



## Czy istnieje lustrzany świat?

Tadeusz Lesiak

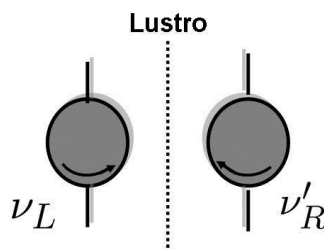
Instytut Fizyki Jądrowej PAN w Krakowie

Fizyków można by określić mianem „tropicielei symetrii natury”. Dotyczy to w szczególności sposobu badania własności oddziaływań pomiędzy cząstkami elementarnymi. Spośród czterech znanych nam sił przyrody: grawitacji, elektromagnetyzmu, oddziaływań silnych i słabych, badania tych ostatnich zgotowały wielką niespodziankę zwolennikom symetrycznego piękna natury. W drugiej połowie lat pięćdziesiątych minionego wieku okazało się bowiem, że lustrzane odbicie procesów fizycznych, w których ma swój udział siła słaba, wygląda inaczej od oryginału. Tym samym wyszło na jaw, że oddziaływania słabe łamią symetrię parzystości przestrzennej. To trochę tak, jakby popatrzeć w lustro w sklepie z lodówkami, w którym np. aż 75 procent z nich ma drzwiczki otwierające się w lewo. Patrząc w lustro, stwierdzilibyśmy wówczas, że jedynie co czwarta lodówka otwiera się w lewo, a trzy czwarte z nich w prawo. Lustrzane odbicie sklepu różni się zatem od tego, co w nim zastaną klienci, niepatrzący w sklepowe lustro.

Łamanie symetrii parzystości przestrzennej jest widoczne najbardziej jaskrawo na przykładzie neutrin. Są one obdarzone wewnętrznym momentem pędu, czyli spinem. Ta liczba kwantowa może przyjmować dwie wartości odpowiadające konfiguracjom, w których kierunki pędu i spinu neutrina są równoległe (prawoskrętność) lub antyrównoległe (lewoskrętność). Okazuje się, że przyroda wybrała tylko jedną z tych dwóch możliwości, dopuszczając występowanie jedynie lewoskrętnych neutrin. W lustrze zamieniają się one na nieistniejące w naturze neutrina prawoskrętne, łamiąc tym samym w sposób maksymalny symetrię parzystości.

Wobec odkrycia łamania parzystości przestrzennej w oddziaływaniach słabych, symetria lustrzana stała się czarną owcą w rodzinie obejmującej tak szacowne i zachowane symetrie, jak m.in. jednorodność i izotropia przestrzeni i czasu. W tej sytuacji naturalne stały się próby skonstruowania modeli teoretycznych, w których symetria parzystości przestrzennej byłaby zachowana za cenę postulowania występowania w przyrodzie „lustrzanej materii”, tj. dodatkowych, dotąd nieodkrytych, cząstek. W ramach tych teorii każda ze znanych obecnie cząstek elementarnych miałaby hipotetycznego, lustrzanego partnera. Charakteryzowałby się on taką samą masą oraz liczbami kwantowymi jak „oryginał”, z jednym wyjątkiem: parzystości obu tych stanów byłyby przeciwne. Tak więc, jak przedstawiono na rys. 1, obok lewoskrętnego neutrina  $\nu_L$  (index  $L$  pochodzi od angielskiego *left*) istniałoby także prawoskrętne, lustrzane neutрино, oznaczane jako  $\nu'_R$  ( $R$  od *right*, a znak *prim* oznacza tu cząstki należące do lustrzanego świata). Odwołując się znów do naszego przykładu z lodówkami, odpowiadałoby to sytuacji, w której

do sklepu zawierającego dotąd pewną ilość urządzeń z drzwiczkami otwierającymi się w lewo, wstawiono dodatkowo taką samą liczbę lodówek z przeciwnym ustawieniem drzwiczek. Wówczas rzeczywisty widok sklepu byłby nie do odróżnienia od jego obrazu w lustrze.



Rys. 1. Hipoteza lustrzanej materii zakłada istnienie dla każdej cząstki „naszego” świata jej lustrzanego odpowiednika, mającego te same liczby kwantowe z wyjątkiem parzystości. Rysunek przedstawia lewoskrętne neutrino  $\nu_L$  wraz ze swoim „bratem z drugiej strony zwierciadła”: prawoskrętnym neutrinem lustrzanym  $\nu'_R$

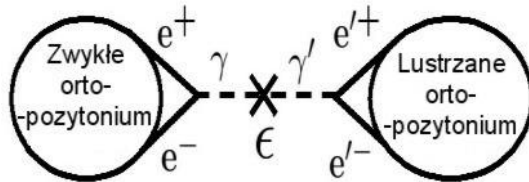
Czyżby więc obok nas mogły istnieć lustrzane galaktyki, gwiazdy, planety, a może nawet żywe istoty? Jeśli tak, to w jaki sposób mogą umykać one naszej uwadze, a przede wszystkim „szkiełku i oku” naukowców? Okazuje się, że jest to zupełnie możliwe, ponieważ modele teoretyczne materii lustrzanej przewidują, że powinna ona oddziaływać ze zwykłą materią niemal<sup>1</sup> wyłącznie grawitacyjnie. Lustrzane cząstki posiadają więc w sposób naturalny podstawowe atrybuty tzw. ciemnej materii: nie emitują promieniowania elektromagnetycznego, a podlegają grawitacji. Istnienie ciemnej materii stanowi z kolei jedną z głównych zagadek współczesnej fizyki. Liczne obserwacje doświadczalne, gromadzone od kilkudziesięciu lat, wykazują bowiem, że obok znanej nam materii, której obecność można wykryć poprzez emitowane przez nią promieniowanie elektromagnetyczne, we Wszechświecie występuje również „materia ciemna”, pozbawiona tej ostatniej cechy. Miałyby ona składać się z cząstek, które dotychczas nie zostały zarejestrowane przez nasze instrumenty. Co więcej, materii ciemnej powinno być co najmniej kilkakrotnie więcej niż „świecącej”. Warto jednak zastrzec, że do statusu ciemnej materii kandyduje, oprócz materii lustrzanej, jeszcze co najmniej kilka egzotycznych cząstek, przewidywanych przez inne teorie.

<sup>1</sup> W dalszej części artykułu będą dyskutowane hipotetyczne, „resztkowe” oddziaływania typu elektromagnetycznego między materią zwykłą i lustrzaną.

Jak dotąd nie ma niepodważalnych dowodów obserwacyjnych istnienia lustrzanych ciał niebieskich. Dysponujemy jednak interesującymi poszlakami, wskazującymi na fakt, że przynajmniej niektóre badane ostatnio obiekty astrofizyczne mogą być „lustrzane”. Do takiego wniosku prowadzą obserwacje (dokonane metodą mikrosoczewkowania grawitacyjnego) obiektów występujących w otocze naszej Galaktyki, a znanych pod angielskim akronimem MACHO. Dotychczas powszechnie sądzono, że MACHO to głównie tzw. białe i brązowe karły. Te pierwsze stanowią produkty końcowe ewolucji gwiazd podobnych do naszego Słońca. Brązowe karły to obiekty o masie poniżej 8% masy Słońca, które okazały się zbyt lekkie do zajścia w ich wnętrzach syntezy jądrowej, Tymczasem ostatnie badania MACHO wykazały, że ich typowa masa jest rzędu połowy masy Słońca oraz że zawierają one znikome ilości ciężkich pierwiastków. Ta pierwsza cecha wyklucza z szeregu MACHO brązowe karły. Znaczna zawartość ciężkich pierwiastków, będących produktem syntezy jądrowej, jest z kolei nieodłączną cechą białych karłów. Jednocześnie ten wynikający z obserwacji obraz MACHO bardzo dobrze pasuje do ich wizerunku przewidywanego w przypadku, gdyby składały się one z materii lustrzanej.

Jednym z największych osiągnięć ostatnich lat, dokonanych przez badaczy kosmosu, była obserwacja planet występujących poza Układem Słonecznym. Obecnie znamy ich już ponad sto. Podobnie jak w przypadku MACHO, także i tutaj okazało się, że własności tych odległych od nas planet są nietypowe dla zwykłej materii. Znalaziono bowiem wśród nich zaskakująco dużo planet o rozmiarach i składzie chemicznym bardzo przypominających Jowisza, ale krążących wokół macierzystych gwiazd po niezwykle ciasnych orbitach, o rozmiarach nawet kilkakrotnie mniejszych od orbity „naszego” Merkurego. Według naszej obecnej wiedzy, „zwykłe” planety typu gazowych gigantów nie powinny powstawać w tak bliskiej odległości od swoich gwiazd, gdyż panująca tam bardzo wysoka temperatura uniemożliwia ich formację. Na nieco naciąganą wygląda hipoteza, że planety te tworzą się odpowiednio daleko od swoich gwiazd, a potem przemieszczają się w ich pobliże. Brak bowiem przekonującego mechanizmu takiej migracji. Tymczasem przyjęcie założenia, że te planety zbudowane są z materii lustrzanej, pozwala w pełni uzasadnić ich – egzotyczne dla zwykłej materii – własności.

Gdyby materia lustrzana mogła, choćby w niezwykle mało znaczący (resztkowy) sposób, oddziaływać elektromagnetycznie ze znanymi nam cząstkami, moglibyśmy zaobserwować ślady jej obecności w laboratorium. Takie hipotetyczne oddziaływanie można opisać jako przemianę „zwykłego” fotonu (ozn.  $\gamma$ ) w jego lustrzany odpowiednik ( $\gamma'$ ) z prawdopodobieństwem rzędu  $\varepsilon \approx 10^{-5} - 10^{-10}$ . Konsekwencją występowania takiej nowej dla nas siły, działającej między  $\gamma$  a  $\gamma'$ , jest możliwość obserwowania cząstek lustrzanych w naszej aparaturze. Mogłyby być one rejestrowane jako obiekty posiadające ułamkowy ładunek o wartości rzędu  $\varepsilon \cdot e$ , gdzie  $e$  oznacza ładunek elektronu.



Rys. 2: Diagram ukazujący przemianę „zwykłego” orto-pozytonium w lustrzane (czas na rysunku biegnie od lewej do prawej). Proces ten jest dopuszczalny tylko wtedy, gdy fotony z naszego świata ( $\gamma$ ) mogą oddziaływać ze swoimi lustrzanymi odpowiednikami ( $\gamma'$ ). Przemianę tę zaznaczono krzyżykiem, a jego siłę mierzy parametr  $\varepsilon$

Efekty elektromagnetyczne, pochodzące od lustrzanego świata powinny być stosunkowo dobrze widoczne dla orto-pozytonium, tj. stanu związanego elektronu i pozytonu, których spiny są do siebie równoległe. Czas jego życia wynosi ok. 0,14  $\mu\text{s}$ . Oddziaływanie z lustrzanymi cząstkami umożliwiłoby w tym przypadku minimalnie szybszy rozpad próbki orto-pozytonium. Część z nich wybierałaby bowiem transformację do stanu swojego lustrzanego krewniaka, zgodnie z diagramem ukazanym na rys. 2. Tym samym część materii, choćby znikomo mała, znikalaby, wybierając istnienie w lustrzanym świecie.

Być może efekt ten został już zaobserwowany w eksperymencie wykonanym w roku 1990 w Ann Arbor w Stanach Zjednoczonych. Badano w nich rozpady próbki orto-pozytonium, umieszczonej w komorze próżniowej, stwierdzając, że stosunek zmierzonego czasu życia tego stanu do wartości przewidywanej dla zwykłej materii przez elektrodynamikę kwantową wynosi  $0,9988 \pm 0,0002$ . To niewielkie, lecz statystycznie znaczące skrócenie czasu życia orto-pozytonium można wyjaśnić, przyjmując istnienie materii lustrzanej, oddziałującej resztkowo z siłą rzędu  $\varepsilon \approx 10^{-6}$ . Obecnie planowane są nowe, dokładniejsze eksperymenty, które powinny w ostateczny sposób i w stosunkowo krótkim czasie rozstrzygnąć istnienie skrócenia czasu życia orto-pozytonium.

Obecność lustrzanego świata można by znacznie wyraźniej wykazać dla bozonu Higgsa, dotąd niezaobserwowanej jeszcze doświadczalnie cząstki skalarnej, której oddziaływanie z innymi cząstkami elementarnymi nadawałoby masę tym ostatnim. Aż połowa cząstek Higgsa powinna rozpadać się, przechodząc do lustrzanego świata. Ta hipoteza zostanie z pewnością sprawdzona w ciągu najbliższych kilku lat, w przypadku eksperymentalnego potwierdzenia istnienia bozonów Higgsa w potężnych zderzaczach cząstek elementarnych TEVATRON i LHC.

Przyjęcie założenia o resztkowym oddziaływaniu elektromagnetycznym między zwykłą materią a lustrzaną dość nieoczekiwanie objaśnia zagadkę istnienia nietypowych meteorów. Ich niezwykłość przejawia się na trzy sposoby. Po pierwsze, są one widoczne dopiero tuż nad Ziemią. Tymczasem większość meteorów,

wchodząc w ziemską atmosferę z ogromną prędkością rzędu 30 km/s, rozgrzewa się bardzo szybko i świeci najjaśniej w jej górnych warstwach. W miarę opadania ci kosmiczni goście topią się i rozpadają na mniejsze kawałki, co powoduje znaczne obniżenie ich jasności. Dwie pozostałe egzotyczne cechy omawianych meteorów to gwałtowne, wybuchowe wydzielanie dużych ilości energii tuż nad Ziemią, prowadzące często do pożaru na jej powierzchni, oraz brak jakichkolwiek odłamków. Zarówno zwykłe jak i nietypowe meteory mają przy tym tuż przed upadkiem stosunkowo małą prędkość, wynoszącą około 1 km/s. Są więc wówczas na tyle chłodne, że nie powinny wzniecić pożaru po upadku na Ziemię.

Te trzy cechy nietypowych meteorów stałyby się zrozumiałe, gdyby były one zbudowane z materii lustrzanej. Kula takiej materii mogłaby wejść w ziemską atmosferę niezauważona, rozgrzewając się powoli w całej swojej objętości (zwykła materia rozgrzewa się powierzchniowo w wyniku tarcia), dzięki wyjątkowo słabemu oddziaływaniu resztkowemu. Dokładne obliczenia wskazują, że proces ogrzewania lustrzanego meteoru powinien być na tyle powolny, że nie może doprowadzić do jego stopienia i rozpadu przed upadkiem na Ziemię. Dopiero tuż przed nim temperatura obiektu staje się na tyle duża, że można zaobserwować jego świecenie pochodzące od zwykłych cząstek, rozgrzanych poprzez oddziaływanie z ich lustrzanymi krewniakami. Wkrótce potem nagromadzona w ognistej, lustrzanej kuli energia zostaje gwałtownie wydzielona w sposób wybuchowy. Przypomina to nieco efekt rozlania gorącego, płynnego ołowiu na chłodny grunt. Tak gwałtowne zjawisko może powodować pożary oraz powalenie drzew na znacznym obszarze. Powstałe przy tym odłamki materii lustrzanej są nieobserwowalne dotychczas stosowanymi metodami detekcji. Najważniejszym, choć nie jedynym, przedstawicielem klasy tych nietypowych zdarzeń jest słynny meteor Tunguski. Jego upadek dnia 30 czerwca 1908 roku spowodował powalenie około 2100 km<sup>2</sup> syberyjskiej tajgi, nie zostawiając przy tym po uderzeniu krateru ani odłamków.

Pełną informację o lustrzanej materii można, w ujęciu popularyzatorskim, znaleźć w książce opublikowanej niedawno po angielsku przez jej propagatora i entuzjastę, doktora Roberta Foota z Uniwersytetu w Melbourne [1], lub zaglądając na jego stronę internetową [2] bądź też na witrynę o adresie podanym w [3]. Materii lustrzanej poświęcono cały rozdział w wydanej także po polsku książce Marcusa Chowna [4]. Więcej na temat „lustrzanych” planet można dowiedzieć się, surfując do [5], a najważniejsze lustrzane meteory są dokładnie omawiane na stronach [6] oraz [7]. Ciekawe spekulacje na temat obecności lustrzanej materii w Układzie Słonecznym można wyczytać w artykule [8]. Czytelników znających współczesną teorię polecam do przeczytania artykułu (Z. Berezhiani [9]) na temat kosmologicznej implikacji lustrzanego świata oraz do sięgnięcia do książki [10].

Na zakończenie warto podkreślić, że hipoteza lustrzanej materii pozostaje jak dotąd jedynie atrakcyjną ideą, która w prosty sposób przywraca piękno i symetrię natury za cenę otwarcia przed nami nowego świata „z drugiej strony lustra”. Jak wszystkie teorie fizyczne, musi ona jeszcze zdać trudny egzamin zgodności z wynikami odpowiednich eksperymentów. Opisane w artykule argumenty za istnieniem materii lustrzanej nie są jeszcze z pewnością wystarczające, aby uznać ten egzamin za zaliczony. Nawet jednak jeśli hipoteza lustrzanej materii nie znajdzie potwierdzenia doświadczalnego, jest ona niezwykle atrakcyjna dla „tropicieli symetrii” i z pewnością zasługuje na to bardzo skrótowe omówienie. Nie zapominajmy jednak, że wiele poważnych rozważań, jak choćby te dotyczące nietypowych meteorów, ma charakter spekulatywny.

**Literatura:**

- [1] R. Foot, *Shadowlands; Quest for Mirror Matter in the Universe*, Universal Publisher 2002
- [2] <http://www.ph.unimelb.edu.au/~foot>
- [3] <http://www.geocities.com/mirrorplanets>
- [4] Marcus Chown, *Sąsiedni Wszechświat*, Wydawnictwo Zysk
- [5] <http://cfa-www.harvard.edu/planets/encycl.html>
- [6] <http://www-th.bo.infn.it/tunguska/>
- [7] <http://www.jas.org.jo/mett.html>
- [8] R. Foot i Z.K. Silagadze, *Acta Phys. Pol.* **B32** (2001) 2271
- [9] Z. Berezhiani, preprint hep-ph/0312335
- [10] M.Y. Khlopv, *Cosmoparticle Physics*, World Scientific Publisher 2000