

MAAN MAGNEETTIKENTÄN IHMEELLISYYKSIÄ: NAPAIKUUSKÄÄNNÖKSET

Heikki Nevanlinna, Geofysiikan dos.
(Ilmatieteen laitos, eläk.)

URSA 9.4.2013

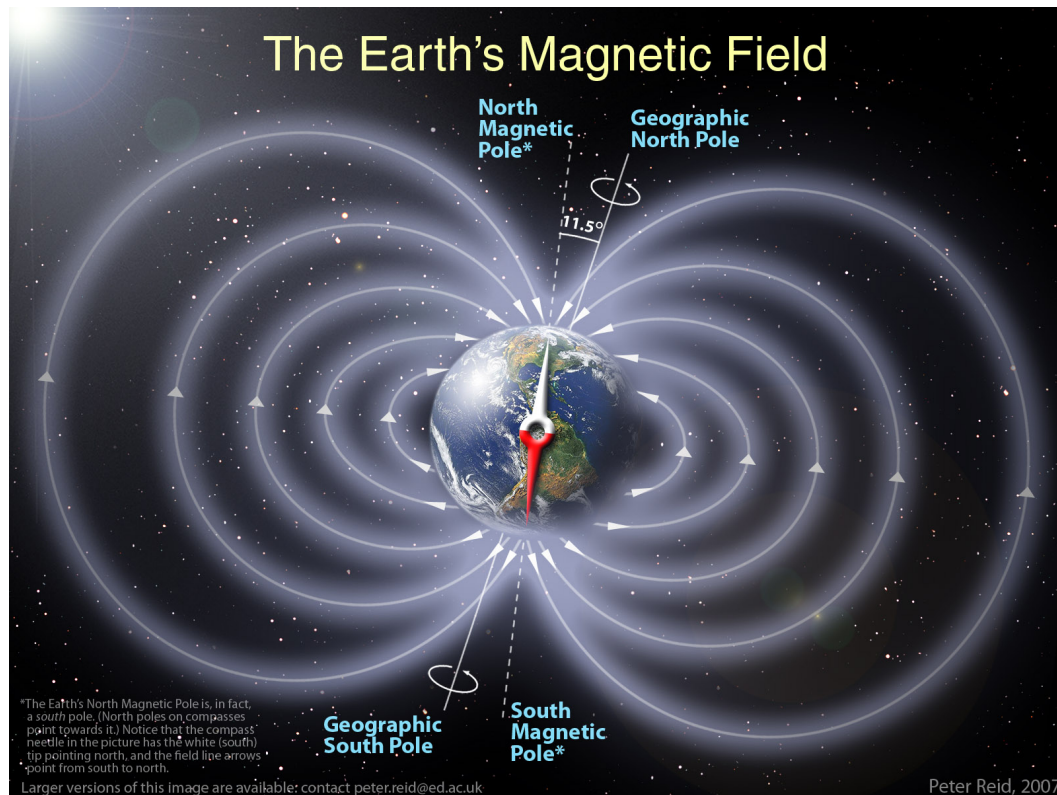
ESITELMÄKALVOT:

Tämän esitelmän PowerPoint-kalvot on saatavilla ja vapaasti käytettävissä:

Taustamateriaalia ja lisätietoa maapallon magneettikentästä:
Nevanlinna, H., 2009. Geomagnetismin ABC-kirja
<https://helda.helsinki.fi/handle/10138/1204>

Nevanlinna, H., 2006. Avaruussää – Auringosta tuulee. URSA.

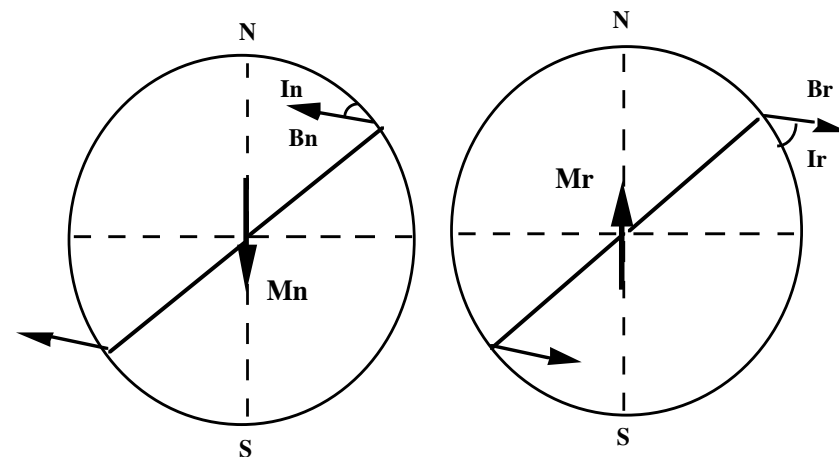
Maapallo: geomagneetti



- Havaintojen mukaan maapalloa ympäröi magneettikenttä
- Magneettikenttä on pääpiirteissään dipolaarinen ja sen navat lähellä maapallon pyörimisnapoja

Maan magneettikentän napaisuus vaihtuu

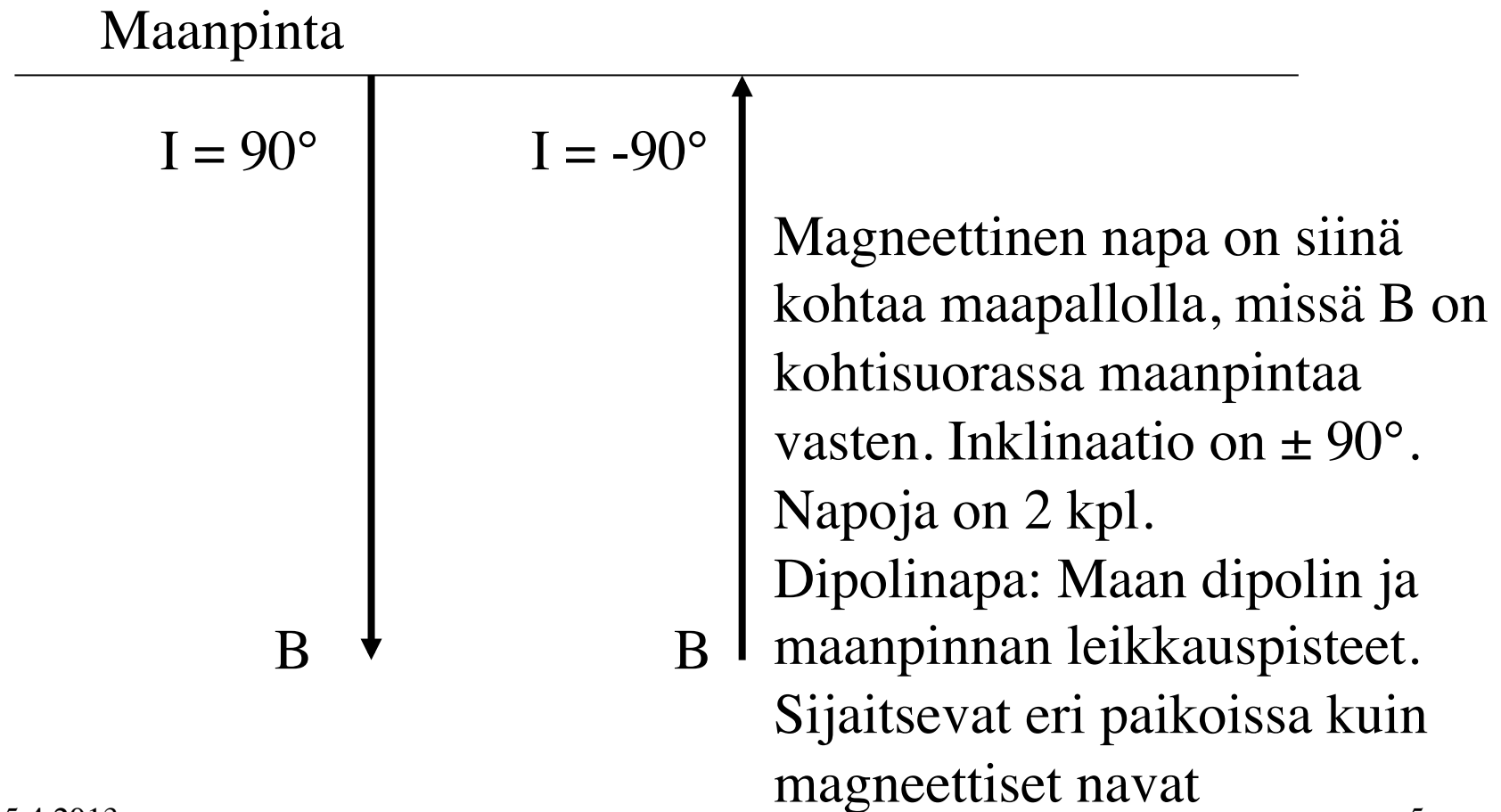
- Maapallon magneettikentän polariteetti vaihtuu keskimäärin kerran miljoonassa vuodessa, viimeksi noin 0.75 miljoonaa vuotta sitten.
- Itse käännöstapahtuma kestää tuhansia vuosia



MAAPALLON DIPOLIKENTÄN KAKSI
POLARITEETTITILAA

n(ormal) ja r(eversed): $M_n = -M_r$; $B_n = -B_r$; $I_n = -I_r$

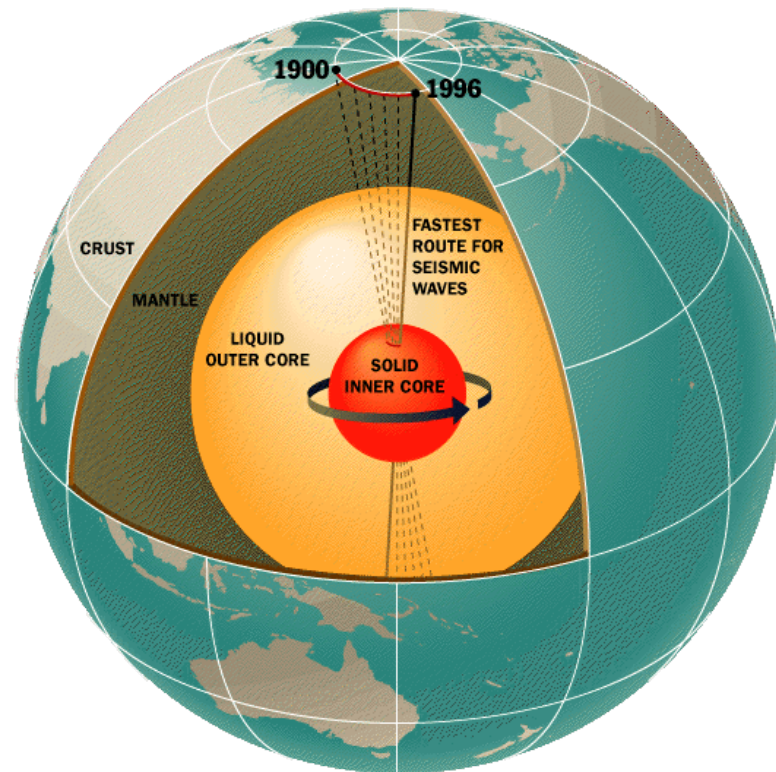
Maapallon magneettiset navat



MAAN SYVÄRAKENNE

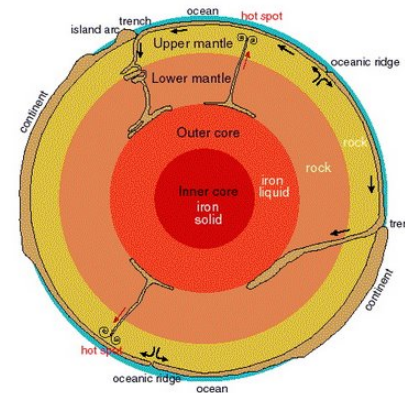
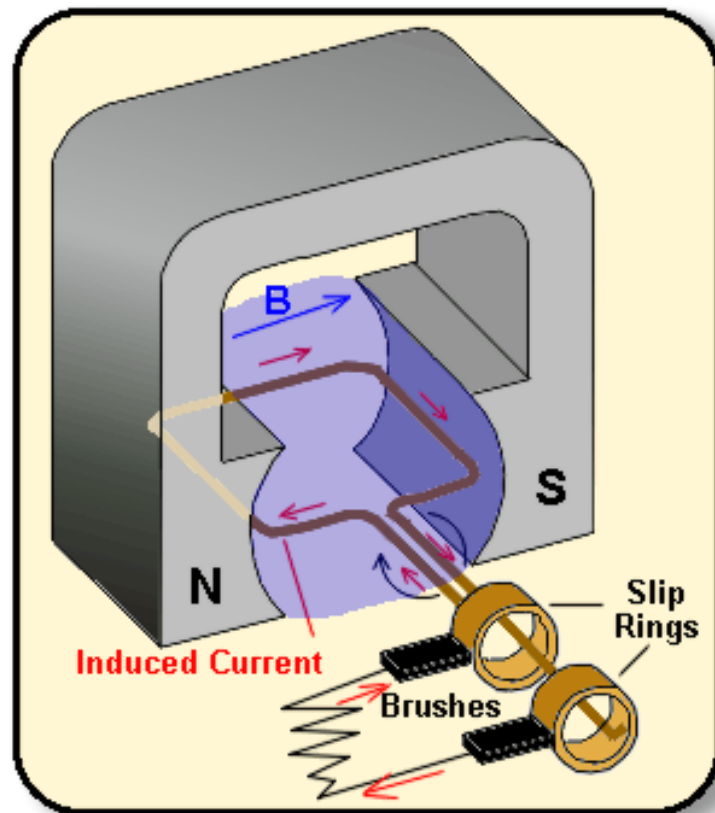
- Kuorikerros 10-60 km
- Vaippakerros 60 -2900 km
- Nesteydin (Fe – Ni) 2900 km syvyydessä, $T = 4500-6000^{\circ}\text{C}$
- Kiinteä sisäydin, säde 1200 km
- Maapallon magneettisuuden lähteet ovat pääasiassa ulkoytimen pinnalle syntyvissä sähkövirroissa

5.4.2013



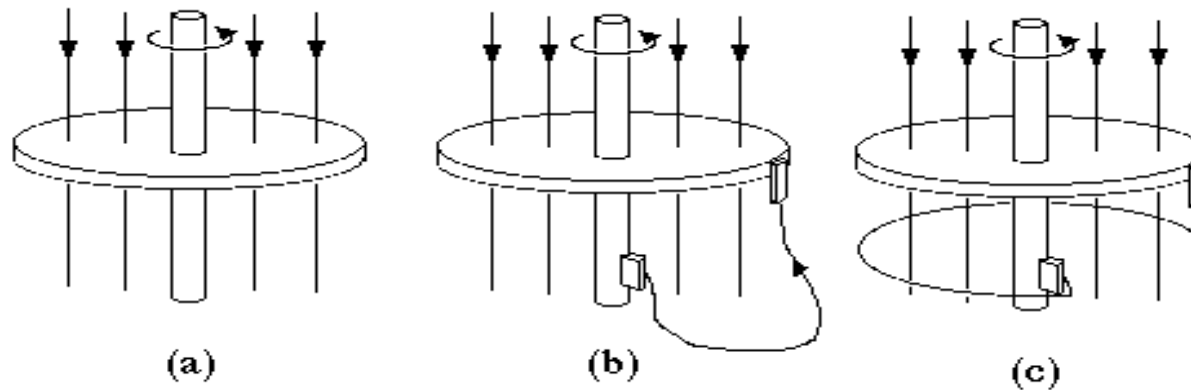
Pallomaisen Maan säde 6372 km

Maapallo on sähkömagneetti



- Maan magneettikenttä syntyynesteytymässä sähkömagneettisen induktion vaikutuksesta (geodynamo). Sähkövirrat noin 10^9 A. Magneettikenttä noin 50 kertaa suurempi kuin maanpinnalla
- Induktiotapahtumaan osallistuvat nestevirtaukset (pyörteisyys) ja maapallon pyörimisliike. Siinä mekaaninen energia muuntuu magneettiseksi energiaksi

GEODYNAMO



$$\frac{\partial B}{\partial t} = \frac{1}{\sigma \mu_o} \nabla^2 B + \nabla \times (v \times B)$$

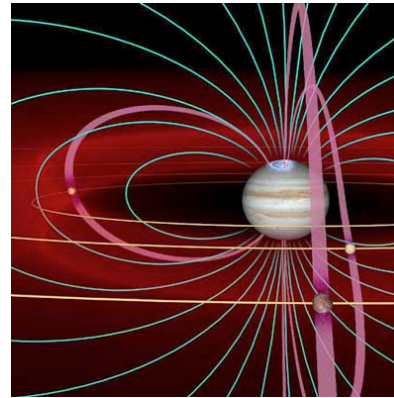
Eksponent.
vaimeneminen

Induktio

B magn.vuon tiheys,
v nestevirtaus,
 σ johtavuus

Aurinkokunnan magneettikentät

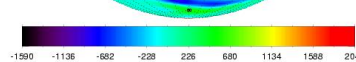
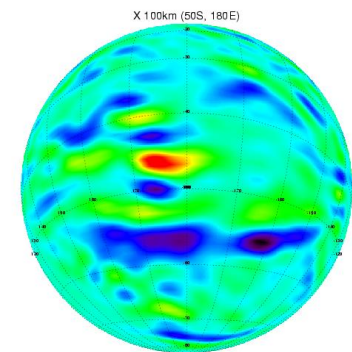
- Aurinkokunnan planeetoilla useimmilla on magneettikenttä. Samoin itse auringolla
- Kuussa ja Marsissa on ollut magneettikenttä, mutta sitä ylläpitävä dynamo on pysähtynyt



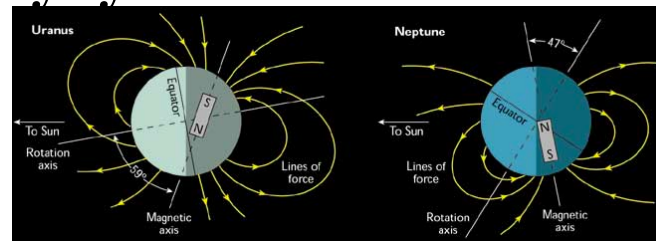
Jupiterin magneettikenttää



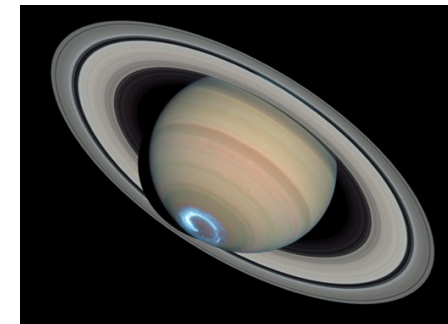
Auringonpilkut ovat osa auringon magneettikentästä.



Marsin pinnan magneettikenttää



Uranuksen ja Neptunuksen magneettikentät ovat anomalisia (non-dipole)



Revontulia Saturnuksessa.

GEOMAGNETISMI TÄNÄÄN

1

- **Kaksi tutkimussuuntaa: paleomagnetismi ja neomagnetismi**
- **Paleomagnetismi selvittää Maan muinaista magneettikenttää ennen suorien havaintojen aikakautta. Laavakivet, järvi- ja meri-sedimentit**
- **Maapallon magneettikentän napaisuuskäännösten mallittaminen**
- **Muiden planeettojen ja taivaankappaleiden magnetismi**

GEOMAGNETISMI TÄNÄÄN

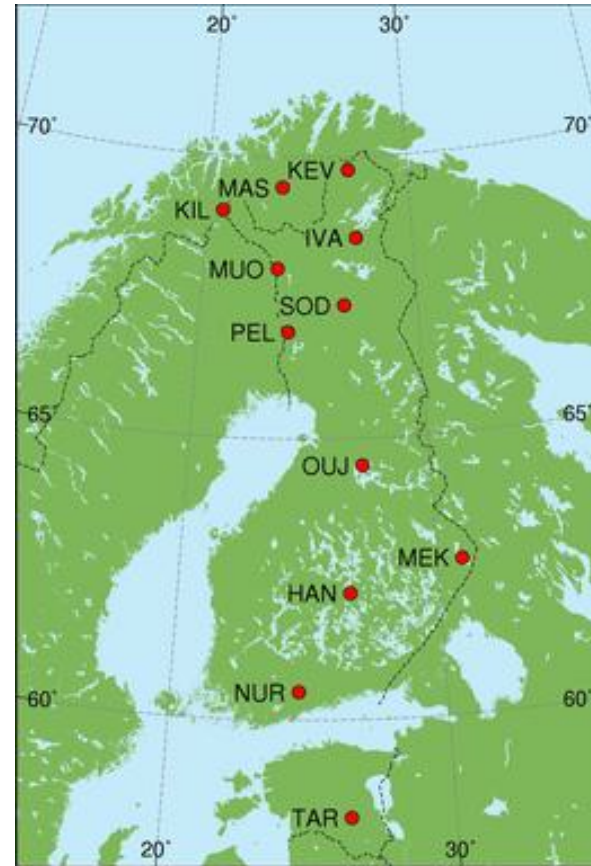
2

1. **Neomagnetismi**
2. **Magneettiset observatoriot eri puolilla maapalloa (noin 200) sekulaarimuutoksen monitorointiin (Nurmijärvi, Ilmatieteen laitos)**
3. **Magnetometriverkot (automaattiasemat)**
4. **Kenttämittaukset (maa, meri & ilma)**
5. **Satelliittimittaukset (Örsted 1999, CHAMP, 2000)**
6. **Teoriat: Miksi Maa on magneettinen? Geodynamo**

GEOMAGNETISMI TÄNÄÄN

3

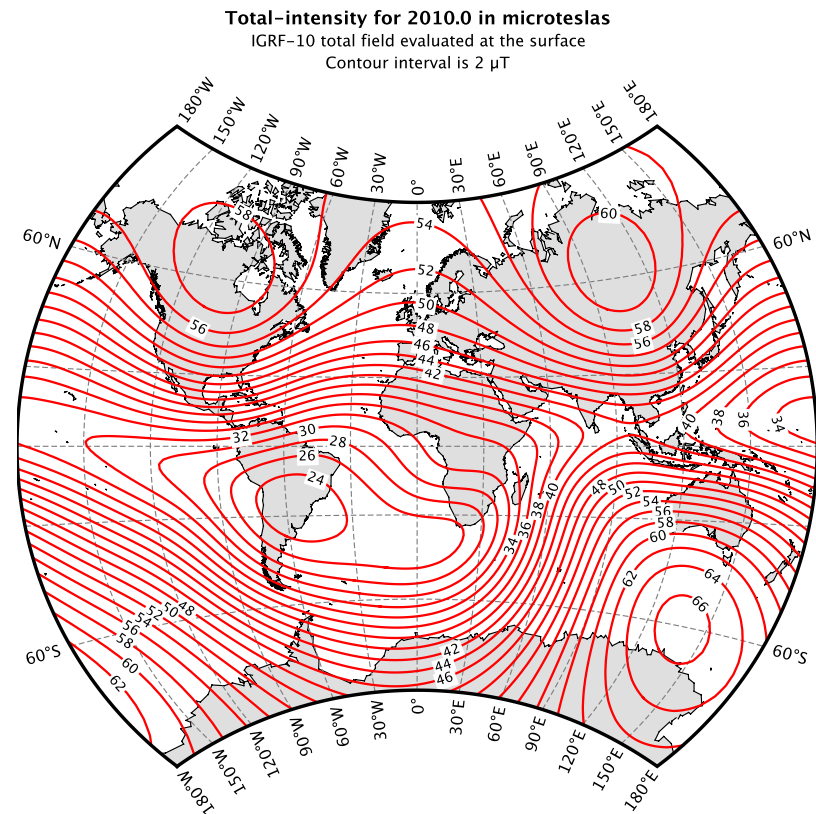
- Tietoja magneettikentästä kerätään observatorioissa 1-10 s tiheydellä
- Reaaliaikaisuus: alueellisesti mm. IMAGE-verkko, globaalisti INTERMAGNET (80 observatoriota)
- Avaruussäämonitorointi



Ilmatieteen laitoksen automaattiset magnetometriasemat (IMAGE)

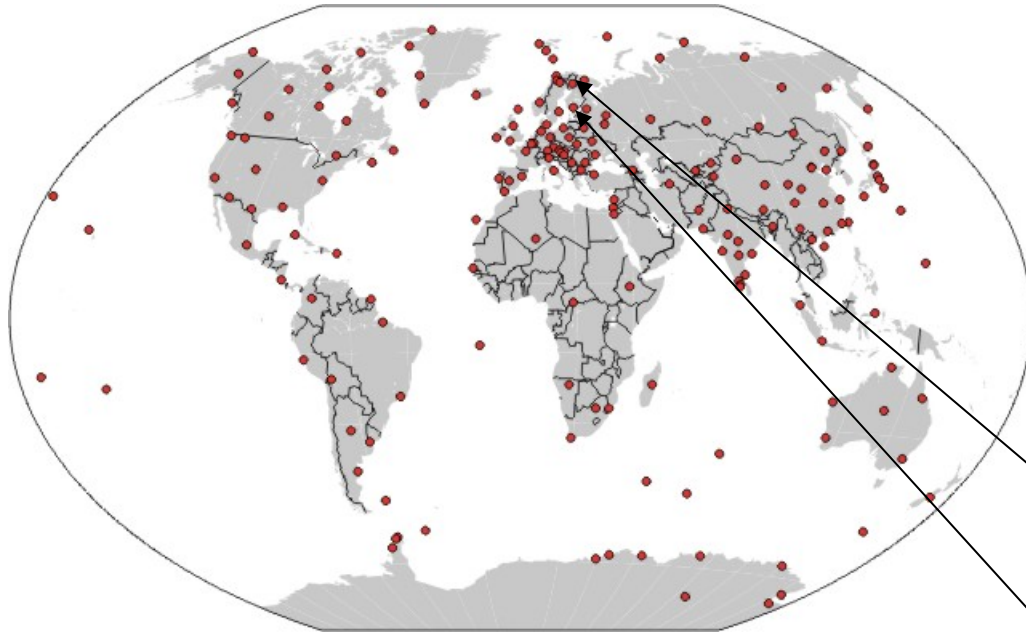
IGRF-MALLIT

- IGRF (International Geomagnetic Reference Field) geomagneettisen pääkentän malli
- Päivitetään joka 5. vuosi satelliittimittauksista (Ørsted) ja observatorio-datoilla
- Kehitys käy kohti reaaliaikaista mallia, jossa mukana Maan lähiava-ruuden magneettikehästä tulevat häiriöt

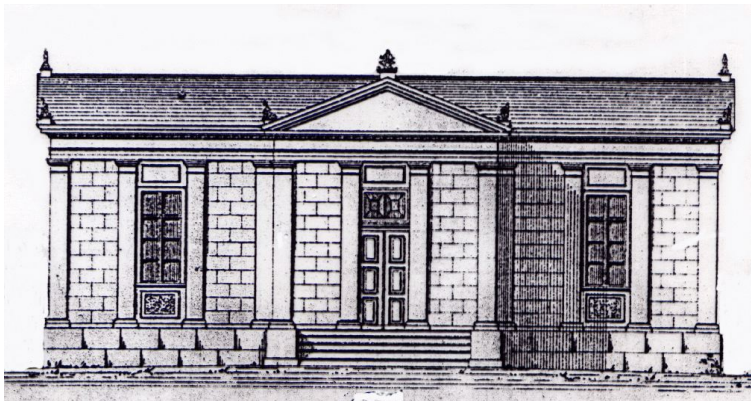


Maapallon magneettikenttä (μT) IGRF
vuonna 2010

Magneettiset observatoriot

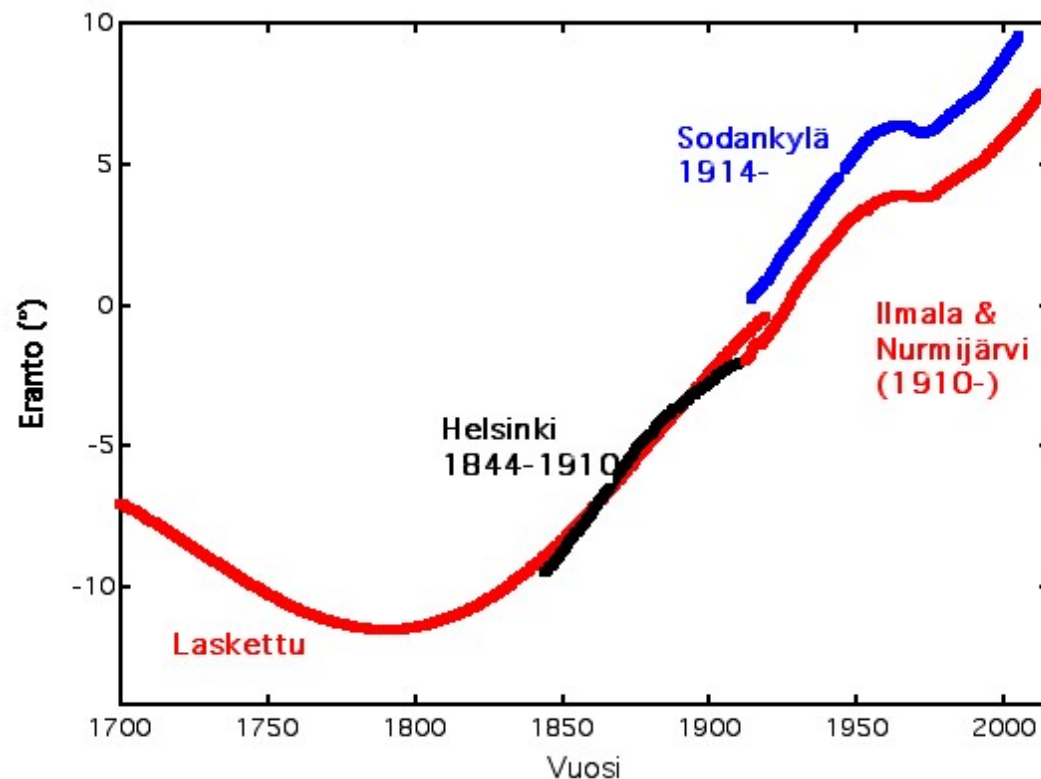


- Maapallon magneettikentän muutoksia rekisteröidään observatorioissa, joita on toiminnassa noin 200
- Sodankylä (OY) vuodesta 1913
- Helsinki vuodesta 1844 ja Nurmijärvi (IL) vuodesta 1953



Helsingin magneettinen
observatorio 1838-1912

MAGNEETTIKENTÄN SEKULAARIMUUTOS



Magneettikentän hidas muutos, sekulaarimuutos, kertoo maapallon nesteytymen virtauksista.

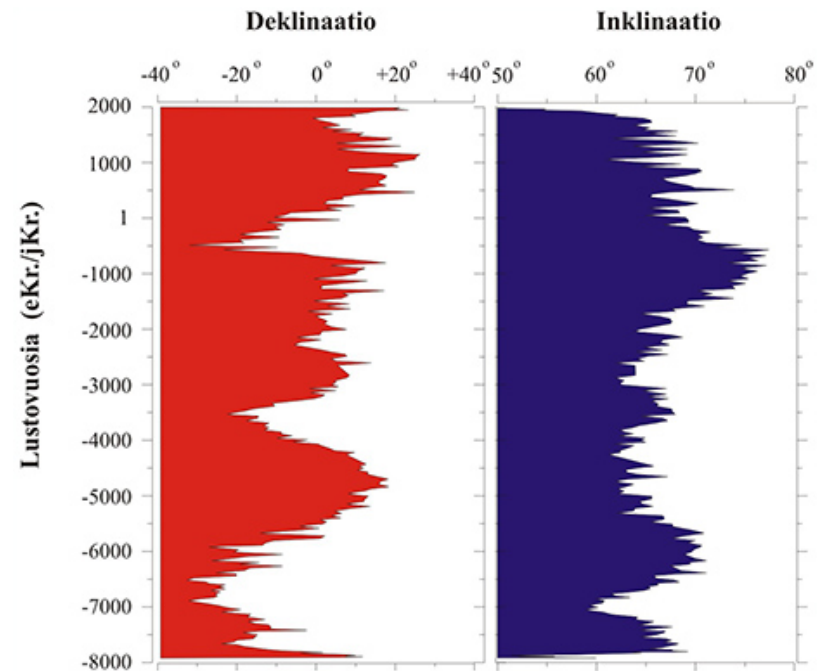
Suomessa eranto on muuttunut keskimäärin 0,1 ast itään viimeisten noin 200 vuoden aikana

Paleomagnetismi: ikkuna magneettikentän menneisyyteen



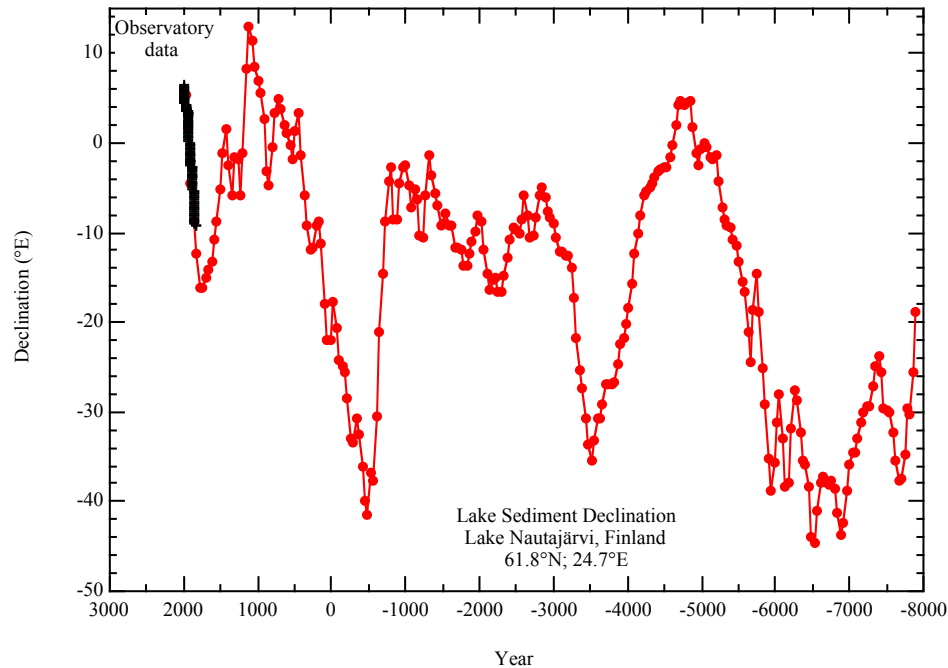
Paleomagneettinen mittaus käynnissä Helsingin yliopiston paleomagnetismin laboratoriossa

- Paleomagnetismin keinoin saadaan tietoa Maan magneettikentän vaihteluista aikaväliltä 10^2 - 10^9 vuotta



- Suomen järvisedimenteistä lasketut tiedot deklinaation ja inklinaation vaihteluista viimeisten 10 000 vuoden ajalta (Ojala & Saarinen, 2002)

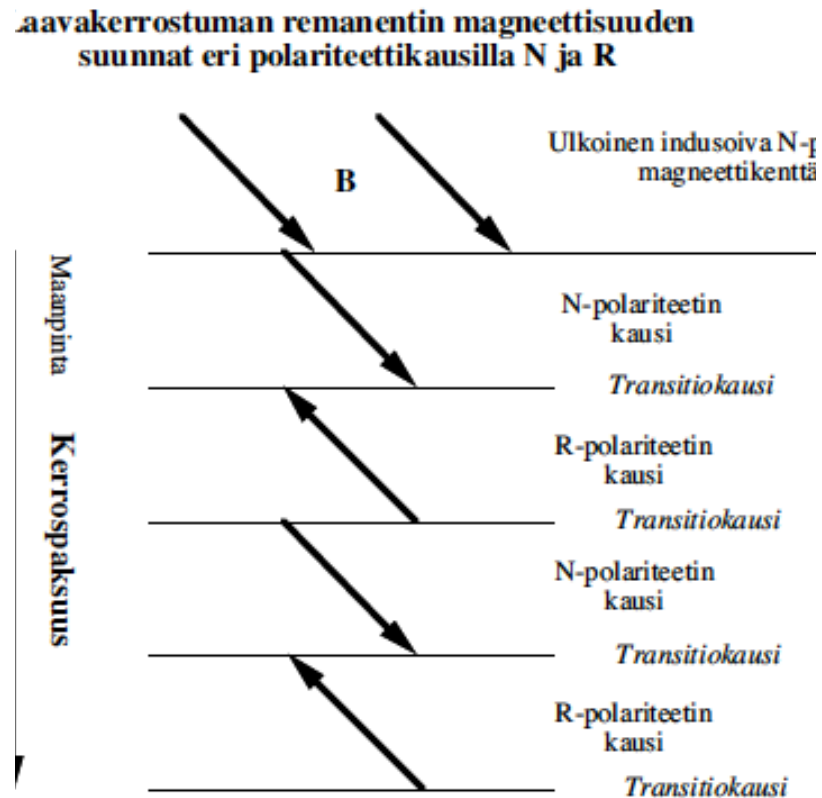
Erantohavaintoja Suomesta 10 000 vuoden ajalta



- Magneettikentän eranto Nautajärven (61.8°; 24.7°E) pohjasedimenteistä määritettynä jääkauden jälkeisellä ajalla A.D. 1980 ... -7900 noin 40 vuoden välein
- Musta viiva vasemmalla näyttää observatoriohavainnoista saadut erantoarvot (vuosikeskiarvot)
- Erannon suurin itäisin lukema 13°E vuonna noin 1120
- Erannon suurin läntisin lukema 45°W noin vuonna 4530 B.C

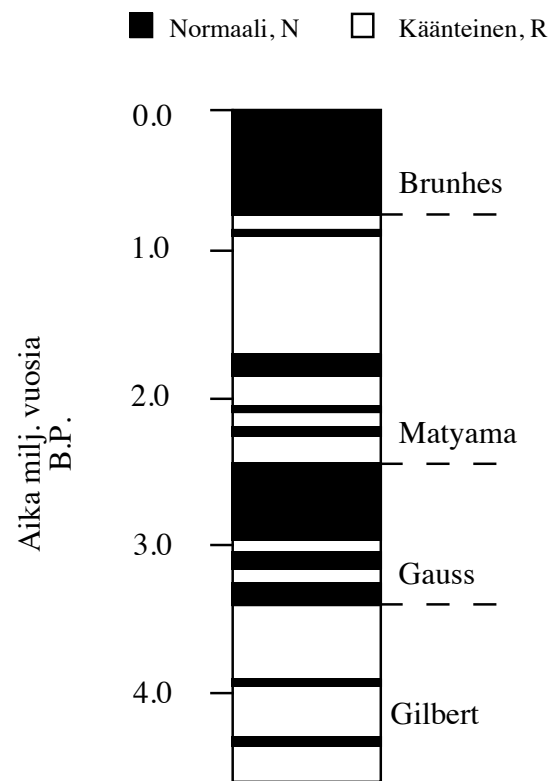
Maan magneettikentän napaisuus vaihtuu

- Maapallon magneettikentän polariteetti vaihtuu keskimäärin kerran miljoonassa vuodessa, viimeksi noin 0.75 miljoonaa vuotta sitten.
- Itse käännöstapahtuma kestää tuhansia vuosia



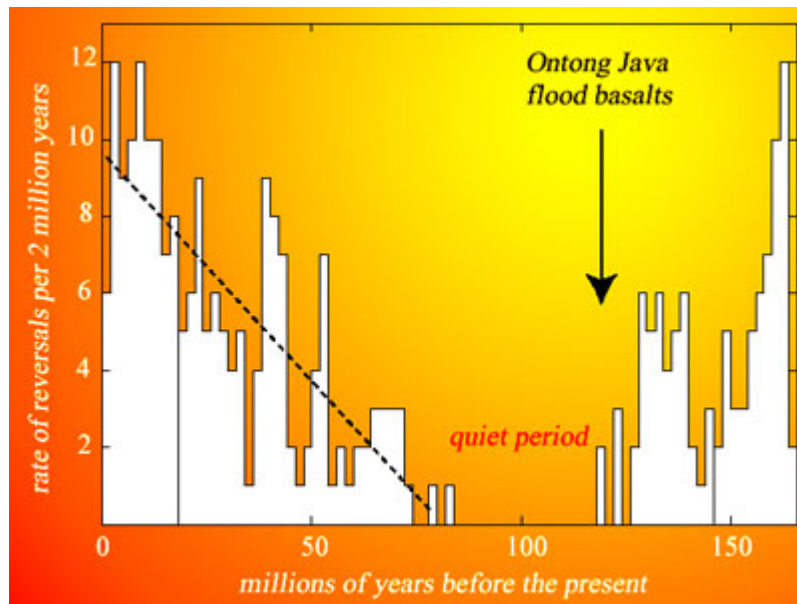
NAPAIKUUSKÄÄNNÖKSIÄ ON OLLUT TUHANSIA

Dipolipolariteetti



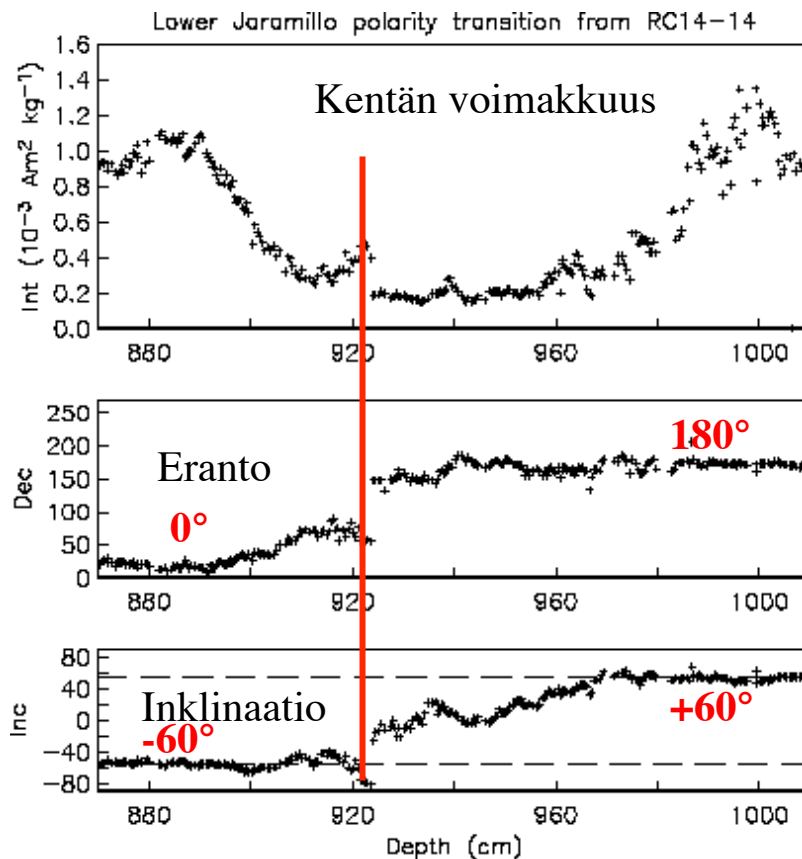
- Maan magneettikentän napaisuus vaihtuu keskimäärin kerran miljoonassa vuodessa
- Napaisuuden vaihdosprosessi on ollut käynnissä koko maapallon geologisen historian ajan > 3 miljardia vuotta. Käännöksiä on ollut tuhansia

NAPAIKUUSKÄÄNNÖSTEN ESIINTYMINEN VAIHTELEE



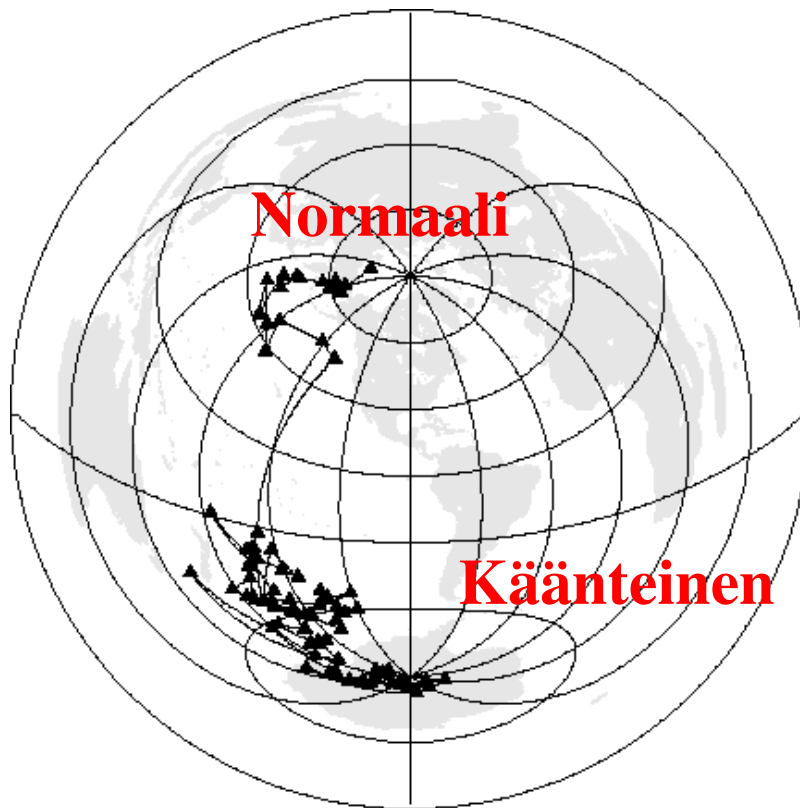
- Kuvassa valkea histogrammi ilmoittaa kuinka monta napaisuuskäännöstä tapahtuu per 2 milj. v
- Noin 100 milj. vuotta sitten polariteettivaihdoksia oli äärimmäisen vähän. Frekvenssi on siitä lähtien kasvanut. Nyt n. 6 käännöstä miljoonassa vuodessa

180° NAPAISUUDEN-VAIHDOS



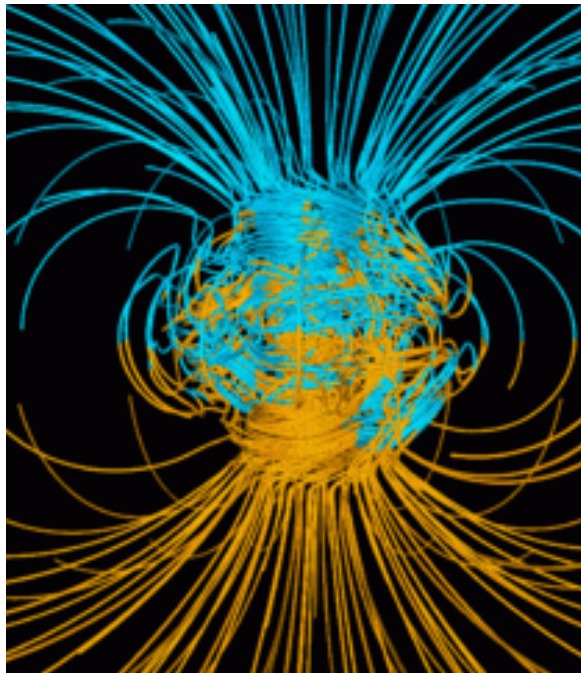
- Yläkuvassa maapallon magneettikentän *voimakkuus* tietyllä havaintopaikalla, keskikuvassa *eranto* (kompassisuunta) ja alimpana *inklinaatio* (magneettikentän kallistuskulma)
- Napaisuuden vaihdos kestää 1000 - 10000 vuotta
- Ensimmäisenä magneettikentän voimakkuus lähtee pienenemään magneettikentän pysyessä dipolimaisena eli suunta säilyy tietyllä paikalla. Kentän ollessa pienemmällä, n, 90 % siitä on hävinnyt ja jäljellä on vain anomalinen (ei-dipolaarinen) osuus
- Suunnan muutos (D ja I) tapahtuu “lyhyessä” ajassa

DIPOLINAVAN LIIKE

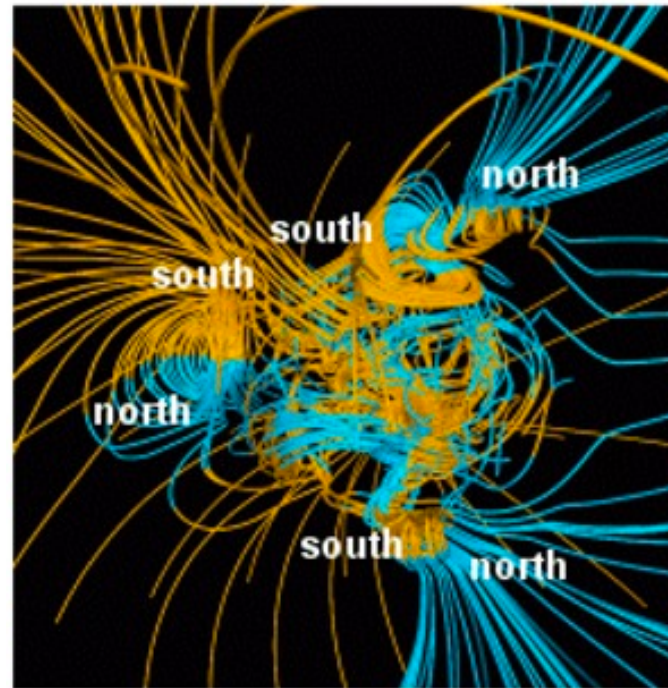


- Napaisuudenvaihtoprosessissa magneettikenttä heikkenee noin 90 %
- Kentän ollessa pienimmillään, sen suunta vaihtuu “nopeasti” 180°
- Tämän jälkeen kentän voimakkuus kasvaa entiselleen, mutta sen suunta on käänteinen

MAGNEETTIKENTÄN RAKENNE NAPAVAIHDOSKEN AIKANA

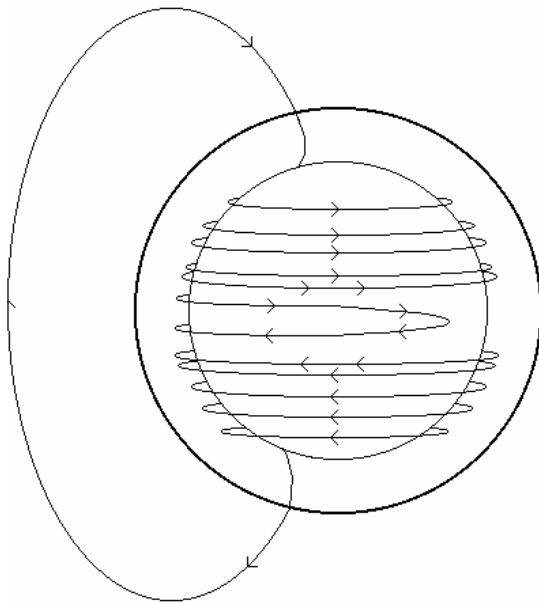


**Vakaa polariteetti. Dipoli-
rakenne**



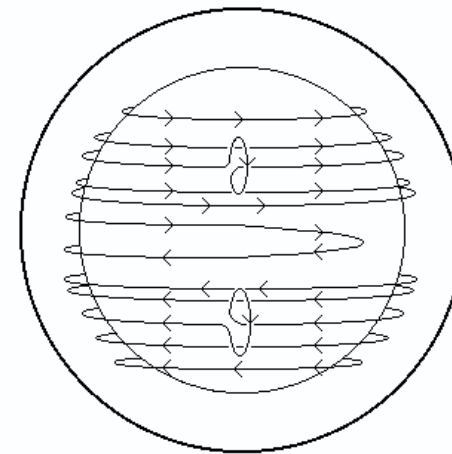
**Polariteetti muuttuu: multipolinen
rakenne**

MAGNEETTIKENTÄN RAKENNE NAPAVAIHDOSKEN AIKANA



The ω -effect

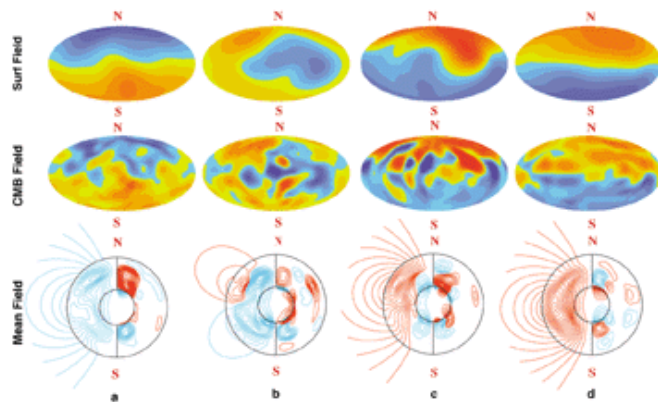
Vaipan ja ytimen pyörmisnopeuksien ero aiheuttaa ytimeen toridikentän (ω -efekti)



The α -effect

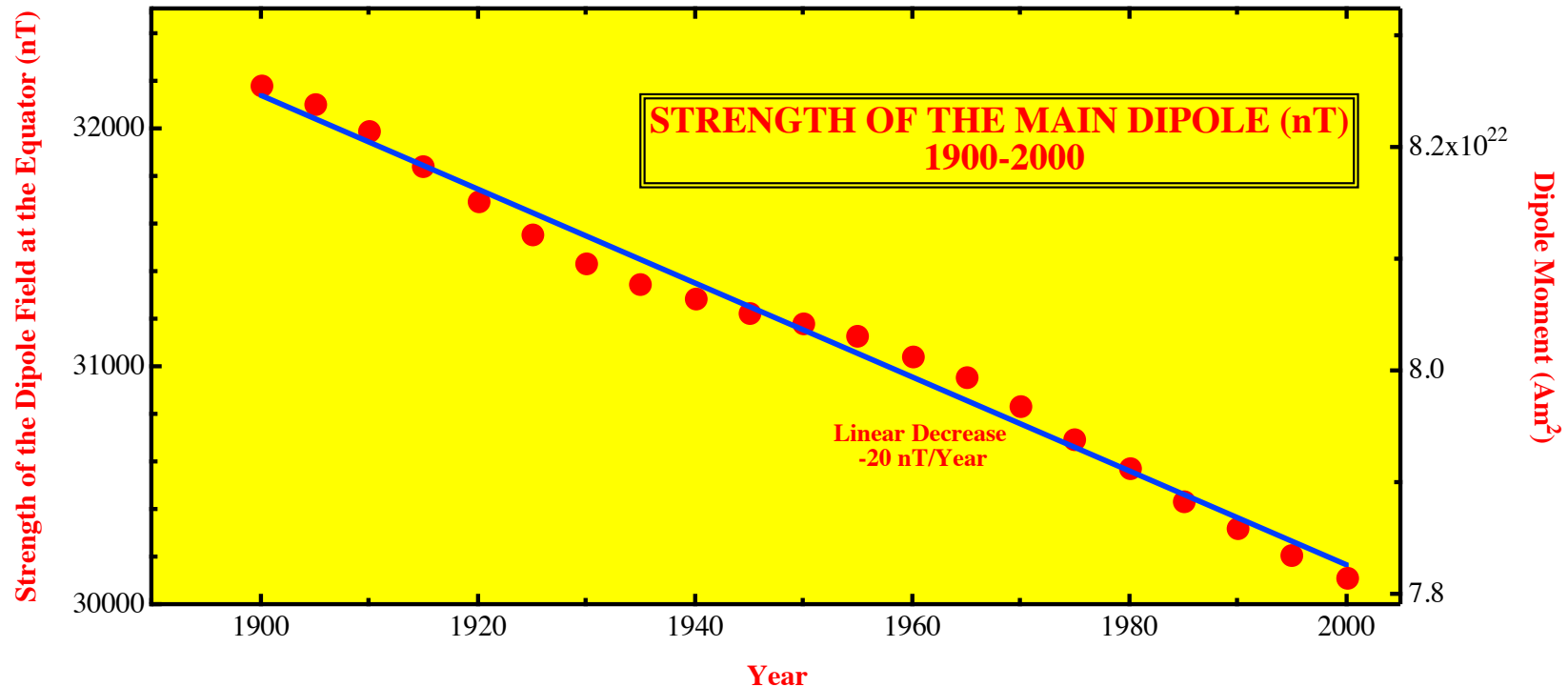
Ytimen konvektiovirtaukset palauttavat toroidikentän poloidiaaliseksi (α -efekti)

NAPAISUUSKÄÄNNÖKSEN SIMULOINTI

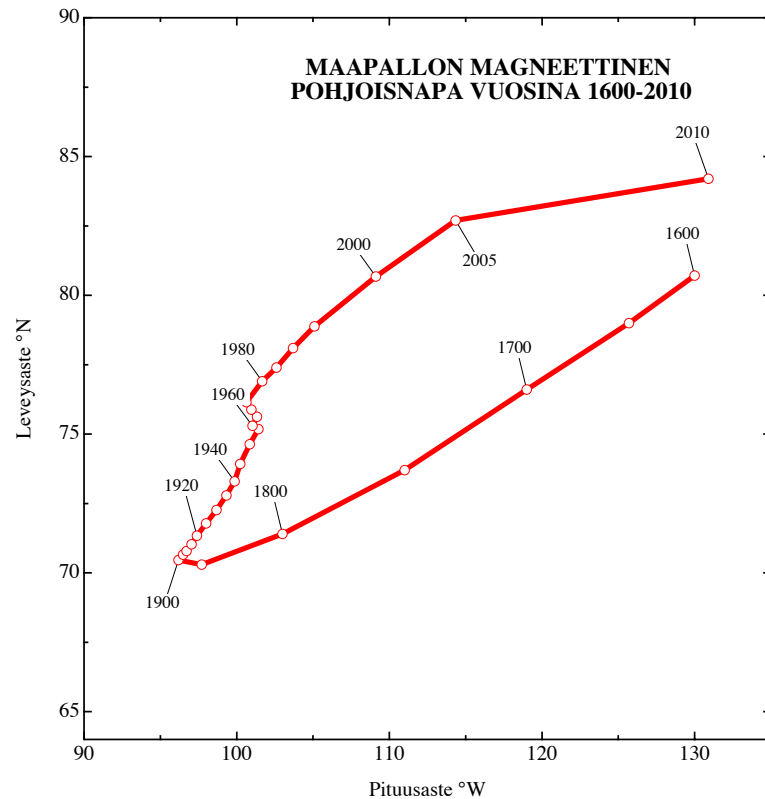


- Aika etenee vasemmalta oikealle 3000 vuoden välein
- Yläriivi: B maanpinnalla
- Keskirivi: B Maan ytimessä
- Alarivi: Läpileikkaus kenttäviivoineen
- N- polariteetti (sininen) vaihtuu asteettain käänteiseksi S (punainen)

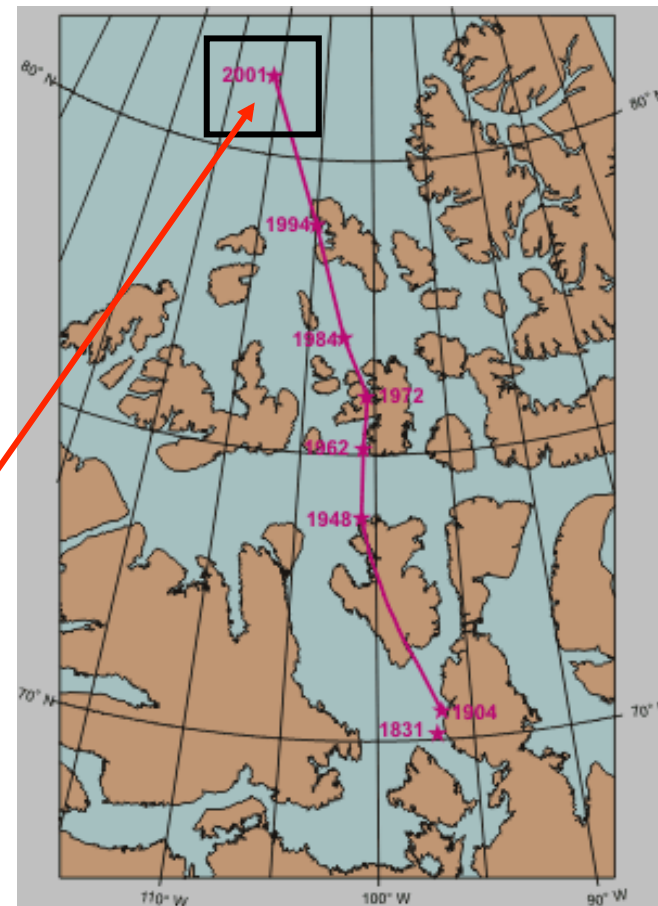
MAAN MAGNEETTI- KENTTÄ HEIKKENEE – Vaihtuuko napaisuus?



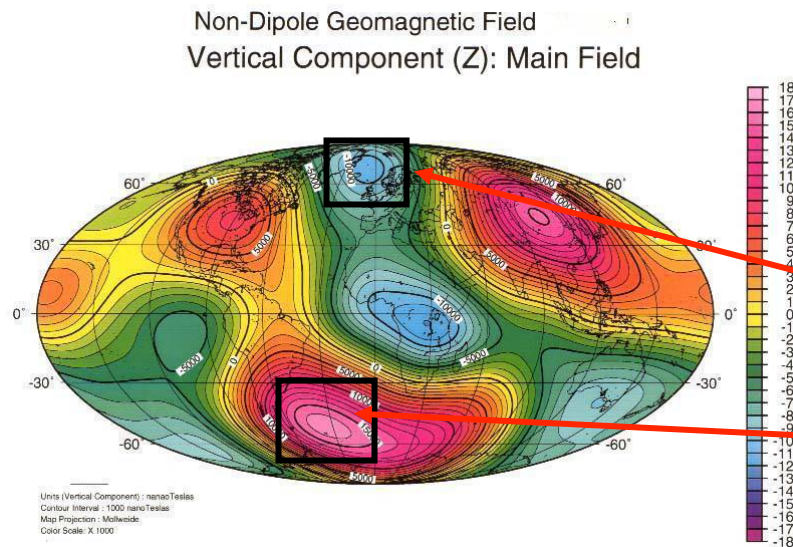
MAGNEETTINEN NAPA LIIKKEELLÄ



**Magneettinen napa
liikkuu pohjoiseen noin
40 km vuodessa**

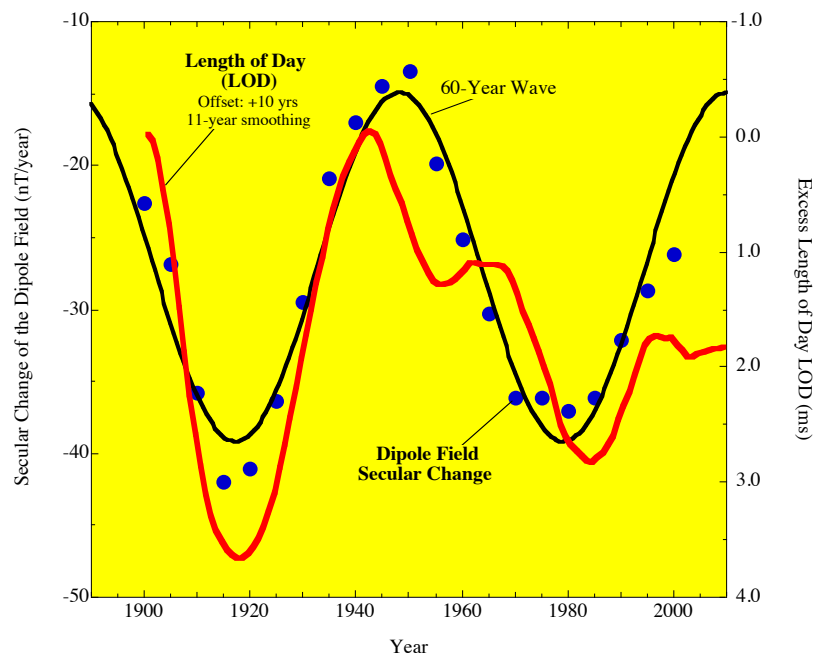


KÄÄNTEISEN NAPAIKUUDEN ALUEET KASVAVAT



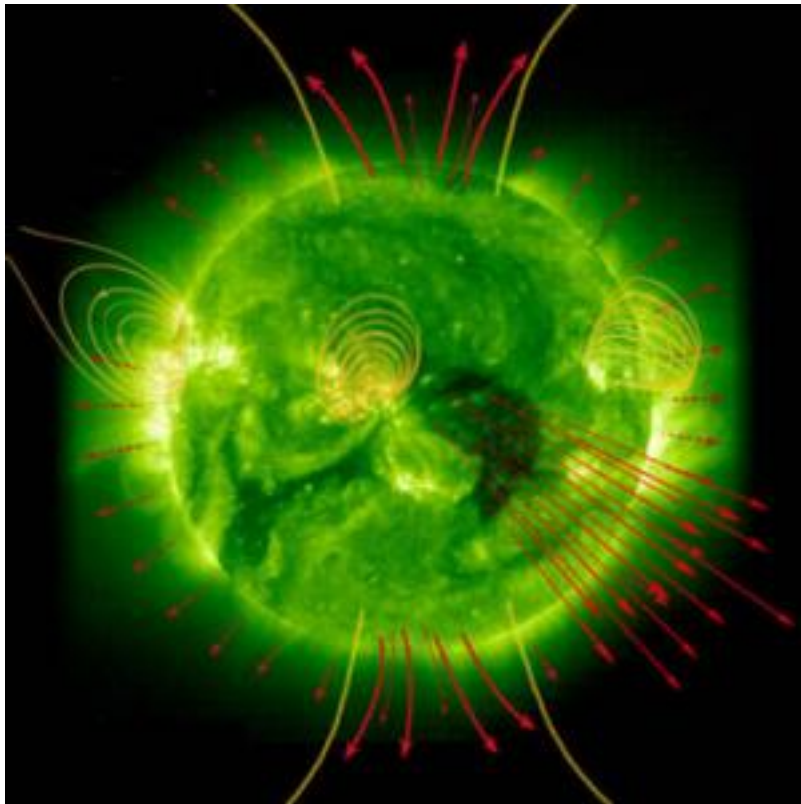
- Magneettikenttä ytimen pinnalla muodostuu laajoista magneettivuon tihentymistä.
- Satelliittimittausten mukaan käänteisen napaisuuden alueet pohjoisella ja eteläisellä pallonpuoliskolla ovat kasvamassa

MAGNEETTIKENTTÄ JA MAAN PYÖRIMISLIIKKEEN HEILAHTELUT



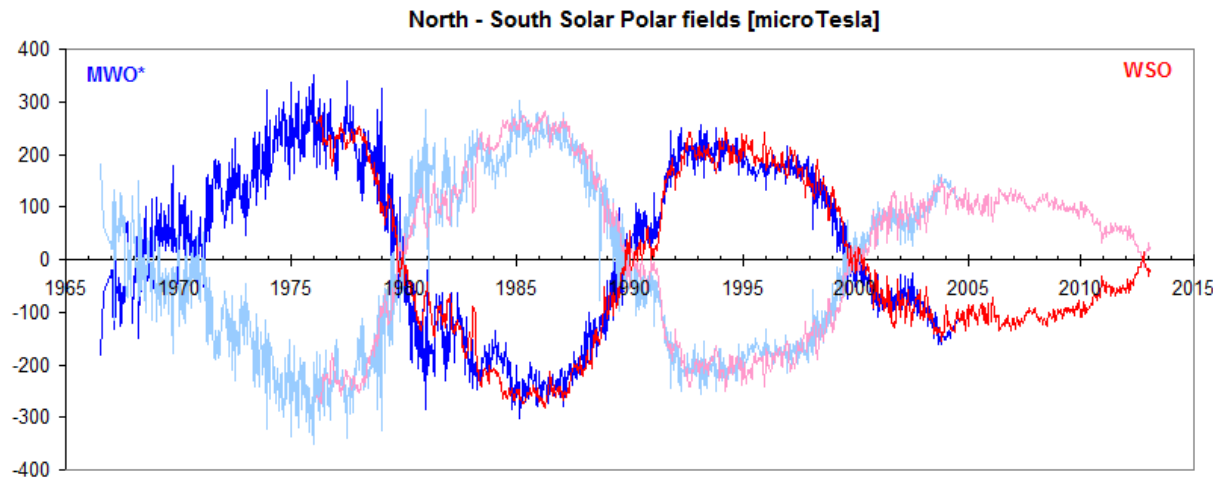
- Siniset pallot ja musta viiva: Dipolikentän vuotuinen muutos 1900-2000
- Punainen käyrä: Maapallon pyörähdysnopeuden heilahtelut (LOD = Length of Day)

AURINGON MAGNEETTIKENTTÄ



- Auringolla on laaja-alainen globaali magneettikenttä
- Auringonpilkuissa on voimakas magneettikentän keskittymä 100–1000 x Maan kenttä
- Koronan aukkojen kohdalla magneettikenttä jatkuu avaruuteen, pilkkujen kohdalla kenttäviivat ovat dipolaarisia tai monimutkaisempia

AURINGON MAGNEETTIKENTÄN NAPAIUUUS



- Auringon polaarinen magneettikenttä vaihtaa napaisuuttaan säännöllisesti noin 22 vuoden välein.

Napaisuus vaihtuu lähellä auringonpilkkujen esiintymisen maksimikohtaa.

Nyt käynnissä olevan pilkkujakson napaisuus on vaihtumassa (2013)

NAPAIUUSKÄÄNNÖKSET – PÄÄTELMÄ - 1

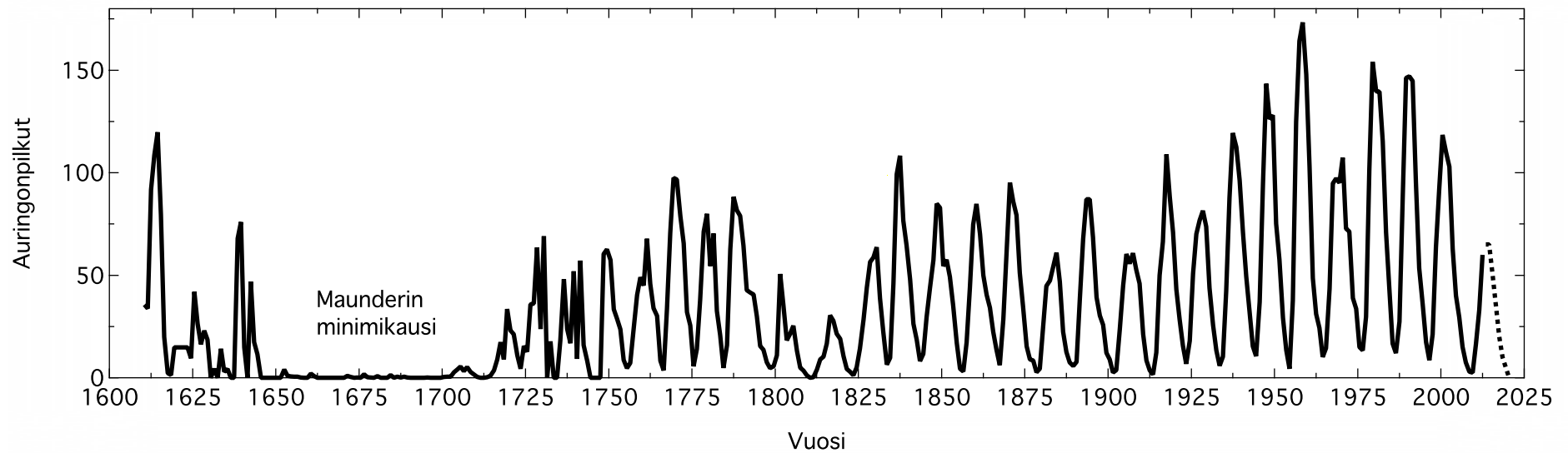
- Magneettikentän napaisuuskäännöksiä tunnetaan maapallolta, Marsista, Auringosta ja monista tähdistä
- Maapallon tapauksessa napaisuuskäännöksiä tapahtuu harvoin: 1-2 kertaa miljoonassa vuodessa, joskus vieläkin harvemmin
- Auringossa ja tähdissä käännösfrekvenssi on nopeampi: Auringon tapauksessa noin 22 vuotta: Auringon magneettikentän polariteetti on parhaillaan vaihtumassa
- Maapallon magneettikentän nykyinen polariteetti on kestänyt jo 750 000 vuotta, mikä on tilastollisesti enemmän kuin keskimäärin
- Polariteetin vaihtuminen kestää tuhansista vuosista kymmeniintuhansiin. Kääntötapauhtuman keskellä magneettikenttä pienenee noin 90 % vakaan polariteetin arvosta. Kentän geometria on silloin moninapainen

NAPAIKUUSKÄÄNNÖKSET – PÄÄTELMÄÄ - 2

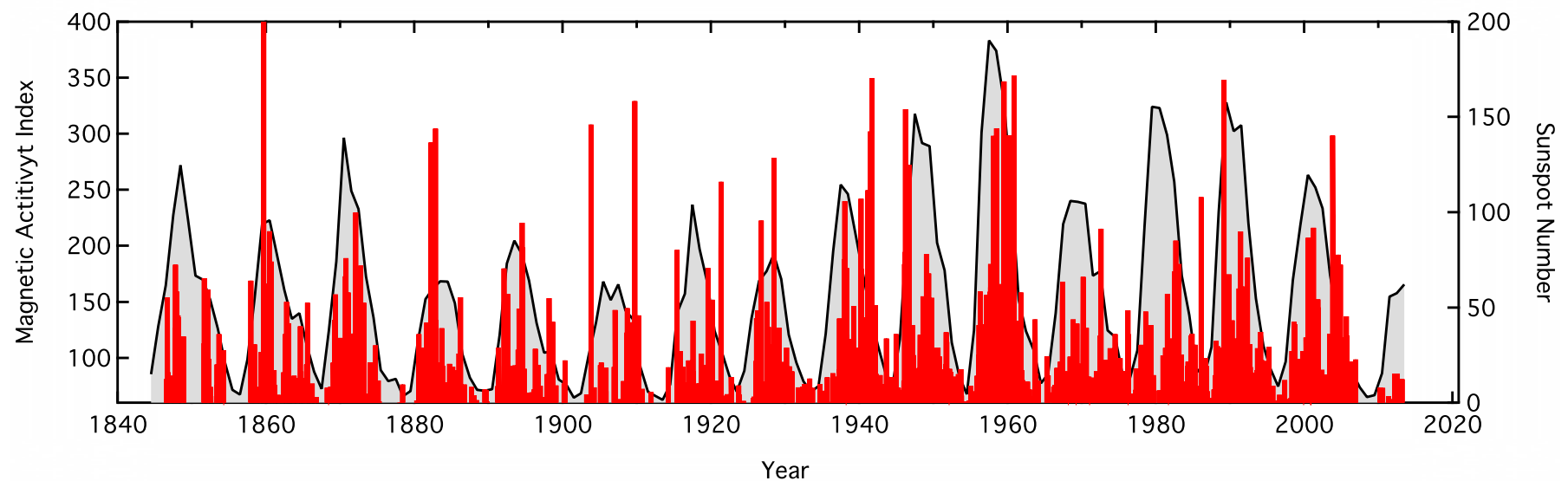
- Käännöstopahtuman keskellä vallitseva heikko magneettikenttä mahdollistaa avaruuden kosmisen säteilyn kasvun maanpinnalla. Lisäys on kuitenkin vain noin 20 %, koska ilmakehä absorboi suurimman osan kosmisesta säteilystä
- Vakaan polariteetin kaudella maapallon magneettikenttä suojaa ilmakehää aurinkotuulen pyyhkäisyltä; heikon magneettikentän vallitessa suoja on pienempi ja ilmakehä on alttiimpi aurinkotuulen kuluttavalle vaikutukselle
- Ihmiskunnan kannalta napaisuuden käännös on hidas prosessi eikä sillä ole suurta merkitystä maapallon biosfääriin
- Merkittävin vaikutus jää maapallon lähiavaruuteen, missä käännöksen aikana vallitseva heikko ja moninapainen magneettikenttä muuttaa avaruussään ominaisuuksia: hiukkasvyöhykkeet muuttuvat tai puuttuvat kokonaan, ja revontulia voidaan nähdä säännöllisesti napaseutujenkin ulkopuolella

LISÄKALVOT

AURINGONPILKUT 1610–2020



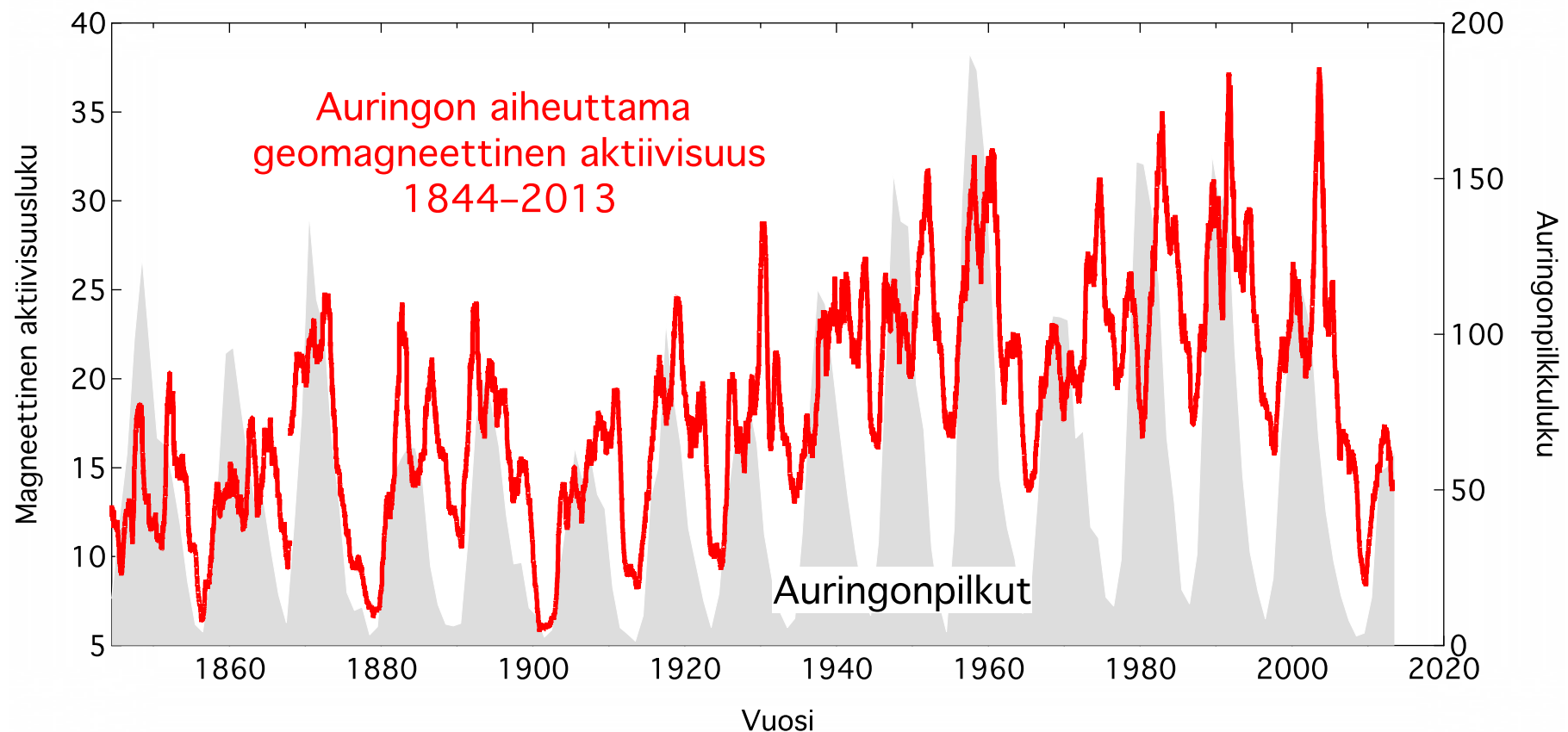
AURINGON AIHEUTTAMAT MAGNEETTISET MYRSKYT MAAPALLOLLA 1844–2013



Harmaa alue: auringonpilkut

Punainen: magneettiset myrskyt (indeksi)

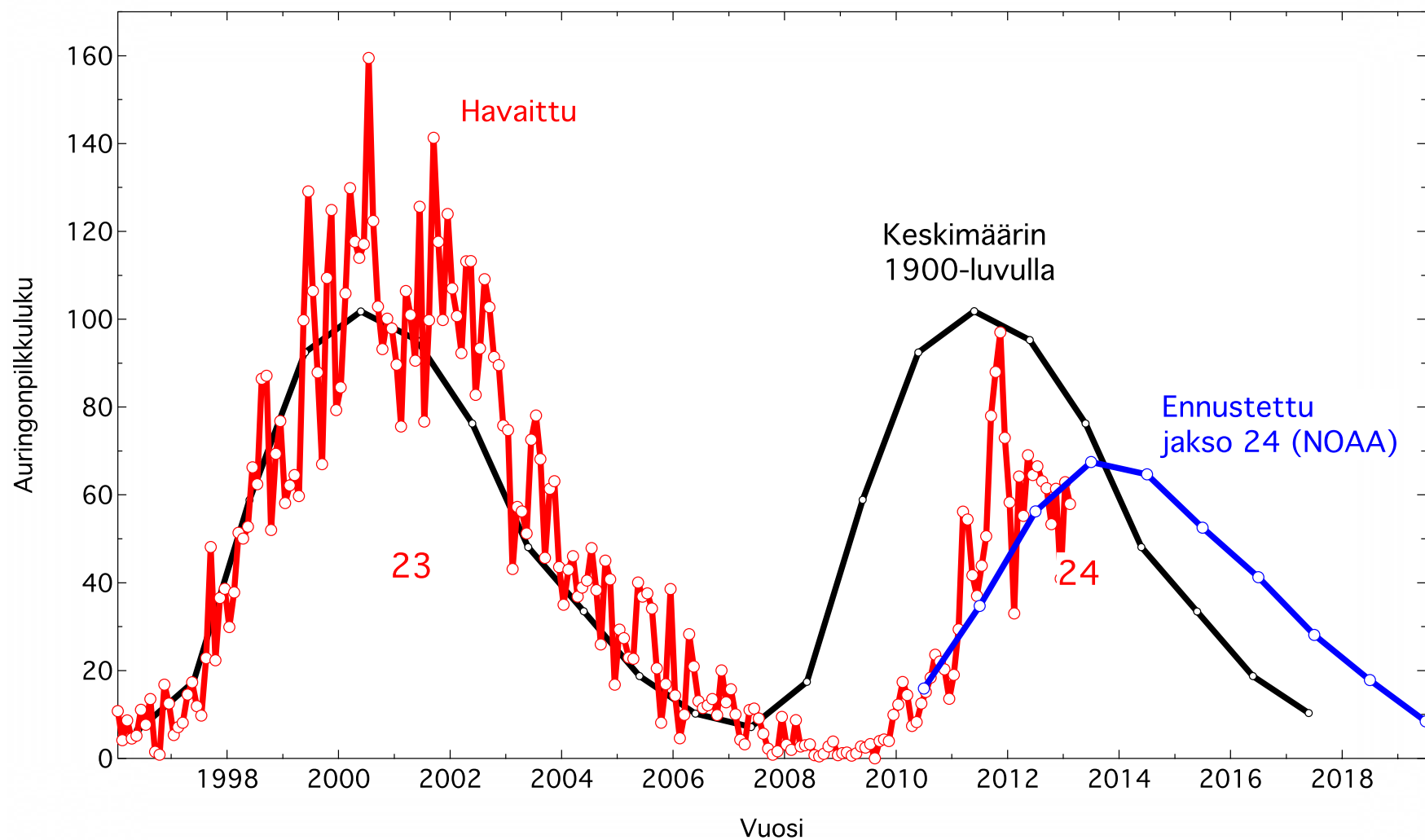
AURINGON AKTIIVISUUS MAAPALLOLLA 1844–2013



Harmaa alue: auringonpilkut

Punainen: magneettinen aktiivisuus

AURINGONPILKUT 1997–2013



5.4.2013

AURINGON SÄTEILYN MUUTOS JA MAAPALLON LÄMPÖTILA 1850– 2010

