



**Kosmiske stråler**  
Universets gåder

**Pedersen, Jens Olaf Pepke**

*Publication date:*  
2014

[Link back to DTU Orbit](#)

*Citation (APA):*  
Pedersen, J. O. P. (Author). (2014). Kosmiske stråler: Universets gåder. Sound/Visual production (digital)

---

**General rights**

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

# Kosmiske stråler

Jens Olaf Pepke Pedersen

[jopp@space.dtu.dk](mailto:jopp@space.dtu.dk)

Universets  
gåder

# Kosmiske stråler:

En "hilsen" fra eksploderende stjerner og andre voldsomme fænomener

- Opdagelse
- Hvad er kosmiske stråler?
- Hvordan måler vi dem?
- Hvad kan vi lære af dem?
- Hvor kommer de fra?
- Påvirker de Jorden?

# Kosmiske stråler: 1785

## 1785 Charles Coulomb

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



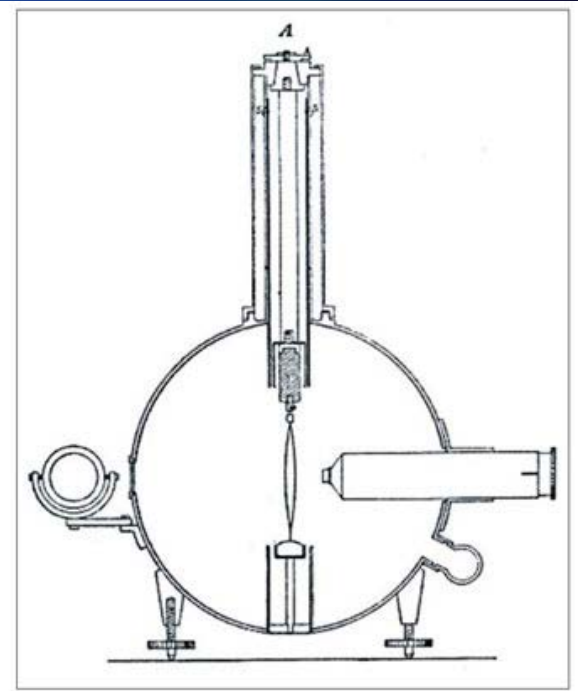
# Kosmiske stråler: 1902-1910

## 1902 Ernest Rutherford

- Ioniserende stråling går gennem atmosfæren

## 1910 Theodore Wulff

- Målinger fra Eiffeltårnet



# Kosmiske stråler: 1912

## ■ 1912 Victor Hess

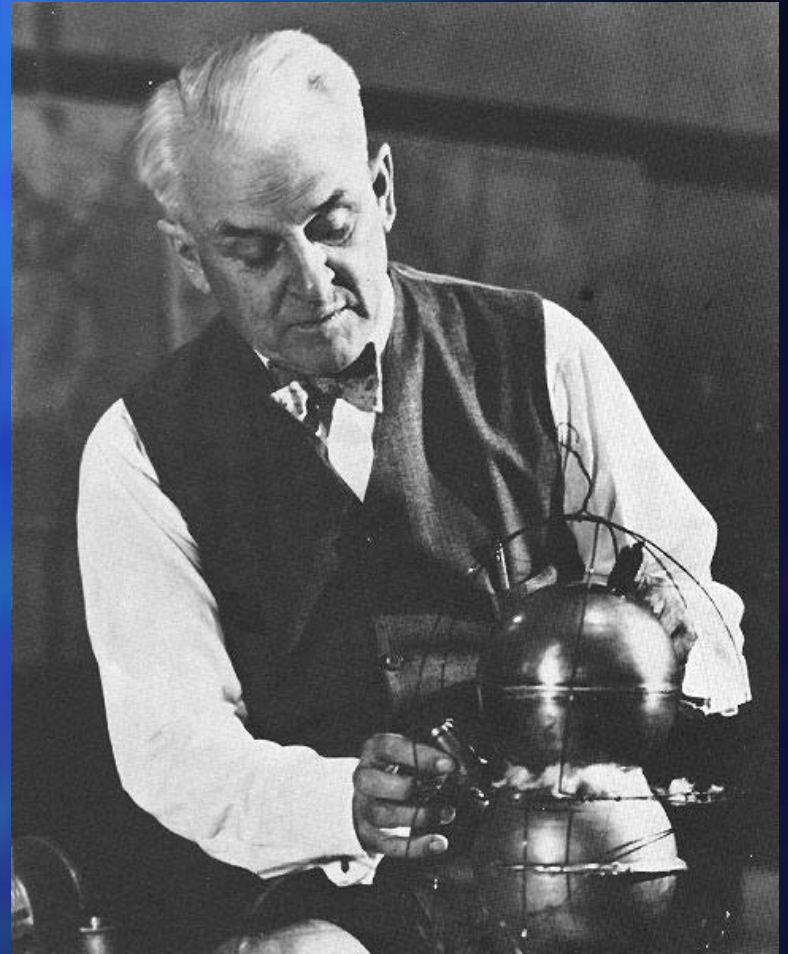
- Leder efter kilden til strålingen – når op i 5350 meter
  - Strålingen falder med højden, men øges igen efter 400 meter
  - Strålingen er der både dag og nat
  - (Solformørkelse 17/4 1912)
  - Strålingen må komme fra rummet
  - Nobelprisen 1936



# Kosmiske stråler: 1925

## ■ Robert Milikan

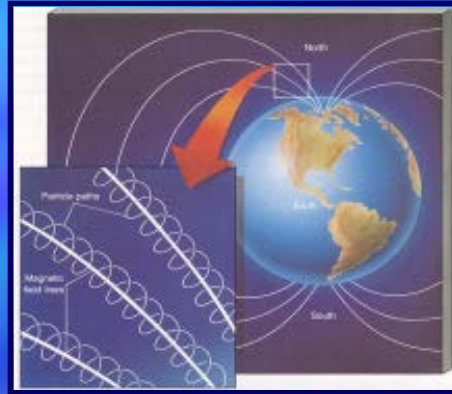
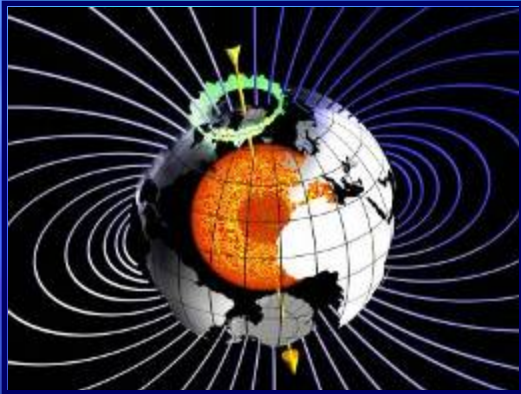
- Målte elektronens ladning
- "Milikansk stråling"
- "Kosmisk stråling"



# Kosmiske stråler: 1933-1936

## ■ 1933 Sir Arthur Compton

- Strålingen afhænger af breddegraden og Jordens magnetfelt



<http://www.sciencebulletins.amnh.org>  
search: Earth's magnetic shield

## ■ 1932 Carl Andersen

- Finder positronen i den kosmiske stråling (elektronens antipartikel)

## ■ 1936 Carl Anderson / Seth Neddemeyer

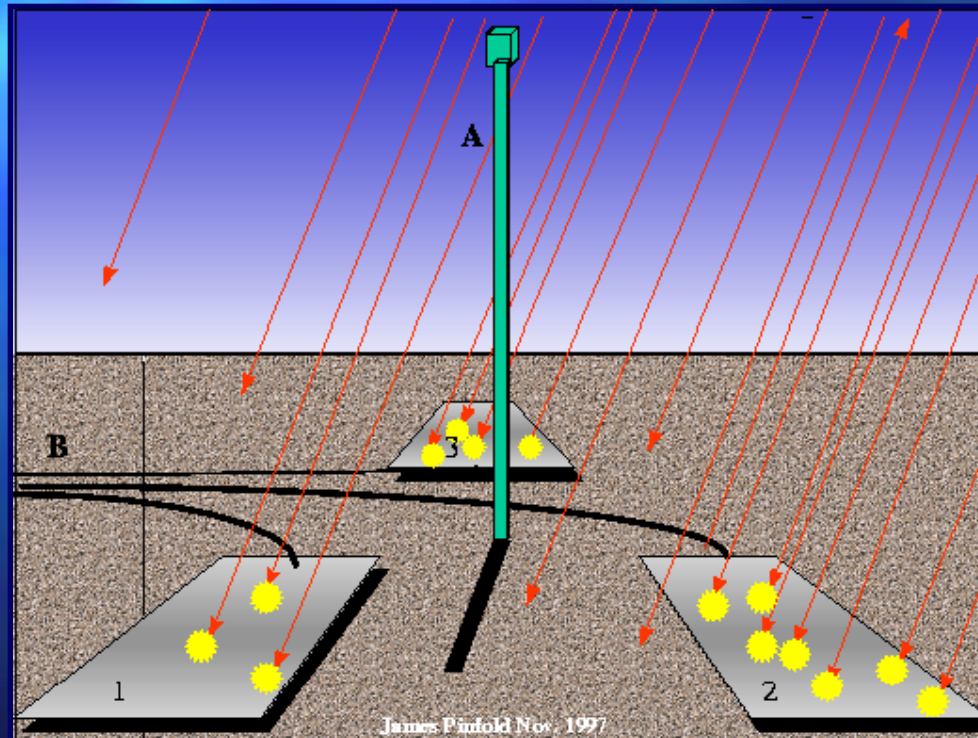
- Finder myonen i den kosmiske stråling (200 x tungere end en elektron)



# Kosmiske stråler: 1938

## ■ Pierre Auger og Roland Maze

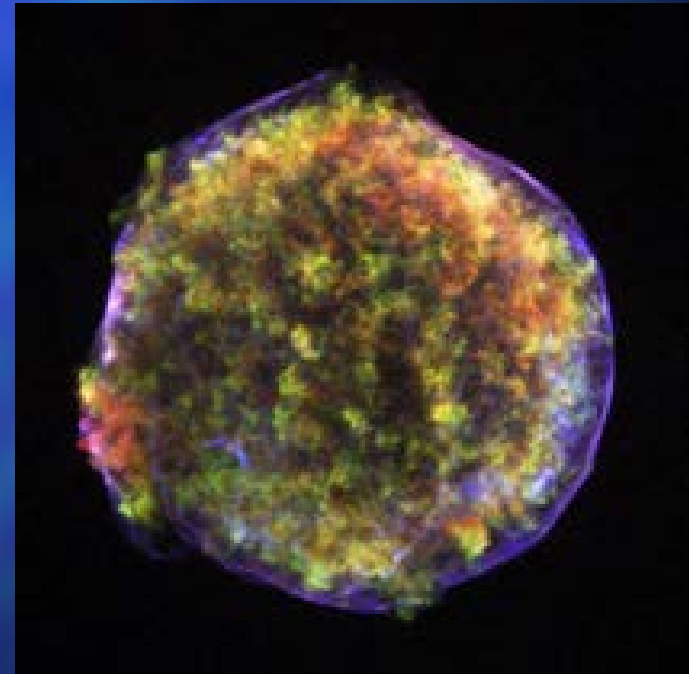
- Stråler i detektorer 20 m fra hinanden (senere 200 m) ankommer samtidigt
- Koincidens



# Kosmiske stråler: 1949

## ■ Enrico Fermi

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



SN 1572

# Kosmiske stråler: 1962

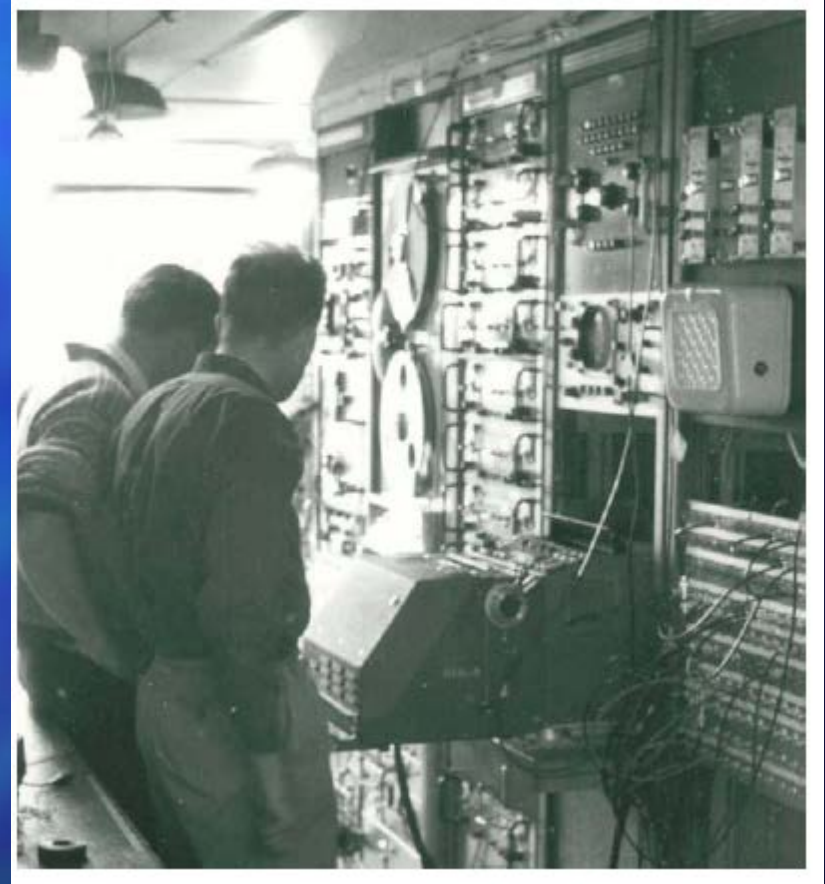
## ■ Dansk/norsk raketprogram

- Ferdinand I opsendes  
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



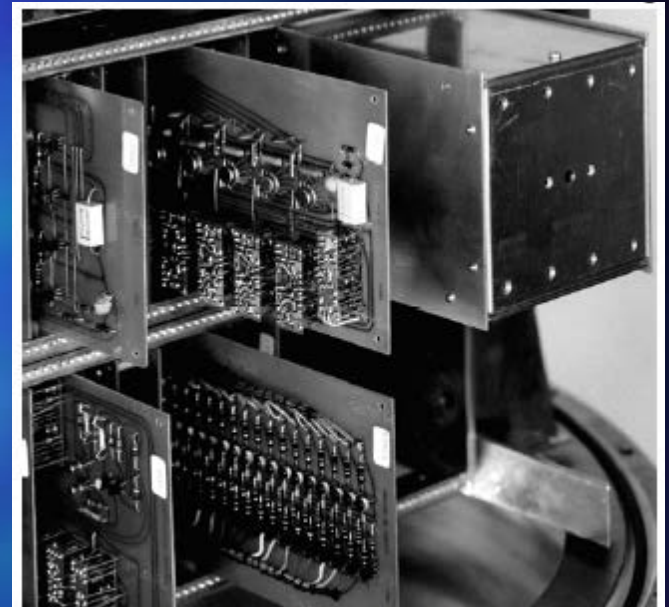
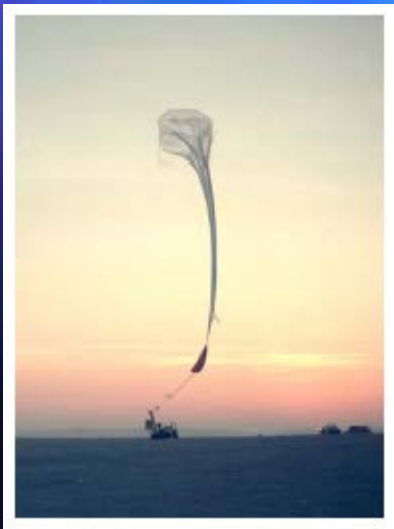
# Kosmiske stråler: 1962-1968

- Dansk/norsk raketprogram
- Datatransmissionen fra raketterne baseret på analog radiotransmission
- Datalagring på store båndoptagere.
- Etablering af Ionosfærelaboratoriet 1962 på DTH
- Det norsk/danske raketprogram var meget aktivt: 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



*ESRO I* satellitten, opsendt 3. oktober 1968.

# Kosmiske stråler: 1979

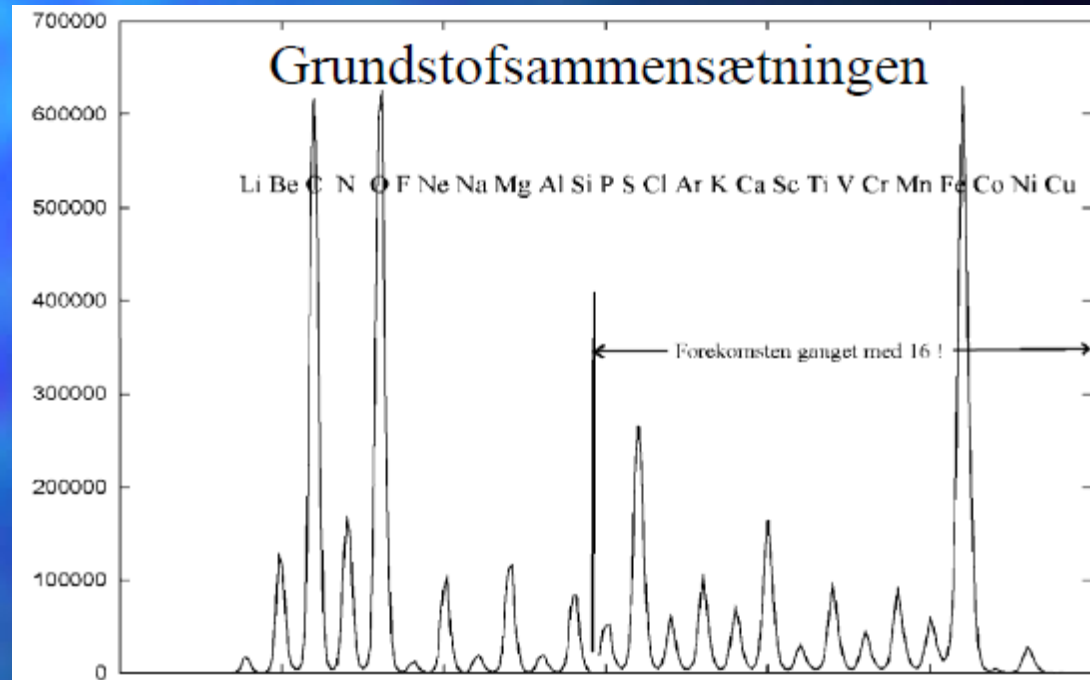
- High Energy Astronomy Observatory (HEAO)
- Dansk-fransk instrument integreres i *HEAO-3*, Californien
- Formål: måle massefordelingen af de kosmiske partikler
- Instrumentet var med sine 350 kg den tids største europæiske ruminstrument



# 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

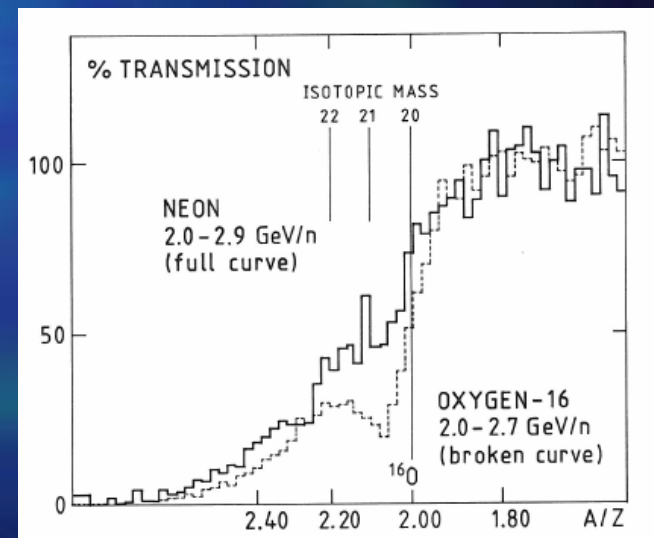
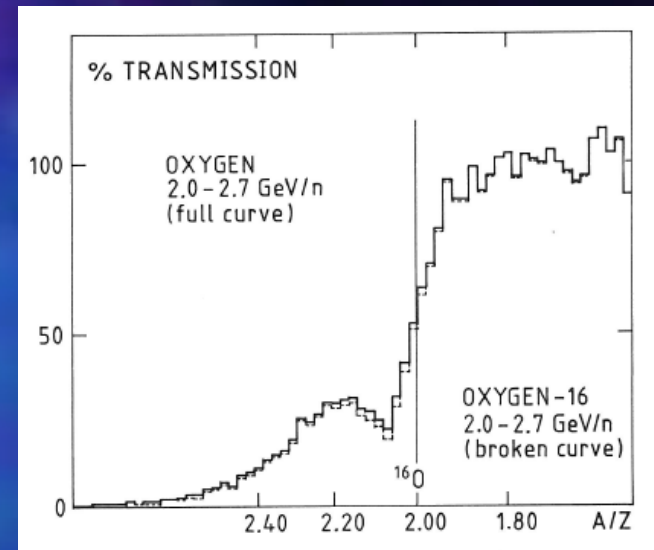




# Kosmiske stråler: 1979

## ■ Isotopfordeling

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



# Kosmiske stråler: 1982

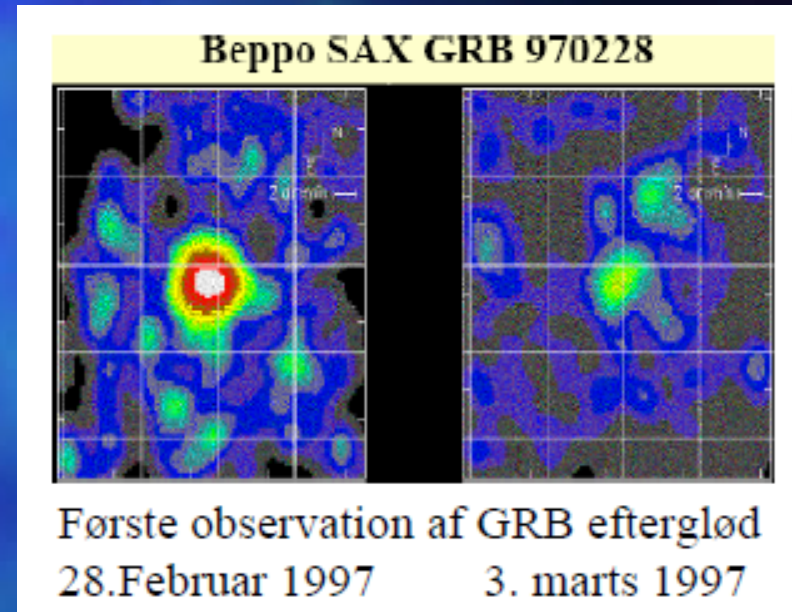
- Kosmiske gammaglimt
- I 1973 offentliggjorde amerikanske forskere, at VELA spionsatellitterne, der skulle overvåge sovjetiske atombombesprængninger, ikke havde set glimt af gammastråling fra Jorden – men mange glimt fra Verdensrummet!
- Begivenhederne blev kaldt Kosmiske Gammaglimt (Cosmic Gamma Ray Bursts, *GRB*)
- DRI bygger WATCH. Kommer med på russisk Granat mission. Meget excentrisk bane med jordkontakt hver fjerde dag.
- Gemme 4 døgn 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 nyere og nøjagtigere røntgenkamera end WATCH. Operatørene kunne dreje satellitten og efter få timer observere den omtrentlige glimtposition med en egentlig røntgenkikkert.
- Observation af gammaglimtets "efterglød" gav præcis position.
- Glimtene kommer fra meget fjerne galakser og er derfor jævnt spredt over himlen.
- Svært for flertallet af astronomerne at acceptere, fordi det forudsatte en ny og ukendt mekanisme til at kanalisere en stor del af eksplosionsenergien mod os.



# Kosmiske stråler: 1991

- Fly's Eye detektor
  - 67 spejle i det vestlige UTAH
  - Observerer hidtil kraftigste kosmiske partikel  $3 \times 10^{20}$  eV (energi som en tennisbold med 100 km/t)
  - Supernovaer kan ikke være hele forklaringen

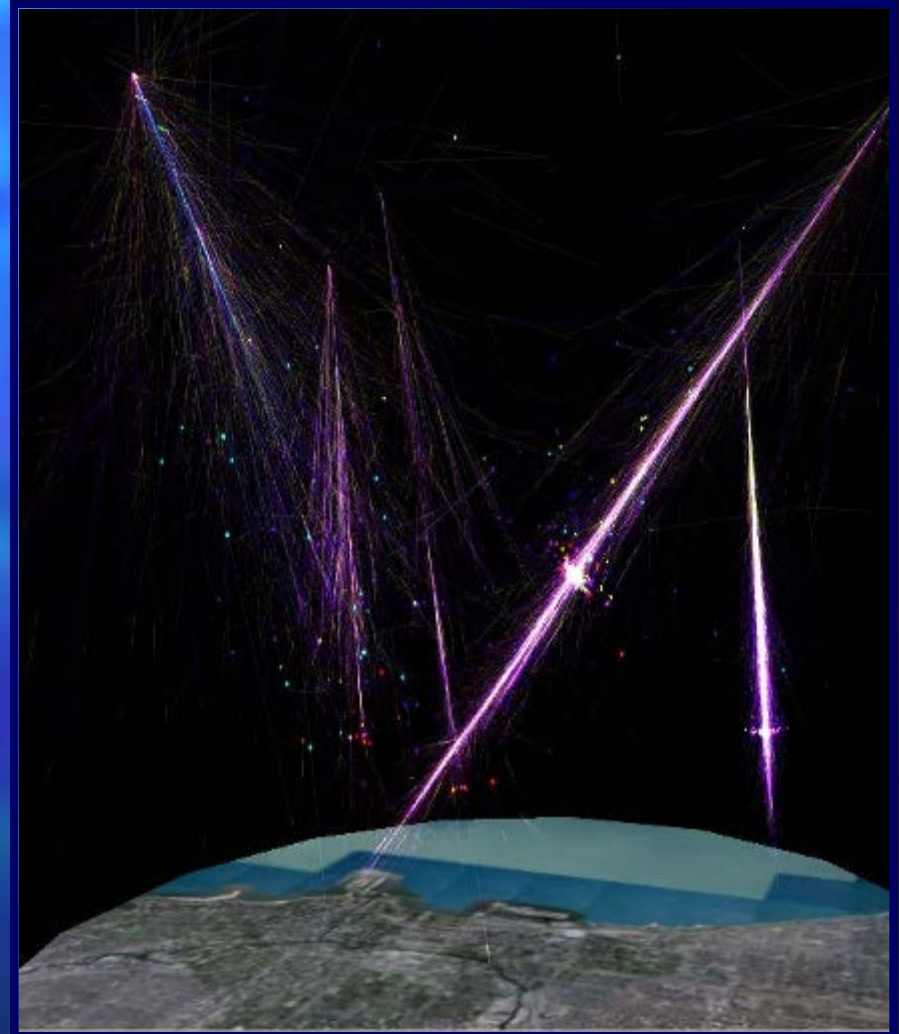


Hvad er kosmiske  
stråler?

---

# Hvad er kosmiske partikler?

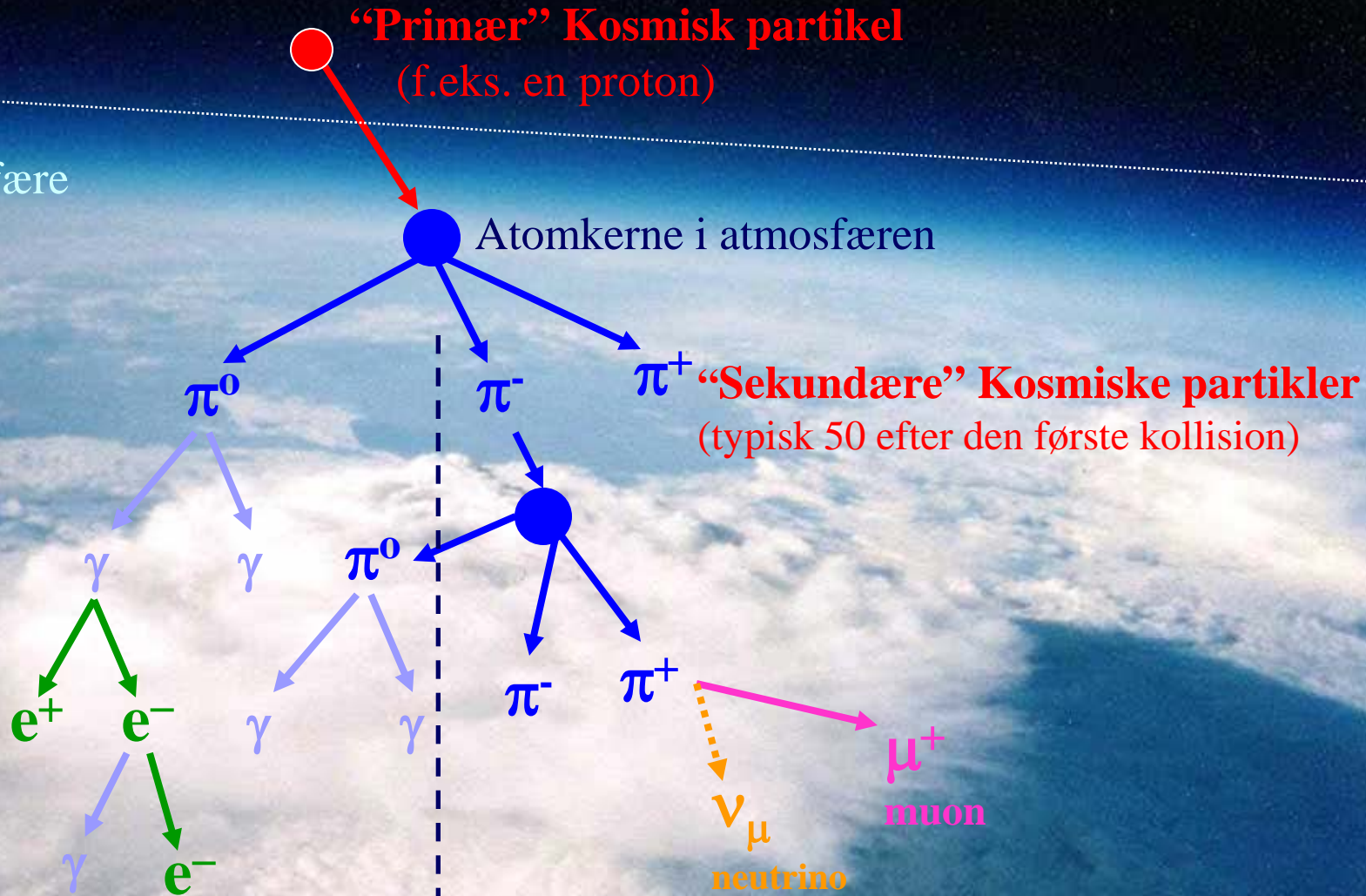
- Ladede atomkerner og elektroner
  - "Primære" kosmiske partikler
  - Mest protoner eller  $\alpha$  (He) kerner (tungere elementer meget sjældnere)
  - Flere med lav end høj energi
- Når partiklerne rammer en kerne i et atom/molekyle i atmosfæren dannes en byge af nye partikler
  - Partikler bygen kaldes "sekundære" kosmiske partikler



# Kosmisk "byge"

Rummet

Jordens atmosfære



Danner:

**Elektromagnetisk  
byge**  
(mest  $\gamma$ -stråling)

**Partikelbyge**  
(ved overfladen mest myoner  
og neutroner)

**Plus:**  
Kulstof-14  
Beryllium-10

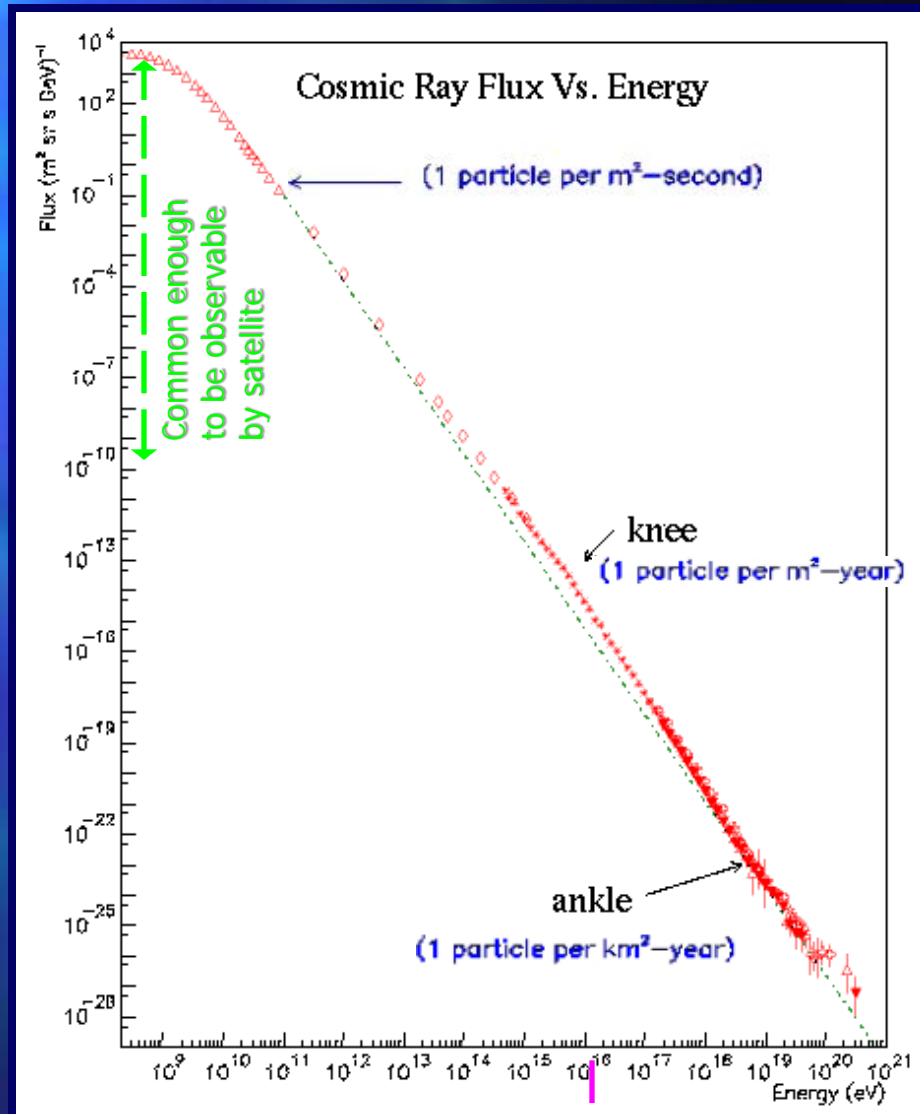
# Primære kosmiske partikler

- 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

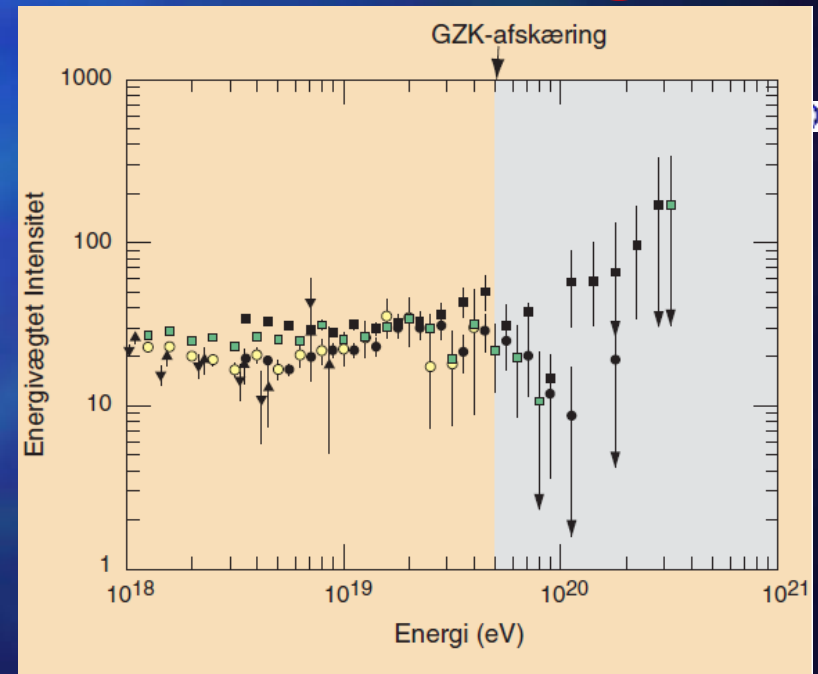
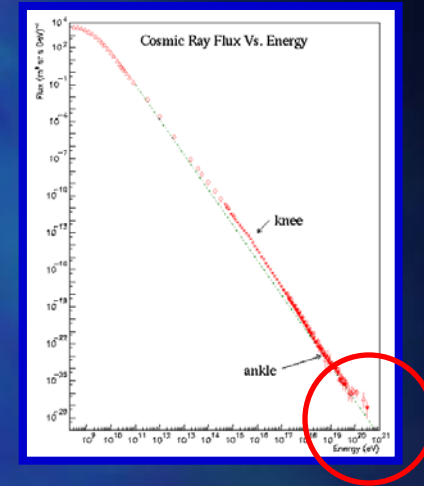


Maksimale energi i CERNs  
LHC acceleratorer



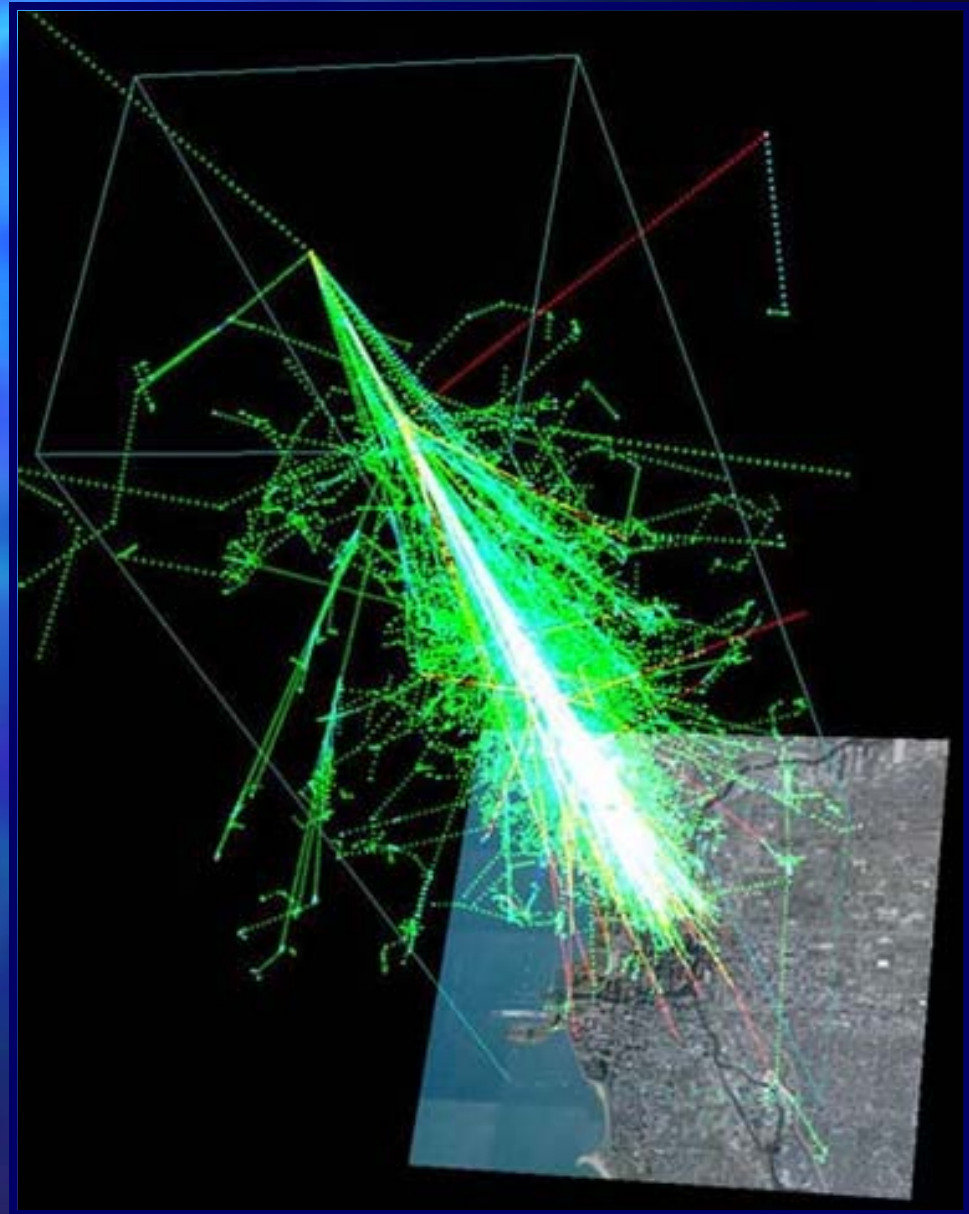
# Primære kosmiske partikler

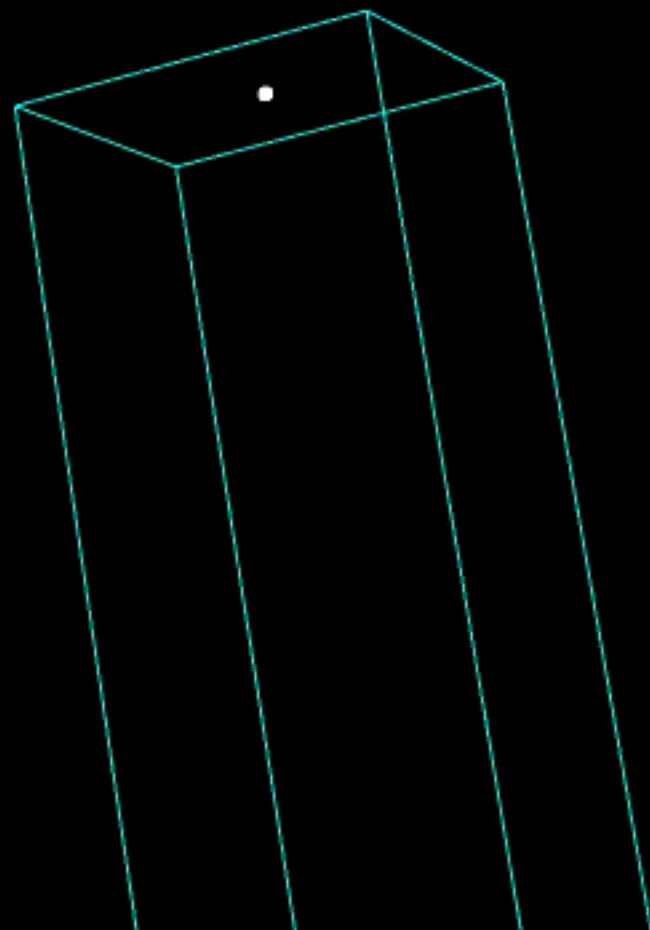
- Partikler bremses af "baggrundsstråling" i rummet
- Hvis energien er højere end GZK-grænsen (Greisen-Zatsepin-Kuzmin 1966), undgår de ikke en kollision udenfor galaksen
- "Kosmiske humlebier"



# 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

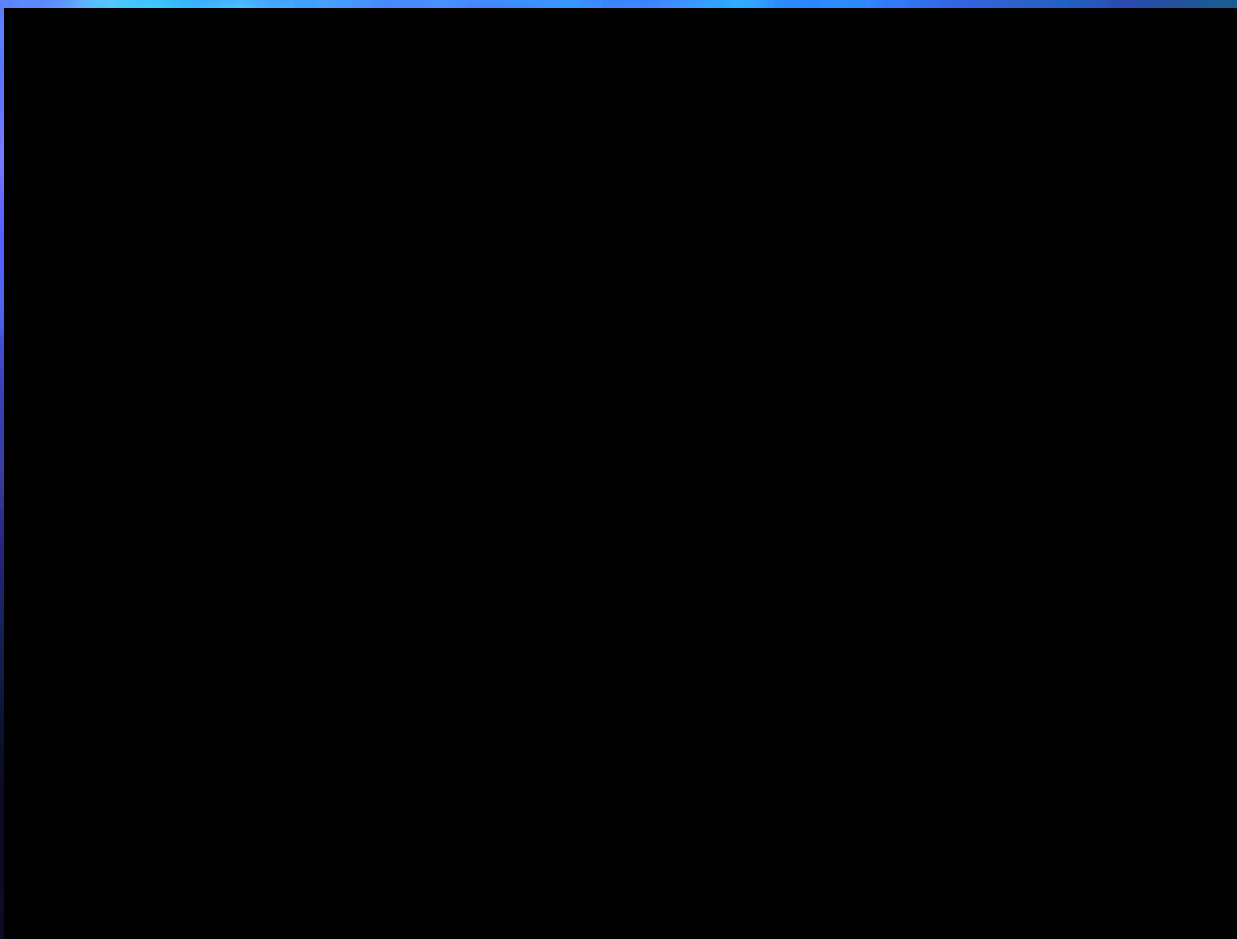




Detektion af  
kosmiske partikler?

---

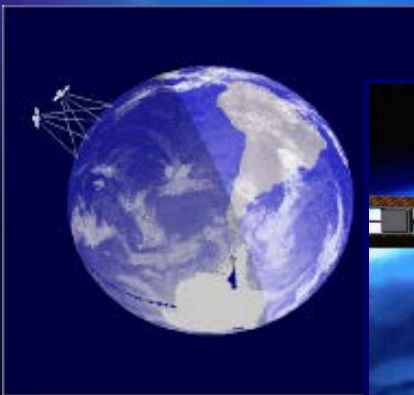
# Tågekammer



# 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



# 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. km<sup>2</sup> 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



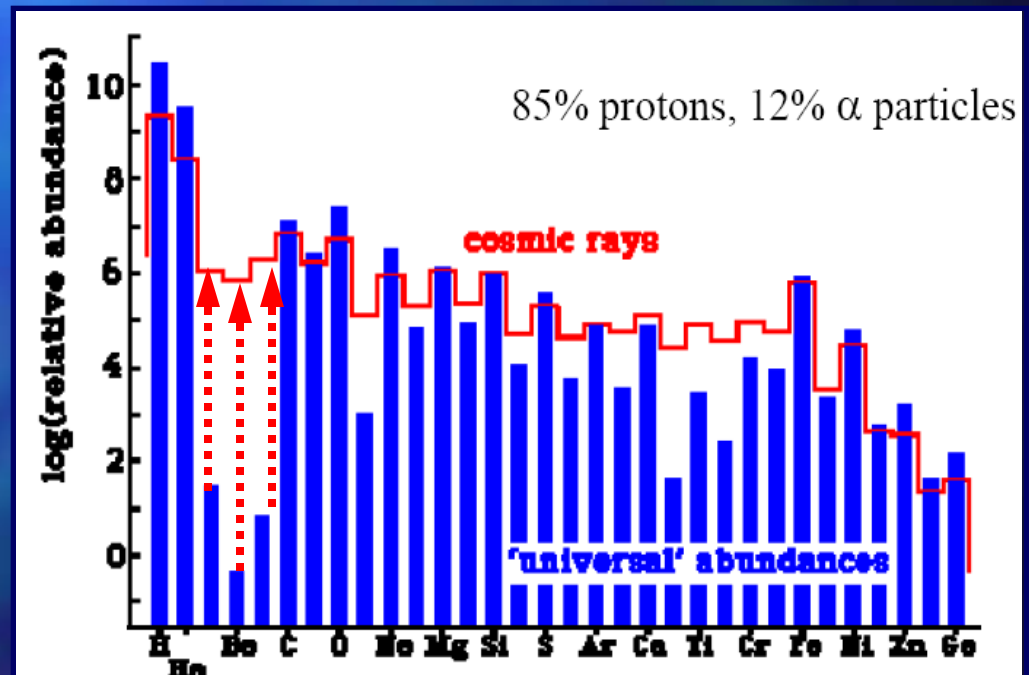
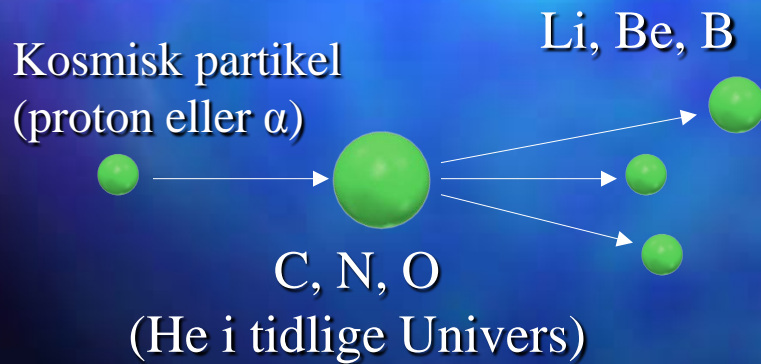
- Mest energirige partikler kommer udenfor galaksen
- Retninger fra kernen i aktive galakser (AGN)
- Sandsynligvis supertunge sorte huller (omdiskuteret)

Hvad har vi lært af  
de kosmiske  
partikler?

---

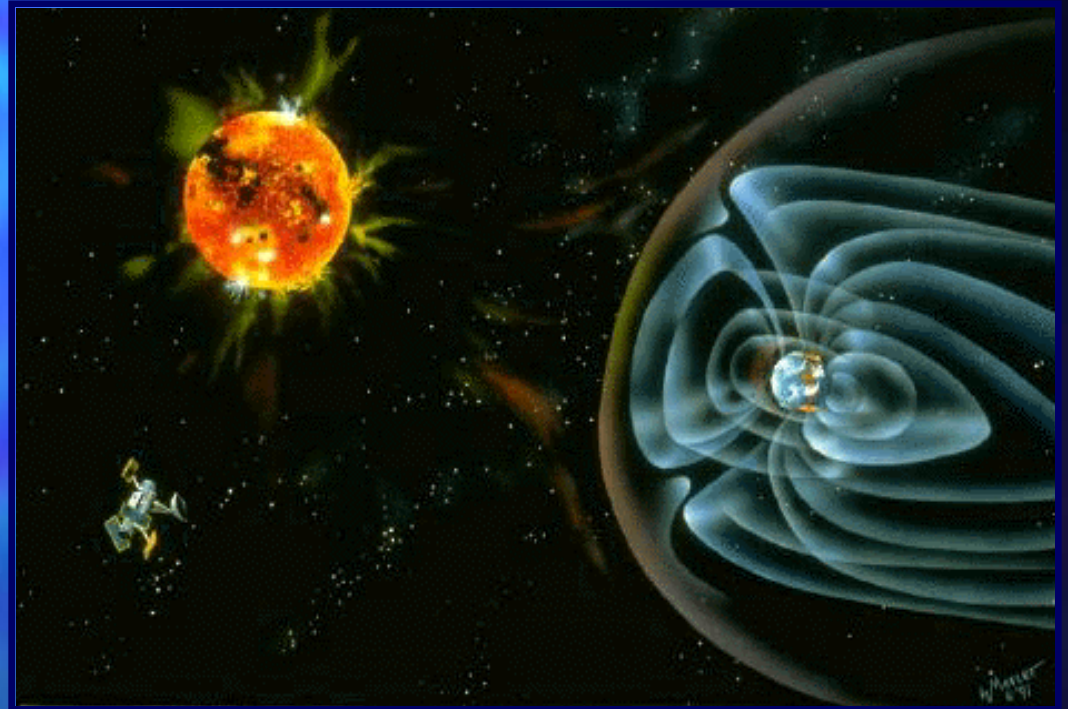
# Grundstofferne i Universet

- 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?

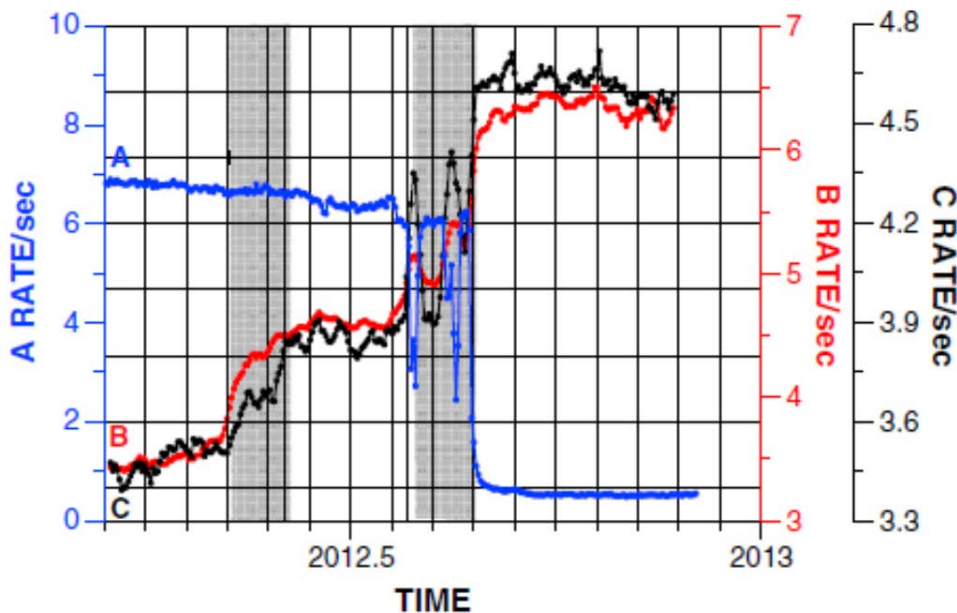
- Stjerner producerer **lav-energi** partikler (solvind)
- Supernovaer producerer **mellem-energi** partikler



- Høje energier  $E > 10^{18}$  eV (**UHECRs**)?

# Voyager 1

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

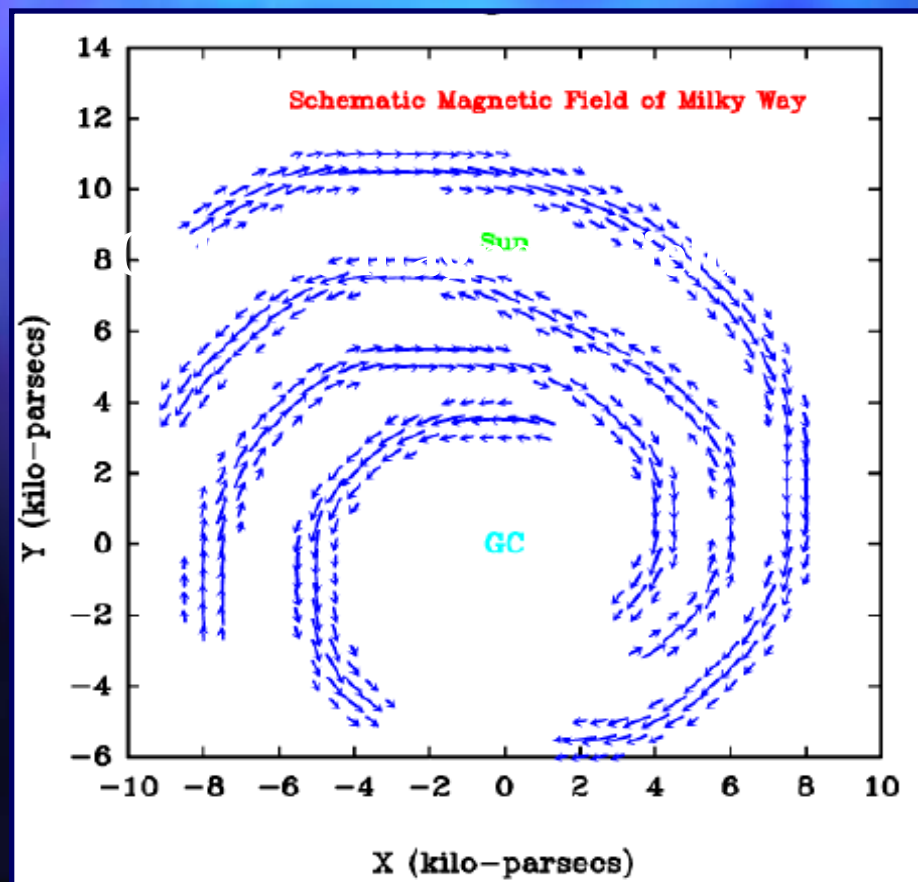


- A: Partikler fra Solen (0.5 MeV)
- B: Partikler fra Galaksen (6-14 MeV)
- C: Partikler fra Galaksen (> 200 MeV)

Voyager var da 121,7 AU fra Solen

# Hvor kommer de fra?

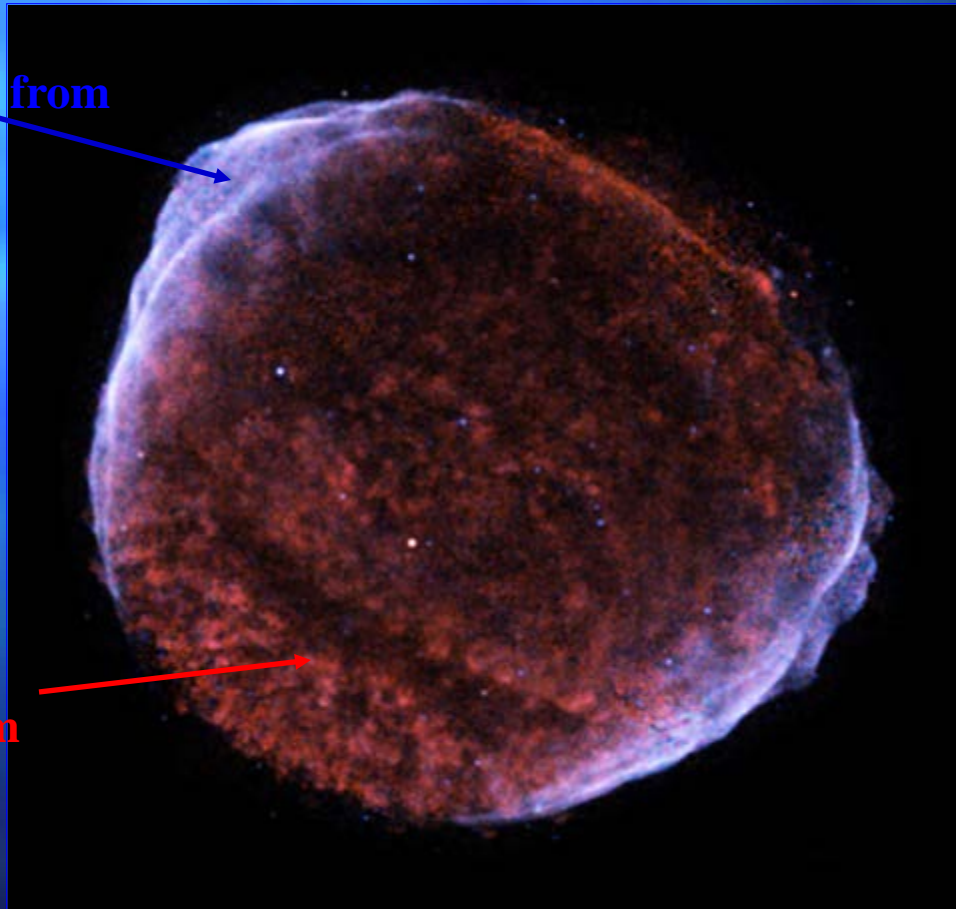
**Problem:** Kosmiske partikler afbøjes af galaksens magnetiske felt. Umuligt at se kilden direkte.



# Supernova SN 1006

Røntgenbillede fra Chandra

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



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

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



# Fermi Gamma-ray Space Telescope (2008-

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



# Fermi Gamma-ray Space Telescope (2008- )

- Også her ses gammastråling fra kollisjoner mellom 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)

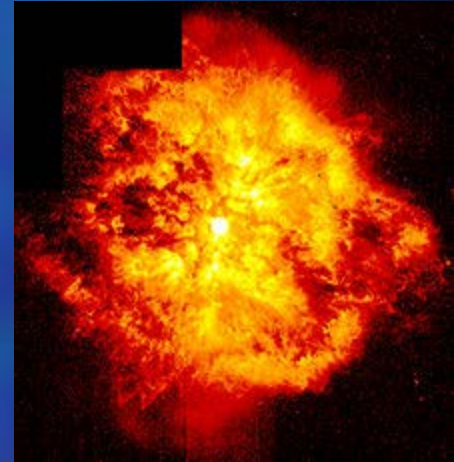
Cyan: (infrarød – 4,6 mikrometer)

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 neutron-  
stjerner

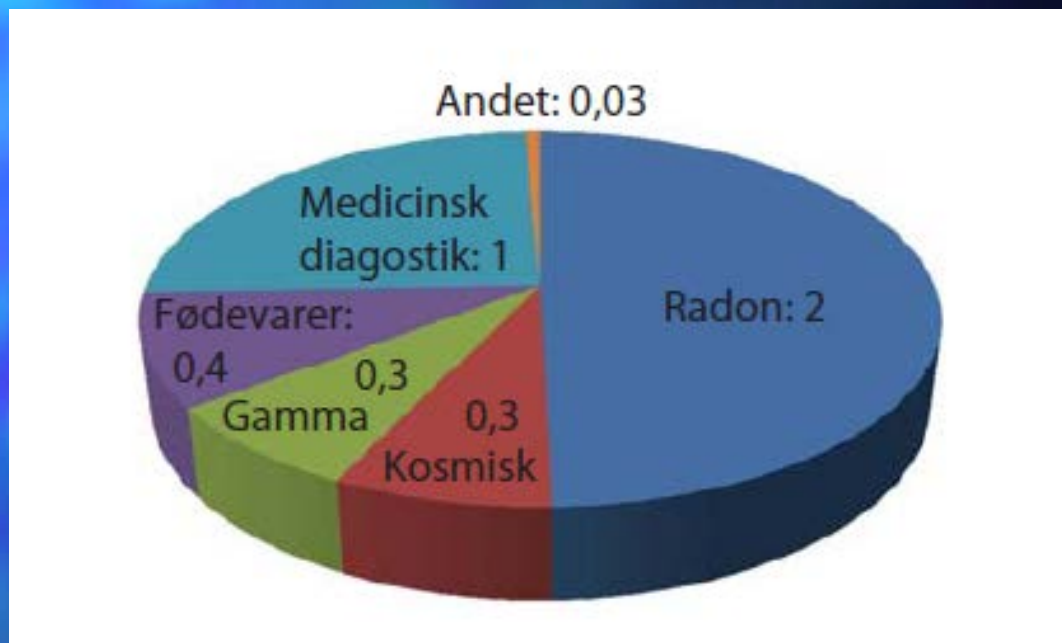
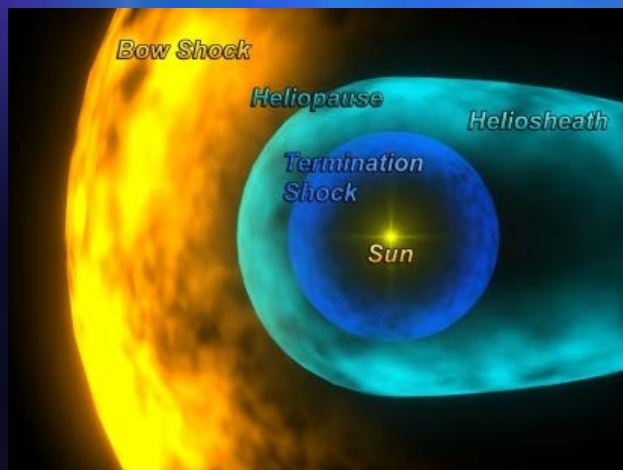
- Acceleration i nærheden af gammaglimt

- Udenfor Mælkevejen  
(spredte kilder)

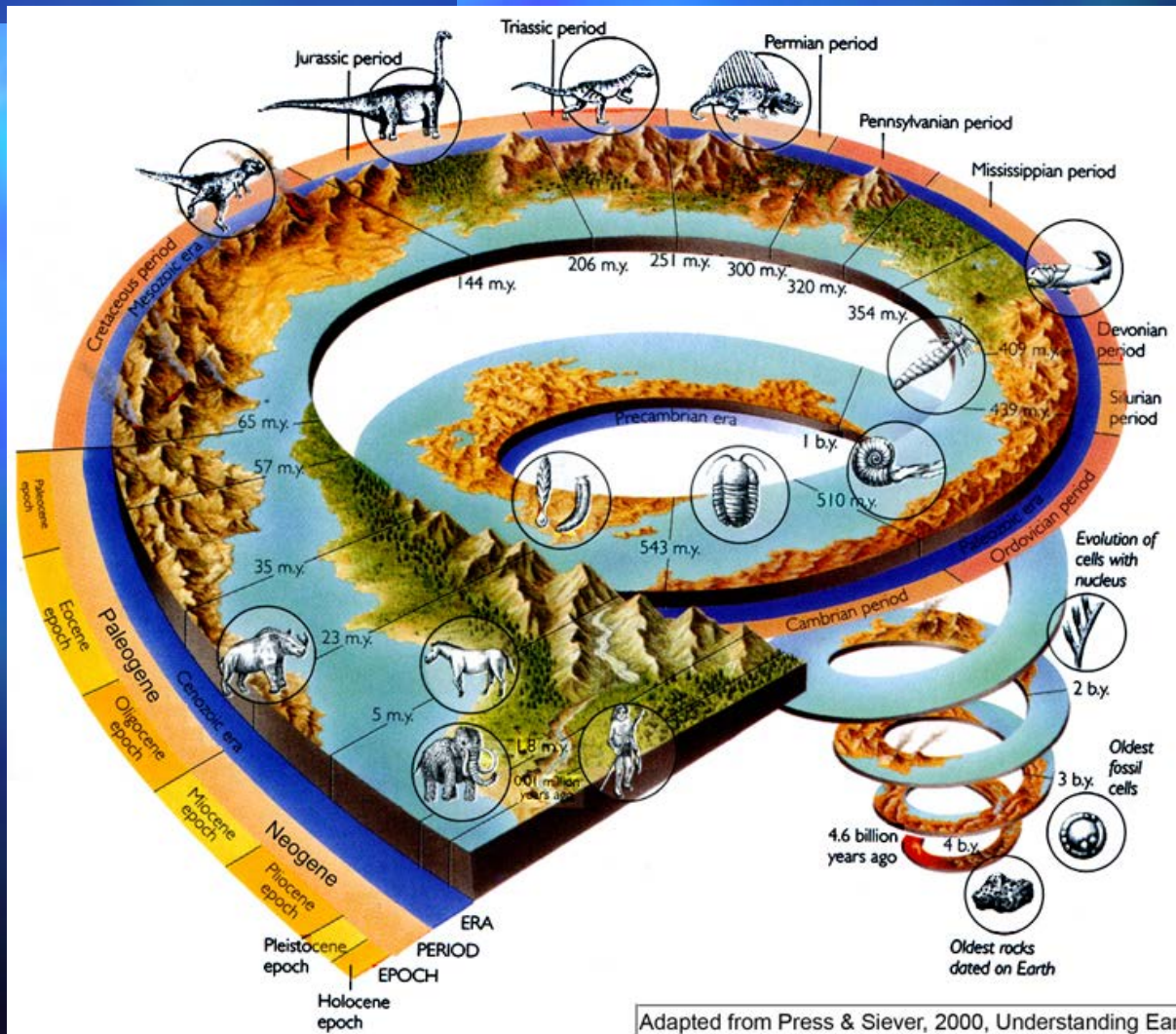
- Hurtigt roterende  
sorte huller

# Påvirker de Jorden?

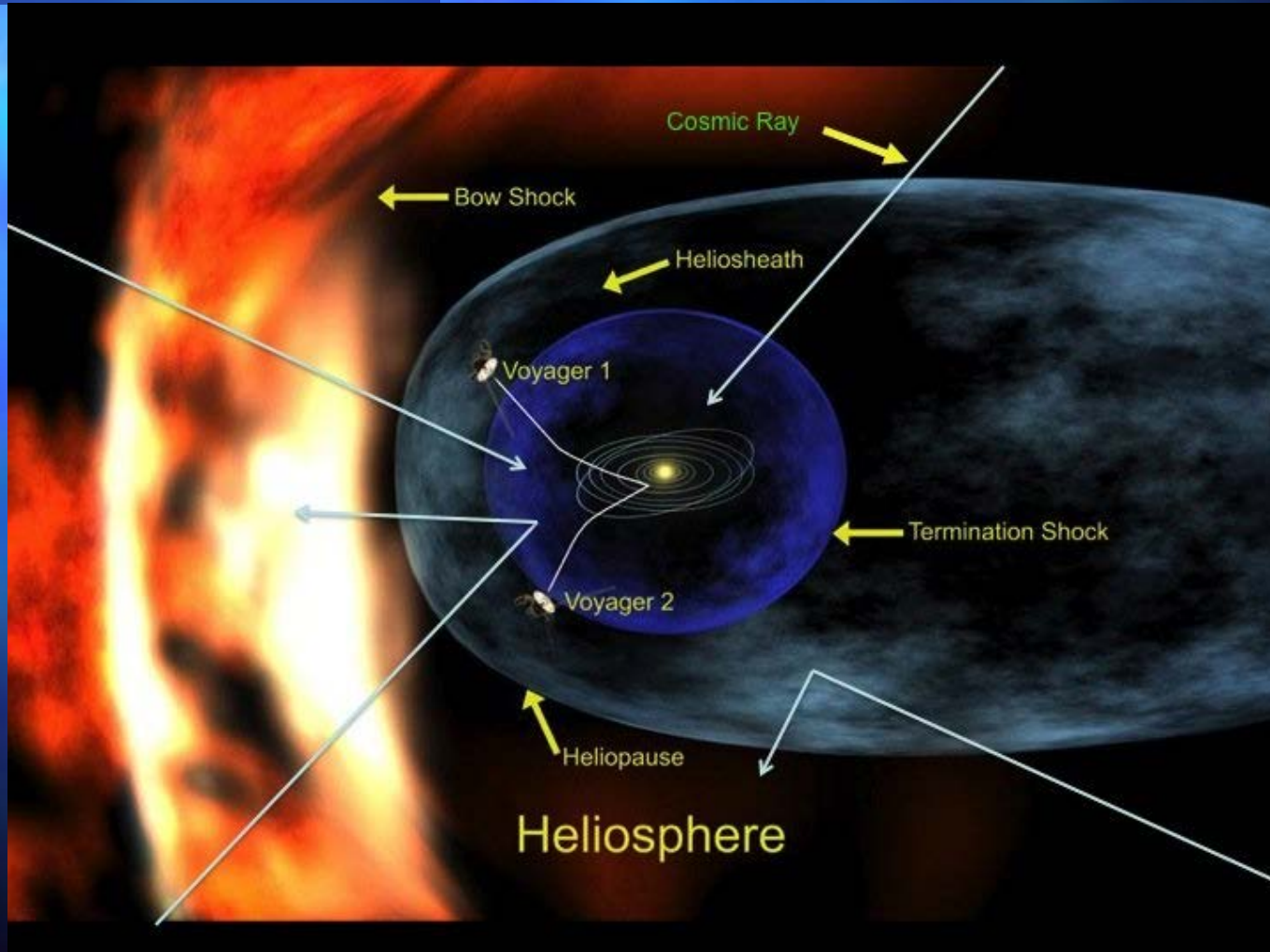
- Stråling!
- Beskyttet af atmosfæren
- Heliosfæren



# Udviklingen af liv

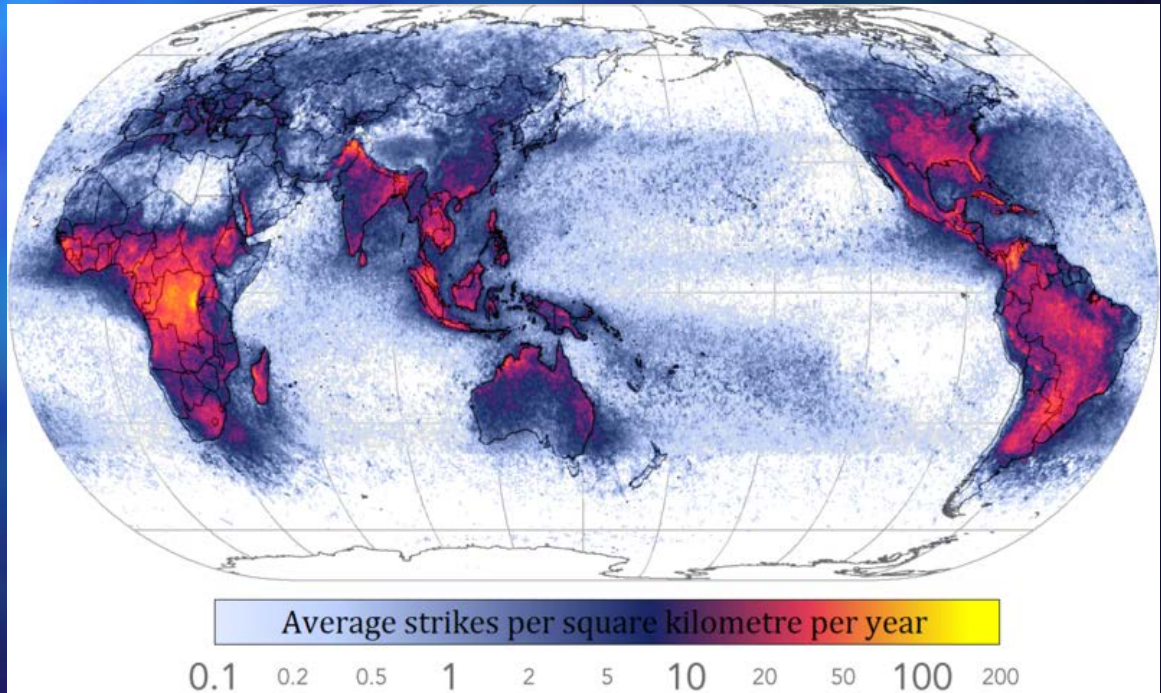


# Solens magnetskjold



# Lyn?

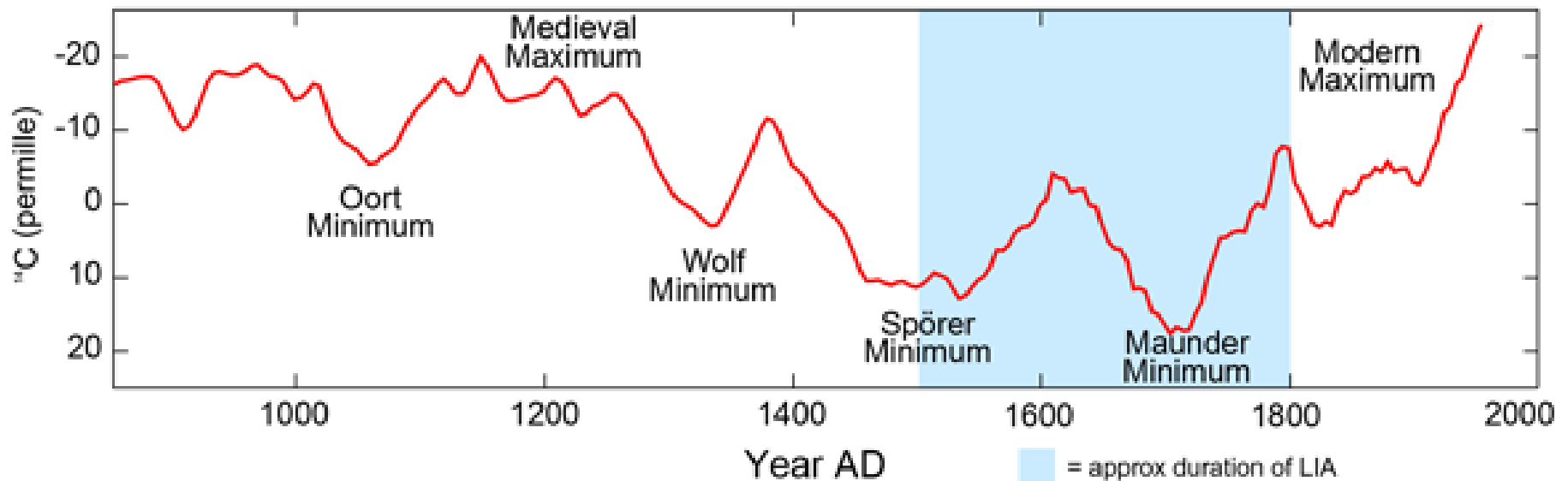
- 4 millioner lyn dagligt Verden over
- Kosmisk stråling skaber ionerne
- Udløsende faktor for lyn?



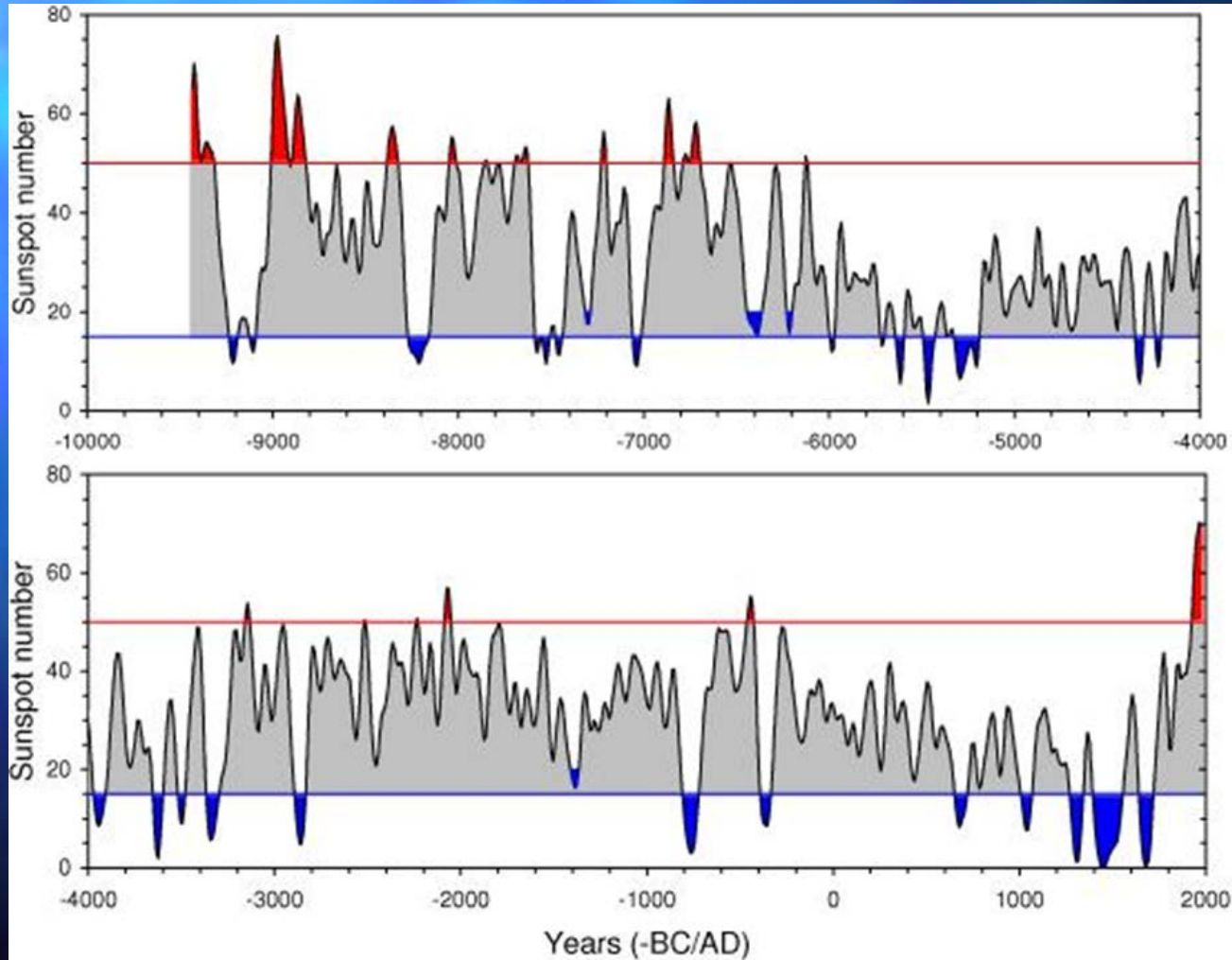


# Variationer i kosmisk stråling

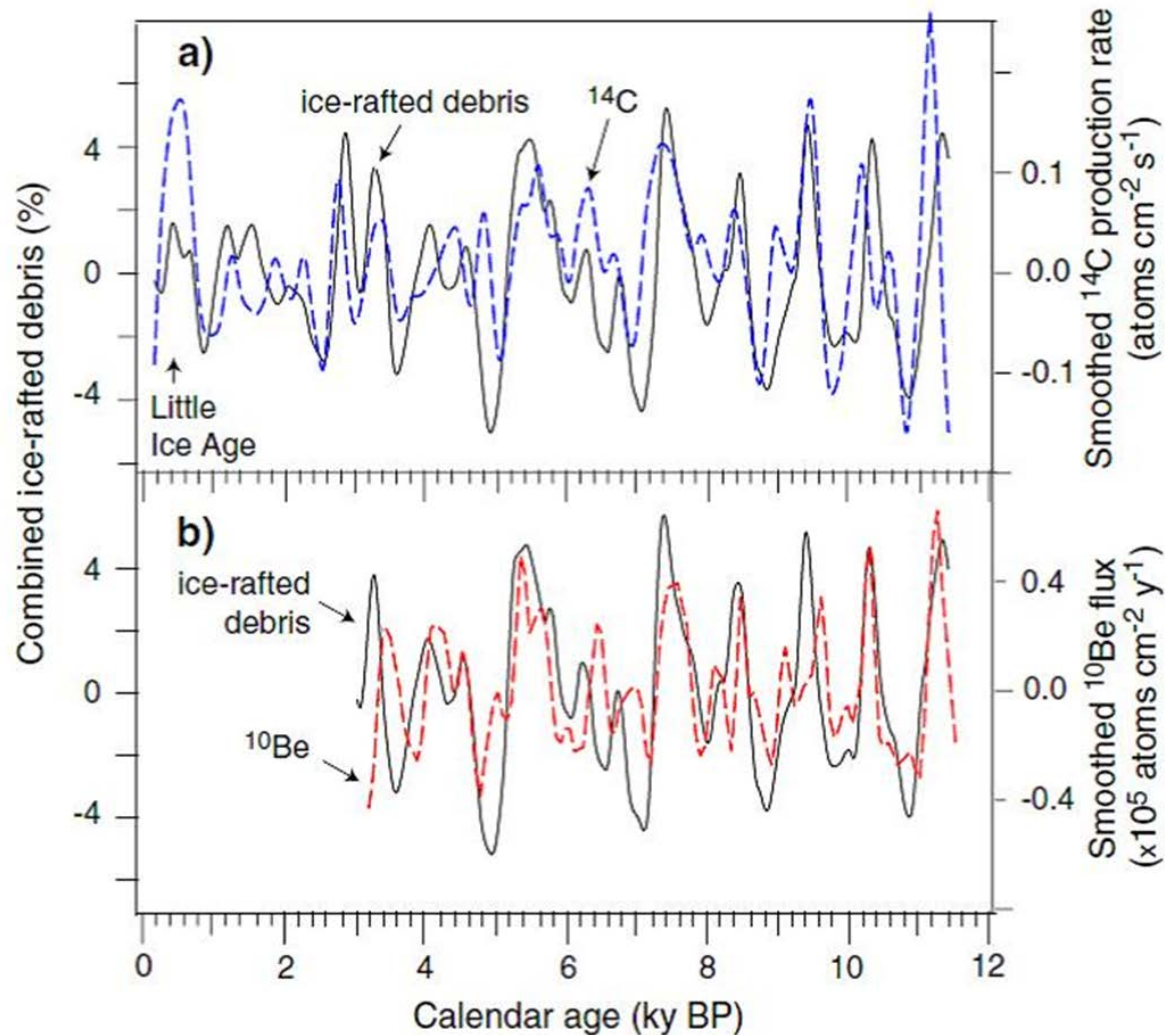
Solar Activity Events recorded in Carbon 14



# Solaktivitet gennem 10.000 år



# Kosmisk stråling og Jordens klima



# Kosmisk stråling og skyer?

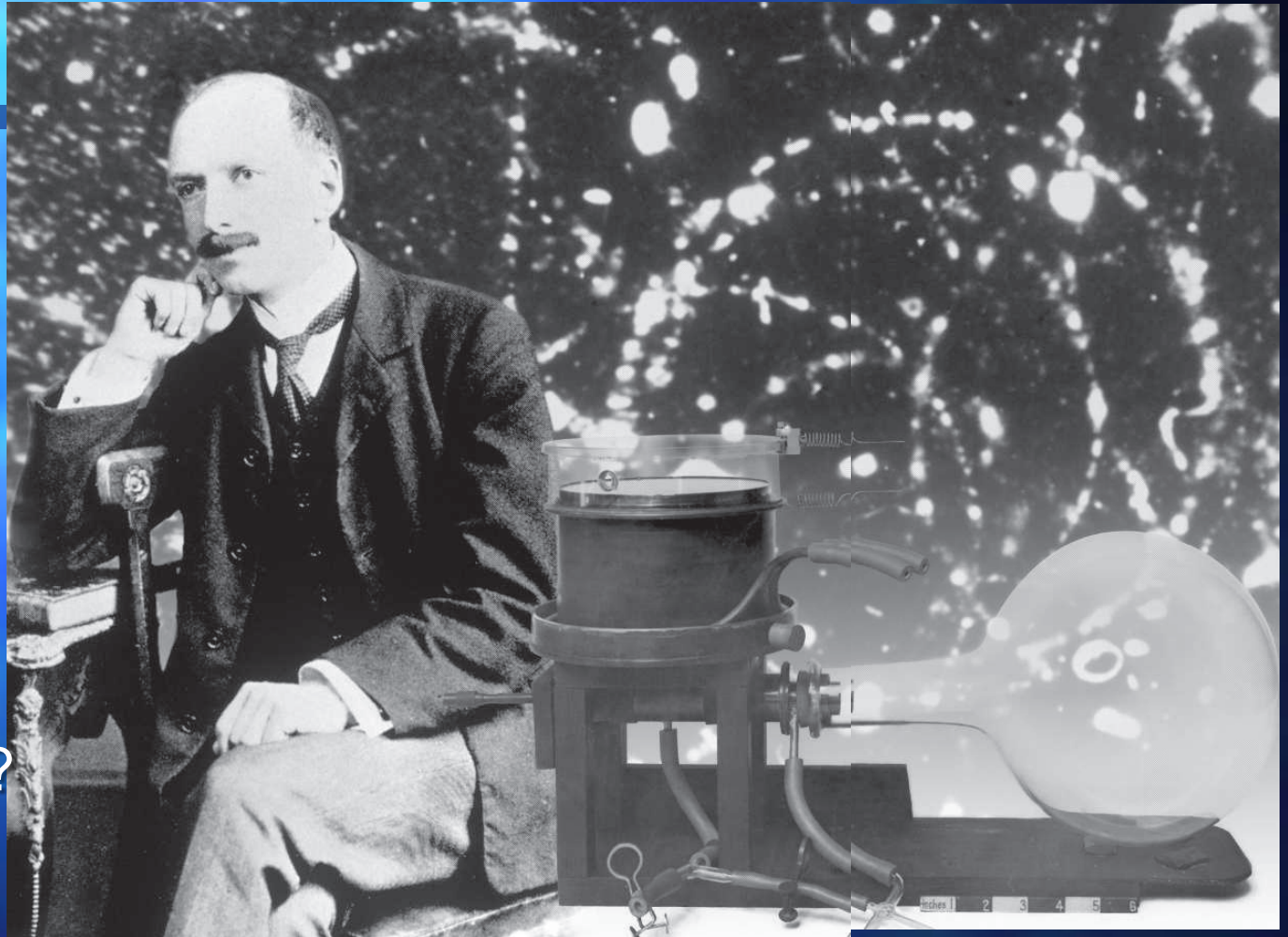


# Den første skymager

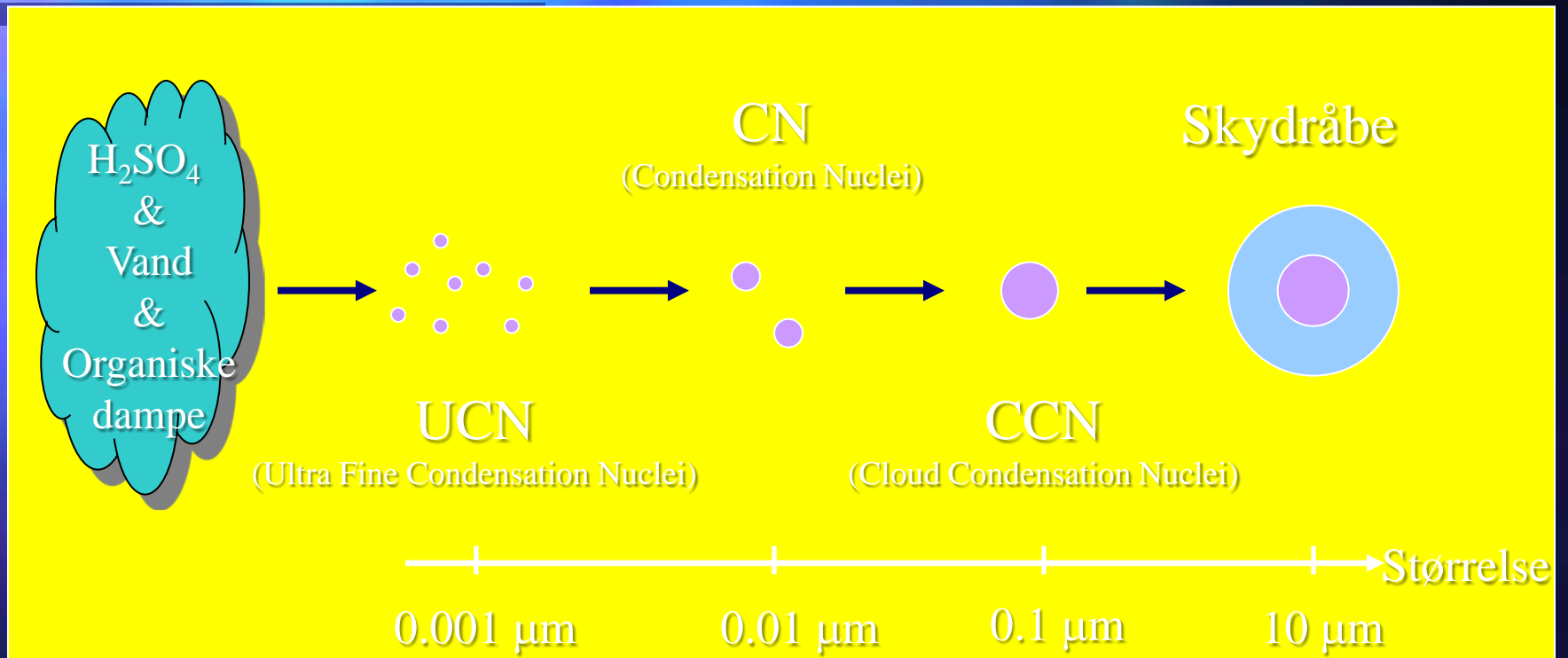
Charles  
Thomas  
Rees  
Wilson

Nobelpris  
1927

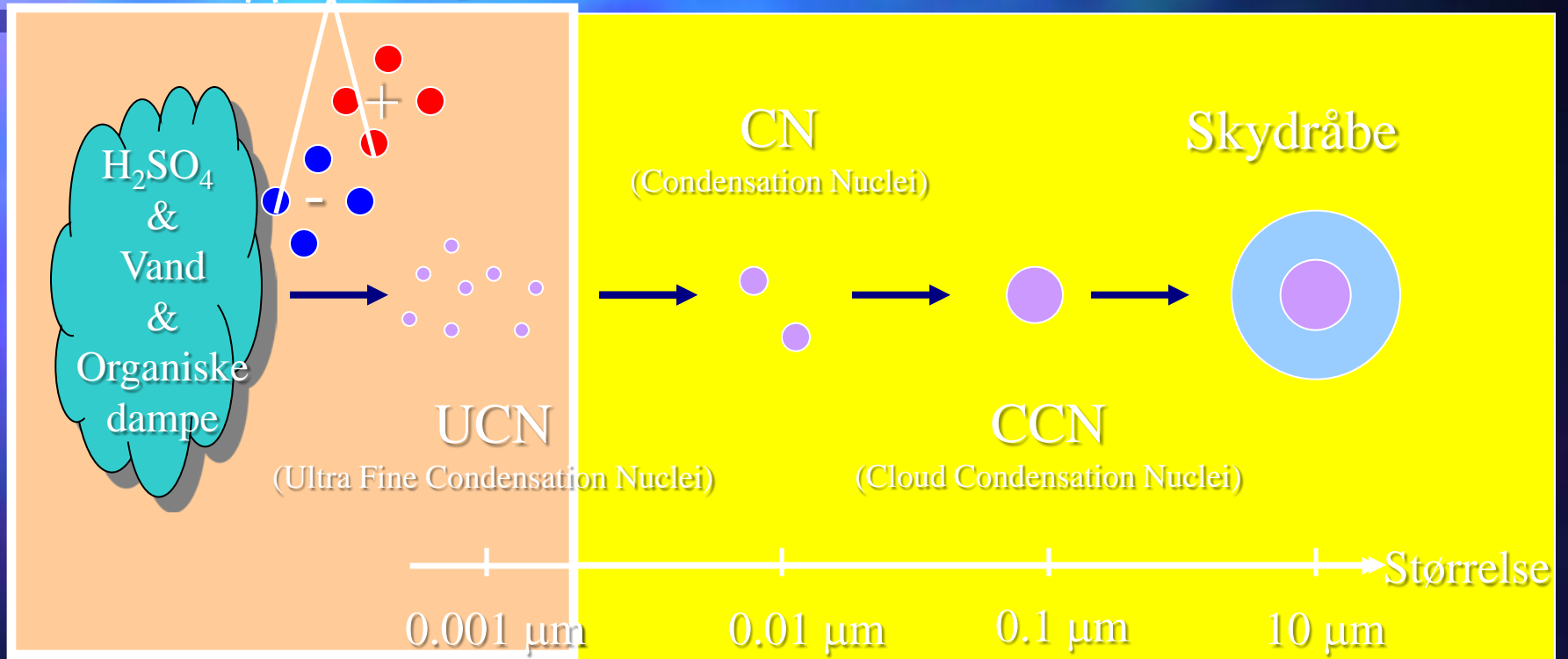
Kosmiske  
stråler fra  
tordenskyer?



# Skydannelse



# Skydannelse m/ioner



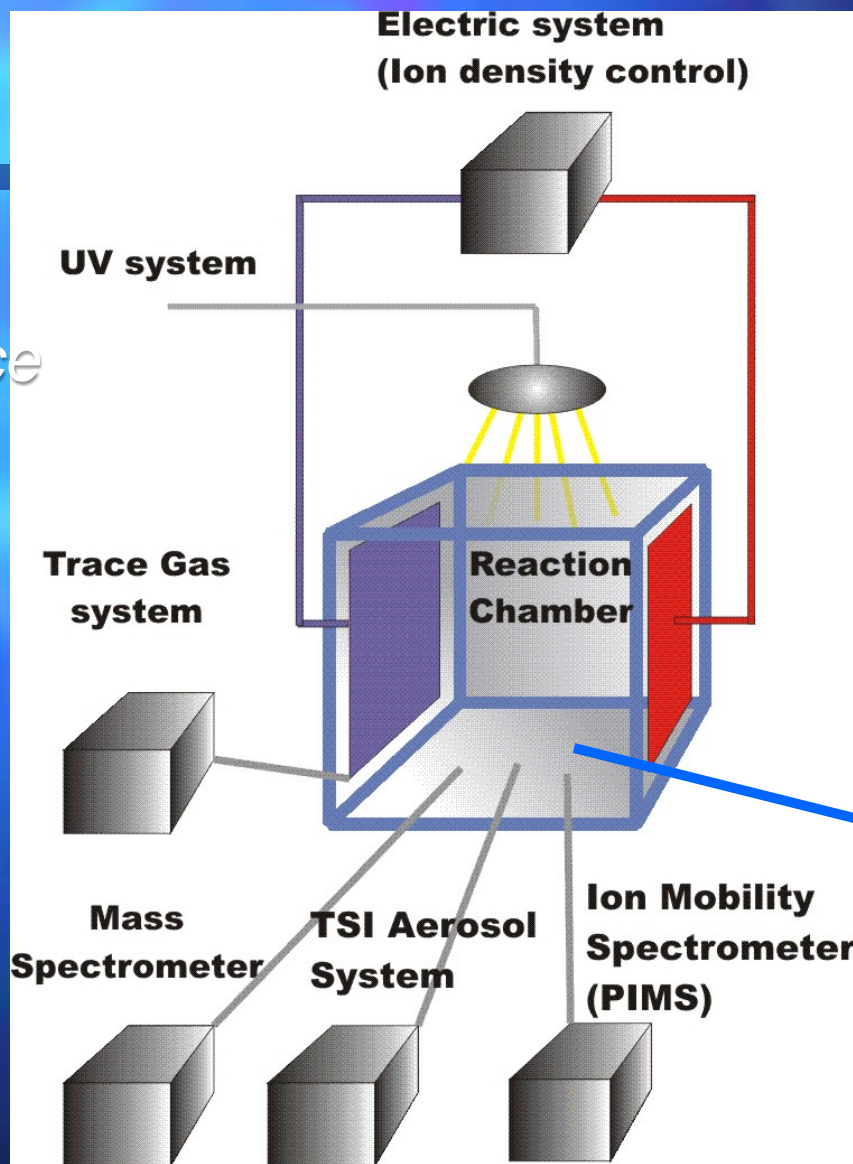
Betydningen af ioner?

# Eksperiment

*Gamma source*



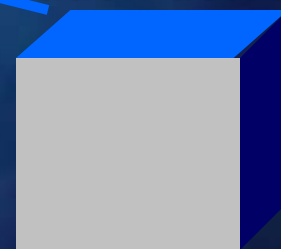
SO<sub>2</sub>  
O<sub>3</sub>  
H<sub>2</sub>O



*Gamma source*

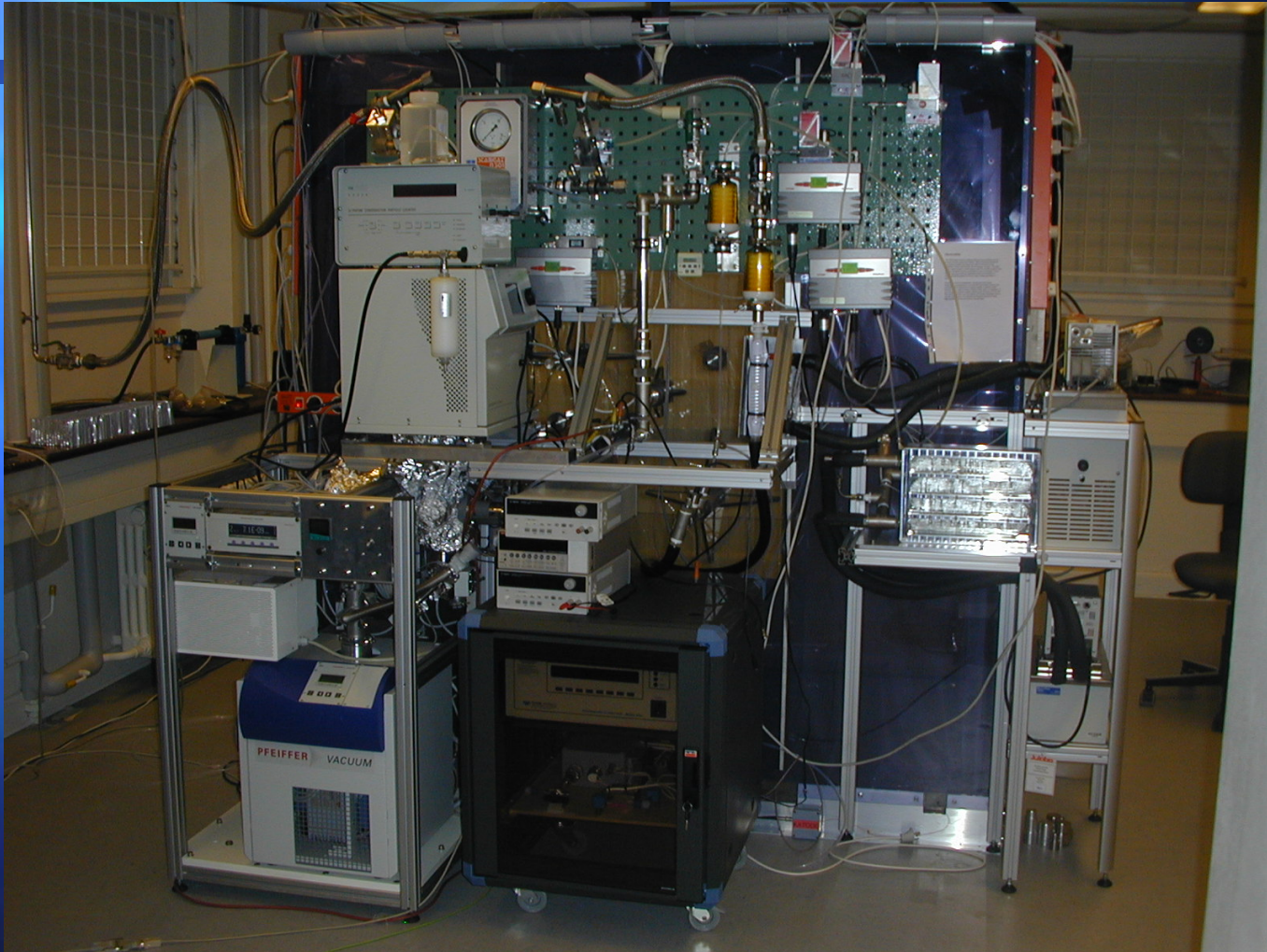


*Muon detector  
Radon detector*





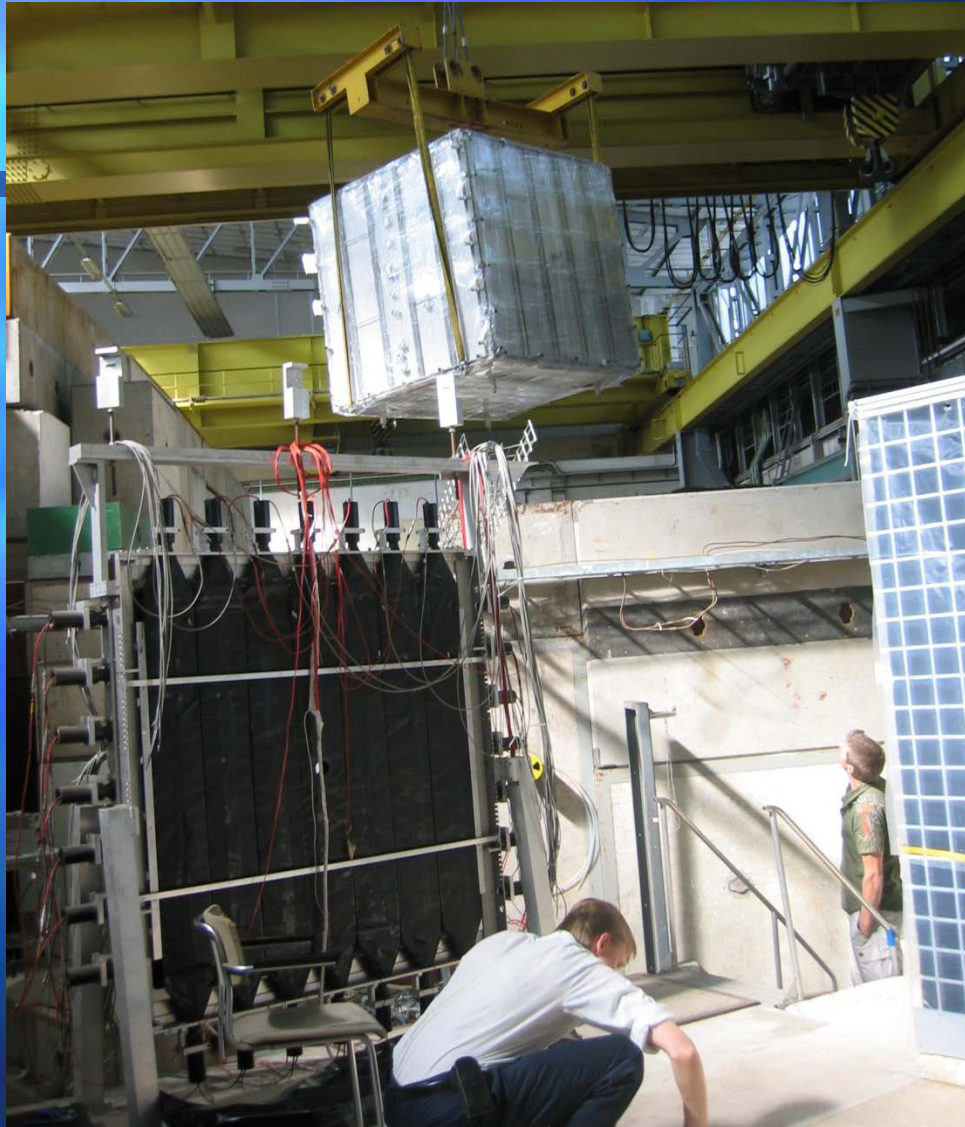
# SKY I

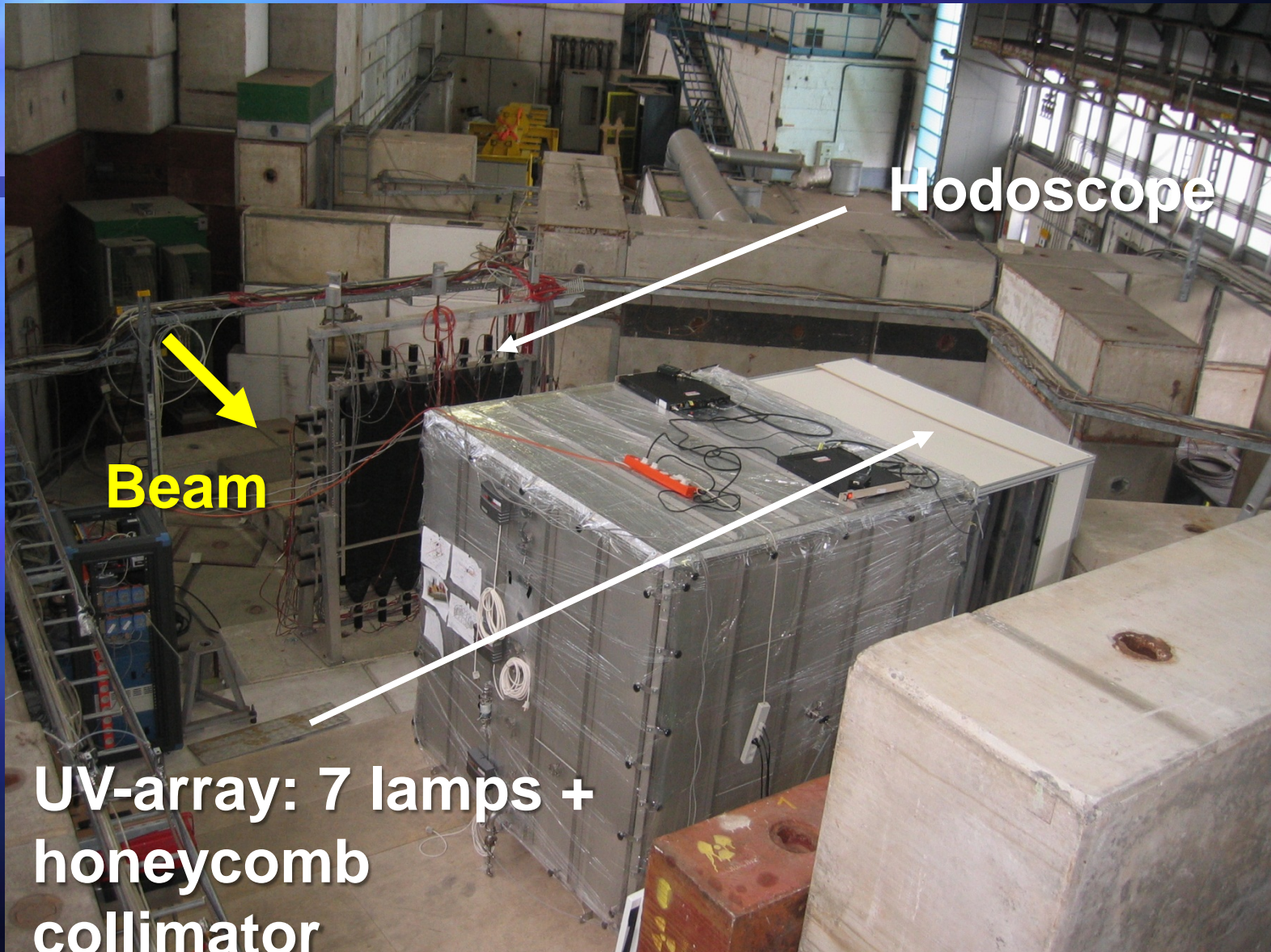


# CERN



# SKY II



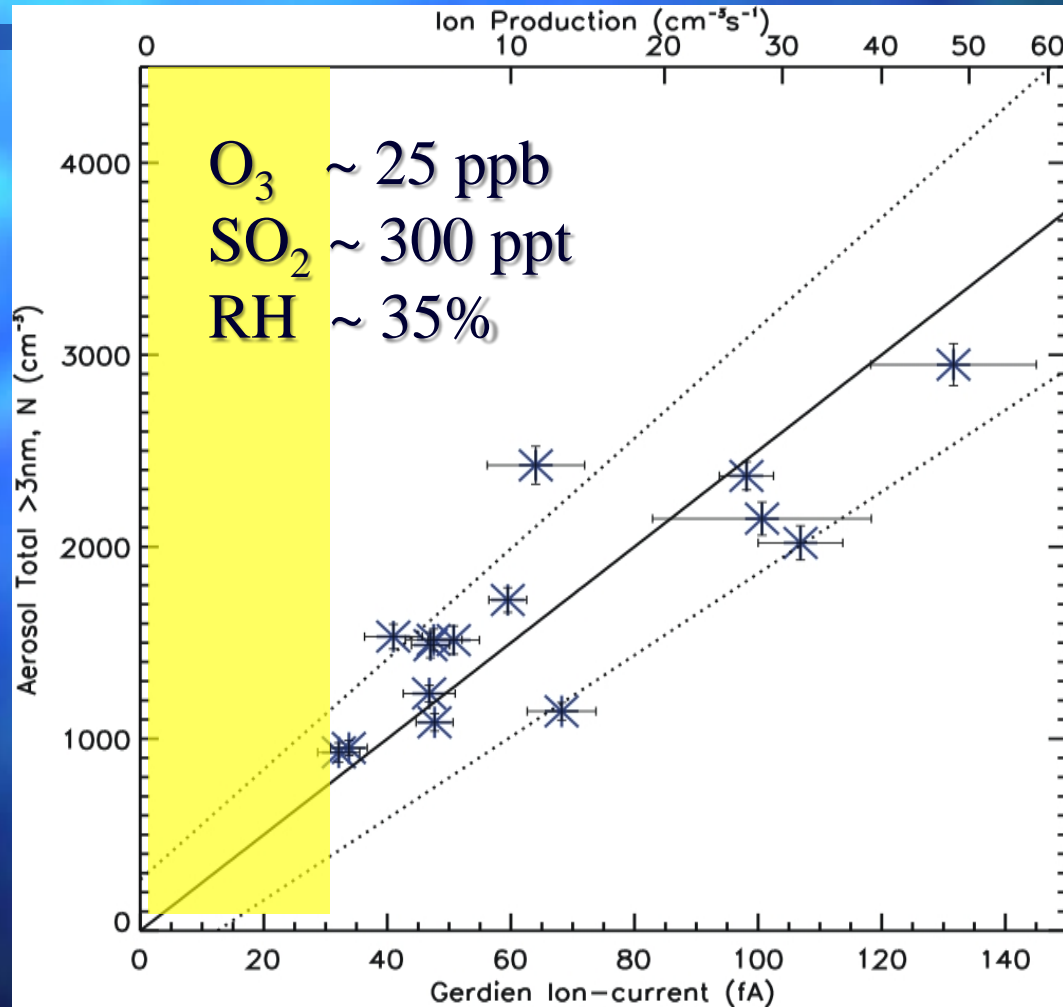


**Beam**

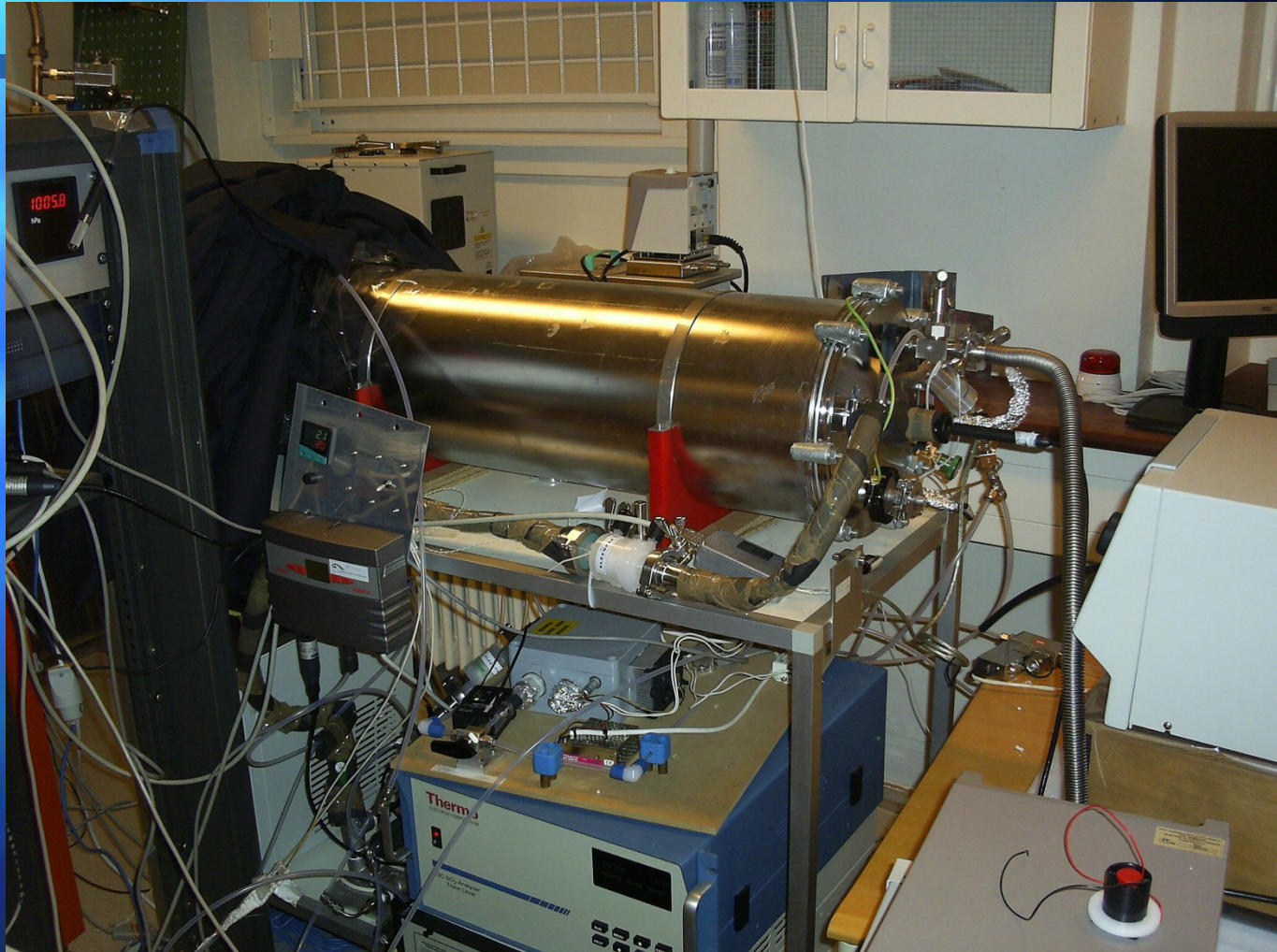
**Hodoscope**

**UV-array: 7 lamps +  
honeycomb  
collimator**

# Resultat

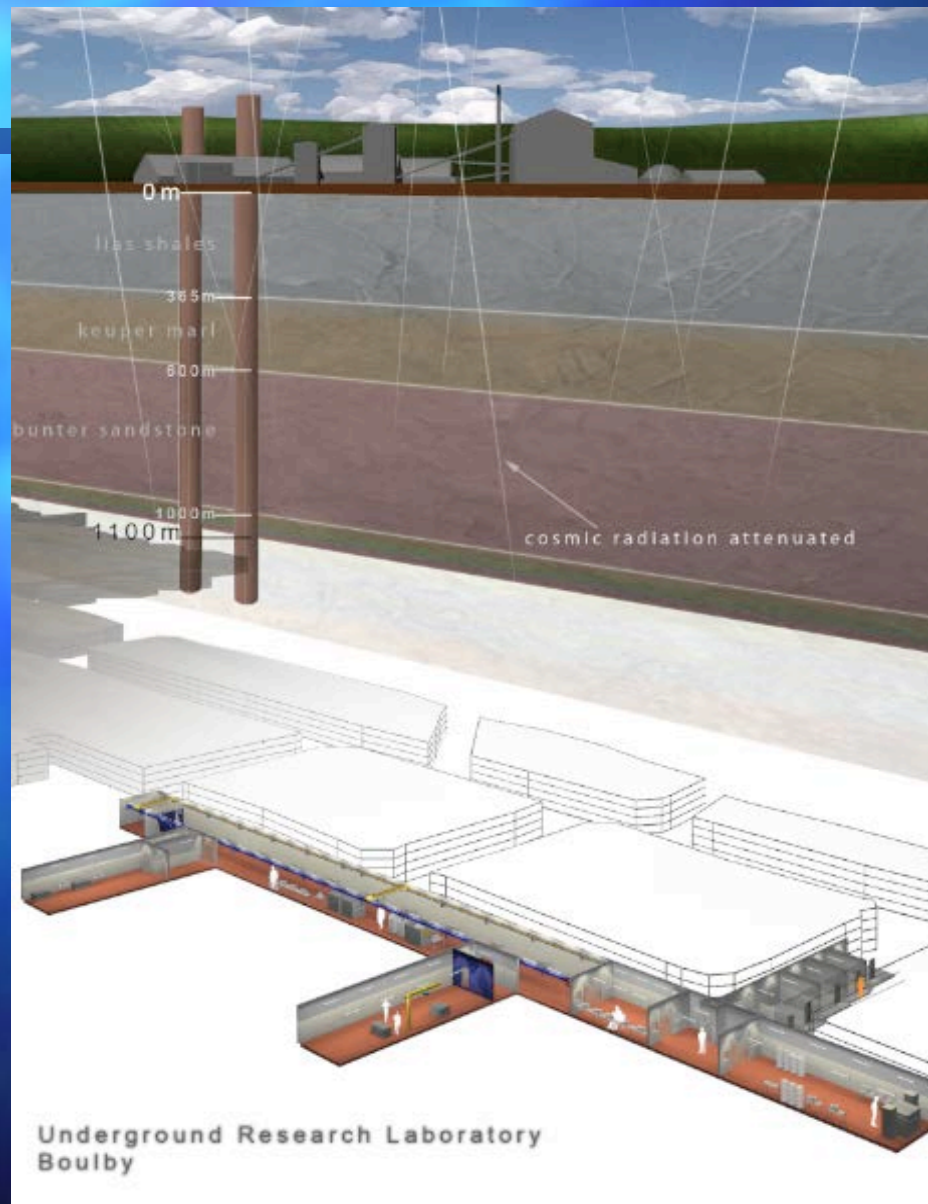


# Hvordan stopper man kosmiske stråler?



# Under Jordan!

# -1100 m







A black rectangular sign with a white border is mounted on a red brick wall. The sign features the text "DARK MATTER" on the top line and "PARKING ONLY" on the bottom line, both in white, bold, sans-serif capital letters. The sign is secured to the wall with four screws, one in each corner.

**DARK MATTER  
PARKING ONLY**





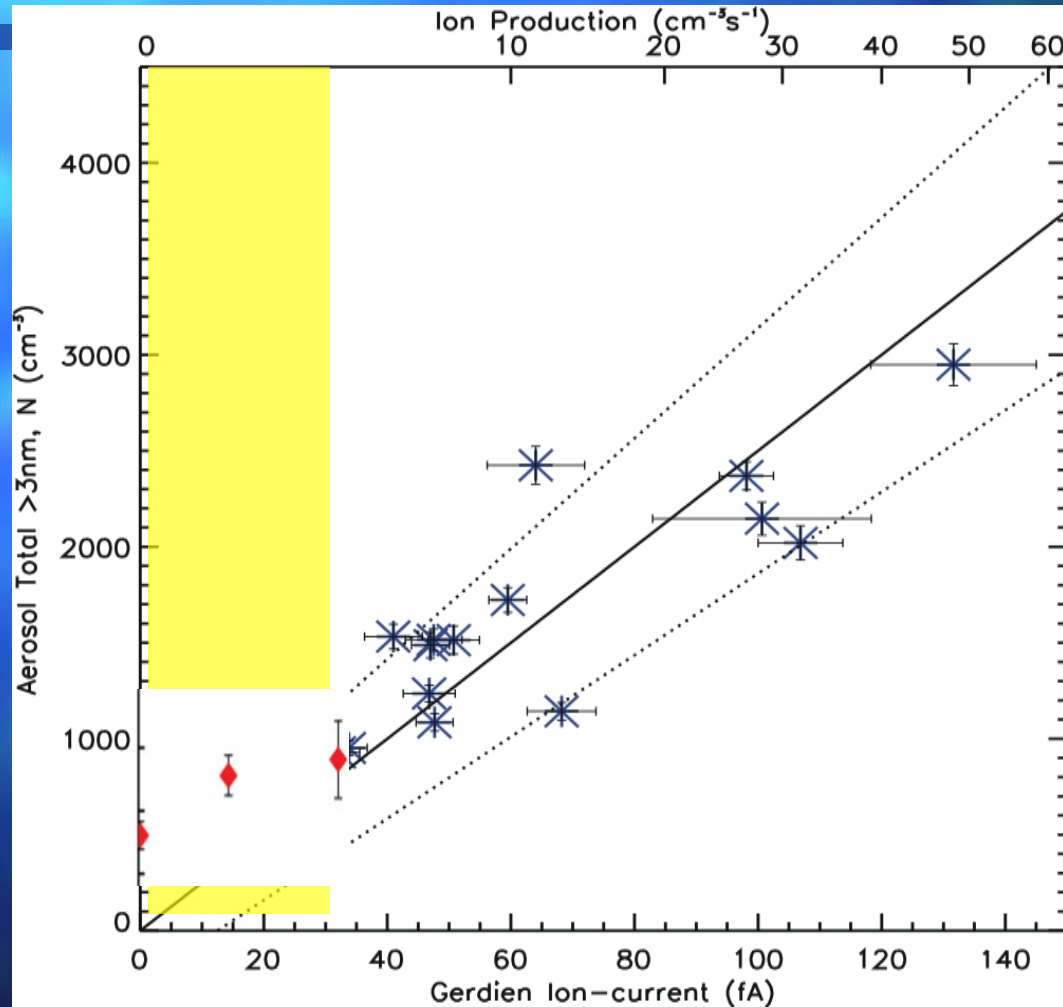




BEFORE YOU  
LEAVE  
CHECK THE  
EEL MAN IN THE  
ROOM  
LITMUS E-Log  
RECORD DATA



# Resultat II





Mere om kosmisk stråling og klima:  
[www.pepke.dk](http://www.pepke.dk)