

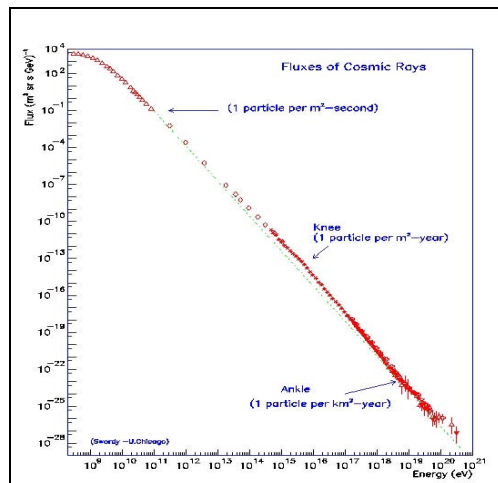
Ontdekking van kosmische straling

1.3 Bronnen

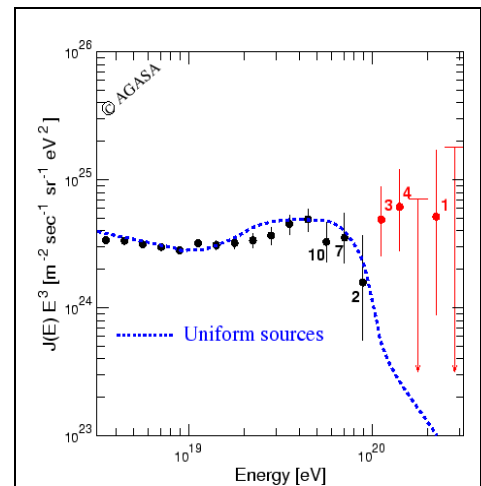
De Aarde wordt voortdurend gebombardeerd door deeltjes uit de ruimte: kosmische straling. Dit zijn vooral neutrino's en waterstofkernen (protonen), maar daarnaast regenen ook zwaardere atoomkernen op ons neer.

Metingen aan kosmische straling wijzen uit dat de energie van deze geladen atoomkernen (en/of protonen) varieert van minder dan 10^9 tot 10^{20} eV. Bij toenemende energie neemt de waargenomen deeltjesstroom zeer snel af, zoals weergegeven in figuur 1. De oorsprong van de geladen deeltjes is divers. Een aanzienlijke stroom van protonen en lichte atoomkernen met energie in het gebied van MeV's tot GeV's per nucleon is afkomstig van de Zon. De intensiteit van deze zogenoemde zonnewind is variabel en wordt tegenwoordig uitvoerig in de gaten gehouden door satellieten, onder andere vanwege zijn invloed op het functioneren van telecommunicatienetwerken. De deeltjes met hogere energie tot ongeveer 10^{15} eV per nucleon komen uit ons eigen Melkwegstelsel. Ze worden bijvoorbeeld geproduceerd in schokgolven rond supernova's.

Een klein aantal deeltjes is versneld tot een energie van minimaal 10^{19} eV, en waarschijnlijk tot boven de 10^{20} eV (ofwel meer dan 10 joule). De vraag hoe en waar een dergelijke energie bereikt kan worden is op dit moment niet beantwoord. Bronnen van kosmische straling zoals supernovaresten, actieve melkwegstelsels en neutronensterren zijn, voor zover bekend, niet in staat om 10^{20} eV aan energie in één enkel deeltje te stoppen.



Figuur 1 – Gemeten deeltjesstroom in kosmische straling (verticaal) als functie van de energie van de deeltjes (horizontaal). Het vrijwel lineaire verband in dit dubbellogaritmisch diagram geeft aan dat het waargenomen aantal deeltjes afneemt met hun energie tot ruwweg de derde macht. In figuur 2 is dit diagram voor alleen de deeltjes met de allerhoogste energie (rechtsonder in het diagram) op een andere manier weergegeven.



Figuur 2 – Waarnemingen van het AGASA-experiment in Japan. Het aantal waargenomen detecties van hoogenergetische deeltjes (verticaal) is geschaald met hun energie tot de derde macht om een redelijk vlakke grafiek te krijgen. De streeplijn geeft de theoretische verwachting. De getallen bij de laatste punten geven de echte aantallen detecties in de verschillende energiegebieden.

Daarnaast bestaat de vraag hoe deze straling ons kan bereiken. Deze vraag vindt haar oorsprong in de 2,7 K achtergrondstraling, die de ruimte vult. Per kubieke centimeter zijn er ongeveer vierhonderd fotonen als overblijfselen van de oerknal waarbij het heelal ontstond. Deze fotonen hebben een energie die overeenkomt met een temperatuur van ongeveer 2,7 K. Als zeer hoogenergetische protonen of atoomkernen door de ruimte reizen, vinden er reacties plaats tussen de kernen en deze fotonen. Als protonen een energie van 10^{20} eV hebben, is er genoeg energie om hen uiteen te laten vallen in protonen en instabiele pionen. De resulterende protonen hebben uiteraard aanzienlijk veel minder energie. Ook atoomkernen reageren met de achtergrondstraling en vallen uiteen. Deze reacties zorgen ervoor dat de energie van de kernen afneemt. Na een afstand van ongeveer 100 Mpc blijft

er iets minder dan 10^{20} eV over, onafhankelijk van de beginwaarde van de energie. Dit effect werd voor het eerst beschreven door Greisen en onafhankelijk hiervan door Zatsepin en Kuzmin, en heet daarom het GZK-effect.

Op Aarde kunnen er dus niet (of nauwelijks) deeltjes boven de GZK-drempel worden waargenomen. Het AGASA-experiment in Japan, het grootste tot nu toe uitgevoerde experiment, heeft deze deeltjes wel waargenomen. In het diagram van figuur 2 is te zien dat er vanaf een energie van 10^{20} eV een duidelijke afwijking tussen de waarnemingen en de theorie zichtbaar is: er worden in dit energiegebied meer deeltjes waargenomen dan verwacht. Dit betekent dat deze deeltjes binnen een afstand van 100 Mpc moeten worden geproduceerd, maar bronnen zijn tot nu toe niet bekend. Het aantal waargenomen detecties is bovendien niet erg groot. Dit maakt het moeilijk om een of meerdere richtingen aan te geven waaruit de straling afkomstig kan zijn. Een andere moeilijkheid bij het zoeken naar de oorsprong van deze hoogenergetische geladen deeltjes in de kosmische straling is dat ze worden afgebogen door de zwakke maar uitgestrekte magnetische velden in de kosmos. Alleen van de deeltjes met de allerhoogste energie kan de richting waaruit ze komen mogelijk informatie bevatten over de bron.

- 1 De op Aarde waargenomen deeltjes in kosmische straling met een energie van meer dan 10^{20} eV moeten afkomstig zijn van een bron binnen een afstand van 100 Mpc of $100 \cdot 10^6$ pc.
 - De pc (voluit: parsec) is een door astronomen gebruikte lengte-eenheid. Zoek uit hoe groot deze eenheid is, uitgedrukt in km en in lichtjaar.
 - Waar kunnen de bronnen van hoog-energetische kosmische straling (met een energie van meer dan 10^{20} eV) zich bevinden: is dat beperkt tot ergens in ons Melkwegstelsel of kunnen die bronnen ook in andere sterrenstelsels liggen? Licht je antwoord toe.

Bronnen

Charles Timmermans (2003), Kosmische straling: een ander venster op het universum. *Zenit*, juli/augustus 2003, 320-323.

Charles Timmermans, Jaap Schotanus, Bob van Eijk, Jan-Willem van Holten & Frans van Liempt (2003), Wetenschappelijk onderzoek voor scholieren. *Nederlands Tijdschrift voor Natuurkunde*, juli 2003, 230-234.