

# Czym prawa strona różni się od lewej?

Mgr Marek PFÜTZNER

Niedawno (przełom 1986/87) minęło 30 lat od odkrycia pewnego zdumiewającego prawa przyrody. Jest ono na tyle podstawowe, że do zastanowienia się nad nim wystarcza szkolna znajomość fizyki: zachęcam więc każdego do namysłu nad tą intrygującą sprawą.

## Zagadka

Istotę problemu chyba najlepiej opisał R. Feynman (patrz *Wykłady Feynmana z fizyki*, tom 1, rozdział 52). Otóż wyobraźmy sobie, że nawiązaliśmy łączność radiową z jakąś pozaziemską cywilizacją. Nauczyliśmy się już rozumieć wzajemne sygnały i wymieniamy informacje o naszych światach. Nagabywani przez kosmicznych rozmówców napotykamy problem: jak wytłumaczyć im, że serca mamy umieszczone po lewej stronie ciała, albo jak jednoznacznie wskazać, że podajemy sobie prawe dłonie w geście powitania? Drogą radiową możemy przekazać im wiele naszych pojęć, takich jak liczby, góra, dół, ale jak rozróżnić prawe i lewe? A skąd my wiemy, która strona jest prawa? No, oczywiście każdemu z nas, w dzieciństwie, rodzice pokazali: *To jest Twoja prawa ręka* i ponieważ wszyscy stosują tę samą konwencję, nie dochodzi do nieporozumień. Ale wyobraźmy sobie jeszcze, że z jakichś powodów nie możemy wskazać naszym rozmówcom żadnego obiektu, mówiąc np: *Jak patrzycie w naszym kierunku, to ta gwiazda jest po lewej stronie*, tylko musimy opisać sposób jednoznacznego wyróżnienia np. prawej strony. Nasze zadanie polega na znalezieniu jakiegoś zjawiska fizycznego, które wykazuje asymetrię wyróżniającą stronę prawą lub lewą.

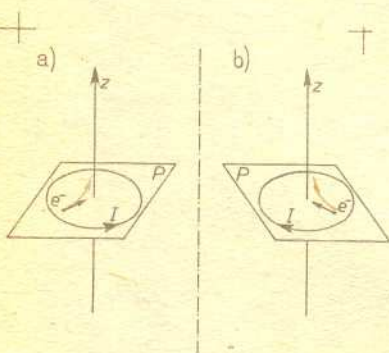
Żeby sprawdzić, czy dane zjawisko przejawia taką asymetrię, możemy posłużyć się następującą metodą. Budujemy najpierw urządzenie, w którym będzie przebiegał badany proces. Następnie budujemy drugie urządzenie, które jest identyczne ze zwierciadlanym odbiciem tego pierwszego (przez odbicie zwierciadlane rozumiemy przekształcenie symetrii płaszczyznowej). Mamy teraz dwa fizyczne układy będące swoimi lustrzanymi odbiciami. Wykonujemy doświadczenie w pierwszym urządzeniu, a potem w drugim, rejestrując wyniki w obydwu przypadkach np. na taśmie filmowej. Porównujemy oba przebiegi w następujący sposób. Film przedstawiający proces w drugim układzie puszcza normalnie, a film z pierwszego urządzenia wkładamy do projektoru odwrócony „na lewą stronę”, tak, by na ekranie obserwować zwierciadlane odbicie zarejestrowanego zjawiska. Jeśli zauważymy jakieś różnice między tak oglądanymi filmami, to będzie to znaczyło, że zjawisko w drugim urządzeniu przebiega inaczej niż zwierciadlany obraz zjawiska w pierwszym układzie. Powiemy wtedy, że badany proces wykazuje asymetrię zwierciadlaną, co, jak się okaże, pozwala na odróżnienie strony prawej i lewej.

Rozważmy prosty przykład. Na rysunku 1a przedstawiony jest pewien układ doświadczenia. Tworzy go, leżąca na płaszczyźnie  $P$ , pętla z drutu, w której płynie prąd elektryczny  $I$ . Wyróżniona jest oś „ $z$ ” prostopadła do płaszczyzny. Stosując nasze konwencje powiedzielibyśmy, że prąd w tej pętli płynie w kierunku „prawym”, bo śruba prawoskrętna wkręcana w tym kierunku będzie się przesuwac w dodatnią stronę osi „ $z$ ”. Na rysunku 1b mamy układ będący zwierciadlanym odbiciem układu  $a$ . W pętli  $b$  prąd płynie w „lewo”. Niech doświadczenie polega na tym, że w pobliżu środka pętli wystrzelujemy elektrony poruszające się w płaszczyźnie pętli. Prąd  $I$  wytwarza pole magnetyczne, które odchyli elektrony w kierunku zaznaczonym na rysunku (warto to sprawdzić stosując elementarne prawa elektrodynamiki). Ruch elektronów w układzie  $b$  (rys. 1b) będzie lustrzanym odbiciem ruchu elektronów w urządzeniu  $a$ , mamy tu symetrię zwierciadlaną i nie możemy na podstawie tego doświadczenia odróżnić kierunku prawego od lewego.

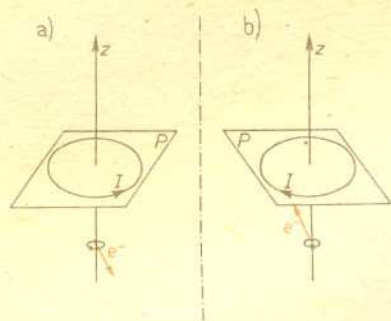
W tym miejscu zachęcam Czytelnika do zastanowienia się i do próby wymyślenia takiego procesu, który byłby asymetryczny w wyżej wymienionym sensie.

## Pomysł Lee i Yanga

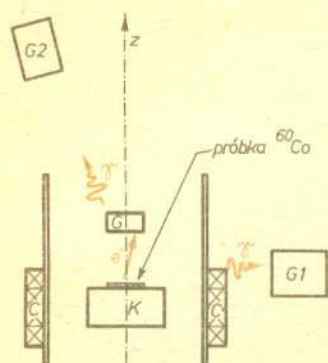
Okazuje się, że dopóki pozostajemy w kręgu zjawisk mechanicznych lub elektromagnetycznych, to nie znajdziemy sposobu na rozwiązanie naszej zagadki. Jest tak dlatego, że podstawowe prawa mechaniki i elektrodynamiki, bardzo dobrze sprawdzone doświadczalnie, wykazują symetrię zwierciadlaną. Ale w przyrodzie są jeszcze inne procesy, należą do nich np. oddziaływania słabe. W 1956 roku fizycy Tsung Dao Lee i Chen Nin Yang zauważyli, że brak jest danych doświadczalnych rozstrzygających, czy oddziaływania słabe są symetryczne względem odbić



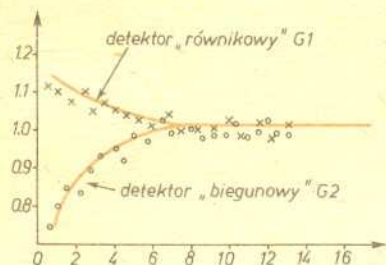
Rys. 1



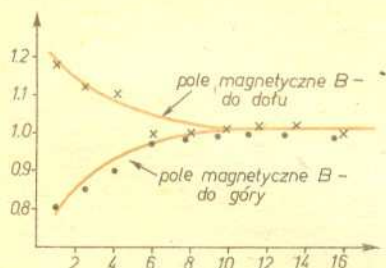
Rys. 2



Rys. 3. G — detektor elektronów  
G1, G2 — detektory kwantów  $\gamma$   
C — cewka wytwarzająca pole magnetyczne  
K — kryształ azotanowy CeMg



Rys. 4. Na osi pionowej liczba zliczeń kwantów  $\gamma$  podzielona przez liczbę zliczeń przy ciepłej próbce. Na osi poziomej czas w minutach.



Rys. 5

zwierciadlanych czy nie, i zaproponowali w związku z tym kilka eksperymentów. Oto idea jednego z nich.

Do zjawisk zachodzących pod wpływem sił słabych należy tzw. rozpad  $\beta^-$  jąder atomowych. Polega on na tym, że jeden z neutronów w jądrze zmienia się w proton i towarzyszy temu emisja elektronu oraz bardzo przenikliwej cząstki, zwanej neutrinem. Neutrino jest bardzo trudne do zarejestrowania i nie będziemy dalej brali go pod uwagę. Niektóre z jąder, ulegające takiej przemianie, mają moment magnetyczny, czyli zachowują się tak, jak mała pętla z prądem. Wykorzystamy teraz nasz poprzedni układ doświadczalny i umieścimy próbkę takich jąder w pobliżu środka drucianej pętli (patrz rysunek 2a). Momenty magnetyczne jąder zostaną uporządkowane przez pole magnetyczne prądu  $I$ . Jeśli do opisu tego zjawiska posłużymy się analogią momentu magnetycznego do ramki z prądem, to powiemy, że ustawi się ona równoległe do płaszczyzny  $P$ , a kierunek płynącego w niej prądu będzie taki sam, jak kierunek prądu  $I$  w dużej pętli. Na rysunku 2b mamy lustrzane odbicie omówionego powyżej układu. Prąd w dużej ramce płynie „w lewo” i kierunek pola magnetycznego jest odwrócony, co pociąga za sobą zmianę orientacji momentów magnetycznych jąder w próbce. Eksperyment polega teraz na tym, że obserwujemy, w którą stronę wylatują elektrony emitowane przez rozpadające się jądra. Jeśli kierunek emisji elektronu nie zależy od orientacji momentu magnetycznego, to w układzie 2a tyle samo elektronów poleci w górę i w dół względem osi  $z$ , w układzie 2b będzie tak samo i zjawisko okaże się symetryczne względem odbić zwierciadlanych. Jeśli jednak kierunek momentu magnetycznego wpływa na kierunek emisji elektronów i np. w układzie 2a byłyby one emitowane przeważnie do dołu, to w układzie 2b będą wylatywały do góry!

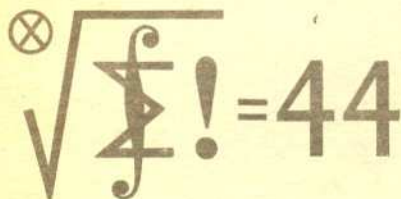
Większość fizyków tak głęboko wierzyła w to, że wszystkie prawa przyrody są symetryczne względem odbić lustrzanych, że ten drugi przebieg zjawiska wydawał się zupełnie absurdalny. Jeden z najwybitniejszych fizyków, Wolfgang Pauli, gotów był nawet założyć się o dużą sumę, że w rzeczywistym doświadczeniu elektrony będą emitowane symetrycznie względem momentu magnetycznego.

## Doświadczenie Wu

Przeprowadzono więc eksperyment. Dokonała tego grupa fizyków amerykańskich pod kierownictwem pani Chien Shien Wu. Schemat układu doświadczalnego przedstawiony jest na rysunku 3. Jako próbkę użyto izotopu kobaltu  $^{60}\text{Co}$ , który ulega przemianie  $\beta^-$  i którego jądra mają różny od zera moment magnetyczny. Próbka ta została umieszczona wewnątrz rury próżniowej, otoczonej cewkami wytwarzającymi pole magnetyczne. Nad próbką znajduje się detektor elektronów. Największą trudność techniczną polega na tym, że w normalnej temperaturze nie można ustawić momentów magnetycznych w jednym kierunku — przeszkadzają temu drgania cieplne. Ochłodzenie próbki do bardzo niskiej temperatury odbyło się następująco. Warstwa  $^{60}\text{Co}$  została napylna na kryształ paramagnetyka (był to azotan CeMg). Przez chłodzenie ciekłym helem (temp. 1,2 K), a następnie przez adiabatyczne rozmagnezowanie paramagnetyka udało się obniżyć temperaturę próbki do 0,01 K. W tych warunkach zewnętrzne pole magnetyczne polaryzuje powłoki elektronowe paramagnetyka, które z kolei wytwarzają pole zdolne do ustawienia momentów magnetycznych jąder  $^{60}\text{Co}$ . W rozpadzie  $\beta^-$   $^{60}\text{Co}$  oprócz elektronu i neutrina emitowane są także cząstki promieniowania elektromagnetycznego, tzw. kwanty  $\gamma$ . Rozkład kątowy tych cząstek jest symetryczny względem kierunku momentu magnetycznego, ale prawdopodobieństwo emisji w płaszczyźnie „równikowej” (tj. prostopadłej do osi „ $z$ ”) jest większe niż prawdopodobieństwo emisji w kierunkach „biegunowych”. Mierzac natężenie tego promieniowania w płaszczyźnie „równikowej” (służy do tego detektor G1) oraz w kierunku „biegunowym” (detektor G2) można sprawdzić, czy rzeczywiście udało się ustawić momenty magnetyczne w jednym kierunku.

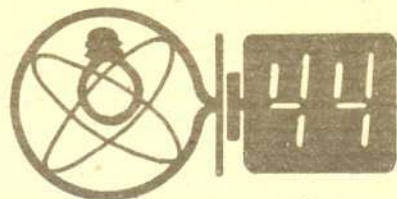
Na rysunku 4 przedstawiono liczby zliczeń zarejestrowanych przez detektory G1 i G2 jako funkcje czasu, który upłynął od ochłodzenia próbki. Zgodnie z oczekiwaniem licznik G1 rejestrował więcej cząstek  $\gamma$  niż licznik G2, co wskazuje na to, że momenty magnetyczne jąder  $^{60}\text{Co}$  zostały uporządkowane. Wskutek ogrzewania się próbki anizotropia ta zmniejsza się z czasem i zanika zupełnie po upływie około 7 minut, co odpowiada zniszczeniu uporządkowania przez drgania termiczne. Okazało się, że efekt ten jest taki sam, jeśli wykona się to doświadczenie z polem skierowanym przeciwnie. Najciekawszy jest jednak wynik zliczania elektronów. Rysunek 5 przedstawia liczbę zarejestrowanych elektronów jako funkcję czasu dla dwu przeciwnych kierunków pola magnetycznego. Widać wyraźnie, że w przypadku, gdy pole  $B$  było skierowane do góry (prąd w cewkach płynie wtedy tak, jak na rysunkach 1a i 2a), do licznika dolatuje mniej elektronów niż wtedy, gdy pole jest skierowane do dołu!!! Powolne ogrzewanie się próbki i towarzyszący mu zanik uporządkowania zmniejsza ten efekt dokładnie tak samo, jak w przypadku cząstek  $\gamma$ . Okazało się więc, że kierunek emisji elektronów zależy od orientacji momentu magnetycznego jądra!

Wielkości związane z obrotami, takie jak moment pędu czy moment magnetyczny nazywamy pseudowektorami. Ich zwrot określamy za pomocą konwencji (śruba prawoskrętna). Obliczmy iloczyn skalarny momentu magnetycznego jądra i pędu emitowanego elektronu. Otrzymamy liczbę, czyli skalar. Ale nie jest to zwykły skalar, bo jak zmienimy konwencję (użyjemy śruby lewoskrętnej), to moment magnetyczny zmieni zwrot, a pęd nie, w wyniku czego ich iloczyn skalarny zmieni znak. Wielkość taką nazywamy pseudoskalar. Doświadczenie Wu pokazało więc, że w przyrodzie istnieją zjawiska, które można opisać przez różną od zera wielkość pseudoskalarą. Jej znak zależy od konwencji definiującej prawoskrętność.



Mamy zatem zjawisko niesymetryczne względem odbić zwierciadlanych. Oto rozwiązanie naszej zagadki. Możemy opisać całe urządzenie naszym kosmicznym sąsiadom i powiedzieć im: *Wybierzcie sobie zwrot osi z. Ustawcie wszystko tak, żeby elektrony wylatywały przeważnie do dołu (tj. przeciwnie do zwrotu osi „z”). Jeżeli źródłem zewnętrznego pola magnetycznego jest cewka, w której płyną ładunki dodatnie (takie jak proton), to płyną one w kierunku, który my nazywamy prawym.*

Jak to zwykle bywa w nauce, rozwiązanie jednej zagadki przynosi nowe. W powyższej definicji kierunku prawego istotną rolę pełni znak ładunku płynącego w cewkach. Ale przecież wiadomo, że w przyrodzie istnieją antycząstki i np. antyproton ma masę i wielkość ładunku elektrycznego taką samą jak proton, różni się tylko znakiem ładunku. Jak teraz wytłumaczyć, że chodzi nam o cząstki z ładunkiem dodatnim? Powyższa metoda zadziała poprawnie, jeśli świat kosmicznych przyjaciół jest zbudowany z takich samych cząstek co nasz. A co będzie, jeśli w ich otoczeniu znajdują się wyłącznie antycząstki?



## Klub 44

### Liga zadaniowa Wydziału Matematyki, Informatyki i Mechaniki, Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego i Redakcji „Delfy”

#### Skrót regulaminu

Każdy może nadsyłać rozwiązania zadań z numeru  $n$  w terminie do końca miesiąca  $n+2$ . Szkice rozwiązań zamieszczamy w numerze  $n+4$ . Można nadsyłać rozwiązania czterech, trzech, dwóch lub jednego zadania (każde na oddzielnej kartce), można to robić co miesiąc lub z dowolnymi przerwami. Rozwiązania zadań z matematyki i z fizyki należy przysyłać w oddzielnych kopertach, umieszczając na kopercie dopisek: Klub 44 M lub Klub 44 F. Oceniamy zadania w skali od 0 do 1 z dokładnością do 0,1. Ocenę mnożymy przez współczynnik trudności danego zadania:  $WT = 4 - 3 S/N$ , gdzie  $S$  oznacza sumę ocen za rozwiązania tego zadania, a  $N$  — liczbę osób, które nadesłały rozwiązanie choćby jednego zadania z danego numeru w danej konkurencji (M lub F) — i tyle punktów otrzymuje nadsyłający. Po zgromadzeniu 44 punktów, w dowolnym czasie i w którejkolwiek z dwóch konkurencji (M lub F), zostaje on członkiem Klubu 44, a nadwyżka punktów jest zaliczana do ponownego udziału. Trzykrotne członkostwo — to tytuł Weterana.

Szczegółowy regulamin został wydrukowany w numerze 1/1987.

Termin nadsyłania rozwiązań: 31 XII 1987

#### Zadania z matematyki nr 157, 158

Redaguje dr Marcin E. KUCZMA

**157.** Wielokąt płaski  $W$  ma pole  $S$  i obwód długości  $d$ . Udowodnić, że  $W$  zawiera koło o promieniu większym od  $S/d$ .

**158.** Liczby rzeczywiste  $x_1, \dots, x_n$  spełniają warunki  $x_1 \leq \dots \leq x_n$ ,  $x_1 + \dots + x_n = 0$ . Dowieść, że  $x_1^2 + \dots + x_n^2 \leq -nx_1x_n$  i orzec, kiedy zachodzi równość.

Zadanie 158 przysłał pan Adam Ruszel z Krosna.

#### Zadania z fizyki nr 55 i 56

Redaguje dr Andrzej NADOLNY

**55.** Danych jest piętnaście oporników, z których jeden różni się oporem od pozostałych — identycznych. Dysponując ogniwoem o znanej biegunowości, galwanometrem wskazującym kierunek płynącego prądu (z zerem pośrodku skali) i przewodami do połączeń, należy zidentyfikować odmienny opornik i określić, czy jego opór jest większy, czy też mniejszy od pozostałych oporników. W jaki sposób należy postępować, aby tego dokonać za pomocą jak najmniejszej (nie większej niż sześć) liczby pomiarów?

**56.** Patrząc przymrużonymi oczyma na odległe latarnie widzimy zwykle dodatkowo „promienie” wychodzące ze źródła światła w górę i w dół. Podać wyjaśnienie tego zjawiska, możliwie poparte własnymi obserwacjami.

Wskazówka: powierzchnia rogówki oka jest zawsze pokryta warstwą śluzowatej cieczy.

Czołówka ligi zadaniowej "Klub 44 M" po uwzględnieniu ocen rozwiązań zadań 147 /WT=2,59/ i 148 /WT=2,46/ z numeru 3/1987

Paweł Kamiński	- Warszawa	47,87pkt
Zbigniew Zaus	- Kraków	45,47pkt
Krzysztof Zawisławski	- Warszawa	42,14pkt
Karol Jachaczy	- Tłuszcz	41,97pkt
Jerzy Janowicz	- Bolesławiec	41,27pkt
Dariusz Kurpiel	- Zarszyn	41,16pkt
Grzegorz Zakrzewski	- Trzcianka	40,03pkt

Pan Kamiński jest trzecim pięciokrotnym zdobywcą 44 punktów. Pan Zaus wchodzi do Klubu 44 z numerem czterdziestym siódmym.

Czołówka ligi zadaniowej "Klub 44 F" po uwzględnieniu ocen rozwiązań zadań 47 /WT=1,52/ i 48 /WT=2,85/ z numeru 4/1987

Piotr Bała	- Toruń	47,43pkt
Robert Repucha	- Gołdap	44,50pkt
Anna Gluza	- Toruń	44,11pkt
Jerzy Lipkowski	- Elbląg	41,03pkt
Jacek Stelmach	- Zabrze	40,67pkt
Piotr Wach	- Katowice	38,92pkt
Leszek Szalast	- Radzyń Pdl	34,92pkt
Zbigniew Galias	- Kraków	30,98pkt

Pan Bała osiągnął 44 punkty już po raz drugi, pan Repucha jest piątym członkiem Klubu 44 F, a pani Gluza — pierwszą panią w klubie 44 F.