

Nagroda za kolorową swobodę asymptotyczną

Każdy człowiek jest asymptotycznie wolny. W każdej sytuacji może odnaleźć najlepsze wyjście. . . i właśnie je wybrać. Jedno i drugie jest bardzo trudne, często tylko teoretycznie możliwe. Tych, którzy asymptotycznie zbliżają się do ideału, zwykle się nazywać świętymi.

Przeciwieństwem tak rozumianej świętości jest poddanie się własnym słabościom, uwięzienie we własnych ograniczeniach.

Powyższa trywialna prawda ma zadziwiającą analogię w świecie oddziaływań fundamentalnych. Za jej odkrycie uważa się dwie prace [1, 2] opublikowane obok siebie w *Physical Review Letters*. Autorzy: David J. Gross, H. David Politzer i Frank Wilczek właśnie wybierają się, żeby odebrać tegoroczną Nagrodę Nobla z Fizyki.

Prace te zostały opublikowane w 1973 roku, gdy Politzer i Wilczek byli jeszcze studentami. Zapoczątkowały rozwój tzw. chromodynamiki kwantowej, która stanowi jeden z trzech filarów teorii oddziaływań fundamentalnych.

Chromodynamika kwantowa jest teorią oddziaływań silnych, które są odpowiedzialne za wiązanie nukleonów w jądrze atomowym. Teorii tych oddziaływań poszukiwano od lat trzydziestych XX wieku. Już wtedy Hideki Yukawa zauważył, że krótki zasięg sił jądrowych można wytłumaczyć, jeżeli przyjmie się, iż nośnikiem tych sił jest cząstka o masie około 15% masy nukleonów. W tym samym czasie rozwinięta została elektrodynamiczna kwantowa, która pozwalała na obliczenia z niespotykaną wcześniej dokładnością. W dodatku obliczenia te zgadzały się z obserwacjami. Elektrodynamiczna jest teorią z cechowaniem. Ten, nic niespecjalistom niemówiący termin, oznacza, że oddziaływanie w tej teorii „samo” pojawia się, jeżeli zapostuluje się swobodę wyboru fazy potencjału w każdym punkcie przestrzeni z osobna. Dopuszczenie takiej swobody powoduje, że do równań opisujących nieoddziałujące cząstki należy dopisać człony, które można zinterpretować jako opis przenoszących oddziaływanie fotonów. W teorii takiej pojawiają się jednak nieskończoności (patrz artykuł *Czy łatwiej uciec przed słońcem, czy przed nieskończonością?* w tym numerze). Okazuje się jednak, że te nieskończoności można systematycznie ukryć za pomocą procedury przeddefiniowania parametrów, nazywanej renormalizacją. Otrzymuje się przepis na prowadzenie rachunków, które zgadzają się z doświadczeniem do jednej miliardowej!

Sukces elektrodynamicznej kwantowej spowodował poszukiwanie podobnej teorii oddziaływań silnych. Wydawało się jednak, że taka teoria nie może być renormalizowalna, czyli nie można za jej pomocą prowadzić precyzyjnych rachunków. Po co komu taka teoria? Powody trudności były dwa. Wyniki doświadczeń wskazywały, że grupa cechowania dla oddziaływań silnych musi być bardziej skomplikowana, związana z istnieniem dwóch rodzajów ładunku. Taką grupą jest SU(2), ale jest ona grupą nieprzemianną. Drugą trudnością było przewidywanie istnienia nieobserwowanej bezmasowej cząstki, która powinna być nośnikiem takiego oddziaływania. W latach pięćdziesiątych i sześćdziesiątych XX wieku okazało się, że wyjaśnienie obserwowanej wtedy

mnożności cząstek oddziałujących silnie wymagałoby rozszerzenia grupy cechowania do SU(3), czyli zapostulowania istnienia trzech rodzajów ładunków.

Zamiast teorii z cechowaniem, która mogłaby opisywać oddziaływania silne, pojawił się w latach sześćdziesiątych pomysł, że obserwowane cząstki oddziałujące silnie nie są fundamentalne, tylko składają się z kwarków, a obserwowana, przybliżona symetria SU(3) jest związana właśnie z istnieniem trzech rodzajów kwarków.

Tegoroczni nobliści udowodnili jednak, że można opisać oddziaływania silne za pomocą teorii z cechowaniem, o ile przyjmie się, że SU(3) jest grupą cechowania, ale nie ma nic wspólnego z istnieniem trzech rodzajów kwarków. Zaproprowali zupełnie nowe i to od razu trzy ładunki. Dzięki temu, że nośniki oddziaływania są same obdarzone ładunkami, czyli oddziałują ze sobą, w teorii tej pojawia się asymptotyczna swoboda. W elektrodynamicznej kwantowej chmura cząstek wirtualnych ekranuje ładunek. Dlatego, efektywnie, ładunek rośnie wraz ze zmniejszaniem się odległości. W teorii oddziaływań silnych przeciwnie, siła oddziaływania bierze się właśnie z chmury samooddziałujących cząstek, a w miarę zmniejszania odległości siła oddziaływania maleje. Nowe ładunki zostały nazwane „kolorami”, ponieważ obserwowane na swobodzie mogą być tylko układy „białe” złożone z trzech różnych kolorów (lub koloru i antykoloru). Występowanie kwarków w trzech kolorach zostało potwierdzone już na początku lat siedemdziesiątych. Prawdopodobieństwo wyprodukowania pary kwark-antykwarik trzeba było właśnie pomnożyć przez trzy, żeby otrzymać zgodność z doświadczeniem. Dodatkowym potwierdzeniem było odkrycie po roku czwartego kwarku (tylko przy parzystej liczbie kwarków teoria jest spójna) i w końcu zaobserwowanie przypadków potwierdzających realne istnienie bezmasowych nośników sił kolorowych.

Jak zwykle nasuwa się pytanie, dlaczego tegoroczni laureaci musieli czekać prawie ćwierć wieku, skoro ich teoria znalazła natychmiastowe potwierdzenie?

Chyba winna jest matematyka. Chromodynamika kwantowa przewiduje nie tylko asymptotyczną swobodę na bardzo małych odległościach, równoważnie – przy bardzo dużych energiach, ale również uwięzienie kwarków. Niestety, uwięzienia nie udało się dotąd wykazać w sposób ścisły.

Moim zdaniem tegoroczna decyzja Komitetu Noblowskiego była spowodowana niedawnymi obserwacjami układów więcej niż trzech kwarków z jednej strony i swoistym remanentem z drugiej. Zbliży się przecież nowa era w doświadczalnej fizyce oddziaływań fundamentalnych. Właśnie o tym będzie można przeczytać w styczniowym numerze *Delty*.

Piotr ZALEWSKI

[1] D.J. Gross, F. Wilczek, *Ultraviolet Behavior of Non-Abelian Gauge Theories*, Phys. Rev. Letters **30**(1973)1343

[2] H.D. Politzer, *Reliable Perturbative Results for Strong Interactions*, Phys. Rev. Letters **30**(1973)1346