

MARIA GILLER

*Katedra Fizyki Doświadczalnej
Uniwersytet Łódzki
Pomorska 149/153, 90-236 Łódź
e-mail: mgiller@kfd2.phys.uni.lodz.pl*

CO TO SĄ PROMIENIE KOSMICZNE?

Nie każdy wie, że przez nasze ciało przeleci w każdej sekundzie około 10 cząstek elementarnych (mionów) z ogromną prędkością, bliską prędkości światła, tzn 300 tysięcy km/s. Miony różnią się od elektronów tylko tym, że są od nich około 200 razy cięższe i nie są cząstkami trwałymi. Skąd się w takim razie biorą?

Przyczyną ich ciągłego powstawania są promienie kosmiczne. Czasem używa się określenia „promieniowanie kosmiczne”, co może się kojarzyć z promieniowaniem elektromagnetycznym (takim, jakim jest np. światło lub fale radiowe). Promienie kosmiczne nie są jednak promieniowaniem elektromagnetycznym, lecz cząstkami, które docierają do nas z poza Układu Słonecznego; a skąd dokładnie – tego nie wiemy.

Są to obdarte z elektronów jądra różnych pierwiastków: głównie protony (jądra wodoru), cząstki alfa (jądra helu) oraz jądra cięższe od nich (zawierające więcej protonów i neutronów). Z przestrzeni kosmicznej docierają do powierzchni atmosfery również elektrony, jednak ich strumień jest znacznie mniejszy (stanowi kilka procent strumienia jąder) i zwykle mówiąc „promienie kosmiczne” ma się na myśli jądra pierwiastków.

Wiemy to wszystko, bo wysyłając aparaturę pomiarową wysoko w atmosferę lub w ogóle poza nią, możemy zmierzyć ładunek elektryczny oraz masę cząstki, która wpada do detektora (a ładunek elektryczny jądra określa przecież, jaki to jest pierwiastek). Można by pomyśleć, że kierunek, z którego przychodzi cząstka (a można go też zmierzyć), pokazuje nam na miejsce jej powstania w Kosmosie. Niestety, promienie kosmiczne

przychodzą do nas z każdego kierunku praktycznie jednakowo (izotropowo). A przecież nasza Galaktyka, Droga Mleczna, nie jest kulą lecz płaskim, spiralnym tworem, a my nie znajdujemy się w jej środku, ale dość na uboczu. Rozumiemy jednak dlaczego tak jest: otóż promienie kosmiczne to cząstki naładowane elektrycznie, a więc działają na nie siły w polu elektrycznym i magnetycznym. W przestrzeni międzygwiazdowej w naszej Galaktyce istnieje pole magnetyczne, które odchyła kierunki ruchu cząstek. A ponieważ jest ono dosyć nieregularne, więc tor cząstki powstałej gdzieś w Galaktyce jest chaotyczny i docierając do Ziemi cząstka „gubi” zupełnie swój początkowy kierunek. I dlatego tak trudno jest ustalić, skąd się te cząstki biorą. Jednakże efekt działania pola magnetycznego maleje wraz ze wzrostem energii cząstki, tak że promienie kosmiczne o skrajnie wysokich energiach powinny (?) już przychodzić z kierunków wskazujących na ich źródło (do tego ważnego problemu jeszcze wrócimy).

Detektory naładowanych cząstek potrafią zmierzyć też ich energie. Otóż okazuje się, że energie, jaką posiadają cząstki kosmiczne są ogromne: cząstki powstałe na Ziemi w rozpadach radioaktywnych (elektrony, pozytrony, cząstki alfa, kwanty gamma) mają najwyższe energie rzędu 10^7 elektronowoltów (eV), co odpowiada najniższym energiom promieni kosmicznych ($1 \text{ eV} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ J}$). Najwięcej cząstek kosmicznych jest właśnie tych najniższej energetycznych, a im wyższa energia cząstki, tym ich strumień gwałtownie maleje: liczba cząstek kosmicznych powyżej energii 10^9 eV , padających na 1 m^2 w ciągu 1 s wynosi około 15 tysięcy, podczas gdy tych o skraj-

nie wysokich energiach, powyżej 10^{19} eV, jest kilka na km^2 na 100 lat, czyli około 10^{20} razy mniej! Jak było możliwe to zmierzyć? Przecież 100 lat temu nie wysłaliśmy aparatury o powierzchni $1 \text{ km} \times 1 \text{ km}$ ponad atmosferę, aby zarejestrować te kilka cząstek! Nie.

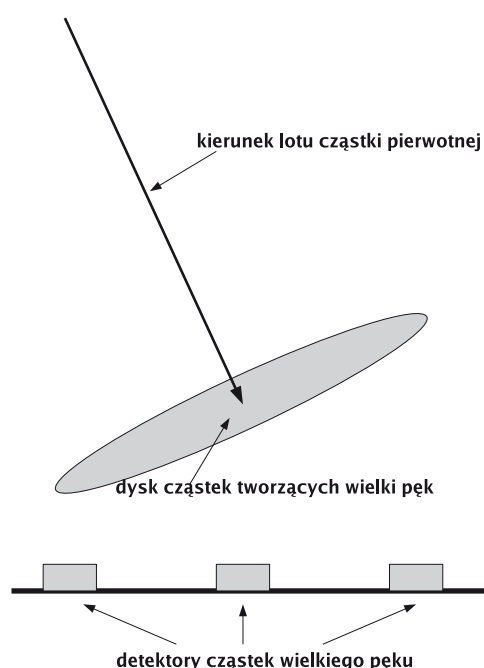
Promienie kosmiczne można badać bezpośrednio (tzn. rejestrować w detektorze) tylko wtedy, gdy mają energie względnie małe (mniejsze niż około 10^{14} eV), gdyż wówczas ich strumień jest wystarczająco duży, aby detektory mogły go zmierzyć. Do stratosfery wysyła się balony z aparaturą o powierzchni rzędu 1 m^2 , które mogą latać obecnie nawet 40 dni. Tak długi czas lotu osiąga się puszczając balon w pobliżu bieguna południowego na Antarktydzie, a wiejące tam wiatry powodują, że utrzymuje się on na stałej wysokości ok. 40 km, okrążając biegun, tak że można go ściągnąć na Ziemię w miejscu wysłania. Wysyła się też satelity, które wprawdzie mogą pomieścić aparaturę o mniejszej powierzchni niż balony, ale za to ich czas pracy jest znacznie dłuższy. W tym roku mija 20 lat od czasu wysłania przez Amerykanów do Układu Słonecznego satelitów Voyager 1 i 2, które cały czas rejestrują promienie kosmiczne o małych energiach i wysyłają dane na Ziemię.

Skąd w takim razie wiemy, że do atmosfery docierają cząstki kosmiczne o energiach wyższych niż obserwowane w tych eksperymentach? Aby to wyjaśnić, musimy najpierw opowiedzieć co dzieje się, gdy cząstka kosmiczna wpada do atmosfery. W jej górnych warstwach zderza się z atomem (ściślej – jądrem) azotu lub tlenu. Zderzenie to jest wynikiem oddziaływania jądrowego (najsilniejszego jakie znamy) tych dwóch cząstek. Jeśli energia kosmicznego jądra jest niezbyt duża, to od jąder odłupane zostanie parę nukleonów (protonów lub neutronów), a reszta leci dalej, zderzając się z atmosferą i tracąc dalsze nukleony. Jeśli jednak energia cząstki kosmicznej jest duża, to w zderzeniu powstają nowe cząstki (stracona część energii kinetycznej padającej cząstki pojawia się w postaci mas i energii kinetycznych nowych cząstek, zgodnie z najsłynniejszym równaniem Einsteina $E = mc^2$). Jeśli pierwotną cząstką był proton, to lecąc dalej w atmosferze oddziałuje on w taki sposób kilkanaście razy, zanim utknie w Ziemi. Jeśli pierwotną cząstką było jądro, to w trakcie zderzeń z powietrzem rozsypuje się ono na poszczególne nukleony, produkując również nowe cząstki. Nowoutworzone cząstki, głównie tzw. me-

zony π , lub po prostu piony, też oddziałują silnie i zderzając się z jądrami powietrza produkują dalsze nowe cząstki, też głównie piony. (Część z nich rozpada się na miony i neutrino, i stąd biorą się bombardujące nas miony, o których wspomnieliśmy na początku). W ten sposób narasta tzw. kaskada jądrowa. Jest ona trzonem, na którym tworzy się dużo większa kaskada elektronów, pozytronów i kwantów promieniowania (pozytron jest antycząstką elektronu, ma ładunek elektryczny dodatni). Biorą się one stąd, że mezony π^0 (piony nienaładowane elektrycznie) są niezwykle nietrwałe (żyją około 10 miliardów razy krócej niż piony naładowane π^+ i π^- !) i natychmiast rozpadają się na dwa kwanty promieniowania (znowu kłania się Einstein). Te z kolei, po kilkuset metrach (średnio) zamieniają się w pobliżu jąder powietrza w parę elektron-pozytron (i znowu Einstein). Każda z tych cząstek wysyła szybko nowy kwant promieniowania, który tworzy parę elektron-pozytron, a każdy z nich wysyła znowu kwant promieniowania, który..... itd. Tak rośnie kaskada elektromagnetyczna, zwana tak gdyż siły, które są odpowiedzialne za jej powstawanie, to nie siły jądrowe, lecz elektromagnetyczne. Jeśli energia pierwotnej cząstki jest większa niż około 10^{14} eV, to cząstki tej kaskady docierają do Ziemi, a jeśli jest mniejsza to zdążą rozproszyć swoją energię w atmosferze i do Ziemi nie dotrą.

Całe to zjawisko powstania wielkiej kaskady cząstek, wytworzonych przez jedną cząstkę kosmiczną i docierających jednocześnie do Ziemi, nazywa się wielkim pękiem atmosferycznym. (Badania wielkich pęków atmosferycznych zapoczątkował po wojnie, w Łodzi prof. Aleksander Zawadzki). Oczywiście im większa jest energia cząstki pierwotnej, tym więcej cząstek jest w pęku. Największe pęki jakie się obserwuje zawierają dziesiątki miliardów cząstek, padających na Ziemię praktycznie z prędkością światła, w postaci cienkiego dysku o promieniu około 3–5 km. Większość pęków powstaje z cząstek padających pod pewnym kątem do zenitu, tak że dysk powstających cząstek (prostopadły do toru cząstki pierwotnej) jest nachylony do powierzchni Ziemi (Ryc. 1). Jeśli rozstawić na niej detektory naładowanych cząstek, to najpierw zostaną trafione te, na które padnie dolna część dysku, a najpóźniej te, na które górna.

Różnica czasów (dziesiątki, setki nanosekund, zależnie od odległości pomiędzy detektorami) pozwala wyznaczyć kierunek przy-



Ryc. 1. Wielki pęk jest dyskiem cząstek, wytworzonych w atmosferze przez jedną cząstkę kosmiczną o wielkiej energii. Detektory rozłożone na powierzchni Ziemi rejestrują po kolei (najpierw te z lewej) przejście dysku. Z różnic pomiędzy czasami rejestracji cząstek można określić kierunek przyścia cząstki kosmicznej.

Ścieżka cząstki kosmicznej (w zasadzie wystarczą czasy rejestracji dysku przez trzy detektory nie leżące na jednej prostej, aby ten kierunek wyznaczyć). Rycina 2 przedstawia układ 196 detektorów (eksperyment KASCADE w Karlsruhe w Niemczech), rozłożonych co 13 m na powierzchni $200\text{ m} \times 200\text{ m}$. Aparatura taka stanowi powierzchnię detekcyjną dla pierwotnych promieni kosmicznych równą około $40\,000\text{ m}^2$, a więc 40 000 razy większą niż typowa powierzchnia przyrządów na balonach. A w dodatku czas pracy aparatury naziemnej jest dalsze dwa rzędy wielkości ($\sim 10^2$) większy, niż tej na balonie. Tak więc aparatury rejestrujące wielkie pęki są w stanie mierzyć znacznie mniejsze strumienie cząstek pierwotnych. Oczywiście cena, jaką za to się płaci jest dość duża: rejestrując wielki pęk nie wiemy, jaka cząstka go zapoczątkowała. Również jej energię można ocenić znacznie mniej dokładnie (np. z liczby cząstek na Ziemi).

Czym są detektory naładowanych cząstek w pęku? Przeważnie są to tzw. detektory scyntylacyjne. Niektóre przezroczyste substancje organiczne mają tę własność, że gdy



Ryc. 2. Widok układu detektorów w eksperymencie KASCADE, w Karlsruhe w Niemczech.

Każda widoczna budka zawiera detektor scyntylacyjny cząstek naładowanych (do rejestracji elektronów, pozytronów i kwantów w wielkim pęku), oraz, pod warstwa ołowiu i żelaza, detektor scyntylacyjny mionów.

przelatuje przez nie naładowana cząstka (np. elektron lub mion) wysyłają impuls światła. Światło to można skierować do fotopowielacza, który (dzięki zjawisku fotoelektrycznemu) zamienia je na impuls prądu. Mamy w ten sposób scyntylacyjny licznik cząstek. Takie liczniki zostały właśnie użyte we wspomnianym eksperymencie KASCADE.

Inną, tańszą metodą, jest użycie wody zamiast scyntylatora. Woda nie ma własności scyntylacyjnych, ale i w niej lecąca naładowana cząstka wysyła światło. Prędkość cząstki musi być jednak większa niż prędkość światła w wodzie, czyli około 220 tys. km/s (oczywiście nie będzie nigdy większa niż prędkość światła w próżni, czyli 300 tys. km/s). Światło, które wówczas wysyła, nazywa się promieniowaniem Czerenkowa (od nazwiska jego rosyjskiego odkrywcy), a zjawisko to jest analogiczne do wysyłania silnej fali głosowej przez samolot poruszający się z prędkością naddźwiękową.

W budowanej obecnie największej na świecie aparaturze wielkopękowej, Obserwatorium Pierre Auger w Argentynie (nazwanej tak dla uhonorowania fizyka francuskiego, który w 1936 r. odkrył zjawisko wielkiego pęku), stosuje się takie właśnie wodne detektory cząstek (Ryc. 3). Będzie ich 1600, ustawionych w odległościach 1,5 km od siebie. Całkowita powierzchnia Ziemi, którą pokryją, $3\,000\text{ km}^2$, będzie 30 razy większa niż największa do tej pory powierzchnia japońskiej



Ryc. 3. Widok obu rodzajów detektorów Obserwatorium Pierre Auger w Argentynie (Malargue w prowincji Mendoza).

Na pierwszym planie – jeden z 1600 wodnych detektorów cząstek (roztawionych co 1,5 km). W głębi, na wzgórzu, jedno z czterech „oczú”, czyli detektor światła fluorescencyjnego. Zawiera 6 teleskopów (dobrze widać, zasłonięte w ciągu dnia, wloty do trzech z nich). Z prawej – wieża radiokomunikacyjna, przesyłająca dane o pękach do stacji centralnej.

aparatury AGASA. Przewiduje się, że Obserwatorium Pierre Auger zarejestruje rocznie kilkadziesiąt wielkich pęków o energiach bliskich 10^{20} eV! Ten obszar energii promieni kosmicznych jest szczególnie ciekawy z kilku powodów.

Przede wszystkim jest wielką zagadką, w jaki sposób mikroskopowe cząstki mogą osiągać tak olbrzymie, makroskopowe energie. Energia 10^{20} eV to 16 J (dżuli), jest to więc energia kinetyczna jednokilogramowej cegły, która spadła z wysokości 1,6 m! A przypomnijmy, że masa protonu (którymi przynajmniej część tych cząstek jest) wynosi około 2×10^{-27} kg.

Nie mniej potrafimy coś przewidzieć na temat odległości, z których mogą do nas docierać te cząstki. Otóż już 40 lat temu (w 1966 r.) amerykański fizyk Kenneth Greisen oraz niezależnie dwóch fizyków rosyjskich Georgij Zacepin i Vadim Kuźmin doszli do wniosku, że promieni kosmicznych o energiach powyżej około 5×10^{19} eV w ogóle nie powinno być. Rok wcześniej bowiem fizycy amerykańscy stwierdzili, że cały Wszechświat wypełniony jest promieniowaniem radiowym o długościach fal w obszarze milimetrów, centymetrów, które jest wystygłą pozostałością po gorącym, wczesnym etapie ewolucji Wszechświata. Gdyby promienie kosmiczne o tak skrajnie wysokich energiach pochodziły z

poza naszej Galaktyki, to przebywając olbrzymie przestrzenie między galaktykami, musiałyby oddziaływać z wszechobecnym promieniowaniem mikrofalowym i tracić energię. Gdyby promienie kosmiczne powstawały w naszej Galaktyce, to wtedy mogłyby istnieć, lecz powinniśmy wówczas obserwować, że przychodzi ich więcej z kierunku Drogi Mlecznej, niż prostopadłe do niej.

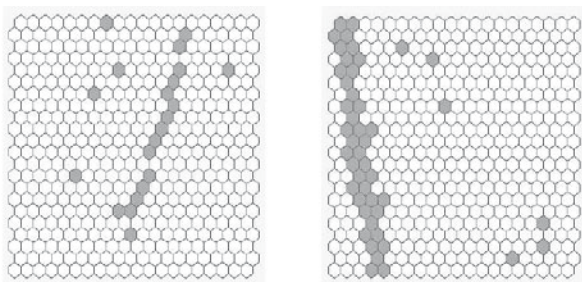
A co zaobserwowały eksperymenty dotychczas? Wspomniany już eksperyment AGASA zarejestrował kilkadziesiąt pęków o energiach powyżej granicy spodziewanego obciążenia strumienia, 5×10^{19} eV, o wiele za dużo, niż gdyby przewidywania Greisena-Zacepina-Kuźmina były prawdziwe. Natomiast eksperyment amerykański, HiRes, który stosuje inną technikę do detekcji wielkich pęków, widzi duży ubytek strumienia, z grubsza taki jakiego należałoby się spodziewać. Jest więc spora niezgodność pomiarów z obu tych eksperymentów.

Właściwie nie należy się może tak bardzo temu dziwić, gdyż wyznaczenie energii pędu nie jest sprawą prostą i opiera się na porównaniu jego własności z przewidywaniami teoretycznymi. Nie wiemy jednak dokładnie jak powinien rozwijać się pęk zapoczątkowany przez np. proton o tak skrajnie wysokiej energii. Możemy tylko zakładać coś, ekstrapolując naszą wiedzę o oddziaływaniach jądrowych przy niższych energiach, którą mamy dzięki akceleratorom.

Metoda wyznaczenia energii pierwotnej pędu, stosowana przez HiRes, jest jednak mniej czuła na te założenia i w zasadzie powinna być dokładniejsza. Opiera się ona na zjawisku pobudzania atomów azotu w atmosferze przez naładowane cząstki pędu, które to atomy, spadając na niższe poziomy energii, wysyłają we wszystkich kierunkach tzw. światło fluorescencyjne. Jest ono bardzo słabe, ale pęki zapoczątkowane przez cząstki o energiach większych niż około 10^{17} eV mają już na tyle dużą liczbę cząstek, aby światło z pobudzonych atomów azotu mogło być zarejestrowane. Jednak warunki dla wykonania pomiaru są w tym przypadku dużo bardziej wymagające niż wówczas, gdy rejestruje się cząstki pędu padające na Ziemię. Przede wszystkim błysk światła fluorescencyjnego od pędu można zarejestrować tylko w nocy, gdy Księżyc nie jest całkiem w pełni, gdy nie ma chmur i powietrze jest przeźroczyste, z dala od światła miejskich. Ogranicza to czas pomiaru do ok. 10% całego czasu. Światło ogniskuje się przy pomocy dużych zwiercia-

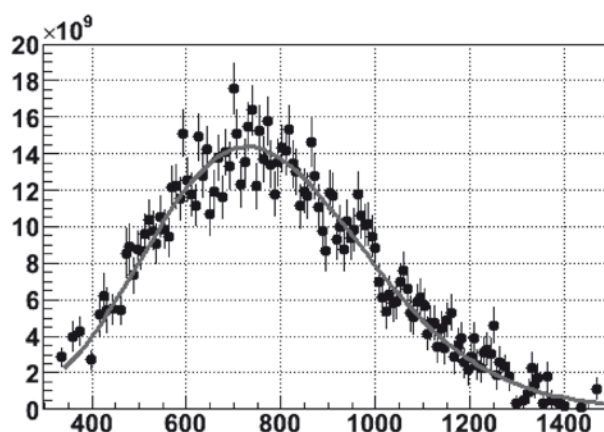
deł (2–3 m średnicy) na matrycy małych fotopowielaczy, z których każdy widzi światło przychodzące z innego kierunku. W ten sposób otrzymuje się obraz fluorescencyjny wielkiego pędu. Jeśli pęk jest daleko od takiego teleskopu (10–20 km), to obrazem pędu jest cienka, świecąca linia (dysk cząstek staje się praktycznie punktem, poruszającym się z prędkością światła przez atmosferę, Ryc. 4). Mierzac strumień światła wpadający do kolejnych fotopowielaczy, patrzących na coraz to niższe położenie dysku cząstek w atmosferze, można obliczyć ile cząstek w pęku było na każdym poziomie. Ich liczba początkowo rośnie, gdyż energie ich rozdrabniają się na coraz więcej cząstek. Ponieważ jednak cały czas energia jest przekazywana do atmosfery (jonizując jej atomy), więc na pewnym poziomie liczba ta osiąga maksimum i dalej zaczyna maleć. Jeśli widzi się cały rozwój pędu (wysoko nad jego maksimum i dużo poniżej), to można obliczyć energię pierwotnej cząstki praktycznie bez żadnych założeń.

Rycina 5 przedstawia przykład tak odtworzonego pędu, zaobserwowanego przez jeden z teleskopów eksperymentu Auger. W eksperymencie tym zostały bowiem zastosowane obie (opisane wyżej) metody rejestracji wielkich pędów: oprócz układu 1600 detektorów cząstek na poziomie Ziemi (około 1350m nad poziomem morza), buduje się cztery tzw. detektory fluorescencyjne (trzy są już gotowe), umieszczone na obrzeżach całej aparatury. Każdy z nich zawiera 6 teleskopów patrzących na atmosferę ponad detekto-



Ryc. 4. Obrazy dwóch pędów zarejestrowane przez kamerę detektora fluorescencyjnego.

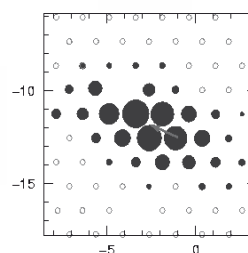
Plaster miodu to schemat 440 fotopowielaczy (o sześciokątnych okienkach), stanowiących tę kamerę. Okienka zaciemnione to te, na które padło światło fluorescencyjne, pobudzone w atmosferze przez przejście cząstek wielkiego pędu. Energia pierwotna obu cząstek kosmicznych jest prawie taka sama i równa $2,2 \times 10^{18}$ eV, ale pęk z lewej padł w odległości 10,5 km od teleskopu, natomiast pęk z prawej – 4,5 km (dlatego jego obraz jest grubszy).



Ryc. 5. Przykład liczby naładowanych cząstek w pęku w zależności od grubości drogi w atmosferze (mierzonej w $\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$).

Widać, że w maksimum pęk miał ponad 10 miliardów cząstek (elektronów i pozytronów). Obliczono to na podstawie ilości światła fluorescencyjnego, które wpadło do poszczególnych okienek teleskopu.

rami cząstek. Tak więc ok. 10% pędów, zarejestrowanych przez działające cały czas (bez względu na pogodę) wodne detektory cząstek, jest również rejestrowane przez detektory fluorescencyjne. Ponieważ dla tej części pędów energia pierwotna zmierzona jest w sposób niezależny od założeń o nieznanymi własnościach oddziaływań jądrowych, więc resztę pędów (dla których mamy tylko informacje o liczbie cząstek na poziomie obserwacji) można wycechować przy pomocy tych pierwszych i też wyznaczyć ich ener-



Ryc. 6. Przykład rejestracji wielkiego pędu przez eksperyment Auger – widok z góry detektorów cząstek.

Skala na osiach jest w kilometrach. Pełne czarne kółka to trafione detektory. Średnica kółka jest proporcjonalna do liczby cząstek, które padły na dany detektor. Strzałka (w środku) pokazuje rzut kierunku przyścia pędu (a więc i cząstki kosmicznej). Kąt tego kierunku z pionem wynosi tu 60° . Energia pierwotnej cząstki kosmicznej została oceniona na $\sim 8,6 \times 10^{19}$ eV, a więc powyżej spodziewanego obciążenia!

gię. Rycina 6 przedstawia część powierzchni pokrytej detektorami cząstek, na którą padł wielki pęk. Detektory trafione przez cząstki wielkiego pęku to te zaznaczone na czarno (patrz podpis pod rysunkiem).

W Polsce są obecnie dwa ośrodki, które biorą udział w eksperymencie Auger: Katedra Fizyki Doświadczalnej w Uniwersytecie Łódzkim oraz

Instytut Fizyki Jądrowej w Krakowie. Zajmujemy się detektorami fluorescencyjnymi: projektowaniem układów elektronicznych rozpoznających obraz wielkiego pęku oraz opracowaniem programów komputerowych, obliczających własności pęku na podstawie jego obrazu.

Mimo że eksperyment Auger nie jest jeszcze całkowicie ukończony, od dwóch lat rejestruje przypadki wielkich pęków. Na razie ich liczba nie jest wystarczająco duża, aby rozstrzygnąć sprawę ewentualnego obcięcia strumienia, ale z pewnością zostanie to wyjaśnione właśnie przez ten eksperyment w najbliższym czasie. I wówczas, jeśli obcięcie strumienia cząstek ma miejsce, będzie to oznaczać, że promienie kosmiczne o energiach (10^{18} – 10^{20}) eV pochodzą z poza naszej Galaktyki i wypełniają cały Wszechświat. Jeśli zaś obcięcia nie będzie, to tak być nie może i źródła tego promieniowania muszą być stosunkowo blisko nas, może w naszej Galaktyce?

Ale ta hipoteza napotyka na poważną trudność. Przy tak dużych energiach wpływ pola magnetycznego Galaktyki na tor cząstki (w szczególności protonów, które mają najmniejszy ładunek) jest nieduży i promienie kosmiczne rodzące się w Galaktyce po-

winny docierać do nas z grubsza po liniach prostych, a więc głównie z kierunku Drogi Mlecznej. Jednak tego się nie obserwuje — przychodzą ze wszystkich kierunków mniej więcej jednakowo.

Prawdopodobnie zjawiska, w których promienie kosmiczne powstają są różne, zależnie od ich energii. Przy energiach względnie niskich ($<10^{15}$ eV) najbardziej prawdopodobnym mechanizmem jest przyśpieszanie naładowanych cząstek przez fale uderzeniowe w ośrodku międzygwiazdowym naszej Galaktyki. W skutek wybuchu supernowej (masywnej gwiazdy, której paliwo jądrowe skończyło się i która zapadła się wyzwalając olbrzymią energię grawitacyjną)) w ośrodku międzygwiazdowym tworzy się kulista fala uderzeniowa, poruszająca się z prędkością rzędu 10 tys. km/s. Łączne działanie pól elektrycznych i magnetycznych w otoczeniu czoła fali jest takie, że “popychają” one naładowane cząstki (jony, elektrony) wiele razy zawsze w tym samym kierunku (na zewnątrz) i ostatecznie cząstki te zostają przyśpieszone do wysokich energii. Ale i tego mechanizmu nie jesteśmy do końca pewni.

Jeszcze mniej wiemy o pochodzeniu cząstek o energiach większych niż 10^{15} eV. Jednakże mamy nadzieję, że obserwując promienie kosmiczne o coraz większych energiach, dotrzemy do takiego jej zakresu, gdzie wpływ pola magnetycznego będzie znikomy i kierunki przychodzenia cząstek wskażą nam na ich źródła. Może to przybliży nas do rozwiązania zagadki pochodzenia promieni kosmicznych.

WHAT ARE COSMIC RAYS?

Summary

Cosmic rays are atomic nuclei of various elements, depleted of electrons, arriving at the Earth's atmosphere from outside of our Solar System. We can measure them directly sending detectors on balloons and satellites. They are mainly protons, alpha particles and other nuclei. The amazing thing is their enormous energy range: from 10^7 eV up to 10^{20} eV. No particles existing on the Earth or the Sun have such enormous energies! The cosmic ray flux decreases strongly with particle energy, so that direct measurements can be done only up to $\sim 10^{14}$ eV; above this energy the flux becomes too small to be detected. However, cosmic particles, entering the atmosphere, collide with the air nuclei and produce a cascade of new particles (mainly electrons, positrons and gamma rays) hitting almost simultaneously the Earth surface. This phenomenon was discovered

by the French physicist Pierre Auger in 1936 and is called an extensive air shower. The bigger the energy of the primary (cosmic) particle the more particles are in the shower. For the highest particle energies this number reaches tens of billions ($\sim 10^{10}$) particles at the Earth's surface covering an area of several kilometers across. Relatively small detectors can be installed at distances of the order of tens of meters up to 1 km between them to register simultaneous arrival of shower particles. The world biggest array of detectors (the Pierre Auger Observatory) has been currently built in Argentina for studying the showers produced by the highest energy cosmic rays. By measuring their fluxes the long-standing puzzle about their origin will be solved — are the cosmic rays sources within our Galaxy or in objects different than normal (as our) galaxies.