

\* Narodowe Centrum Badań Jądrowych w Warszawie

Redaktor *Delty* w latach 1997–2018, z-ca redaktora naczelnego w latach 2000–2010.

Pogląd, jakoby utworzenie miesięcznika *Delta* (1973) było reakcją na odkrycie prądów neutralnych (1973), nie znalazł potwierdzenia. Pozornie nie ma w tym nic zaskakującego. Niewielu to wydarzenie naukowe w ogóle doceniło, a jeszcze mniej uznało za przełom. Dlaczego więc napisałem „pozornie” i co to są prądy neutralne? Wyjaśnijmy to sprawnie, ale po kolei.

Przewidywanie istnienia prądów neutralnych jest konsekwencją potraktowania na serio jednocześnie względności i kwantów. Jako pierwszy zrobił to Paul Dirac prawie pół wieku wcześniej (1928). Zrobił, ale nie od razu uwierzył w to, co zrobił.

Na kartce papieru odkrył spin połówkowy (bez którego nie byłoby ani chemii, ani nas) i antymaterię (wtedy, chwilowo, nie wiadomo, do czego potrzebną)... i nie potraktował tego całkiem serio. Dopiero odkrycie pozytonu (antycząstki elektronu, 1932) uwolniło odpowiednią uwagę.

Kolejnym (w telegraficznym skrócie) doświadczalnym bodźcem było zmierzenie nieprzewidywanej przez (samo) równanie Diraca różnicy poziomów energetycznych atomu wodoru, nazwanej *przesunięciem Lamba* (1947). Wyjaśnienie wymagało uznania dynamicznej natury próżni ujawniającej się przy skali rzędu masy elektronu, czyli  $10^{-11}$  cm. To przy okazji rozwiązywało problem potencjalnie nieskończonej energii pola elektrycznego cząstek naładowanych. W miejsce nieskończoności kreowały się pary cząstka-antycząstka (po to jest antymateria). Otworzyło to drogę do elektrodynamiki kwantowej, czyli pierwszej kompletnej teorii o nieustalonej liczbie cząstek, w której nośnikiem oddziaływań jest foton, będący „lokalną kwantową reakcją czasoprzestrzeni” na obecność ładunków elektrycznych.

Worek z cząstkami (uznawanymi wtedy za elementarne) rozwiązał się w latach pięćdziesiątych. Do pewnego stopnia niezależnie obserwowano przemiany jednych cząstek w inne „spokrewnione”, ze zmianą ładunku o jednostkę (tzw. prądy naładowane). „Niechęć” do takich przemian zaczęła być wyjaśniana przez postulowaną bardzo dużą masę (dwóch przeciwnie naładowanych) nośników takiego „słabego oddziaływania”, odpowiadającą za jego „krótkozasięgowość” (rzędu  $10^{-17}$  cm).

W 1967 roku Steven Weinberg zaproponował wspólny opis oddziaływania elektromagnetycznego i słabego. Wymagało to zapostulowania dodatkowego neutralnego nośnika oddziaływania słabego, który miał mieszać się z proto-fotonem, dając bezmasowy foton i masywny (dzięki mechanizmowi Brouta-Englerta-Higgsa) bozon  $Z^0$ . Propozycja była nietrywialna. Wkrótce okazało się jednak (zgodnie z przypuszczeniem Weinberga), że taka teoria pozwala na precyzyjne rachunki (jest renormalizowalna) i można w nią włączyć oddziaływania silne (czyli opisać całą odkrywaną menażerię cząstek oddziałujących silnie, jak np. nukleony).

Jej pierwszym przewidywaniem było właśnie istnienie prądów neutralnych (oddziaływanie słabe bez zmiany ładunku) przenoszonych przez  $Z^0$ . I to właśnie odkryto, obserwując oddziaływanie neutrin i anty-neutrin mionowych w komorze pęcherzykowej Gargamelle w CERN w 1973 roku. Tak narodził się model standardowy, świadkiem konstytuowania i potwierdzania którego była *Delta*.

Jest to najbardziej precyzyjny opis zjawisk, jaki udało się ludzkości opracować (zgodność z pomiarami nawet do 12. dziesiątnej miejsca znaczącego). Jest to czysto matematyczna konsekwencja skończonej prędkości przekazywania informacji oraz niezerowej wartości stałej Plancka. Model standardowy, opierający się na obserwowanych symetriach oraz mierzonych ładunkach i masach, przewiduje całą resztę.

Weinbergowi przypisywane jest powiedzenie, że do zajmowania się fizyką potrzebne są tylko trzy rzeczy: matematyka, matematyka i jeszcze raz



Delta, luty 2014



Delta, marzec 2015

Symetria CP oznacza złożenie sprzężenia ładunkowego C (zamiana cząstek na antycząstki) i odbicia przestrzennego P. Naruszenie symetrii oznacza, że w pewnych doświadczeniach układ poddany działaniu symetrii zachowuje się inaczej od wyjściowego układu.



Delta, październik 2016

O odkryciu przyspieszenia tempa ekspansji Wszechświata pisał w  $\Delta_{12}^{10}$  Mateusz Iskrzyński.



Delta, luty 2017

matematyka... Pogląd, którego redakcja *Delty* może się i wstydzi, ale raczej nie wypiera.

W miesięczniku mamy jeszcze astronomię i informatykę, ale o tym za chwilę.

Pierwsze dziesięć lat *Delty* przypadło na ugruntowanie się modelu standardowego. Potrzebny był czwarty kwark: został odkryty. Potrzebna była trzecia rodzina fermionów (do wyjaśnienia naruszenia CP): odkryto kwark piękny oraz lepton tau. Przydałoby się bezpośrednio zaobserwować masywne bozony pośredniczące: dokonano tego, gdy tylko udało się zмайstrować odpowiednio potężne urządzenie (CERN, 1983).

Następna dekada (doświadczalnej fizyki cząstek) została naznaczona przygotowaniem i realizacją dokładnego badania  $Z^0$  (głównie) w akceleratorze LEP (ang.: *Large Electron Positron collider*). Na początek (lata dziewięćdziesiąte) wykazano, że rodziny cząstek materii z prawie bezmasowymi neutrinami są tylko trzy. Natomiast precyzyjne pomiary pozwoliły na dokładne oszacowanie masy ostatniej brakującej w tych trzech rodzinach cząstki (kwarku top) na około 180 mas protonu albo liczbę masową tantalu. Dokładnie taki kwark top dostrzeżono w Tevatronie w 1994 roku (początkowo tylko garść przypadków, które bez wsparcia dokładnych pomiarów prawdopodobnie w ogóle nie zostałyby zareportowane już w 1994 roku).

W ten sposób w modelu standardowym pozostał już do odkrycia tylko bozon Higgsa związany z naruszeniem symetrii elektrosłabej generującym masy cząstek. Odkrycie topu ograniczyło spodziewaną masę bozonu Higgsa do wartości niewiele większej od masy samego topu.

I wreszcie zaczęło się coś jeszcze ciekawszego. Najpierw przywołajmy astronomię w postaci astrofizyki, czy też kosmologii, bo właśnie tam miało się wydarzyć coś nieoczekiwanego. W 1998 roku, w pomysłowy sposób badając populację supernowych IA, będących świecami standardowymi w odległościach kosmologicznych, odkryto przyspieszanie tempa ekspansji Wszechświata.

W połączeniu z dokładnymi pomiarami relikтового promieniowania tła (np. wyniki WMAP opublikowane przy okazji trzydziestolecia *Delty*) pozwoliły wyznaczyć gęstość energii fluktuacji próżni na około  $10^{-3} \text{ eV/mm}^3$ .

Co w tym ciekawego? Potraktowanie na serio czasoprzestrzeni daje oszacowanie wartości tej gęstości energii tym większe, im mniejszy rozpatrujemy obszar, a ponieważ potencjalnie najmniejszym fizycznie dostępnym obszarem jest komórka o rozmiarach długości Plancka (próba dokładniejszego sprawdzania skończyłaby się utworzeniem czarnej dziury), to gęstość energii próżni powinna być rzędu masy Plancka, czyli 120 rzędów wielkości większa niż obserwowana. Dopóki jej nie zmierzono, to liczone na jakiś nieznaną mechanizm dokładnie niwelujący gęstość energii próżni. Jednak szansa na uzyskanie wyniku, który wyzeruje 120 cyfr znaczących, ale zostawi 121, wydaje się bardzo mała.

Jeden taki problem już się rozwiązał poprzez odkrycie antymaterii przy  $10^{-11} \text{ cm}$ . Natomiast ten problem sugeruje coś nowego przy odległościach rzędu milimetra – tylko nic takiego nie widać!

Ale to nie koniec. Do naruszania symetrii elektrosłabej trzeba użyć czegoś pozbawionego spinu. A coś takiego, jeżeli nie jest dodatkowo chronione, również zasysa poprawki rzędu masy Plancka.

Czyli powinniśmy oczekiwać czegoś nowego, co ustabilizuje masę bozonu Higgsa przy skali elektrosłabej ( $10^{-17} \text{ cm}$ ). Jaka to energia? Taka, jaka już była dostępna w LEP – tylko tam nic przecież nie znaleźliśmy.

Ten „problem hierarchii”, a dokładniej oczekiwanie jego rozwiązania poprzez odkrycie czegoś nowego przy skali naruszenia symetrii elektrosłabej, był jednym z głównych argumentów przy planowaniu i zatwierdzaniu LHC, czyli wielkiego zderzacza hadronów, który zbudowano w tunelu LEP w CERN.



### Rozwiązanie zadania F 1086.

Zgodnie z modelem Bohra energie stanów elektronu poruszającego się wokół jądra atomowego o ładunku  $Z$  opisuje wzór:

$$E_n = -\frac{Z^2}{n^2} E_1,$$

przy czym  $n = 1, 2, 3, \dots$  oznacza numer tzw. powłoki elektronowej. Poza liczbą  $n$  stany elektronu charakteryzują jeszcze liczby: spinowa  $s = \pm 1/2$ , orbitalnego momentu pędu  $l = 0, 1, \dots, n - 1$  oraz liczba kwantowa  $m$  przyjmująca wartości całkowite od  $-l$  do  $l$ . Stan opisany jednym zestawem wartości liczb  $n, l, m, s$  może być obsadzony tylko przez jeden elektron (zakaz Pauliego). W najprostszej wersji modelu energia stanu zależy tylko od wartości  $n$  zgodnie z podanym wzorem. Kolejnym energiom odpowiadają następujące liczby stanów:  $n = 1$  to 2 stany,  $n = 2 - 8$  stanów,  $n = 3 - 18$  stanów itd. Dotychczas opisywaliśmy stany pojedynczego elektronu. Atom azotu ma jednak 7 elektronów. W obliczeniach energii należy więc uwzględnić także energie wzajemnego oddziaływania elektronów. Uczynimy to w sposób bardzo uproszczony. Będziemy budowali atom, dodając krok po kroku elektrony wypełniające kolejne powłoki  $n$  i po każdym kroku obliczając energię obsadzanego stanu dla liczby  $Z$  zmniejszonej o 1 – przybliżenie: kolejny elektron porusza się w polu ładunku punktowego równego sumie ładunku jądra i już związanych elektronów. Dla azotu mamy 2 elektrony w powłoce  $n = 1$  i 5 w powłoce  $n = 2$ . Energia elektronów wynosi więc:

$$E = -E_1 \left( 49 + 36 + \frac{25 + 16 + 9 + 4 + 1}{4} \right).$$

Liczbowo:  $E \approx -1343$  eV. Całkowita jonizacja atomu azotu wymaga dostarczenia energii równej  $-E = 1343$  eV. Przybliżenie jest bardzo dobre – zmierzona wartość wynosi 1486 eV. Zaproponowane tu przybliżenie dla atomów lekkich daje wartości równe około 90% wartości dokładnych (od 85% dla helu do 91% dla argonu). Niedoszacowanie energii wynika z faktu, że dla kolejnych elektronów ładunek już związany nie jest ładunkiem punktowym.



Delta, październik 2018

Podniesienie energii, efektywnie, o rząd wielkości oraz zmiana na zderzacz hadronowy (przeszukujący cały zakres energii zamiast jednej dobranej) powodowały, że bozon Higgsa nie miał już gdzie się chować. Ale obiecywano (nie tylko sobie) odkrycie tzw. nowej fizyki, która nie pokazała się w akceleratorze LEP.

Najciekawszą (jednak daleko niejedyną) możliwością, na którą liczono, było wykorzystanie przez Naturę ostatniej oryginalnej rzeczy, którą mogłaby ona zrobić, a czego jeszcze nie zaobserwowaliśmy. Chodzi o supersymetrię, która każdej cząstce kooptuje wzbudzenie o komplementarnym spinie (poprzez kolejny, antysymetryczny tym razem, nowy dyskretny wymiar). Jeżeli taka symetria nie jest naruszona, to wkłady do masy bozonu Higgsa się kasują. W dodatku najlżejsze takie wzbudzenie byłoby stabilne, więc byłoby świetnym kandydatem na cząstkę ciemnej materii, której domaga się kosmologia. A zupełnie niezależnie, aby w trakcie ewolucji Wszechświata wytworzyło się odpowiednio dużo ciemnej materii, odpowiadająca za nią cząstka powinna mieć masę też w okolicach skali  $10^{-17}$  cm.

Akcelerator LHC miał być uruchomiony tuż po trzydziestych urodzinach *Delty*, ale budowa (LHC wraz z detektorami) trwała pięć lat dłużej.

Trzy scenariusze były możliwe.

„Medialny”: LHC odkrywa bozon Higgsa i „nową fizykę”, która uzasadnia jego masę.

„Kryzysowy”: LHC niczego nie odkrywa – trzeba zacząć wymyślać fizykę cząstek od zera (wyjaśniając przy okazji, dlaczego model standardowy daje tak dobre przewidywania pomimo braku bozonu Higgsa).

„Poważny”: LHC odkrywa „tylko” bozon Higgsa, ale niczego wyjaśniającego jego niską, w porównaniu do skali Plancka, masę.

Przy okazji czterdziestolecia *Delty* przyznano Nagrodę Nobla za wymyślenie bozonu Higgsa, dzięki temu, że tak wyglądającą cząstkę odkryliśmy w LHC.

Ostatecznie, musieliśmy samym sobie przyznać, że scenariusz „medialny”, jeżeli w ogóle był możliwy, to najpóźniej w LEP-ie. Odkrycie nowej fizyki w LHC i tak wymagałoby precyzyjnego dostrojenia w celu wyjaśnienia masy bozonu Higgsa. Inaczej mówiąc, nieprofesjonalne było argumentowanie, że masa Higgsa nie powinna podlegać dostrojeniu, skoro gęstość energii próżni i tak musi być dostrojona rzędy wielkości dokładniej.

Dlaczego musi? Bo gdyby była choć rząd wielkości większa, to nasz Wszechświat byłby pusty, a więc nie powstałibyśmy, żeby się mu dziwować. Zresztą z masą Higgsa jest podobnie. Jakby trochę ją zwiększyć, to z pierwiastków „mielibyśmy” tylko wodór (choć tu można by jeszcze innymi parametrami pokręcić, żeby pierwiastki próbować uratować).

LHC ma działać jeszcze do (mniej więcej) sześćdziesięciolecia *Delty*. Zwiększana będzie świetność, czyli liczba elementarnych zderzeń na jednostkę czasu. Czy coś nowego uda nam się wyłowić? Nie wiadomo, ale z każdą kolejną próbką przeanalizowanych danych jest to coraz mniej prawdopodobne.

Jednocześnie ciekawe jest np. to, że najmniej podstrojona wersja supersymetrii (tzw. Minimal Split SUSY) nie jest wykluczona, a przewiduje cząstki o masach tuż za granicą dostępności w LHC (oraz taką masę Higgsa jak obserwowana). Ma dobrą kandydatkę na cząstkę ciemnej materii, i to taką, która wyjaśnia fiasko prób jej tzw. bezpośredniej detekcji (komplementarny do LHC sposób poszukiwań rozwijający się na dużą skalę). Nie wiadomo, czy ludzkość da się przekonać do zafundowania następcy LHC, a jak będzie zwlekać, to już może nie być kim budować.

Podsumowując, półwiecze *Delty* odpowiada półwieczu traktowania na serio połączenia względności i kwantów w spójny matematyczny model zwany modelem standardowym. On już z nami zostanie na zawsze. Pójście dalej





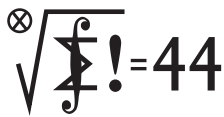
wymaga potraktowania matematyki jeszcze bardziej serio. Można powiedzieć, że trzeba choć trochę cofnąć się do „proto-matematyki” (czyli informatyki?).

Drogowskazami pozostają takie proste stwierdzenia jak  $2 \neq 3$  (liczba spinowych stopni swobody bozonu bezmasowego i masowego). Jeżeli ograniczymy się (z konieczności lub wyboru) do kartki papieru, to trzeba będzie zrezygnować z czasoprzestrzeni (bo nie da się stawiać pytań czasoprzestrzeni przy skali Plancka). Czasoprzestrzeń powinna pojawić się (na tej kartce) jako niskoenerytyczny przejaw prostych przekształceń, np. permutacji. Jeszcze tylko nie mamy pewności, co trzeba permutować (oprócz pewności, że trudno to będzie ogarnąć nawet wyćwiczonym umysłem). Matematyka, która może posłużyć do jeszcze głębszego opisu świata, jest przydatna dopiero do odkrycia lub uświadomienia.

Tematów wystarczy na tysiąclecia *Delty*. Oby tylko wystarczyło Czytelników i Autorów.

## Liga zadaniowa Wydziału Matematyki, Informatyki i Mechaniki, Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego i Redakcji *Delty*

### Klub 44 M



Czołówka ligi zadaniowej **Klub 44 M** po uwzględnieniu ocen rozwiązań zadań 861 ( $WT = 1,93$ ) i 862 ( $WT = 2,64$ ) z numeru 5/2023

Michał Adamaszek	Kopenhaga	48,47
Radosław Kujawa	Wrocław	43,57
Paweł Najman	Kraków	43,16
Adam Woryna	Ruda Śl.	40,91
Janusz Fiett	Warszawa	38,18
Marek Spychała	Warszawa	36,43
Paweł Kubit	Kraków	36,11
Szymon Tur		35,35
Piotr Kumor	Olsztyn	35,26
Jerzy Cisło	Wrocław	32,97

Pan Michał Adamaszek pokonał był próg 44 p. (po raz siódmy) dokładnie rok wcześniej i od tego czasu nie stracił w żadnej serii ani ułamka punktu! Teraz mija 44 po raz ósmy.

**Termin nadsyłania rozwiązań: 29 II 2024**

Czołówka ligi zadaniowej **Klub 44 F** po uwzględnieniu ocen rozwiązań zadań 758 ( $WT = 1,75$ ), 759 ( $WT = 2,95$ ) z numeru 5/2023

Tomasz Rudny	Poznań	43,41
Marian Łupieżowicz	Gliwice	2-40,56
Jacek Konieczny	Poznań	38,28
Tomasz Wietecha	Tarnów	16-33,11
Konrad Kapcia	Poznań	2-31,17
Ryszard Baniewicz	Wrocław	1-24,97
Andrzej Nowogrodzki	Chocianów	3-20,05
Paweł Perkowski	Ożarów	5-16,52

### Klub 44 F



#### Zadania z matematyki nr 871, 872

Redaguje Marcin E. KUCZMA, od 1980 roku

**871.** Dana jest liczba całkowita parzysta  $n > 0$ .

(a) Dowieść, że w przedziale  $[n+1, 2n+1]$  zawiera się  $n$ -elementowy zbiór liczb całkowitych  $M$  taki, że żaden jego element nie jest dzielnikiem sumy wszystkich liczb zbioru  $M$ .

(b) Wyjaśnić, czy zawsze istnieją (w tym przedziale) co najmniej dwa różne zbiory  $n$ -elementowe o powyższych własnościach.

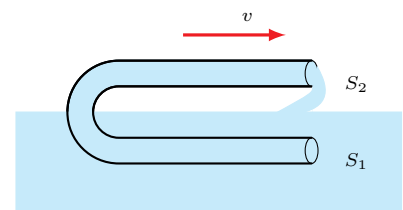
**872.** Wielomiany  $W_1, \dots, W_m$  (jednej zmiennej), stopni dodatnich, mają dodatnie współczynniki całkowite. Wykazać, że dla nieskończenie wielu liczb całkowitych  $n > 0$  wartości  $W_1(n), \dots, W_m(n)$  są jednocześnie liczbami złożonymi.

Zadanie 872 zostało opracowane na podstawie propozycji, którą przysłał pan Witold Bednarek z Łodzi.

#### Zadania z fizyki nr 768, 769

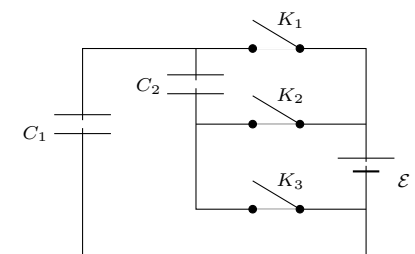
Redaguje Elżbieta ZAWISTOWSKA, od 2012 roku

**768.** Otwarta z dwóch stron rurka w kształcie litery U porusza się z prędkością  $v$  równoległe do powierzchni cieczy (rys. 1). Przekrój zanurzonej w cieczy dolnej części rurki wynosi  $S_1$ , a górnej, znajdującej się nad cieczą, jest równy  $S_2$ . Jaka siła zewnętrzna działa na rurkę w kierunku poziomym? Tarcie i powstawanie fal należy zaniedbać. Gęstość cieczy wynosi  $\rho$ .



Rys. 1

**769.** W układzie przedstawionym na rysunku 2 na początku wszystkie klucze są otwarte, a kondensatory o pojemnościach  $C_1$  i  $C_2$  nienaładowane. Klucze  $K_1$  i  $K_3$  zostały zamknięte i po ustaleniu równowagi otwarte, po czym zamknięty został klucz  $K_2$ . Znaleźć napięcie końcowe na kondensatorze  $C_1$ . Siła elektromotoryczna baterii wynosi  $\mathcal{E}$ .



Rys. 2