

(Niezbyt krótka) historia o cząstkach elementarnych

Fizyka jądrowa i cząstek elementarnych jest częścią programu klasy I wszystkich szkół ponadgimnazjalnych.

Grzegorz Karwasz

Przeglądając strony internetowe, nawet renomowanych instytucji, i słuchając studentów po kursie fizyki jądrowej, odnosi się wrażenie, że więcej jest w wyjaśnianiu kwarków i bozonów „machania rękoma” – meksykańskich kapeluszy i tłoczących się gości bufetowych lub la-granżjanów ze spontanicznie złamaną symetrią – niż zrozumienia fizyki, a raczej pojęcia naszych ograniczeń w rozumieniu tej fizyki. Temu jest poświęcona ta (niezbyt) krótka nota. Artykuł, dla uzyskania dydaktycznej jasności, zawiera liczne naukowe uproszczenia. Wersja multimedialna [1], z odnośnikami, znajduje się na stronie Zakładu Dydaktyki Fizyki Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu: <http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/elementarne>.

Fermiony i bozony

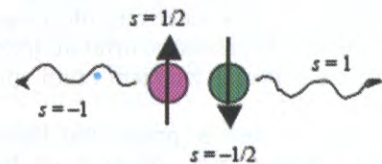
Zanim podejmiemy dyskusję o zoo cząstek elementarnych, w tym o bozonie Higgsa, przypomnimy podstawowe rozgraniczenie w mikroświecie. Cząstki dzielą się na fermiony o spinie „połówkowym”, których spinowa liczba kwantowa wynosi $\frac{1}{2}$ (czyli wartość bezwzględ-

na spinu $(\sqrt{3}/2)\hbar$, a rzut na wybraną oś kwantowania $\pm\frac{1}{2}\hbar$), i te o spinowej liczbie kwantowej całkowitej, czyli bozony: elektron, proton, neutron (i kwarki) są fermionami.

Bozonami są natomiast fotony, czyli cząstki światła z lasera lub żarówki – ich własny moment pędu wynosi 1. W zjawisku polaryzacji światła polaryzator (folia polimerowa, kryształ kalcytu) wybiera określony kierunek drgań wektora natężenia pola elektrycznego. W rzeczywistości jednak światło spolaryzowane **liniowo** jest złożeniem dwóch fal (strumieni fotonów) spolaryzowanych **kołowo** w przeciwnych kierunkach. Jeden z fotonów ma spin $+1$, drugi -1 (jeden „kręci się” w prawo, drugi – w lewo), a wypadkowy wektor pola elektrycznego drga wzdłuż jednego kierunku.

Bozony charakter fotonów ujawnia się w procesie anihilacji pozytonów. Kiedy ujemny elektron spotka się ze swoją antycząstką – dodatnim pozytonem, całkowity spin tej pary może wynosić 0 lub 1. Anihilacja jest procesem „zamiany” masy na energię zgodnie z równaniem $E = mc^2$, ale musi być w nim zachowany także spin. Dlatego w anihilacji powstają dwa fotony unoszące spin $+1$ i -1 , jeśli spin pary elektron–pozyton

wynosił 0, lub trzy fotony – gdy całkowity spin pary wynosił 1 lub -1 . W procesie anihilacji z elektronami w cieple stałym całkowity pęd pary elektron–pozyton jest znikomy, więc i całkowity pęd dwóch fotonów musi wynosić w przybliżeniu 0: ulatują one prawie dokładnie pod wzajemnym kątem 180° . Z uwagi na prawo zachowania energii każdy z nich unosi energię 511 keV, która jest równa masie spoczynkowej elektronu.



Rys. 1. Anihilacja elektronu i pozytonu w układzie zerowego spinu całkowitego (stan singletowy) i przy zerowym pędzie sumarycznym: powstają dwa fotony przeciwnie skierowane i o przeciwnej polaryzacji, unoszące energię 511 keV każdy. Anihilacja pozytonów służy m.in. do badania defektów w półprzewodnikach [2]

Anihilacja pozytonów wprowadza nas w ogólną metodologię badań cząstek elementarnych – zazwyczaj nie widzimy właściwej cząstki, ale ulatujące produkty jest rozpadu. A na podstawie praw zachowania energii, pędu i momentu pędu wnioskujemy o istniejącej początkowo cząstce (lub cząstkach).

W dalszej części publikacji czytelnik znajdzie rozdziały:

Spin a statystyka

Elektron, proton, neutron

Promieniotwórczość

Kwarki

Jeszcze raz o rozpadzie beta

Fotony i pola

Bozony pośredniczące

Podsumowanie

Literatura



[Anihilacja pozytonów](#), [związek między spinem a statystyką](#), „[Atomos](#)”, [promienie katodowe](#), [J.J. Thompson](#), [doświadczenie Milikana](#), [spektrometr masowy](#), [lepton](#), [lepton tau](#), [wiek Ziemi](#), [neutrino](#), [kwarki](#), [proton](#), [cząstka Higgsa](#), [przesunięcie Lamba](#),

Zobacz też: Praca mgr Marty Juszczyńskiej "[Cząstki elementarne](#)"

[Tweeter](#) (GK) - [O cząstkach elementarnych](#)

- [O bozonie Higgsa](#)

[Plakaty projektu UE "Physics is Fun"](#) (do swobodnego drukowania/ wykorzystania, ©GK)

- [Supermultiplety](#)

- [Zagadkowe kwarki](#)

- [Jak znaleźć kwarka?](#)

- [Czar czarmionium](#)

- [Pauli i neutriNO](#)

- [Higgs wanted](#)

- [Czy świat się kręci w prawo?](#)

[Internet tracks:](#) ©GK

- [Quarks and cheese](#)

- [Supermultiplets](#)

- [Elementary particles](#)

[Na ścieżkach fizyki współczesnej:](#) ©GK

- [Pracowita doktorantka](#)

- [Fermi i złote rybki](#)

- [Oby na wyspie!](#)

- [Jak we wtorek złamaliśmy parzystość](#)

5. Wyzwaniem jest unifikacja fizyki kwantowej z grawitacją. Ale i tam „nie udało się wyciągnąć pająka z nory”. Być może dwie dziedziny różnią się jak algebra mówiąca o nieskończeniu wielkim i analiza o nieskończeniu małym.
6. Szokiem kulturowym dla fizyki stało się odkrycie, w niewinnych pomiarach gwiazd supernowych, ciemnej masy i energii. Cytując ponownie kolegę: szczególnie – ciemnej masy grawitacyjnej, bo ta jest bardzo blisko Ziemi. Uważam, że potrzebna jest raczej nowa matematyka [19] niż mnożenie wymiarów czasoprzestrzeni i generowa-

nie antybozonów fermionowych. Zapewne różne rodzaje matematyki już są, ale nie wiadomo, którego z nich warto się nauczyć.

7. Tak jak wielkie twierdzenie Fermata udowodnił komputer, tak coraz częściej opisujemy fizykę za pomocą równań, a coraz mniej ją rozumiemy. Używanie zbyt trudnych pojęć zniechęca do fizyki, ale jeszcze bardziej zniechęca mówienie zbyt prostym językiem.
8. Polecana lektura: E. Skrzypczak, Z. Szelfiński, *Wstęp do fizyki jądra atomowego i cząstek elementarnych*, PWN, Warszawa 2012;

strony Wikipedii (wersja angielska) i projektu UE (PAP Słupsk/Uni Trento) „Na ścieżkach fizyki współczesnej”, strony Zakładu Dydaktyki Fizyki UMK w Toruniu.

prof. dr hab. Grzegorz Karwasz
Zakład Dydaktyki Fizyki Uniwersytetu Mikołaja Kopernika
w Toruniu

PS. 14 lipca (czyli w rocznicę rewolucji francuskiej) CERN ogłosił obserwację aglomeratu złożonego z pięciu kwarków. Pierwsze zdanie złożonego do druku artykułu brzmi: „Przedstawiamy zaobserwowanie egzotycznej struktury w kanale rozpadu na proton i czarzonium, które określamy jako pięciokwark” [20].

LITERATURA

- [1] W wersji multimedialnej artykułu znajdują się linki do stron internetowych, plakatów i wybranych artykułów: <http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/elementarne> [dostęp: 24.08.2015]. Hasło do zbiorów zabezpieczonych: „as”.
- [2] Karwasz G. et al., *Application of positron annihilation techniques for semiconductor studies*, „Journal of Alloys and Compounds” 2004, Vol. 382, s. 244.
- [3] Pauli W., *Connection between spin and statistics*, „Physical Review” 1940, Vol. 58, s. 716, http://www.physics.princeton.edu/~mcdonald/examples/EP/pauli_pr_58_716_40.pdf [dostęp: 9.04.2015].
- [4] Johnston H., *Proton is smaller than we thought*, „Physics World”, 7.07.2010, <http://physicsworld.com/cws/article/news/2010/jul/07/proton-is-smaller-than-we-thought> [dostęp: 9.04.2015].
- [5] Karwasz G., Polak, fizyk, noblista. Wywiad z prof. J. Rotblatem, „Głos Koszaliński”, 25.09.2000, <http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/Michelson/JRotblat.pdf>, <http://planeta-terra.blogspot.com/2008/08/jak-zbudowaem-bomb-atomow-opowiada-jzef.html> [dostęp: 9.04.2015].
- [6] Boyet M., Carlson R.W., *¹⁴²Nd evidence for early (>4,53 Ga) global differentiation of the silicate Earth*, „Science” 2005, Vol. 309, s. 576, www.sciencemag.org/content/309/5734/576 [dostęp: 9.04.2015].
- [7] Bahcall J., *Neutrino software and data*, <http://www.sns.ias.edu/~jnb/SNdata/Export/Chlorinecross/chlorinecrossstab> [dostęp: 9.04.2015].
- [8] Beringer J. et al., *Review of particle physics*, „Physical Review D” 2012, Vol. 86, nr artykułu: 010001, <http://journals.aps.org/prd/abstract/10.1103/PhysRevD.86.010001> [dostęp: 9.04.2015].
- [9] Danysz M., Pniewski J., *Delayed disintegration of a heavy nuclear fragment*, „Philosophical Magazine” 1953, Vol. 44, s. 348.
- [10] Pion, Wikipedia, <http://en.wikipedia.org/wiki/Pion> [dostęp: 9.04.2015]; gluon, Wikipedia, <http://en.wikipedia.org/wiki/Gluon> [dostęp: 9.04.2015].
- [11] Lindley D., *Landmarks – discovery of particles inside the proton*, „Physics Focus” 2014, Vol. 7, s. 81, <http://physics.aps.org/articles/v7/81> [dostęp: 9.04.2015].
- [12] Karwasz G., *Je kwarków jest w protonie?*, „Fizyka Współczesna”, Zakład Dydaktyki Fizyki UMK http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/Wystawy_archiwum/z_omegi/kwarki_w_protonie.html [dostęp: 9.04.2015].
- [13] Alkofer R., Greensite J., *Quark confinement: the hard problem of hadron physics*, „Journal of Physics G: Nuclear and Particle Physics” 2007, Vol. 34, s. S3; arxiv.org/pdf/hep-ph/0610365 [dostęp: 9.04.2015].
- [14] *Proton magnetic moment*, Wikipedia, http://en.wikipedia.org/wiki/Proton_magnetic_moment [dostęp: 9.04.2015].
- [15] Lamb Shift, Wikipedia, http://en.wikipedia.org/wiki/Lamb_shift [dostęp: 9.04.2015].
- [16] Adloff C. et al., *Charged particle cross sections in photoproduction and extraction of the gluon density in the photon*, „The European Physical Journal C” 1999, Vol. 10, s. 363–372, <http://arxiv.org/pdf/hep-ex/9810020v1> [dostęp: 9.04.2015].
- [17] *Bosoni W e Z*, Wikipedia, wersja włoska, http://it.wikipedia.org/wiki/Bosoni_W_e_Z [dostęp: 9.04.2015]; wersja angielska zawiera matematyczny opis oddziaływania bozonów z polem Higgsa, http://en.wikipedia.org/wiki/Electroweak_interaction [dostęp: 9.04.2015].
- [18] Atlas Collaboration (CERN), *Updated results and measurements of properties of the new Higgs-like particle in the four lepton decay channel with the ATLAS detector ATLAS-CONF-2012-169*, 13 December 2012, <https://atlas.web.cern.ch/Atlas/GROUPS/PHYSICS/CONFNOTES/ATLAS-CONF-2012-169/> [dostęp: 9.04.2015].
- [19] Karwasz G., *Experimental modern physics: why we need new mathematics?*, „Bulletin de la Société des Sciences et des Lettres de Łódź” 2008, Vol. LVII, s. 89–96, Série: „Recherches sur les Déformations”.
- [20] Aaij R. et al., *Observations of J/ψ resonances consistent with pentaquark states in Λ⁰_b → J/ψ K p decays*, <http://arxiv.org/abs/1507.03414> [dostęp: 9.04.2015].

Narodowe Centrum Promieniowania Synchronotronowego „Solaris” w Krakowie otwarte

21 września tego roku w Krakowie otwarto Narodowe Centrum Promieniowania Synchronotronowego „Solaris”. W uroczystości brali udział specjaliści z wielu ośrodków naukowych z Polski i z zagranicy. Byli też obecni przedstawiciele zarówno władz lokalnych, jak i centralnych. Nie jest to jednak, jak podało wiele głównych agencji prasowych, pierwszy polski cyklotron, albowiem w naszym kraju pracuje ich już wiele. Z pewnością jest to największy ośrodek tego typu w tej części Europy. Głównym elementem centrum będzie oczywiście cyklotron. Jest to nowsza wersja urządzenia pracującego w szwedzkim ośrodku w Lund. W nowo otwartym centrum wykonywane będą prace badawcze z dziedziny fizyki eksperymentalnej o charakterze interdyscyplinarnym. Przewiduje się współpracę ze specjalistami z takich dziedzin, jak medycyna, biologia, inżynieria materiałowa, nanotechnologia, a nawet archeologia. Otrzymane tam wyniki będą miały znaczenie nie tylko dla nauki, lecz także dla przemysłu. Prace nad jego budową trwały od 2010 roku, kiedy to została podpisana stosowna umowa między Ministerstwem Nauki i Szkolnictwa Wzwyższego a Uniwersytetem Jagiellońskim. Łączny koszt inwestycji to 199 mln zł. Osoby zainteresowane zachęcamy do odwiedzenia strony przedsięwzięcia: <http://www.synchrotron.uj.edu.pl/liniak>.



Schemat cyklotronu Źródło: <http://www.synchrotron.uj.edu.pl> [dostęp: 27.09.2015].