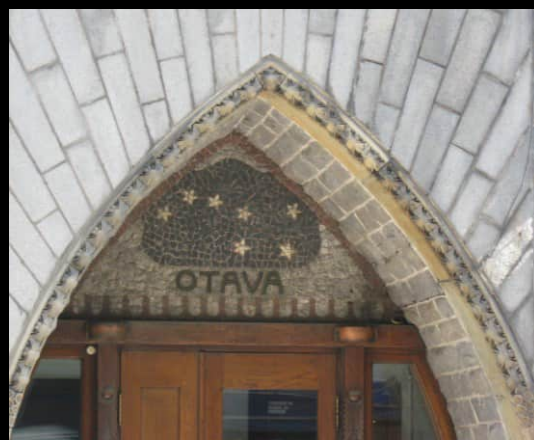


Spektroskopia
Helsingin julkisessa taiteessa
ja tieteen historiassa

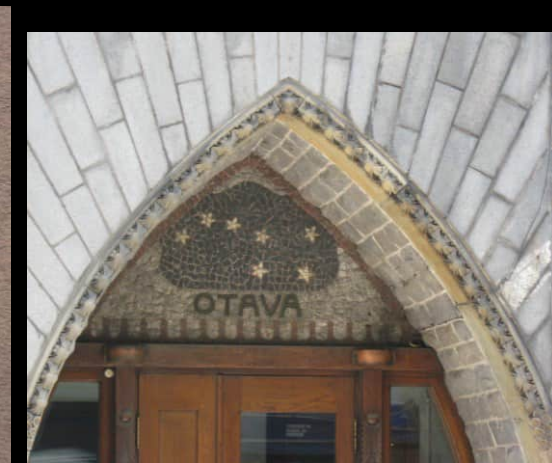
Niklas Hietala





Tiedätkö reliefin,
seinämaalauksen tai jonkin
muun tähtitieteeseen tai
meteorologiaan liittyvän
julkisen taideteoksen
Helsingissä?

Vinkkaa siitä minulle:
prioriteetti@gmail.com





Tähdet ja avaruus

POHJOISMAIDEN SUURIN TÄHTITIEDELEHTI

7 / 2019

Näin löydät Auringon viivakoodin

Eri alkuaineet ujuvat kukin oman jälkensä tähtien valoon. Spektroskopiolla tämä koodi murretaan. 1800-luvulla syntynyt tieteenala on yllättäen mukana peräti kolmessa pääkaupunkimme julkisessa taideteoksessa. Niklas Hietala patikoı Senaatintorille, Kaivopuistoon ja Myllypuroon.

TEKSTI NIKLAS HIETALA



” hmeellinen ase on tosiaankin tuo vähäpätinen lasisärmä tiedemiehen kädessä. Sen välityksellä tunkee hän ei ainoastaan auringon, vaan kankaisten kiilotahtienkin salaisuuksin. Hänäretät sumukat äärettömyyden taustalla, pimeässä avaruudessa niskentelevat pyrstötähdet, tyynivaloisat kiertotähdet avaavat tämän koneen avulla meille salaisuutensa.”
Näin sanailtiin *Uusi Suometar* -lehden sivuilla 1. marraskuuta 1899. Puheena oli varsin uusi keksintö, spektroskooppi. Vain viisi vuotta aiemmin samainen instrumentti oli ilmestynyt patsaaseen keskelle Helsinkiä.

Katselen, kuinka Senaatintorin laidolle pyhäntyneistä busseista virtaa ulosturisteja. He räpäiväi kuvia Tuomiokirkosta. Panen merkille, kuinka monet pysähtyvät kuvaamaan Aleksanteri II:n patsasta.

Torin keskellä selovan patsaan ohii kiihuhan myös helsinkiläisiä, joista kukaan ei kiinnitä tuttuun ilmestykseen laisinkaan huomiota.

Suomen suuriruhtinas Aleksanteri II:sta ympäröi neljä veistosryhmää: *Lex* (Laki), *Lux* (Valo), *Pax* (Rauha) ja *Labor* (Työ). Näistä *Lux* kuvaa taitteita ja tietettä. Hyvin harva lience huomannut tieteen muusan kädesään pitelemän esineen, ja luultavasti vielä



Simon Vouet (1590-1649): The Muses Urania and Calliope Wikimedia Commons

Cosmic Explorations

Science | Art
Space | Culture

Sept. 20-23, 2022
Pasadena, CA, USA

INSAP XI

The Conferences on The Inspiration
of Astronomical Phenomena

<https://insap.org/>

Niklas Hietala

Spectroscopy in the public art of Helsinki and the history of science



Aleksanteri II

Pronssipatsas keskellä Senaatintoria

Paljastettiin 29. 4. 1894

Johannes Takasen ja Walter Runebergin suunnittelema



Aleksanteri II

Pronssipatsas keskellä Senaatintoria

Paljastettiin 29. 4. 1894

Johannes Takasen ja Walter Runebergin suunnittelema

Jalustassa neljä allegorista teosta: *Lex* (laki), *Lux* (valo), *Pax* (rauha), ja *Labor* (työ).



Aleksanteri II

Pronssipatsas keskellä Senaatintoria

Paljastettiin 29. 4. 1894

Johannes Takasen ja Walter Runebergin suunnittelema

Jalustassa neljä allegorista teosta: *Lex* (laki), *Lux* (valo), *Pax* (rauha), ja *Labor* (työ).

Lux symbolisoi taiteita ja tieteitä



Aleksanteri II

Pronssipatsas keskellä Senaatintoria

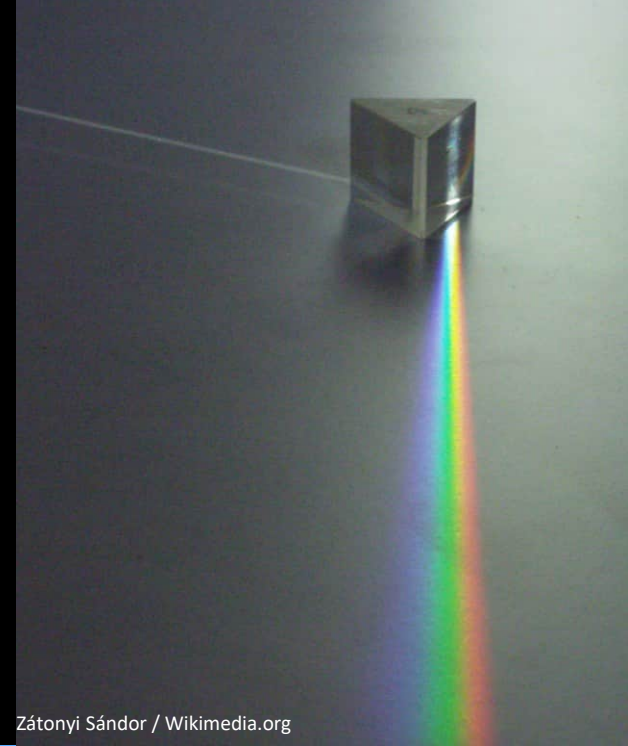
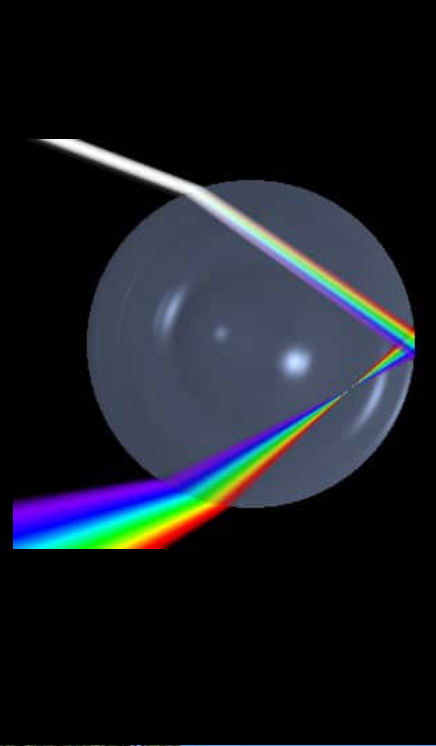
Paljastettiin 29. 4. 1894

Johannes Takasen ja Walter Runebergin suunnittelema

Jalustassa neljä allegorista teosta: *Lex* (laki), *Lux* (valo), *Pax* (rauha), ja *Labor* (työ).

Lux symbolisoi taiteita ja tieteitä

Tieteen muusa pitelee kädessään spektroskooppia!



Zátonyi Sándor / Wikimedia.org

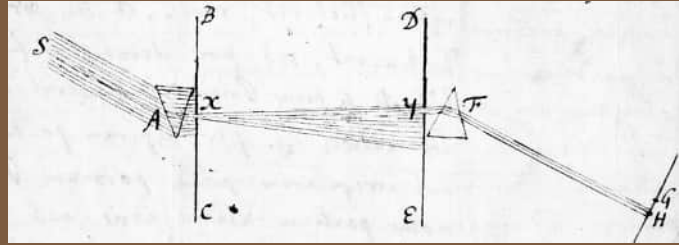
Sateenkaari muraalissa Lastentarhamuseon pihassa

Spektri:
sateenkaaren kirjo



Uusi lastensairaala

1665 Isaac Newton tekee kokeita prismalla



1814 Joseph von Fraunhofer tutkii auringon valoa spektroskoopilla



1860 Robert Bunsen ja Gustav Kirchhoff tutkivat palavien aineiden spektrejä



Spektroskooppi Kumpulan kartanossa (Luomuksen geologiset kokoelmat)

JUTTU-TUPA.

1899

N:o 43

Auringosta.

(Jatko viime numeroon.)

Palatkaamme nyt Herscheliin. Hänen jättiläisputkessansa näkyvät pilkut selvästi ammottavina reikinä auringon kuoressa. Suuremmissa pilkussa voi muutoin eroittaa kaksi osaa nim. sydämen ja niin kutsutun puoli-varjon, tieteellisellä nimellä *penumbra*. Sydän

toriassa. Tämä ase on muudan kolmi-särmiön muotoon hiottu kirkas lasikappale, jolla voimme tutkia valon ominaisuuksia.

Jos pimeään huoneesen laskemme auringon valoa pienen reijän kautta, jonka kohdalle olemme asettaneet tuollaisen lasisärmiön eli prismän, niin syntyy heti huoneen seinälle värikuva, joka on aivan samannäköinen, värit samanlaisessa järjestyksessä kuin sateenkaressakin. Jo ensi silmäyksellä selvenee tässä meille, että auringon valo ei alkuperäisin ole valkeata, vaan että se on sekoitus useammasta, oikeastaan lu-

JUTTU-TUPA.

1899

No 43

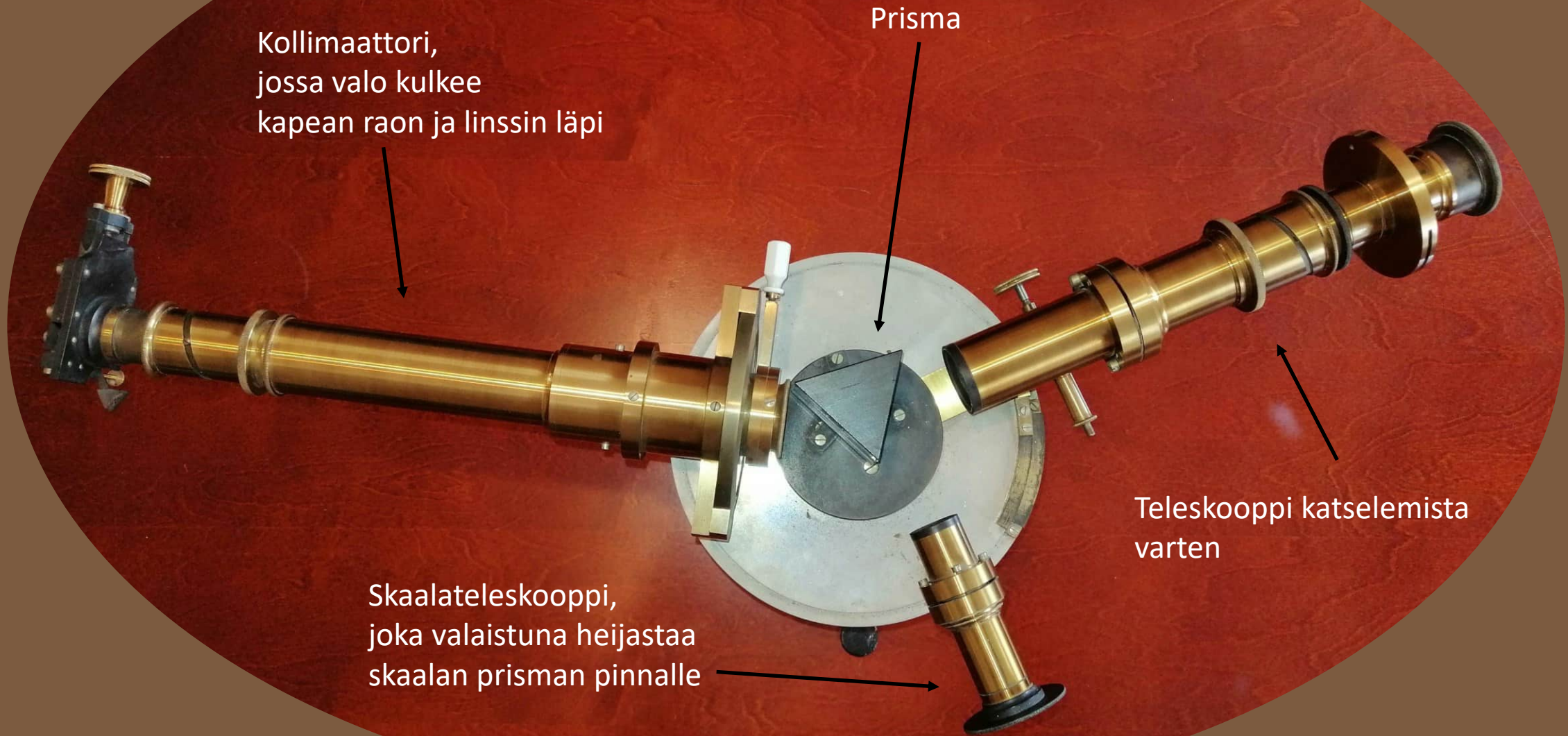
Ihmeellinen ase on tosiaankin tuo vähäpätöinen lasisärmiö tiedemiehen kädessä. Sen välityksellä tunkee hän ei ainoastansa auringon, vaan kaukaisten kiintotähtienkin salaisuuksiin. Hämärät sumukot äärettömyyden taustalla, pimeässä avaruudessa uiskentelevat pyrstötähdet, tyynivaloisat kiertotähdet avaavat tämän koneen avulla meille salaisuutensa.

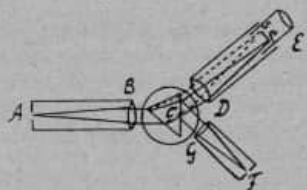
Kollimaattori,
jossa valo kulkee
kapean raon ja linssin läpi

Prisma

Teleskooppi katselemista
varten

Skaalateleskooppi,
joka valaistuna heijastaa
skaalan prisman pinnalle





(S. H.)

Kuva 2.

Myös spektroskopit kehittyivät ajan kuluessa yhä täydellisemmiksi. Vielä nykyäänkin käytetään paljon Bunsenin ja Kirchhoffin mallia (kuv. 2), jossa on prisma ja kolme putkea. Valo kulkee ensin raolla varustetun kollimatoriputken AB läpi ja taittuu sen jälkeen prismassa C niin että säteet, kaukoputkella DE tarkastettuina, antavat selvän spektrin. Kolmannessa putkessa FG on erityisellä valolähteellä valaistu läpikuultava asteikko. Sen läpi kulkevat säteet heijastuvat prisman pinnasta kaukoputken siten, että observatori näkee yhtäaikaan spektrin ja asteikon, mikä suuresti helpottaa aallonpituuden määrittämistä.

Usein käytetään myös Brownin suoraan hajottavaa spektroskopia (ä vision direct).

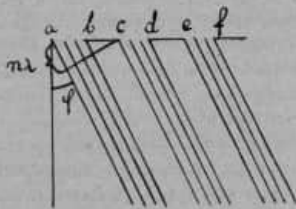
Spektrianalyysille tuli hyvin tärkeäksi Daguerren ja Talbot'n (v. 1835) keksimä valokuvaustaito. Suuremman tarkkuuden saavuttamiseksi liitetään nykyään spektroskopiin usein valokuvauskamera, jolla spektrit valokuvataan. Levyt (fotogrammit) mitataan sen jälkeen mittausmikroskopilla (komparatorilla). Kameralla varustettua spektroskopia sanotaan spektrografiaksi. Koska ultraviolettisäteet noin 4,000—3,000 Å alkaen absorboituvat lasissa, käytetään niiden tutkimiseen kvartsi- tai fluoritiprismoilla ja linseillä varustettuja spektrografeja.

Spektroskopian tärkeimpiä tehtäviä on valosäteiden aallonpituuden määrittäminen. Absolutisia aallonpituudenmittauksia varten käytetään hiloja (diffraktio- eli taipumisgitterejä), joiden ensimmäisestä valmistamisesta ja käyttämisestä (v. 1821) fysiika on Fraunhoferille kiitollisuudenvelassa.

Ensin valmistettiin hilat jännittämällä hienoja metallilankoja vierekkäin yhtä etäälle toisistaan. Sitten ruvettiin käyttämään lasihiloja, piirrettiin hienoja yhdensuuntaisia viivoja noetulle lasilevyille tai uurrettiin timanttikärjellä hienoja vakoja lasin pinnalle tai heijastavalle metallipinnalle (heijastinhila, Reflexionsgitter). Sillä tavoin syntyy suuri joukko kapeita rakoja. Valon kulkiessa niiden läpi taipuvat valonsäteet sivulle (diffraktioilmiö, Grimaldi v. 1665). Laki valon suoraviivaisesta eteneemisestä pitää nimittäin paikkansa ainoastaan, kun on kysymys raosta, jonka leveys ei ole pieni verrattuna valon aallonpituuteen.

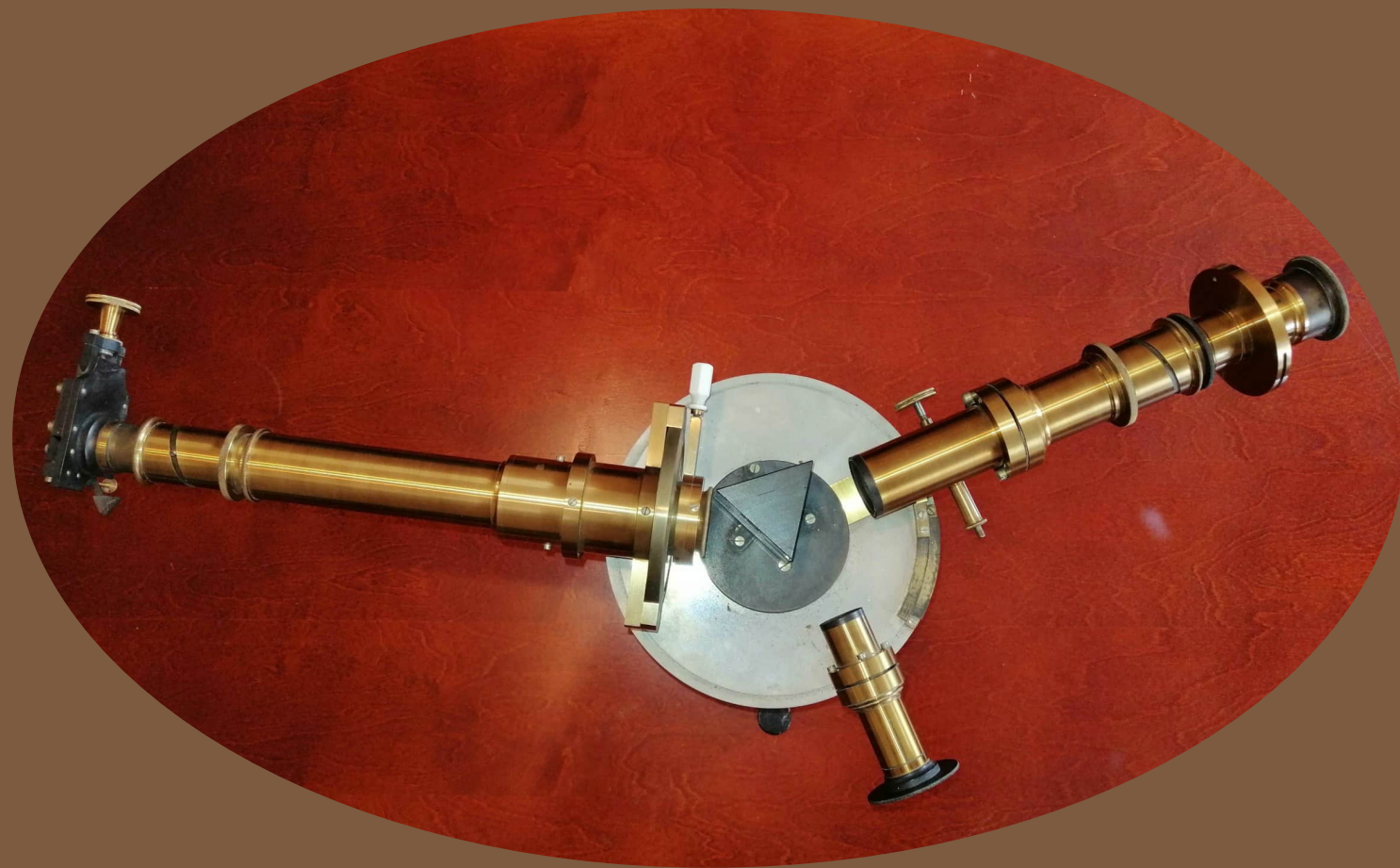
Oletamme, että hilan läpi kulkee monokromaalista (yksiväristä), esim. punaista valoa. Jos kahden viereisen sädekimpun kulkemien matkojen ero (Gangunterschied) on kokonainen luku punaisen valon aallonpituutta, niin kaikki sädekimpun vahvistavat toisiansa, ja sopivaan kohtaan asetetaan varjostimelle syntyy punainen viiva. Mutta kaikkiin muihin suuntiin sädekimpun kumoavat toisensa. Jos n merkitsee kokonaislukua (1, 2, 3...) ja $ah = n\lambda$, jossa λ = aallonpituus, sekä $ac = l$, ja $\angle ach = \varphi$, saadaan (kuv. 3) spektri, jos $n\lambda = l \sin \varphi$ (1) eli $\sin \varphi_1 = \frac{\lambda}{l}$, $\sin \varphi_2 = \frac{2\lambda}{l}$, $\sin \varphi_3 = \frac{3\lambda}{l}$ j. n. e. Kulmia $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \dots$ vastaavat eri kertaluvun spektrit. N. s. hilakonstantti l saadaan välittömästi, kun hilan vakojen luku r mm kohti on tunnettu.

Jos punaisen valon asemesta käytetään violettiä valoa, ovat hilan antamat spektraliivit lähempänä toisiaan. Kun valolähde antaa valkoista valoa, saadaan eri kertaluvun spektrejä kummallakin puolella val-



(S. H.)

Kuva 3.



Teknillinen aikakauslehti
1.2.1917

Helios (2010)

Lauri Anttila

Aurinkokelloveistos, joka koostuu kahdesta osasta



Helios (2010)

Lauri Anttila

Aurinkokelloveistos, joka koostuu kahdesta osasta



Pienemässä kivessä on aurinkokello, jossa ei ole ollenkaan gnomonia (osoitinta), vaan ajan näkee heijastuksesta metallirenkaissa





Suurempi kivi kuvaa Fraunhoferin viivoja (eri puoliskot kuvaavat emission- ja absorptiospektrejä).

Keskipäivällä tähtitornin seinässä oleva peili heijastaa auringon kuvan kiven keskiviivalle.

Helios (2010)
Lauri Anttila



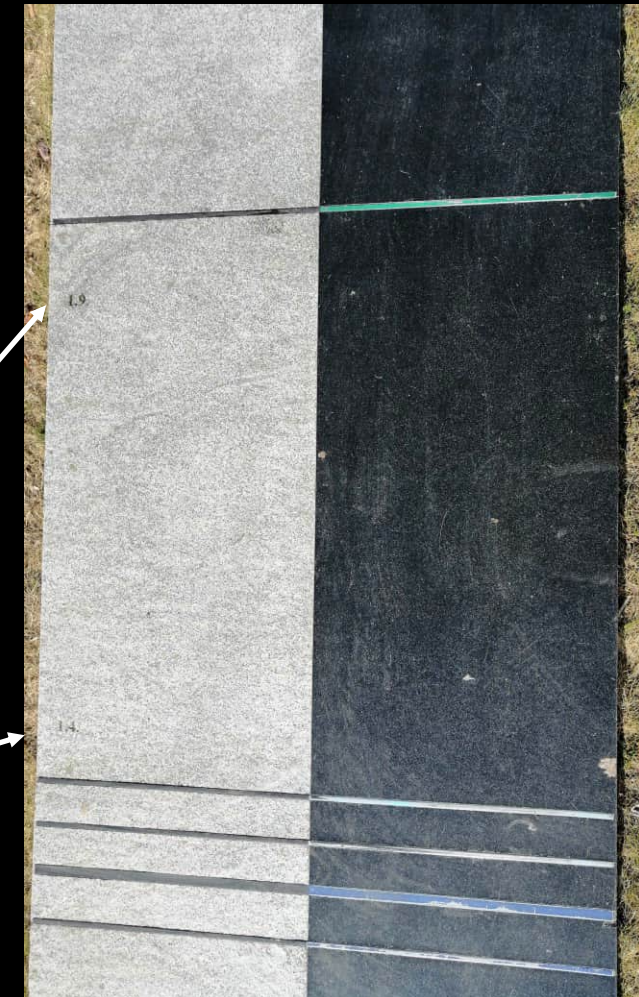


Helios (2010)
Lauri Anttila

Suurempi kivi kuvaa Fraunhoferin viivoja (eri puoliskot kuvaavat emission- ja absorptiospektrejä).

Keskipäivällä tähtitornin seinässä oleva peili heijastaa auringon kuvan kiven keskiviivalle.

Myös kalenteri: auringon kuva osuu eri aikaan vuodesta pituussuunnassa eri kohtaan kiveä. Kuukausien ensimmäisten päivien päivämäärät on kaiverrettu kiveen.



Lauri Anttila (1938-2022), käsitetaitelija, professori, tähtitieteen ystävä

- Suunnitellut useita aurinkokelloteoksia



Eratostheneen kaivo

Aurinkokello, jossa varjon syvin kohta kertoo kellonajan.



Aurinkokello

Neljässä ruskeassa pilarissa on peilit. Kukin niistä heijastaa auringonvalon alumiiniselle pylväälle, kun on keskipäivä tietyllä aikavyöhykkeellä (pituuspiirit 0°E , 15°E , 30°E , or 45°E).

Lauri Anttila (1938-2022), käsitetaiteilija, professori, tähtitieteen ystävä

- Suunnitellut useita aurinkokelloteoksia

Käsitetaide on monelle hämărăhkö, noh, käsite. Se eroaa monesta perinteisemmästä taiteenlajista siten, että lähtökohta ei ole taiteilijan käyttämä tekniikka, kuten maalaaminen, vaan idea. Ajatus, havainto tai viesti.

Idea määrittää teoksen muodon. Se voi olla veistos, esitys, niiden yhdistelmä – tai melkein mitä tahansa.

“Parhaimmillaan käsitetaide antaa vihjeitä maailmasta sellaisena kuin se on”, Anttila sanoo.

Helsingin Sanomat, 24.4.2018



Ranskalaisfilosofi Auguste Comte tähdistä:

Ymmärrämme mahdollisuuden määrittää niiden muodot, etäisyydet, koot ja liikkeet; kun taas **emme koskaan voisi millään tavoin tutkia niiden kemiallista koostumusta** tai mineralogista rakennetta, ja vielä vähemmän sellaisten järjestäytyneiden olentojen luonnetta, jotka saattaisivat elää niiden pinnalla.

(Cours de Philosophie Positive, 1835)





Spektroskopia mullisti kemian

- Bunsen ja Kirchhoff löysivät heti uusia alkuaineita
 - Cesium (1860), rubidium (1861)
- Muut tutkijat seurasivat perässä
 - W. Crookes: thallium (1861), F. Reich & H. T. Richter: indium (1863), ...

Vappupäivä Ullanlinnanmäellä

(Volker von Bonin, Museovirasto)



Spektroskopia mullisti kemian

- Bunsen ja Kirchhoff löysivät heti uusia alkuaineita
 - Cesium (1860), rubidium (1861)
- Muut tutkijat seurasivat perässä
 - W. Crookes: thallium (1861), F. Reich & H. T. Richter: indium (1863), ...
- Helium löydettiin ensiksi auringon spektristä.
 - Vuoden 1868 auringonpimennuksen aikaan Norman Lockyer tutki auringon kromosfääriä
 - Sai nimensä Heliokselta, kreikkalaiselta auringon jumalalta

Vappupäivä Ullanlinnanmäellä

(Volker von Bonin, Museovirasto)

Spektroskopia synnytti astrofysiikan

William Herschel tutki tähtien spektrejä (tähdenvalon värejä)

- Herschelin rakentamat suuret reflektorit mahdollistivat tähtien valon tutkimisen prismalla
- Valkoisen tähden valossa koko kirjo, punertavan tähden valossa ei juurikaan sinistä tai violettia
- Herschelin tutkimus lähinnä kurioseetti

1814

Herschell:
tähtien värit



By some experiments, on the light of a few of the stars of the first magnitude, made in 1798, by a prism applied to the eye-glasses of my reflectors, adjustable to any angle and to any direction, I had the following analyses.

The light of Sirius consists of red, orange, yellow, green, blue, purple, and violet.

α Orionis contains the same colours, but the red is more intense, and the orange and yellow are less copious in proportion than they are in Sirius.

Procyon contains all the colours, but proportionally more blue and purple than Sirius.

Arcturus contains more red and orange and less yellow in proportion than Sirius.

Aldebaran contains much orange, and very little yellow.

α Lyræ contains much yellow, green, blue, and purple.

Spektroskopia synnytti astrofysiikan

Joseph von Fraunhofer

- Kuun ja planeettojen spektrit samanlaisia kuin auringon spektrit (eli heijastavat auringon valoa)
- Tähtien spektrit erilaisia verrattuina aurinkoon tai toisiinsa
 - Sirkuksella kolme vahvaa viivaa, Betelgeusella lukuisia viivoja, joista osa samoja kuin auringolla

Ich habe auch mit derselben Vorrichtung Versuche mit dem Lichte einiger Fixsterne erster Größe gemacht. Da aber das Licht dieser Sterne noch vielmal schwächer ist als das der Venus, so ist natürlich auch die Helligkeit des Farbenbildes vielmal geringer. Dessenungeachtet habe ich, ohne Täuschung, im Farbenbilde vom Lichte des Sirius drei breite Streifen gesehen, die mit jenen vom Sonnenlichte keine Ähnlichkeit zu haben scheinen; einer dieser Streifen ist im Grünen und zwei im Blauen. Auch im Farbenbilde vom Lichte anderer Fixsterne erster Größe erkennt man Streifen; doch scheinen diese Sterne, in Beziehung auf die Streifen, unter sich verschieden zu sein.

1814

Herschell:
tähtien värit



1823

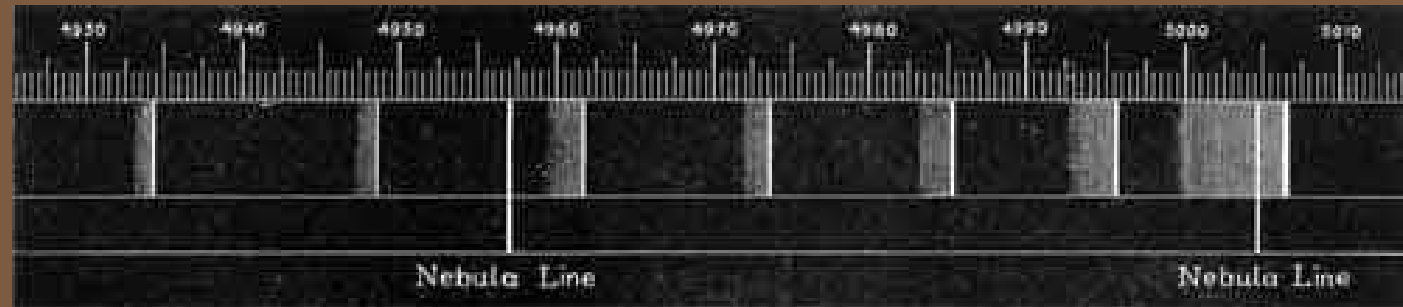
Fraunhofer:
planeetat ja
tähdet



Spektroskopia synnytti astrofysiikan

William ja Margaret Huggins

- Kaasusumujen spektri
 - Tähtisumuilla emissiospektri ja galakseilla absorptiospektri, kuten tähdillä
- Sirkuksen punasiirtymä
 - Nopeuden radiaalikomponentti voitiin määrittää
- Hugginsit käyttivät sekä piirroksia että valokuvia



Orionin tähtisumun spektri verrattuna magnesiumin spektriin

1814

Herschell:
tähtien värit



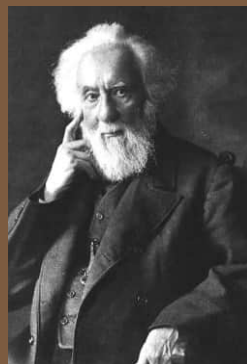
1823

Fraunhofer:
planeetat ja
tähdet



1864

Huggins:
utuisten
kohteiden spektrit



1868

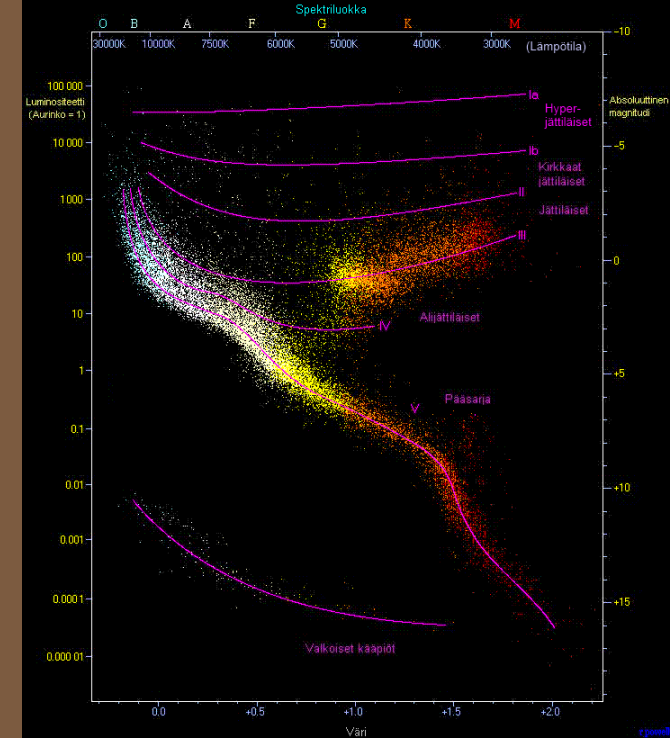
Huggins:
Sirkuksen
punasiirtymä



Spektroskopia synnytti astrofysiikan

Annie Jump Cannon luokitteli elämänsä aikana lähes 350000 tähteä

- Yksi “Harvardin komputtereista” (Edward C. Pickeringin ryhmä)
- O, B, A, F, G, K, M



1814

Herschell:
tähtien värit



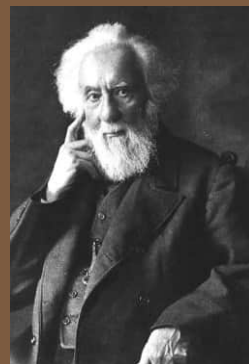
1823

Fraunhofer:
planeetat ja
tähdet



1864

Huggins:
utuisten
kohteiden spektrit



1868

Huggins:
Siriuksen
punasiirtymä



1901

Cannon:
spektriluokat



Spektroskopia synnytti astrofysiikan

Cecilia Payne-Gaposchkin ja tähtien kemiallinen koostumus

- Tähdet koostuvat pääasiassa vedystä ja heliumista

1814

Herschell:
tähtien värit



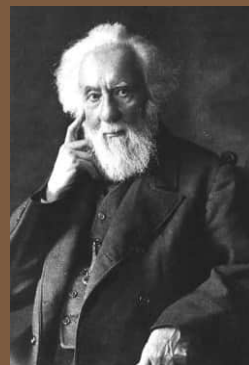
1823

Fraunhofer:
planeetat ja
tähdet



1864

Huggins:
utuisten
kohteiden spektrit



1868

Huggins:
Siriuksen
punasiirtymä



1901

Cannon:
spektriluokat



1925

Payne
tähtien koostumus



KOKOUKSIA

Ursan

vuosikokous pidettiin v.k. 25 p:nä Suomalaisella lyseolla. Yhdistyksen puheenjohtajaksi valittiin prof. Iimari Bonsdorff, varapuheenjohtajaksi toht. Niilo Kallio ja sihteeriksi viran nykyisen hoitajan pyydettyä siitä vapautusta yliopp. P. Kalaja. Johtokunnan jäseniksi valittiin maist. U. Pesonen ja liikemies J. H. Mäkinen, varalle toht. V. A. Heiskanen ja taiteilija Matti Waren.

Toht. Heiskanen piti esitelmän kiintotähtien kirjoista (spektreistä). Esitelmän pääsisältö oli seuraava: Tähdet jaetaan kirjojensa erilaisuuden puolesta eri luokkiin siten, että luokkiin O, B, A, F, G, K ja M kuuluu yli 99 % tähtitaivaan tähdistä. O-tähdet, joiden kirjoissa esiintyy tunnusmerkillisiä värillisiä emissiovoimia, tunnetaan myös nimellä Walf-Rayet-tähdet. B-tähdet ovat heliumtähtiä, joiden kirjoissa on eräät heliumviivat hyvin voimakkaita. A-tähtien (Sirius, Vega y.m.) voimakkaimmat kirjoviivat ovat vetyviivoja, luokassa F ovat taas kalsiumviivat voimakkaimmat ja A-luokassa (Aurinko, Arcturus) on kirjo samanlainen kuin auringon kirjo. K-luokassa ovat eräät kalsiumviivat hyvin voimakkaita ja kirjon sinipunerva pää on heikko. M-luokassa esiintyy kirjovoimia ja kirjon sinipunerva pää on vielä heikompi kuin edellisessä luokassa.

Kun siis tähtien kirjat ovat näin erilaiset, niin luulisi ensi silmäyksellä, että eri tähdissä on eri alkuaineita, toisissa etupäässä kalsiumia, toisissa vetyä, toisissa heliumia j.n.e. Näin ei kuitenkaan ole asianlaita, vaan miltei varmuudella voidaan sanoa, että kaikissa tähdissä on olemassa samat alkuaineet kuin maan pinnalla, mutta että olosuhteet ovat eri tähdissä erilaisia, toisissa edullisia kalsium-, toisissa helium-, toisissa vetyviivojen syntymiselle. Kaikkein määrää-

Tällainen on tieteen voima ja mahti. Löydöt, jotka on tehty spektraalisen analyysin avulla, ovat kerrassaan ja lopullisesti pyyhkäisseet rajan "maallisen" ja "taivaallisen" väliltä. Atmosferit ja Aurinko sekä tähdet ovat osoittautuneet olevan kokoonpannut samoista aineista, joita on Maassa. Siis koko maailmankaikkeus on "yhtenäistä", se on — sen kaikki lukematomat maailmat ovat kokoonpannut yksistä ja samoista aineista. Maassa, Auringossa, kaukaisissa tähdissä on esimerkiksi rautaa, vetyä, heliumia. Vetyä ja heliumia on myöskin tähtisumuissa, esimerkiksi kauneimmassa suuressa tähtisumussa — Orionin tähtisikeriössä, joka on meistä melkein 1.800 valovuoden etäisyydellä.

Punainen Karjala 2.6.1937

KOKOUKSIDA

Ursan

vuosikokous pidettiin v.k. 25 p:nä Suomalaisella lyseolla. Yhdistyksen puheenjohtajaksi valittiin prof. Iimari Bonsdorff, varapuheenjohtajaksi toht. Niilo Kallio ja sihteeriksi viran nykyisen hoitajan pyydettyä siitä vapautusta yliopp. P. Kalaja. Johtokunnan jäseniksi valittiin maist. U. Pesonen ja liikemies J. H. Mäkinen, varalle toht. V. A. Heiskanen ja taiteilija Matti Waren.

Toht. Heiskanen piti esitelmän kiinto-tähtien kirjoista (spektreistä). Esitelmän pääsisältö oli seuraava: Tähdet jaetaan kirjojensa erilaisuuden puolesta eri luokkiin siten, että luokkiin O, B, A, F, G, K ja M kuuluu yli 99 % tähtitaivaan tähdistä. O-tähdet, joiden kirjoissa esiintyy tunnusmerkillisiä värillisiä emissiovoita, tunnetaan myös nimellä Walf-Rayet-tähdet. B-tähdet ovat heliumtähtiä, joiden kirjoissa on eräät heliumviivat hyvin voimakkaita. A-tähtien (Sirius, Vega y.m.) voimakkaimmat kirjoviivat ovat vetyviivoja, luokassa F ovat taas kalsiumviivat voimakkaimmat ja A-luokassa (Aurinko, Arcturus) on kirjo samanlainen kuin auringon kirjo. K-luokassa ovat eräät kalsiumviivat hyvin voimakkaita ja kirjon sinipunerva pää on heikko. M-luokassa esiintyy kirjovoita ja kirjon sinipunerva pää on vielä heikompi kuin edellisessä luokassa.

Kun siis tähtien kirjoja ovat näin erilaiset, niin luulisi ensi silmäyksellä, että eri tähdissä on eri alkuaineita, toisissa etupäässä kalsiumia, toisissa vetyä, toisissa heliumia j.n.e. Näin ei kuitenkaan ole asianlaita, vaan miltei varmuudella voidaan sanoa, että kaikissa tähdissä on olemassa samat alkuaineet kuin maan pinnalla, mutta että olosuhteet ovat eri tähdissä erilaisia, toisissa edullisia kalsium-, toisissa helium-, toisissa vetyviivojen syntymiselle. Kaikkein määrää-

Tällainen on tieteen voima ja mahti. Löydöt, jotka on tehty spektraalisen analyysin avulla, ovat kerrassaan ja lopullisesti pyyhkaisseet rajan "maallisen" ja "taivaallisen" väliltä. Atmosferit ja Aurinko sekä tähdet ovat osoittautuneet olevan kokoonpannut samoista aineista, joita on Maassa. Siis koko maailmankaikkeus on "yhtenäistä", se on — sen kaikki lukemattomat maailmat ovat kokoonpannut yksistä ja samoista aineista. Maassa, Auringossa, kaukaisissa tähdissä on esimerkiksi rautaa, vetyä, heliumia. Vetyä ja heliumia on myöskin tähtisumuissa, esimerkiksi kauneimmassa suuressa tähtisumuissa — Orionin tähtisikeriössä, joka on meistä melkein 1.800 valovuoden etäisyydellä.

Punainen Karjala 2.6.1937

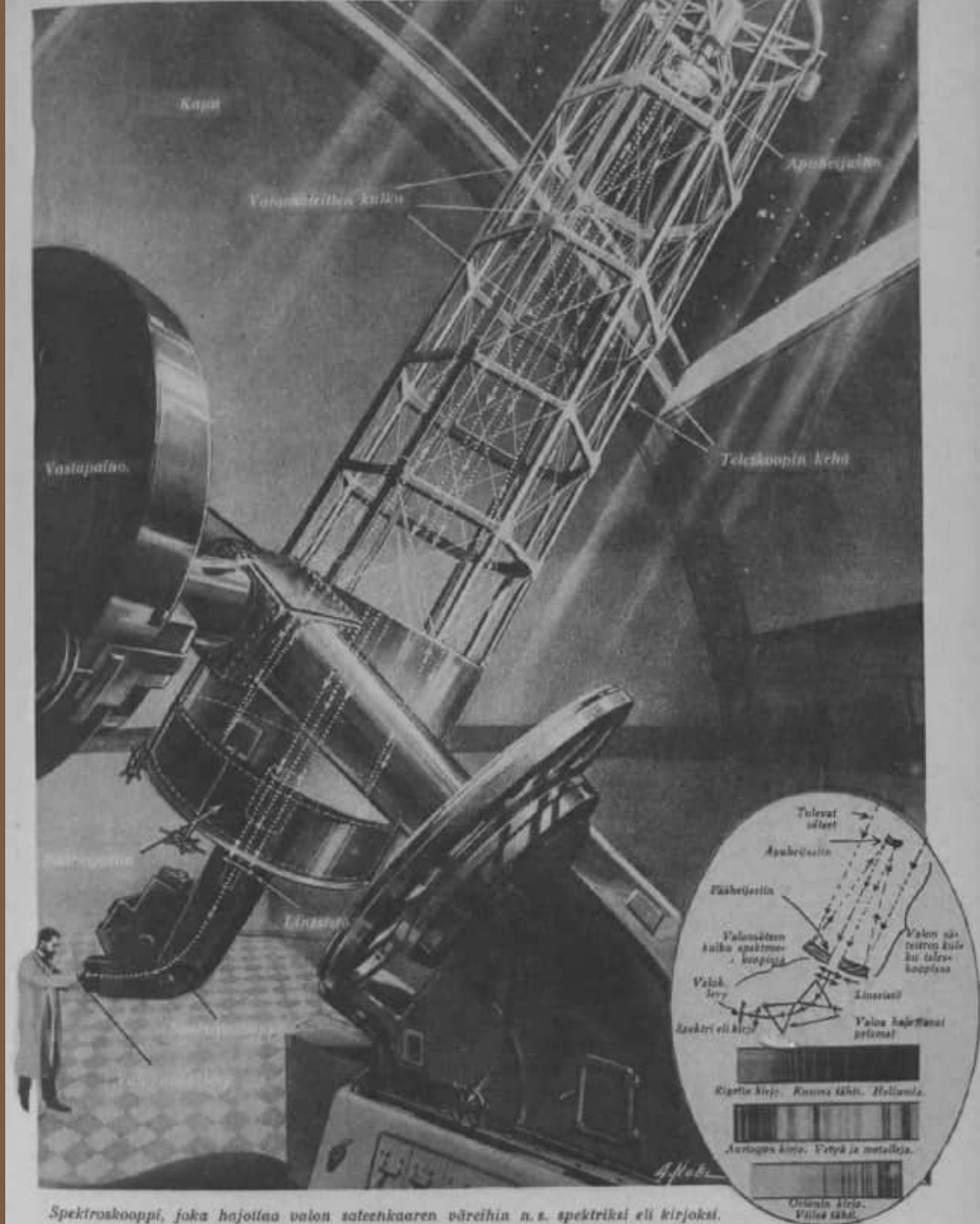


Cecilia Payne-Gaposchkin turhautuneena (tekoälyn luoma kuva)

Mutta enimmin kenties selittää meille noista avaruudessa värjäivistä sanomista spektroskooppi, joka hajottaa valon sateenkaaren väreihin n. s. spektriiksi eli kirjoksi (kts. kuvaa viereisellä sivulla). Tarkkaan eriteltynä kirjossa valo ei tsaaisesti siirry väristä toiseen, vaan sen katkaisevat pimeät ja valoisat poikkiviivat. Nämä viivat ne ilmottavat meille, mistä aineista se tähti on kokoonpantu, mistä tarkastamamme valonsäde on kotoisin. Näitten kapeitten, mitättömiltä näyttävien raitojen avulla on kyetty näyttämään toteen, että kaukaisimmissakin taivaankappaleissa on samat rakennuskivet kuin meidän maapallossamme tai meidän auringossamme. Mutta vielä enemmän tuo kirjo saattaa kertoa meille. Se saattaa sanoa, onko tähti liikkeessä meitä kohti vai meistä pois-päin, vieläpä senkin, kuinka nopeasti se liikkuu tuolla mittaamattomien avaruuksien takana.

Niinpä siis tiede joka päivä ottaa lukemattomia langattomia sanomia, eetteriaaltoja vastaan ja tutkii ja tulkitsee niitä. Ja nämä sanomat ne antavat meille kaiken oleellisen, mistä maailman-kuvamme on koottu.

Suomen Kuvalehti, no 27, 5.7.1924



Spektroskooppi, joka hajottaa valon sateenkaaren väreihin n. s. spektriiksi eli kirjoksi.

Spektroskopia muutti käsityksemme maailmankaikkeudesta



- Vesto Slipher mittasi "spiraalisumujen" Dopplerin siirtymiä (1912-1917)
 - Lähes kaikki loittonevat Maapallosta

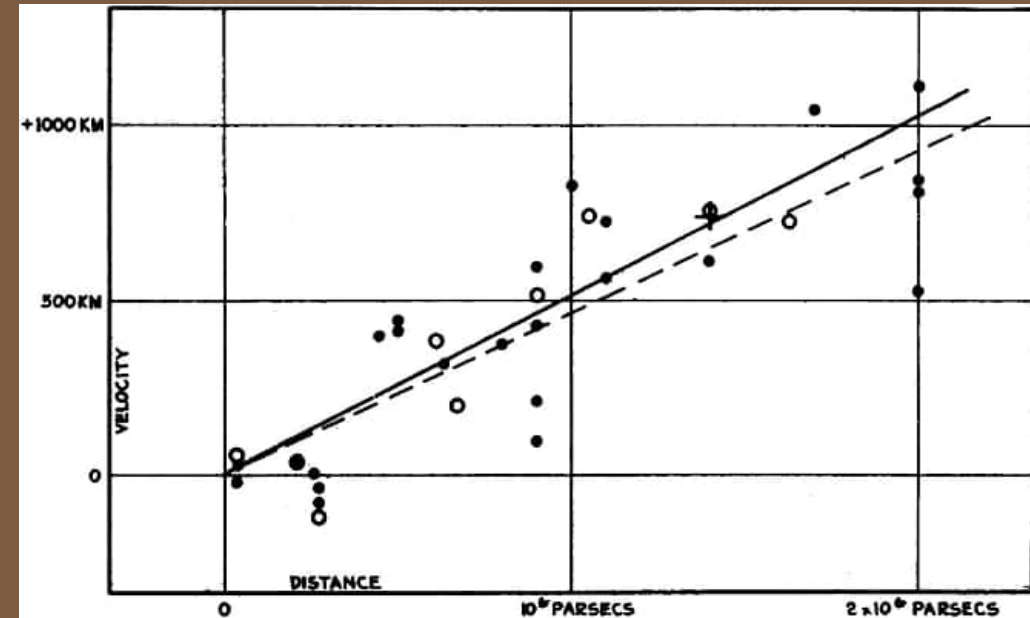
Spektroskopia muutti käsityksemme maailmankaikkeudesta



- Vesto Slipher mittasi "spiraalisumujen" Dopplerin siirtymiä (1912-1917)
 - Lähes kaikki loittonevat Maapallosta
- Edwin Hubble mittasi etäisyyksiä Mount Wilsonin observatoriossa (1929)
 - Punasiirtymien yhdistäminen etäisyyksimittauksiin johtaa Hubblen lakiin
 - galaksit liikkuvat poispäin Maasta nopeudella, joka on suoraan verrannollinen niiden etäisyyteen
- Hubblen-Lemaître'n laki selittyy maailmankaikkeuden laajenemisella



Craig Baker / Wikimedia.org



Hubble mullisti käsityksemme maailmankaikkeudesta jo pelkillä omilla etäisyysmittauksillaan.

- Kaikkeuden koko selvisi
- Utumaiset kohteet ovat omia “saariuniversumejaan” (siis galakseja), kuten Immanuel Kant oli arvellut

Osoituksena spektroskopin tutkimustavan etevyydestä omalla alallaan mainittakoon, että sen avulla on huomattu Andromedasumun liikkuvan meitä kohden 300 kilometrin nopeudella sekunnissa. Tämän tutkimustavan tarkkuutta eivät mitkään etäisyydet väennä, kun vain saapuva valo on riittävän voimakas. Andromedasumun on nähtävästi linnunrataa lähinnä oleva tämänkaltainen muodostuma. Kaukaisimmat maahan näkyvät spiralisumut sijaitsevat tehtyjen laskelmien mukaan satojen miljonien valovuosien päässä. Näitä etäisyyksiä ilmaistaessa alkaa tavattoman suuri mittayksikkö, valovuosi, jo tuntua liian pieneltä.

Kuuluvatko nämä näköpiirimme yltävät ja niiden takana olevat meille näkymättömät linnunradat, jollaisen Kant teoksessaan otaksui, siitä ei meidän aikamme kokemusperäinen tieto voi mitään sanoa. Vielä suuremmalla syyllä on ratkaisematta kysymys tähti maailman äärellisyydestä tai äärettömyydestä.

New Yorkin uutiset
27.10.1921

Hubble mullisti käsityksemme maailmankaikkeudesta jo pelkillä omilla etäisyysmittauksillaan.

- Kaikkeuden koko selvisi
- Utumaiset kohteet ovat omia “saariuniversumejaan” (siis galakseja), kuten Immanuel Kant oli arvellut

Osoituksena spektroskopin tutkimustavan etevyydestä omalla alallaan mainittakoon, että sen avulla on huomattu Andromedasumun liikkuvan meitä kohtaan 300 kilometrin nopeudella sekunnissa. Tämän tutkimustavan tarkkuutta eivät mitkään etäisyydet väennä, kun vain saapuva valo on riittävän voimakas. Andromedasumun on nähtävästi linnunrataa lähinnä oleva tämänkaltainen muodostuma. Kaukaisimmat maahan näkyvät spiralisumut sijaitsevat tehtyjen laskelmien mukaan satojen miljonien valovuosien päässä. Näitä etäisyyksiä ilmaistaessa alkaa tavattoman suuri mittayksikkö, valovuosi, jo tuntua liian pieneltä.

Kuuluvatko nämä näköpiirimme yltävät ja niiden takana olevat meille näkymättömät linnunradat, jollaisen Kant teoksessaan otaksui, siitä ei meidän aikamme kokemusperäinen tieto voi mitään sanoa. Vielä suuremmalla syyllä on ratkaisematta kysymys tähti maailman äärellisyydestä tai äärettömyydestä.

New Yorkin uutiset
27.10.1921



Helsingissä maailmankaikkeuden tavattoman suurta kokoa kuvaa Antero Toikan *Valo ja aine*, joka löytyy Kumpulanmäeltä Physicummin edestä.

- Teoksen matta ja kiiltävä kuvaa galaksien jakaumaa avaruudessa (harvempi ja tiheämpi)
- Mallina infrapunatelliitin kuva alueesta, joka ulottuu noin 300 valovuoden päähän
- Linnunrata on halkaisijaltaan noin kahden millimetrin kokoinen alue teoksen keskiosan paikkeilla. Teoksen koko on 240 neliömetriä

Rotaatiokäyristä pimeään aineeseen

- Fritz Zwicky tutki Coman galaksijoukkoa 1933
 - Määrittäi spektroskopian avulla rotaationopeuksia
 - Rotaationopeuksista laskettu massa erosi yli 400 kertaisesti valovoimasta määritetystä massasta
 - *“dunkle Materie”*



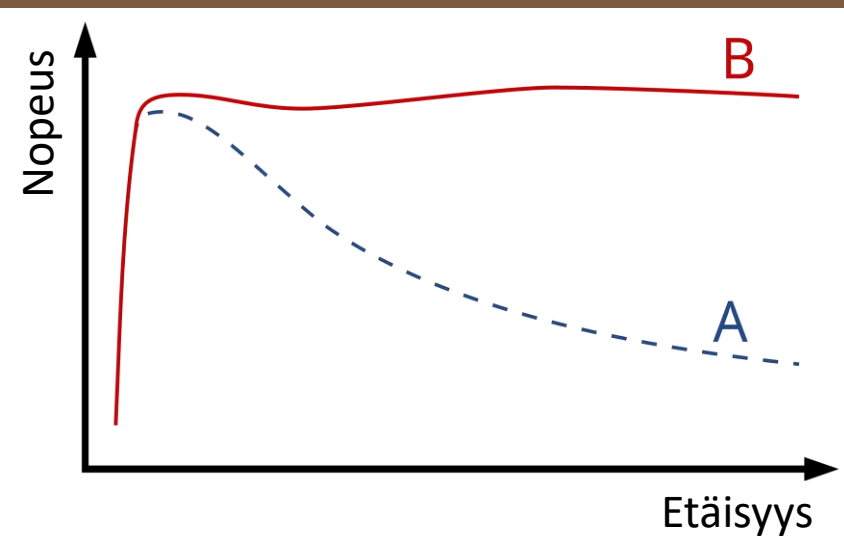
Fritz Zwicky

Rotaatiokäyristä pimeään aineeseen

- Fritz Zwicky tutki Coman galaksijoukkoa 1933
 - Määrittäi spektroskopian avulla rotaationopeuksia
 - Rotaationopeuksista laskettu massa erosi yli 400 kertaisesti valovoimasta määritetystä massasta
 - *“dunkle Materie”*
- Vera Rubin mittasi 1970-luvulla galaksien rotaatiokäyriä
 - Oletus oli, että nopeus laskisi ulkoreunaa kohti
 - Rotaationopeudet galaksin ympäri olivat lähes vakiot
 - Täytyy olla jotakin näkymätöntä massaa nostamassa nopeuksia



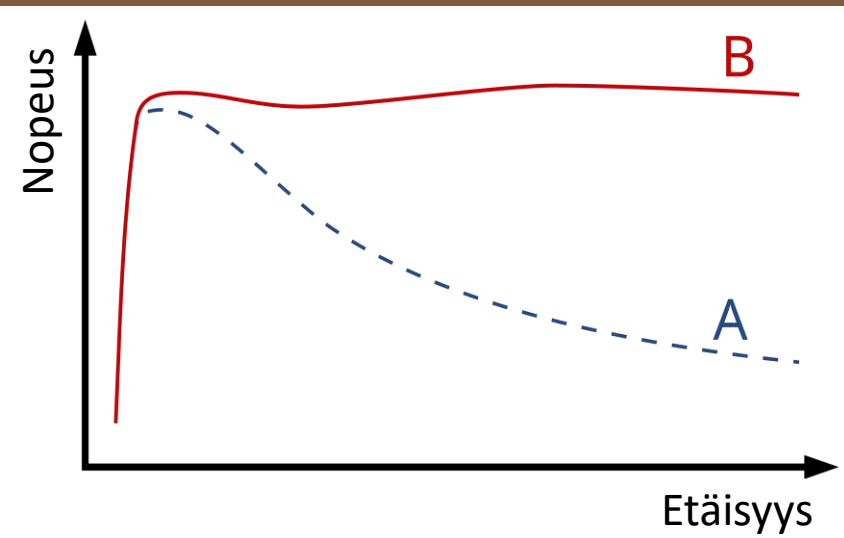
Vera Rubin käyttämässä Kitt Peak National Observatoryn 36-tuumaista kaukoputkea ja siihen liitettyä Kent Fordin spektrografia



Fritz Zwicky

Rotaatiokäyristä pimeään aineeseen

- Fritz Zwicky tutki Coman galaksijoukkoa 1933
 - Määrittäi spektroskopian avulla rotaationopeuksia
 - Rotaationopeuksista laskettu massa erosi yli 400 kertaisesti valovoimasta määritetystä massasta
 - *“dunkle Materie”*
- Vera Rubin mittasi 1970-luvulla galaksien rotaatiokäyriä
 - Oletus oli, että nopeus laskisi ulkoreunaa kohti
 - Rotaationopeudet galaksin ympäri olivat lähes vakiot
 - Täytyy olla jotakin näkymätöntä massaa nostamassa nopeuksia



Vera Rubinin mittaukset olivat mahdollisia, koska radioteleskooppien kehityksen myötä voitiin mitata rotaatiokäyriä myös galaksien ulkoreunalta halosta, jossa sijaitsee tähtien sijaan lähinnä kaasupilviä, joita ei pystytä havainnoimaan näkyvän valon alueella.



Vera Rubin käyttämässä Kitt Peak National Observatoryn 36-tuumaista kaukoputkea ja siihen liitettyä Kent Fordin spektrografia



Fritz Zwicky

Night sky (2012)

Terike Haapoja
Myllypuron terveystalouden
julkisivussa

950 LEDiä visualisoi reaaliajassa
magnetometridataa pohjoisesta.

Kun Kevossa näkyy revontulia,
voi Myllypurossa nähdä
turkooseja aaltoja.

Kun magneettinen aktiivisuus on
heikkoa, LEDit vain visualisoivat
fluktuoivaa mittausdataa, kuten
kuvassa näkyy.





Spectrum (2012)

Terike Haapoja

Myllypuron terveystakeskuksen aulassa

Neljä kerrosta korkeava maalaus kuvaa auringon purkausta.



Spectrum (2012)

Terike Haapoja

Myllypuron terveystakeskuksen aulassa

Neljä kerrosta korkeava maalaus kuvaa auringon purkausta.

Visualisoi mittausdataa Metsähovin radio-observatoriosta. Minuutin pätkä data. Keltainen osa on purkaus auringossa mitattuna taajuuksilla 300-400 MHz.



Jan Wagner / Wikimedia.org



Spectrum (2012)

Terike Haapoja

Myllypuron terveystakeskuksen aulassa

Neljä kerrosta korkeava maalaus kuvaa auringon purkausta.

Visualisoi mittausdataa Metsähovin radio-observatoriosta. Minuutin pätkä data. Keltainen osa on purkaus auringossa mitattuna taajuuksilla 300-400 MHz.

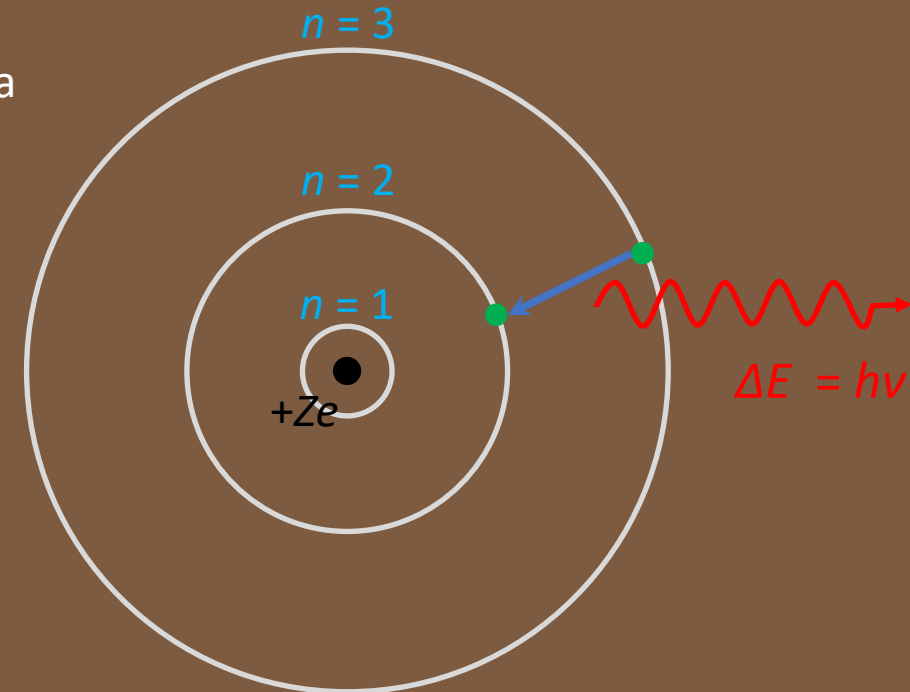


Jan Wagner / Wikimedia.org

Spectrum kuvaa, Kuinka spektroskopian menetelmät toimivat yleisesti sähkömagneettisen säteilyn tutkimukseen, eivät vain näkyvään valoon.

Spektriviivojen ymmärtämisen tavoittelu johti kvanttifysiikan syntyyn ja moderniin ymmärrykseen aineen rakenteesta

- Spektriviivojen ymmärtäminen oli vaikeaa, koska atomien rakennetta ei vielä tunnettu
- Johann Balmer (1885): yksinkertainen yhtälö vedyn spektriviivojen selittämiseksi
 - Johannes Rydberg yleisti sen
$$\frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$$
missä $n_2 > n_1$
(n_i on elektronin energiatila)
 - Toimii, mutta ei selitä, että miksi
- Bohrin atomimalli (1913)
 - Elektronit kiertävät ydintä diskreeteillä radoilla, joilla on tietyt energiat
 - Ratojen energiaerot vastaavat Rydbergin yhtälön aallonpituuksia
 - Alkeellinen atomimalli, mutta merkittävä askel kohti modernia kvanttifysiikkaa



Rutherford perusti teoriansa havaintoihin alfahiukkasten kulusta materian läpi. Se oli enemmän kvalitatiivista laatua, mutta kaksi vuotta myöhemmin keksi sen nuori tanskalainen fyysikko N i e l s B o h r tarkasti kvantitatiiviseksi teoriaksi, joka sitten on viettänyt monta riemuvoittoa. Bohr käytti tässä uudella ja itsenäisellä tavalla Planck'in energiakvantumikäsitettä. Tutkikaamme vetyatomia; sen ainoa elektroni liikkuu atomissa radassa, joka olkoon ympyrä ja jonka keskipiste on ytimessä. Ympyrän säde ei kuitenkaan voi Bohr'in teorian mukaan olla mielivaltainen, vaan sillä täytyy olla joku niistä täydellisesti määrättyistä arvoista, jotka suhtautuvat toisiinsa niinkuin kokonaisten lukujen neliöt 1, 4, 9, 16, j. n. e. Näistä »kvantumaradoista» kuuluu sisin atomin »normaalitilaan»; sillä on säde noin puoli kymmenesmiljoonasosa mm:iä, mutta koska muutkin radat ovat mahdollisia, selviää että vetyatomilla eri tapauksissa voi olla eri suuruus. Jos elektroni hyppää ulkopuolisesta radasta sisäpuoliseen rataan, säteilee siitä energiamäärä, joka esiintyy määrättyinä spektriviivana. Vuonna 1885 keksi sveitsiläinen Balmer hyvin omituisen lain, joka koskee vedyn n. k. Balmer-sarjassa esiintyvien spektriviivojen heilahduslukuja. Mutta tälle laille ei ollut onnistuttu kaikista ponnistuksista huolimatta löytämään teoreettista selitystä, ennenkuin se nyt aivan luonnollisella tavalla tuli «sille Bohr'in teoriassa. Lausekkeeseen, joka esittää Balmerviivojen heilahduslukua, sisältyy n. k. »Rydbergvakio», jonka empirisesti määrätty arvo oli 3290 biljoonaa, kun taas Bohr'in teoria antoi 3300 biljoonaa. Tässä oli siis oivallinen yhtäpitävai-

HJ. TALLQVIST:

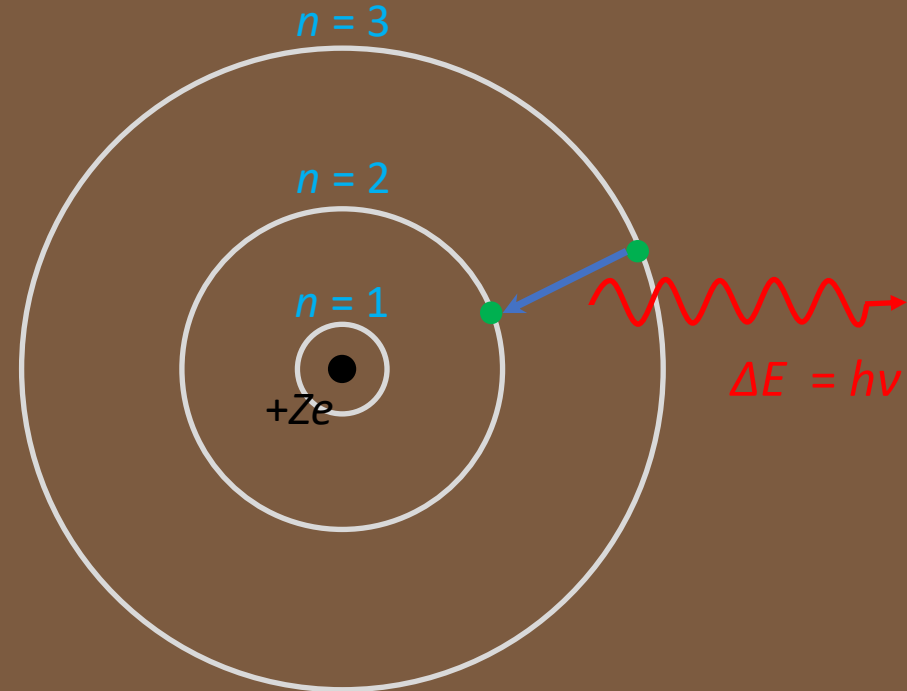
Fysiikan uudemmasta kehityksestä.

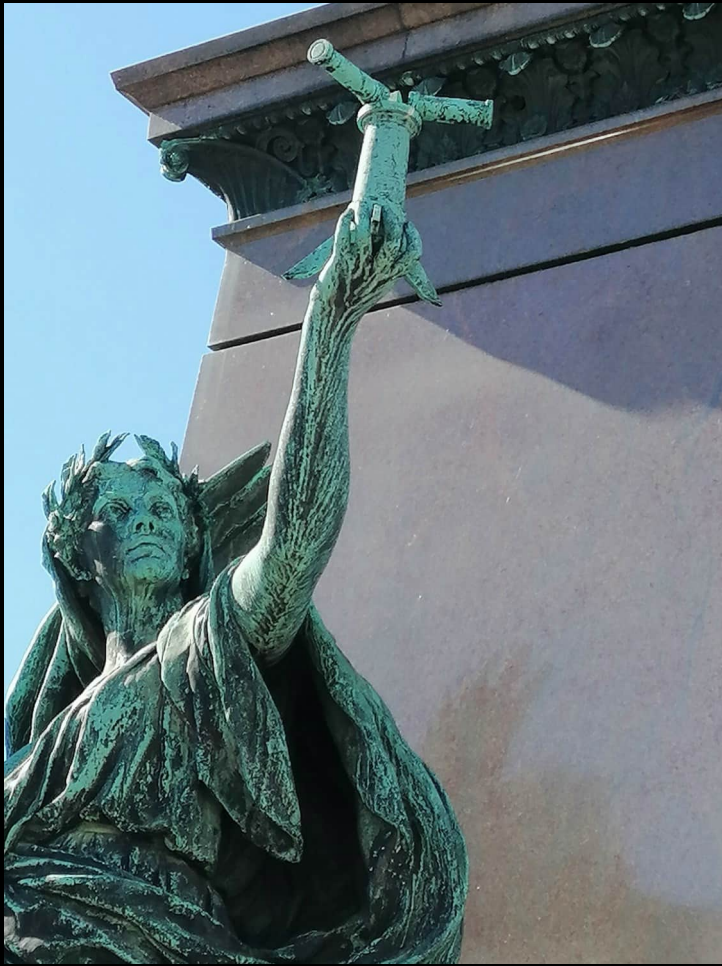
IX

Fysiikan uudemmista teorioista.

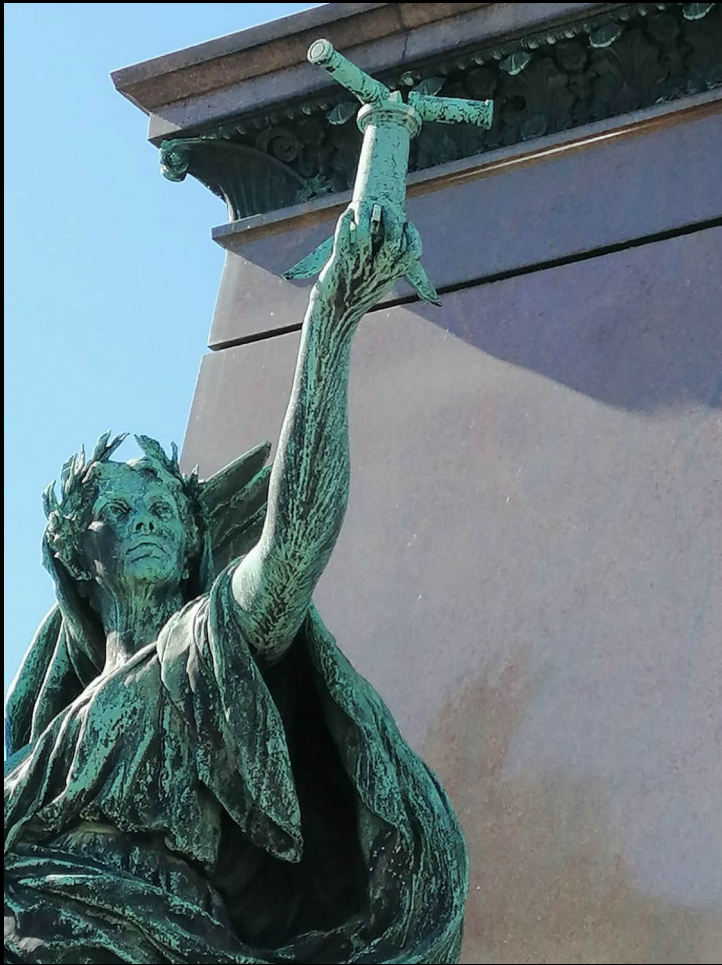
syys ja sitä huomattavampi kun Rydbergin luku samoinkuin teorian muutkin suureet johdetaan ainoastaan kolmesta vakiosta, nimittäin elektronin massasta ja sähkövarauksesta sekä ennen mainitusta Planck'in vakiosta, joka määrää energiakvantumin. Yhtähyvin selitti Bohr'in teoria muutamat heliumin spektriviivasarjat.

Kiertotähdet eivät kuitenkaan kierä tarkkaan ympyröissä aurinkoa, vaan Kepler'in kuuluisien lakien mukaan ellipseissa, joiden toisessa polttopisteessä on auringon keskipiste. Tällaisiin ellipsiratoihin ulotti Bohr'in teorian saksalainen professori Sommerfeld ja saattoi hänen avulla selittää spektriviivojen hienostruktuurinkin, s. o. sen tosiasian että useimmat viivat voimakkaassa hajoituksessa jakaantuvat komponentteihin määrättyjen lakien mukaan. Hienostruktuuriteoriaa karakterisoi n. k. »hienostruktuurivakio»; sille saatiin yhtä loistava yhtäpitäväisyys kuin Rydbergin vakiole, nimittäin arvot 0,007290 ja 0,007294.

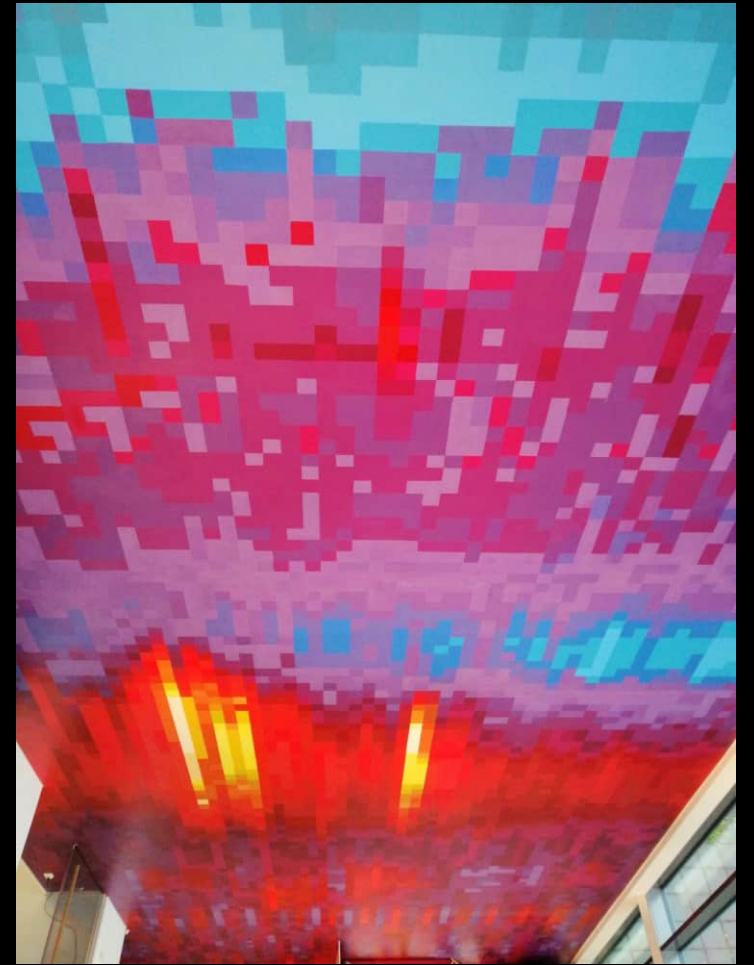




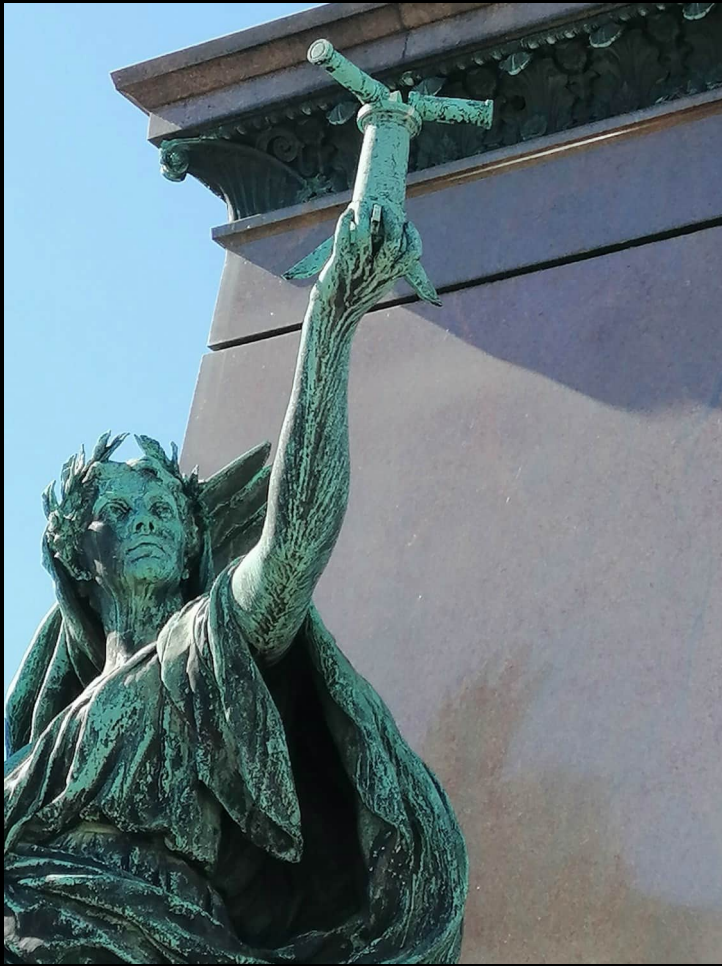
Taide voi visualisoida tiedettä monin tavoin.



mittalaite



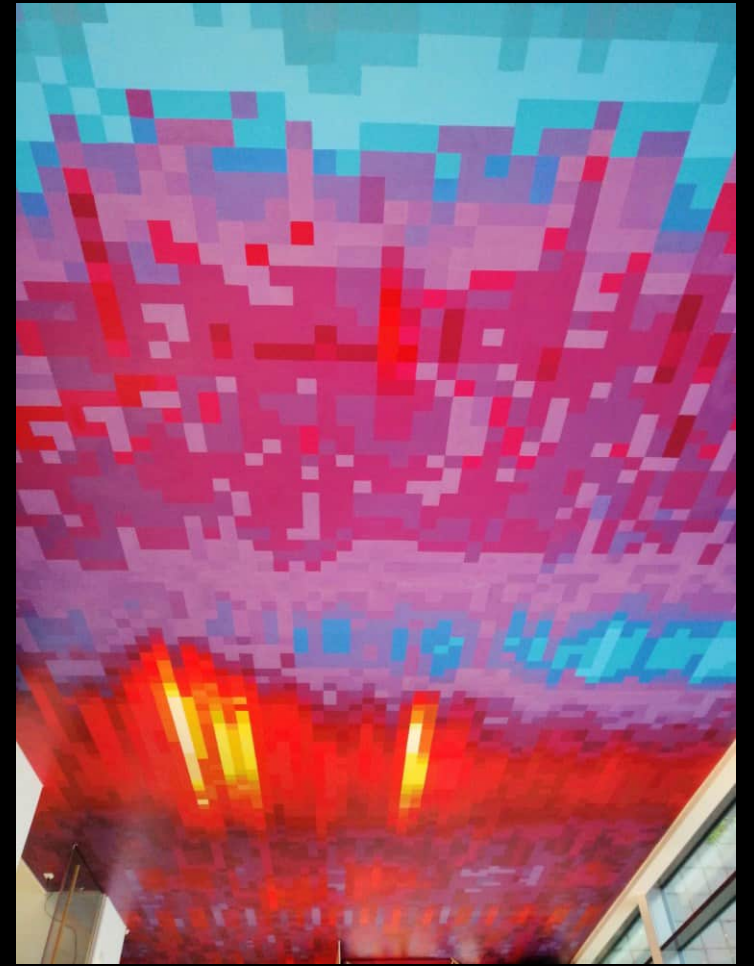
Taide voi visualisoida tiedettä monin tavoin.



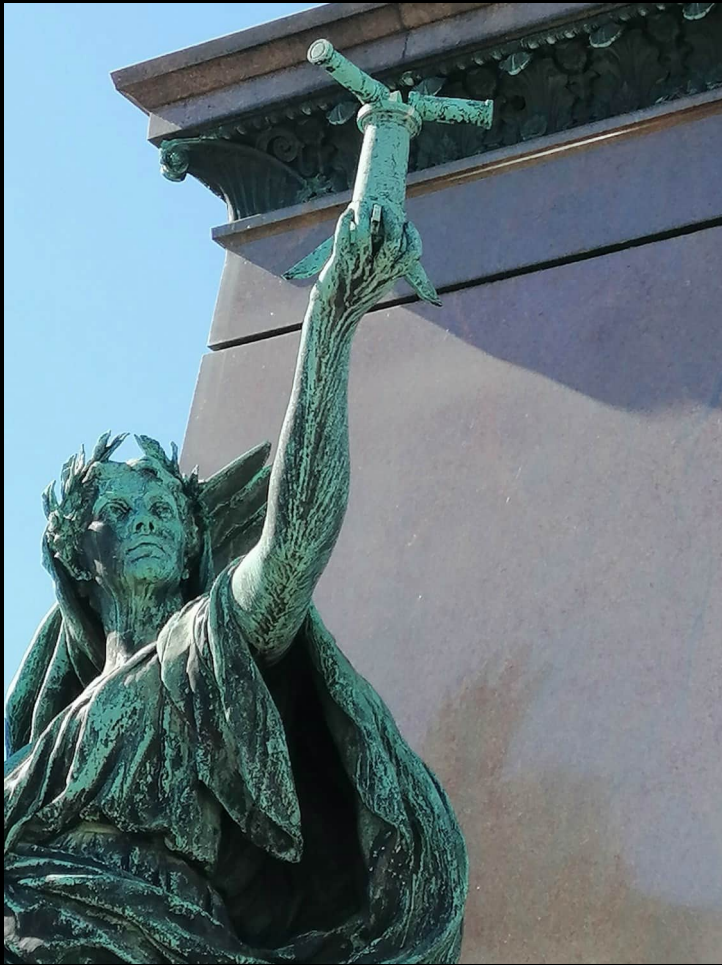
mittalaite



käsite



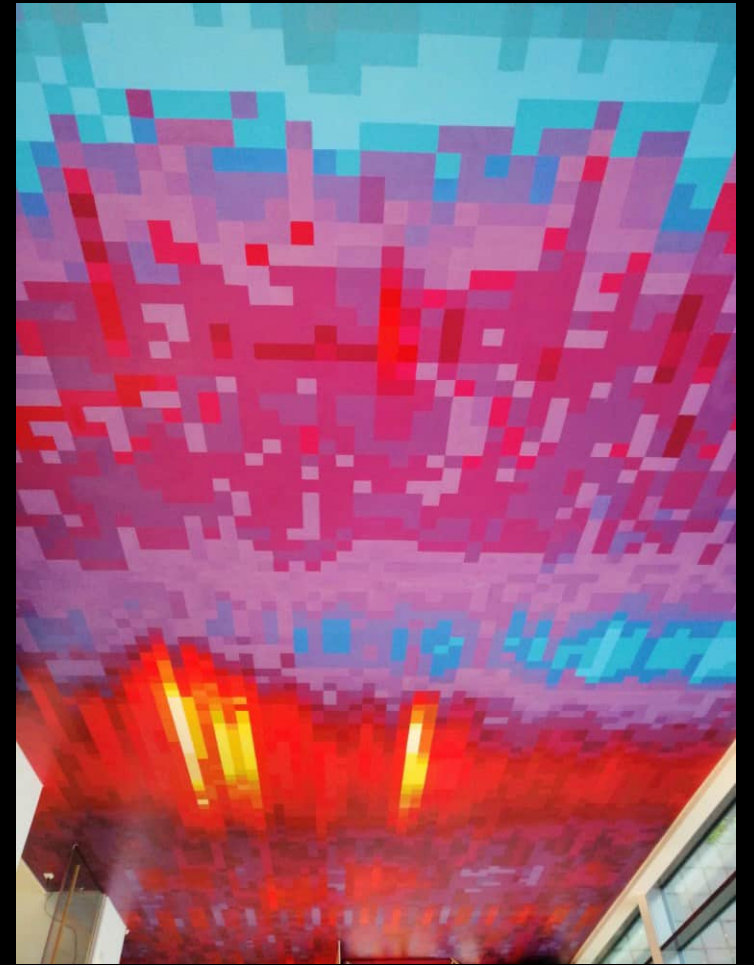
Taide voi visualisoida tiedettä monin tavoin.



mittalaite



käsite



mittadata

Taide voi visualisoida tiedettä monin tavoin.



Kiitos!