

Dr hab. Piotr KIELANOWSKI

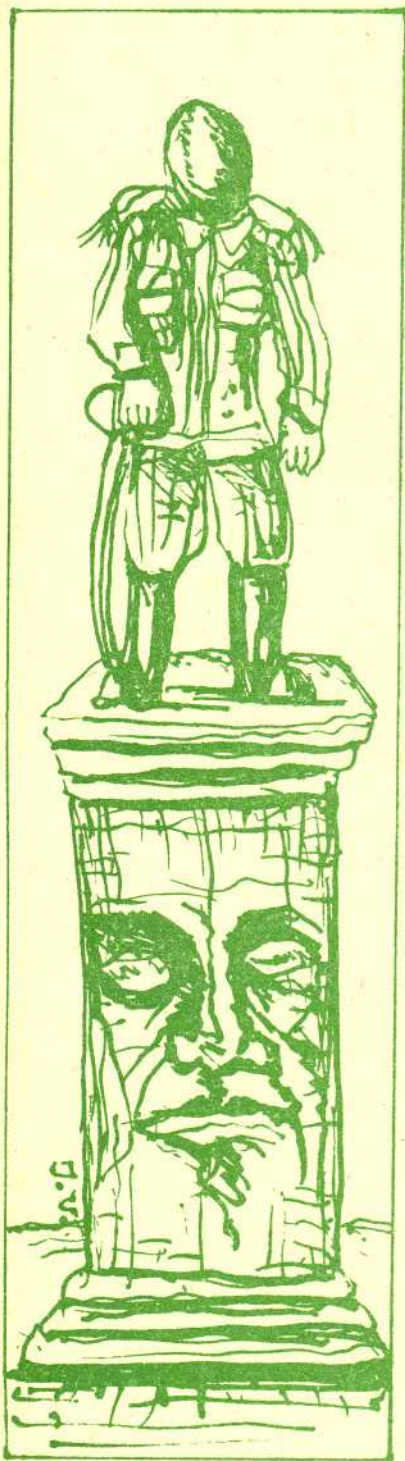
Własności luster nikogo nie dziwią. Każdy z nas codziennie spędza mniej lub więcej czasu przed lustrem i nikt nie jest zaskoczony tym, że jeśli mruga prawym okiem, to jego odbicie odmruguje do niego lewym. W lustrze widzimy więc swój obraz, ale przetworzony: „lewo” zamienia się na „prawo” i odwrotnie. Każdy z nas wierzy, że jest podobny do obrazu widzianego w lustrze. Dokładniejsze zastanowienie się nad podobieństwem do obrazu w lustrze nasuwa nam następujące refleksje. Ja jestem praworęczny, ale moje odbicie jest mańkutom. Hm... to jednak istnieją różnice. Do dużo radykalniejszych wniosków doszlibyśmy, gdyby można było obejrzeć nasze organy wewnętrzne. Jasne jest, że nasz obraz ma serce po prawej stronie, wątrobę po lewej itd. Nie ma człowieka, który miałby tak rozłożone organy. W lustrze, zamiast siebie, widzimy więc stworzenie, o którym z pewnością możemy powiedzieć, że nie istnieje! Przyczyną tego faktu jest to, że nie jesteśmy niezmiennicy ze względu na odbicia w lustrze. Ważne jest tutaj, że człowiek o własnościach obrazu w lustrze **nie istnieje**. Jeśli zobaczylibyśmy kogoś, kto ma serce po prawej stronie, to od razu stwierdzilibyśmy, że jest to odbicie lustrzane, a nie rzeczywista osoba. Gdyby część ludzi miała wszystkie organy położone po przeciwnej stronie niż nasze, to fakt zamiany położenia naszych organów nie stanowiłby jeszcze o braku niezmienniczości ze względu na odbicia w lustrze: patrząc na obraz nie moglibyśmy z całą pewnością stwierdzić, czy patrzymy na własny obraz, czy ktoś złośliwy zamienił nam lustro na przezroczystą szybę, a po drugiej stronie umieścił kogoś hucząco podobnego do nas, mańkuta, z sercem po prawej stronie, itd.

Czasami zadaje się podchwytliwe pytanie: dlaczego lustro zamienia „prawo” na „lewo”, a nie zamienia „góry” na „dół”? Pytanie to może w pierwszej chwili zaskoczyć, ale odpowiedź jest prosta: dlatego, że lustro ustawione jest pionowo. Jeśli lustro ustawimy poziomo (lustrem jest również powierzchnia gładkiego jeziora), to wtedy „góra” staje się „dołem” (patrz zdjęcie). Lustro w zależności od ustawienia może zmieniać obrazy na różne sposoby.

Zastanówmy się teraz, co można zrobić, jeśli mamy dwa lustra. Można je, oczywiście, ustawiać w różnych wzajemnych konfiguracjach. Jeśli jedno lustro ustawimy pionowo, a drugie poziomo, to obserwując obraz odbity przez dwa lustra zobaczymy siebie do góry nogami i wszystko zamienione „prawo – lewo”. Co to oznacza? Oznacza to, że zobaczymy siebie samego do góry nogami, ale nasz obraz nie będzie mańkutom i będzie mrugać do nas prawym okiem, jeśli mrugniemy prawym (proszę sprawdzić!). Widać więc, że drugie lustro poprawiło to, co zepsuło pierwsze i wspólne działanie dwu luster równoważne jest obrotowi o 180°. Odkrycie nasze nie jest nowe. Fakt ten z pewnością zna każda aktorka, a także wiele pań, które mają potrójne lustra (po obu stronach lustra środkowego dwa lustra umieszczone na zawiasach). W lustrze takim można się obejrzeć z każdej niemalże strony, a ponadto dzięki podwójnemu odbiciu można obejrzeć się tak, jak nas widzą inni, to znaczy bez zmian „góra – dół” i „prawo – lewo”. Radzę spróbować ustawić dwa lustra pod kątem i obejrzeć się. Początkowo nasze odbicie wydaje się trochę dziwne.

Niezmienniczość ze względu na odbicia (a raczej jej brak) w otaczającym nas świecie nie ma żadnych poważniejszych konsekwencji poza tym, że większość urzędzeń, które tego wymagają, jest przystosowana do praworęcznych, a lekarze operujący serce otwierają klatkę piersiową po lewej stronie itp. Dużo istotniejszą rolę odgrywa badanie niezmienniczości ze względu na odbicia w mikroświecie. Łamanie symetrii ze względu na odbicia obserwuje się również na poziomie fizyki subatomowej. Fakt ten, dość przełomowy dla fizyki cząstek elementarnych, został zaproponowany teoretycznie, a następnie udowodniony doświadczalnie ponad 30 lat temu. Eksperyment ten polegał na wykryciu asymetrii w rozpadach jąder atomowych, których momenty pędu (spiny) były ustawione równoległe do zewnętrznego pola magnetycznego (patrz *Delta* 10/1987).

W fizyce mikroświata, podobnie jak w życiu codziennym, możemy zapytać, co się dzieje, jeśli ustawimy dwa lustra zamiast jednego. Odpowiedź jest prosta. Złożenie dwu odbić jest równoważne obrotowi i drugie lustro wszystko naprawia, co zepsuło pierwsze. Mamy tu również i niespodziankę. Okazuje się, że w fizyce mikroświata dysponujemy nie jednym, lecz trzema różnymi rodzajami luster.



EUREKA!

Synteza jądrowa sposobem domowym

Kilka tygodni temu na Uniwersytecie w Utah w USA rozległ się grzmiący okrzyk „Eureka!”. Prasa codzienna, a za nią radio i telewizja poinformowały o epokowym odkryciu dokonanym przez dwóch chemików: Amerykanina Stanleya Ponsa i Brytyjczyka Martina Fleischmanna. Przeprowadzili oni w temperaturze pokojowej kontrolowaną reakcję fuzji jąder deuteru uzyskując wyraźnie dodatni bilans energii. Ta szokująca wiadomość wpadła w osłupienie środowiska naukowego i wszystkich, którym nieobce są dotychczasowe wyniki wieloletnich, żmudnych i ogromnie kosztownych badań w zakresie syntezy termojądrowej (*Delta* 12/1987). Wydawało się, że droga wiedzie poprzez ogromne temperatury, rzędu dziesiątek milionów K, potrzebne do przezwyciężenia bariery odpychania elektrostatycznego pomiędzy jądrami biorącymi udział w syntezie (dla jąder deuteru wysokość bariery wynosi około 300 keV). Wyścig miał się rozegrać między tokamakami a metodą implozji laserowej. Czyżby jednak ostateczne rozwiązanie miało być tak zaskakująco odmienne i tak przy tym proste? Na to pytanie starają się odpowiedzieć wszyscy, którzy mają kawałek palladu i odrobinę ciężkiej wody (tj. wody, w której zamiast izotopu wodoru ^1H występuje deuter, czyli izotop wodoru o jeden neutron cięższy ^2H). Przepis na fuzję deuteru jest krótki i prosty. Przygotuj elektrolit z ciężkiej wody z małą domieszką wodorotlenku litu. Elektrody, z których katodę musi stanowić pallad nasycony wcześniej deuterem, zanurz w elektrolicie i podłącz do baterii kilkuwoltowej tak, aby gęstość prądu w elektrolicie wynosiła kilkadziesiąt mA/cm² elektrody palladowej. Po upływie kilkadziesiąt godzin na katodzie zacznie zachodzić reakcja syntezy deuteru objawiająca się zwiększonym wydzielaniem ciepła, jak również emisją neutronów o energii 2,45 MeV, które pochodzą z reakcji: $d + d \rightarrow ^3\text{He} + n$. Jeśli chodzi o ilość wydzielającego się ciepła i liczbę emitowanych neutronów – to napływające, również z innych niż Utah ośrodków, doniesienia są bądź sprzeczne, bądź niekonkretne. Efekt zależy podobno silnie od objętości elektrody palladowej i gęstości przepuszczanego prądu. Pierwsze próby teoretycznego wytłumaczenia biorą pod uwagę ogromną koncentrację deuteru w palladzie dochodzącą do 1 atomu deuteru na 1 atom palladu w fazie pełnego nasycenia. Rozważa się możliwość modyfikacji bariery elektrostatycznej jąder deuteru w palladzie, w wyniku czego możliwe byłoby bez wzrostu temperatury zbliżenie się jąder na mniejsze odległości, co prowadziłoby do zwiększenia prawdopodobieństwa syntezy na drodze efektu tunelowego.

Sceptyków jest jeszcze ciągle wielu, dotychczas milczą wielkie, słynne laboratoria i specjaliści, na których opinie czekamy. Rewelacja zaś czeka na zaklasyfikowanie, na swoje miejsce w historii nauki, być może – wśród największych osiągnięć wprowadzających nas wprost w XXI wiek.

Pisane 12 kwietnia 1989 r. L. G.

Pierwszy rodzaj – to dobrze znane lustra, których działanie polega na tym, że zamieniają „prawo” na „lewo”. Operację odbicia w takim lustrze oznaczamy literą *P*. Drugi typ lustra działa w taki sposób, że zamienia wszystkie cząstki elementarne, z których składa się dany obiekt, na antycząstki (antycząstką antycząstki jest cząstka). Operację odbicia w lustrze drugiego typu oznaczamy przez *C*. Trzeci rodzaj „lustra”, którym nie będę się zajmował, to obserwowanie danego zjawiska wstecz w czasie. Oznaczone jest ono przez *T*.

Zajmiemy się teraz własnościami lustra (operacji) *C*. Dla fizyki makroskopowej operacja ta nie ma żadnego znaczenia, gdyż nie udało się ani wytworzyć, ani zaobserwować antymaterii w znaczących ilościach. Dlatego zajmiemy się własnościami operacji *C* w fizyce mikroświata. Jak mówiłem, antycząstką antycząstki jest cząstka. Dlatego $C^2 = 1$. Podwójne odbicie za pomocą lustra *C* jest operacją tożsamościową. Następne pytanie dotyczy własności obrazów w lustrze *C*: czy procesy zachodzące między antycząstkami mają jakiś związek z procesami między cząstkami? (np. czy struktura poziomów energetycznych atomu antywodoru jest taka sama jak atomu wodoru?). Pytanie to można zadać inaczej: czy można zaprojektować takie doświadczenie, by ktoś odległy od nas mógł po jego przeprowadzeniu stwierdzić, czy jest zbudowany z materii, czy antymaterii. Okazuje się, że eksperymenty takie można przeprowadzić. Eksperymenty te są bardzo podobne do tych, które pozwalają na określenie strony prawej i lewej (patrz *Delta* 10/1987) i muszą w nich uczestniczyć oddziaływania słabe. Innymi słowy – tylko oddziaływania słabe są niesymetryczne dla obu typów luster *C* i *P*. Wszystkie inne typy oddziaływań są niezmiennicze ze względu na operację *C*.

Poprzednio widzieliśmy, że podwójne odbicie w lustrze usuwa wady obrazu. Mając dwa typy luster *P* i *C* można zastanowić się, co się stanie, jeśli będziemy obserwować proces zachodzący dzięki oddziaływaniom słabym, odbity kolejno przez lustra *P* i *C*. Wady obu luster mogą się znosić, ale mogą się też kumulować. Okazuje się, że wady tych luster nieomalże całkowicie się znoszą! To, co psuje jedno lustro, drugie naprawia. Przez pewien czas przypuszczano nawet, że naprawianie to jest całkowite. Jednakże doświadczenie czterech fizyków: Christensona, Cronina, Fitcha i Turlaya, przeprowadzone w 1964 r., wykazało, że oddziaływania słabe nie są niezmiennicze ze względu na operację *CP* (superpozycję *C* i *P*).

Omówienie tego doświadczenia zaczniemy od przypomnienia specyficznych własności mezonów *K*. Należą one do tej samej rodziny co mezony π , są jednak od nich cięższe, a co ważniejsze – niemożliwe jest przejście typu $K - \pi$ za pośrednictwem oddziaływań silnych (tzn. jądrowych). Z tego wynika, że produkcji mezonu *K*, w wyniku oddziaływań silnych, musi towarzyszyć produkcja antymezonu *K* albo innej podobnej cząstki. Własność ta doprowadziła do wprowadzenia nowej liczby kwantowej – dziwności, zachowanej przez oddziaływania silne. Mezony π i *K* mają wewnętrzny moment pędu (spin) równy 0, a przy odbiciu lustrzanym (*P*) są antysymetryczne. Dlatego mówi się o nich, że są mezonami pseudoskalarnymi. Liczby kwantowe mezonów *K* są następujące:

mezon	ładunek	dziwność
K^+	+1	+1
K^0	0	+1
K^-	-1	-1
\bar{K}^0	0	-1

Okazuje się, że oddziaływania słabe (prowadzące np. do rozpadu swobodnego neutronu) **nie zachowują dziwności**. Fakt ten prowadzi do wniosku, że możliwe jest przejście typu $K - \pi$, a więc np. rozpad $K^+ \rightarrow \pi^0 + e^+ + \nu$. Znacznie ciekawsze są własności neutralnych mezonów *K*. Okazuje się, że słabe oddziaływania mogą prowadzić do przejścia $K^0 - \bar{K}^0$, a więc w wyniku tych oddziaływań mezony K^0 i \bar{K}^0 tracą swoją tożsamość. Ma to poważne konsekwencje. Przyjmijmy na chwilę, że lustro *CP* jest doskonale, to znaczy oddziaływania słabe są niezmiennicze ze względu na operację *CP*. Wówczas przy rozpadzie mezonu K^0 po odbiciu przez lustro *CP* powinniśmy otrzymać ten sam obraz. Jest to jednak niemożliwe, bowiem K^0 i \bar{K}^0 nie są symetryczne w lustrze *CP*. Z mezonów tych można utworzyć dwie kombinacje: symetryczną K_1 i antysymetryczną K_2 :

$$(1) \quad K_1 = \frac{K^0 - \bar{K}^0}{\sqrt{2}} \quad i \quad K_2 = \frac{K^0 + \bar{K}^0}{\sqrt{2}}$$



Rozwiązanie zadania M 538. Niech p_k oznacza szansę wylosowania białej kuli z k -tej urny. Oczywiście $p_1 = \frac{b}{b+c}$; zatem $p_2 = p_1 \frac{b+1}{b+c+1} + (1-p_1) \frac{b}{b+c+1} = \frac{b+c}{b+c+1} = \frac{b}{b+c}$. Jasne jest, że w takim razie $p_1 = p_2 = \dots = p_n = \frac{b}{b+c}$.



JESZCZE RAZ
Z CAŁĄ MOCĄ
PODKREŚLAM, IŻ
NIENAWIDZĘ
SYMETRII



Rozwiązanie zadania M 540. Dla każdej liczby rzeczywistej x mamy $x(1-x) \leq 1/4$. Zatem $(1-a_n)a_{n+1} > (1-a_n)a_n$, czyli ciąg (a_n) jest rosnący. Ponieważ jest ograniczony, ma granicę a spełniającą warunek $(1-a)a \geq 1/4$, czyli $a = 1/2$.

(Własności symetrii stanów K_1 i K_2 względem odbicia w lustrze CP wynikają z następujących rozważań. Zachodzi $CK^0 = \bar{K}^0$ i $PK^0 = -K^0$ oraz $\bar{C}\bar{K}^0 = K^0$ i $\bar{P}\bar{K}^0 = -K^0$. Mamy więc: $CPK^0 = -\bar{K}^0$ i $CP\bar{K}^0 = -K^0$. Stąd wynika, że $CPK_1 = K_1$ i $CPK_2 = -K_2$.) Operacja „mieszania” mezonów jest odwracalna i mezony K^0 oraz \bar{K}^0 można wyrazić poprzez mezony K_1 i K_2 :

$$(2) \quad K^0 = \frac{K_1 + K_2}{\sqrt{2}} \quad \text{i} \quad \bar{K}^0 = \frac{K_2 - K_1}{\sqrt{2}}$$

Mezony K_1 i K_2 nie mają określonych własności względem oddziaływań silnych, natomiast mają określone własności przy oddziaływaniach słabych. Na odwrót jest dla mezonów K^0 i \bar{K}^0 . Produkcja mezonów K następuje w wyniku oddziaływań silnych, a więc mówimy o produkcji mezonów K^0 i \bar{K}^0 , a nie K_1 albo K_2 . Rozpady mezonów K następują w wyniku oddziaływań słabych, a więc możemy mówić tylko o rozpadach mezonów K_1 i K_2 .

Mezony K_1 i K_2 są różnymi cząstkami, muszą więc mieć różne czasy życia i masy, a także różne sposoby rozpadu. Można wykazać, że czas życia K_1 powinien być dużo krótszy niż K_2 . Mezon K_1 nie może się rozpaść na trzy mezony π . Wynika to z tego, że mezon K_1 jest symetryczny w lustrze CP , natomiast trójka mezonów π jest antysymetryczna. Dominujący sposób rozpadu mezonu K_1 jest więc na dwa mezony π . Mezon K_2 nie może rozpadać się na parzystą liczbę mezonów π , ponieważ jest antysymetryczny, a parzysta liczba mezonów π jest symetryczna. Mezon K_2 może się więc rozpadać na trzy mezony π .

Obraz ten w głównych zarysach został potwierdzony doświadczalnie i okazało się, że czas życia mezonu K_2 jest około 1000 razy dłuższy niż mezonu K_1 . Szybko się również zorientowano, że badanie rozpadów neutralnych mezonów K można wykorzystać do zbadania niezmienniczości CP . Idea doświadczenia jest bardzo prosta: weźmy wiązkę mezonów K^0 , które ulegają rozpadowi w wyniku oddziaływań słabych. Ze wzoru (2) wynika, że wiązka ta jest mieszaniną mezonów K_1 i K_2 . Poczekajmy teraz, aż wszystkie mezony K_1 się rozpadną i zostaną tylko mezony K_2 , a następnie sprawdzimy, czy będziemy nadal obserwować rozpady na dwa mezony π . Zaobserwowanie takich rozpadów będzie dowodem, że symetria lustra CP nie jest dokładna. Doświadczenie dało wynik, że para $(\pi^+ \pi^-)$ występuje jako stan końcowy rozpadu mezonu K_2 w jednym przypadku na 500 rozpadów. Łamanie CP zostało więc doświadczalnie udowodnione.

Doświadczenie to zostało przeprowadzone 25 lat temu, a więc w czasach zamierzonych dla większości naszych Czytelników. Można spytać, czy w międzyczasie zaobserwowano łamanie CP dla innych cząstek elementarnych. Odpowiedź jest negatywna. Czyniono wiele prób, by sprawdzić „lustro” CP także dla innych cząstek niż neutralne mezony K i nie doprowadziły one, jak na razie, do wykrycia żadnego nowego przypadku łamania CP . Efekty łamania CP są zawsze zbyt małe, a dokładność niezwykle trudnych i pracochłonnych eksperymentów okazywała się za każdym razem niewystarczająca. Obecnie wiąże się największe nadzieje z możliwością zaobserwowania łamania CP w układzie neutralnych mezonów $B^0 - \bar{B}^0$ (mezonów o liczbie kwantowej B). Układ ten wykazuje wiele podobieństw do układu $K^0 - \bar{K}^0$, przy czym mieszanie mezonów $B^0 - \bar{B}^0$ jest, jak się niedawno okazało, dużo większe niż oczekiwano. Na wyniki eksperymentalne przyjdzie nam jeszcze poczekać pewien czas, bo i ten eksperyment, jeśli zostanie przeprowadzony, będzie bardzo trudny.

Liczba danych doświadczalnych dotyczących łamania symetrii CP jest niezwykle mała. Z faktem tym związany jest brak teoretycznego zrozumienia łamania CP . Sytuacja ta wyraźnie kontrastuje z przypadkiem łamania symetrii C lub P , które rozumiemy bardzo dobrze: łamanie C i P jest maksymalne, a do jego opisu nie potrzeba wprowadzać żadnych nowych parametrów. Niestety, nie istnieje ogólnie przyjęta teoria łamania CP . Do jego opisu wymagane jest wprowadzenie nowych, małych parametrów i w zależności od wariantu teorii łamanie CP powinno być obserwowalne w różnych sytuacjach. Wykonane doświadczenia, które nie doprowadziły do wykrycia nowych przypadków łamania CP , pozwoliły na wyeliminowanie niektórych teorii. Widzimy więc, że chociaż nie były one pozytywne, dały nam cenne informacje.

Na zakończenie chciałbym zwrócić uwagę na sprawę nieco inną. Mogłoby się wydawać, że zjawisko, które jest niezwykle słabe i trudno obserwowalne, nie powinno odgrywać w przyrodzie żadnej istotnej roli. Okazuje się, że jest całkowicie na odwrót: łamanie CP jest przyczyną ilościowej przewagi materii nad antymaterią we Wszechświecie. Innymi słowy – gdyby nie łamanie symetrii CP , nasz świat byłby zupełnie inny, a my nie istnielibyśmy.