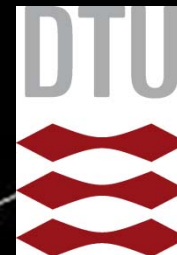


Kosmiske stråler

Jens Olaf Pepke Pedersen

jopp@space.dtu.dk



Universets
gåder

DTU Space
Institut for Rumforskning og -teknologi

Kosmiske stråler:

- Opdagelse
- Hvad er kosmiske stråler?
- Hvordan måler vi dem?
- Hvor kommer de fra?
(Gåder: Kosmiske humlebier)
- Påvirker de os?
(Gåde: Klimapåvirkning?)

Kosmiske stråler: 1785

1785 Charles Coulomb

- Opdager at ladede legemer i atmosfæren aflades
→ “der er ioner in the atmosfæren”



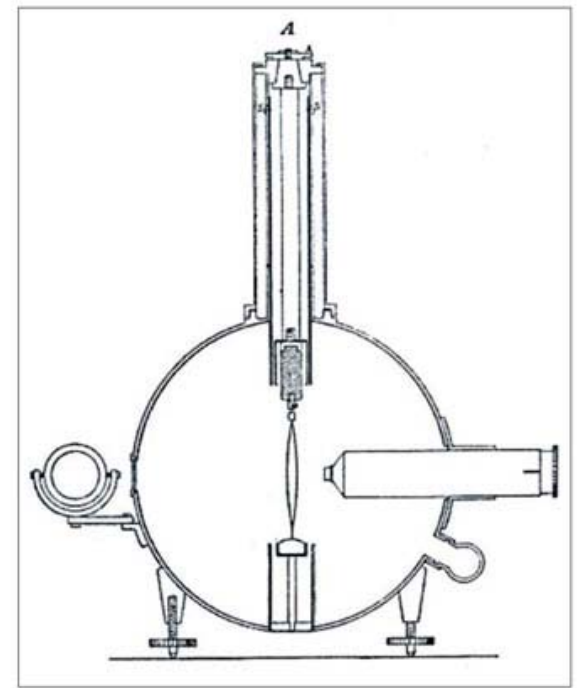
Kosmiske stråler: 1902-1910

1902 Ernest Rutherford

- Ioniserende stråling går gennem atmosfæren

1910 Theodore Wulff

- Målinger fra Eiffeltårnet



Kosmiske stråler: 1912

■ 1912 Victor Hess

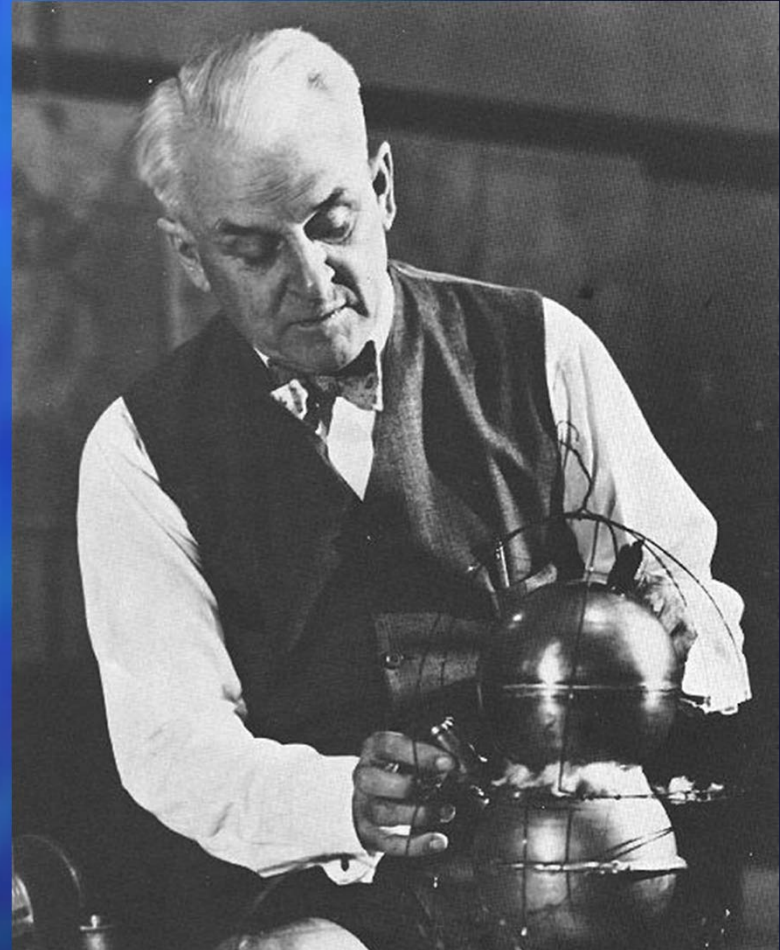
- Leder efter kilden til strålingen – når op i 5350 meter
- Strålingen falder med højden, men øges igen efter 400 meter
- Strålingen er der både dag og nat
- (Solformørkelse 17/4 1912)
- Strålingen må komme fra rummet
- Nobelprisen 1936



Kosmiske stråler: 1925

■ Robert Milikan

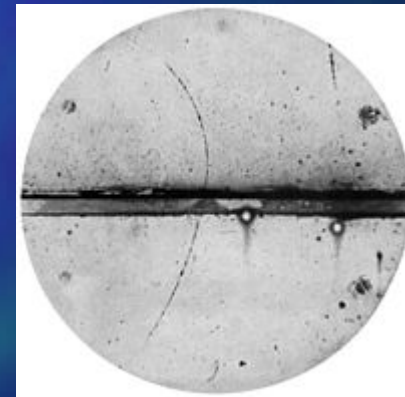
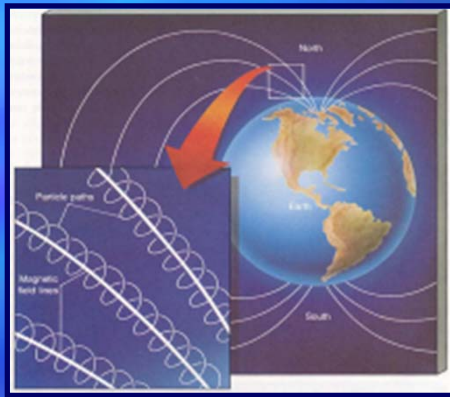
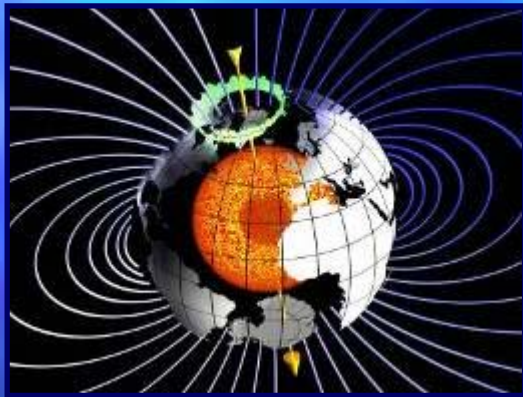
- Målte elektronens ladning
- “Milikansk stråling”
- “Kosmisk stråling”



Kosmiske stråler: 1933-1936

■ 1933 Sir Arthur Compton

- Strålingen afhænger af breddegraden og Jordens magnetfelt



■ 1932 Carl Andersen

- Finder positronen i den kosmiske stråling (elektronens antipartikel)

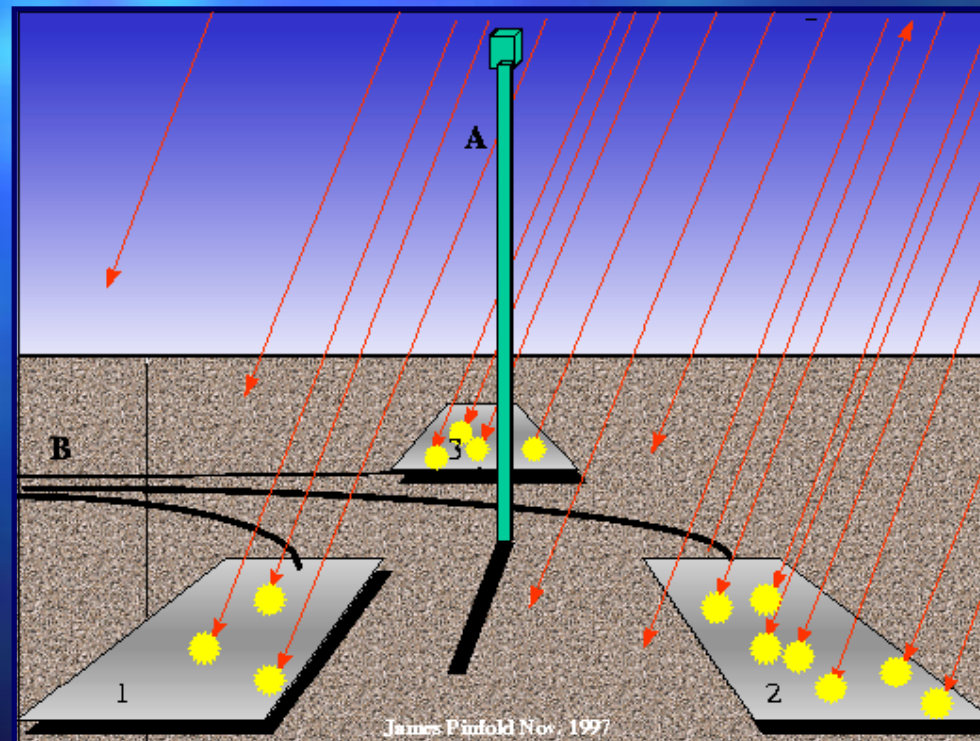
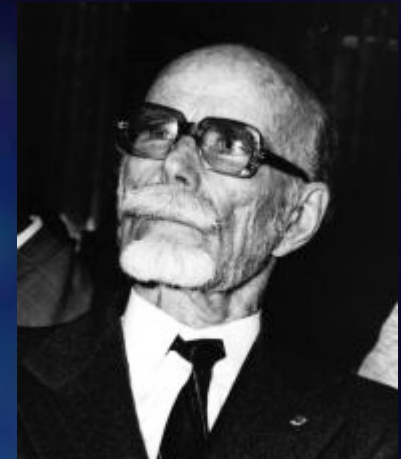
■ 1936 Carl Anderson / Seth Neddemeyer

- Finder myonen i den kosmiske stråling (200 x tungere end en elektron)

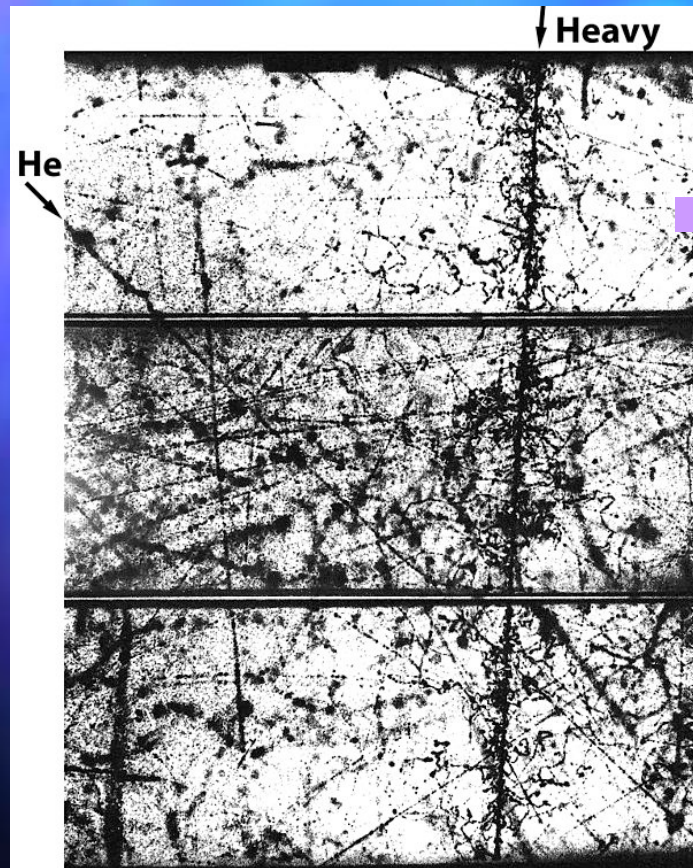
Kosmiske stråler: 1938

■ Pierre Auger og Roland Maze

- Stråler i detektorer 20 m fra hinanden (senere 200 m) ankommer samtidigt
- Koincidens



Gåden om partiklerne løses: 1938-1948 (ballonflyvninger)



Sammensætning af kosmisk stråling:

- Energirige elektroner
- Protoner (brintkerner)
- Tunge atomkerner (helium, ...)

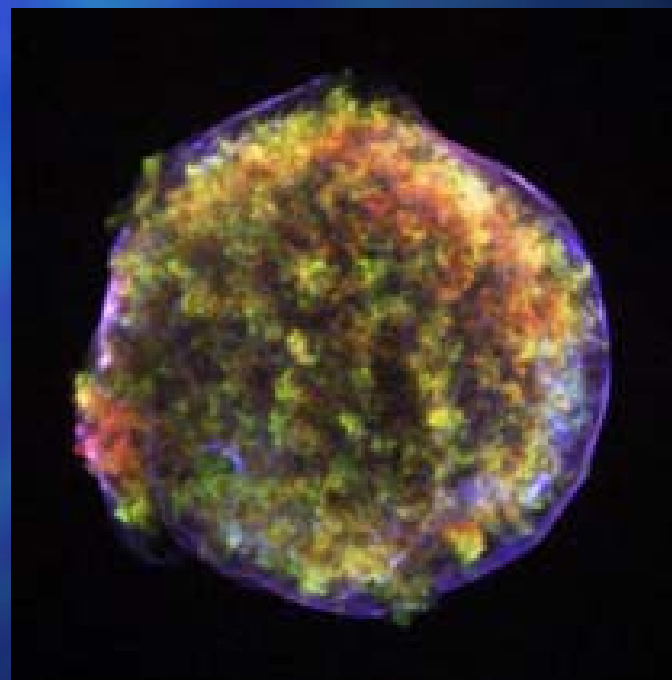
Ny gåde: hvor kommer strålingen fra?

■ Enrico Fermi 1949

- Kosmiske stråler bliver accelereret af eksploderende stjerner (supernovaer)
- Teorien udviklet i 1970-80'erne: ping-pong mellem ekspanderende magnetfelter



SN 1572



Kosmiske stråler: 1962

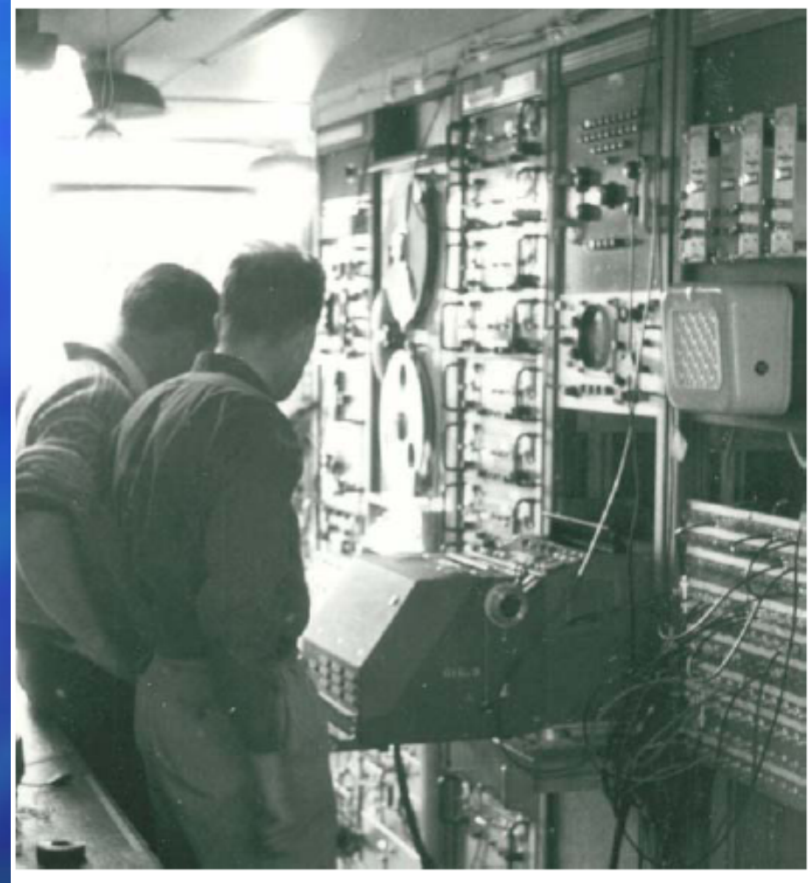
■ Dansk/norsk raketprogram

- Ferdinand I
18. august 1962, kl. 08:09 fra
Andøya Raketttskytefelt
- Formål: måle elektrontætheden i
ionosfæren og sammenhæng med
nordlys og magnetisk uro
- Ionosfærens tilstand af stor
praktisk betydning i 1962: Al
elektronisk forbindelse til og fra
Grønland foregik via radio ved
bølgelængder som var stærkt
påvirkede af forholdene i
ionosfæren



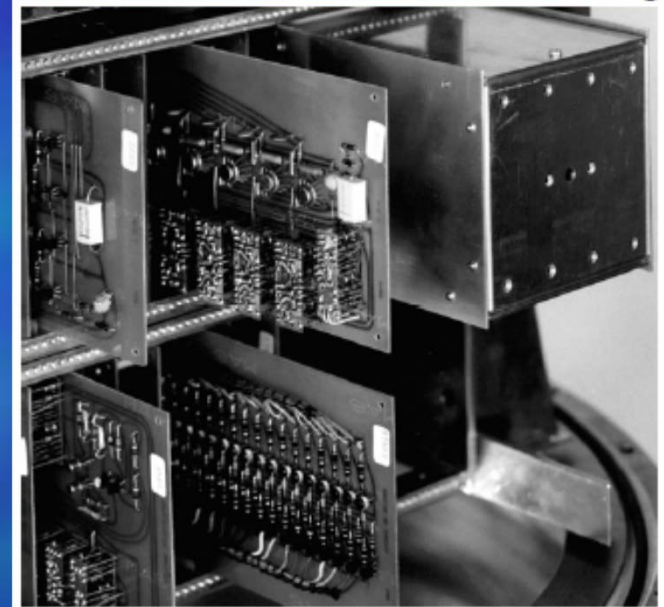
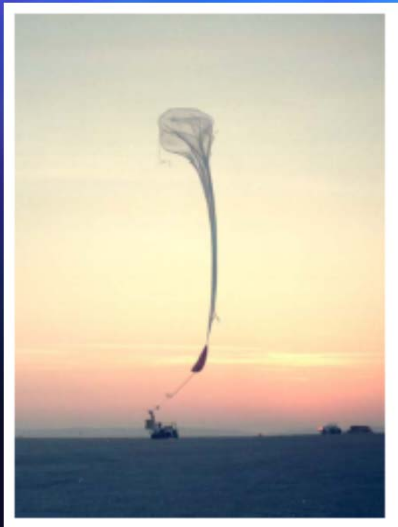
Kosmiske stråler: 1962-1968

- Dansk/norsk raketprogram
- Datatransmissionen fra raketterne baseret på analog radiotransmission
- Datalagring på store båndoptagere.
- Etablering af Ionosfærelaboratoriet 1962 på DTH
- 22 opsendelser i årene indtil 1968.



Kosmiske stråler: 1963

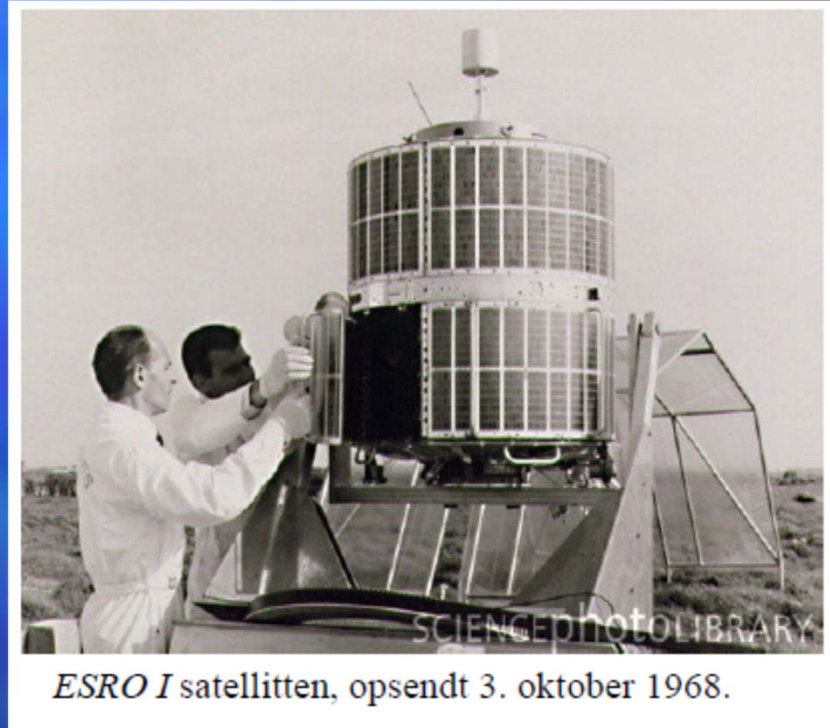
- Dansk ballonprogram
- Udvikling af balloninstrumenter til måling af kosmisk stråling påbegyndes i 1963
- Dansk Rumforskningsinstitut udskilles fra DTU i 1968 (fusion igen i 2007)



Ballonelektronik – digitale moduler

Kosmiske stråler: 1968

- Første satellitforsøg
- *ESRO-I* (Aurora) opsendes oktober 1968, første satellit med danskbyggede instrumenter.
- DRI ansvarlig for elektronikken til 3 af satellittens 9 instrumenter
- Formål: kortlægge partikelstrålingen i polaregnene.
- De tre instrumenter målte forskellige typer af partikler, elektroner, protoner og deres retnings- og energifordeling



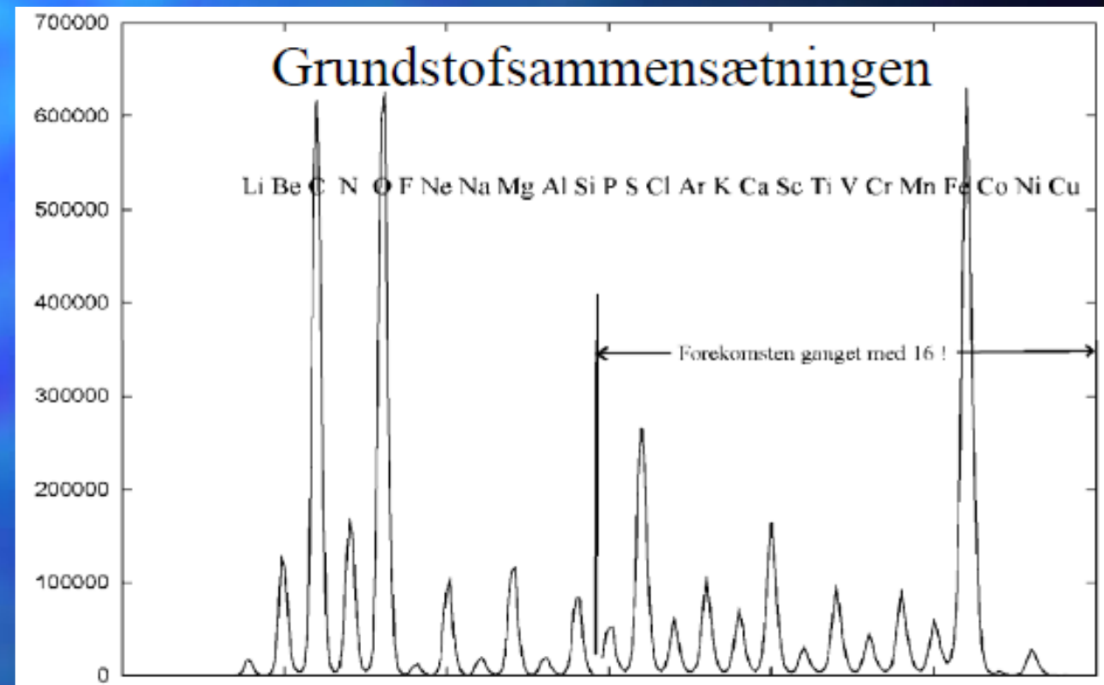
Kosmiske stråler: 1979

- High Energy Astronomy Observatory (HEAO)
- Dansk-fransk instrument
- Formål: måle massefordelingen af de kosmiske partikler
- Instrumentet (350 kg) var den tids største europæiske ruminstrument



Kosmiske stråler: 1979

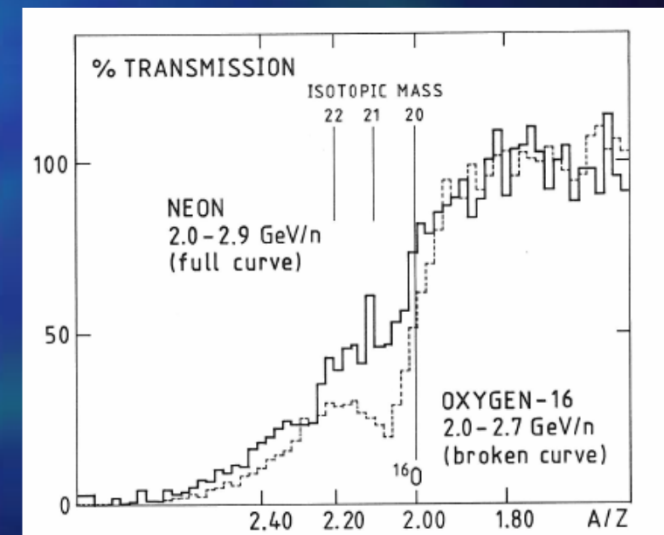
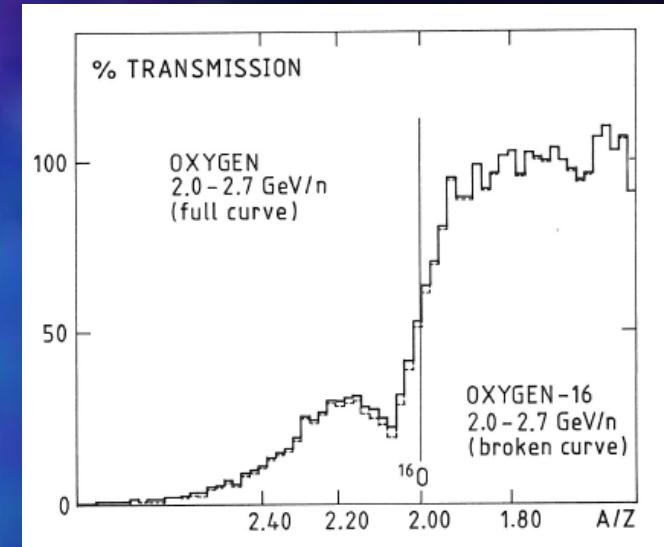
- High Energy Astronomy Observatory (HEAO)
- Fra masserne fås sammensætningen af grundstoffer
- Ideen var at bestemme, hvilke stjerner strålerne kom fra
- Blandingen ligner meget resten af solsystemet
- Ingen antydning af supernovaer



Kosmiske stråler: 1979

■ Isotopfordeling

- Data fra *HEAO* : isotopsammensætningen i den kosmiske stråling som i Solsystemet for de fleste grundstoffer.
- Kun neon adskilte sig markant: Neon-22 forekom langt hyppigere i den kosmiske stråling.
- Neon-22 overskuddet tyder på speciel stjernetype, Wolf-Rayet stjerner, med meget stærke stjernevinde



Ny gåde: Kosmiske gammaglimt:

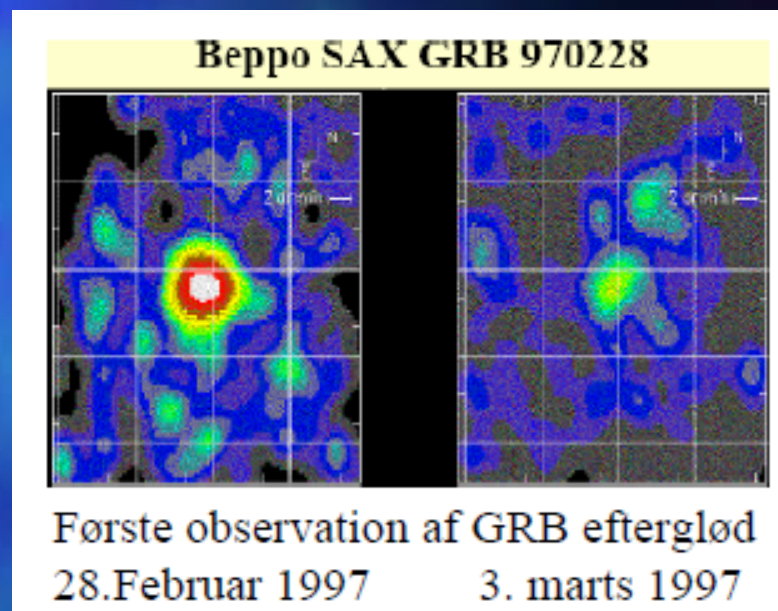
- 1973: VELA spionsatellitter overvåger sovjetiske atombombe-sprængninger: ingen glimt af gammastråling fra Jorden – men mange glimt fra Verdensrummet!
- Fik navnet Kosmiske Gammaglimt (Cosmic Gamma Ray Bursts, *GRB*)
- DRI bygger WATCH (1982). Kommer med på russisk Granat mission. Meget excentrisk bane med jordkontakt hver fjerde dag.
- Gemme 4 døgns data i RAM-hukommelse på 512 kbyte – inklusive software
- Gennemsnitlig datarate på 37 bits/sekund



WATCH konstrueret til at bestemme retningen.
Kilderne spredt over himlen!

Kosmiske gammaglimt: 1997

- Gåden løses
- Italiensk-Hollandsk SAX-satellit benytter nøjagtigere røntgenkamera.
- Satellitten kunne drejes og efter få timer observere den omtrentlige glimtposition med en røntgenkikkert.
- Observation af gammaglimtets "efterglød" gav præcis position.
- Glimtene kommer fra meget fjerne galakser og er jævnt spredt over himlen.
- Svært for flertallet af astronomerne at acceptere - forudsatte ny og ukendt mekanisme til at kanalisere en stor del af eksplosionsenergien mod os.
- Kollaps af hurtigt roterende stjerner – supernovarest bliver til neutronstjerne



Kosmiske stråler: 1991

■ Fly's Eye detektor

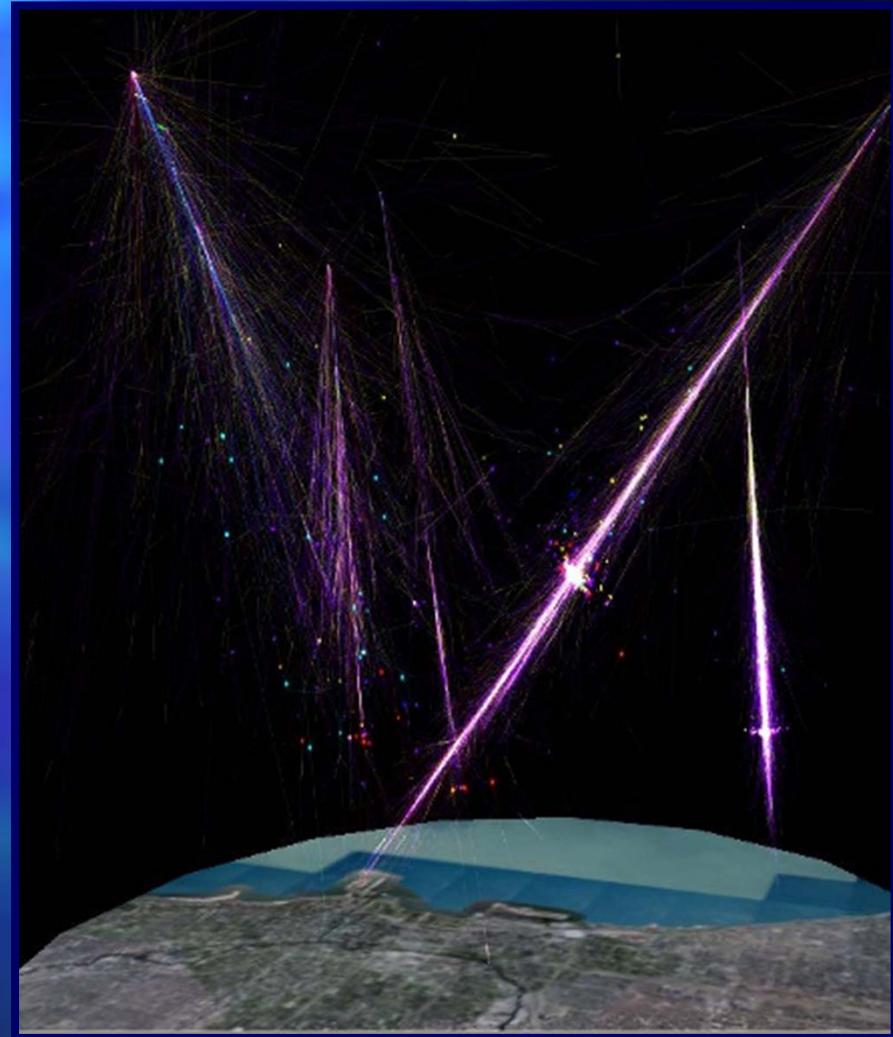
- 67 spejle i det vestlige UTAH
- Observerer hidtil kraftigste kosmiske partikel 3×10^{20} eV (energi som en tennisbold med 100 km/t)
 - “Oh-My-God” particle”
- Ny gåde: Supernovaer kan ikke være hele forklaringen



Hvad er kosmiske stråler?

Hvad er kosmiske partikler?

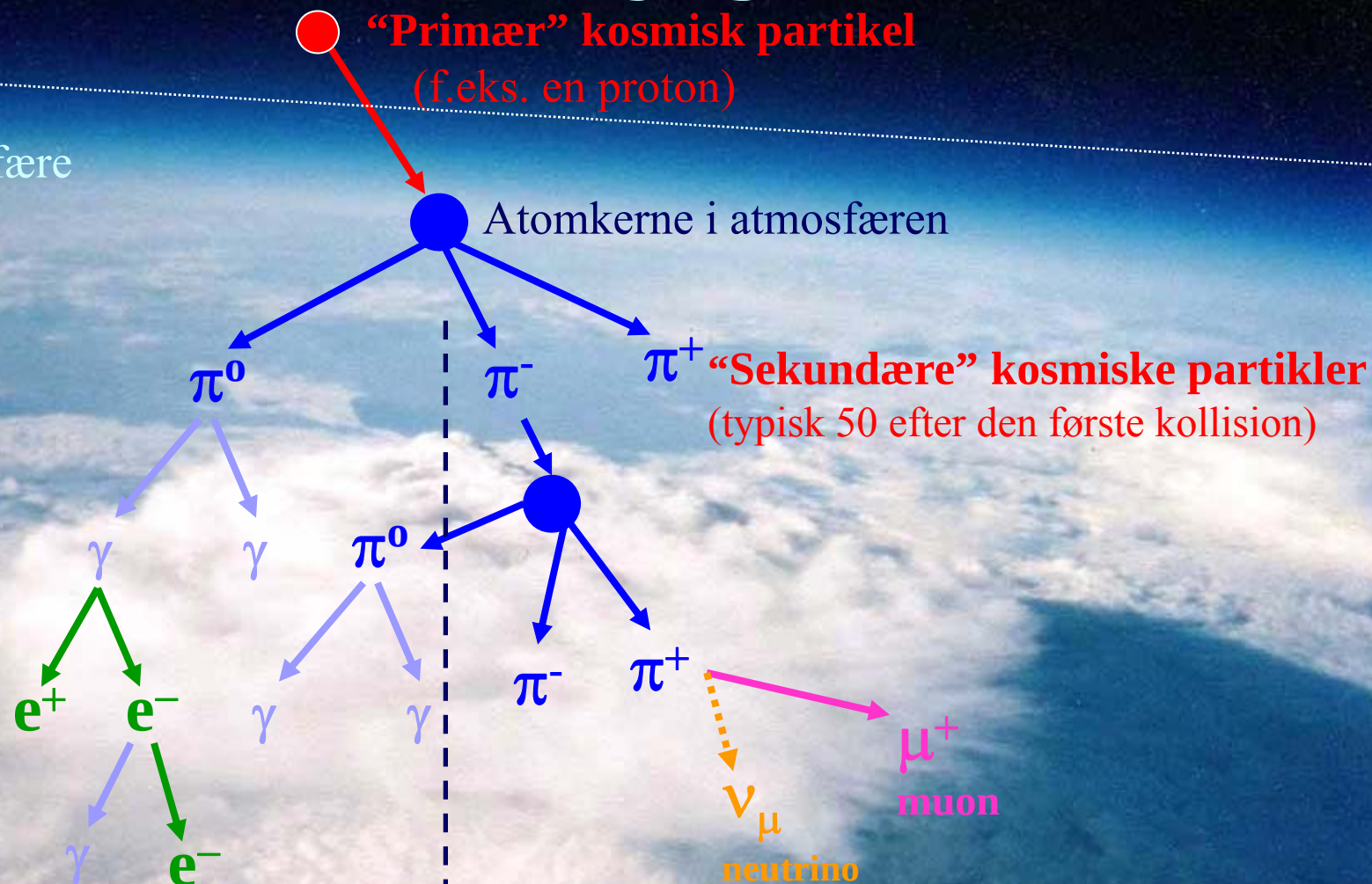
- Ladede atomkerner og elektroner
 - **“Primære”** kosmiske partikler
 - Mest protoner eller α (He) kerner (tungere elementer meget sjældnere)
 - Flere med lav end høj energi
- Når partiklerne rammer en kerne i et atom/molekyle i atmosfæren dannes en byge af nye partikler
 - **“Sekundære”** kosmiske partikler



Kosmisk byge

Rummet

Jordens atmosfære



Danner:

**Elektromagnetisk
byge**
(mest γ -stråling)

Partikelbyge
(ved overfladen mest myoner
og neutroner)

Plus:

Kulstof-14
Beryllium-10

Primære kosmiske partikler

- Især H og He
- Tungere grundstoffer (men sjældnere)
- Flest med lav energi

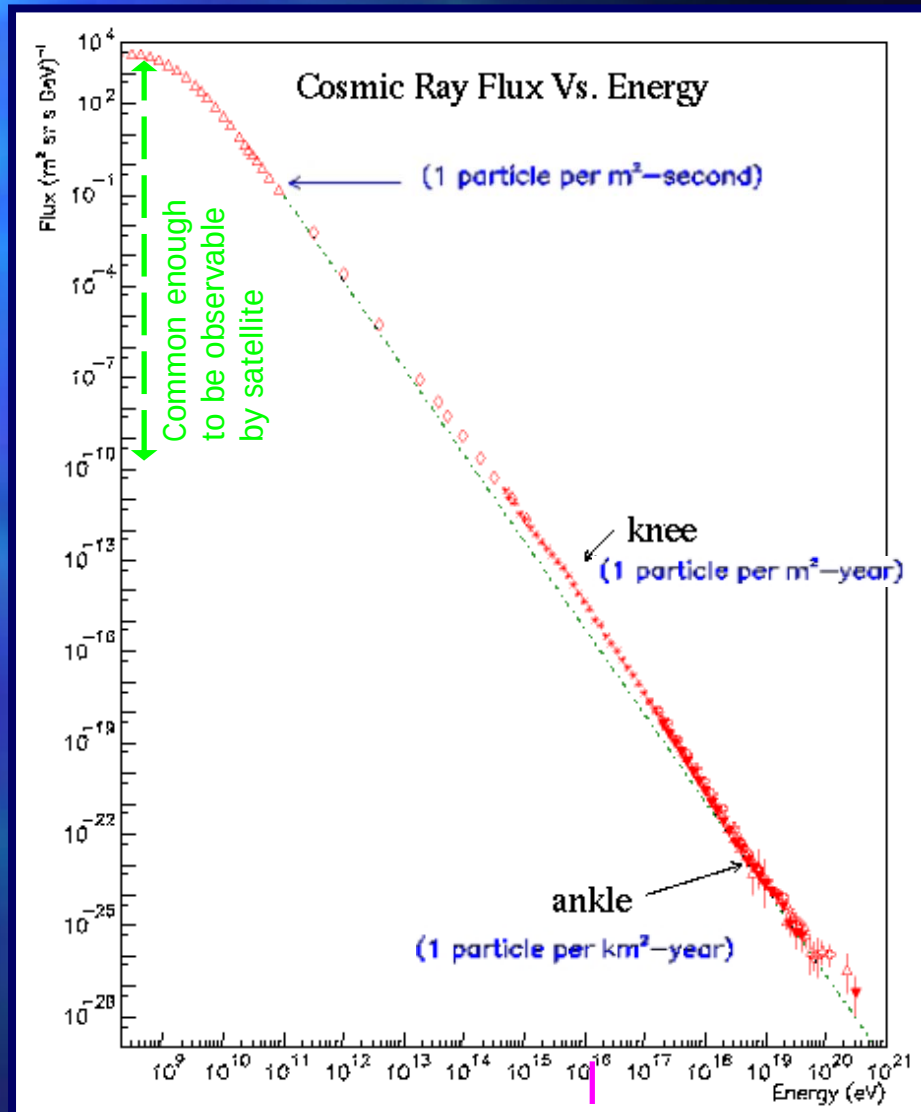
Flux – antal partikler / tid / areal

eV – (meget lille) energienhed

■ 1 volt x ladningen af en elektron

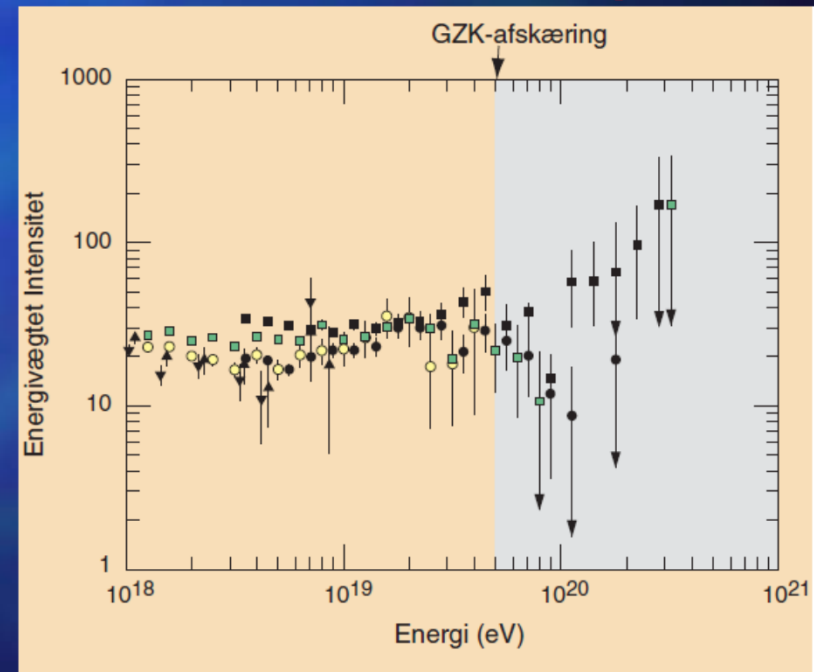
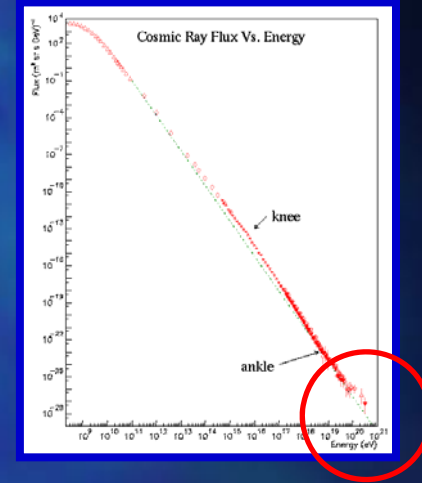
■ 1 eV = $1,6 \times 10^{-19}$ J

Maksimal energi i CERNs
LHC acceleratorer



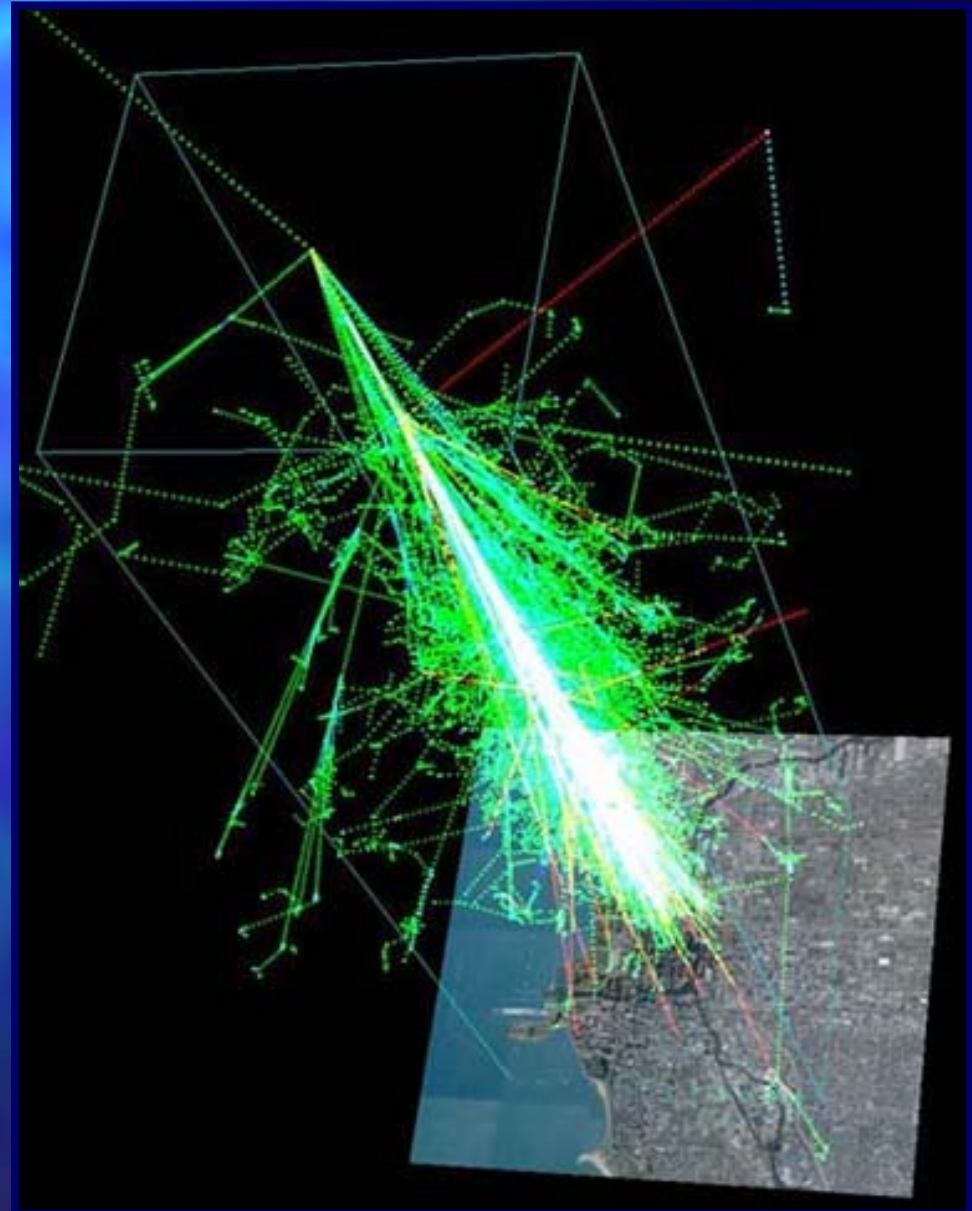
Endnu en gåde:

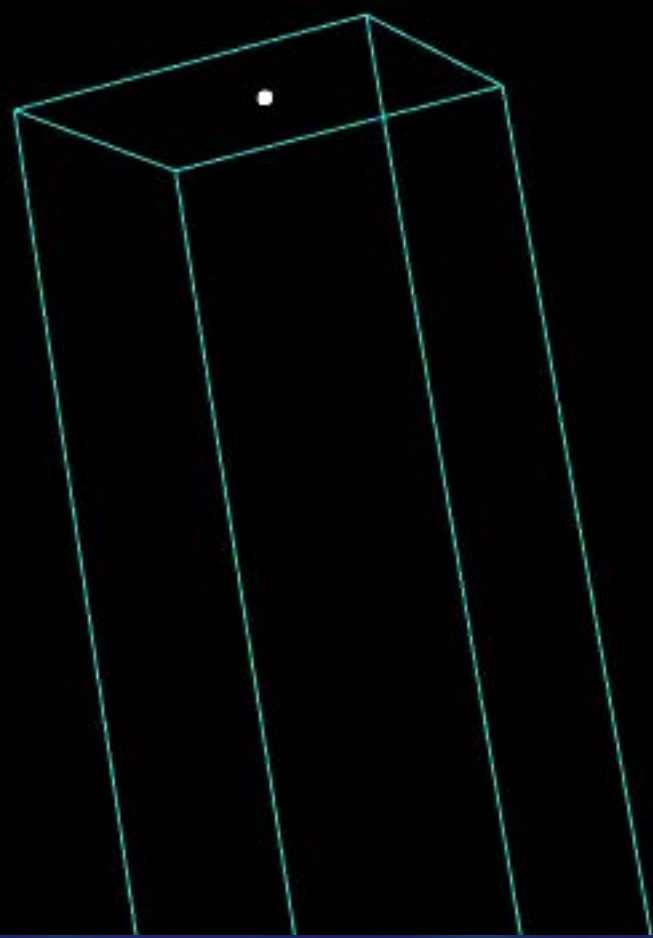
- Partikler bremses af mikrobølge “baggrundsstråling” i rummet
- Hvis energien er højere end GZK-grænsen (Greisen-Zatsepin-Kuzmin 1966), ca. 5×10^{19} eV undgår de ikke en kollision udenfor galaksen
- “Kosmiske humlebier”
- -> Mange eksotiske teorier:
 - Henfald fra mørkt stof?



Sekundære kosmiske partikler

- “Partikelbyge”
 - Elektromagnetisk stråling
 - Pioner, myoner
- Kan bevæge sig hurtigere end lyset i atmosfæren (men stadigvæk langsommere end lys i vakuum!)
- 150 myoner rammer en kvadratmeter på Jorden hvert sekund





Detektion af kosmiske partikler?

Tågekammer



Detektion af kosmiske partikler

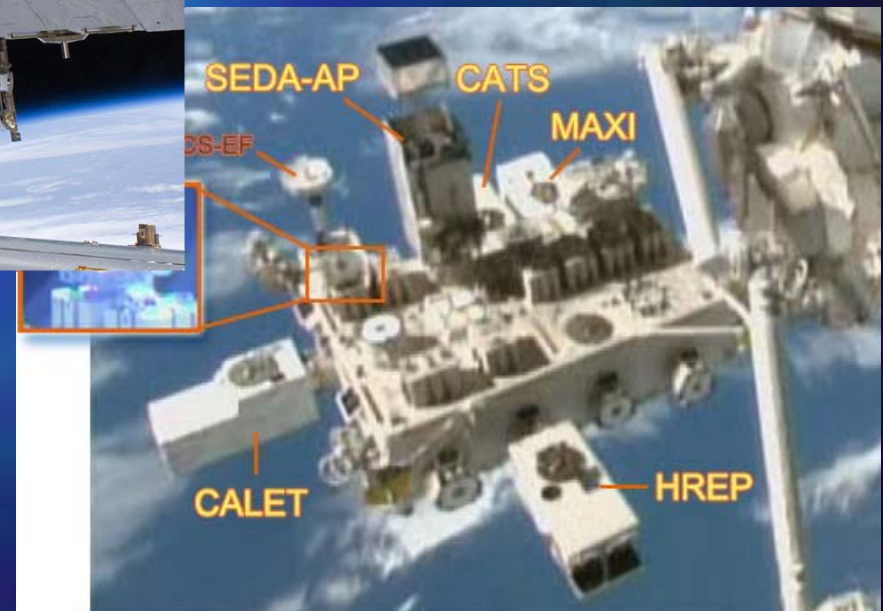
- Detektion af **primære partikler**: observatorier i rummet
 - Fordele: ser partiklerne uden forstyrrelse fra atmosfæren
 - Ulemper: dyrt og detektoren er lille
- Detektion af **sekundære byger**: observatorier på Jorden
 - Fordele: billigere, større og kan se meget mere
 - Ulemper: hvis man er interesseret i de primære partikler, kræver det noget regnearbejde, men kan til dels lade sig gøre

Detektion af primære partikler

- Alpha Magnetic Spectrometer (2011)



- Calorimetric Electron Telescope (2015)



Detektion af sekundære partikler

- Større = bedre
- Fanger flere partikler
- Fanger flere af de sjældne. **Ultra-high-energy cosmic rays (UHECRs)** mere end 10^{18} eV findes kun én gang pr. km² pr. år!



■ CASA-MIA, Utah
1089 detektorer med 15 m
mellemrum (1992-2001)

H.E.S.S. (Namibia)

- High Energy Stereoscopic System
- Første målinger 2002
- Gammastråling
og kosmiske
partikler
fra rummet
(Cherenkov stråling)



Detektion af kosmiske partikler

■ Auger Observatoriet, Argentina

- 1600 detektorer fordelt over et areal svarende til Fyn
- Første målinger i 2005



Detektion af kosmiske partikler

■ Auger Observatoriet

- Hver detektor en stor vandtank – ser efter lysglimt fra kosmiske partikler



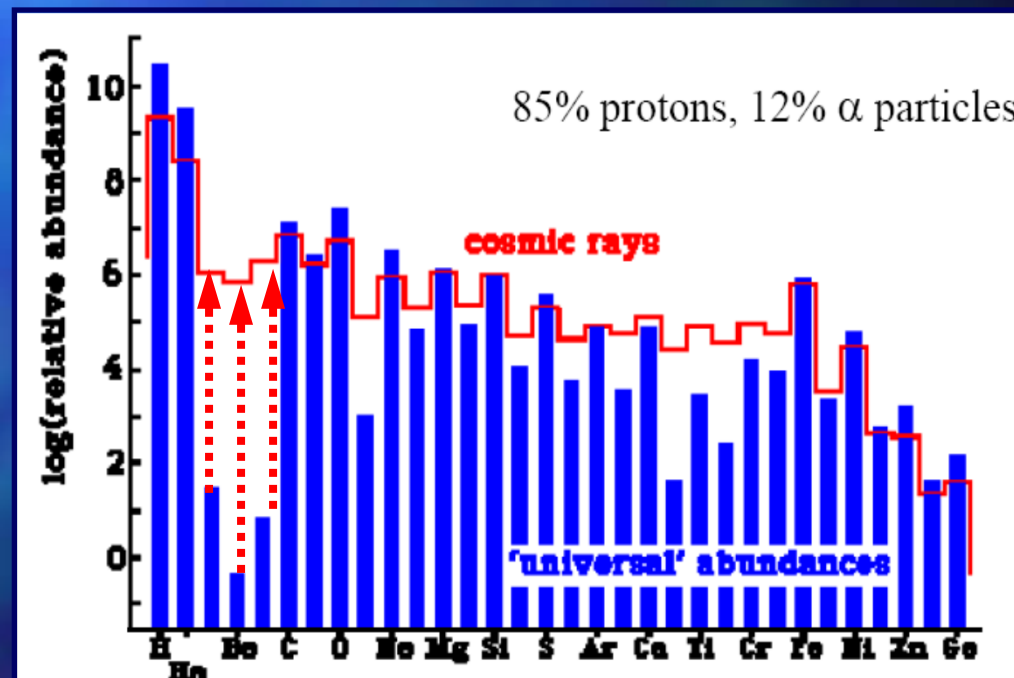
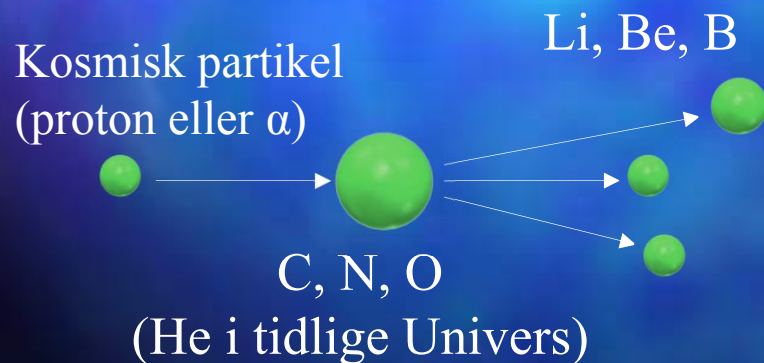
- Mest energirige partikler kommer udenfor galaksen
- Retninger fra kernen i aktive galakser (AGN)
- Sandsynligvis supertunge sorte huller (omdiskuteret)

The background of the slide is a Cosmic Microwave Background (CMB) fluctuation map, showing a mottled pattern of blue and purple hues. On the left side, there is a vertical grey bar. The text is white and positioned in the upper left area.

Hvor kommer de
kosmiske partikler
fra?

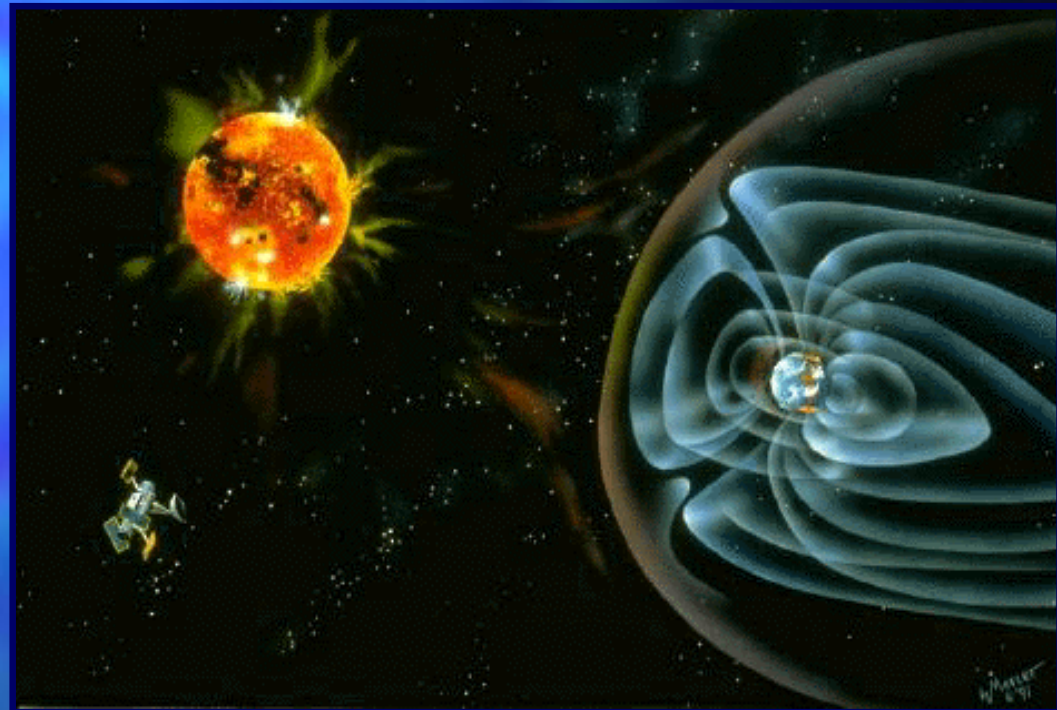
Grundstofferne i Universet

- Der er flere kosmiske partikler af nogle grundstoffer, end der skulle være
 - Kollisioner med andre atomer et sted i rummet (især C,N,O)!
 - Kollisionerne en vigtig kilde til lithium, beryllium og bor i Universet
 - => levetid millioner af år



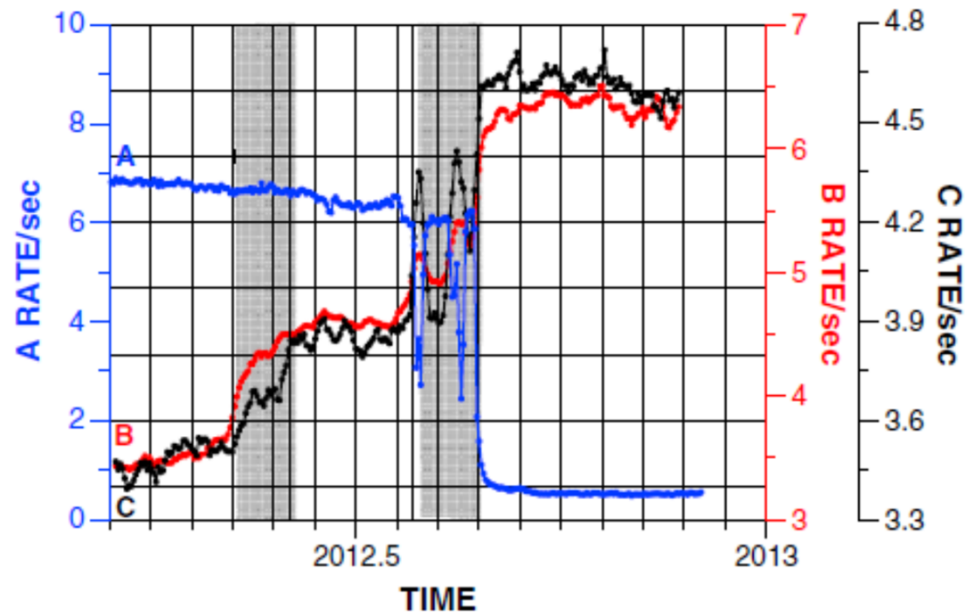
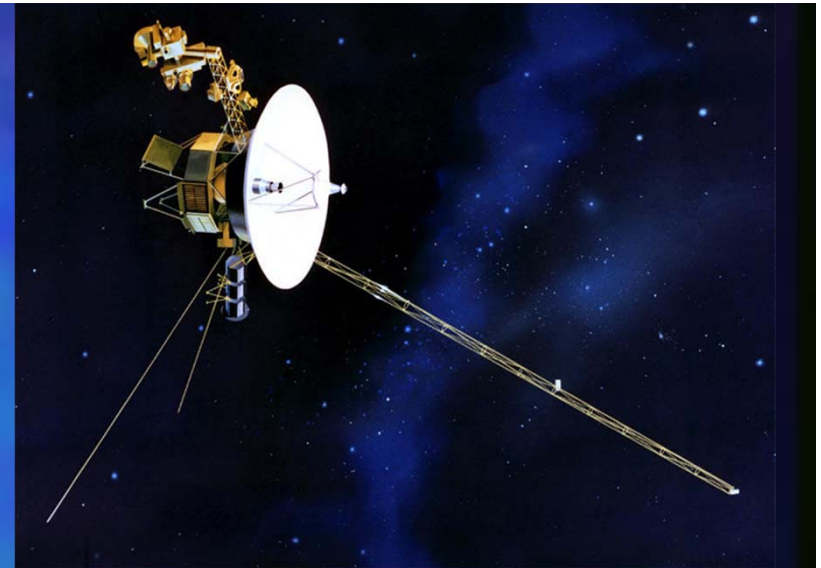
Hvor kommer de fra?

- Stjerner producerer **lav-energi** partikler (solvind)
- Supernovaer producer **mellem-energi** partikler
- Høje energier $E > 10^{18}$ eV (**UHECRs**)?



Voyager 1

- Opsendt 5/9 1977
- Krydser heliosfæren den 25/8 2012



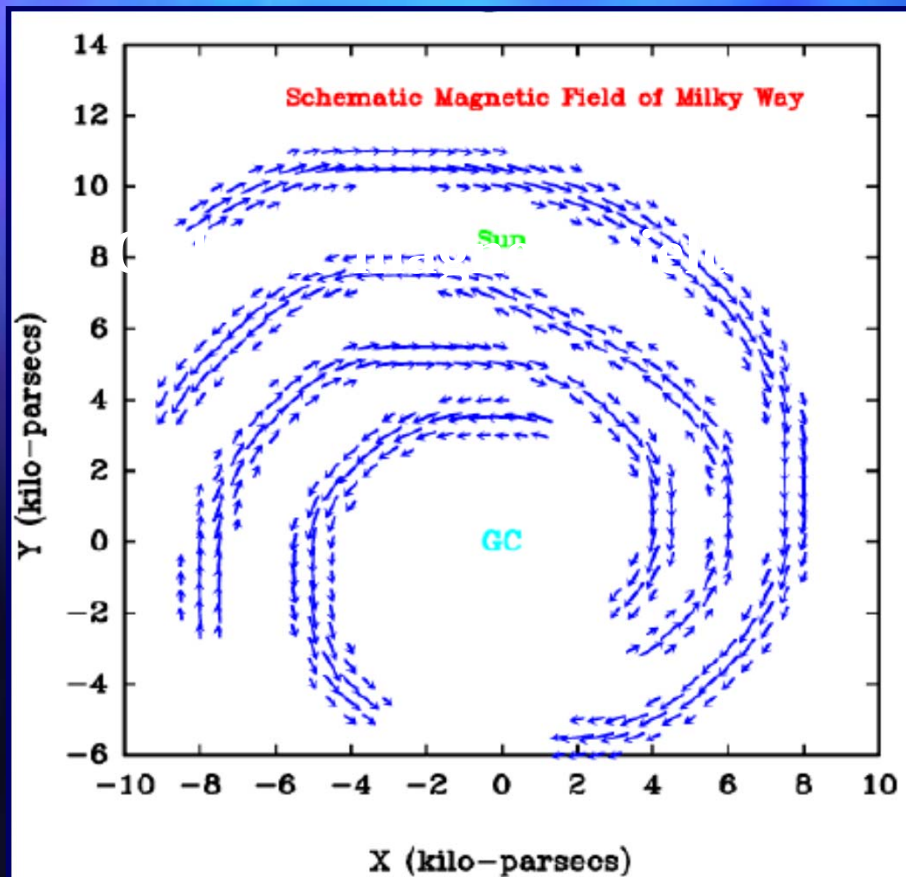
A: Partikler fra Solen (0.5 MeV)
B: Partikler fra Galaksen (6-14 MeV)
C: Partikler fra Galaksen (> 200 MeV)

Voyager var da 121,7 AU fra Solen

Nu ca. 132 AU – ser "tsunami" bølger fra Solen

Hvor kommer de fra?

Problem: Kosmiske partikler afbøjes af galaksens magnetiske felt. Umuligt at se kilden direkte.

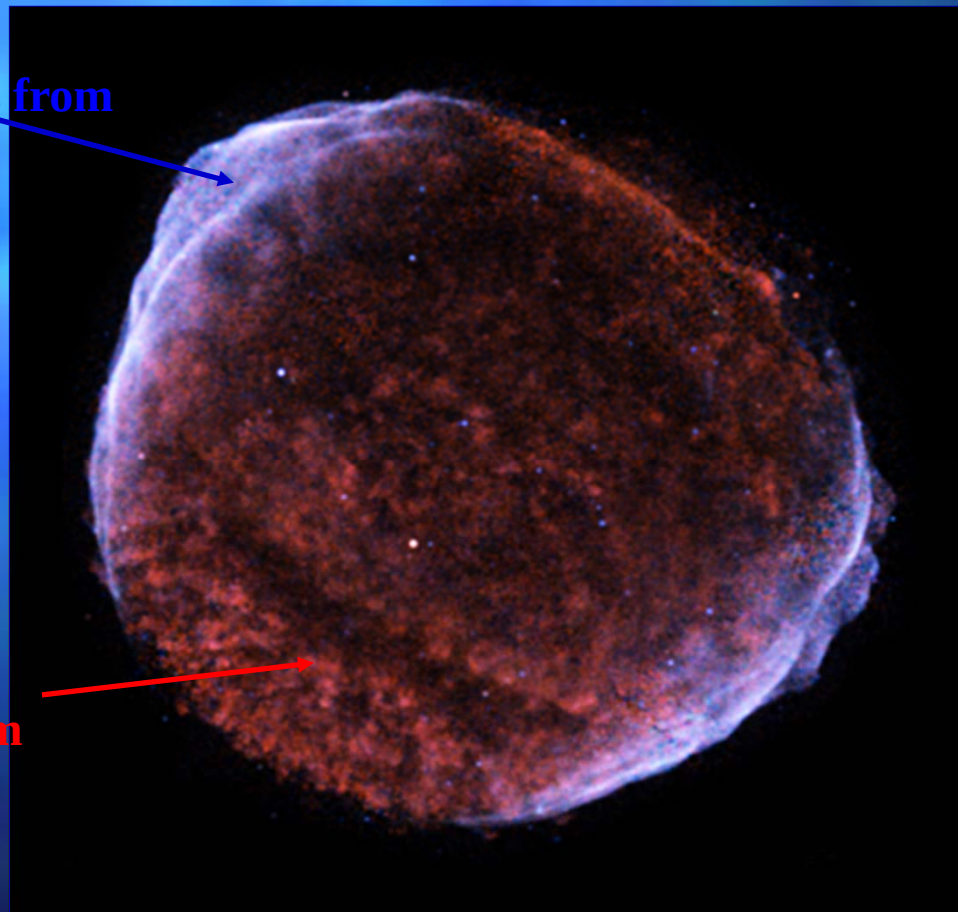


Supernova SN 1006

Røntgenbillede fra Chandra

**Blue: X-rays from
high energy
particles**

**Red: X-rays from
heated gas**



Chokkbølge fra
eksplosionen
acCELERERER
partikler til
 10^{15} eV.
Ikke nok til
UHECRs!

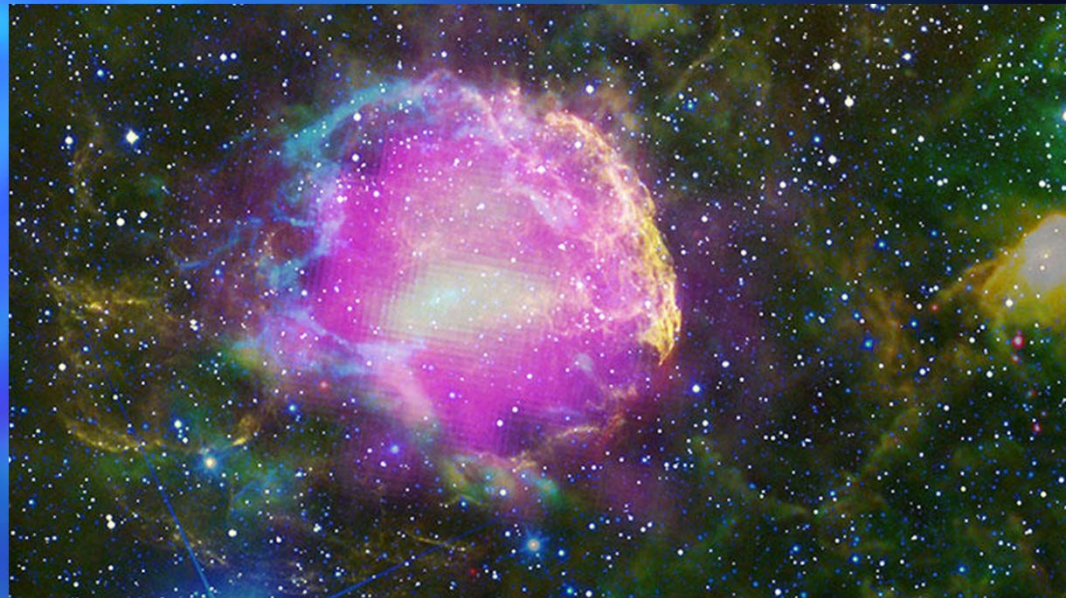
Fermi Gamma-ray Space Telescope (2008-)

- Gammastråling fra Cygnus X. Stammer fra kollisioner mellem kosmiske partikler og gas
- - afbøjes ikke i magnetfelt
- "Stjernefabrik" – materiale til 2 mio. stjerner
- 4600 lysår herfra



Fermi Gamma-ray Space Telescope (2008-)

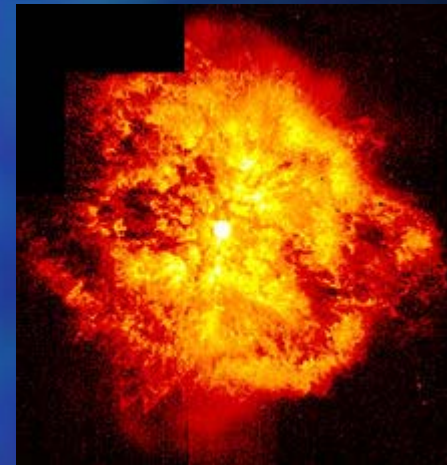
- IC443
- Også her ses gammastråling fra kollisioner mellem kosmiske partikler og gas



Supernova rest IC 443 (Jellyfish Nebula)
3.000 – 30.000 år siden
Magenta: gammastråling
Gul: optisk lys
Blå: (infrarød – 3,4 mikrometer)
Cyan: (infrarød – 4,6 mikrometer)
Grøn: (infrarød – 12 mikrometer)
Rød: (infrarød – 22 mikrometer)

Wolf-Rayet (WR) stjerner

- De tungeste stjerner vejer >40 gange Solen og lever kort (6 mio. år)
- Lige før de kolliderer går de ind i WR-fasen, hvor stjernevinden er ekstrem og massetabet stort (1 solmasse på 100.000 år)
- Partikler accelereres i stjernevinden og i den senere supernova-eksplosion

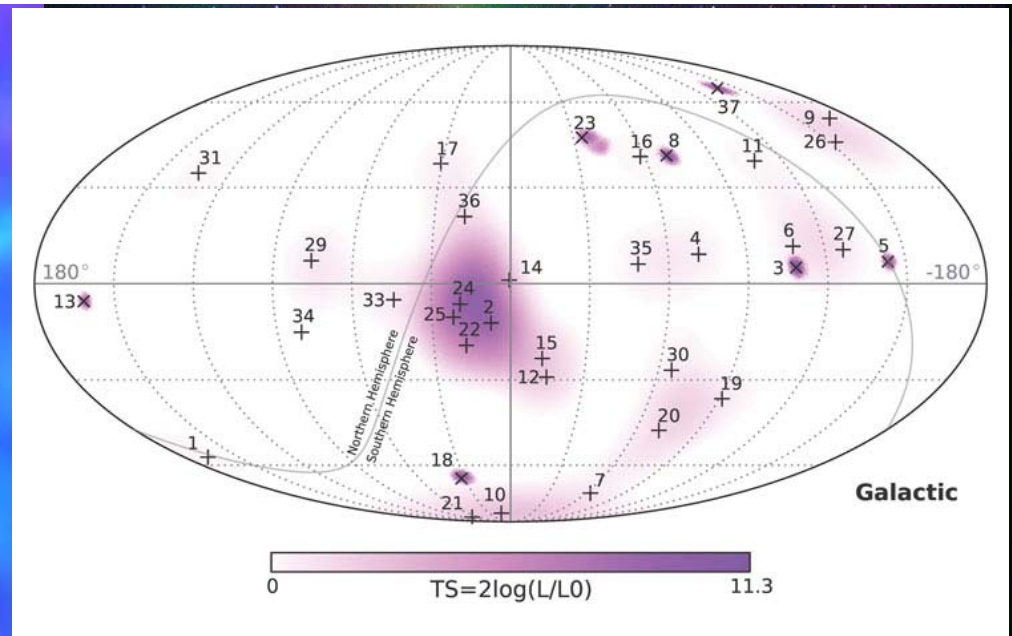


Mulige kilder til UHECRs?

- Kolliderende galakser
- Supertunge X-partikler
(asymmetri stof/antistof)
- Super-magnetiske roterende neutronstjerner
- Acceleration i nærheden af gammaglimt
- Henfald fra mørkt stof
- Udenfor Mælkevejen
(spredte kilder)
- Hurtigt roterende sorte huller

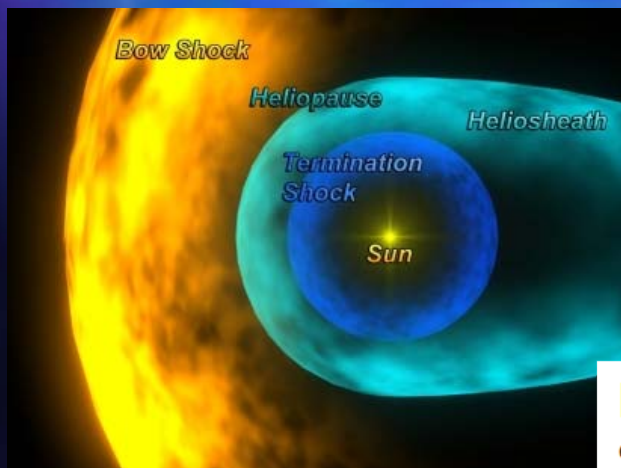
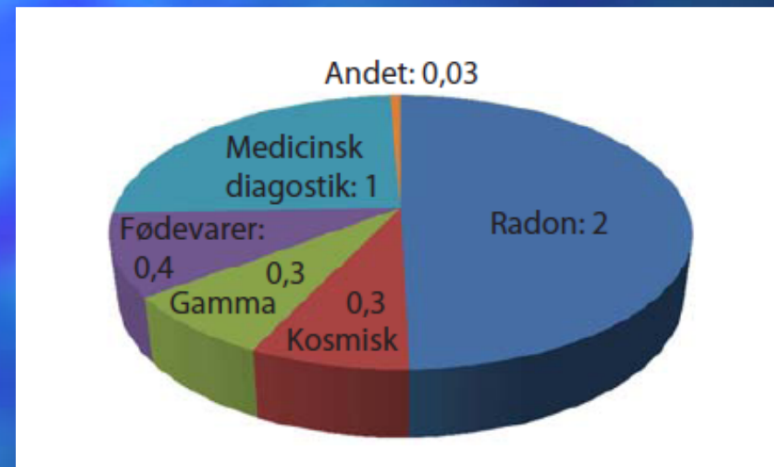
UHECR

- Meget lille afbøjning af magnetfelter
- Kan vi se, hvor de kommer fra? (Nej)
- "Rester" fra Big Bang? ("Kosmiske strenge" / topologiske defekter i rummet, som kollapser)
- IceCube (1 km³) : kan neutrinoer vise vejen til de kosmiske partikler?



Påvirker de Jorden?

- Stråling!
- Beskyttet af atmosfæren
- Heliosfæren



Long-haul air passengers at risk from cosmic rays, government fears

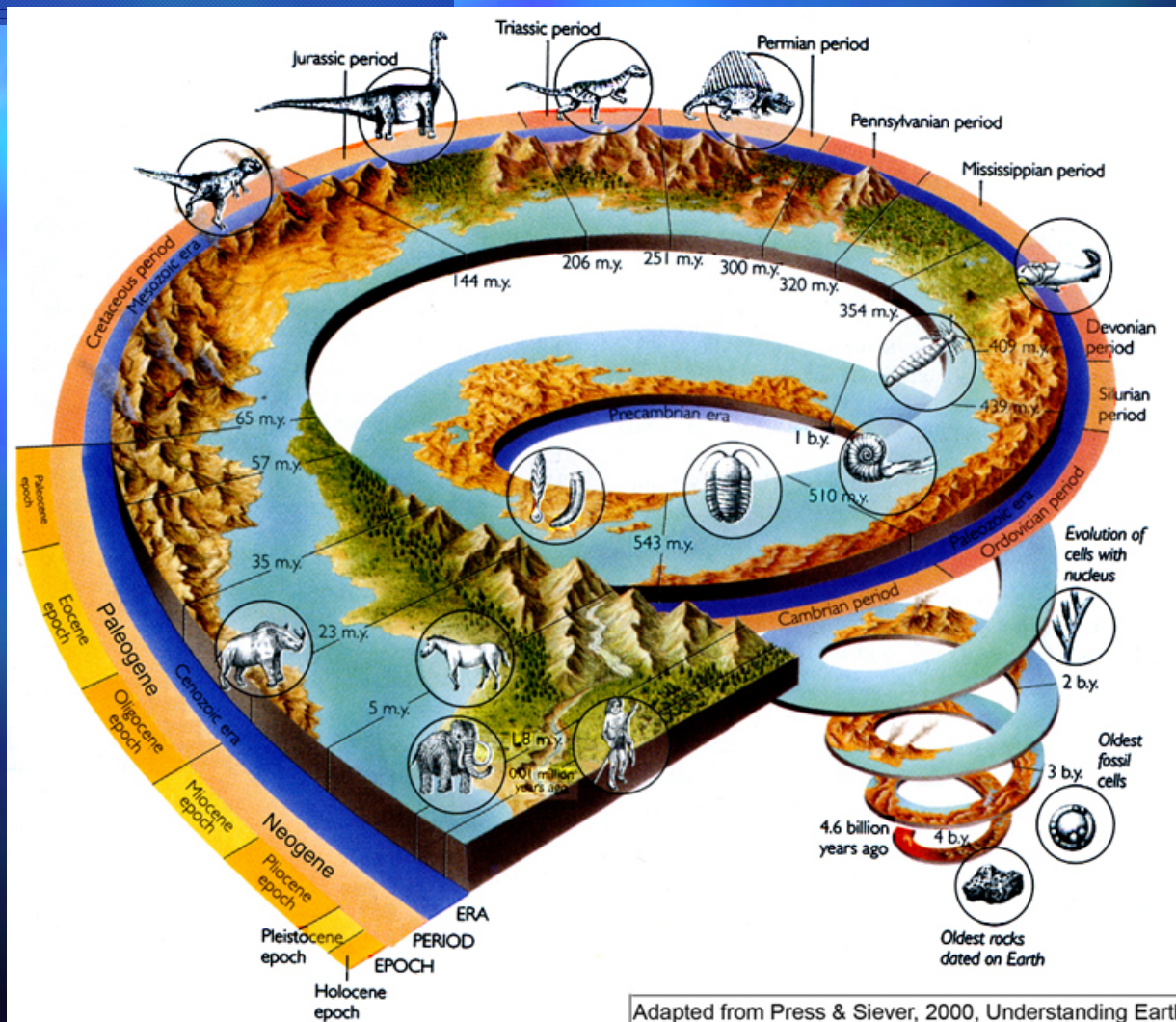
Public Health England is currently looking into whether solar storms could produce dangerous radiation and is due to report findings in the autumn

Mars astronauts risk brain damage from cosmic rays

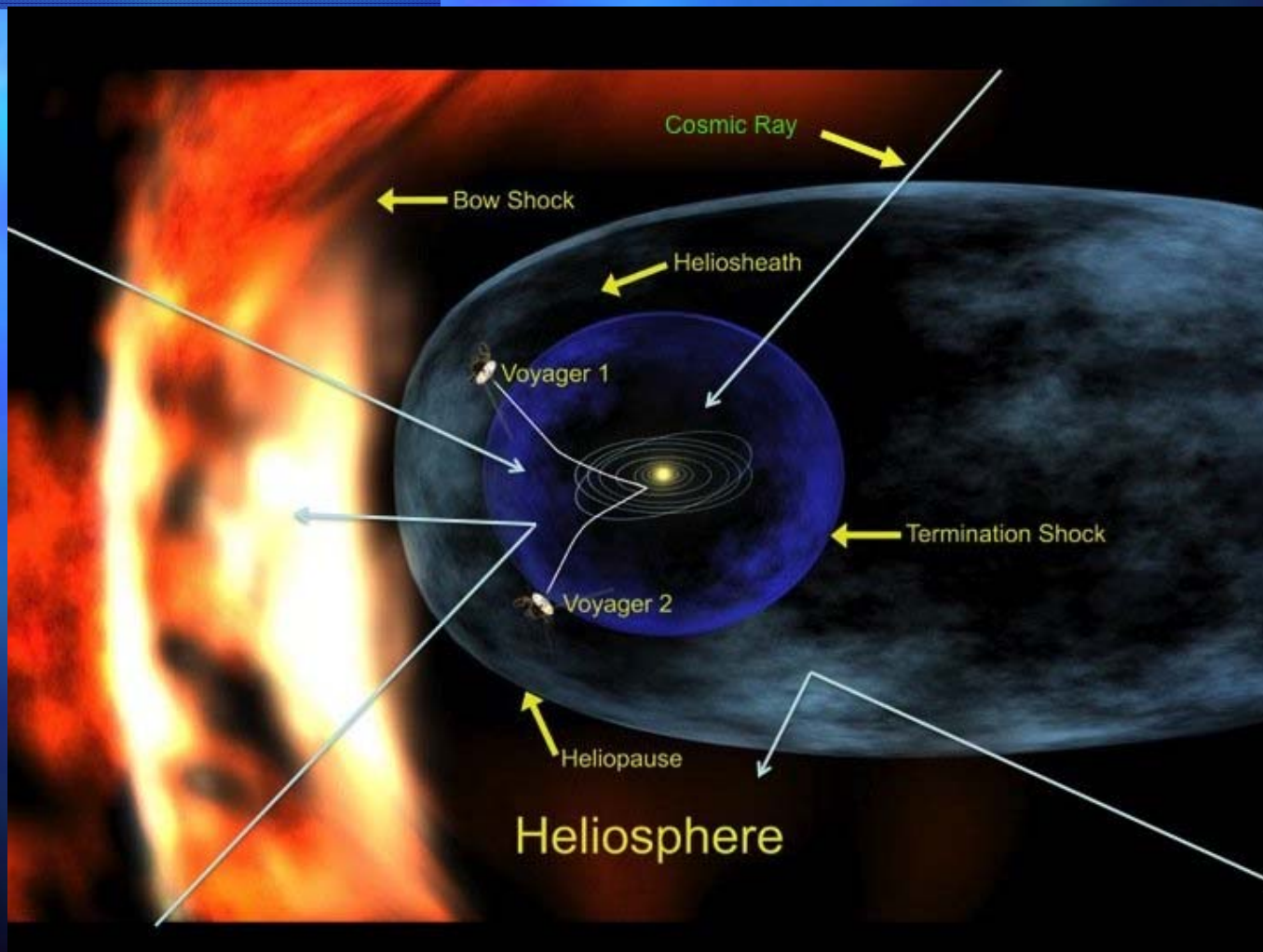
Cosmic ray-like radiation causes dementia-like cognitive impairments in mice

Thomson Reuters Posted: May 05, 2015 11:29 AM ET | Last Updated: May 05, 2015 11:41 AM ET

Udviklingen af liv

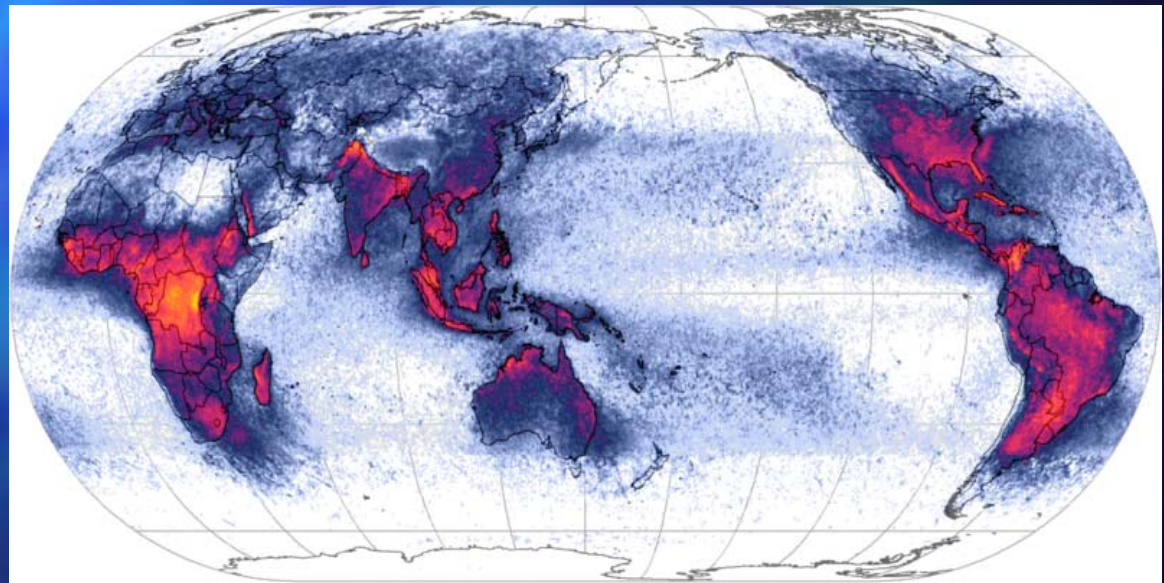


Solens magnetskjold



Lyn?

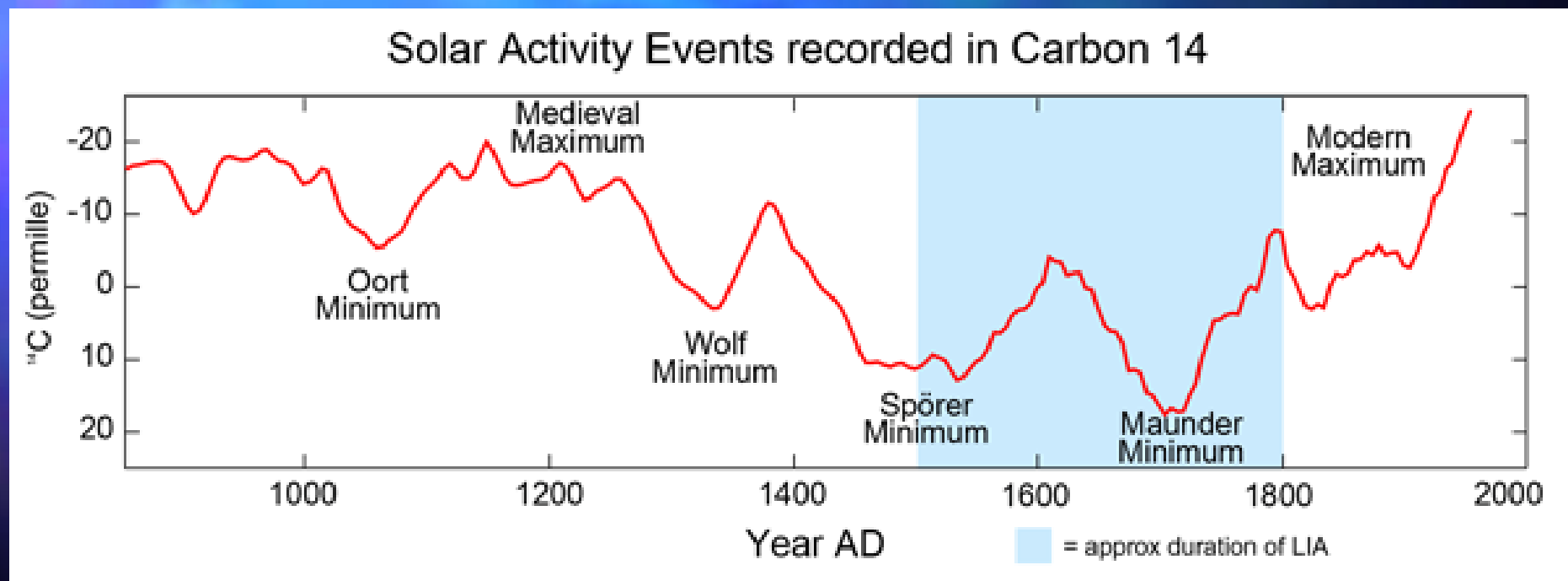
- 4 millioner lyn dagligt Verden over
- Kosmisk stråling skaber ionerne
- Udløsende faktor for lyn?



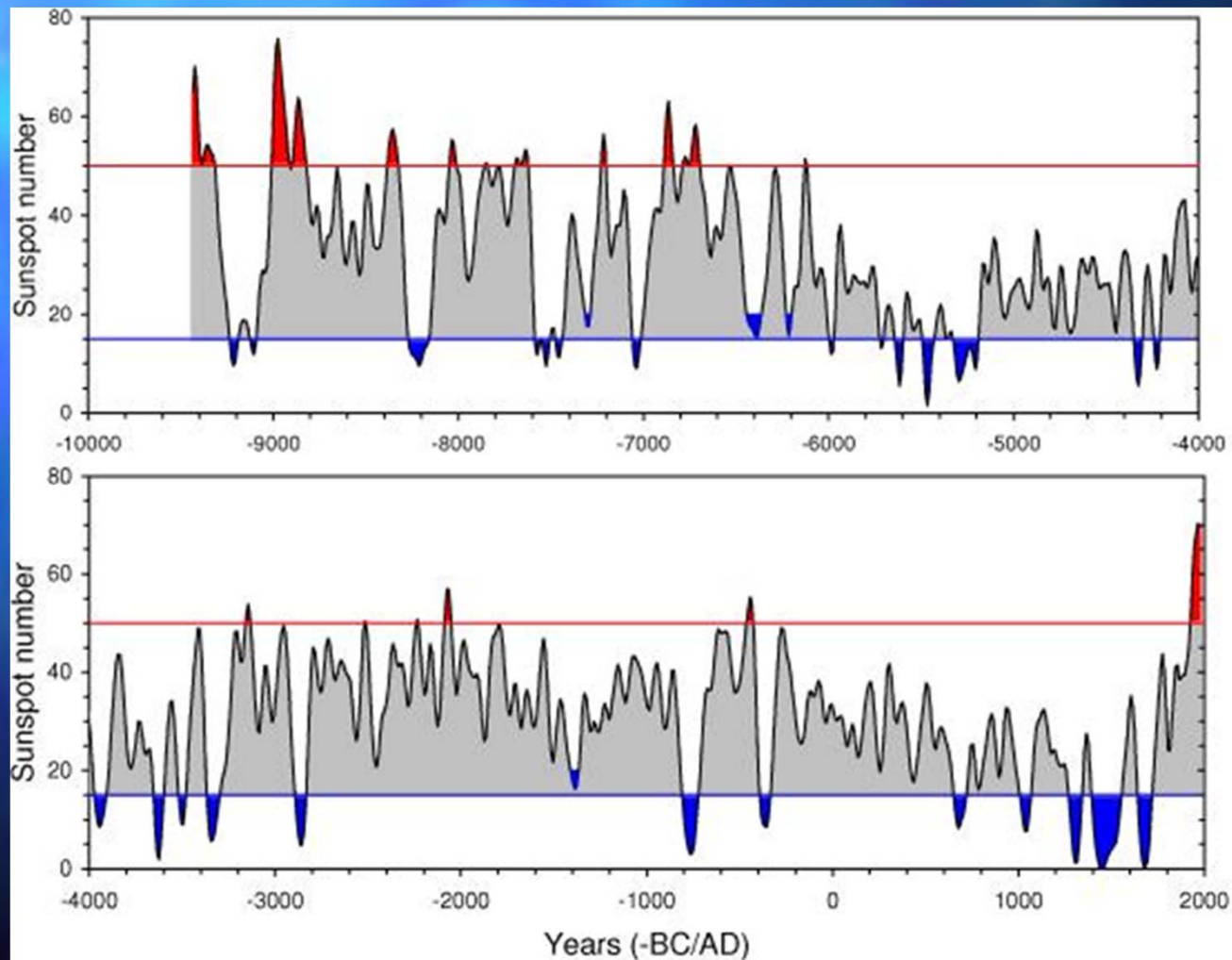
Average strikes per square kilometre per year

0.1 0.2 0.5 1 2 5 10 20 50 100 200

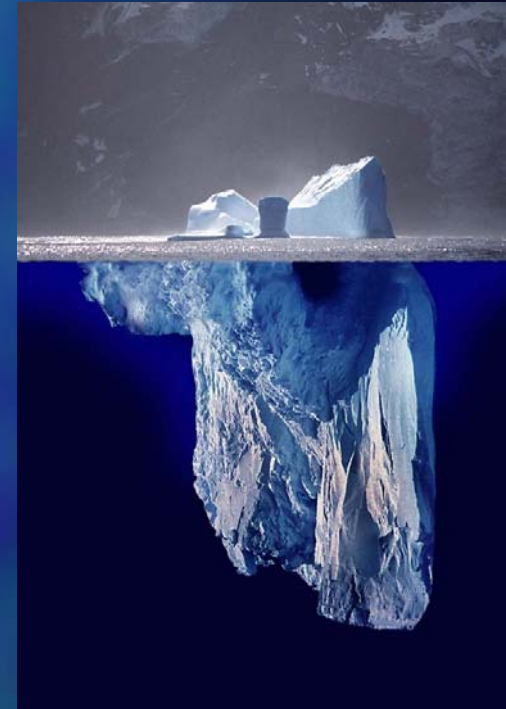
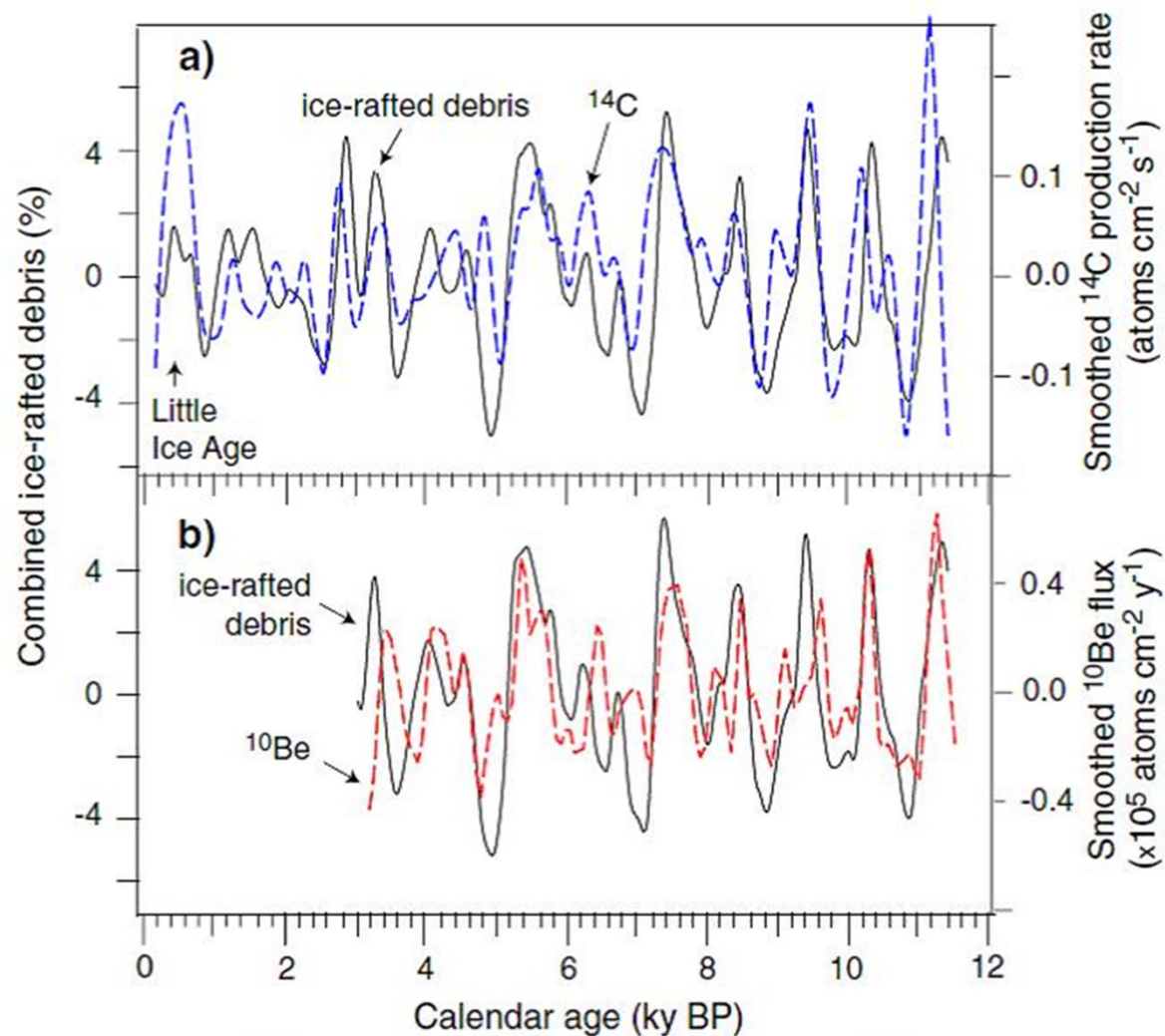
Variationer i kosmisk stråling



Solaktivitet gennem 10.000 år



Kosmisk stråling og Jordens klima



Kosmisk stråling og skyer?

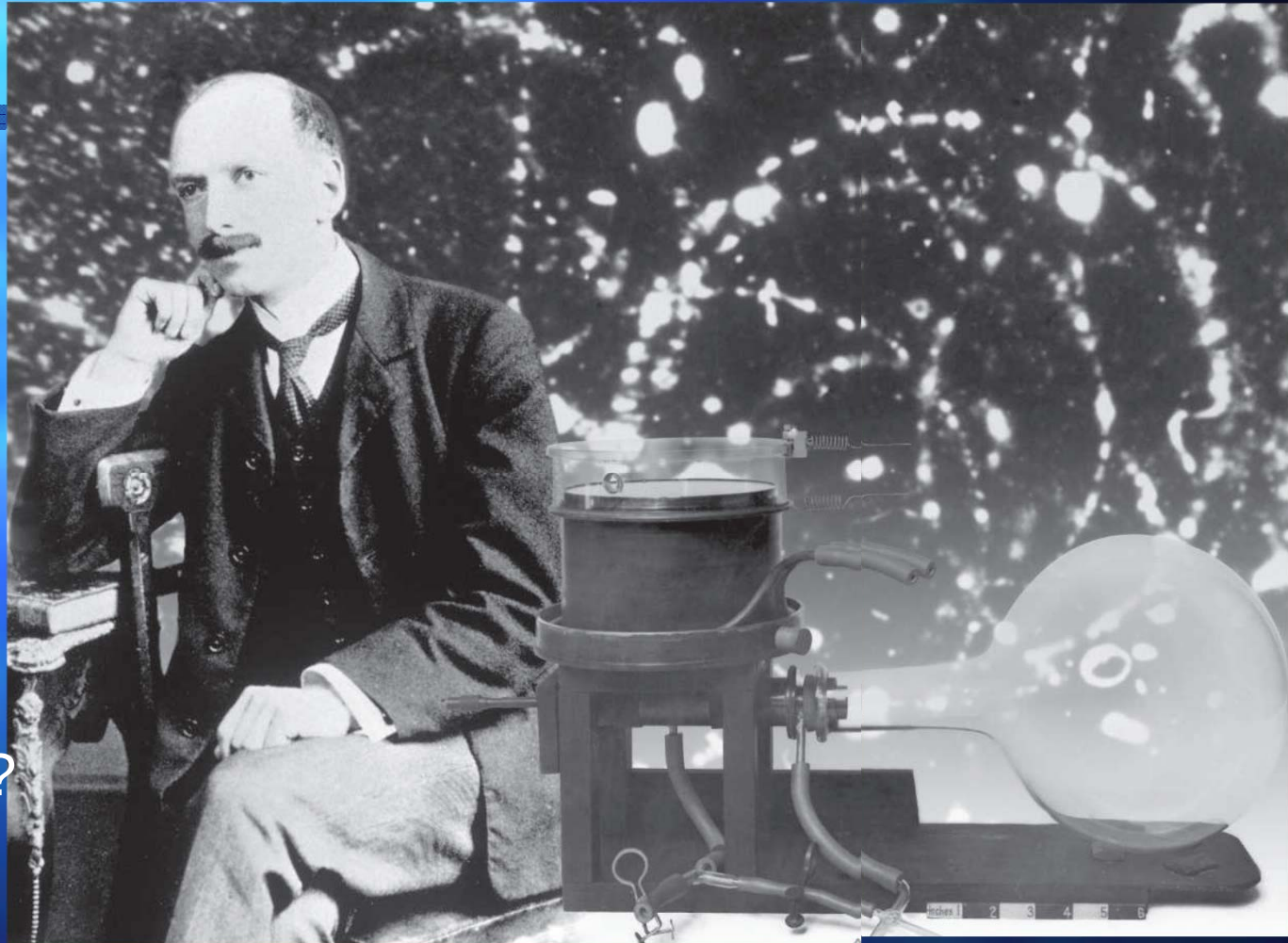


Den første skymager

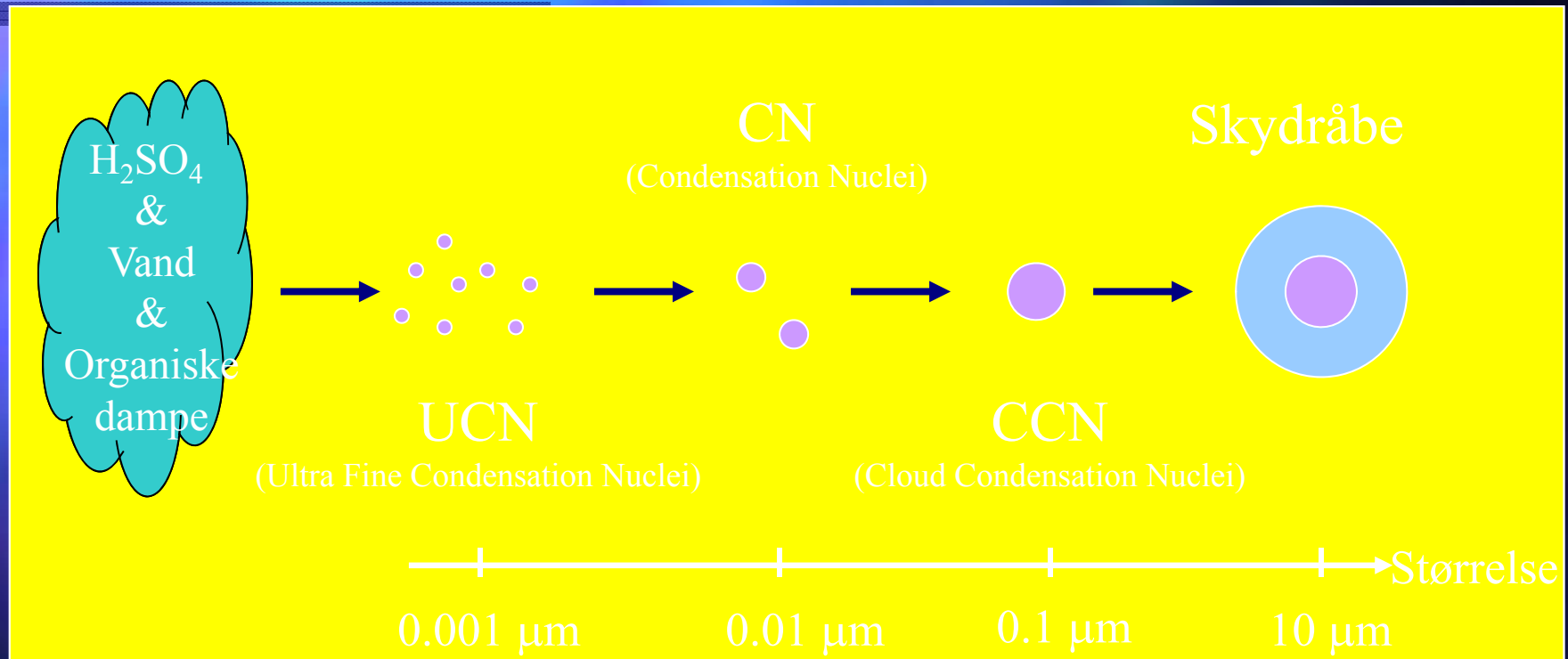
Charles
Thomas
Rees
Wilson

Nobelpris
1927

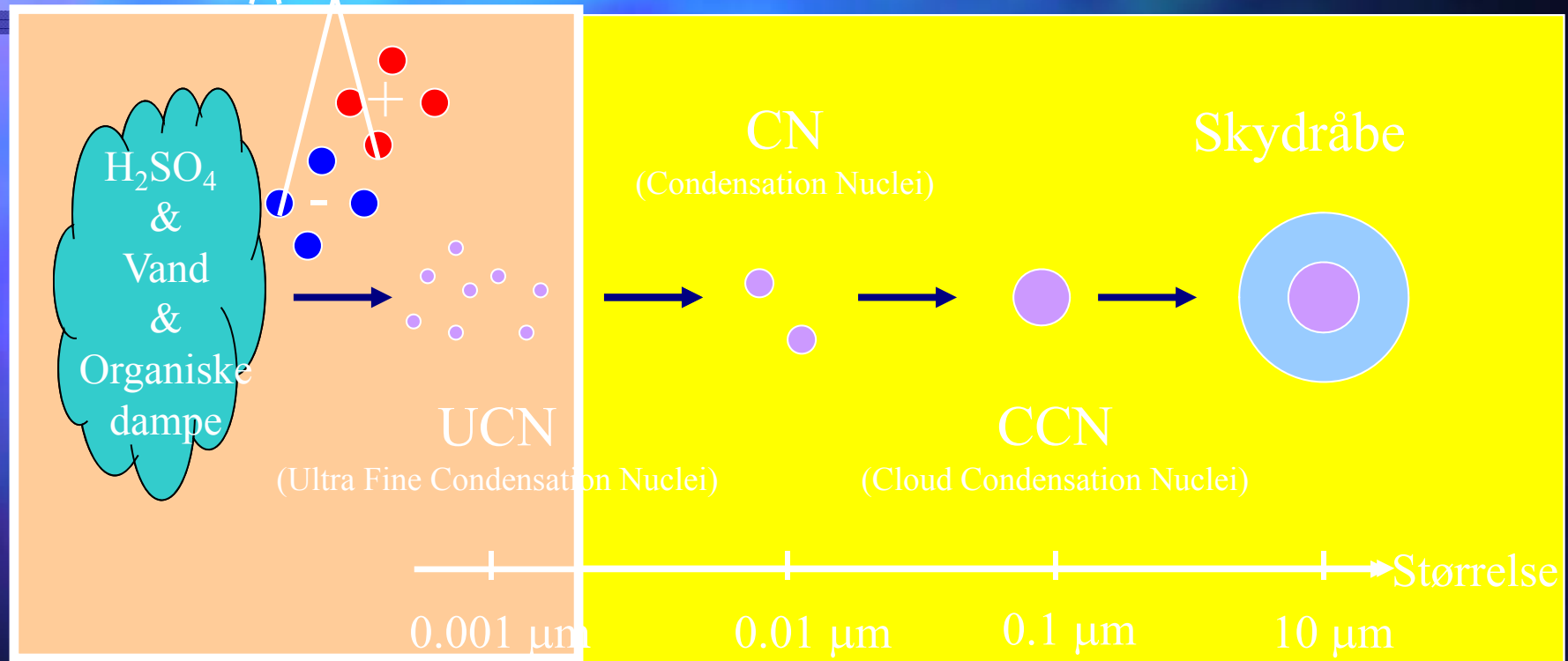
Kosmiske
stråler fra
tordenskyer?



Skydannelse



Skydannelse m/ioner



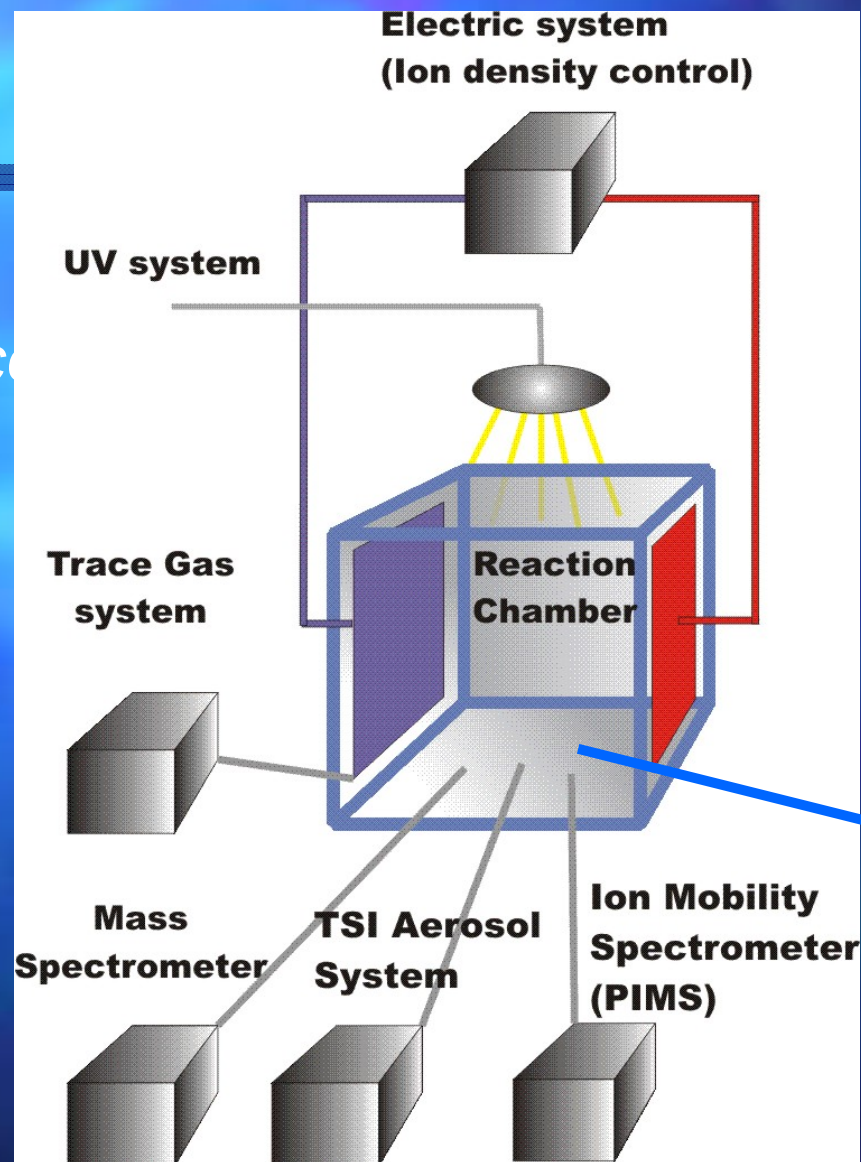
Betydningen af ioner?

Eksperiment

Gamma source



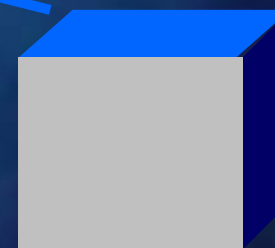
SO₂
O₃
H₂O



Gamma source



Muon detector
Radon detector



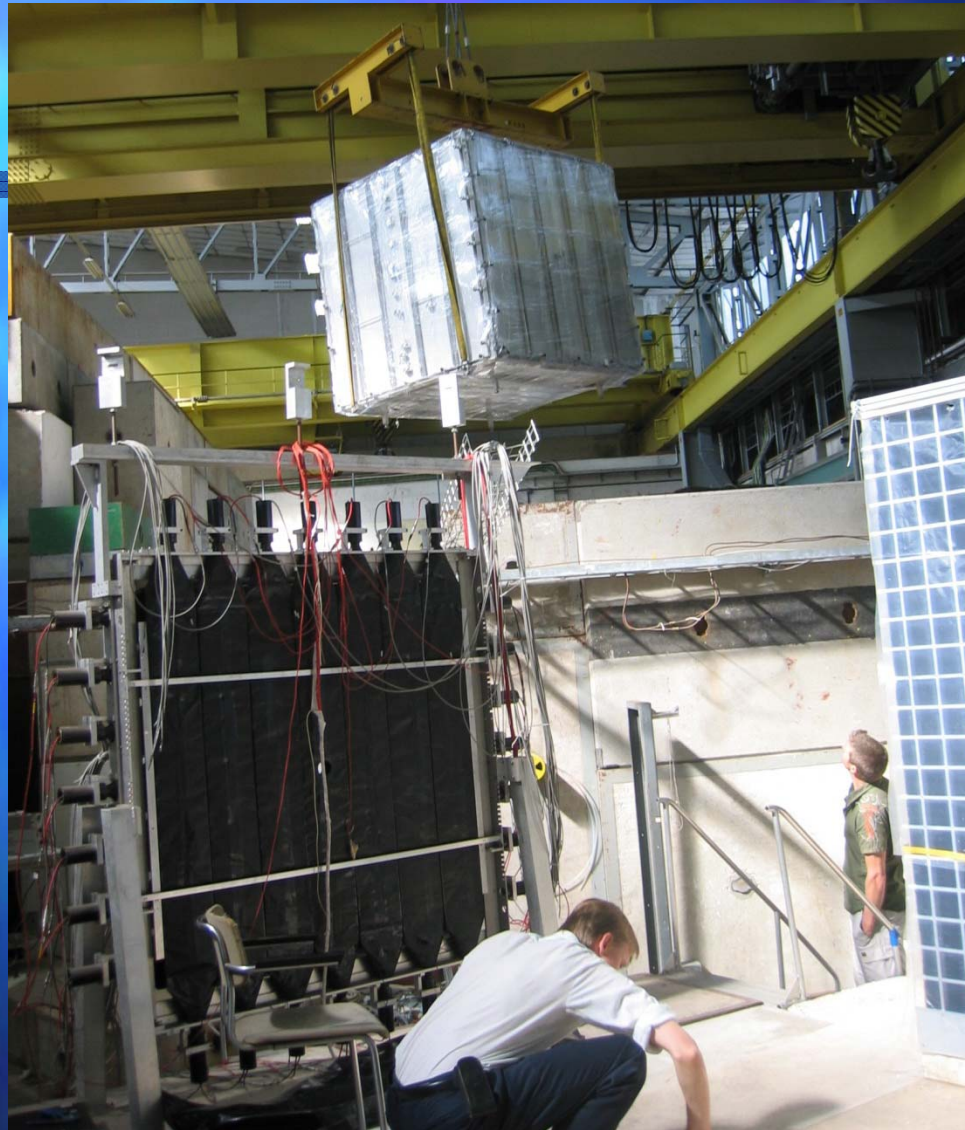
SKY I

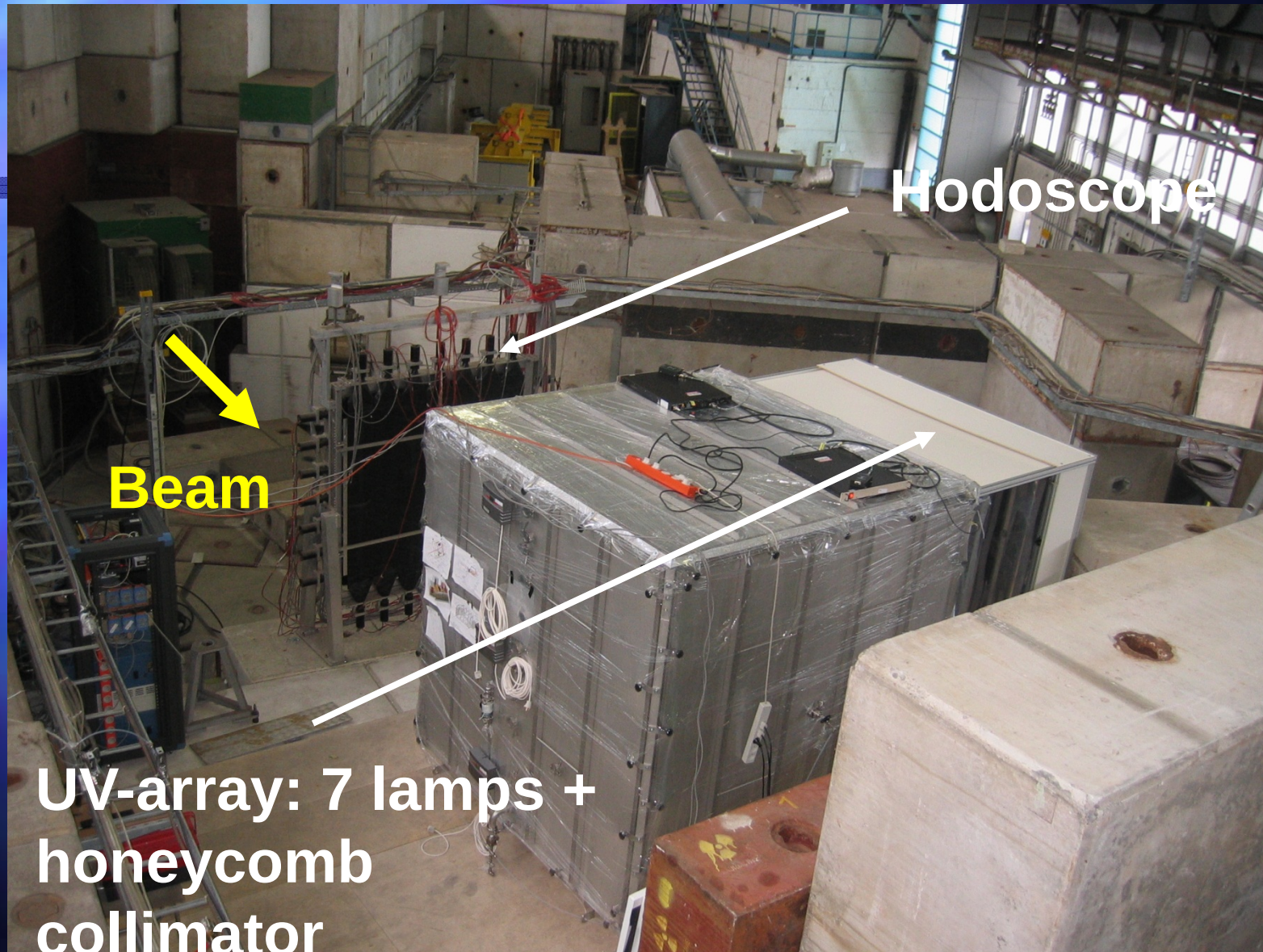


CERN

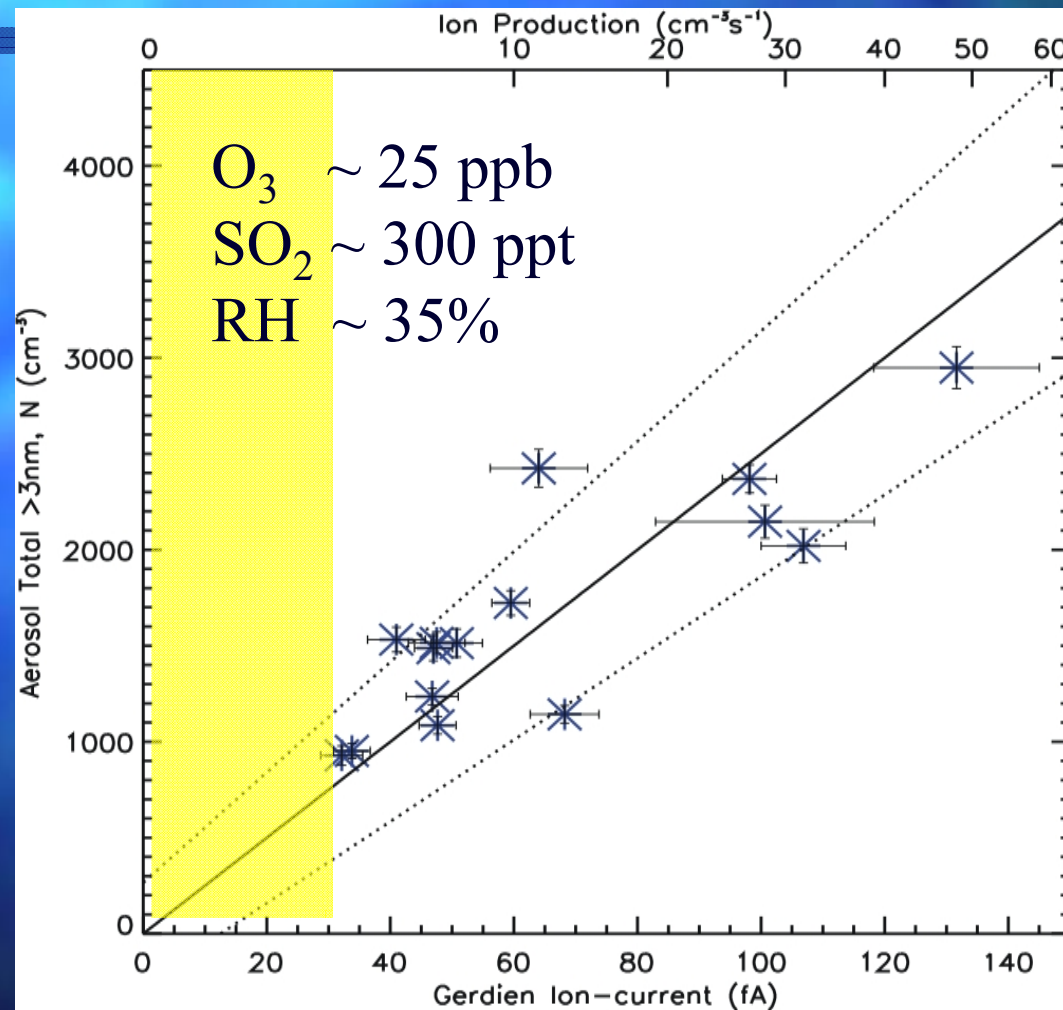


SKY II

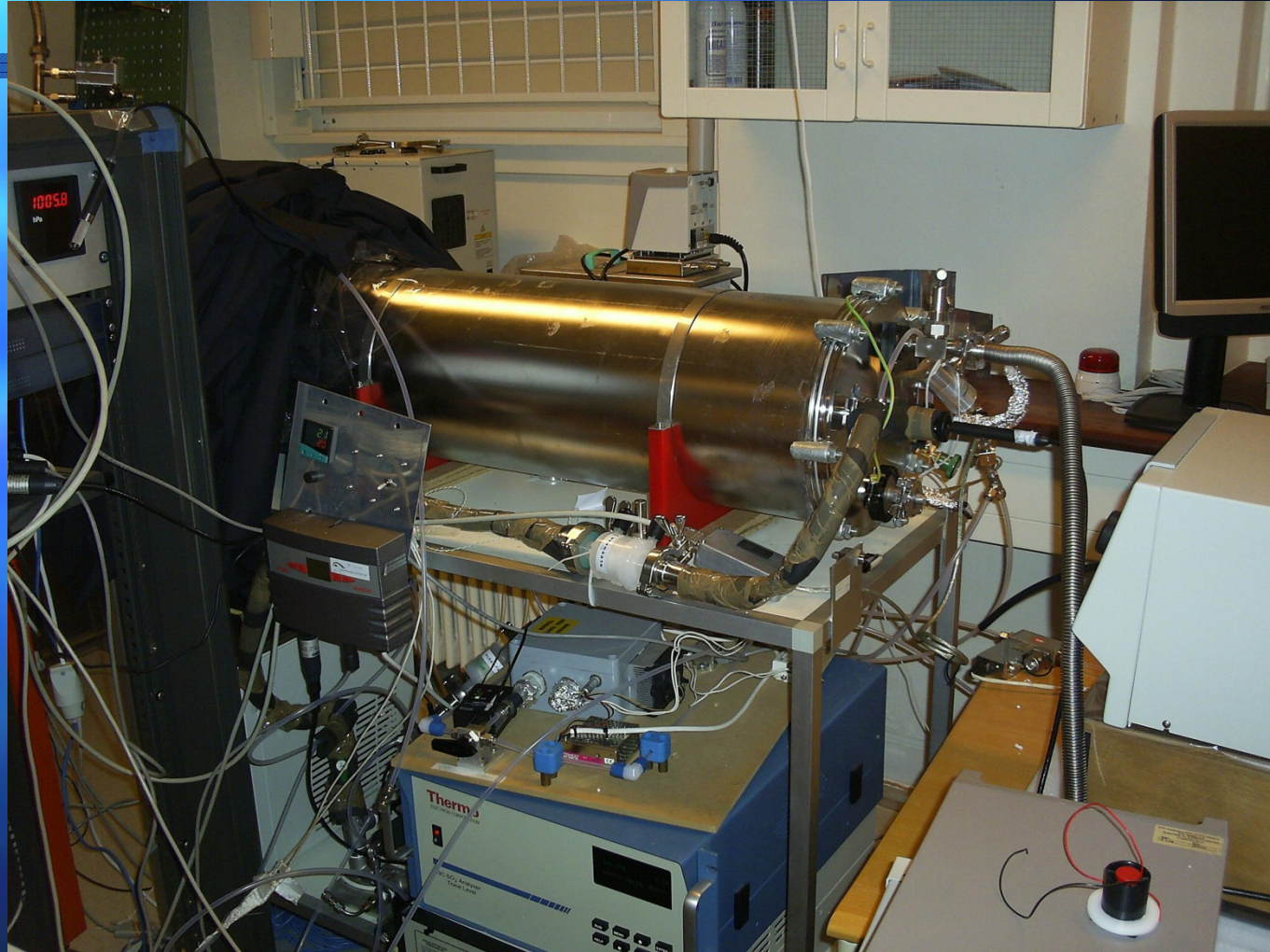




Resultat

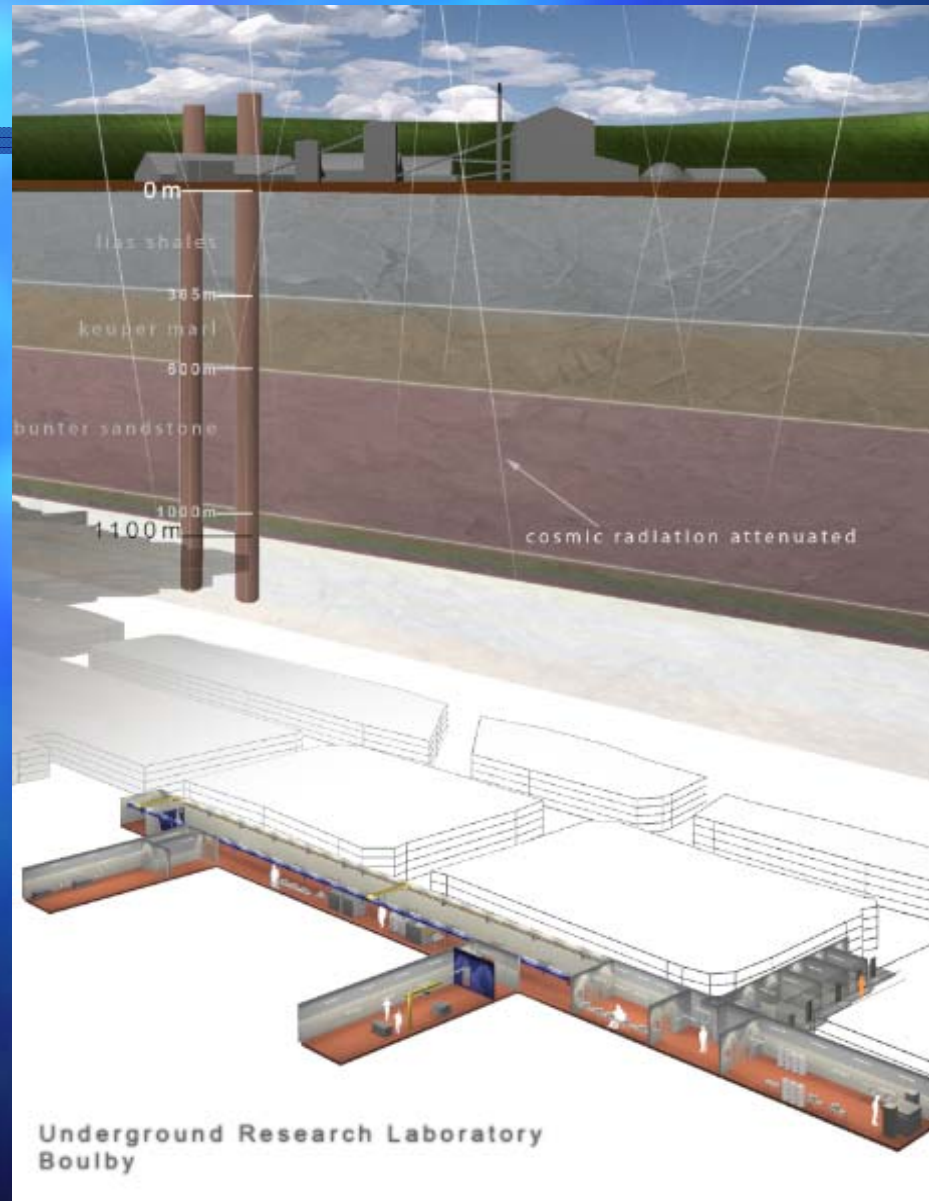


Hvordan stopper man kosmiske stråler?



Under Jordan!

-1100 m









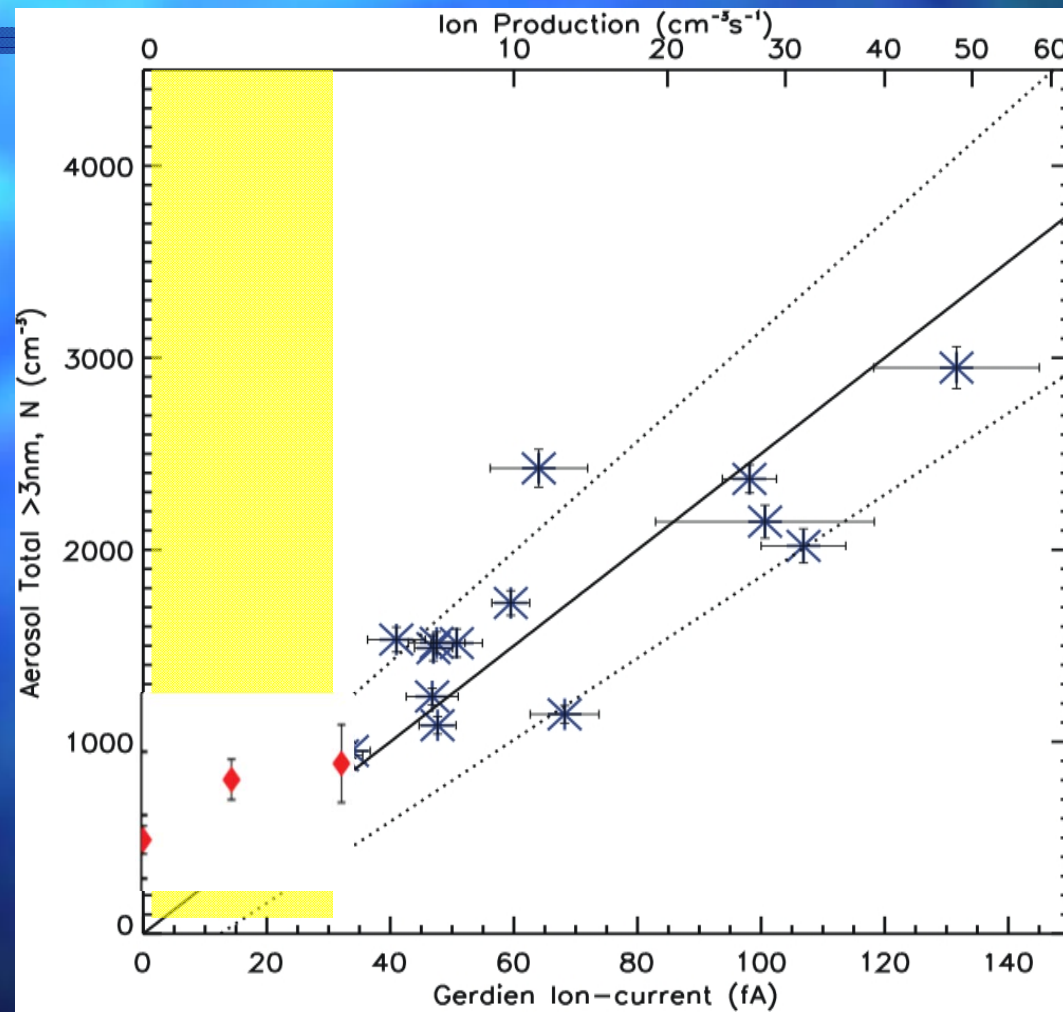


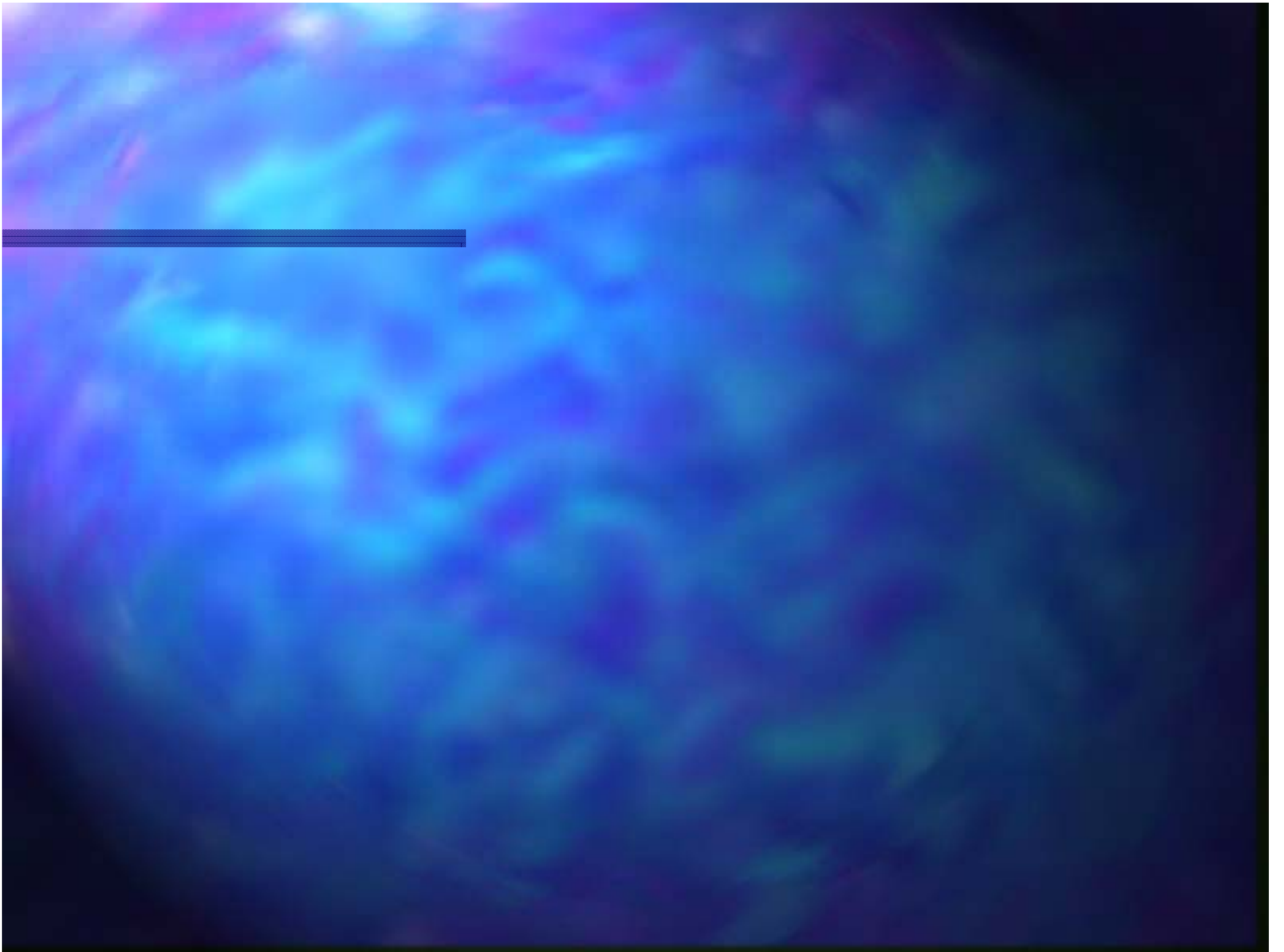
BEFORE YOU
LEAVE:
• CHECK AIR SUPPLY
• CALL NIBH IN CASE
• ADJUST WORK AREA
• LIFTING ELIG
• BRUSH GEAR





Resultat II





A background image showing a map of the Cosmic Microwave Background (CMB) radiation. The map displays a complex pattern of blue and purple hues, representing temperature fluctuations across the universe. A horizontal line is visible in the upper left quadrant.

Mere om kosmisk stråling og klima:
www.pepke.dk