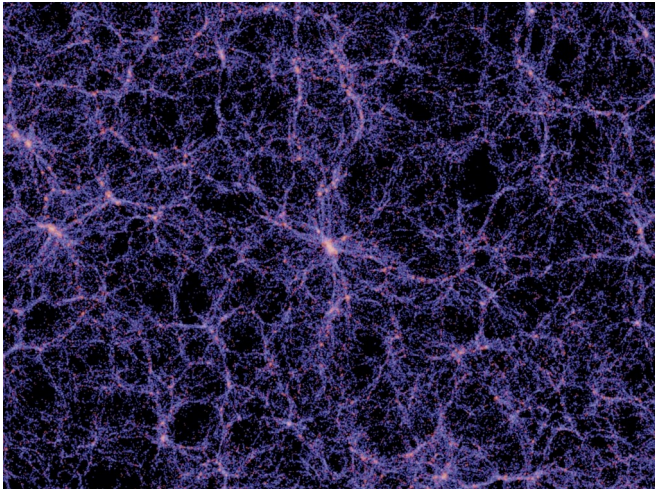


Miten voidaan tietää?

- Havainnot
- Teoria
- Simulaatiot



Galaksien jakauma Millenium-simulaatiossa



Nordic Optical Telescope (NOT)

Einstein's field equations

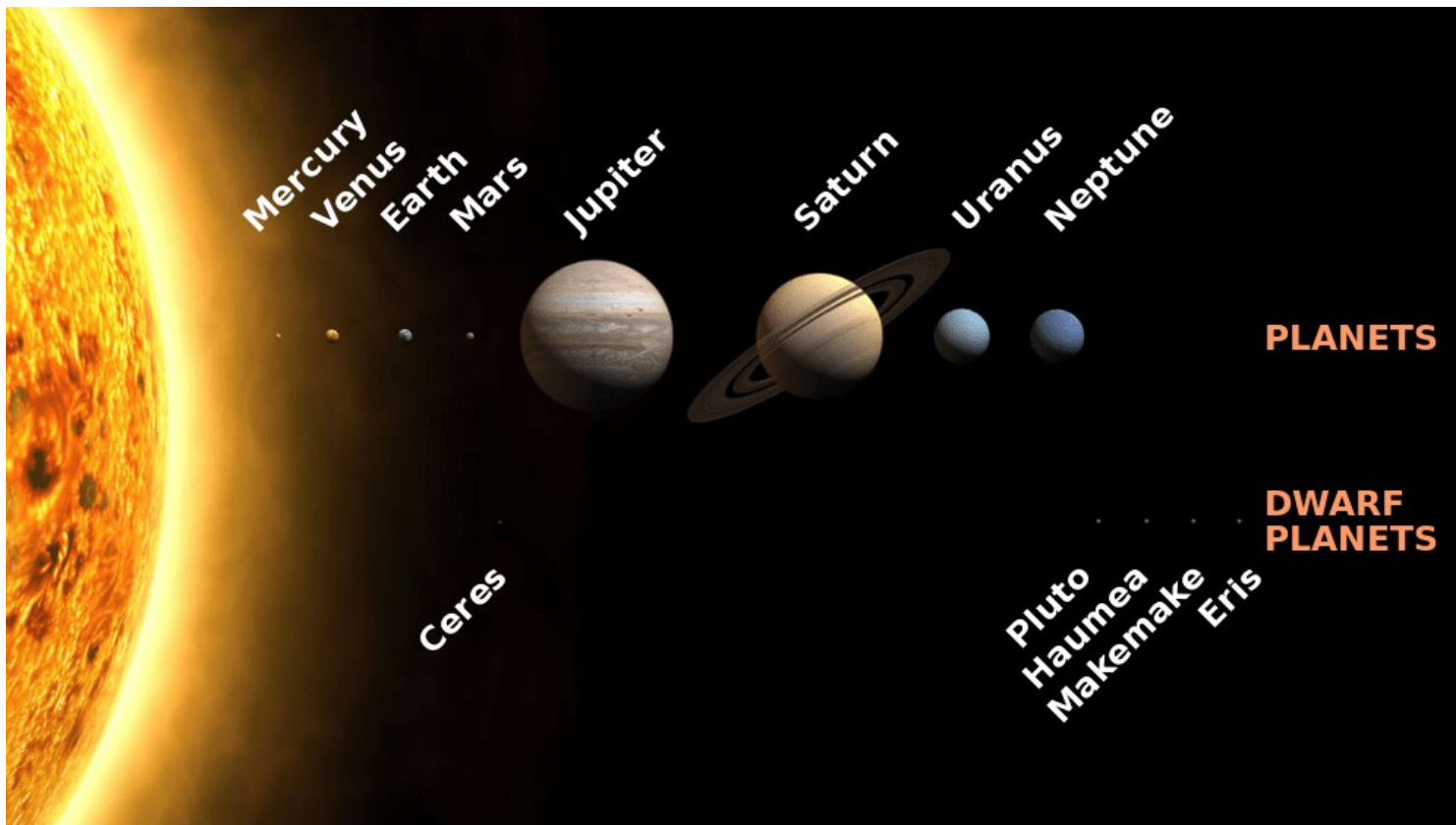
$$G_{\mu\nu} \equiv R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}R g_{\mu\nu} = \kappa T_{\mu\nu}$$

Maailmankaikkeus nyt 2026

Intro

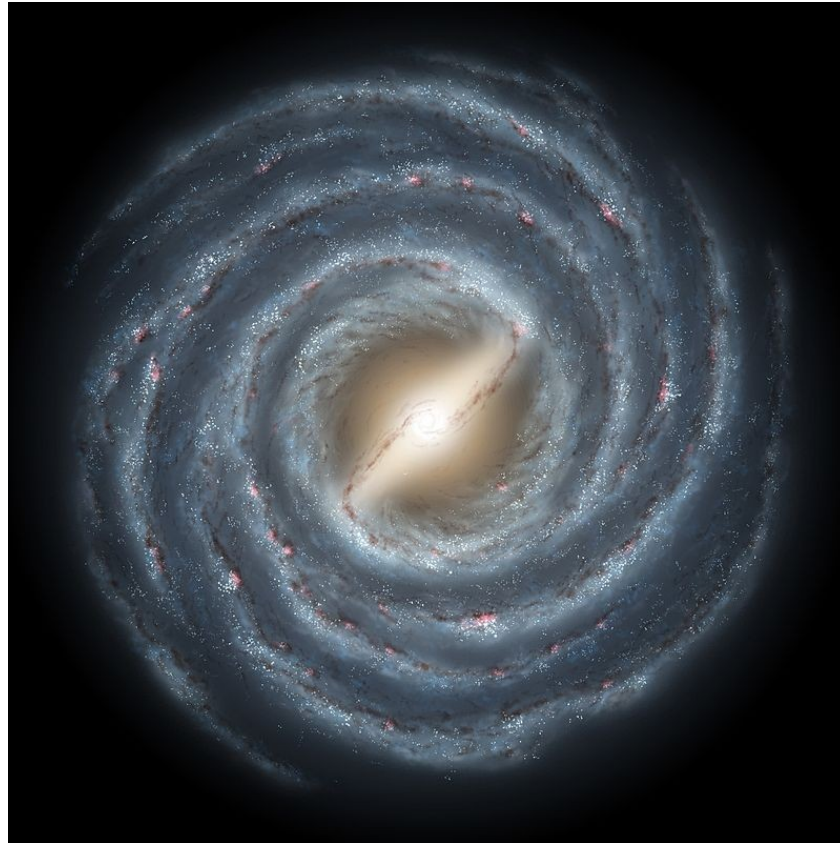
- Maapallo
- Aurinkokunta
 - Aurinko, planeetat, kääpiöplaneetat, kuut, pienkappaleet
- Tähdet
 - Tähtien synty, kehitys, kehityksen päätepisteet, planeettajärjestelmät
- Tähtienvälinen aine
 - Kaasu, pöly
- Linnunrata
- Galaksit
 - Galaksijoukot, superjoukot
- Kosmologia
 - Maailmankaikkeuden suuren mittakaavan rakenne, historia, tulevaisuus

Aurinkokunta



Maailmankaikkeus nyt 2026

Linnunrata



Maailmankaikkeus nyt 2026

Universumi



Maailmankaikkeus nyt 2026

Muinaishistoriaa

- ”Vanhin tiede”
- Taivaan tapahtumat tärkeitä monissa muinaisissa kulttuureissa (säilyneitä todisteita mm. Mesopotamiasta, Egyptistä, Kiinasta)
- Stonehenge ja muut megaliittimonumentit
- Manner-Euroopan ympyräkaivannot, tunnetuin Goseckin ympyrä
- Jätinkirkot Pohjanmaalla
- Arkeoastronomia



Nebran kiekko on Saksasta löytynyt muinaisesine, joka on ajoitettu noin ajalle 1600 eaa.



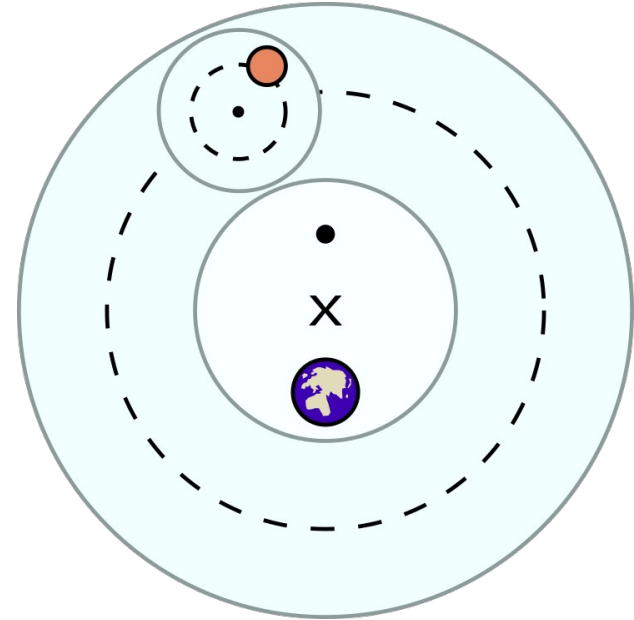
Goseckin ympyrä Saksassa. Kaivannon uloskäynnit on suunnattu talvipäivänseisauksen auringonnousun ja laskun mukaan. Kuva: LDA Sachsen-Anhalt



Kastellin Jätinkirkko Raahessa. Kivikautisen rakennelman porttiaukot on suunnattu kesä- ja talvipäivänseisauksen, vapun ja kekrin auringonnousujen sekä talvipäivänseisauksen auringonlaskun mukaan. Kuva: Xanara.

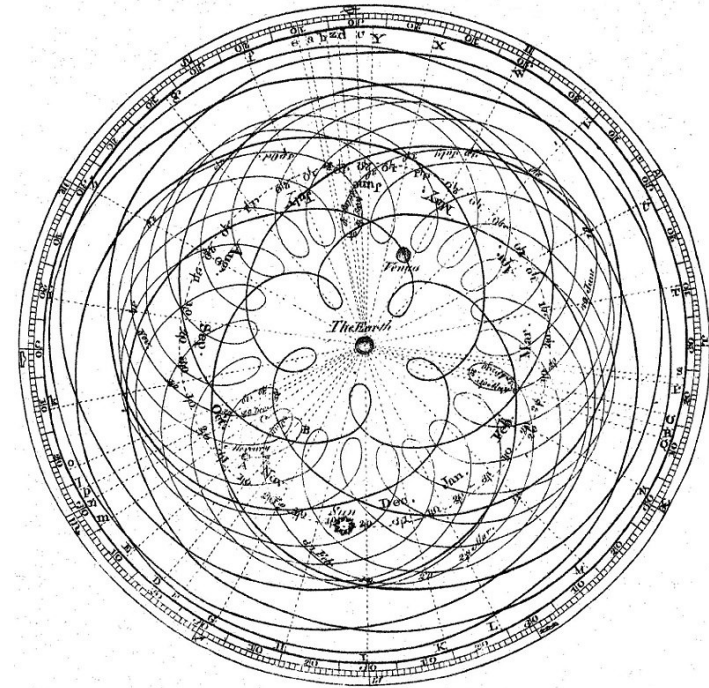
Antiikin kreikkalaiset

- Aristoteles
 - Aristoteleen maailmankuva vallitseva yli tuhat vuoden ajan: Maa kaikkeuden keskipiste
- Erasthenes
 - Laski Maan halkaisijan
- Hipparkos
 - Tähtiluetteloita
- Ptolemaios
 - Almagest: 100-luvulla julkaistu teos, jonka kautta Aristoteleen maailmankuva säilyi vallitsevana totuutena 1600-luvulle asti: kaikki kappaleet kiertävät Maata täydellisillä ympyräradoilla – ympyrä ratojen sovittaminen havaintoihin planeettojen liikkeistä vaati useita sisäkkäisiä ympyräliikkeitä, *episyklejä*



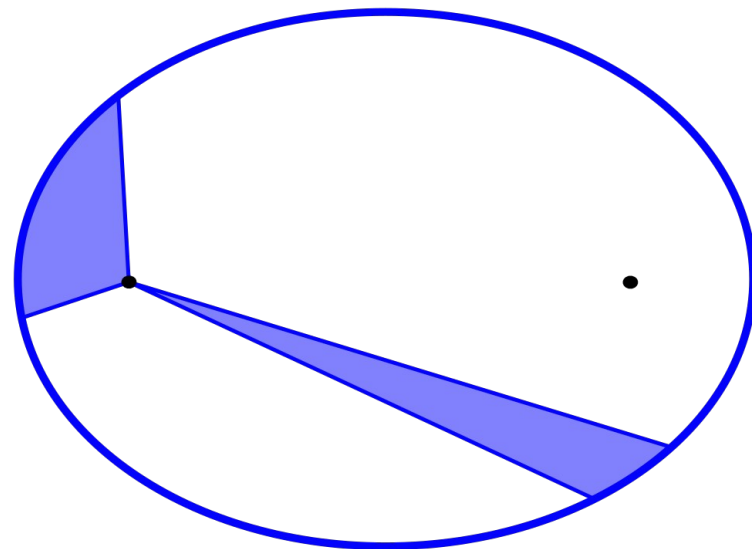
Keskiaika

- Almagest säilyi kirkon virallisena oppina
 - Planeettojen liikkeitä selitettiin episykleillä, joiden avulla havaintojen mallintaminen kävi huomattavan monimutkaiseksi
- Kreikkalaisia tekstejä säilyi arabien kääntäminä



Tieteellinen vallankumous

- Nikolaus Kopernikus (1473-1543)
 - Sijoitti Auringon kaikkeuden keskelle
- Tyko Brahe (1546-1601)
 - Tarkkoja havaintoja planeettojen liikkeistä
 - Havaitti "uuden tähden" (todellisuudessa supernova) 1572: kaikki ei olekaan muuttumatona!
- Johannes Kepler (1571-1630)
 - Laati Brahen havaintojen pohjalta Keplerin lait: planeetat kiertävät Aurinkoa *ellipsiradoilla*
- Galileo Galilei (1564-1642)
 - Löysi kaukoputkella mm. Jupiterin kuut, Saturnuksen renkaat, Venuksen vaiheet, oli ensimmäisten joukossa tekemässä systemaattisia havaintoja auringonpilkuista



Keplerin lait:

I: Planeetan kiertorata on ellipsi, jonka polttopisteessä Aurinko sijaitsee

II: Auringosta planeettaan piirretty jana peittää samassa ajassa saman pinta-alan

III: $P^2 \sim a^3$ (P = kiertoaika, a = isoakselin puolikas)

Moderni tähtitiede

- Newtonin lait: 1687 Isaac Newton muotoilee liikelakinsa, jotka mm. selittävät Keplerin lait, sekä gravitaatiolakinsa
 - I: Kappaleen liike ei muutu, ellei siihen kohdistu jokin voima
 - II: $F = ma$ – voima F antaa massalle m kiihtyvyyden a
 - III: Jokaiselle voimalle on yhtä suuri, vastakkaisuuntainen vastavoima
 - Gravitaatiolaki: $F_G = Gm_1m_2/r^2$ (massat m_1 ja m_2 etäisyydellä r vetävät toisiaan puoleensa voimalla F_G , missä G on gravitaatiovakio)
- Spektroskopia: Joseph von Fraunhofer selvittää Auringon kemiallisen koostumuksen 1814 (Fraunhoferin viivat)
- Lähitähtien etäisyys määritetään ensimmäisen kerran 1838 parallaksi-ilmiön avulla
- Albert Einstein: Suppea suhteellisuusteoria (1905) ja yleinen suhteellisuusteoria (1915)
- Jean Perrin & Arthur Eddington (1919): Tähtien energianlähteeksi paljastuu ydinfuusio
- Edwin Hubble: Linnunradan ulkopuolella on muita galakseja (1925), maailmankaikkeus laajenee (1929)
- Alkuräjähdysteoria vakiintuu 1960-luvulla
- Pimeä energia: 1990-luvun havainnot paljastavat että maailmankaikkeus laajenee jatkuvasti kiihtyvällä nopeudella

Luonnon perusvoimat

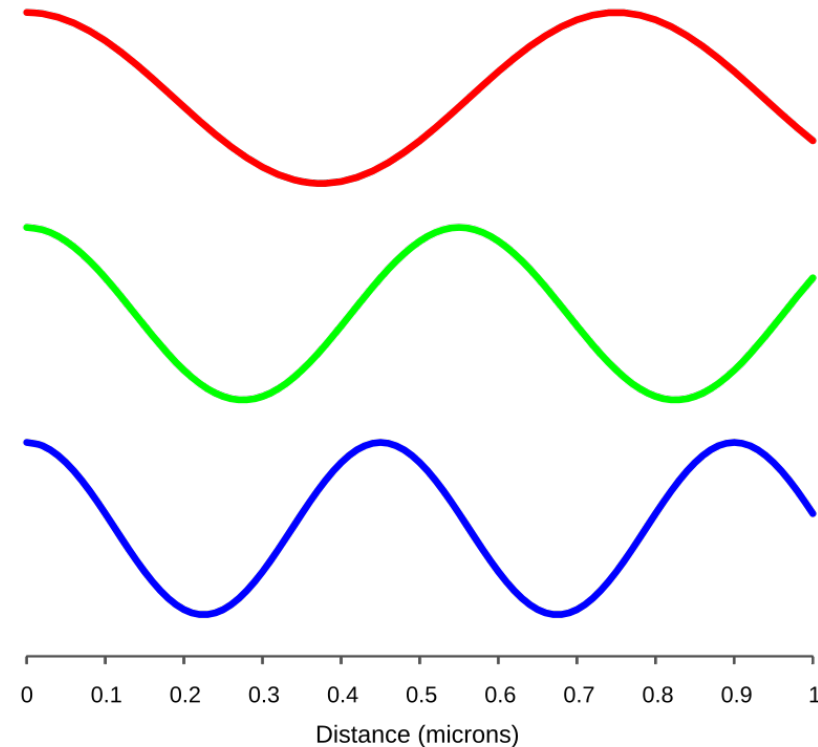
- Luonnossa neljä perusvuorovaikutusta
 - Vahva vuorovaikutus – pitää atomit koossa
 - Heikko vuorovaikutus – havaitaan lähinnä radioaktiivisen hajoamisen kautta
 - Sähkömagnetismi – välittäjähiukkanen fotoni
 - Gravitaatio – lyhyillä etäisyyksillä paljon muita heikompi, mutta ainoa jolla merkitystä suurilla mittakaavoilla
- Hiukkasfysiikan standardimallissa iso määrä hiukkasia, mutta käytännössä maailmankaikkeus koostuu elektroneista, protoneista ja neutroneista, sekä tuntemattomista pimeästä aineesta ja pimeästä energiasta (sekä fotoneista ja muista välittäjähiukkasista ja neutrinoista, mutta niiden kokonaisenergia pieni)

massa →	≈2.3 MeV/c ²	≈1.275 GeV/c ²	≈173.07 GeV/c ²	0	≈126 GeV/c ²
varaus →	2/3	2/3	2/3	0	0
spin →	1/2	1/2	1/2	1	0
	u ylös	c lumo	t huippu	g gluoni	H Higgsin bosoni
	d alas	s outo	b pohja	γ fotoni	
KVARKIT					
	0.511 MeV/c ²	105.7 MeV/c ²	1.777 GeV/c ²	91.2 GeV/c ²	
	-1	-1	-1	0	
	1/2	1/2	1/2	1	
	e elektroni	μ myoni	τ tau	Z Z-bosoni	
	<2.2 eV/c ²	<0.17 MeV/c ²	<15.5 MeV/c ²	80.4 GeV/c ²	
	0	0	0	±1	
	1/2	1/2	1/2	1	
LEPTONIT	ν_e elektronin neutriino	ν_μ myonin neutriino	ν_τ taun neutriino	W W-bosoni	MITTABOSONIT

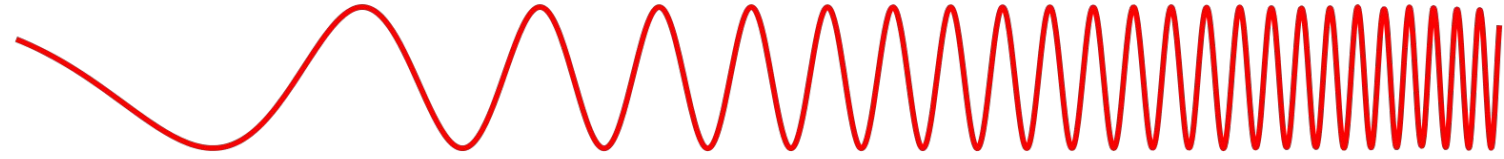
Kuva: MissMJ

Tähtitieteelliset havainnot

- Sähkömagneettinen säteily
 - Säteilyn aallonpituus vaihtelee käytännössä gammasäteistä radioaaltoihin – näkyvä valo 400-700 nm
 - Sähkömagneettinen säteily on aaltoliikettä, mutta myös hiukkanen – fotoni
 - $c = \lambda f$ (c on valonnopeus, λ aallonpituus ja f taajuus)
 - Mitä lyhyempi aallonpituus, sitä suurempi taajuus ja enemmän energiaa fotoni sisältää
- Muut havaintomenetelmät (kosmiset säteet, gravitaatioaalto, neutriinot)



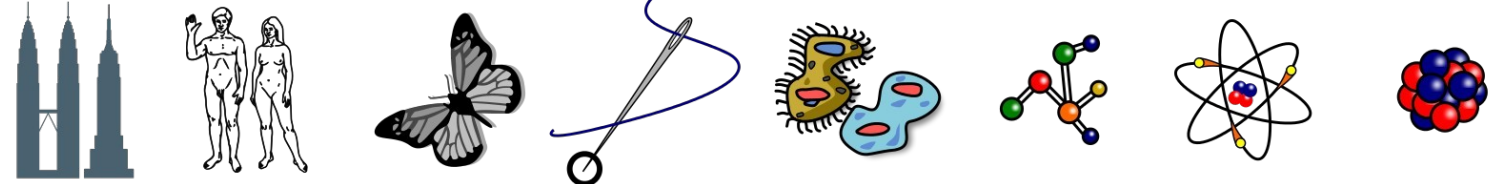
Penetrates Earth's Atmosphere?



Radiation Type
Wavelength (m)

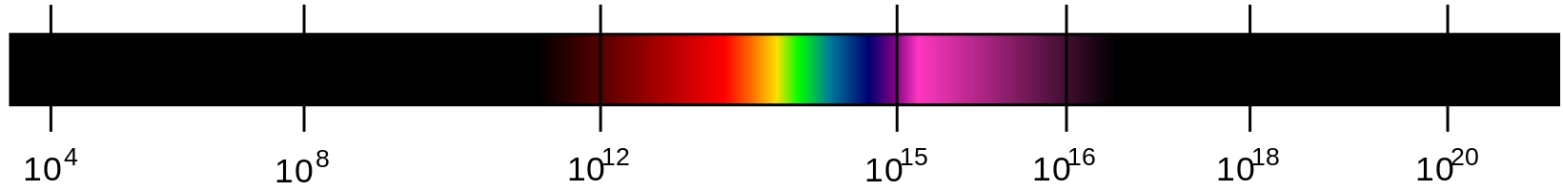
Radio 10^3	Microwave 10^{-2}	Infrared 10^{-5}	Visible 0.5×10^{-6}	Ultraviolet 10^{-8}	X-ray 10^{-10}	Gamma ray 10^{-12}
------------------------	-------------------------------	------------------------------	--	---------------------------------	----------------------------	--------------------------------

Approximate Scale
of Wavelength

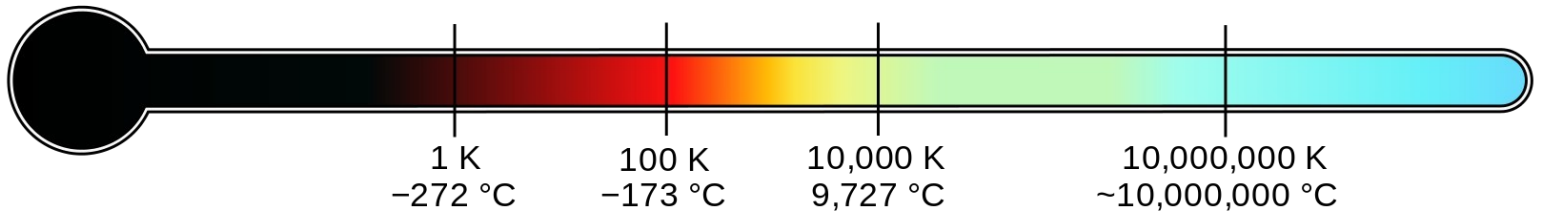


Buildings	Humans	Butterflies	Needle Point	Protozoans	Molecules	Atoms	Atomic Nuclei
-----------	--------	-------------	--------------	------------	-----------	-------	---------------

Frequency (Hz)

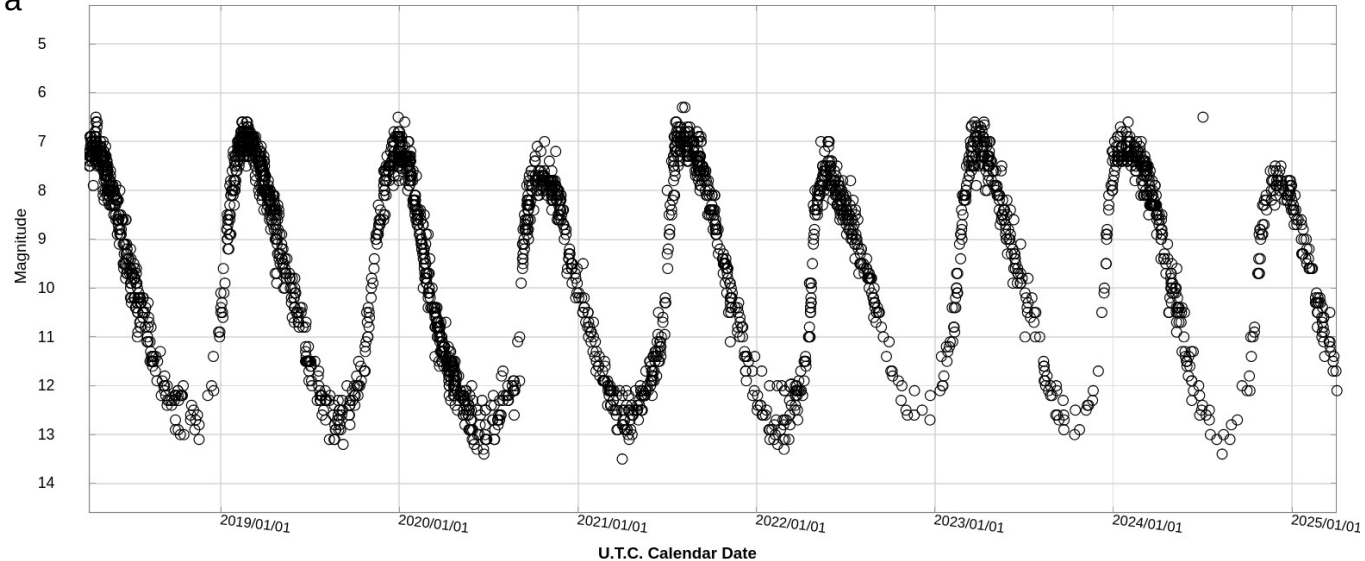


Temperature of
objects at which
this radiation is the
most intense
wavelength emitted



Fotometria

- Yleinen havaintomenetelmä, missä mitataan kohteesta tulevan säteilyn määrä (eli kohteen kirkkaus) jollain tietyllä aallonpituusalueella
 - Mittaamalla kirkkaus useammilla aallonpituusalueilla (esim sininen, vihreä, punainen) voidaan määrittää kohteen väri
- Usein pyritään seuraamaan kohteen kirkkauden vaihtelua
 - Valokäyrä

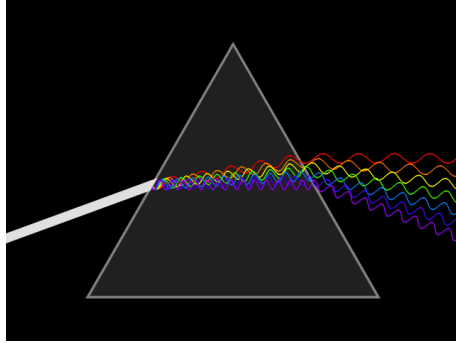


R UMa -tähdin valokäyrä. Kuva: AAVSO

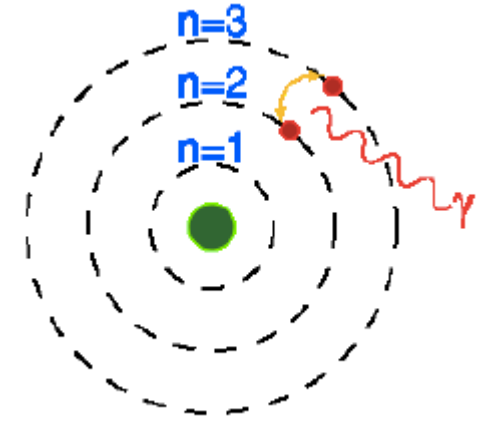
Magnitudit

- Antiikin Kreikassa tähtitieteilijä Hipparkos jakoi tähdet kuuteen suuruusluokkaan: kirkkaimmat magnitudia 1, himmeimmät 6
- Nykyään käytetään tähän perustuvaa matemaattista määritelmää
- Himmeimmät paljain silmin näkyvät kohteet noin magnitudia 6, parhailla teleskoopeilla päästään yli magnitudin 30

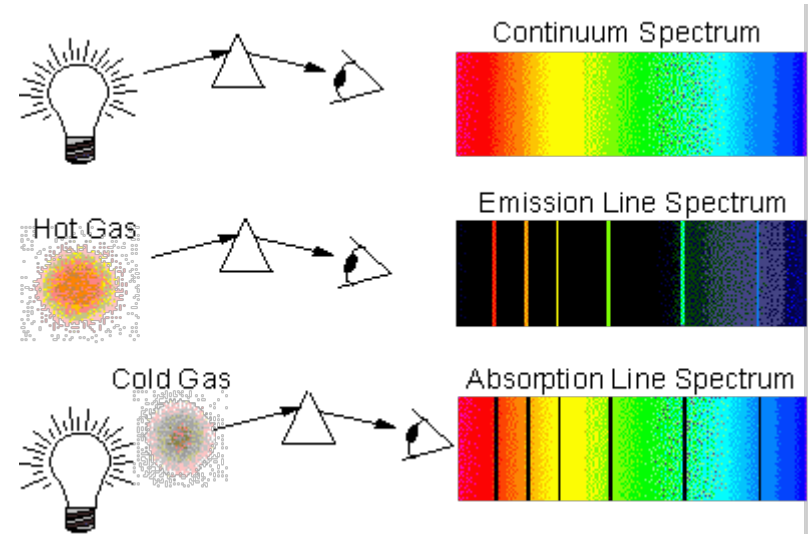
Aurinko	-27
Täysikuu	-13
Venus	-4
Sirius	-1.5
Vega	0
Pohjantähti	2
Proxima Centauri	11
Pluto	14.5
Hubblen rajamagnitudi	30



Spektri

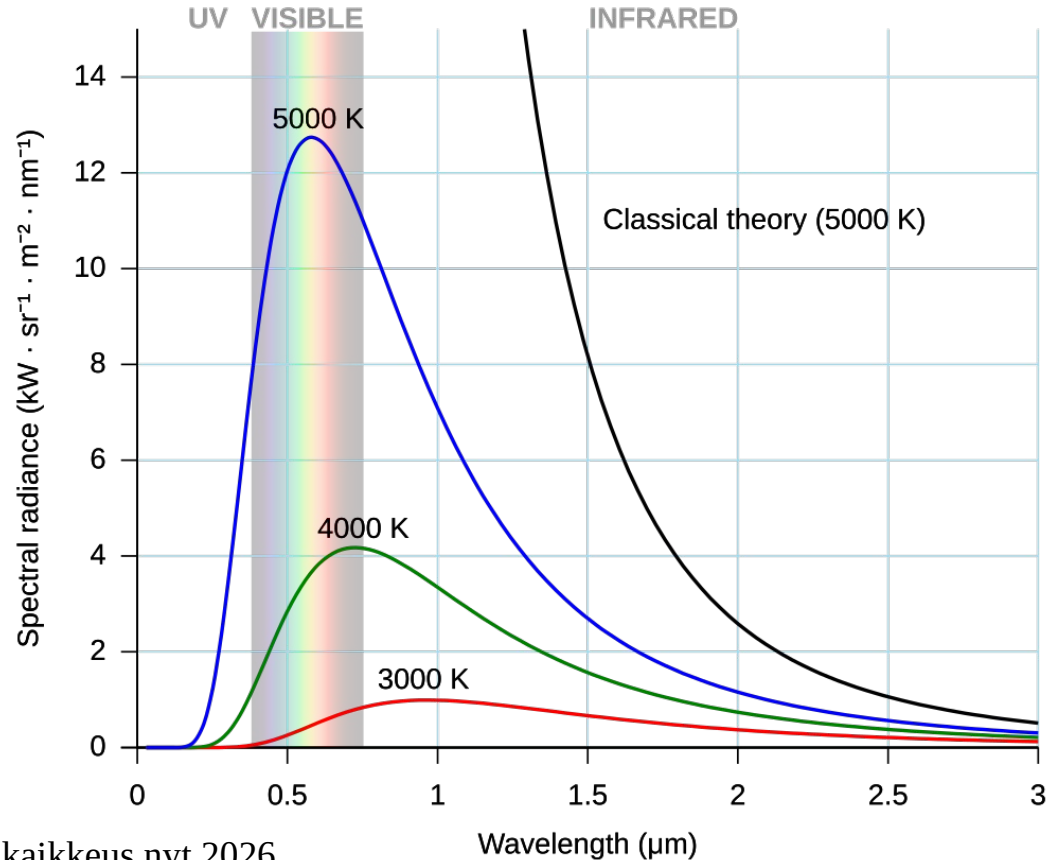


- Spektroskopiassa mitataan säteilyn jakautuminen eri aallonpituuksille, eli kohteen spektri
- Jatkuva spektri kertoo mm. kohteen lämpötilan, spektriviivat taas kemiallisesta koostumuksesta
 - Absorptio: atomi imee itseensä fotonin, jonka energia siirtää elektronin ylemmälle energiatasolle
 - Emissio: elektroni putoaa alemmalle energiatasolle, jolloin sen energia poistuu uutena fotonina
 - Jokaisella alkuaineella ja kemiallisella yhdisteellä tunnusomaiset aallonpituutensa, joilla ne absorboivat ja emittoivat



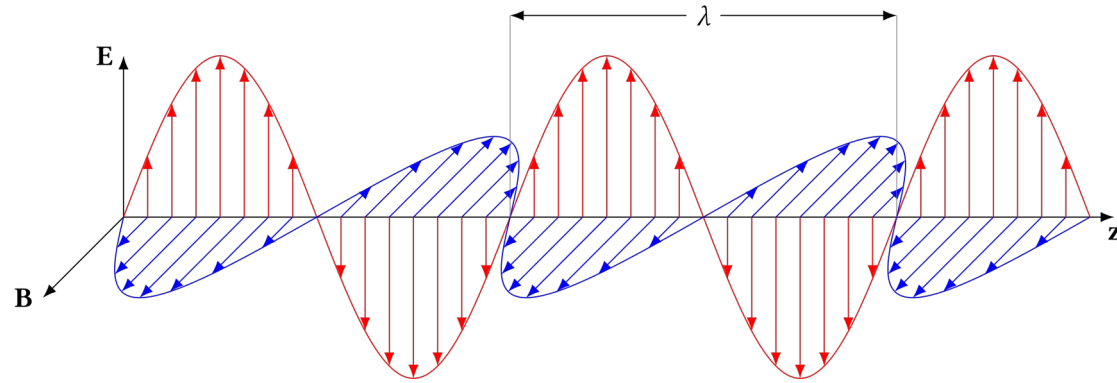
”Musta kappale”

- Ideaalinen kappale, joka imee itseensä kaiken säteilyn ja jonka oma säteily riippuu pelkästään kappaleen lämpötilasta (ei esim. spektriviivoja)
- Monien tähtitieteellisten kohteiden säteily lähellä mustan kappaleen säteilyä



Polarisaatio

- Sähkömagneettinen säteily koostuu jatkuvasta sähkömagneettisesta aaltoliikkeestä, missä sähkökenttä ja magneettikenttä värähtelevät kohtisuorassa sekä toisiinsa että kulkusuuntaansa nähden
- Polarimetriassa mitataan eri suunnissa värähtelevän säteilyn määrää
- Polarisaatiota aiheuttavat esim. magneettikentät tai valon sironta tähtienvälisestä pölystä



Sähkömagneettisessa säteilyssä sähkökenttä (E, punainen) ja magneettikenttä (B, sininen) etenevät samansuuntaisesti kohtisuorassa toisiinsa nähden. Kuva: Francois~frwiki

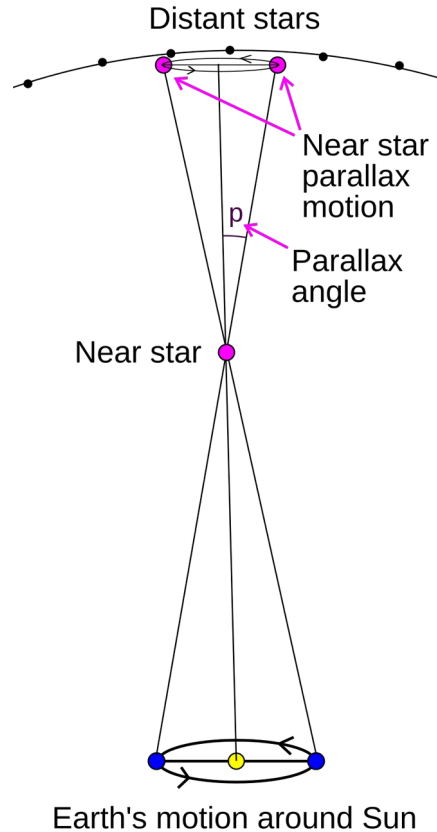
Astrometria

- Kohteen sijainnin ja liikkeen mittaaminen taivaalla
- 1800-luvulle asti vallitseva tähtitieteen ala
 - Vanhat tähtikartat
- Erityisen tärkeää aurinkokunnan kohteille (läheiset kohteet näyttävät liikkuvan nopeammin)
- Lähitähtien etäisyys mitataan parallaksin avulla
 - Näennäinen liike kaukaisempien kohteiden suhteen Maan kiertäessä Aurinkoa



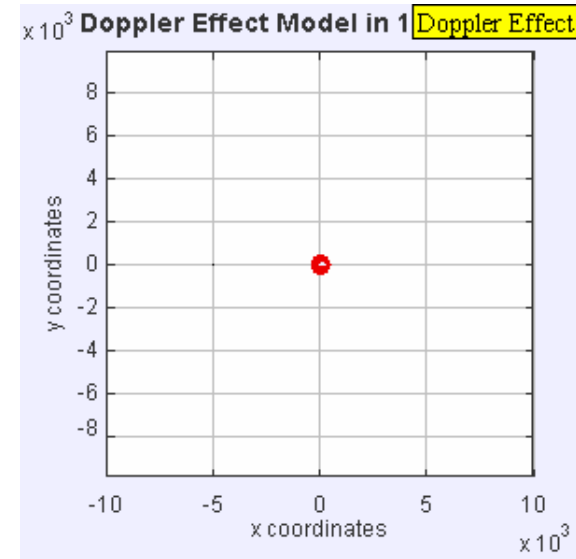
Suuri ohikulkukone Helsingin observatoriolla. Kuva: Tiedemuseo Liekki
Maailmankaikkeus nyt 2026

Parallaksi

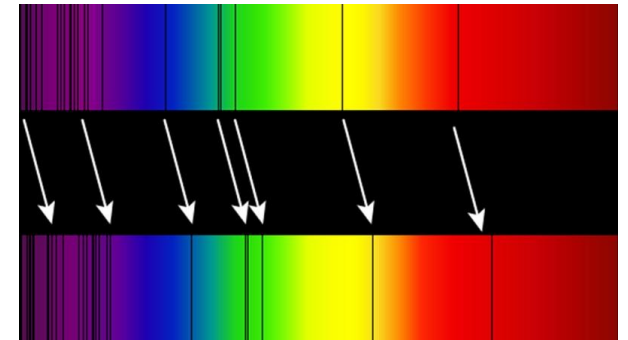


Dopplerin ilmiö

- Jos kohde liikkuu suhteessa havaitsijaan, lähtevän aaltoliikkeen aallonpituus/taajuus muuttuu
 - Sinisiirtyy jos kohde lähestyy, punasiirtyy jos loittonee
- Sama ilmiö havaitaan valon lisäksi esimerkiksi ääniaalloissa tai veden aalloissa



Kuva: Lookang



Muutamia peruskäsitteitä

- 1 aste ($^{\circ}$) = 60 kaariminuuttia ($'$) = 60×60 (=3600) kaarisekuntia ($''$)
- AU (Astronomical Unit, astronominen yksikkö) = Maan ja Auringon keskimääräinen etäisyys, noin 150 miljoonaa km
- Valovuosi = valon vuodessa kulkema matka, noin 9.5×10^{12} km = 63 000 AU
 - Valonnopeus 299 792 458 m/s
- Parsek = etäisyys, mistä katsottuna 1 AU näkyy $1''$ suuruisena kulmana, noin 3.26 valovuotta
- "Metallit" = kaikki vetyä ja heliumia raskaammat alkuaineet
- M_{\odot} = Auringon massa
- R_{\odot} = Auringon säde
- L_{\odot} = Auringon luminositeetti (kirkkaus)