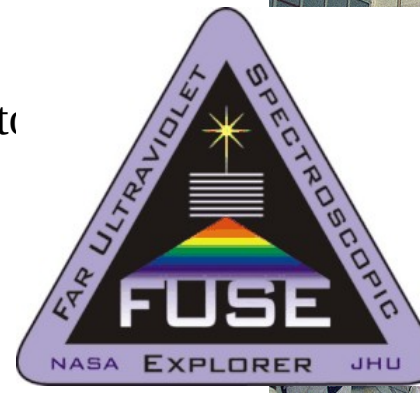
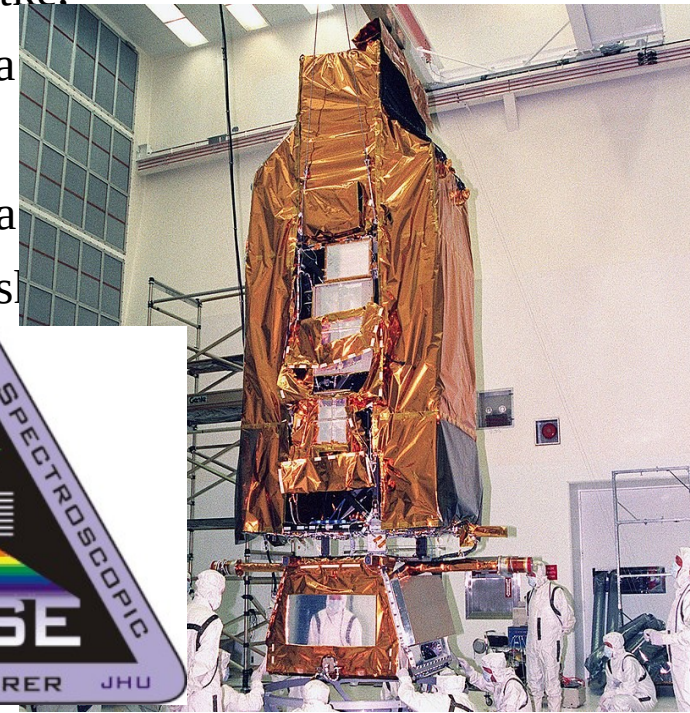
• Kamera LSSTCam je najveća digitalna kamera ikad izgrađena za astronomsku upotrebu, veličine automobila; širokokutna kamera, među ostalim programima, snimat će cijelo (vidljivo) nebo u 3 noći. 3G pixela, 20TB podataka svake noći, u 10 godina programa 500PB treba obraditi, zato je softverski dio najveći izazov.



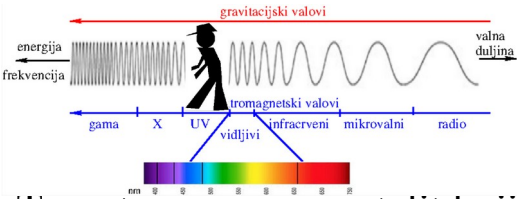
Astronomija u ultraljubičastom (UV) dijelu spektra 33



- Ultraljubičasti dio spektra: **10-320 nm**, nije vidljiv ljudskom oku, (*satelit Galex, M81* apsorbirano atmosferom, dakle ili visoko ili iz svemira. *plavo mlade, žuto stare* *)
- UV zračenje je obično emitirano od vrućih objekata, masivnih mladih zvijezda ili pak starih zvijezda i galaksija. Nebo u UV izgleda vrlo drugačije od onog u vidljivom dijelu spektra, jer oblaci prašine i plina zakrivaju velika područja unutar diska Mliječnog Puta. Sunce također gledamo u UV, npr. satelitom SOHO.
- Hubble ST vidi u **bliskom UV**
- U **dalekom UV** su bili samo sateliti Copernicus (OAO 1-4, zapravo prvi uspješni orbitalni teleskopi [1-X, 2-11UV teleskopa, B-X(98cm), 3=Copernicus(80cm), 1966-1981, dvije uspješne misije] i onda 10 000 puta osjetljiviji FUSE (1999-2007), na 760km orbiti, sa 100 min orbitalnim periodom. Imao je 4 usklađena ogledala 39x35cm. Struktura detektora je kompliciranija, ogledala i rešetke. više detektora... Glavna zadaća mu je bilo proučavanje porijekla i izvora najlakših elemenata, vodika i deuterija, stvorenih neposredno nakon Velikog Praska i sile odgovorne za evoluciju planeta, zvijezda i galaksija. Primarno je mjerio koliko brzo je početno stvoreni vodik iz Velikog Praska ušao u sastav zvijezda. Zanimljiv je i zbog automatizacije i autonomije, jer su kontrole bile preko jedne antene na Puerto Rico pa je uglavnom radio automatski.



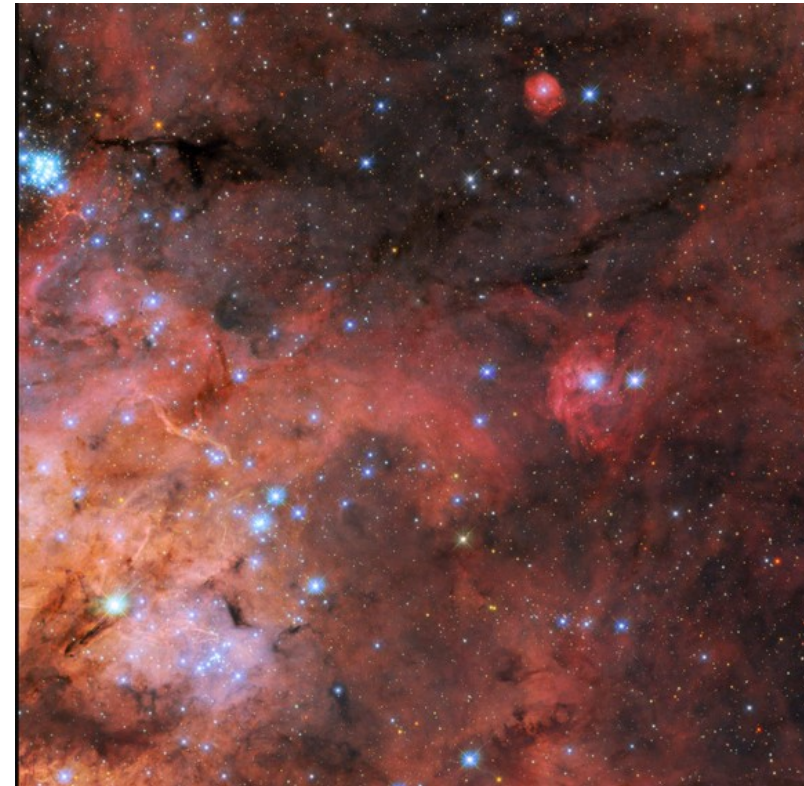
Astronomija u ultraljubičastom (UV) dijelu spektra



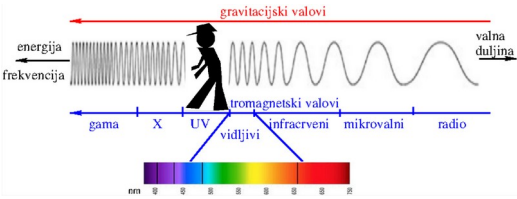
• Irenutno nemamo satelit koji bi radio u UV dijelu spektra, ali imamo...balone! “Super Pressure Balloon Imaging Telescope” (SuperBIT), koji je pušten 16.4. 2023. s Novog Zelanda može letjeti oko Zemlje do 100 dana na visinama oko 30km i prikupljati podatke. Ispod je prva slika poslana tim instrumentom, maglica Tarantula (drugo ime: 30 Doradus), 161 tisuća svj.god. od nas, u Velikom Magellanovom oblaku. Ispod nje je JWST slika, desno od koje je zoom sa MIRI, Mid-infrared instrumentom na JWST, u kojem mlade, vruće zvijezde slabije sjaje, a vidimo plin i prašinu, ovdje ugljikovodike.



Prednost balona je niža cijena i mogućnost popravki, izmjena, testiranja, eksperimentiranja sa opremom. Ovaj teleskop je unutar HST granica što se valnih duljina tiče, ali sa širim poljem viđenja. Slika sa HST je ovdje:



Astronomija u ultraljubičastom (UV) dijelu spektra



- Prvi idući planirani svemirski teleskop u bliskom UV (Near-UV, 230-290 nm) je mali ULTRASAT teleskop, Izrael+NASA (lansiranje 2026). Radi se o konceptu malog (i jeftinog, reda vel. 100 miliona USD, zajedno sa lansiranjem!) instrumenta: 50cm ogledalo u Schmidtovom teleskopu žarišta 50 cm, ali vrlo velikog vidnog polja, 204 stupnja! To će mu omogućiti brzi pregled cijelog neba, potreban za astronomiju u realnom vremenu (Time Domain Astronomy). Kamera je 89.8 M piksela. U par minuta može snimiti 50% neba, i tako oko pola godine, prateći promjene u vremenu. To će omogućiti i brzo pronalaženje objekata unutar elipsi položaja gravitacijskih detektora. UV je bitno, jer pri spajanju NS dolazi do zračenja u tom dijelu spektra, kao što je uočeno i pri GW170817.
- Drugi cilj mu je promatranje kolapsa jezgri (core collapse) supernovih zvijezda, da bolje shvatimo što se događa sa (masivnim!) zvijezdama koje tako završavaju život.
- Teleskop će biti smješten na nosaču dimenzija 3.6x1.9x1.5 m, cjelokupne težine 1100kg, na geostacionarnoj orbiti (oko 36 000 km). Predviđeno radno vrijeme 3-6 godina. To je dobar primjer instrumenta nove generacije, namijenjenog astronomiji više glasnika.

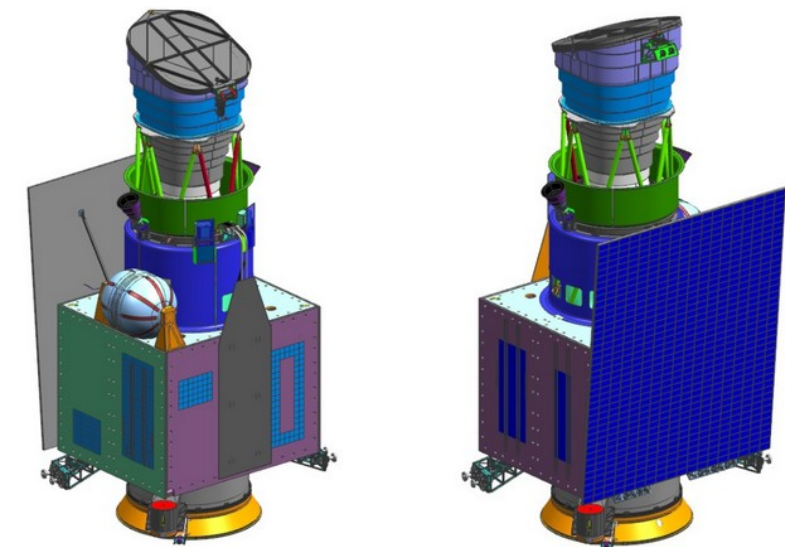


Figure 2.1: The ULTRASAT Spacecraft

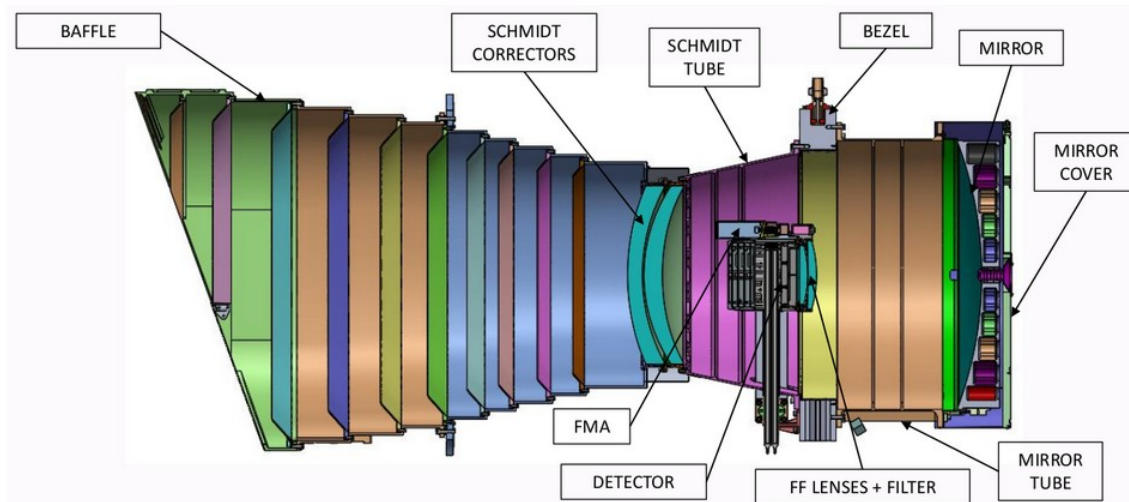
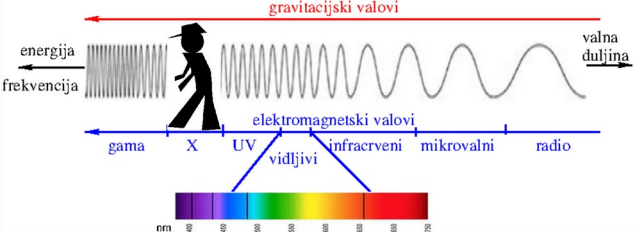


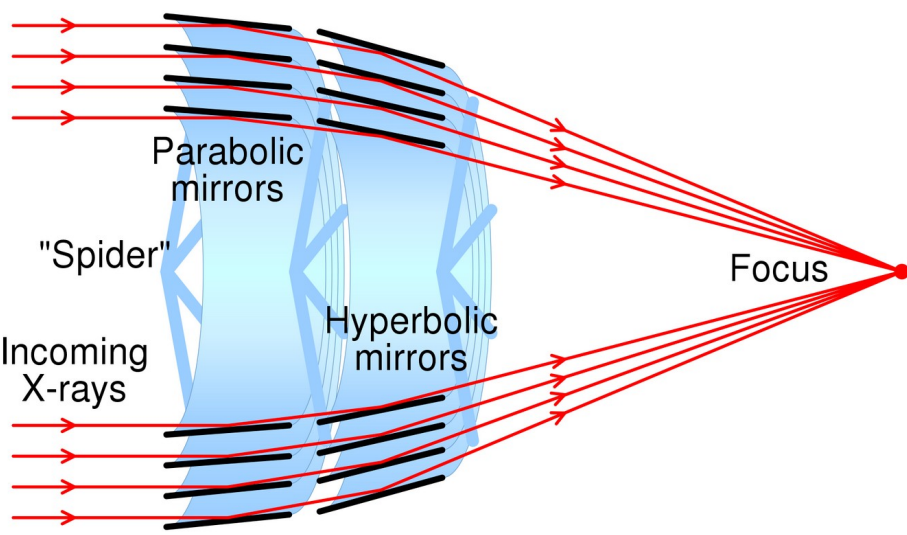
Figure 3.1: The Wide field UV telescope

Astronomija u rendgenskom dijelu spektra



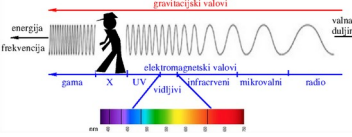
Rendgenski dio spektra: **0.01-10 nm**. Takvo zračenje očekujemo od vrućih objekata, od 10^6 K do 10^8 K. Zemljina atmosfera (na sreću) apsorbira X-zračenje, pa za takva promatranja moramo izaći iz nje-zato su za rentgensku astronomiju potrebni baloni, sub-orbitalne rakete ili sateliti. Mjerenja su započeta modificiranim Von Braunovim V2 zaplijenjenim nakon 2. Svj. rata. Problem: kratki let. Baloni lete dulje, ali ne toliko visoko, pa je dobar dio signala i dalje apsorbiran. Naravno, najbolji su sateliti, ali oni su mnogo skuplji.

• Oglledala za rendgenske teleskope koriste odbijanje od površine pod vrlo malim kutem, ne refrakciju ili odbijanje pod većim kutem, jer bi fotoni tako velike energije ušli u materijal. Zato im je polje viđenja vrlo malo. U fokusu je postavljen detektor koji je nekad bila fotografska ploča, a danas CCD kamera. Raznim konstrukcijskim elementima danas se postiže veće vidno polje.

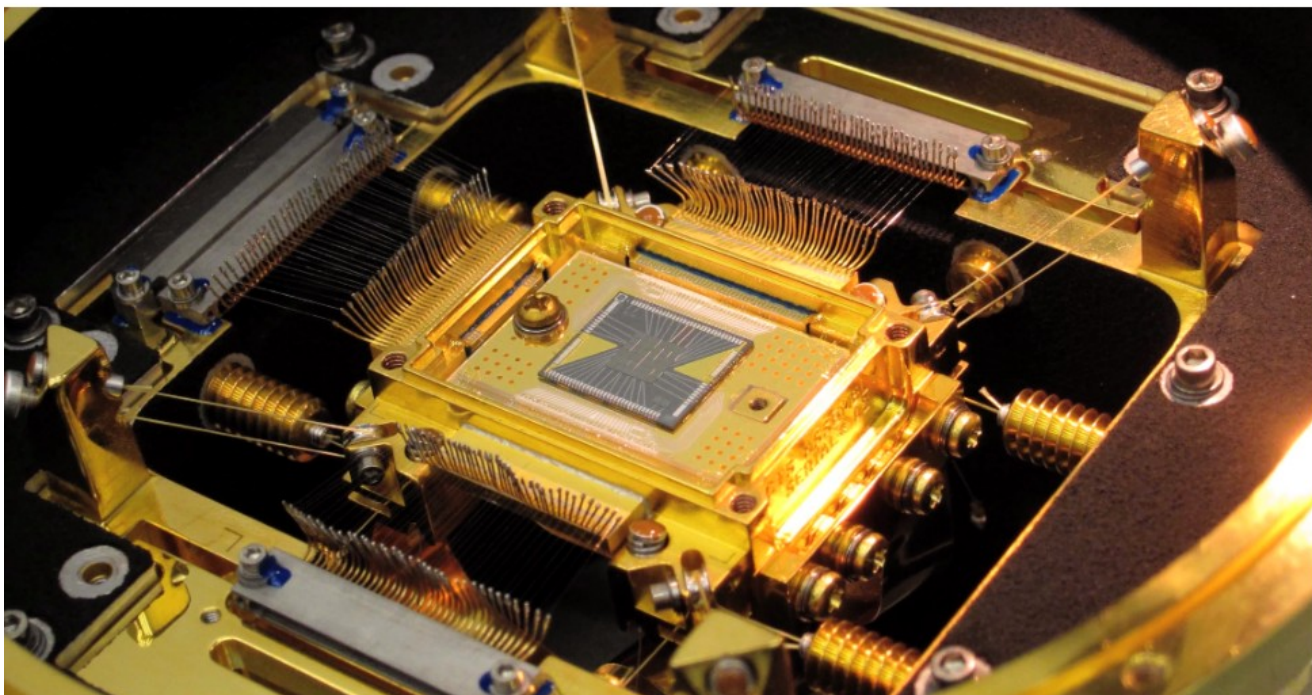


U radu nailazim najčešće na rezultate sa ESA-inog XMM-Newton i NASA Chandra teleskopa, oba lansirana 1999, rade i danas.

• Idući korak u razvoju trebao je biti u JAXA-NASA kolaboraciji, satelit Hitomi. Sve je napravljeno, satelit poslan, radio je perfektno i nakon mjesec dana...ušutio. Pokazalo se da se zbog softverske greške zavrteo i raspao. A njegov glavni instrument je već bio zamjena za neuspjeli pokušaj sa Suzaku teleskopom, gdje je Japancima tokom tjedan dana iscurio tekući vodik, potreban za hlađenje. A Suzaku je već bio zamjena za Astro-E koji nije dospio na orbitu zbog neuspjelog lansiranja.

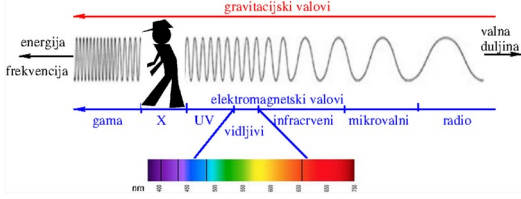


- Dio krivice za problem sa Hitomi teleskopom je kulturološkog tipa: u Japanu testiranje nije bilo toliko rigorozno i neovisno kao u NASA. Nije u skladu s njihovom kulturom reći šefu da nešto ne radi kako si je on zamislio ili planirao! To je prouzročilo (pre)mnoge probleme, previše misija propada ili samo djelomično uspijeva, pa su konačno počeli usklađivati svoje procedure sa NASA i ESA.
- XRISM je sklopljen od dijelova koji su proizvedeni za testiranje Hitomi teleskopa, ili su ih nanovo napravili. Teleskop je svega 45 cm promjera.



Konstrukcija mikrokalorimetra Resolve za Hitomi je iskorištena u XRISM. Svaki piksel detektora mjeri toplinu koju unese foton rentgenskog zračenja koji stigne do njega. Iz toga je moguće izračunati energiju upadnog fotona. Radi se o temperaturnoj razlici dijelića stupnja, zato detektor mora biti što hladniji, 50 mK; u biti su to najhladniji objekti u svemiru. Hlađenje je adijabatsko, u više koraka, demagnetizirajućim hladnjakom, koji može raditi sa i bez kriogena, tekućeg helija-to produžava misiju. Nema tu velike filozofije, uspješno hlađenje je ključno za ovakve instrumente.

Figure 2: The *Hitomi* Soft X-ray Spectrometer, photographed prior to launch of that mission in 2016. *XRISM*'s *Resolve* instrument will be identical.



Kako izgleda dalji razvoj u rendgenskoj astronomiji? Što ćemo vidjeti, a da nismo mogli sa prijašnjom generacijom teleskopa?

•Dobar i na žalost jedini primjer je mjerenje spektra centralnog dijela jata galaksija u Perzeju rentgenskim teleskopom Hitomi. Usporedba sa prethodnikom, Suzaku teleskopom, pokazuje nevjerovatno povećanje mogućnosti. JAXA-sada uz veću suradnju NASA na testiranju-radi na satelitu XRISM, koji bi ga trebao nadoknaditi. Lansiranje je predviđeno za ovu, 2023 god., ali zbog COVID-a i problema sa raketama imaju poveliki zaostatak. Radi se o novoj tehnologiji, rentgenskom spektroskopu, mikrokalorimetru koji daje 20-40 puta bolje rezultate od CCD sa Chandra, XMM-Newton ili Suzaku. U biti, trebala ga je zamijeniti misija Athena, ali...pomaknuta je, za sada, s 2028 na 2037! Dakle, ako XRISM ne doleti ili ne proradi, ova generacija astronoma se neće nagledati novih rezultata u rentgenskoj astronomiji!

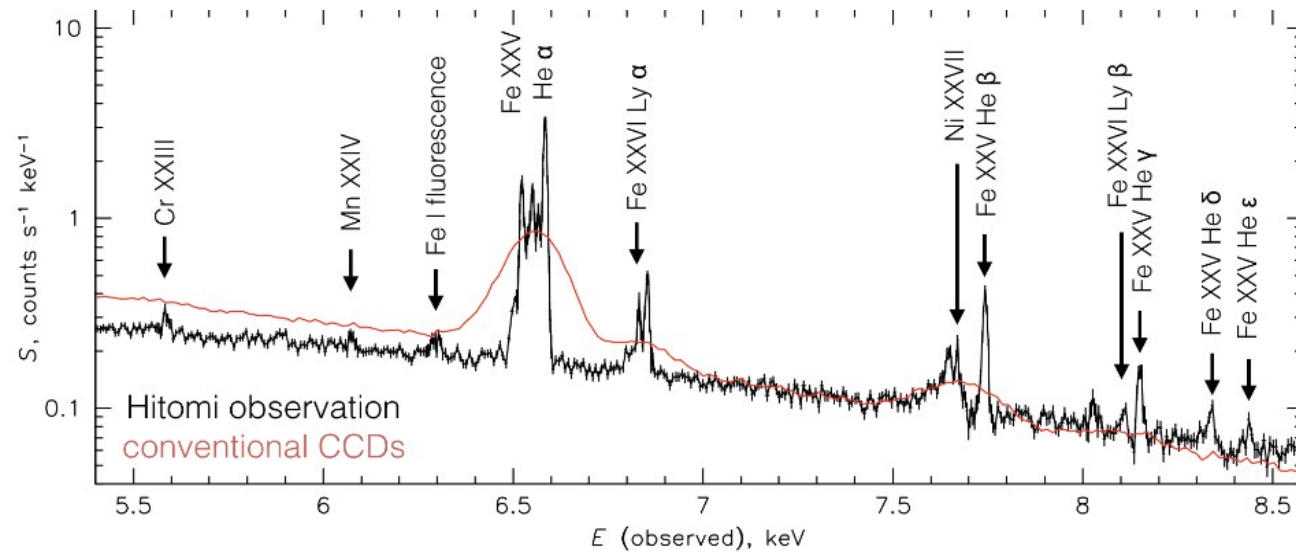
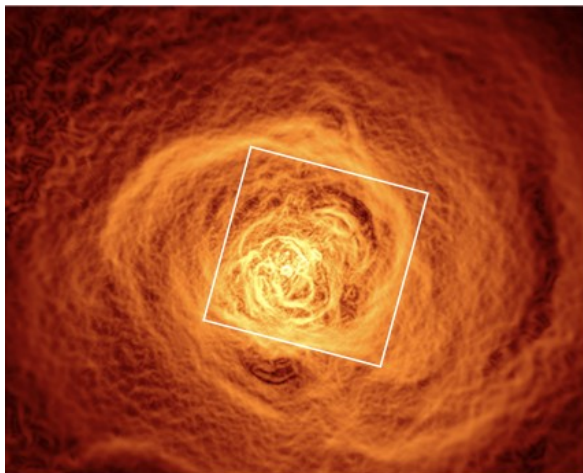


Figure 3: **Left:** *Chandra* X-ray image of the Perseus cluster core, filtered to emphasize structures in the hot gas^[2]. **Right:** spectrum from the Perseus core (white square in the left panel) observed with *Hitomi*'s microcalorimeter (black) and *Suzaku*'s CCD imaging spectrometer (red). *XRISM* will provide similar high-resolution spectra in the 0.3 – 12 keV band for extended X-ray sources^[3].

Astronomija gama zraka



• Dio spektra gama zraka: $< 0.01 \text{ nm}$, energije fotona su iznad 100 keV , **0.1-1 PeV** (10^{15} eV)

• Mnogo teže ih je “uhvatiti” nego rendgenske zrake, jer ih je mnogo manje, pa treba dulje promatrati,

Najbolja rezolucija je trenutno 6 kutnih minuta u GeV, za nešto niže visokoenergetsko rentgensko zračenje 100 keV je 1.5 lučnih minuta, a za niskoenergetsko 1 keV je 0.5 lučnih sekundi!

• “Vela” sateliti, namijenjeni praćenju detonacija atomskih bombi za kontrolu dogovora sa SSSR, 1960-tih su mjerili prve svemirske izvore gama zračenja, bljeskove GRB za koje ni danas ne znamo što su. Neki od njih su vjerojatno hipernove (supernove koje, pošto su krenule od velike mase $>30M_{\text{sunca}}$, umjesto kao NS, završe kao BH). Novije sonde: Compton (1991-2000), lansiran sa Space Shuttlea,

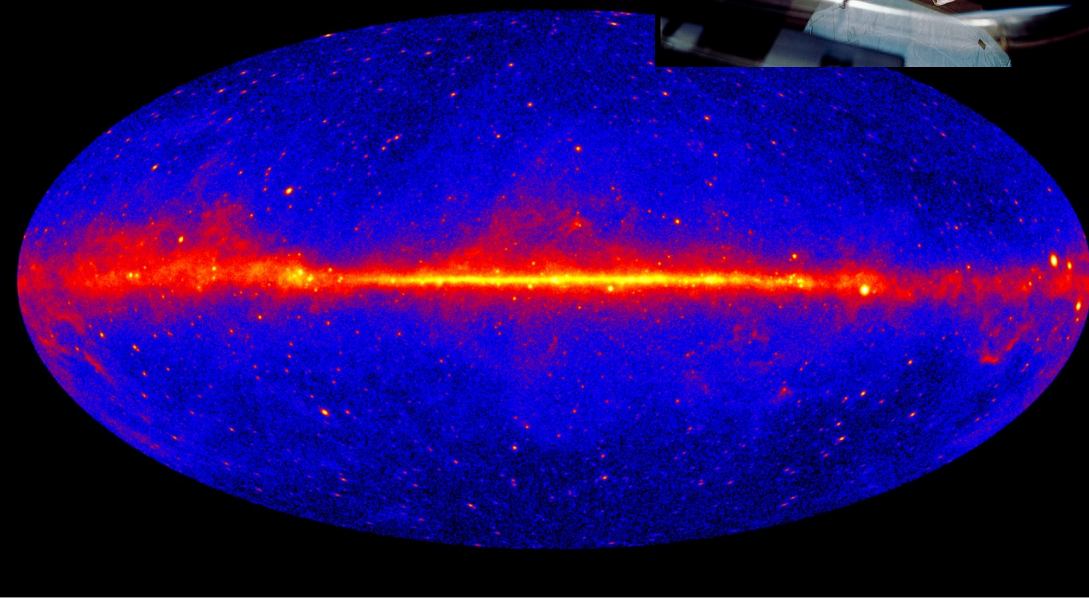
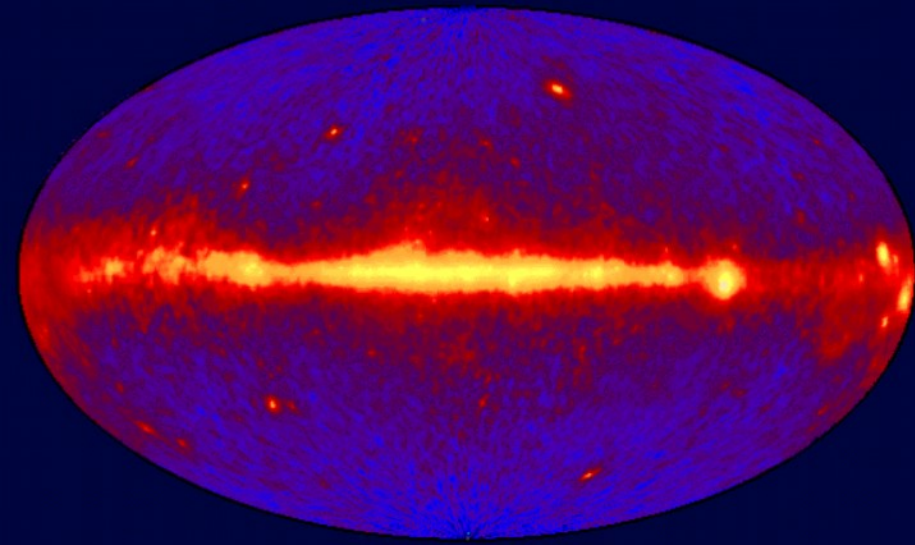
BeppoSax (1996-2003), uglavnom za rentgenske zrake, ali je detektirao i GRBs,

Swift (2004-) za GRBs, Integral (2002-) ESA+PL,CZ,RUS,USA, AGILE (2007-)

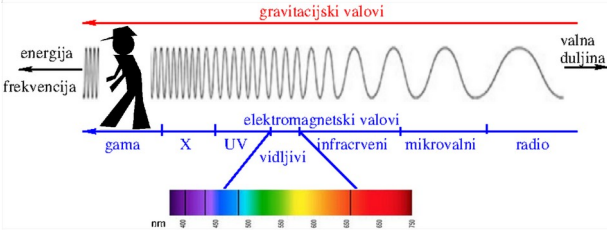
Italija, Fermi (2008-) NASA



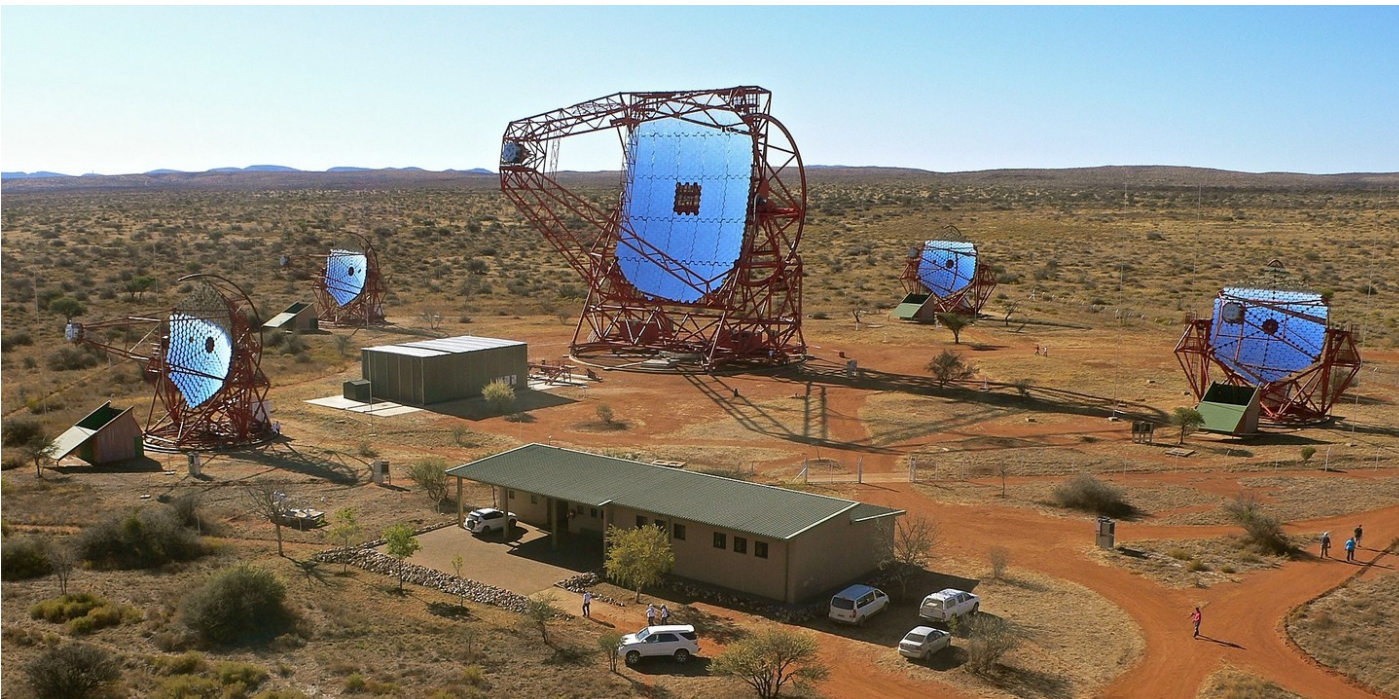
EGRET All-Sky Map Above 100 MeV



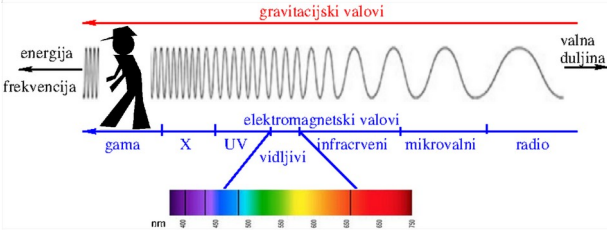
Astronomija gama zraka



Visokoenergetske gama zrake, iznad 30 GeV, su rijetke i potrebni su teleskopi velikih površina, što je nepraktično za svemirske teleskope. Zato ih promatramo zemaljskim teleskopima, preko posrednog mjerenja svjetlosti iz Čerenkovljevog zračenja, ili od čestica koje prođu do detektora ili iz sekundarnog mlaza čestica koje mjerimo i iz smjerova i energija upada računanjem rekonstruiramo prvotni mlaz gama čestica. Takvi instrumenti su danas H.E.S.S. (pokazan na slici dolje), VERITAS i MAGIC



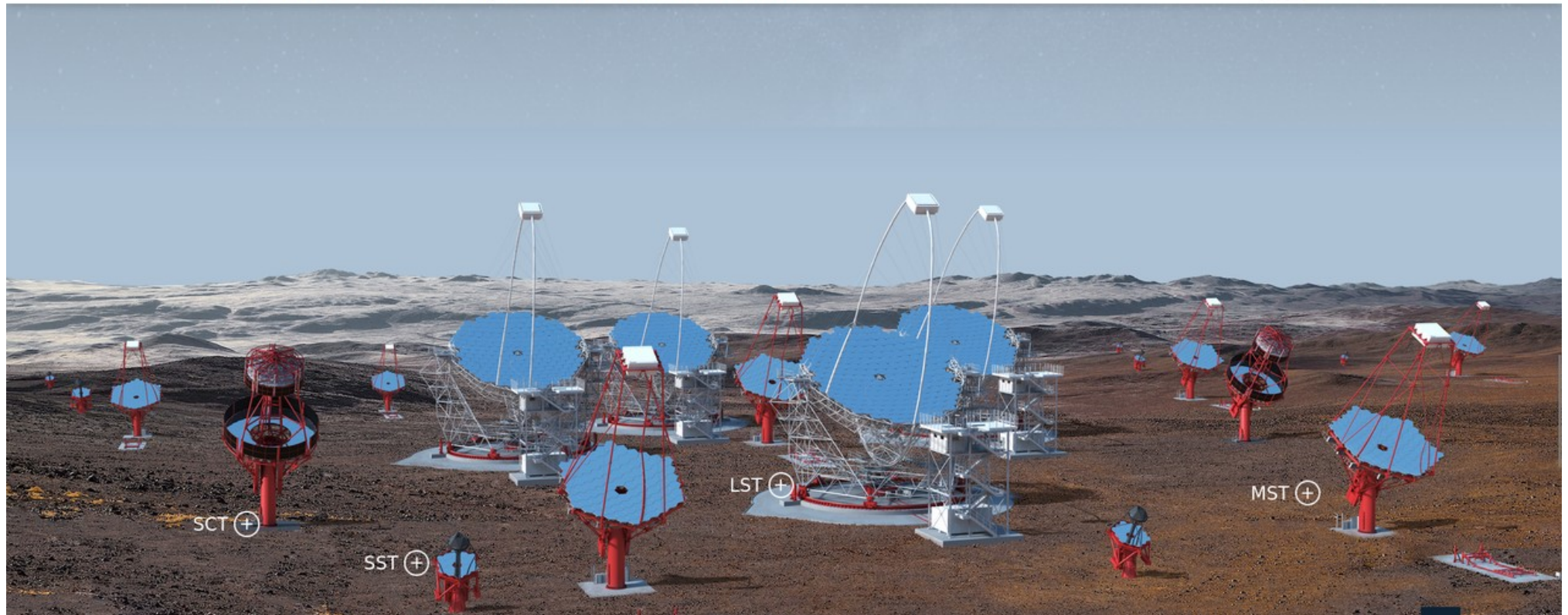
Astronomija gama zraka

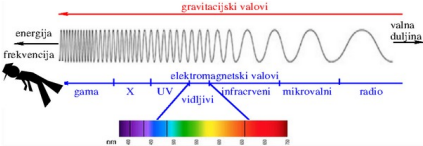


U gradnji je CTA (Cherenkov Telescope Array) koji će obuhvaćati i južno i sjeverno nebo iz Čilea u pustinji Atacama i Kanarskom otoku La Palmi, na lokaciji gdje je MAGIC. Sa više od 60 antena, biti će najveći zemaljski teleskop za gama zračenje visokih energija. Biti će oko 10 puta veće osjetljivosti od prethodne generacije teleskopa u području 50GeV-50TeV, vidjet će cijelo nebo i moći brže snimiti cijelo nebo nego ikoji uređaj do sada.

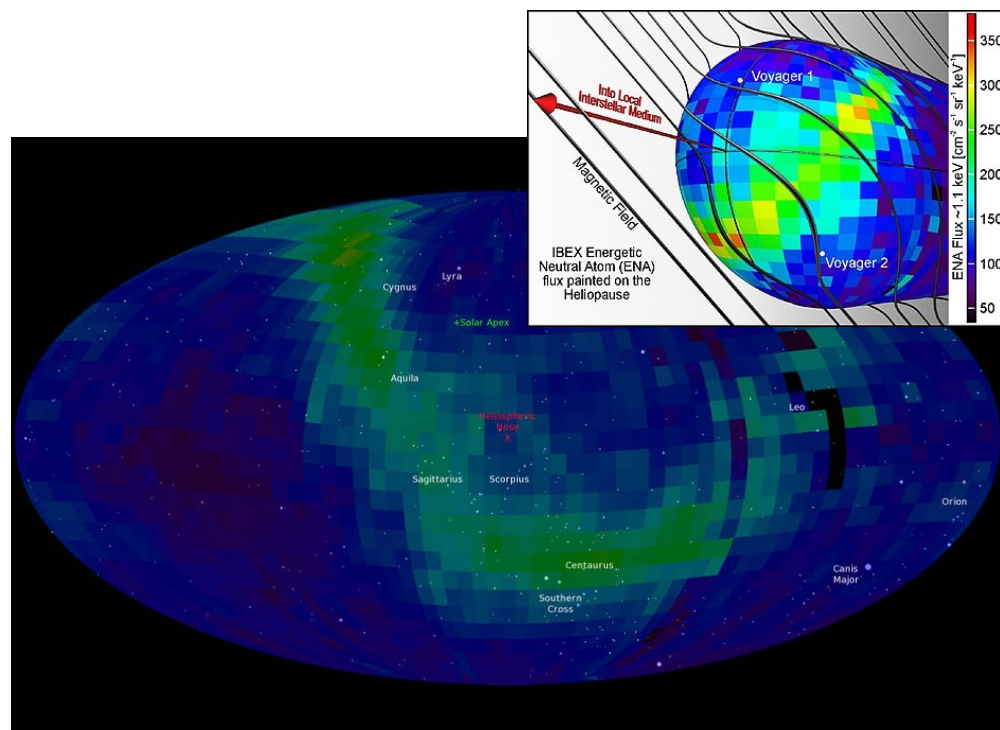
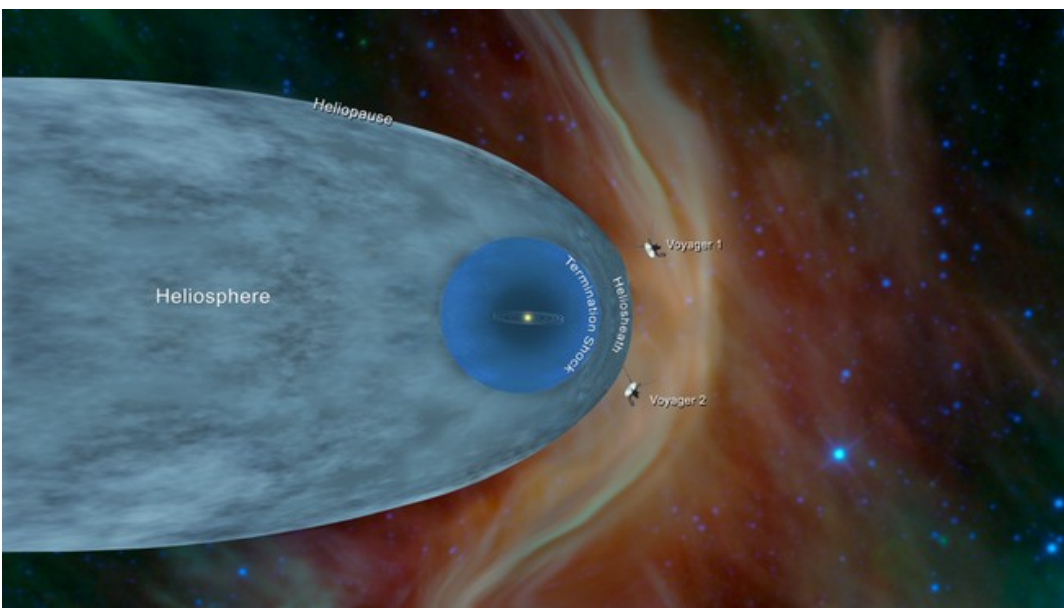


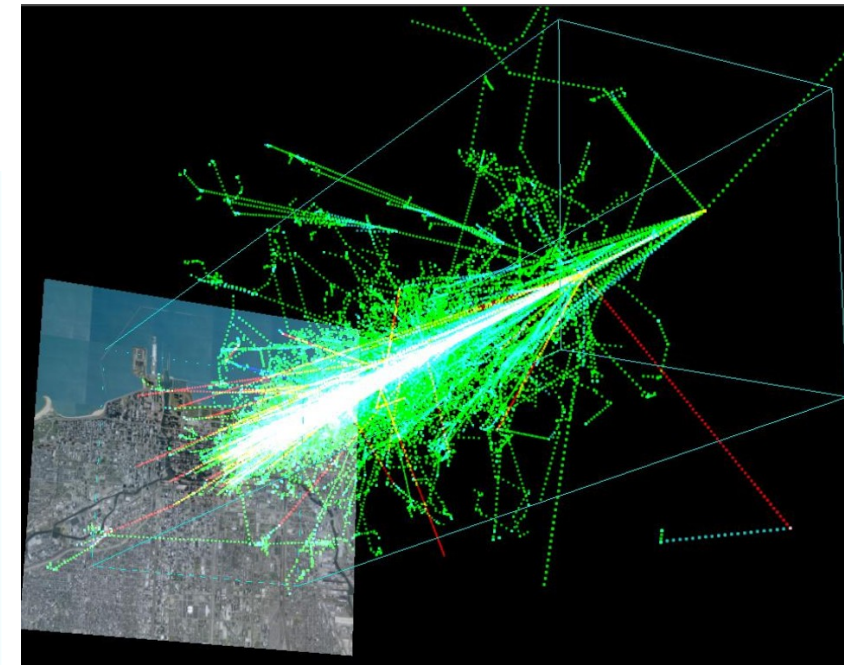
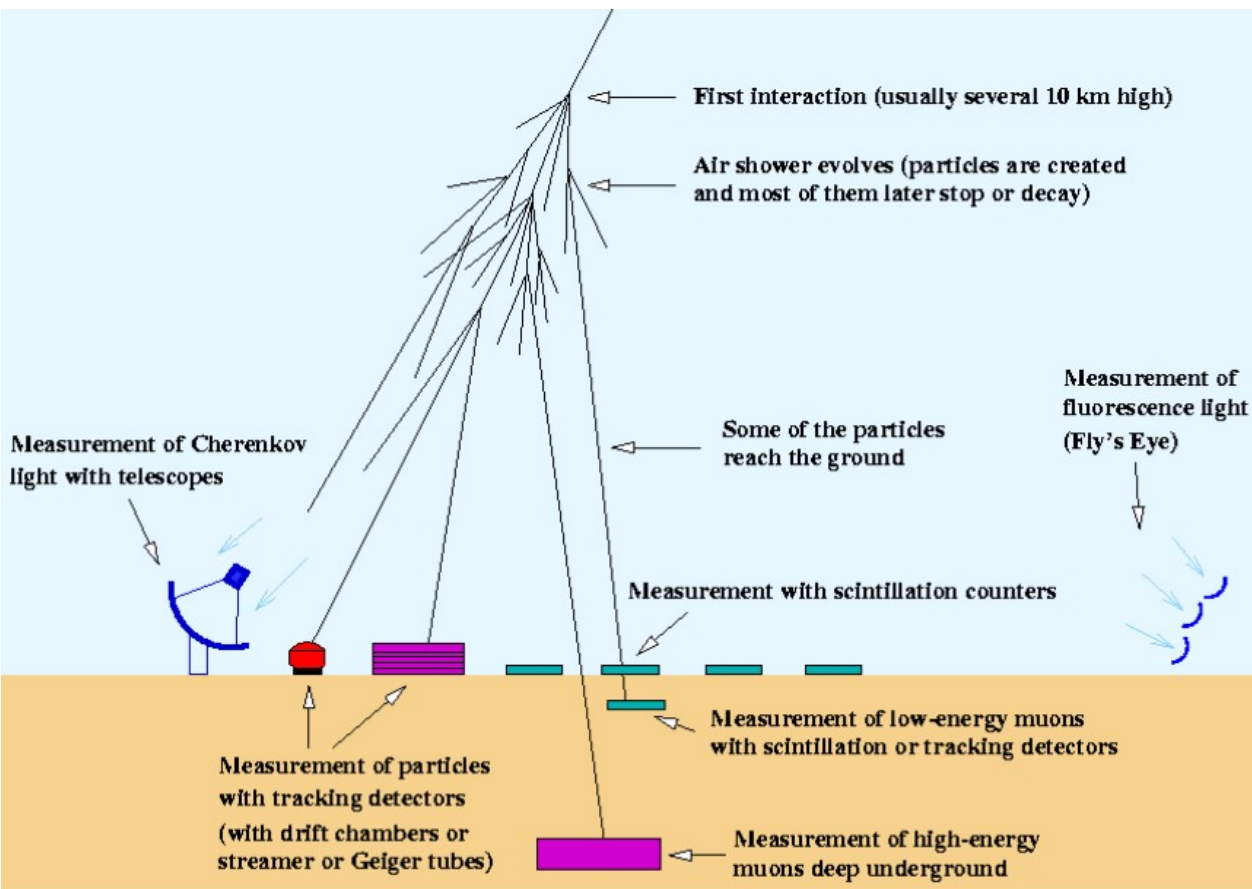
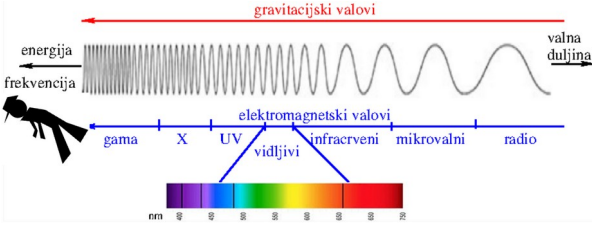
Home About Science Project News Outreach & Education





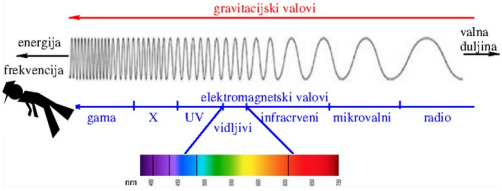
Voyager 1 i 2 (1977) su jedini zemaljski uređaji do sada koji su izašli iz heliosfere (2012 i 2018). Mjere jačinu magnetskog polja i energiju čestica kroz koje prolaze (našli su da je kozmičko zračenje triput intenzivnije van heliosfere), ali to su samo dvije mjerne točke. Zato je u svemir poslan IBEX (Interstellar Boundary Explorer), koji mjeri čestice nižih energija, energetske neutralne atome (ENA, 10eV do više od 1MeV) koji dolaze s ruba heliosfere (Ek im je veća od one koju bi mogli dobiti termički unutar Sunčeva sustava, koja je reda veličine 1eV), gdje se sreću međuzvezdano magnetsko polje i sunčev vjetar. Nemaju naboja (uglavnom su to H, He, O, S) pa ne međudjeluju s el.mag.poljem, dakle samo gravitacija ih privlači-dio tih čestica je usmjeren prema Suncu-i nalazi put do detektora IBEX-a, koji zabilježi smjer dolaska ENA. Rezultati takvog mjerenja iz 2009 su pokazali nešto **novog**: liniju preko neba u kojoj su ENA dva do tri puta intenzivnije nego iz ostatka neba. Zašto? Dobro pitanje. Jedna mogućnost je pokazana na manjoj slici, da galaktičko mag.polje oblikuje heliosferu tamo gdje prelazi preko nje i tamo gdje se unutarnje i vanjsko polje postave paralelno, IBEX nam pokazuje traku gdje mjeri više čestica.



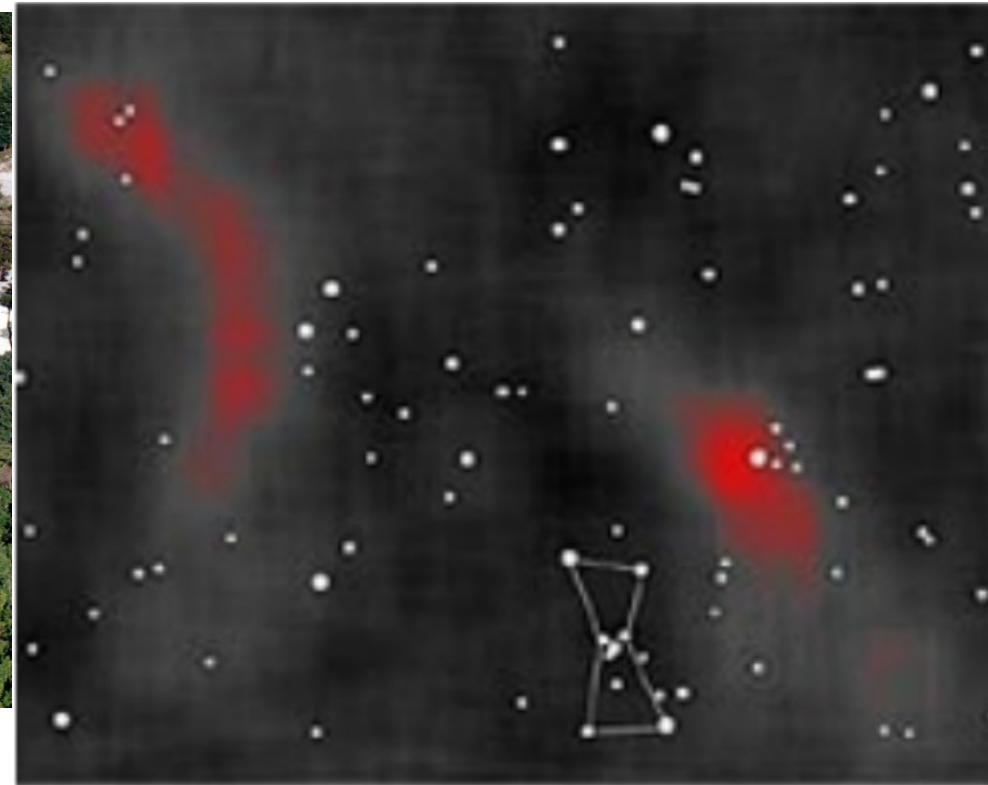


•Načini mjerenja gama zraka i čestica iz kozmičkog zračenja: manji dio čestica dođe do tla i možemo ga mjeriti detektorima, veći dio se rasprši u atmosferi. 90% protoni, 9% alfa čestice, 1% ostale čestice. Desno je prikazana simulacija upada visokoenergetske čestice, protona energije 1TeV, u atmosferu na 20km visine. Umjesto akceleratora, ovdje koristimo prirodno ubrzanе čestice. Proizvedeni snop čestica mjerimo zemaljskim detektorima (ovdje 8x8km dio obale jezera Michigan u Čikagu) i, koristeći znanje iz teorijske fizike elementarnih čestica, izračunavamo karakteristike upadne čestice. LHAASO (Large High Altitude Air Shower Observatory) u Kini, registrirao do sada najenergetičnije čestice, 1.4PeV. Tehnika je ista kao i kod prethodnika CASA-MIA u Utah (SAD, slika), gdje je više tisuća raznih detektora raspršeno na površini 230 000 km².

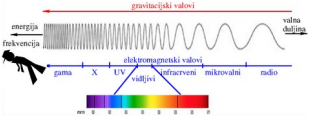
Astronomija čestica ekstremno visokih energija



Milagro (2008-2015), 700 foto-detektora u jezercu na 2530 m na brdu pored Los Alamosa i još 200 na obali. To je drugi način konstrukcije takvih instrumenata, mjeri i niže energije pa je izmjerio puno, 200 milijardi upada čestica, mjeri cijelo sjeverno nebo. 2008 je, na veliko **iznenađenje**, našao anizotropiju kozmičkog zračenja, dvije vruće točke oko Oriona, vjerojatno stvorene usmjerenjem nabijenih čestica u mag.polju Galaksije i Sunčeva sustava.

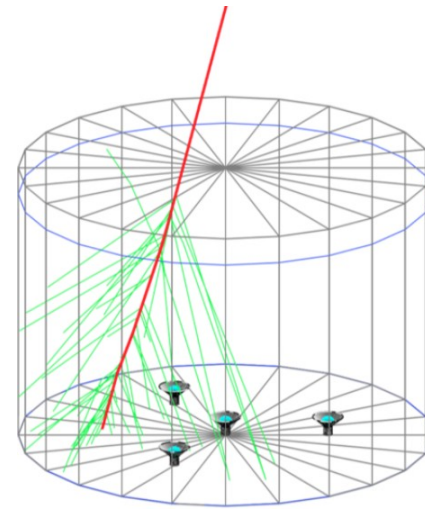
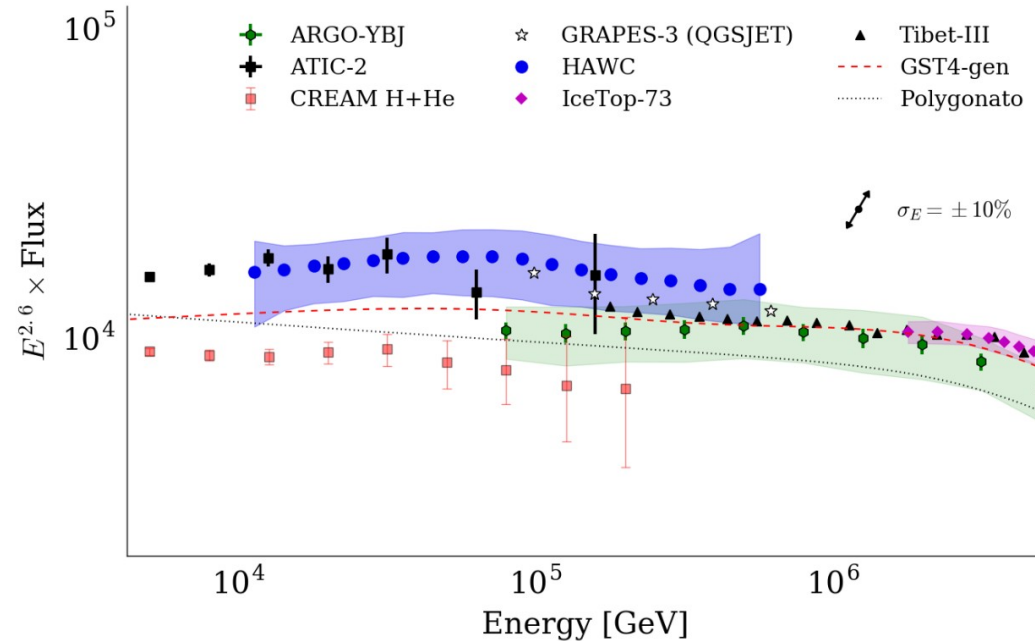


Astronomija čestica ekstremno visokih energija



•HAWC (High Altitude Water Cherenkov gamma ray obs.), nasljednik Milagro, je red veličine osjetljiviji. Postavljen na 4100 m, na padini Sierra Negra vulkana u Novom Meksiku. Ovdje je konstrukcija detektora drugačija: Radi u sprezi sa sličnim detektorima, u godinu dana je napravio pregled (sjevernog) neba u pojasu 100GeV do 50 TeV sa osjetljivošću 50mCrab, sa 5σ (vjerojatnost 99.99994%), što je standard za smatrati nešto dokazanim u fizici čestica. 2018 dodano još detektora. Napravili prvi spektar kozmičkog zračenja.

•Mjerenje se vrši svjetlonepropusnim balonima sa 188 000 l vode u 7.3x5m metalnim hangarima (njih 300). Kao mjeraci u svakom rezervoaru služe 4 fotomultiplikatorske cijevi, koje bilježe čerenkovljevo svjetlo proizvedeno upadnom vidoskoenergetskom česticom iz snopa stvorenog udarom čestice iz svemirskog izvora u atmosferu Zemlje. Iz razlike u vremenu upada čestica u različitim rezervoarima možemo izračunati smjer upadne čestice, a iz karakteristika svjetla znamo radi li se o česticama (hadronima) ili gama zračenju.



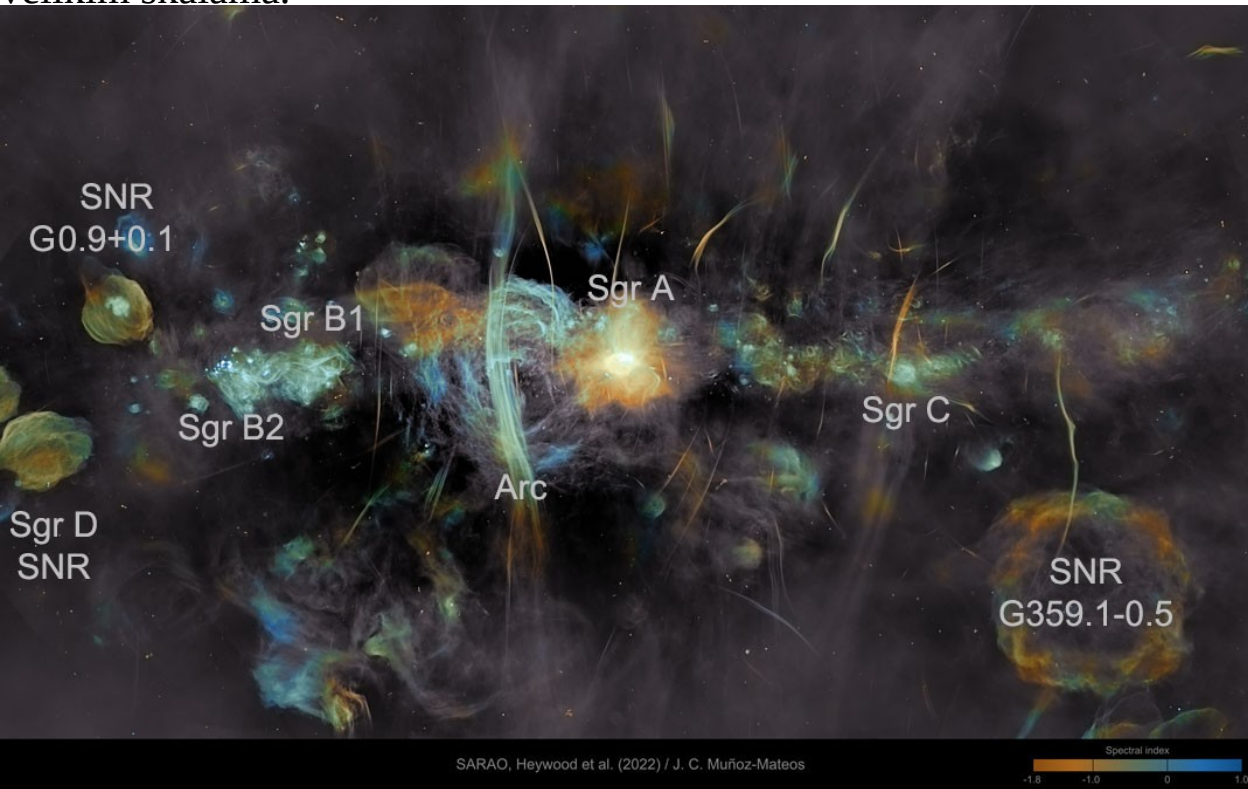


Kozmologija je vrlo brzo prevalila naizgled dug put od promatranja najudaljenijih i najopćenitijih promjena svemira do bitne, a često i jedine pomoći teoretičarima čestica.

•Kao što nam ukazuje pozadinsko mikrovalno zračenje, svemir je jednom, na “početku” je bio vrlo jednolik i ispunjen neutralnim plinom. Današnji svemir-dakle i onaj koji nam je bliži u vremenu i prostoru-je uglavnom ispunjen ioniziranim plinom i ispresijecan magnetskim poljima. Za koja i dalje ne znamo točno odakle su se pojavila.

•Kako i kada je došlo do promjene, kako uopće proučavati evoluciju Svemira?

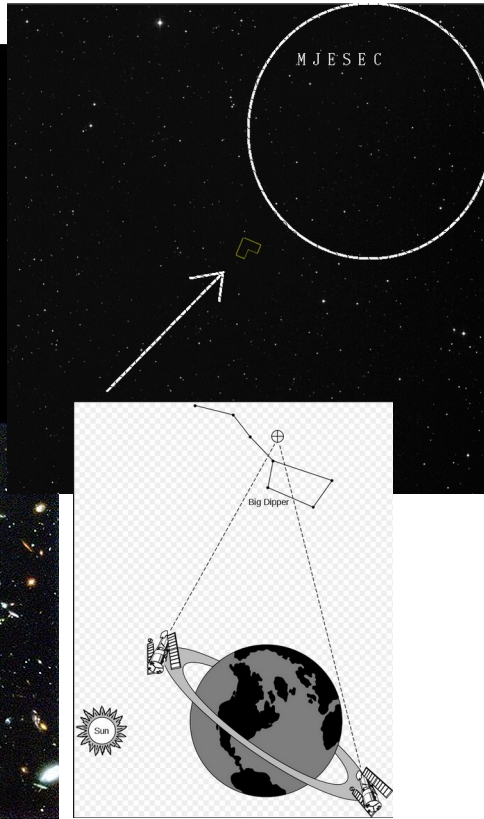
Dva važna smjera istraživanja: a) reionizacija plina, b) kozmička magnetska polja na velikim skalama.



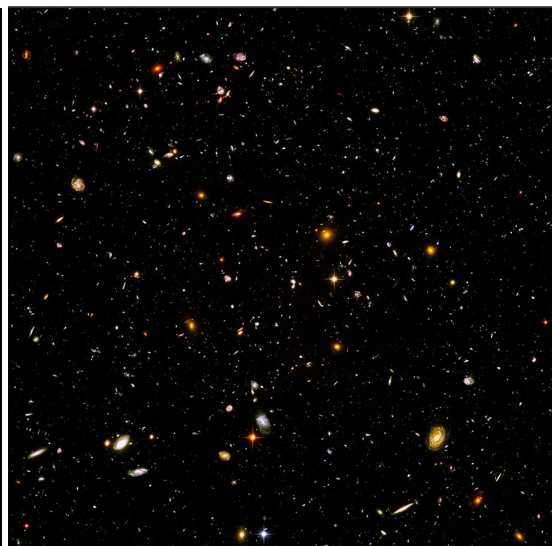
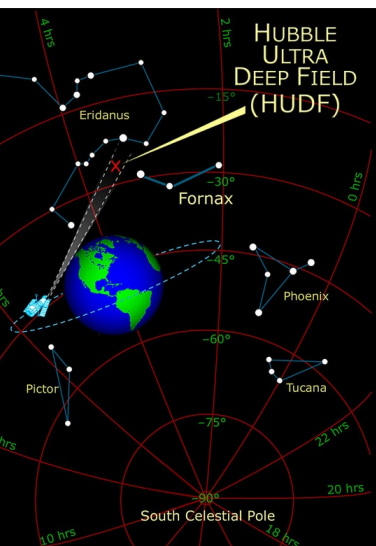
Njihovom istraživanju su posvećeni veliki, uglavnom međunarodni projekti o kojima možete čitati u novinama, kao moćni radio teleskopi ASKAP, MeerKAT u JAR, MWA koji su prethodnica Square Kilometre Array (SKA) i LOFAR. Uz tanjuraste, tu su i “čudni” radio teleskopi koji nisu tanjurastog oblika nego se jednostavne antene prostiru po poljima kao jelke.



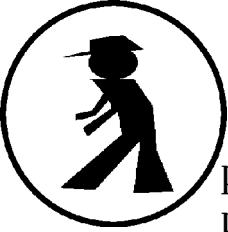
Pažnju javnosti je 1995. privukla slika Hubble Deep Field-dio neba u zviježđu Velikog Medvjeda, dio kvadrata neba 2.6', kao teniska loptica sa 100m udaljenosti.



Za bolje razumijevanje i usporedbu s onim što nam je poznato iz iskustva, dobro je znati kako je to tehnički izvedeno. Kao i većina slika danas, ovo nije “samo” fotografija, nego kompozicija 342 fotografije snimljene tokom 150 orbita HST oko Zemlje, oko 10 dana (direktor programa je dao svojih dragocjenih 10 dana promatranja za taj projekat!). Smimano je različitim filtrima: 42.7h na 300 nm, 33.5 h na 450 nm, 30.3 h na 606 nm i 34.3 h na 814 nm. Izabran je dio neba gdje je malo zvijezda naše Galaksije, tako da su oko 3000 objekata koje se može izbrojiti na slici uglavnom galaksije, neke od njih među najudaljenijim (dakle i najmlađim) poznatim. Tri godine kasnije, slično je napravljeno i na južnom nebu, sa sličnim rezultatom, dakle, gustoća galaksija oko nas je približno ista, potvrda kosmološkog principa o našem ne-specijalnom položaju u svemiru. 2004 snimljen je HUDF (ultra) sa oko 10 000 galaksija, koji je do XDF (eXtreme) 2012, 80% HUDF, sniman sve skupa 23 dana tokom 10 god, sa oko 5500 galaksija, bila “najdublja” astronomska snimka ikad. Neke na XDF su 13.2 bln ly daleko!

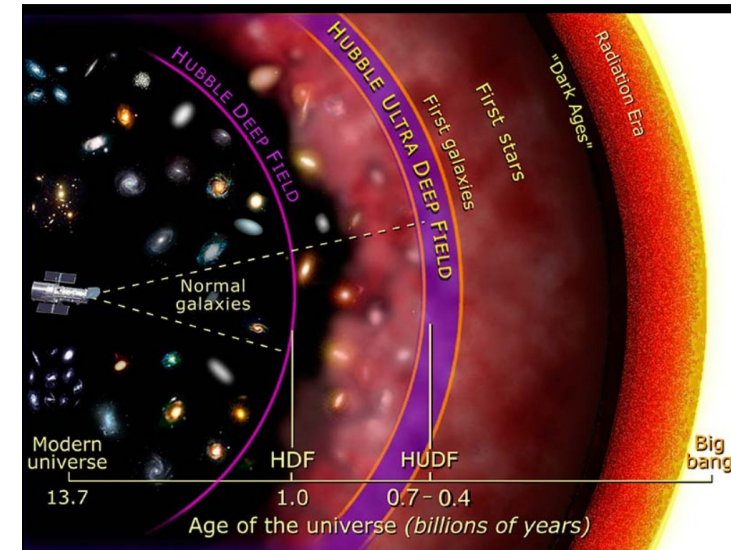


Kozmologija



Dio podataka sakupljenim teleskopima koristi se i za kozmološka promatranja. Da bi od špekulativnih teorija došli do matematičkih, potrebno nam je mjerenje. Svemir je velik i pun zvijezda, koje obitavaju u galaksijama. Galaksije trebaju neko vrijeme da se razviju, a kako naša tehnika napreduje, nalazimo ih sve udaljenije, znači i bliže vremenu postanka svemira. Imamo problem!

- Kako znamo udaljenosti? Slično kao što za mase koristimo posredno mjerenje, iskorištavajući zakone fizike, za udaljenosti koristimo “standardne svijeće”, objekte kojima znamo sjaj i promatramo ih na različitim udaljenostima.

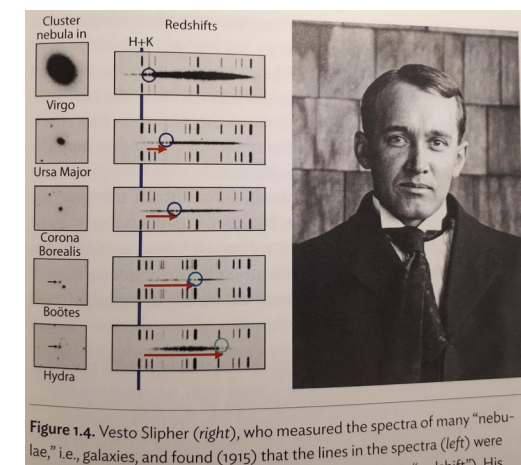
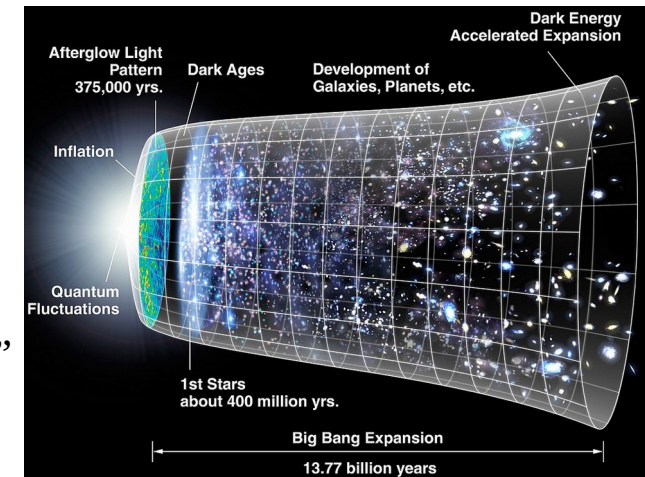


Sliku evolucije svemira od Velikog Praska ste sigurno negdje vidjeli, fantastično je što smo izmjerili, ali kako smo to napravili?

• Prvo moderno kozmološko mjerenje bilo je zapravo ono Vesto Sliphera, koji je radio za Percivala Lowella na njegovoj Flagstaff opservatoriji. Naravno, mjerio je prvo spektre planeta, ali kasnije i maglica. Spektri koje je prikupio su po prvi put pokazali da neke maglice imaju plin, a neke su samo guste nakupine zvijezda, koje samo izgledaju magličasto jer se ne razlučuje pojedine zvijezde. Brzine tih “maglica” koje su bile red veličine veće od brzine pojedinih zvijezda iz naše blizine (tj. iz naše Galaksije) ukazivale su na posebnost “maglica” i Kantovi “otočni svemiri”, tj. galaksije su tako počele postajati stvarnost. Slipher je **1917.** pokazao da većina tih objekata ima crveni pomak, dakle, udaljava se od nas. Brzina je bila prevelika da bi ju gravitacija Mliječnog Puta mogla zauzdati, dakle, to su morali biti odvojeni sistemi.

• Trebalo je dosta vremena da takva slika uđe u opće znanje, pa nije čudno da Kučera, koji je umro 1931., nije o tome pisao.

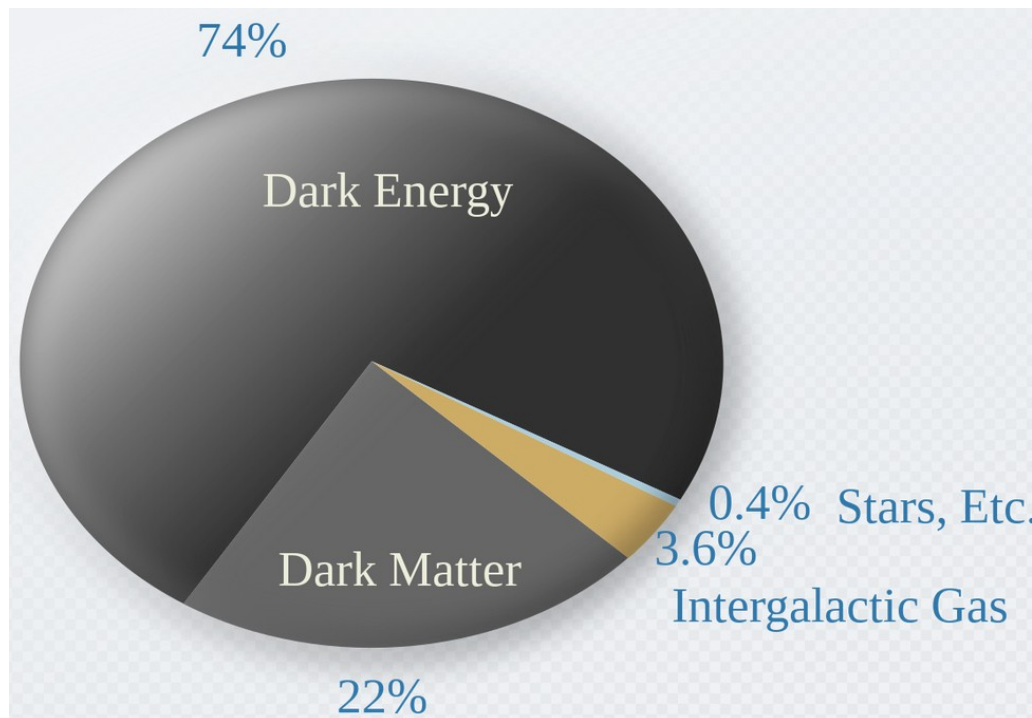
• Dalje proučavanje je išlo u smjeru razumijevanja spirala, ali ono bitno za kozmologiju je bilo na mnogo većoj skali: Edwin Hubble je nastavio rad na udaljavanju galaksija i postavio temelje modernih promatranja u kozmologiji.

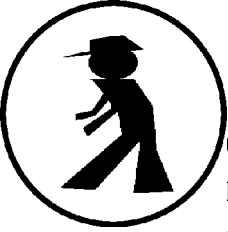




Za daleke objekte, trebaju nam najsajjniji mogući, nešto što razaznajemo u drugoj galaksiji. Zvijezde kao cefeide, kojima znamo jednadžbu perioda oscilacija i sjaja, su dobro rješenje za bliže galaksije. Za dalje objekte, eksplozije supernovih su idealne, jer su isto standardizirane, a mnogo su većeg sjaja.

- Najkontroverzniji-ali dobro provjeren promatranjima-sastojak trenutne kozmologije je inflacija: 10^{-32} sekundi nakon Velikog praska, volumen svemira se raširio za bar 10^{78} puta!-linearno, u svakom od 3 smjera to daje 10^{26} puta, kao da udaljenost među dva tranzistora u mikroprocesoru “napužete” do udaljenosti Siriusa, 10 svjetlosnih godina, i to u malom dijeliću sekunde! “Magija” je malo za reći za tako nešto! Još istražujemo, učimo, tek 100 godina se time bavimo!
- Tamna (dakle neznana nam) materija i energija čine veliku većinu našeg današnjeg shvaćanja svemira: mi smo u onih 0.4%!
- Najbolji primjer zašto treba ulagati u STEM programe, ima posla!



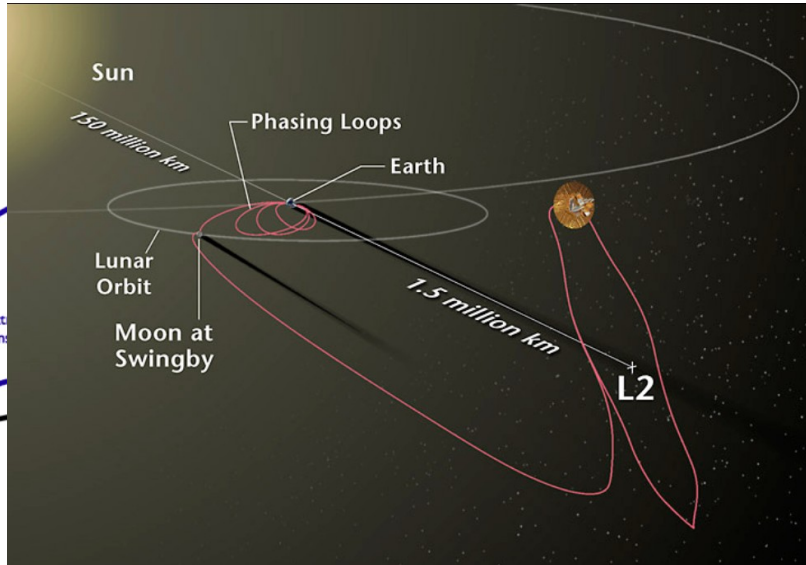
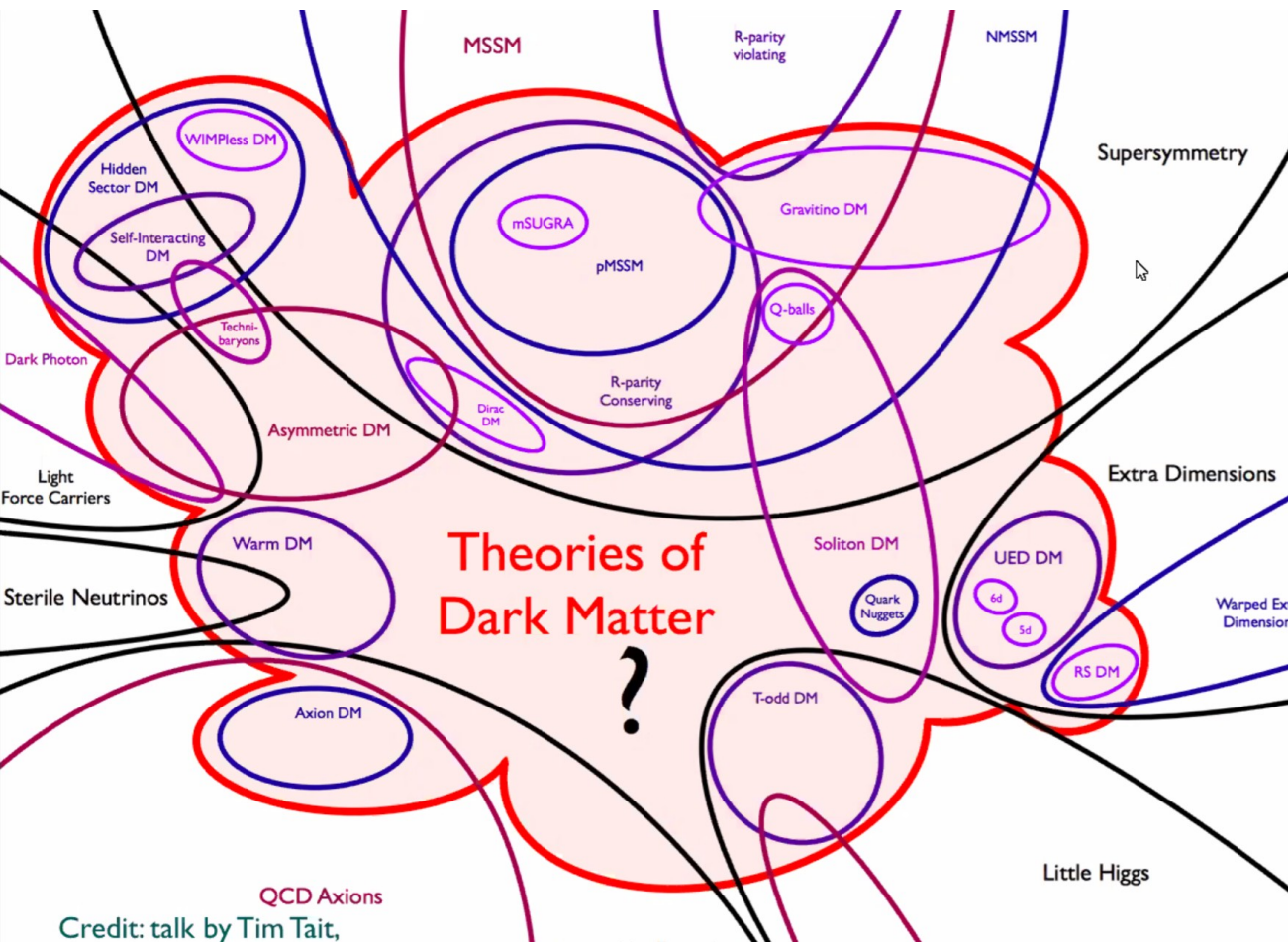


Kozmološke tenzije

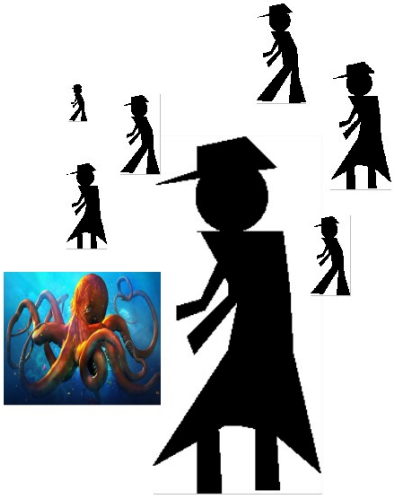
“Tenziju” ovdje možemo pojednostavniti u “razliku”, naime PLANCK (i WMAP, 2001-2010, slika dolje) obje sonde za mjerenje pozadinskog zračenje) i direktna mjerenja udaljenosti (SH0ES) mjerenja daju različite rezultate- ništa čudnog jer su metode različite. Mjerenja su točna, a mi ne znamo objasniti otkuda razlika veća od (uračunate) pogreške mjerenja! To se onda lijepo zove “tenzija”, a mnogima prouzročuje hipertenziju.

U današnjoj kozmologiji postoje mnoge takve tenzije, doktorant iz Copernicus centra u Varšavi Chandra Shekhar Saraf mi je ljubazno dao listu koju je pripremio za nedavnu prezentaciju: H_0 i S_8 tenzije, Anomalously Strong ISW Effect, BAO and the Sound Horizon Problem, Lithium Problem, A_{lens} anomaly in CMB angular power spectrum, Cosmic dipoles,...

• H_0 se odnosi na Hubble-ovu konstantu širenja svemira i razliku u mjerenju iste iz **a)** direktnih mjerenja udaljenosti objekata = 73.04 ± 1.04 km/s /Mpc i **b)** mjerenja pozadinskog zračenja satelitom PLANCK = 67.27 ± 0.60 km/s /Mpc (u oba mjerenja pouzdanost 68%) neslaganje je $\sim 4.2\sigma$ (standardne pogreške), dakle solidno, gotovo sigurno, s gledišta fizike čestica, se ne slažu!



Život u svemiru



S obzirom na mnoštvo planeta u svemiru, gotovo je nemoguće da život postoji jedino na Zemlji.

- U više od pola stoljeća potrage za “drugima” nismo naišli na pouzdane rezultate, zapravo čak niti na nepouzdanе. Regularni signali redovno su se pokazivali objašnjivi prirodnim fenomenima, a do sada istraženi planeti sunčeva sustava i van njega ne pokazuju znakove života.
- Dosadašnji programi traganja za životom u svemiru: SETI, traganje za signalima drugih civilizacija svemiru je najveći i najpoznatiji, ali zato i najkontroverzniji. Mnogi su htjeli te resurse radije iskoristiti za znanost. Zato nema budućih projekata na veliku skalu na tu temu.
- Ima entuzijasta koji bi slali signale do bliskih zvijezda, da damo do znanja da smo tu. Da li je pametno to raditi? S. Hawking je, negdje pred kraj života, upozorio da bi vanzemaljci mogli biti agresivni-vrlo vjerojatno bi bili u potrazi za resursima. Je li pametno tražiti kontakt? Ne budimo naivni kao meksički narodi koji su, znamo kako jadno, nestali, a tako su se radovali dolasku “bijelih bogova”!
- Na sreću, svemir je toliko velik, a brzina svjetlosti, čini se, nedovoljno velika i nezaobilazna, pa nam ne prijete opasnost susreta bar onakvih vanzemaljaca kakve si mi možemo danas zamisliti. Naišao sam pretprošli tjedan na studiju koja ukazuje da sva naša elektromagnetska “buka” još nije došla dovoljno daleko da bi nas itko tko ju je uočio, mogao ugroziti. Kako nam ide, vjerojatno ćemo prije...utihnuti.

Otkuda voda u svemiru?

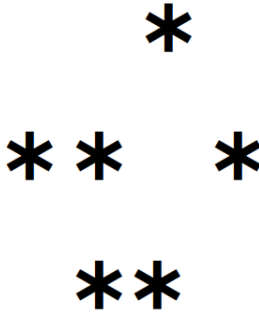


Otkuda voda **na Zemlji**? Može se činiti čudnim, ali ne znamo! Znamo da je tokom postanka naš planet prošao kroz fazu grijanja u kojoj mu je Sunce spržilo što se spržiti dalo, tako da je današnja voda morala odnekuda doći na Zemlju. Vulkani ne proizvode vodu, iako proizvode plinove...ali oceani nisu proizvod vulkanske aktivnosti. Vicramasinghe je 1960-tih postavio teoriju da su komete donijele vodu i to se činilo kao “crackpot” , luda teorija, ali danas je to jedina preostala mogućnost! Sve ostale su pobijene.

- Otkuda voda **u svemiru**? Pred par mjeseci ste mogli čitati o tome da je kineska sonda na Mjesecu pronašla vodene “perle”, razasute površinom. Čini se da je to povezano sa vodikovim atomima iz Sunčeva vjetra koji udaraju u kisik u stijenama i voila!, voda. Meteoriti i kometi imaju više deuterija jer na Suncu deuterij je potrošen u nuklearnoj reakciji. Problem je da čestice iz kozmičkog zračenja, koje stalno ozračuje materijal na Mjesecu, pošto nema atmosfere, stvaraju više deuterija, ali isto rade i sa litijem. Usporedbom je pokazano da omjeri utjecaja kozmičkog zraka ne odgovara pronađenom na Mjesecu. U svemiru, čestice iz kozmičkog zračenja, ugl. protoni, izbijaju elektrone i protone iz materijala na koji naiđu, koji se opet kombiniraju u nove konfiguracije, od kojih su vodik iz zvjezdanog vjetra i kisik iz materijala od starih, raspadnutih zvijezda, dosta česti, pa nastaje voda. Procese i načine kojima onda dolazi do nas smo tek počeli učiti.
- Problem je u tome da je materija u svemiru uglavnom u stanju koje teško možemo ponoviti u laboratoriju na Zemlji. Led, zračen kozmičkim zračenjem na neznatnim tlakovima, nešto je sasvim drugačijeg od onog koji možemo proučavati na Zemlji.
- Najbolji primjer nepredvidivosti materijala je bila nedavna posjeta kometi: poslali smo sondu, onda ona krene ubadati u površinu harpunom, da se pričvrsti...i ništa. Površina pretvrda!-a mi očekivali da će biti meka kao spužva...ili puna prašine, pa smo se bojali da bi mogla zasjesti u njoj. Na kraju, sonda se odbila od površine i završila dalje, u prašnjavijem mjestu, tvrdoće pumex-a.

Sažetak

- Razvoj tehnike omogućuje nam pogled na nebo na nove načine
- Precizna astrometrija je nužna za preciznija mjerenja
- Nova vrsta teleskopa: gravitacijska astronomija
- Astronomija je dozrijela i postala astronomija više glasnika
- Webb, najveći svemirski teleskop-astronomija u infracrvenom, pogled kroz prašinu
- Šetnja valnim duljinama kroz instrumentarij moderne astronomije
- Čestice iz svemira
- Kozmologija
- Život u svemiru, voda u svemiru?



Hvala na pažnji, želim vam mnogo daljeg užitka u astronomiji!

Za mene, astronomija je usko povezana sa ljudima i mjestima gdje sam ju učio i radio:
Varšava, Potsdam (Berlin), Atena, Taipei (Hsinchu), Pariz (Orsay), Šangaj (Songjiang), Opava,...

