



„BJ” (Bidzej), człowiek, który odkrył kwarki – James D. Bjorken

Krzysztof Fiałkowski
Instytut Fizyki UJ

Tytuł tego artykułu może zaskoczyć niemal wszystkich, którzy znają pobieżnie historię fizyki. Na liście laureatów Nagrody Nobla łatwo przecież znaleźć osoby, którym przypisuje się stworzenie modelu kwarków i wykazanie jego słuszności. W 1969 roku nagrodę otrzymał Murray Gell-Mann „Za jego wkład i odkrycia związane z fizyką cząstek elementarnych i ich oddziaływań”, przy czym np. Wikipedia precyzuje, że Gell-Mann, i niezależnie George Zweig, w roku 1964 wysunęli hipotezę istnienia kwarków, czyli cząstek, z których zbudowane są hadrony. W roku 1990 nagrodę otrzymali Jerome I. Friedman, Henry Kendall i Richard E. Taylor „Za ich pionierskie badania dotyczące głęboko nieelastycznego rozpraszania elektronów na protonach i związanych neutronach, co miało istotny wpływ na rozwój modelu kwarkowego w fizyce cząstek”. Cóż więc takiego zrobił James D. Bjorken, zwany powszechnie „BJ”, czyli „Bidzejem”, którego nazwiska próżno szukać na liście laureatów, że nie tylko autor tego artykułu, ale i np. Frank Close, autor znakomych książek popularyzujących fizykę cząstek, przypisuje mu tak ogromne zasługi?

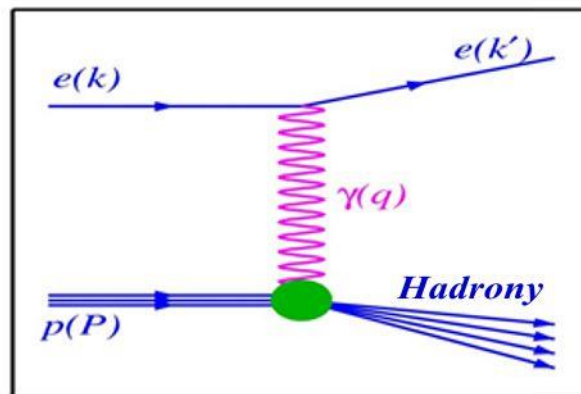


W ostatniej książce Close’a *The infinity puzzle* opisującej precyzyjnie rozwój fizyki cząstek po II wojnie światowej czytamy m.in.: „It would be the work of an American, James D. Bjorken, that would turn this theoretical promise into confirmed law, leading to Nobel Prizes for Glashow, Salam and Weinberg in 1979, and for Veltman and ‘t Hooft in 1990”, czyli „praca Amerykanina, Jamesa D. Bjorkena, miała zmienić teoretyczne obietnice (mowa tu o opartej na modelu kwarków teorii oddziaływań elektroslabych) w potwierdzoną teorię, prowadząc do Nagród Nobla dla Glashowa, Salama i Weinberga w 1979 roku, a dla Veltmana i ‘t Hoofta w 1990 roku”. A więc Close przypisuje Bjorkenowi przekształcenie modelu kwarków i opartych na nim spekulacji teoretycznych w „solidną” teorię. Skoro tak, dlaczego osiągnięcia te nie zostały wyróżnione Nagrodą Nobla, dlaczego Bjorken został „twórcą noblistów”, a nie noblistą? W przeddzień osiemdziesiątych urodzin „Bidzeja” (urodzonego 22 czerwca 1934 roku) warto chyba wyjaśnić polskim czytelnikom tę zagadkę.

James Bjorken, Amerykanin pochodzenia norweskiego, wykazał swoje zdolności już jako student MIT, sławnej uczelni ze stanu Massachusetts, otrzymując stypendium Putnama. Stypendia te są przyznawane od 1938 roku corocz-

nie pięciu najlepszym matematykom wśród studentów USA, Kanady i Uniwersytetu Tel Aviv. Wśród stypendystów znajdujemy nazwiska późniejszych laureatów Nagrody Nobla z fizyki, jak Richard Feynman czy Kenneth Wilson, i najwybitniejszych matematyków. W 1966 roku Bjorken, już jako profesor Uniwersytetu Stanforda, wpadł na pomysł, jak dowieść istnienia kwarków w hadronach. Przypomnijmy, że od 1964 roku trwały bezskuteczne próby znalezienia kwarków poza hadronami, gdzie ułamkowy ładunek powinien pozwolić na łatwą identyfikację kwarków. Jednak ani poszukiwania kwarków wśród produktów zderzeń hadronów, ani w stabilnej materii, nie dały żadnych efektów. Doprowadziło to nawet twórcę modelu kwarków Murraya Gell-Manna do publicznych oświadczeń, że kwarki należy uznać za pojęcia teoretyczne, ułatwiające zapamiętanie struktury hadronów, a nie za rzeczywiste byty fizyczne. Niemniej to właśnie Gell-Mann sformułował na podstawie modelu kwarków cały system relacji między wielkościami fizycznymi, zwany algebrą prądów.

Bjorken zauważył, że z algebry prądów wynikają szczególnie proste relacje dla procesów tzw. głęboko nieelastycznego rozpraszania leptonów na hadronach. Proces ten przedstawiony jest na rys. 1 na przykładzie rozpraszania elektron-proton.



Rys. 1. Schemat rozpraszania nieelastycznego e^-p . W nawiasach podano odpowiednie czteropędy. Obowiązują oczywiście prawa zachowania, więc $q = k' - k$

Okazuje się, że dla analizy procesu nie musimy badać w szczegółach stanu fizycznego, w który przekształcił się proton. Wystarczy pomiar przekazu pędu i energii od pierwotnego do wyjściowego elektronu. Dla rozpraszania elastycznego energia w układzie środka masy nie zmienia się. Jeśli zmiana energii jest duża w porównaniu z energią spoczynkową protonu, rozpraszanie nazywamy głęboko nieelastycznym.

Bjorken pokazał, że z algebry prądów (a zatem z modelu kwarków) wynika skalowanie zależności od przekazu energii i pędu. Prawdopodobieństwo proce-

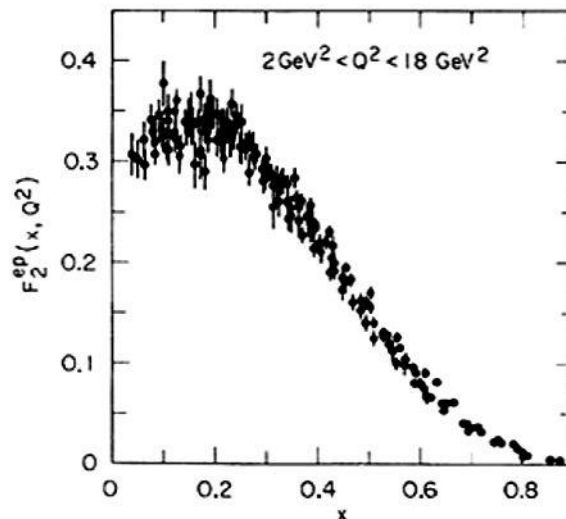
su nie zależy osobno od przekazu kwadratu czteropędu i iloczynu czteropędu protonu i przekazu czteropędu, ale tylko od ich stosunku x

$$x = -q^2/(2P \cdot q).$$

Dla układu spoczynkowego protonu mianownik wyraża się prosto przez przekaz energii ν

$$x = -q^2/(2m\nu).$$

Doświadczenia prowadzone w Stanford wykazały, że dane są rzeczywiście zgodne z takim skalowaniem. Warto dodać, że pierwotnie autorzy doświadczenia, wspomniani powyżej późniejsi laureaci Nagrody Nobla, Friedman, Kendall i Taylor nie mogli znaleźć w wynikach żadnej regularności i dopiero Bjorken zalecił im sprawdzenie skalowania.



Rys. 2. Funkcja F_2 , która jest miarą prawdopodobieństwa rozproszenia głęboko nieelastycznego $e p$. Dla szerokiego zakresu $Q^2 = q^2$ dane leżą na jednej krzywej zależnej tylko od x

W porównaniu z rozpraszaniem elastycznym prawdopodobieństwo rozproszenia nieelastycznego z dużym przekazem pędu jest znacznie większe. Jest to zjawisko analogiczne do rozpraszania Rutherforda i sugeruje, że elektrony rozpraszają się na punktowych składnikach protonu.

Richard Feynman wykazał, że po przetłumaczeniu algebry prądów na naiwny model kwarków można wyprowadzić skalowanie z prostego założenia, że kwarki są cząstkami punktowymi i elektrony rozpraszają się na nich niezależnie i elastycznie. Nie opublikował on jednak tego wyniku, bo uznał, że nie zrobił nic nowego w porównaniu z wynikami Bjorkena. Zatem i on uznał, że to

Bjorkenowi należy przypisać odkrycie, że kwarki są rzeczywistymi obiektami fizycznymi.

Dodajmy, że dziś wiemy, że skalowanie jest wynikiem przybliżonym, skoro traktowanie protonu jako zbioru niezależnych kwarków jest też tylko przybliżeniem. Oddziaływanie kwarków opisuje chromodynamika kwantowa, która opisuje odchylenia od skalowania i tłumaczy, dlaczego są one niewielkie. Dla konstrukcji tej teorii wyniki Bjorkena stanowiły podstawowy punkt wyjścia.

Niestety Komitet Nagrody Nobla nie docenił osiągnięć Bjorkena, choć przyznał nagrodę trzem wymienionym powyżej doświadczalnikom. Krzywdę tę postanowił wynagrodzić komitet innej prestiżowej nagrody, przyznając mu w 2004 roku Medal Diraca Międzynarodowego Centrum Fizyki Teoretycznej. Regulamin tej nagrody zakazuje zresztą przyznania jej laureatom Nagrody Nobla, ale na liście medalistów znajduje się wielu noblistów (np. David Gross, Frank Wilczek, Daniel Friedman, Martinus Veltman), dla których przyznanie Medalu stało się zapowiedzią Nagrody Nobla. Może i w przypadku Bjorkena Komitet dostrzeże w końcu swoje zaniedbanie? Krakowskim fizykom zależy na tym szczególnie, bo Bjorken jest zaprzyjaźniony z wieloma z nich i wielokrotnie odwiedzał Polskę, biorąc udział w Zakopiańskich Szkołach Fizyki Teoretycznej i innych konferencjach lub sympozjach.