

# La Einstein Teleskopo

Prelego de Emilio Vanderfeesten je la 27a februaro 2025

La pligrandiga efiko de uzado de konkavaj kaj konveksaj lensoj estis konata jam en 1530. Kaj kvankam teleskopoj laŭdire ekzistis jam en 1590, la nederlandaj okulfaristoj Sacharias Janssen kaj Hans Lippershey estas konsiderataj la unuaj fabrikantoj de teleskopoj. Ĉi-lastaj petis patenton en 1608, sed ne ricevis ĝin ĉar ekzistis tiom da malsamaj aplikoj.

Sekvante ilian ekzemplon, Galileo Galilei faris plibonigitan version de la teleskopo en 1609. Li uzis tion por rigardi la stelojn kaj planedojn kaj rimarkis, ke estas montoj sur la luno kiel ĉi tie sur la Tero.

Li ankaŭ vidis ke estis kvar lunoj orbitante Jupitero, kio plifortigis lian kredon je la teorio de Koperniko en 1543 ke la Suno estas en la centro.

Teorio kiu jam komenciĝis kun Aristarĥo de Samos kiu vivis de proksimume 310 a.K. ĝis 230 a.K.

Isaac Newton (°1643 - +1727) tiam farus spegulteleskopon, kiu faciligis fari pli grandajn diametrajn objectivojn.

Li ankaŭ evoluigis la teorion de gravito kiel forto kiu estis ĝenerala: kaj sur la Tero kaj en la spaco. Tamen, li ne povis klarigi kiel la Tero sciis ke la Suno estas tie.

En la dudeka jarcento ni konstruis teleskopojn kiuj permesis al ni vidi aliajn formojn de elektromagneta radiado, kiel transviola radiado, infraruĝa lumo, Rentgenradioj, radioradioj, stelspektroj,...

Ĝis la 1900-aj jaroj homoj estis konvinkitaj, ke devas esti ia etero en la spaco, tra kiu disvastiĝas elektromagnetaj ondoj, kaj verŝajne ankaŭ gravito.

En 1887, Michelson kaj Morley volis mezuri la lumrapidecon mezurante la moviĝon de la Tero en la etero. Ili faris rotacian tablon sur kiu 2 lumfaskoj (1.3 metrojn longaj) estis gviditaj perpendikulare unu al la alia sur la sama distanco tiel ke ili tiam povis uzi teleskopon por vidi la diferencpadronon inter la du ondoj de tiuj du indikoj.

Tamen, ili mezuris neniun diferencon.

Longe oni serĉis la eraron en la eksperimento, ĝis Einstein donis sian Specialan Relativecon en 1905: se oni mezuras neniun diferencon, verŝajne ne estas diferenco: Lia teorio baziĝas sur nur 2 proponoj:

- 1) la lumrapideco en vakuo estas konstanta
- 2) Ĉiuj naturaj leĝoj restas validaj por observantoj, kiuj ne akcelas aŭ malrapidiĝas inter si.

Tio havis nekredablajn sekvojn:

- tempo fariĝas kvara dimensio al la 3 spacaj dimensioj, longo, larĝo kaj alto.

- por iu, kiu moviĝas pli rapide ol la alia, la tempo pasas pli malrapide, li ankaŭ fariĝas pli mallarĝa en la direkto de movado - la ideala maniero perdi pezon!

Ĝuste lastminute, Einstein sukcesis aldoni mallongan apendicon al sia teorio  $E=mc^2$  (kvankam en iomete malsama formuliĝo: diferenco en maso =  $L/V^2$  kaj ke  $m=E/c^2$  jam estis pruvita en 1900 fare de Henri Poincaré).

Dek jarojn poste li etendis ĉi tiun teorion en la Ĝeneralan Relativecon por korpoj kiuj nun rajtas akceli aŭ malakceliĝi rilate unu al la alia kaj kie gravito estas egala al akcelado.

La sekvo de tio estis ke spactempo akiris kurbiĝon: la maso kurbigas spacon kaj la maso ankaŭ malrapidigas tempon, dum la longo en la direkto de la maso estas pliigita. Sed se vi indikas viajn piedojn al la amasoj, vi restos maldika. :-)

Ne nur la etero estis ĵetita eksterŝipen, ankaŭ aliaj fenomenoj estis klarigitaj kaj antaŭdiritaj:

- la tero simple sekvas spactempon tra la kliniĝo de tiu spactempo de la suno
- la eraro en la kalkulo de la orbito de Merkuro laŭ Neŭtono estis korektita (43 arkaj sekundoj en jarcento)
- maso fleksas lumradiojn
- la uzo de spaclensoj estas klarigita per tiu deflankiĝo
- Kalkuloj pri pozicioj de GPS fariĝas eblaj
- la ekzisto de nigraj truoj kaj gravitaj ondoj estas antaŭvidita

Stelo estas normale pli-malpli en ekvilibro: la maso kunpremas la stelon, kaŭzante nuklean fuzion kiu produktas eksteran forton.

Kiam tre pezaj steloj mortas, nuklea fuzio ĉesas, la eksteraj tavoloj de la stelo senŝeliĝas for en novao aŭ supernovao dum la kerno kolapsas en neŭtronstelon aŭ nigran truon.

La maso tiam fariĝis tiel granda, ke nenio povas eskapi el la kerno, eĉ ne lumo - tial la nomo nigra truo. (Poste, Hawking kalkulus la Hawking-radiadon, kiu permesas al aĵoj eskapi de nigraj truoj. )

Kiam du neŭtronaj steloj aŭ du nigraj truoj renkontiĝas kaj kunfandiĝas, kreiĝas gravitondoj, kiujn ni povas mezuri.

Ĉi tio unue estis atingita en 2015 kiam du usonaj LIGO-detektiloj registris vibrojn de 1.3 miliardoj da jara evento.

Sed en 1974, la astronomoj Russell Hulse kaj Joseph Taylor jam malkovris per radioteleskopo, ke du neŭtronaj steloj proksimiĝas unu al la alia kun rapideco, kiu ĝuste kongruas kun tio, kion oni atendus laŭ la teorio de relativeco, se ili elsendus gravitajn ondojn.

Sekvante la saman Michelson-Morley-principon, en 1972 la fizikisto Rainer Weiss publikigis skizon pri kiel gravitondodetektilo povis funkcii.

Ekzemple, la Observatorio de Laser Interferometro Gravita-Ondo (LIGO) en Vaŝingtono kaj Luiziano estis konstruita en 1980 kaj ekfunkciigita en 2002, sed neniuj observaĵoj estis faritaj ĝis 2010. => 4 km longaj brakoj.

Intertempe, apud Piza (Italio) estis konstruita tria simila detektilo, Virgo.

Tio estis metita en uzo en 2007. => 3 km longaj brakoj.

Nur post ĝisfunda ĝisdatigo de LIGO okazis la 14-an de septembro 2015: la unua gravita ondo, GW150914.

Eĉ post grava ĝisdatigo de Virgo, ĝi estis tuja sukceso: la 14-an de aŭgusto 2017 (GW170814) okazis la unua registriĝo sur eŭropa grundo. Post 3 tagoj, nova unua de fuzio de 2 neŭtronaj steloj, observita samtempe kun gravitondo kaj lumteleskopoj.

Dume, la detektilo KAGRA en Kamioka ankaŭ estis aldonita en Japanio.

Ĉi tiu detektilo estas konstruita subtere en la montoj, same kiel la Einstein Teleskopo estis celita. Tamen, pro la multaj tertremoj, ĉi tiu detektilo ne estas tia sukceso. Mi estis ĉe la 100-a datreveno de la granda Tokia tertremo. => 3 km longaj brakoj.

La lasera lumo estas reflektita tien kaj reen ĉirkaŭ 300 fojojn, farante la distancon ĉe LIGO pli ol 1000 km. Tio postulas potencon 750 kW laseron, kiu estus tro multekosta por fari (hejma kaj ĝardenlasero havas proksimume 5 milivatojn), do la lasera lumo de proksimume 200 vatoj estas plifortigita inter speguloj ĝis ĝi atingas 750 kW.

Estas multaj aliaj vibroj, kiuj devas esti nuligitaj por mezuri la etan vibradon de la gravitondoj: vibroj de la grundo, sur kiu la detektilo estas konstruita, tertremoj, vento, tajdoj, ŝanĝoj en subtera akvonivelo, preterpasanta biciklanto. La lasera lumo ankaŭ produktas bruon: la lumpartikloj iomete movas la spegulon kaj ankaŭ varmigas la spegulojn. Eĉ la termikaj proprajoj de la materialoj, aermolekuloj kaj kvantuma bruo ludas rolon.

Tial la Einstein-teleskopo – same kiel KAGRA – estas malvarmetigita ĝis  $-250^{\circ}\text{C}$  kaj konstruita subtere. Ĝi atingas proksimume 250 m sub tero. La lasta estas detektilo de dua generacio. Dum la Einstein-teleskopo jam apartenas al la tria generacio.

Se venos la Einstein-teleskopo, ĝi eĉ estos 3 teleskopoj enkonstruitaj unu en la alian, kio estas pli malmultekosta solvo ol konstrui 3 L-formojn kaj poste havi ilin precize vicigitaj unu kun la alia. La 10 km longaj brakoj estas metitaj laŭ angulo de  $60^{\circ}$  en triangula formo. Ĉi tio ankaŭ permesas al ni pli bone determini de kie venas la signalo.

La mezuriloj fariĝas pli sentemaj: en ĉiu el la 3 spacaj dimensioj ni povos vidi 10 fojojn pli; la volumeno do estos 1000 fojojn pli granda, kio prenos nin de unu observo semajne (52 po jaro) al 10 000 observoj jare.

Ni ankaŭ rigardos reen en la tempo al praaj nigraj truoj, kiuj ne povus esti kreitaj de mortantaj steloj.

Male al la unua generacio, kie la detektiloj nur observas la lastajn dekonojn de sekundo de procezo, kiu foje komenciĝis jarojn pli frue, la Einstein-teleskopo ankaŭ aŭskultos pli malaltajn frekvencojn, nome sub 10 Hertz (10 vibroj po sekundo).

Ĉi tio donas al ni du avantaĝojn: detekti la procezon en pli frua stadio kaj povi observi kunfandi komponantojn kun malsama masa gamo.

Ni supozas, ke ni ankaŭ povos observi, ekzemple, disfalon de stelo aŭ rapide turniĝantan neŭtronan stelon kun gravitondoj.

Kosmologoj – kiuj studas la ĝeneralan strukturon kaj evoluon de la universo – ankaŭ tre interesiĝas pri eble eventuale lerni pri la 95 %, kiujn ili ankoraŭ ne konas pri malluma materio (galaksioj turniĝantaj tro rapide) kaj malluma energio (ekspansio de la universo akcelas).

Ĉar lumo ekestis nur 380 000 jarojn post la komenco de la universo, ni povas nur uzi gravitajn ondojn por vidi kio okazis tiam.

La decido ĉu ĝi estos en Sardinio, Germana Saksio aŭ la eŭroregiono Mozo-Rejno estos farita en 2026.

Konstruado povus komenciĝi en 2028 kaj daŭros ĉirkaŭ sep jarojn, sed kompanioj kaj universitatoj jam disvolvas novajn aferojn.

Kiel la speguloj de 200 kg el monokristala silicio. La plej granda diametro, kiun ni iam faris, estas 30 cm kaj nun ni bezonas 50 cm. Ili ankaŭ devas esti perfekte travideblaj por ke ili povu transdoni la infraruĝan laseran lumon.

Tegaĵo ankaŭ devas esti aplikita al la speguloj por igi ilin perfekte reflektaj; tio signifas polurita ĝis la atomo.

Ĉe KU Leuven oni nun konstruos instalaĵon por disvolvi ĉi tiujn tegaĵojn, ĉar la demando estas kiel ĉi tiu supra tavolo interagos kun la speguloj en la ekstremaj kondiĉoj de la instalado (tute vakuo kaj  $-250^{\circ}\text{C}$  temperaturo).

Sed fundamenta esplorado kiel ĉi tio temas pri multe pli ol nur pli bona kompreno de la kosmo. Ĝiaj rezultoj ĉiam kaŭzis gravajn sociajn ŝanĝojn, kun grandega efiko al nia ĉiutaga vivo.

Nia tuta cifereca ekonomio baziĝas sur la invento de la transistoro en 1947.

La ĉipeta industrio, kiu valoras centojn da miliardoj euroj hodiaŭ, elkreskis el ĝi (Silicon Valley rilatas al silicio, la ĉefa krudaĵo por ĉipetoj). Estas tiom da aplikoj, kiuj estas la plej normala afero en la mondo hodiaŭ.

Konsideru la Tutmondan Reton, inventitan de brita sciencisto Tim Berners-Lee en la svisa CERN-instituto. La unuaj tuŝekranoj ankaŭ estis inventitaj tie.

Pensu fari radioizotopojn por kanceresplorado. Ĉiuj specoj de skaniloj.

Sed ankaŭ malpli videblaj aferoj kiel materiala teknologio aŭ magnetoj.

Ĉu vi eble veturis ĉi tien kun la GPS? GPS funkcias surbaze de satelitoj kun tre precizaj atomhorloĝoj, kiuj estas alĝustigitaj laŭ la ĝenerala relativeco de Einstein. Se ĉi tio ne okazas, ĉiuj GPS-sistemoj en la mondo malfunkcios ene de kelkaj horoj. Do tiu teorio el 1915 nun enradikiĝis kaj ni ne plu povas funkcii sen ĝi.