



## 60 lat fizyki hiperjader

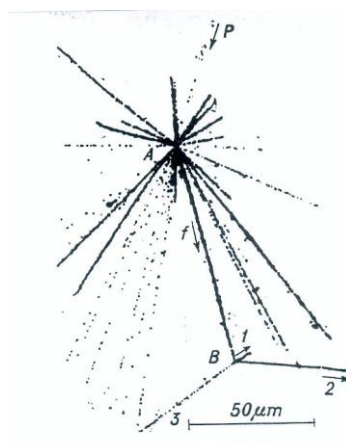
*Jerzy Bartke*

*Instytut Fizyki Jądrowej PAN*

Hiperjądra to struktury jądrowe, w których skład – poza protonami i neutronami – wchodzi hiperony. Pierwsze hiperjądro zostało odkryte w Warszawie w roku 1952 przez Mariana Danysza i Jerzego Pniewskiego. Przed kilkoma miesiącami minęło 60 lat od tego odkrycia, które zapoczątkowało nową dziedzinę fizyki: fizykę hiperjądrową. W owym czasie nie było jeszcze dużych akceleratorów i jedynym źródłem cząstek wysokich energii było promieniowanie kosmiczne.

Jak wiemy, promieniowanie kosmiczne składa się głównie z protonów, z niewielką domieszką cięższych jąder. Przechodząc przez atmosferę cząstki promieniowania kosmicznego oddziałują z jądrami atomów powietrza i do powierzchni Ziemi dochodzą tylko cząstki wtórne o znacznie zredukowanej energii. Aby rejestrować oddziaływania pierwotnych cząstek kosmicznych wysyłano balonami do stratosfery wielowarstwowe bloki emulsji fotograficznej, po powrocie bloku na Ziemię rozdzielano warstwy emulsji, wywoływano i przeszukiwano pod mikroskopem. W prowadzeniu takich badań specjalizowało się laboratorium profesora Powella w Bristolu w Anglii. Tam odkryto w 1947 roku mezon  $\pi$ , a prof. Powell otrzymał za to odkrycie Nagrodę Nobla w 1950 roku. Marian Danysz pracował przez jakiś czas w laboratorium Powella i wracając stamtąd przywiózł do Warszawy klisze naświetlone w balonowym locie stratosferycznym. Do współpracy namówił Jerzego Pniewskiego, z którym się zaprzyjaźnił w czasie pobytu w Anglii. W trakcie przeglądania klisz badacze ci natrafili na przypadek, który wydał im się „dziwny”. Mikrofotografię tego przypadku pokazujemy na ilustracji 1. Wysokoenergetyczny proton z promieniowania kosmicznego, oznaczony „p” oddziałuje w punkcie A z ciężkim jądrem emulsji (brom lub srebro), powodując rozbitcie tego jądra na liczne fragmenty. Jeden z tych fragmentów, wielokrotnie naładowany (bo pozostawił w emulsji gruby ślad), oznaczony „f”, ulega rozpadowi w punkcie B na kilka lżejszych fragmentów. Określiwszy energię wydzieloną w tym rozpadzie, Danysz i Pniewski zinterpretowali zaobserwowany przypadek jako rozpad wytworzonego w pierwotnym oddziaływaniu (w punkcie A) „hiperfragmentu”, czyli fragmentu jądrowego zawierającego hiperon  $\Lambda$ . Była to niezwykle śmiała hipoteza, ponieważ hiperon  $\Lambda$  został odkryty zaledwie kilka lat wcześniej i możliwość jego wiązania w jądrze atomowym nie była przez nikogo rozważana. Praca Danysza i Pniewskiego została opublikowana w prestiżowym wówczas angielskim czasopiśmie naukowym *The Philosophical Magazine*, a intuicja naukowa obu uczonych znalazła wkrótce potwierdzenie w innych pracach, zapoczątkowując

nową dziedzinę fizyki jądrowej: fizykę hiperjądrową. Profesorowie Danysz i Pniewski byli kilkakrotnie nominowani do Nagrody Nobla, ale niestety im jej nie przyznano.



Ilustracja 1.

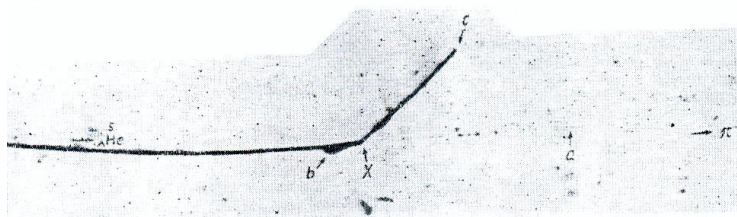
Na ilustracji 2 pokazujemy kartkę-całostkę wydaną przez Poczta Polską w 1993 roku z okazji 40 rocznicy odkrycia hiperjąder. Widzimy na niej podobiznę obu profesorów oraz, w miejscu wydrukowanego znaku opłaty, mikrofotografię pierwszego hiperjądra.



Ilustracja 2.

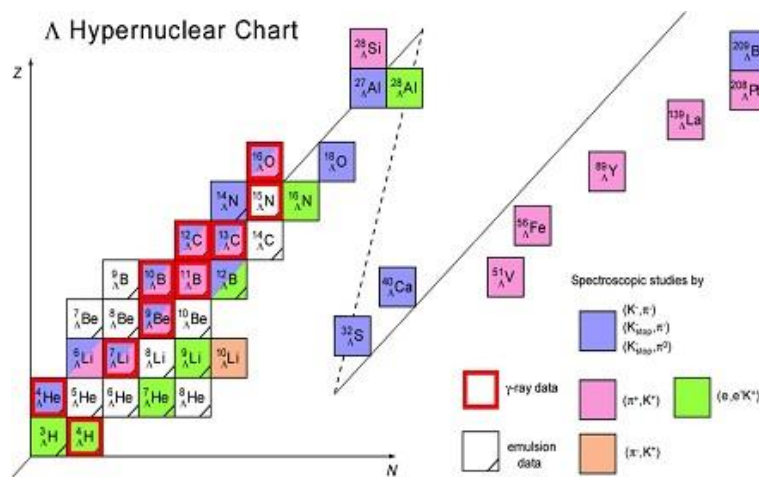
Hiperfragmety nazywamy obecnie po prostu hiperjądrami. Hiperjądro o liczbie atomowej  $Z$  i liczbie masowej  $A$ , zawierające jeden hiperon  $\Lambda$ , oznaczamy  ${}^A_Z\Lambda$ . Ten pierwszy przypadek hiperjądra opisany przez Danysza i Pniew-

skiego stanowi przykład tzw. rozpadu „niemezonowego”, w którym energia rozpadu związanego w jądrze hiperonu zostaje przekazana nukleonom jądra powodując jego rozpad na fragmenty. Obecnie wiemy, że hiperjądra mogą także rozpadać się z emisją mezonu  $\pi^-$ , podobnie jak swobodny hiperon  $\Lambda$ . Przykład takiego rozpadu pokazany jest na ilustracji 3. Tutaj hiperjądro  ${}^5_{\Lambda}\text{He}$  rozpada się w emulsji na jądro  ${}^4\text{He}$ , proton i mezon  $\pi^-$  (słabo jonizujący ślad). Takie „mezonowe” rozpady dominują dla lekkich hiperjader, podczas gdy cięższe hiperjądra rozpadają się głównie niemezonowo.



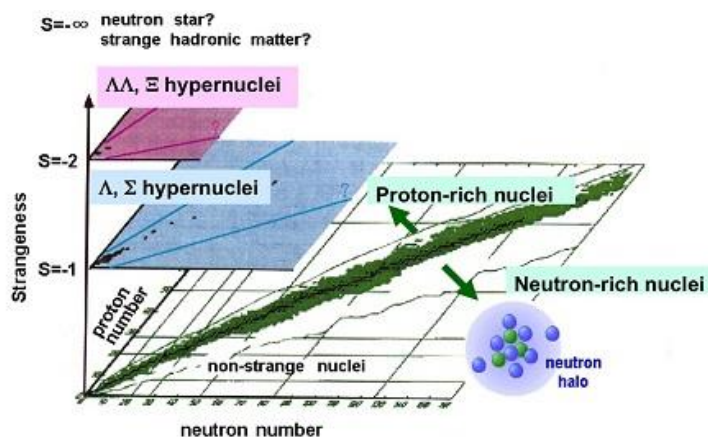
Ilustracja 3.

Odkryto także podwójne hiperjądra zawierające dwa hiperony  $\Lambda$  (pierwszy taki przypadek opisano w Warszawie w 1963 roku). W chwili obecnej znamy już kilkadziesiąt hiperjader pojedynczych (wiele z nich dokładnie zbadanych) i sześć przypadków hiperjader podwójnych. Hiperjądra możemy usystematyzować podobnie jak „zwykłe” jądra układając je na płaszczyźnie  $Z$ - $N$  (liczba atomowa  $Z$ , czyli liczba protonów w jądrze w funkcji liczby neutronów  $N$ ) – taki wykres przedstawia ilustracja 4.



Ilustracja 4.

Na ilustracji 5 przedstawiamy układ kilku takich płaszczyzn: dla „zwykłych” jąder (liczba dziwności  $S = 0$ ) i powyżej dla hiperjąder pojedynczych ( $S = -1$ ) i podwójnych ( $S = -2$ ).

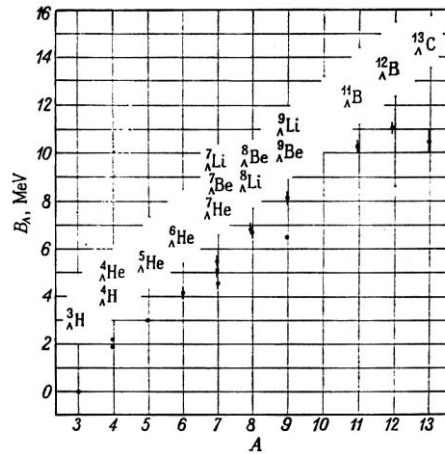


Ilustracja 5.

Technika poszukiwania i badania hiperjąder ulegała zasadniczym zmianom w ciągu dziesięcioleci dzielących nas od odkrycia pierwszego hiperjądra. W latach 60. XX wieku uruchomiono pierwsze duże akceleratory dostarczające wiązki cząstek wysokich energii. Dla wytwarzania hiperjąder najbardziej odpowiednie były wiązki mezonów  $K^-$ , ponieważ mezon  $K^-$  jest cząstką obdarzoną taką samą „dziwnością” co hiperon  $\Lambda$  ( $S = -1$ ) i zatem można było spodziewać się dużego prawdopodobieństwa wytworzenia hiperjąder w reakcji  $K^- + {}^A_Z \rightarrow {}^A_Z + \pi^-$  (procesem „elementarnym” jest tutaj przemiana jednego z nukleonów jądra w hiperon  $\Lambda$ , który pozostaje w jądrze tworząc hiperjądro). W kliszach naświetlonych mezonami  $K^-$  można było rozpocząć systematyczne badania hiperjąder, wyznaczanie ich energii wiązania i stosunków rozpadów. Rozwój elektronicznych metod detekcyjnych pozwolił na prowadzenie badań na dużych statystykach, wyznaczanie czasów życia hiperjąder i ich energetycznych poziomów wzbudzonych. Dedykowane eksperymenty hiperjądrowe z wykorzystaniem różnych wiązek (mezony  $K^-$ , mezony  $\pi^+$ , antyprotony, protony, elektrony) prowadzono w wielu laboratoriach europejskich, amerykańskich i japońskich. Wymienimy tu CERN (Szwajcaria), ZIBJ (Rosja), Jülich (Niemcy), KEK (Japonia), LBL, BNL i Laboratorium im. Jeffersona (USA) oraz laboratorium Frascati (Włochy). Badanie hiperjąder włączono też do programu fizycznego dla budowanego w GSI Darmstadt (Niemcy) nowego zespołu akceleratorów FAIR.

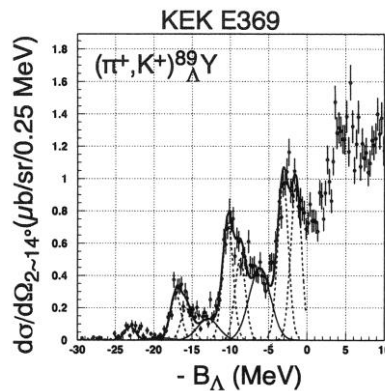
Najważniejszą charakterystyką hiperjądra jest energia wiązania hiperonu  $B_{\Lambda}$ , zdefiniowana jako energia potrzebna do usunięcia hiperonu z hiperjądra. Wy-

znacza się ją z bilansu energii w rozpadzie hiperjądra. Wartości  $B_{\Lambda}$  rosną wraz z liczbą masową hiperjądra – zależność tę przedstawia ilustracja 6.



Ilustracja 6.

Hiperjądra, podobnie jak „zwykłe” jądra, posiadają energetyczne poziomy wzbudzone. Już we wczesnych eksperymentach emulsyjnych z wiązką  $K^-$  zaobserwowano stan wzbudzony hiperjądra węgla  $^{12}_{\Lambda}C$ . W pierwszym eksperymencie spektrometrycznym prowadzonym przez zespół prof. Pniewskiego w CERNie w latach 70. wykryto stany wzbudzone hiperjadr tleny  $^{16}_{\Lambda}O$ , siarki  $^{32}_{\Lambda}S$  i wapnia  $^{40}_{\Lambda}Ca$ . Współczesne spektrometry pozwalają na uzyskanie znacznie bogatszych danych. Ilustracja 7 przedstawia przykładowo poziomy wzbudzone hiperjądra itru  $^{89}_{\Lambda}Y$  z eksperymentu przy akceleratorze KEK w Japonii.



Ilustracja 7.

Interesujące są wyniki pomiarów czasów życia hiperjader. Czas życia lekkich hiperjader jest bliski czasowi życia swobodnego hiperonu  $\Lambda$  ( $\tau = 263$  ps). Czas ten maleje ze wzrostem liczby masowej hiperjadra i dla najcięższych hiperjader wynosi w przybliżeniu połowę tej wartości (wynik dla uranu  $\tau = 138$  ps uzyskany został w Jülich w eksperymencie prowadzonym z istotnym udziałem fizyków krakowskich).

Warto wspomnieć, że w oddziaływaniach ultrarelatywistycznych jader na wielkich zderzaczach RHIC w Brookhaven (USA) i LHC w CERNie, wśród tysięcy produkowanych cząstek udało się zaobserwować najlżejsze hiperjadra – hipertryt  ${}^3_{\Lambda}\text{H}$  (struktura złożona z protonu, neutronu i hiperonu  $\Lambda$ ), a także odpowiednio antyhiperjadra – antyhipertryt (struktura złożona z antyprotonu, antyneutronu i antyhiperonu  $\Lambda$ , czyli „dziwna” antymateria).

Badanie hiperjader pozwala na uzyskanie informacji o oddziaływaniu hiperonów  $\Lambda$  z nukleonami, zaś badanie hiperjader podwójnych – o oddziaływaniu  $\Lambda$ - $\Lambda$ . To ostatnie oddziaływanie okazuje się przyciągające. Uzyskanie podobnych informacji na innej drodze byłoby bardzo trudne, jeśli w ogóle możliwe, bo przecież hiperony  $\Lambda$  są cząstkami krótkożyciowymi. Struktura poziomów energetycznych hiperjader różni się od tej dla „zwykłych” jader, ponieważ hiperon  $\Lambda$  jako cząstka różna od protonów i neutronów może zajmować inne („własne”) poziomy. Do opisu układu poziomów energetycznych hiperjader można stosować tzw. model powłokowy, podobnie jak dla „zwykłych” jader, z odpowiednimi modyfikacjami.

### Literatura

- [1] *Encyklopedia Fizyki Współczesnej*, Wyd. PWN, Warszawa, 1983, 215
- [2] J.A. Zakrzewski, *Hiperjadra: czterdzieści lat później*, *Postępy Fizyki* 44(1993), 399
- [3] [www.fuw.edu.pl/odkrycia.html](http://www.fuw.edu.pl/odkrycia.html)