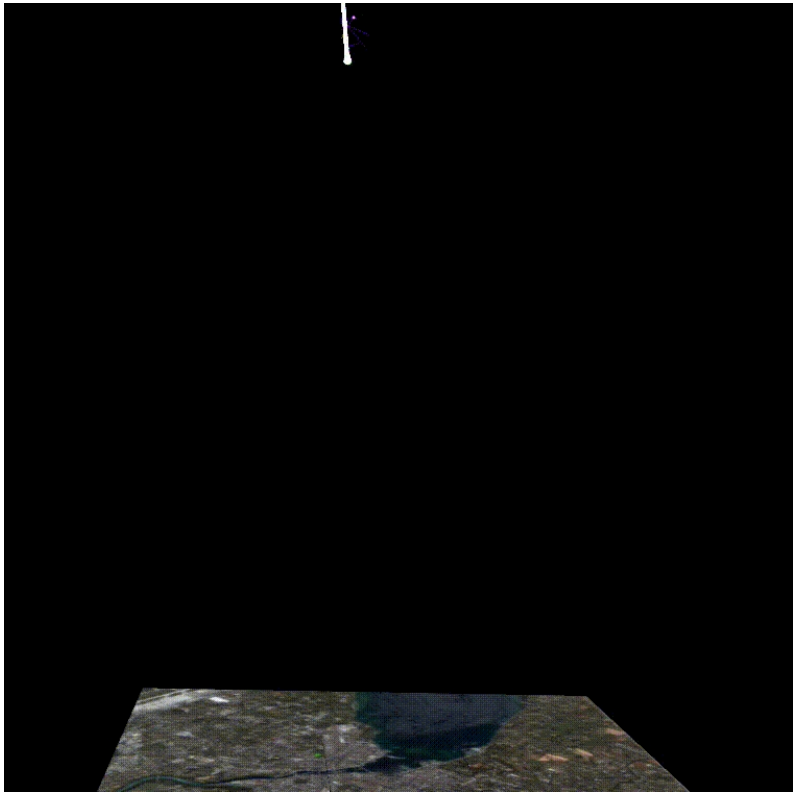
Kosmische stralen

Prof. dr. A.M. van den Berg
University of Groningen
KVI - Center for Advanced Radiation Technology

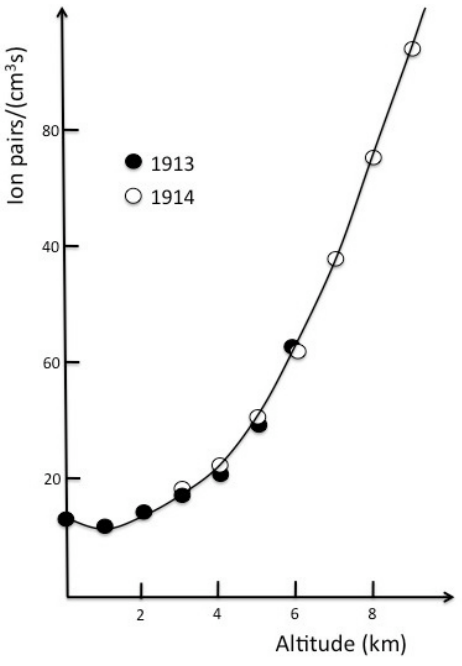
Inhoud

1. Eigenschappen van kosmische stralen
   (a) flux?
   (b) soort?
2. Wat merken wij daarvan op aarde?
   (a) afscherming
   (b) dosis



Victor Hess

Gebaseerd op eerdere gegevens van Theodor Wulf heeft Victor Hess in 1912 kosmische stralen ontdekt.

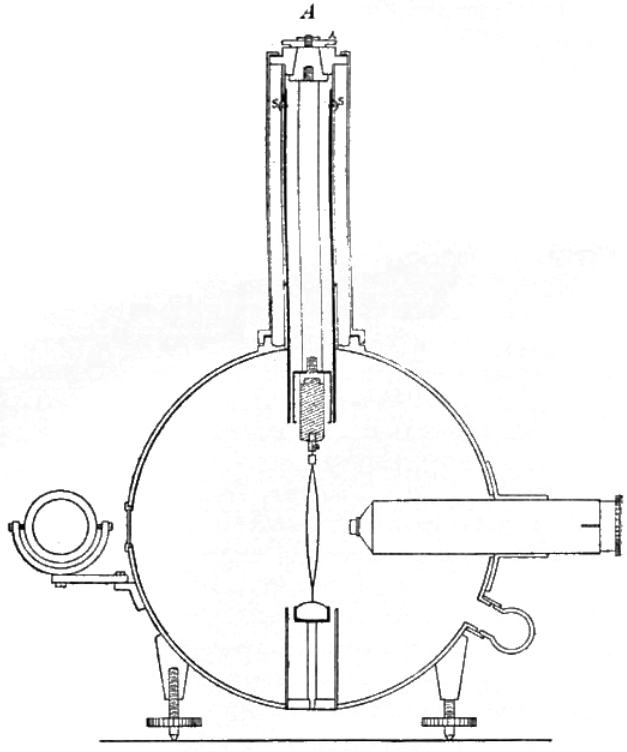


Boven de atmosfeer is de samenstelling van deze stralen ongeveer:

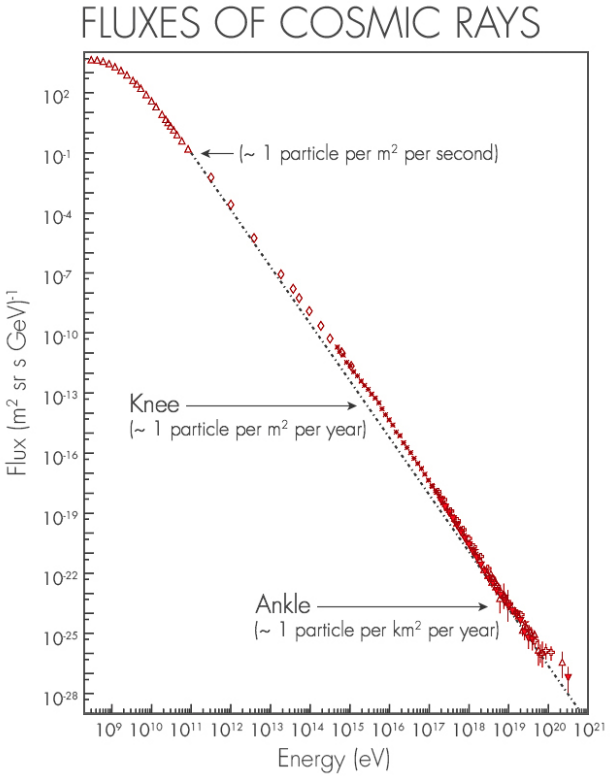
89% protonen
9% helium kernen
1% zwaardere kernen
1% elektronen en positronen

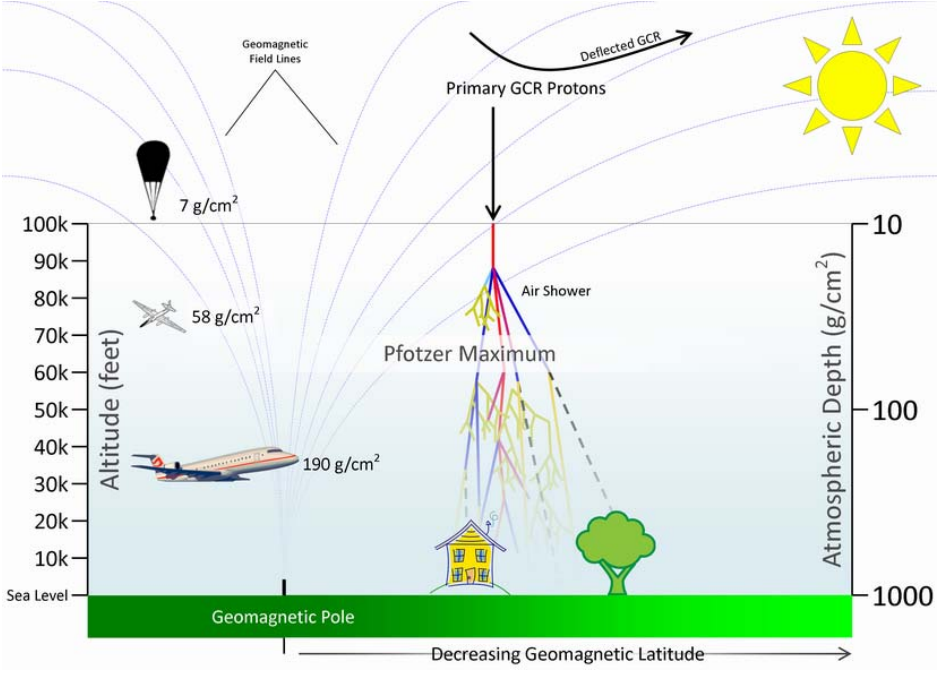
Victor Hess en Theodor Wulf





Flux & Effecten

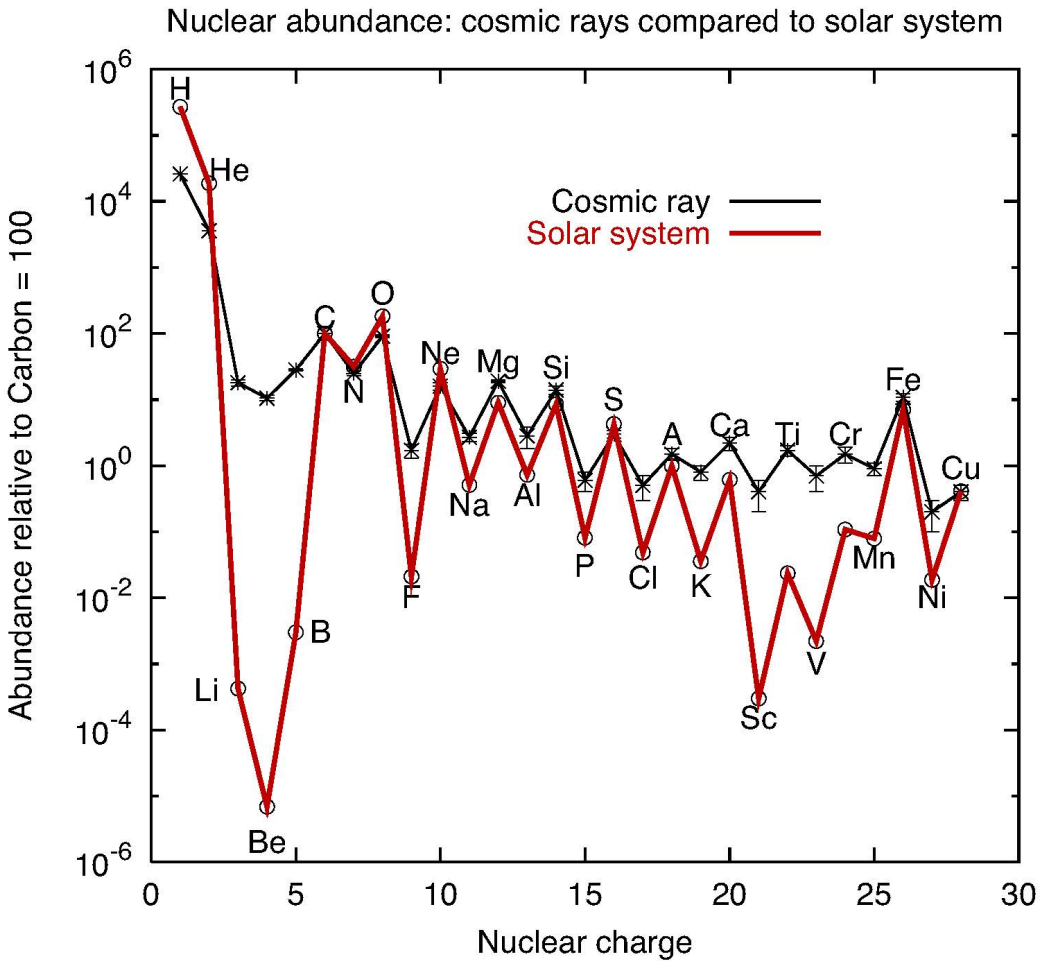




Welke kernen?

Let op verschil in abundantie van kosmische stralen vergeleken met "het zonnestelsel"!

Is dat eenvoudig te verklaren?

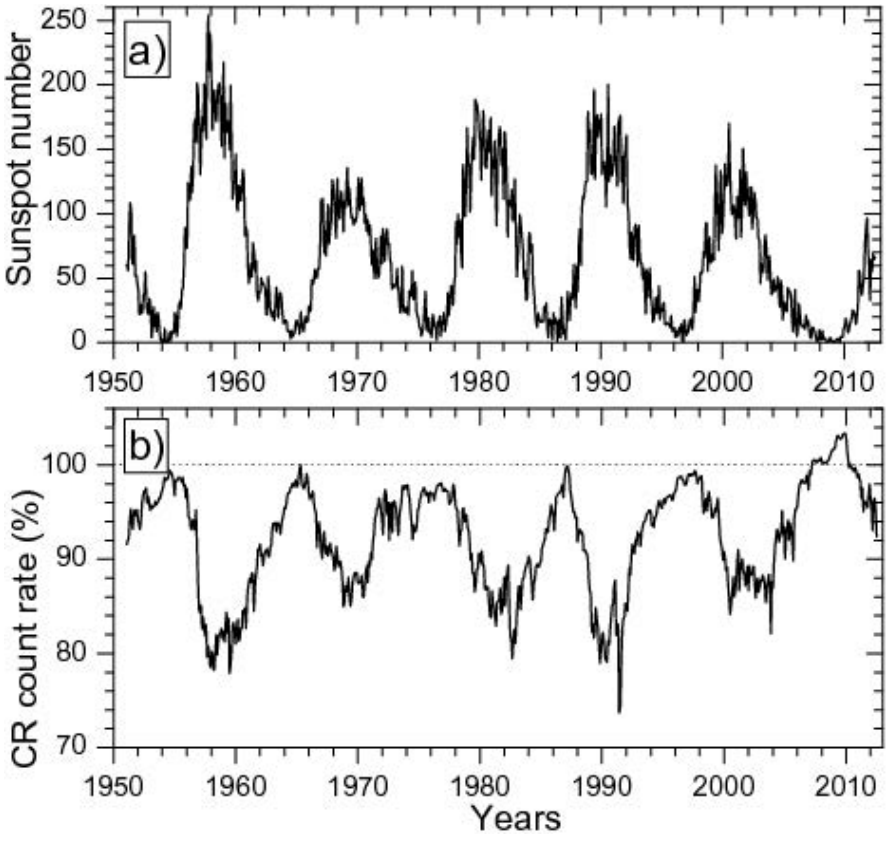


Invloed van de zon

Boven: aantal zonnevlekken

Onder: intensiteit van kosmische stralen

Magnetische activiteit van de zon beïnvloedt flux!



Een stukje geschiedenis

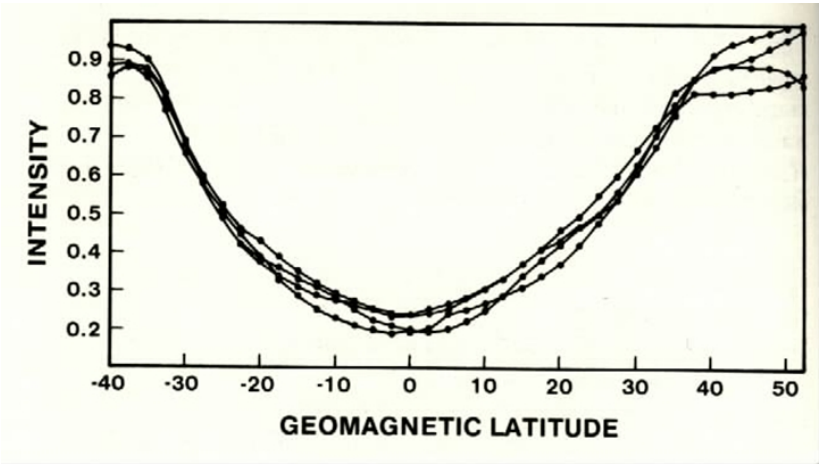
In de jaren 1920 - 1930 heeft Jacob Clay (Universiteit van Amsterdam) verschillende metingen aan kosmische straling uitgevoerd.

Tijdens een reis van Europa naar Indonesië bemerkte hij een afname van de intensiteit.

	I with armour	II without armour
Leiden	1,49	—
From Genua till Messina	—	1,49
Strait of Messina	1,25	—
Messina till Port Said	0,97	—
Port Said	0,99	—
Canal of Suez	0,82	1,30
Read Sea Northern part	0,92	1,25
Read Sea Southern part	0,92	—
Indian Ocean	0,86	1,04
Colombo till Sabang	0,88	—
Port of Sabang	0,87	—
Sabang till Singapore	0,85	—
Singapore till Batavia	0,82	—
Port of Batavia	0,88	—
Bandoeng (760 m above sealevel)	0,99	1,01 protected at the bottom and at the side.

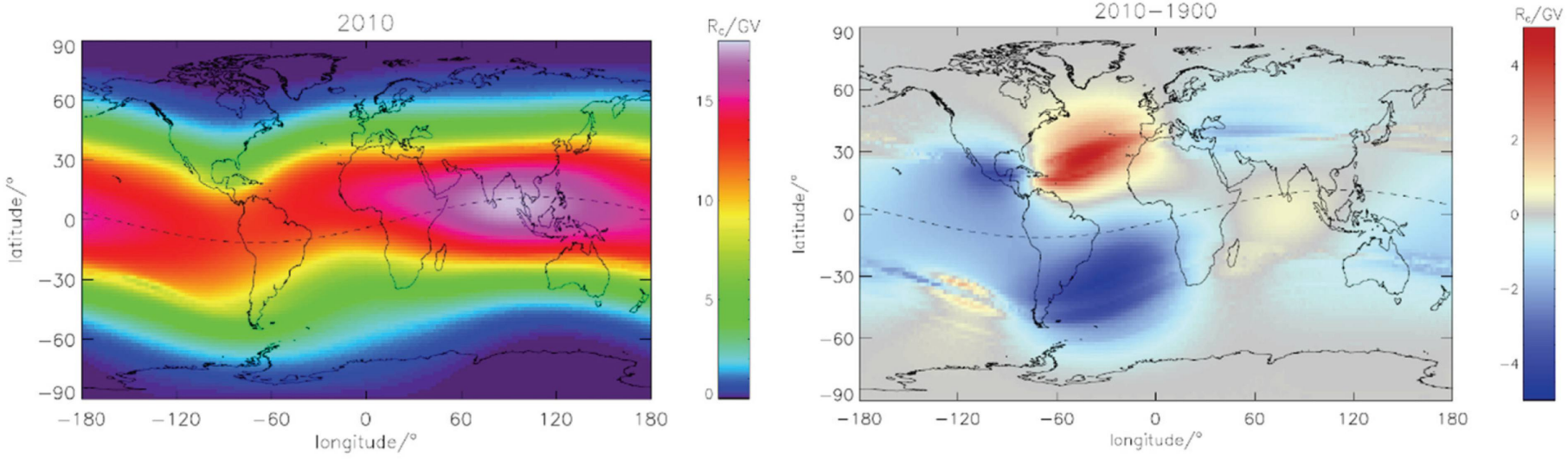
Invloed aards magneetveld

Deze metingen werden 10 jaar later bevestigd door Compton die postuleerde, dat *kosmische stralen geladen deeltjes zijn*, die worden afgebogen door het magneetveld van de aarde.



De sterkte en de richting van het magneetveld van de aarde beïnvloeden de intensiteit van de straling.

Invloed aards magneetveld

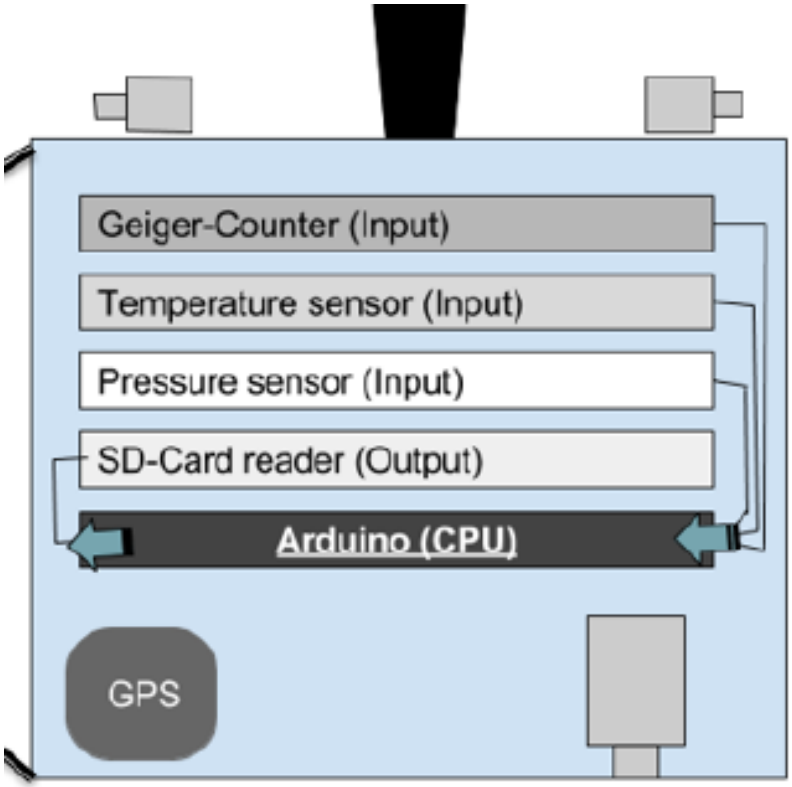


Verdeling van de drempelwaarde van de verhouding tussen impuls en lading voor geladen deeltjes in 2010 (links).

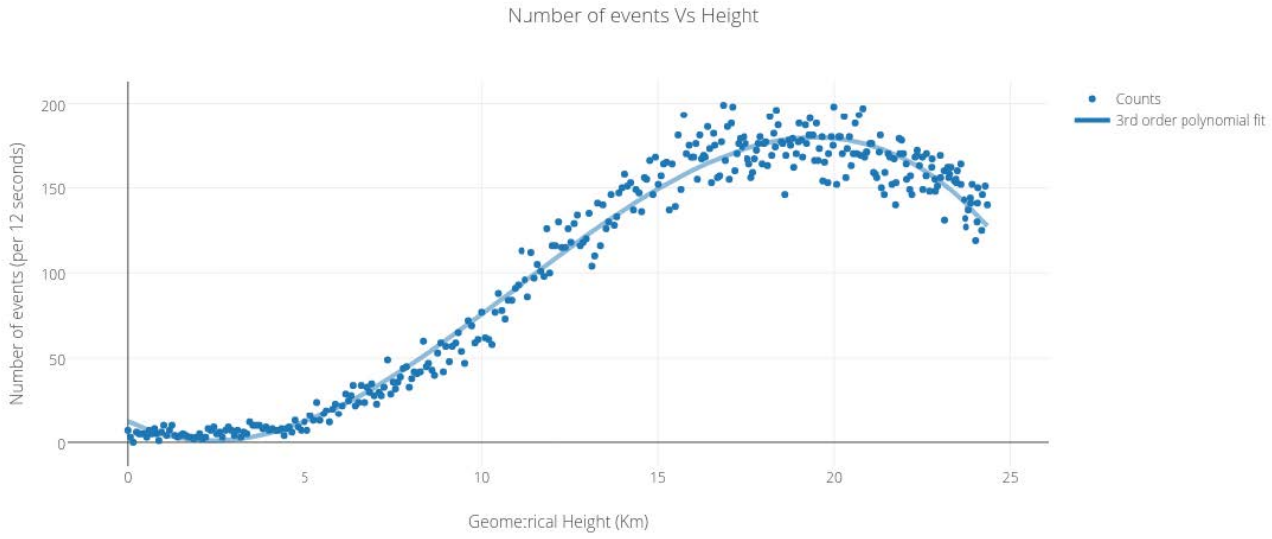
Het aards magneetveld varieert in de loop der jaren (rechts).

Rol van de atmosfeer





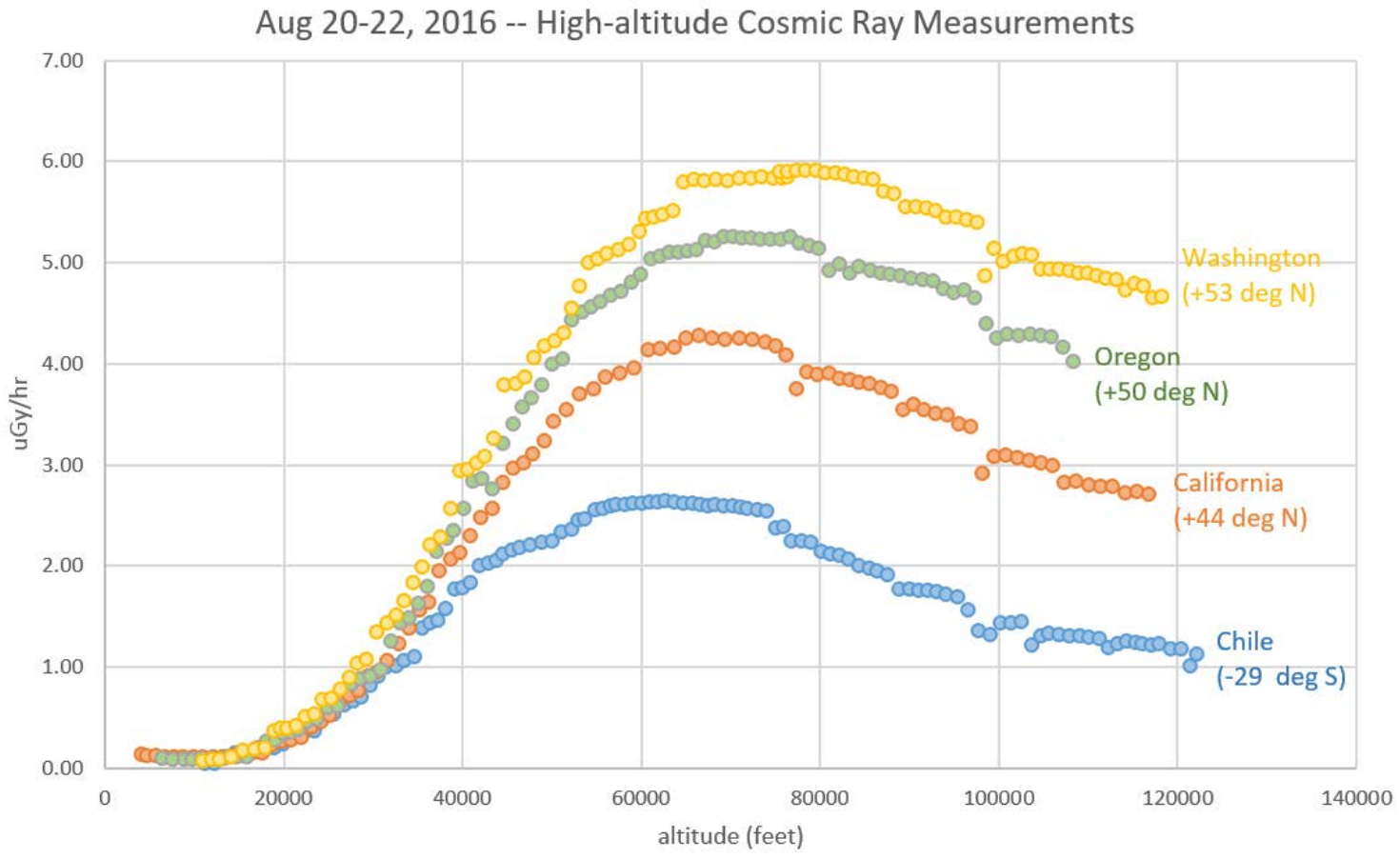
Metingen vanaf KVI - CART



Zomer 2015:
Jelle Bijlsma, Marcello Capasso, Jonathan Hamann, en Joey Richardson

Gebruikmakend van een Geiger-Müller teller en een simpele DAQ.

Invloed van de aarde



Invloed van de aarde

De invloed van de aarde is dus tweeledig:

1. de hoogte boven zeeniveau, of beter gezegd, de dikte van de atmosfeer boven de plaats van de waarnemer;
2. de sterkte en de richting van het magneetveld van de aarde.

Kennelijk is de atmosfeer de belangrijkste vorm van "afscherming" van kosmische deeltjes!

Op plaatsen 2 en 3 staan het magneetveld van de aarde en de zon, respectievelijk.

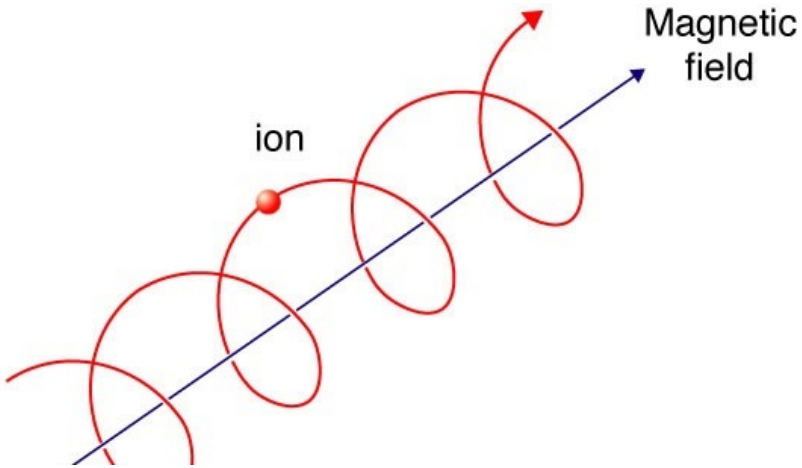
Magneetvelden

Geladen deeltjes beschrijven spiraalvormige banen in magnetische velden met een typische straal, die Larmor straal ρ (ook wel gyratie of cyclotron straal) wordt genoemd.

$$\rho = \frac{m v_\perp}{|q| B}$$

of anders, de stijfheid:

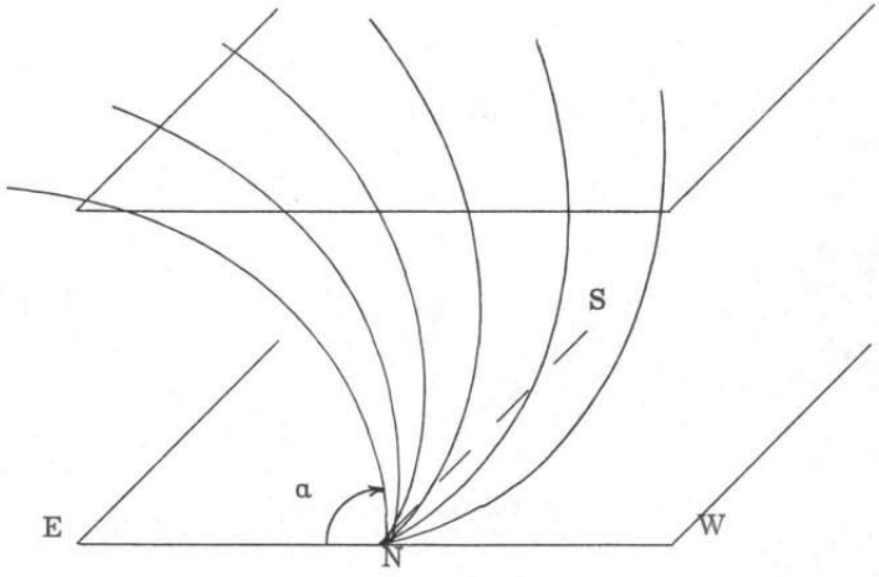
$$B\rho = \frac{p_\perp}{|q|}$$



Oost-west effect

Hierdoor kan ook het oost-west effect verklaard worden.

Vanwege de magnetische afbuiging komen er meer deeltjes op het aardoppervlak van uit het westen, vergeleken met het oosten.



Ontdekt door Bruno Rossi in 1934 in Eritrea.

Rossi en Heitler

Een simpel model om de voortgang van hoog-energetische deeltjes in de atmosfeer te beschrijven is gemaakt door Rossi en Heitler uit de jaren 1930.

Dit model is gebaseerd op:

1. paar vorming door fotonen
2. remstraling door leptonen

Dit model geldt alleen voor *elektronen, positronen, of fotonen*.

Stralingslengte

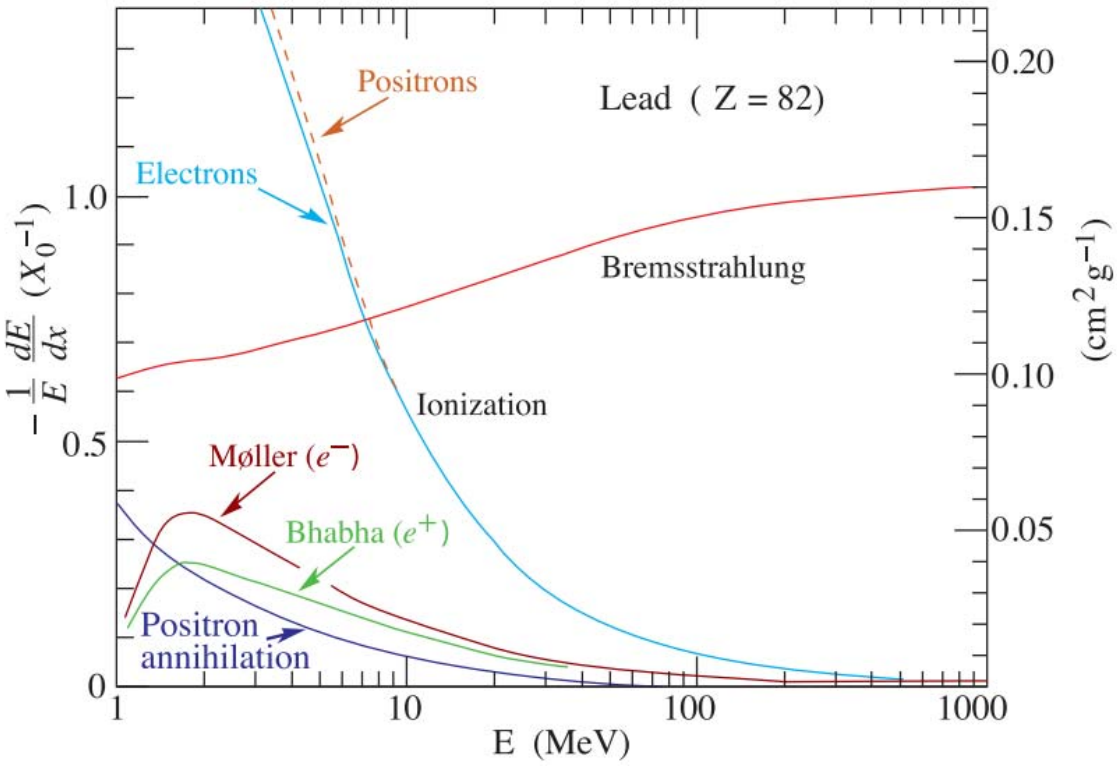
De stralingslengte (radiation length) is

› de karakteristieke afstand, waarbij hoog-energetische (> 10 MeV) elektronen en positronen door rem straling energie verliezen:

$$-\frac{dE}{dX_{\text{rem}}} = \frac{E}{X_0}$$

› de gemiddelde aflegde weg van fotonen waarbij zij een (1) elektron-positron paar maken.

Energie verlies

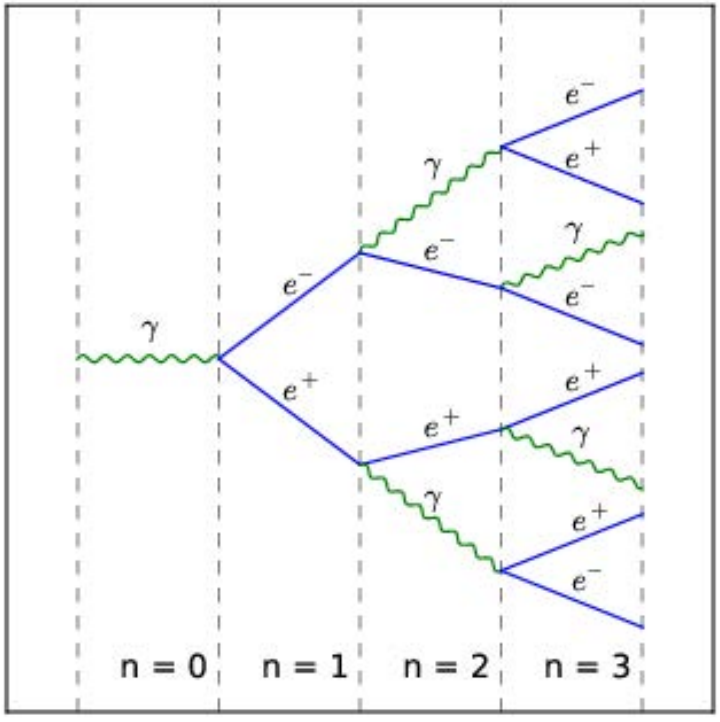


De stralingslengte voor lucht is 37 g cm^{-2}.

EM cascade

Leptonen maken fotonen en vice versa.

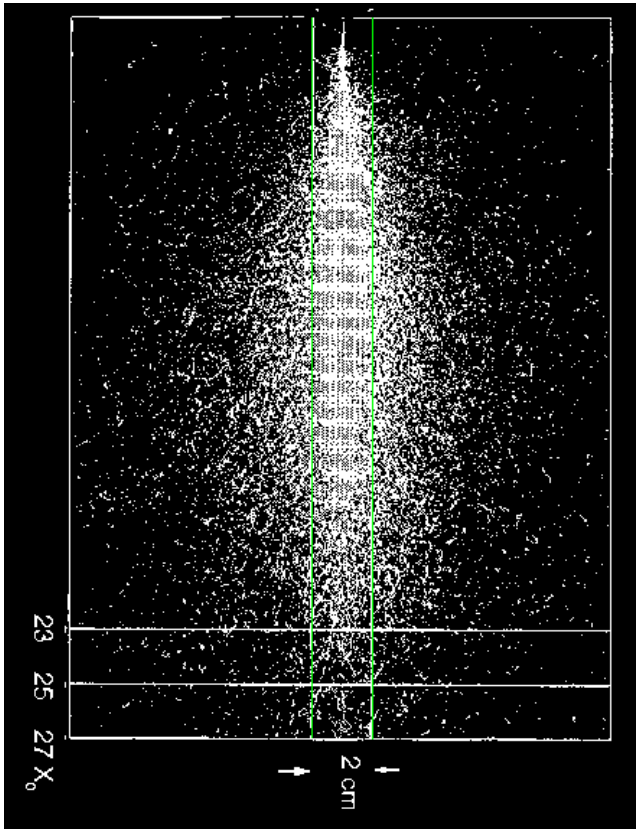
Hierdoor ontstaat een elektromagnetische cascade, die eindigt wanneer de energie van de deeltjes of fotonen beneden de 10 MeV komt.



Stralingslengte atmosfeer

150 GeV electron in Stolziet ($PbWO_4$) wordt gestopt in $25X_0$ (ongeveer 22 cm).

Dit komt bijna overeen met de hoogte van de atmosfeer, die een dikte heeft van 1030 g cm^{-2} ($28X_0$, ongeveer 40 km).

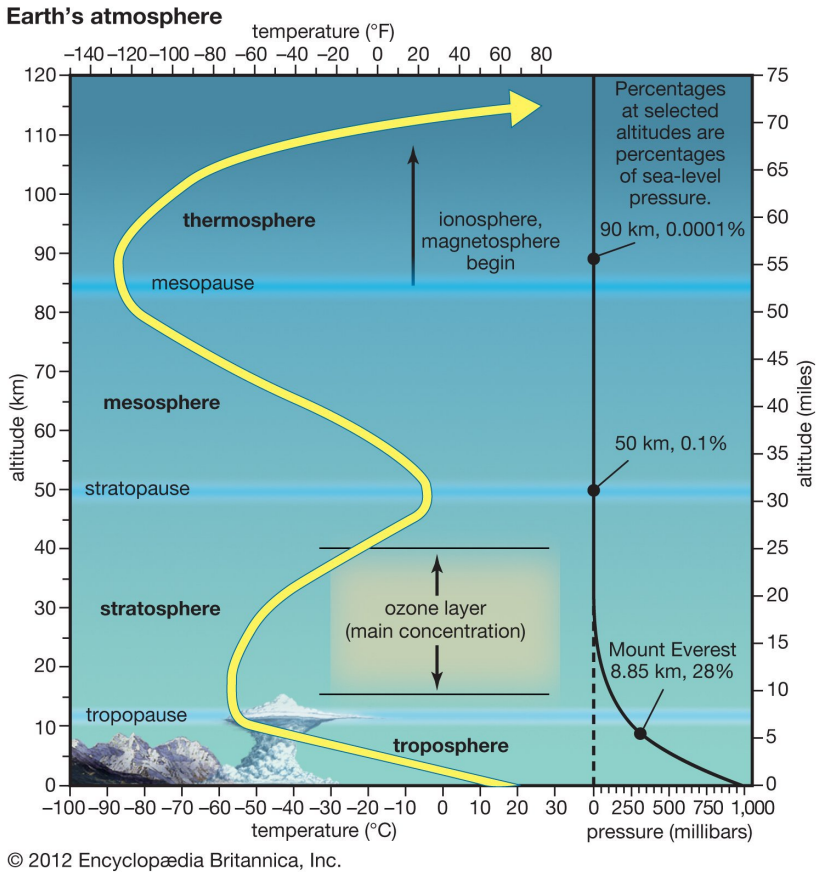


Atmosfeer aarde

De dichtheid van de atmosfeer kan worden berekend via de hoogte a.s.l. als:

$$\rho = \rho_0 \exp\left[-\frac{h}{H}\right]$$

met
$H = 6.9$ km
en
$\rho_0 = 1030$ g cm^{-2}.



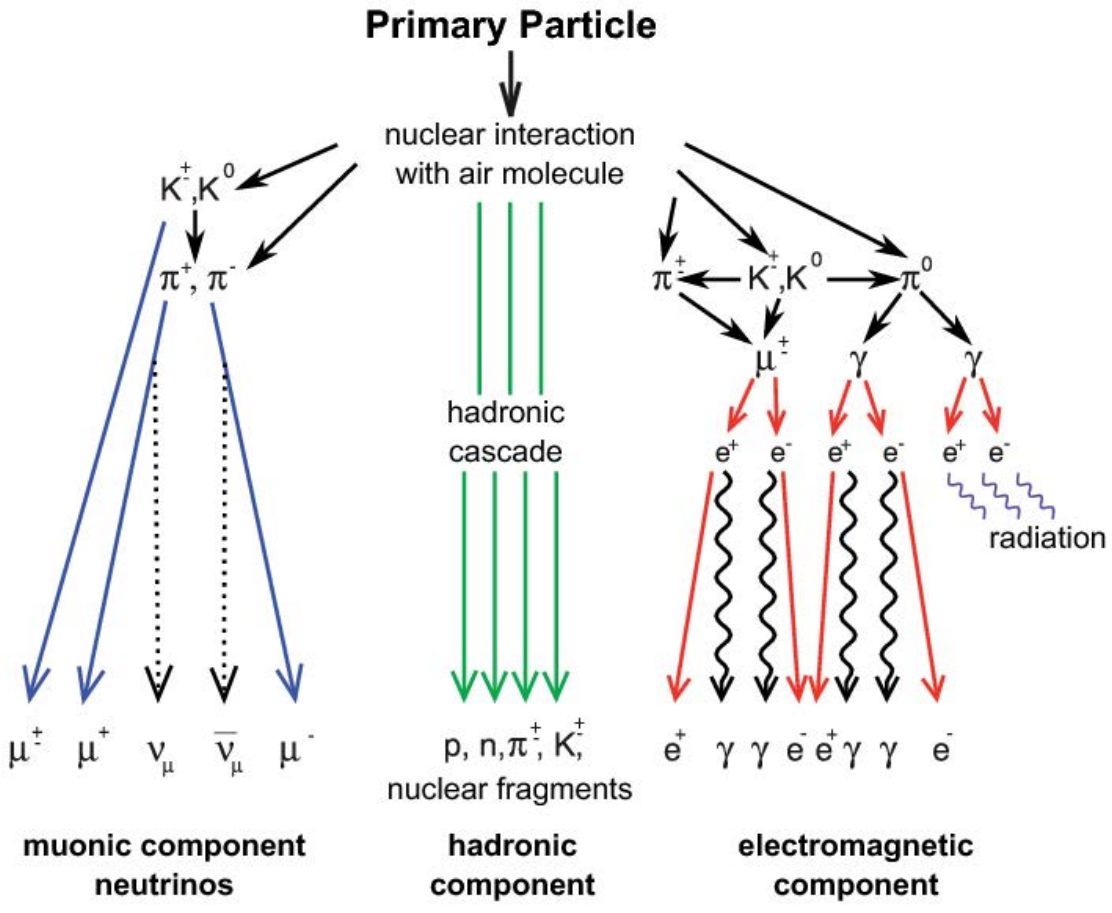
Hadronische cascade

Kern-kern botsingen produceren mesonen; voornamelijk pionen.

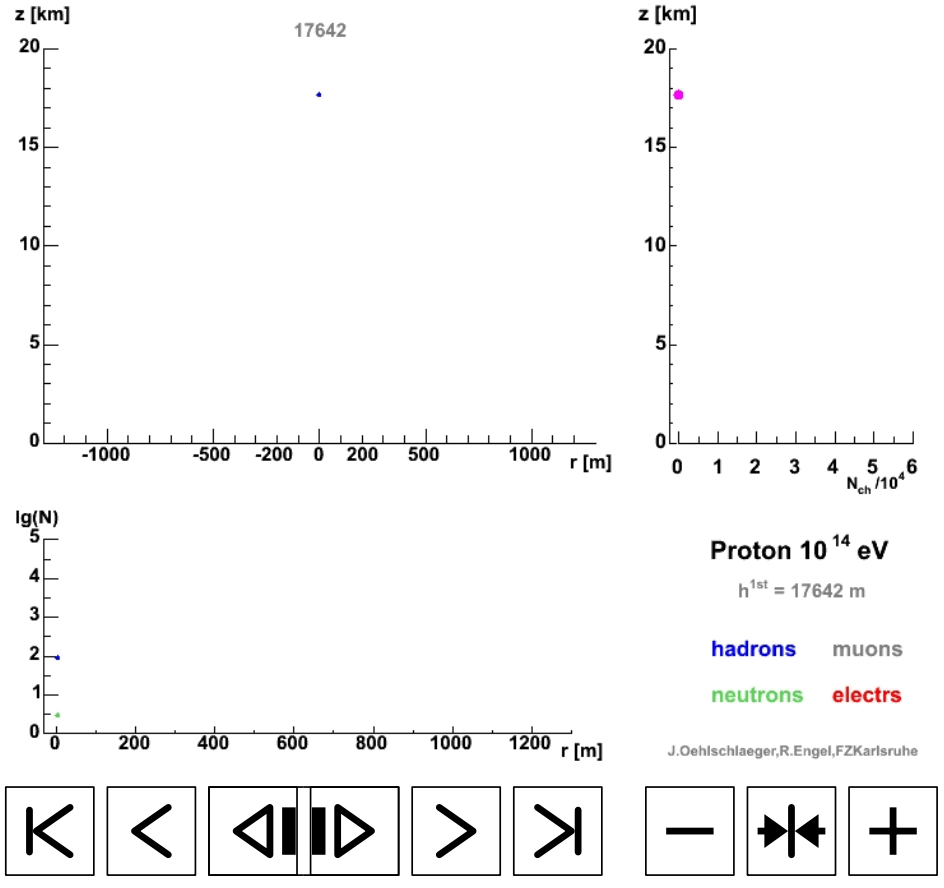
Hierdoor ontstaat naast een elektromagnetische cascade, een hadronische, en een muonische cascade.

Ook hier speelt de interactie lengte een belangrijke rol; voor de hadronische interactie is deze lengte ongeveer 90 g cm^{-2}, wat betekent dat de atmosfeer ongeveer 11 hadronische lengte eenheden dik is.

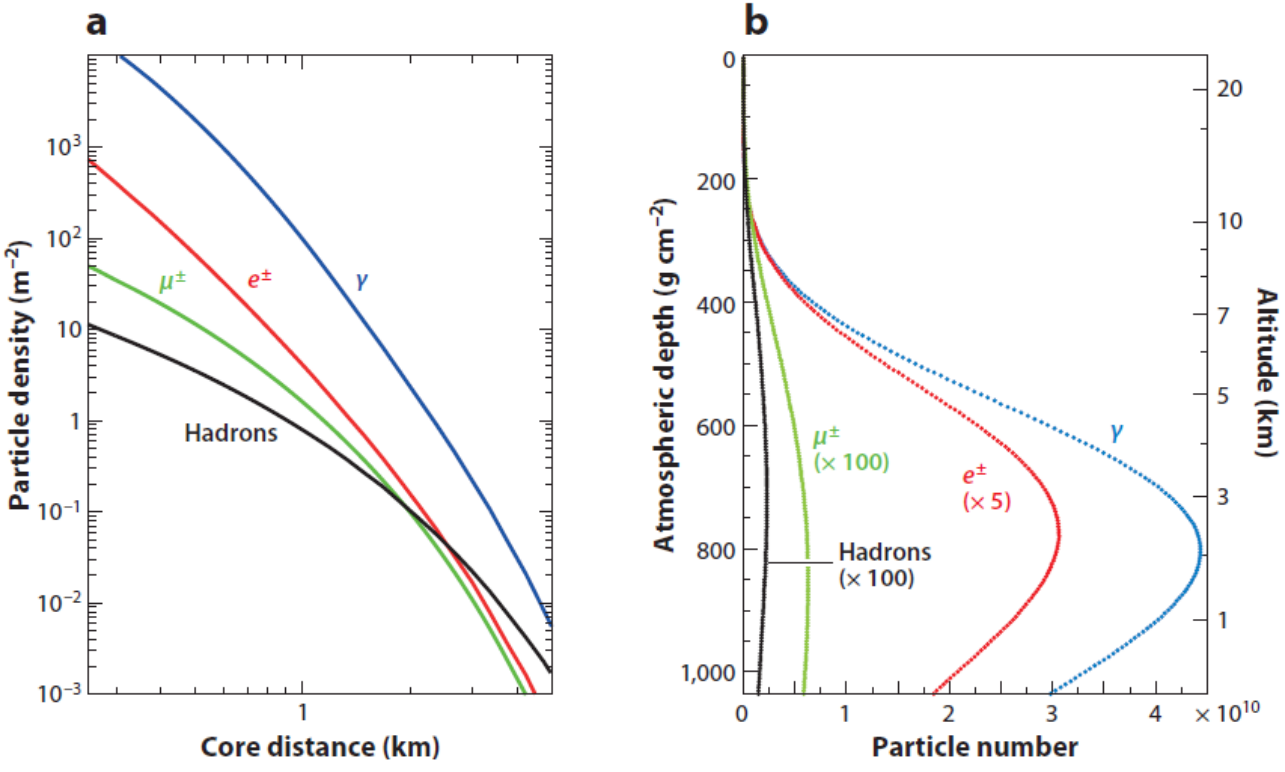
De drie cascaden



Cascade 100 TeV proton



Cascade 10^{19} eV proton



Effect op aarde

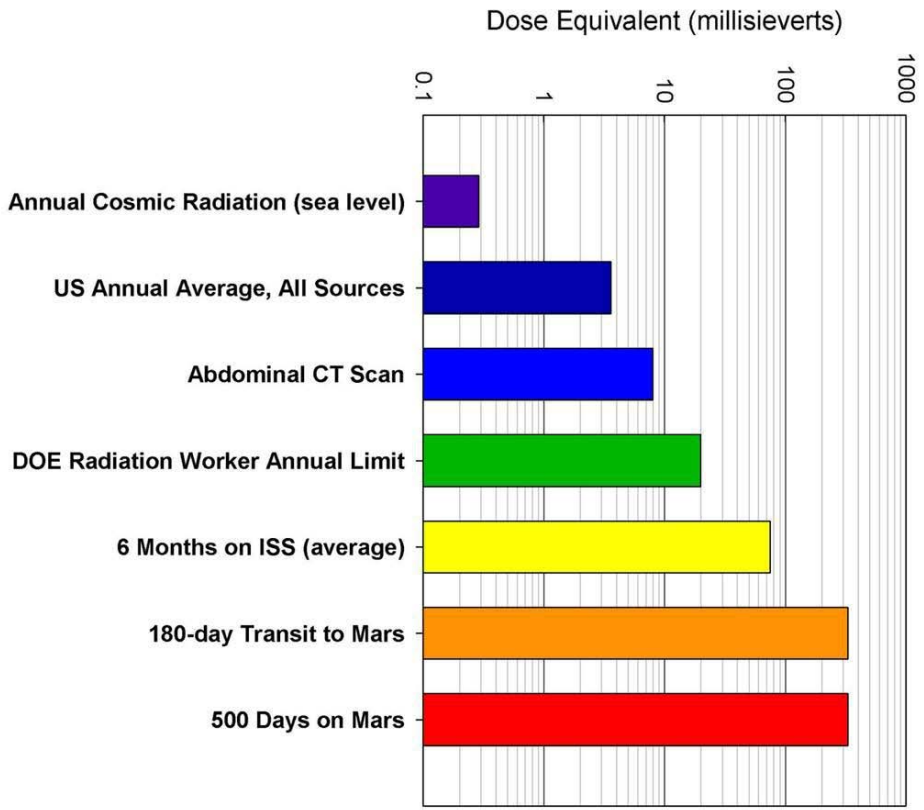
Op zeeniveau merken we niet veel van "kosmische straling" (denk aan Hess).

Wanneer de energie van een kosmische straal meer dan 10^{14} eV is, kunnen secondaire deeltjes het aard oppervlak bereiken.

Maar, de flux van deze deeltjes is slechts een (1) per m^2 per kwartaal.

En deze flux neemt sterk af als functie van de energie.

Effect op aarde in mSv yr^{-1}



Maatschappelijke effecten

Met toenemende miniaturisering van elektronica, de enorme rol van ICT in onze maatschappij, nemen de kansen op systeem falen snel toe.

Bijvoorbeeld:

1. Zelf-sturende auto’s en vliegtuigen (drones)
2. Apparatuur voor gezondheid (therapie en monitoring)
3. Basis infrastructuur (communicatie en stroom voorziening)
4. . . .

Maatschappelijke effecten

