

Kosmiske humlebier

Den kosmiske stråling indeholder de mest energirige partikler, som endnu er observeret. Disse energirige partikler er meget mystiske i den forstand, at vi hverken kan forstå, hvordan de er blevet dannet, eller hvorfor de overhovedet kan observeres her på Jorden.

Af Ulrik I. Uggerhøj

Det er en velkendt myte, at humlebien er for stor og klodset til at kunne flyve, men at den ikke er klar over problemet, og derfor gør det alligevel. Om der er noget om snakken, skal jeg lade være usagt, men det er i løbet af de senere år blevet klart, at der er lignende problemer i observationer af den kosmiske stråling: Vi observerer partikler, som ikke kan komme hertil derfra, hvor vi mener, de må oprinde, og desuden kender vi ikke en troværdig mekanisme for deres produktion.

Der er tale om de mest energirige partikler, man kender til overhovedet, og vi observerer dem i den kosmiske stråling. Selv med snart 100 års udvikling af accelerators til at tilføre elementarpartikler energi, er vi stadig langt fra at kunne lave noget der bare tilnærmelsesvis ligner den energi, som kosmiske processer kan opnå. Der er således stor interesse for at forstå, hvilke processer der ligger til grund for de mest energirige kosmiske stråler.

Men der er et par problemer, der skal løses først: Hvordan bli-



Det siges om humlebien, at den ikke burde kunne flyve – men da den ikke er klar over det, gør den det alligevel! Det gælder tilsyneladende også for de mest energirige partikler i den kosmiske stråling.

ver de dannet, hvor kommer de fra, og hvordan kommer de hertil?

Rejsens umulighed

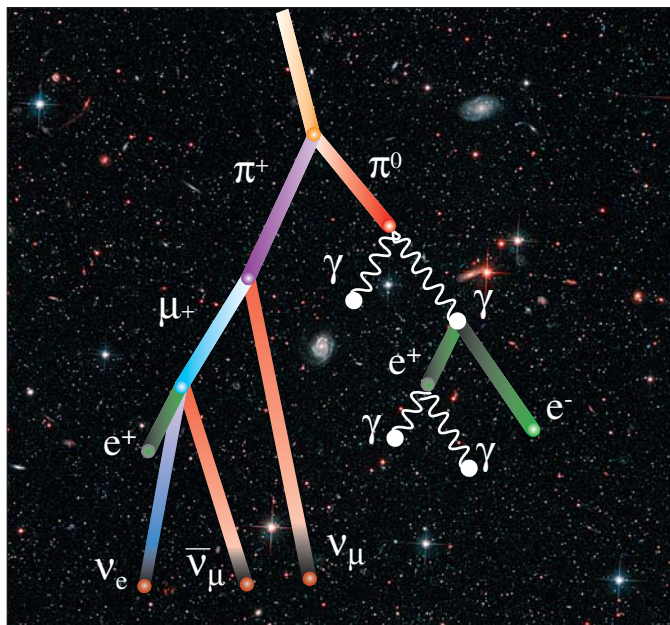
Det er med en rimelig nøjagtighed muligt at fastslå, hvorfra energirige kosmiske stråler

kommer. Hvis man afbilleder disse partiklers retning på et kort over stjernehimlen, forekommer der ingen åbenbare grupperinger. Det er derfor nærliggende at antage, at disse partiklers kilder er jævnt fordelt

henover himlen. Idet man ved selvsyn kan konstatere, at vores egen galakse, Mælkevejen, fylder et relativt snævert område på himmelsfæren kan man konkludere, at disse partikler må stamme fra steder uden for Mælkevejen. Tilsvarende argumenter fører til konklusionen, at de ikke kan stamme fra vores egen galaksehob.

Universet er fyldt med forskellige typer af stråling, som f.eks. den kosmiske baggrundsstråling, infrarød stråling eller radiobølger. En partikel, der rejser gennem rummet, kan vekselvirke med (eller "ramme") strålingen, og derved skabe nye partikler eller selv blive omdannet som følge af kollisionen.

På denne måde enten taber partiklen energi eller forsvinder helt, idet den f.eks. bliver til en ny type partikel med en mindre energi. Hvis f.eks. en proton med en energi på knapt 10^{20} eV (se boks) vekselvirker med den kosmiske baggrundsstråling, kan der således ske en omdannelse til en tung partikel, kaldet en "delta". Sandsynligheden for denne proces afhænger af, hvor



De fleste kosmiske stråler, der rammer Jordens atmosfære, består af energirige protoner. Når de rammer et af luftens atomer, omskæbnes en del af deres kinetiske energi til nye partikler og antipartikler ud fra Einsteins berømte ligning $E=mc^2$. Disse partikler kan igen skabe nye, og der udvikles derved ved gentagne processer en kosmisk byge med op til mange hundrede milliarder partikler.

langt protonen rejser gennem den kosmiske baggrundsstråling. Hvis protonen oprinder fra et sted uden for vores egen galaksehob, er det så at sige sikkert, at den ikke vil kunne nå intakt frem til Jorden. Tilsvarende konklusioner gælder for fotoner og store atomkerner, der forsvinder ved kollisioner med f.eks. den kosmiske infrarøde stråling.

Når en partikel har en energi af en vis størrelse, vil de nævnte effekter forhindre partiklernes rejse – og denne grænseværdi kalder man GZK-afskæringen, efter forbogsstaverne i opdagerens navne. På grafen (øverst) ser man de observerede partiklers hyppighed som funktion af deres energi og den forventede GZK-afskæring. Det fremgår, at der er observeret temmelig mange af disse energirige og uforklarlige partikler.

Produktionens umulighed

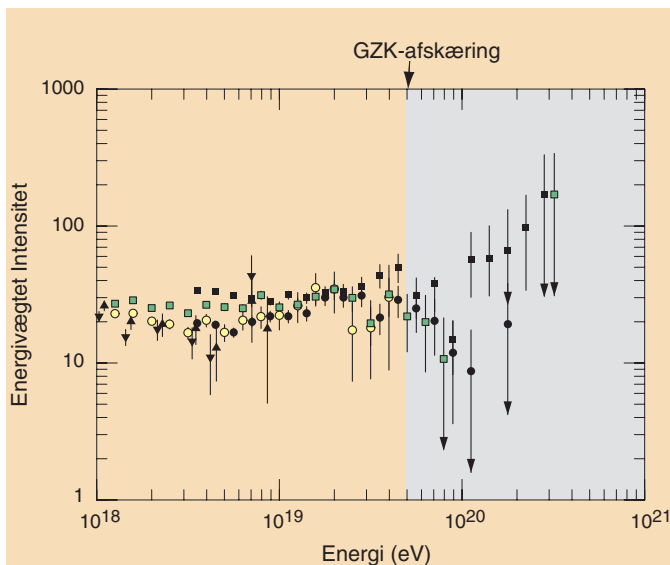
I 1949 lagde den italienske fysiker Enrico Fermi fundamentet til forståelsen af de processer, der kan accelerere de kosmiske ladede partikler, og han forklarede i stor udstrækning sam-

menhængen mellem hyppigheden og energien. Imidlertid kan Fermis forslag ikke forklare, hvordan de mest energirige partikler kan produceres. Man må derfor ty til andre forklaringer.

En af de mere troværdige nye forklaringer er, at ladede partikler bliver accelereret i nærheden af de såkaldte "gamma-glimt". Disse begivenheder, der f.eks. kan oprinde fra kollisioner mellem neutronstjerner eller mellem sorte huller, udsender voldsomme mængder af energi i form af stråling, og de kan muligvis producere partikler med energier nær den rette størrelsesorden.

En anden forklaring kunne være, at der eksisterer hidtil ukendte super-massive partikler, der meget betegnende kaldes X-partikler. Disse X-partikler kan henfalde og sende meget energirige partikler ud, som en del af det, de henfalder til.

Denne mekanisme er faktisk ikke grebet ud af den blå luft – den asymmetri mellem partikler og antipartikler, der observeres i Universet, skyldes muligvis også super-tunge, ukendte partikler



Et udsnit af intensiteten af kosmiske stråler med ultra-høj energi som funktion af deres energi. Punkterne viser resultaterne fra forskellige eksperimenter samt usikkerheden på målingen, der er vist med en linie. Det ses tydeligt, at der er observeret mange "uforklarlige" begivenheder med en energi over den såkaldte GZK-afskæring på ca. 5×10^{19} eV (punkterne i det grå område).

Energier og hyppigheder

For at beskrive de fleste hverdagsfænomener er Joule en passende energienhed; en almindelig stuelampe bruger således 60 Joule per sekund (60 Watt). Når man taler om atomer, findes der derimod en mere relevant enhed, der benævnes elektronvolt (eV), idet strålingsovergange i atomer typisk ligger i området 1-100.000 eV. Enheden elektronvolt er den bevægelsesenergi en elektron opnår gennem et spændingsfald på 1 Volt (deraf navnet), og en eV svarer til $1,6 \cdot 10^{-19}$ Joule. Der er altså en gigantisk forskel mellem de to enheder, som afspejler størrelsesforholdene mellem de systemer, de hver især er relevante for. De mest energirige partikler, der kan produceres kunstigt i accelerators, har energier på 10^{12} eV eller knap 0,1 mikro-Joule. Derimod havde den mest energirige kosmiske partikel, der til dato er observeret, en energi på $3 \cdot 10^{21}$ eV eller ca. 200 Joule. Dette svarer omtrent til energien i tennisbolden efter en serv fra Boris Becker (i hans velmagts dage!), men deponeret i en elementarpartikel, der er ca. 10^{29} gange lettere!

Ufarlig måneskinstur

Nu skal man ikke gå rundt med en evig frygt for at få denne slags partikler i nakken, når man går måneskinstur – de er for det første meget sjældne, og for det andet vil de aldrig nå jordoverfladen intakte, men derimod typisk dele deres energi med flere hundrede milliarder partikler i atmosfæren. Man har længe kendt sammensætningen af den kosmiske stråling ved relativt lave energier, og som en tommelfingerregel falder hyppigheden med en faktor 1000, for hver gang energien øges med en faktor 10. Således rammes Jorden af 1 partikel pr. kvadratmeter pr. år for energier over 10^{16} eV, mens denne indstrømning er reduceret til 1 partikel pr. kvadratkilometer pr. år for energier over 10^{18} eV. Så selv hvis de kunne nå frem til jordoverfladen ville sandsynligheden for at blive ramt af en "Boris Becker serv" i løbet af ens levetid være uhyre lille.

Det er selvfølgelig rart, at man i givet fald skulle være ufatteligt uheldig for at blive ramt, men det er imidlertid ret generende for dem, der skal konstruere en detektor for at se/måle partiklerne. Man er nødt til at bruge meget store detektorer og meget lange observationstider.



Foto: Pierre Auger Observatory

En af Pierre Auger Observatoriets ca. 1600 partikel-detektorer.

Den kosmiske stråling

Den kosmiske stråling indeholder mange forskellige slags partikler som f.eks. protoner, fotoner (lyspartikler) eller store atomkerner. De oprindelige partikler til de byger, vi observerer, kan stamme fra Solen, Mælkevejen, vores egen galaksehob eller sågar fra endnu fjernere egne af Universet. Når en sådan energirig partikel rammer et atom i den øverste del af Jordens atmosfære "smadres" atomet og dets kerne fuldstændigt. De derved dannede partikler, som ligeledes er energirige, kan ramme atomer længere nede i atmosfæren og denne lavine-proces kan fortsætte indtil jordoverfladen er nået. Ved bl.a. at måle antallet af partikler og udstrækningen af partikelbygen, kan man udlede, hvad energien af den oprindelige partikel var.

Denne kosmiske stråling blev opdaget i begyndelsen af de tyvende århundrede og udgør ca. 25 % af den naturlige baggrundsstråling.

I en kosmisk byge kan indgå adskillige usædvanlige partikler som f.eks. myoner (μ^+ , μ^-), pioner (π^+ , π^-) og positroner (e^+). Opdagelsen af den første antipartikel, positronen, i 1932 var i den kosmiske stråling, og der spekuleres i dag på, om der er en forbindelse mellem klimaet og den kosmiske stråling.

Pierre Auger Observatoriet

I det vestlige Argentina er et kæmpe-laboratorium til måling af energirige kosmiske stråler under opbygning. Observatoriet består i hovedsagen af 1600 separate partikeldetektorer, som er spredt ud over et område på størrelse med Fyn i det vestlige Argentina. Hver detektor består i princippet af en tank fyldt med vand. Det er fuldkommen mørkt i disse tanke – undtagen, når en energirig kosmisk partikel passerer igennem. Den elektromagnetiske chokbølge fra en sådan partikel vil nemlig producere et kortvarigt lysglimt (såkaldt Cherenkov-lys), som kan opfanges af lysfølsomme detektorer.

Ved en byge af kosmiske partikler vil man kunne registrere næsten samtidige lysglimt i fem eller flere tanke, og mængden af det målte lys afslører energien af den primære kosmiske stråle. Ud fra små forskelle i tidspunktet for de registrerede målinger i de enkelte tanke, kan man bestemme, fra hvilken retning den kosmiske stråle kom.

Desuden er der opsat en række optiske detektorer, som overvåger atmosfæren over området om natten. De skal

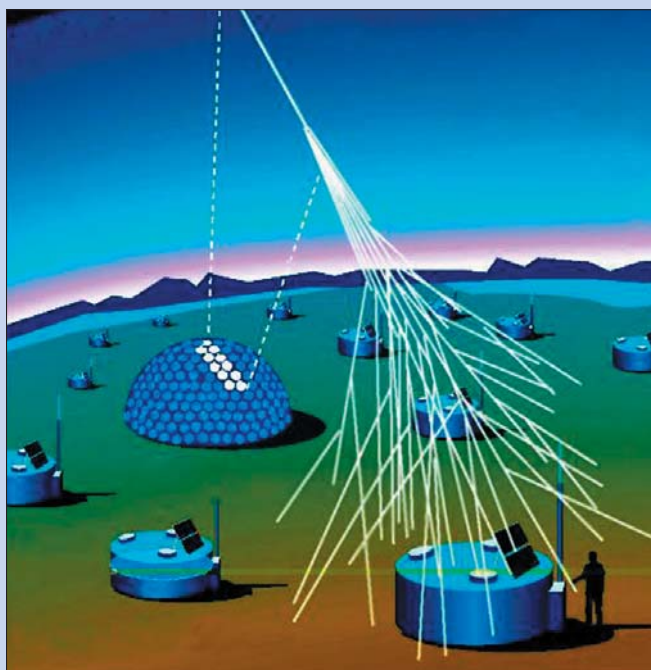


Illustration af observatoriet i funktion med måling af kosmiske partikler.

måle fluorescens fra kvælstof i atmosfæren. En eventuel byge af kosmiske partikler vil få kvælstoffet til at fluorescere. Detektorerne ser så noget, der ligner en "UV-

lampe", der daler med lysets hastighed gennem atmosfæren. Pierre Auger Observatoriet er altså en "hybrid detektor" med flere typer af detektorer.

ligeledes kaldet X.

Der er dog ikke bred enighed om, hvordan partiklerne opnår så høje energier, som der faktisk bliver observeret, og selv de "vildeste" bud på relevante mekanismer ligger en faktor 10 eller mere for lavt. Det er således nærliggende at tale om en slags kosmiske humlebier – vi ser dem, men vi forstår ikke, hvordan de kan flyve – og heller ikke, hvordan de bliver skabt.

Universets højeste energier

Men hvorfor i det hele taget beskæftige sig med de mest energirige partikler? Hvad nyt kan vi lære af at studere dem?

Den til dato højeste observerede energi af en kosmisk partikel er på $3 \cdot 10^{21}$ eV (ca. 200J), dvs. godt en milliard gange højere end energien for kunstigt accelererede partikler (se boks). Nu er der den lille detalje, at de manipulerede partikler i en accelerator kan tvinges til kollision med modsat rettede bevægelser, hvad der i sagens natur ikke er muligt for kosmiske stråler. Med kosmiske partikler kan man nemlig hverken afgøre, hvornår, hvor hurtigt eller hvorfra de kommer, før det hele er overstået. Derfor er det altså muligt med tekniske midler at komme lidt nærmere de kosmiske strålers energier, til

(Illustration: Pierre Auger Observatory)

en energi svarende til omkring 10^{14} eV.

Selv med næste generations accelerator, LHC, som i øjeblikket er under opbygning på det fælleseuropæiske forskningscenter, CERN, vil man "kun" kunne nå energier svarende til ca. 10^{16} eV. Der vil altså stadig være et stort gab i energi mellem de kosmiske partikler og dem, vi kan frembringe på Jorden.

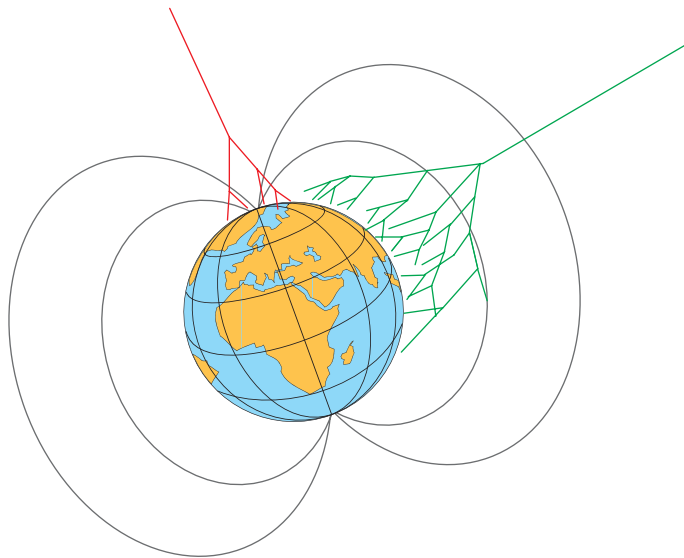
Man håber således på at kunne observere hidtil usete, men postulerede, partikler i den kosmiske stråling, og lære et eller andet om de mekanismer, der er ansvarlige for energikoncentrationer af denne størrelse.

Nye, hidtil ukendte partikler?

Som nævnt er en mulig forklaring på de højeste energier af de kosmiske partikler, at de stammer fra meget tunge, hidtil ukendte partikler, der kan henfalde. Der er således en chance for, ved at studere den kosmiske stråling, at få kendskab til elementarpartikler, der umuligt kan produceres på Jorden. En måde kan være ved at påvise vha. en effekt i Jordens magnetfelt, at de mest energirige partikler faktisk er fotoner (meget kortbølget lys).

Vi betragter normalt Jordens magnetfelt som værende ganske svagt, idet f.eks. feltstyrken er ca. 10.000 gange svagere end fra en stangmagnet. For en meget energirig lyspartikel (foton), af størrelsesordenen 10^{20} eV eller derover, "synes" Jordens magnetfelt derimod uhyggeligt stærkt. Faktisk så stærkt, at fotonen næsten helt sikkert vil "give op" undervejs mod Jorden og lade sin energi dele mellem en elektron og dens antipartikel, positronen, allerede inden den rammer Jordens atmosfære. Disse nydannede partikler og antipartikler vil udstråle nye fotoner med meget høj energi, hvorefter processen repeteres indtil energien af nydannede partikler eller fotoner kommer under en grænse på ca. 10^{19} eV, hvorefter Jordens magnetfelt ikke længere virker stærkt.

Denne effekt er tæt forbundet med det såkaldte Kleins para-



Kosmiske byger forårsaget af fotoner der kunne stamme fra henfaldet af X-partikler. Nær ækvator udvikles bygen (vist med grønt) tidligere end ved polerne (vist med rødt) idet magnetfeltet ikke har samme styrke og retning de to steder og fotonen har derfor forskellige sandsynligheder for at danne det første elektron-positron par.

doks, hvor en elektron i et tilstrækkelig stærkt elektrisk felt vil producere et elektron-positron par. Jo højere energi fotonen har, desto stærkere synes feltet, og hvis energien er høj nok, tvinges fotonen til at splitte op i et elektron-positron par.

Det interessante ved denne effekt er, at når en sådan kosmisk byge, der oprinder fra en foton med tilstrækkelig høj energi, observeres fra Jorden, vil dens "form" afhænge af breddegraden (se figur) for observationen. Det skyldes, at bygen begynder før Jordens atmosfære i en afstand, der afhænger af Jordens magnetfelt – og dermed af breddegraden.

På grund af denne effekt vil det således være muligt at skelne atomkerner fra fotoner ved energier, hvor fotonen sandsynligvis stammer fra henfaldet af en X-partikel. Man vil altså på denne indirekte måde kunne påvise eksistensen af partikler, der umuligt kan skabes på Jorden.

Fremtiden:

Pierre Auger Observatoriet I Argentinas sydlige del har fysikere og astronomer som nævnt konstrueret en detektor med et effektivt areal på størrelse med Fyn for at måle de sjældne, energirige partikler. Denne detektor udgør halvdelen af det

såkaldte Pierre Auger Observatorium, hvis anden halvdel skal konstrueres på den nordlige halvkugle, i USA, for med begge detektorer at kunne dække hele himlen.

De enkelte elementer består af små tanke med vand, hvori en ladet partikel vil udsende lys, hvis den passerer tilstrækkelig hurtigt. Desuden observeres himlen for et karakteristisk lys, der udsendes fra kvælstofatomer, som bliver forstyrret af gennemtrængende ladede partikler.

Pierre Auger Observatoriet, der har mere end 250 videnskabsfolk fra mange lande (dog ikke Danmark) som deltagere, er et vigtigt skridt mod en bedre forståelse af Universets mest energirige partikler, deres oprindelsessted og -mekanismer, og vi venter med spænding på de første resultater, der forventes i løbet af et par år.

Der søges i skrivende stund med lys og lygte efter forklaringer på, hvad de mest energirige kosmiske stråler er lavet af, hvordan de opnår sådanne energier, og hvordan de kan komme hertil. Det er bl.a. foreslået, at såkaldte "strangelets" (kerner bestående såvel af normale som eksotiske quarker) eller "magnetarar" (uhyre stærkt magnetiserede neutronstjerner), kan forklare observationerne. ■



Om forfatteren

Ulrik Uggerhøj er Steno-stipendiat ved Institut for Fysik og Astronomi
Tlf.: 8942 3738
E-post: ulrik@phys.au.dk

Videre læsning:

Om magnetarar, *Scientific American*, Feb. 2003

Fra *Aktuel Naturvidenskab*:
Om Kleins paradox, nr. 2, 2002 (U. Uggerhøj)
Om antipartikler, nr. 6, 2001 (H. Knudsen og U. Uggerhøj)
Om strangelets, nr. 6, 2001 (J. Madsen)
Om Klima og Kosmisk stråling, nr. 1, 2003 (Sune Norderoft)

Om Pierre Auger Observatoriet: www.auger.org