

# Fizyka promieni kosmicznych i narodziny fizyki cząstek elementarnych (1932 – 1952)

Helmut RECHENBERG,

*Instytut Maxa Plancka, Monachium*

W podręcznikach fizyka cząstek elementarnych przedstawiana jest zwykle jako dziedzina będąca owocem ciągłych poszukiwań coraz to głębszych poziomów struktury materii. Poszukiwania te zapoczątkowały w naszym wieku badania nad fizyką atomu, a później nad fizyką jądra atomowego. Jednakże historyczny rozwój fizyki cząstek elementarnych nie postępował według takiego uporządkowanego wzorca. Główny wkład do jej narodzin wniosła fizyka promieniowania kosmicznego – w promieniach kosmicznych odkryto pierwsze cząstki elementarne nie będące składnikami atomów: pozyton, mezony i tak zwane cząstki dziwne.

## Fizyka promieni kosmicznych przed 1932 r.

Promieniowanie kosmiczne zostało odkryte w 1912 r. przez Austriaka, Victora F. Hessa, który podczas lotów balonem zaobserwował silny wzrost atmosferycznego promieniowania przenikliwego na dużych wysokościach (do 4500 m). Werner Kolhörster z Halle potwierdził w 1913 r. istnienie tego, co Hess nazwał „promieniowaniem dużych wysokości” (niem. *Höhenstrahlung*) – gdyż w oczywisty sposób wnikało ono do atmosfery z góry. Po pierwszej wojnie światowej badania nad promieniowaniem Hessa podjął wraz z kilkoma współpracownikami Robert A. Millikan (od 1922 r). Stwierdził on, że składa się ono z bardzo twardego promieniowania gamma, o którym sądził, iż pochodzi z czasów, gdy we Wszechświecie tworzyła się materia („krzyk nowo narodzonych atomów”). Podczas gdy Millikan nie wykrył żadnej zależności natężenia promieniowania kosmicznego od szerokości geograficznej – zależność taka powinna mieć miejsce, gdyby w promieniowaniu kosmicznym występowały cząstki naładowane – holenderski fizyk Jacob Clay zaobserwował takie zjawisko porównując natężenie między Batawią i Amsterdamem (1927 – 1930). Dymitr Skobieltyn (1928) oraz Walter Bothe i Werner Kolhörster (1929) udowodnili następnie ponad wszelką wątpliwość, że promieniowanie kosmiczne zawiera znaczącą składową cząstek naładowanych (głównie elektronów). Swoje wyniki uzyskali oni za pomocą komór mgłowych (Wilsona; w silnych polach magnetycznych) oraz liczników Geigera-Müllera (działających w koincydencji). Natomiast Millikan pracował, podobnie jak wcześniejsi pionierzy fizyki promieni kosmicznych, z komorami jonizacyjnymi. Obie metody, komory mgłowe (plus pola magnetyczne) i liczniki (w obwodach koincydencyjnych i antykoincydencyjnych) stały się głównym narzędziem eksperymentalnym badania promieni kosmicznych w latach trzydziestych.

## Odkrycie pozytonu i „mezotronu” (1932 – 1937)

Na początku 1928 r. Paul Dirac z Cambridge przedstawił Królewskiemu Towarzystwu Naukowemu (Royal Society) w Londynie swą pracę „Kwantowa teoria elektronu”. Wyprowadził w niej nowe relatywistyczne równanie dla elektronu. Rozwiązanie tego równania dopuszczało stany o ujemnej energii, które autor „przetransformował” w dodatnio naładowane „dziury”, zakładając, że odpowiadają one znanym protonom. Trzy lata później, w maju 1931 r, Dirac zmienił swoją interpretację twierdząc: *Musimy porzucić utożsamienie dziur z protonami... Dziura, gdyby istniała, byłaby cząstką nowego rodzaju, nieznaną*



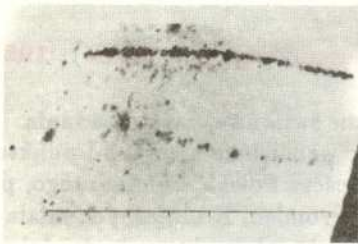
fizyce doświadczalnej, mającą tę samą masę i przeciwny ładunek niż elektron. Możemy nazwać taką cząstkę antyelektronem. Nie powinniśmy spodziewać się odnalezienia antyelektronów w przyrodzie z powodu dużej szybkości ich rekombinacji z elektronami... Spotkanie się dwóch twardych promieni  $\gamma$  (o energii co najmniej pół miliona elektronowoltów) może prowadzić do równoczesnej kreacji elektronu i antyelektronu. [1]



Rys. 1. C. D. Anderson ze swą komorą mgłową (zdjęcie z 1934 r.).

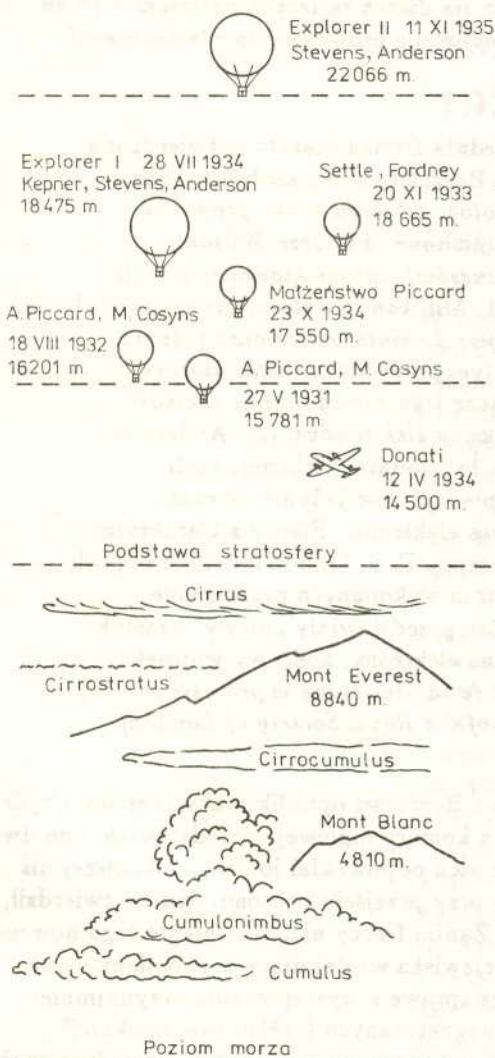
Dobry rok później przepowiednia Diraca została potwierdzona przez Carla D. Andersona z Berkeley, który zaobserwował: 2 sierpnia 1932 r. podczas fotografowania torów promieni kosmicznych utworzonych w pionowej komorze Wilsona (pole magnetyczne 30 000 gaussów), zaprojektowanej w lecie 1930 r. przez profesora R. A. Millikana i autora, otrzymano[...] ślady, które wydają się możliwe do zinterpretowania jedynie, gdy przyjmiemy istnienie w tym przypadku cząstki niosącej dodatni ładunek i mającej masę tego samego rzędu wielkości, co masa normalnie przypisywana elektronowi. [2]. Anderson wywnioskował, że cząstką tą był dodatni elektron, czyli pozyton, mimo że był w stanie wykazać jedynie, iż masa cząstki nie przewyższa 20 mas elektronu. Fizycy z Cambridge, Patrick M. S. Blackett i Giuseppe P. S. Occhialini silnie poparli ten pogląd po przeanalizowaniu wykonanych przez siebie zdjęć z komory mgłowej, które przedstawiały „ulewy” cząstek zawierające dodatnie i ujemne elektrony; końcowy wniosek brzmiał, że najlepiej uważać je za utworzone w procesie zderzenia (lutu 1933 r. w *Proceedings of the Royal Society of London*).

W tym samym, 1933 roku Paul Kunze z Rostocku opublikował w *Zeitschrift für Physik* (vol. 83, str. 10) pewne zdjęcie z komory mgłowej: przedstawiało ono dwa tory i autor zauważył, że ciemniejszy z nich odpowiadał jonizacji silniejszej niż przy przejściu elektronu, a słabszej niż przy przejściu protonu. Kunze twierdził, że tor ten zakresliła nieznaną cząstką. Zanim fizycy uznali istnienie tego nowego obiektu, musieli przebadać dokładnie zjawiska występujące w promieniowaniu kosmicznym. Do roku 1936 zdano sobie sprawę z występowania przynajmniej dwóch typów ulew: (i) kaskad elektromagnetycznych („składowej miękkiej”), których źródłem było promieniowanie hamowania wysokoenergetycznych cząstek (głównie elektronów) przekształcające się w pary elektron-pozyton, które to cząstki znów produkowały promieniowanie hamowania itd.; (ii) składowej twardej, bardzo przenikliwej, dającej w komorze zaledwie kilka, a nawet dokładnie jeden tor. Następnie Werner Heisenberg wywnioskował na podstawie argumentów teoretycznych oraz danych doświadczalnych istnienie trzeciego rodzaju ulew, tzw. ulew wybuchowych (1936). Na początku 1937 r. Seth Neddermeyer i Carl Anderson z Berkeley oraz E. C. Stevenson i Jabez C. Street z Cambridge (Massachusetts) wykazali, że składowa twarda reprezentuje cząstkę naładowaną o masie (której wartość może nie być jednoznacznie określona) większej niż masa zwykłego swobodnego elektronu i znacznie mniejszej niż masa protonu. (*Phys. Rev.* 51, 15 maja 1937, str. 886).



Rys. 2. Najwcześniejszy opublikowany tor „mezotronu” (P. Kunze, *Z. f. Phys.* 83 (1933), 10).

Nową cząstkę nazwano „mezotronem” i uznano wkrótce za identyczną z hipotetycznymi kwantami U wprowadzonymi do fizyki w listopadzie 1934 r. przez Hideki Yukawę z Osaki w celu wyjaśnienia zasięgu i siły silnych oddziaływań jądrowych. Yukawa przewidywał ich masę na około 200 mas elektronu. „Mezotron” okazał się cząstką nietrwałą (zarówno doświadczalnie, jak i teoretycznie), co dostarczyło fizykom wielu trudnych zagadek, które miały zostać rozwiązane w ciągu następnych dziesięciu lat.



Rys. 3. Loty balonowe w latach 1931 – 1935.

Pierre Auger z Paryża, jeden z pionierów studiów nad promieniowaniem kosmicznym, opisał badaczy czasów „heroicznej epoki” (prac nad promieniami kosmicznymi) jako „alpinistów, górników, nurków i aeronautów”. Rzeczywiście, pionierzy musieli wspinać się w górach z ciężkim bagażem na plecach (częściami komór mgłowych i magnesów), aby móc przeprowadzać swoje obserwacje na dużych wysokościach (np. na szczycie Aiguille di Midi w rejonie Mont Blanc, 1942 r.). Musieli opuszczać się do głębokich kopalń, jak Węgry Jenő Barnothy i panna Forro lub Japończyk Yataro Sekido (tunel Shimizu). Musieli zatapiać swoje instrumenty w jeziorach tak, jak to zrobił Erich Regener ze swą „Bodensee-Bombe”. I wreszcie, ryzykowali życiem w najwyższych lotach balonem, jak Szwajcarzy Auguste i Jean Piccard (rys. 3).

Wyposażenie używane w latach trzydziestych przez różne grupy eksperymentalne nie było identyczne. Dziś wydaje się ono proste, choć używane w całkiem wyrafinowany sposób. Wielu specjalistów, takich jak Erich Regener czy Gerhard Hoffman, wciąż pracowało z komorami jonizacyjnymi, a więc z narzędziem, za pomocą którego promieniowanie kosmiczne zostało odkryte. Fizycy z Cambridge (Patrick Blackett i inni) polegałi głównie na komorach mgłowych, których z powodzeniem używano także w Związku Radzieckim (D. Skobieltyn), Ameryce (C. D. Anderson i współpracownicy), Francji (P. Auger i Paul Ehrenfest, Jr, Louis Leprince-Ringuet i M. Lh eritier) oraz Japonii (Yoshio Nishina i współpracownicy). W Niemczech liczniki Geigera-M ullera znalazły owocne zastosowanie w r ekach Hansa Geigera i współpracujących z nim badaczy. Bruno Rossi przeniósł t  metod  do Włoch, a p zniej także do USA, gdzie rozwinął ulepszoną technik  teleskopową. Wreszcie w latach trzydziestych rozpoczęto stosowanie klisz fotograficznych, szczególnie przez Mariett  Blau i Herth  Wambachrer z wiedeńskiego Institut für Radiumforschung (badaczki te zapoc tkowały także studia w dziedzinie rozszczepienia jądrowego wywoływanego przez promienie kosmiczne).

Podczas drugiej wojny s wiatowej uzyskano dwa ważne wyniki. Po pierwsze, fizycy rzymscy G. Bernhardini, M. Conversi, E. Pancini O. Picconi, E. Scrocco i G. C. Wick udowodnili za pomocą metody licznikowej, że znany z promieni kosmicznych „mezotron” wykazuje jedynie słabe oddziaływanie z jądrami, a tym samym musi zosta  wykluczony jako kandydat na yukawowski kwant U. Po drugie, M. Lh eritier z grupy działającej w  cole Polytechnique w Paryżu odnalazł w 1943 r. na zdjeciu z komory mgłowej tor, który zinterpretował jako dodatnio naładowaną cz stk  uderzajac  w elektron z gazu wypełniajacego komor . Mas  tej cząstki oszacowano na  $990 m_e \pm 12\%$ , a więc musiała być to cząstka nowa [3].

### Odkrycie pionu i dalszych cząstek elementarnych (1947 – 1952)

W okresie bezpośrednio po drugiej wojnie s wiatowej czyste badania naukowe w wielu krajach musiały zosta  wznowione niemal od punktu zerowego; uwaga ta dotyczy w szczególności i Polski. Pomimo tego, pierwsza Mi zynarodowa Konferencja na temat Promieni Kosmicznych miała miejsce od 6 do 11 października 1947 r. w Krakowie, gdzie aktywnie dział w tej dziedzinie Marian Mięsowicz. Wielu spośród najwybitniejszych pionierów lat trzydziestych (w szczególności P. Auger, J. Barnothy. P. A. M. Blackett, J. Clay,



P. Cosyns, M. Forro, W. Heitler, L. Janossy, L. Leprince-Ringuet i J. A. Montgomery) było obecnych, gdy nowicjusz, Cecil Frank Powell z Bristolu przedstawił wystąpienie pt. „Dowód istnienia mezonów o różnych masach”. Zaprezentował on w szczególności odkrycie nowej cząstki o pośredniej masie, która rzeczywiście wykonywała zadania kwantów U Yukawy – pośredniczyła w silnych oddziaływaniach jądrowych. Powell zaobserwował swoje „mezony pi”, oczywiście, w promieniowaniu kosmicznym. Używał on nowych klisz fotograficznych, których produkcję rozwinęto w Ilford Company na krótko przedtem.

I znów rozkwitło badanie promieni kosmicznych, znów podejmowano aeronautyczne wyprawy, choć tym razem bezzałogowe balony wynosiły na wielkie wysokości paczki klisz i emulsji fotograficznej. Po ich powrocie na ziemię i wywołaniu wielkiej liczby ekspozycji otrzymano tysiące torów pionów. Pokazywały one między innymi rozpad pionu na przenikliwy „mezotron” odkryty w latach trzydziestych, teraz nazwany „mionem”. Mion reprezentuje cząstkę niezwykle podobną do elektronu, jest właściwie „ciężkim elektronem”, jak nazwali go pierwotnie jego odkrywcy – Anderson i współpracownicy. Jego istnienie w przyrodzie wydaje się nie mieć żadnej przekonywującej przyczyny.

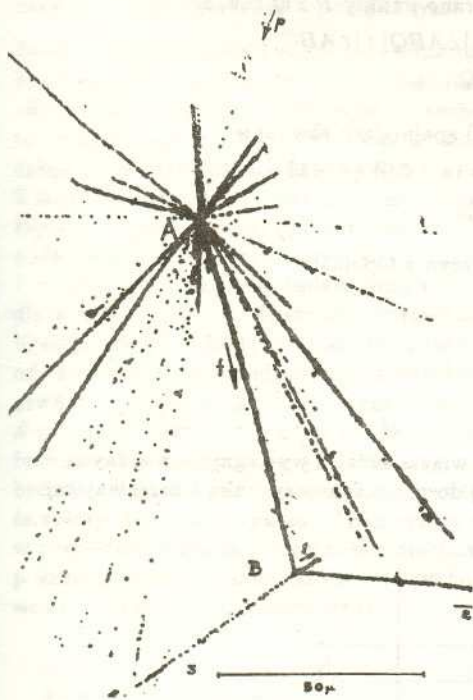
„Kto to zarządził?”, zapytał Isidor Rabi podczas pewnej konferencji pod koniec lat czterdziestych. Powinien był powtórzyć to samo pytanie w odniesieniu do innej cząstki promieniowania kosmicznego, tak zwanego mezonu V, po raz pierwszy zauważonej 15 października 1946 r. w komorze mgłowej przez członków grupy badawczej z Manchesteru. W swojej pracy donosili oni także o słabych rozpadach naładowanych i neutralnych mezonów V [4]. Obydwie cząstki miały, podobnie jak obiekt odkryty przez Lhéritiera w 1943 r., masy równe około  $1000 m_e$ . Kto to zarządził?

Chociaż następne dwa lata nie przyniosły obserwacji żadnej nowej cząstki typu Lhéritiera-Rochestera-Butlera, rok 1949 rozpoczął obfite żniwo obiektów ostatecznie nazwanych „cząstkami dziwnymi”. W efekcie poznano całą różnorodność mezonów dziwnych i innych cząstek dziwnych o masach większych niż masa nukleonu. Te ostatnie nazwano „hiperonami”. Hiperony mogą zostać wbudowane w strukturę jądra atomowego. Rzeczywiście, Marian Danysz i Jerzy Pniewski z Uniwersytetu Warszawskiego zaprezentowali pierwszy przykład takiego „hiperjadra” (rys. 4). Obserwacja dziwnych cząstek elementarnych w promieniowaniu kosmicznym zakończyła narodziny fizyki cząstek elementarnych. Nowo odkryte obiekty w oczywisty sposób rozszerzały dziedzinę fizyki jądrowej daleko poza jej dotychczasowe granice.

przetłumaczył Paweł KRAWCZYK

Literatura cytowana w tekście:

- [1] P. A. M. Dirac, *Proc. Roy. Soc. London*, **A133**, (1931), 60–72, w szczególności str. 61.
- [2] C. D. Anderson, *Phys. Rev.*, **43** (1933), 491-494, szczególnie str. 491. Pierwsze doniesienie o odkryciu pozytonu ukazało się w *Science* 76(1932), 238.
- [3] L. Leprince-Ringuet i M. Lhéritier, *Comptes Rendus Acad. Sci. Paris*, **219** (1944), 618.
- [4] G. D. Rochester i C. C. Butler, *Nature*, **160** (1947), 855.



Rys. 4. Pierwsze zarejestrowane hiperjądro, 1952 r.