Inicjatywa „Zapytaj Fizyka” to popularnonaukowy projekt Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego, który pozwala zajrzeć za kulisy nauki. Dzięki uprzejmości prof. Piotra Sułkowskiego, kierownika tego projektu, także czytelnicy Postępów Fizyki mogą znaleźć odpowiedzi na nurtujące ich pytania w stałym dziale naszego pisma.

„Zapytaj Fizyka” na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego to nie tylko odpowiedzi, lecz także regularne wykłady popularnonaukowe (których nagrania można obejrzeć na YouTube) prowadzone przez wybitnych badaczy i pasjonatów nauki, którzy pokazują, że fizyka może być fascynującą opowieścią o tym, jak działa otaczający nas świat.

CZY STAŁE FIZYCZNE SĄ, BYŁY I BĘDĄ STAŁE? A JEŚLI NIE, TO JAKĄ TO NIESIE INFORMACJĘ DLA FIZYKI?

Odpowiedzi udzielił Mikołaj Misiak

Teorie fizyczne opisujemy za pomocą równań, w których występują parametry nazywane stałymi fizycznymi. Wiele z tych stałych opisuje jedynie związki między umownie wybranymi jednostkami, w których wyrażamy różne wielkości (np. odległość w metrach, a czas w sekundach). Fundamentalnymi stałymi są tylko wielkości bezwymiarowe (bez jednostek), takie jak stała struktury subtelnej $\alpha \approx 1/137{,}036$. W teorii zjawisk elektromagnetycznych (elektrodynamice klasycznej i kwantowej) przyjmuje się, że wielkość ta nie zmienia się w czasie. Jeśli zaobserwujemy zjawiska sprzeczne z tymi teoriami, będziemy musieli stworzyć nową teorię. Dopóki ich nie obserwujemy, przyjmujemy teorię możliwie najprostszą, w której α nie zależy od czasu. To samo dotyczy innych bezwymiarowych stałych fizycznych.

Sformułujmy jednak nasze pytanie nieco precyzyjniej. Zapytajmy, czy istotnie obserwujemy zjawiska, które sprzeczne są z założeniem o stałości α w czasie. Pomiarów α dokonujemy, mierząc stosunki długości fali charakterystycznych linii widmowych emitowanych lub absorbowanych przez atomy różnych pierwiastków. Emitujący/absorbujący materiał może znajdować się w naszym laboratorium, a może też znajdować się w obłoku odległym od nas o miliardy lat świetlnych. W ten sposób możemy testować, czy α naprawdę jest stała w czasie i przestrzeni.

Znani astronomowie opublikowali w ostatnich latach artykuły, w których twierdzą, że obserwowane przez nich linie widmowe z odległych obiektów mają własności sprzeczne z założeniem o stałości α zarówno w czasie, jak i w przestrzeni (obserwują zależność od kierunku). Ich twierdzenia są jednak kontestowane przez innych naukowców, którzy krytykują ich za zbyt optymistyczne szacowanie błędów systematycznych oraz ignorowanie innych niż zmienność α wyjaśnień przeprowadzonych obserwacji. Moim zdaniem twierdzeń o zmienności α nie można uznawać za udowodnione, choć z drugiej strony hipotezę tę należy traktować poważnie, i śledzić rozwój wydarzeń.

Jeśli te informacje potwierdziłyby się, to trzeba by jakoś wbudować możliwość zmienności α do teorii opisujących oddziaływania fundamentalne. Wartość α zależy od masy elektronu, a ta z kolei zależy od wartości próżniowej pola Higgsa, która powiązana jest z gęstością ciemnej energii. W teorii strun inne pola (tzw. moduły) dające wkład do gęstości ciemnej energii mają też wpływ na wartość α. Problem wyjaśnienia obserwowanej wartości ciemnej energii jest jednym z podstawowych nierozwiązanych problemów kwantowej teorii pola nawet w przypadku, gdy α jest stała. Różnice między własnościami ciemnej energii i materii są dla nas jasne, problemem jest tylko brak zrozumienia, dlaczego wartość gęstości ciemnej energii nie jest o kilkadziesiąt rzędów wielkości większa od obserwowanej. Zmienność tej gęstości w czasie i przestrzeni uczyniłaby ten problem jeszcze trudniejszym. To jest odpowiedź na pytanie, czy zmienność α da nam jakieś informacje o ciemnej energii.

CZY W FIZYCE PRÓBOWANO WSZYSTKIE JEDNOSTKI SKONSTRUOWAĆ TAK JAK JEDNOSTKI PLANCKA, SPROWADZAJĄC WARTOŚCI STAŁYCH DO LICZB CAŁKOWITYCH? MOŻE WTEDY FIZYKA STAŁABY SIĘ JESZCZE BARDZIEJ HARMONIJNA I PRZEJRZYSTA.

Odpowiedzi udzielił Jan Gaj

Wiele z wykorzystywanych przez nas jednostek ma charakter subiektywny. Możemy tę subiektywność częściowo wyeliminować, korzystając z jednostek Plancka. Jednak nawet jeśli skorzystamy z tych jednostek, to w standardowej teorii oddziaływań silnych i elektrosłabych nie przestaną występować stałe fizyczne, nazywane często parametrami teorii. Są nimi trzy tzw. sprzężenia cechowania (analogiczne do stałej struktury subtelnej), dwa parametry potencjału pola Higgsa oraz sprzężenia tego pola z polami materii (sprzężenia Yukawy). Wartości tych parametrów mają wpływ na obiektywne fakty fizyczne, np. to że elektron jest znacznie lżejszy od kwarku top, albo że średnia prędkość elektronu w atomie wodoru jest znacznie mniejsza od prędkości światła.

Można zapytać czy możliwe jest istnienie teorii, która byłaby bardziej fundamentalna od naszej obecnej teorii oddziaływań silnych i elektrosłabych, a w której (w jednostkach Plancka) wszystkie parametry wyrażałyby się przez stałe matematyczne (liczby całkowite, π, itp.). Hipotezy takiej nie można wykluczyć, szczególnie w ramach teorii strun, w której próżniowe wartości oczekiwane pól nazywanych modułami decydują o wartościach parametrów bezwymiarowych przy niskich energiach. Nie udało się jednak dotąd skonstruować żadnego wewnętrznie spójnego modelu opartego na teorii strun, który jednoznacznie przewidziałby znane nam z eksperymentów wartości sprzężeń cechowania, Yukawy, itp.

CZY ANTYMATERIA MA JAKĄŚ TEMPERATURĘ?

Odpowiedzi udzielił Mikołaj Misiak

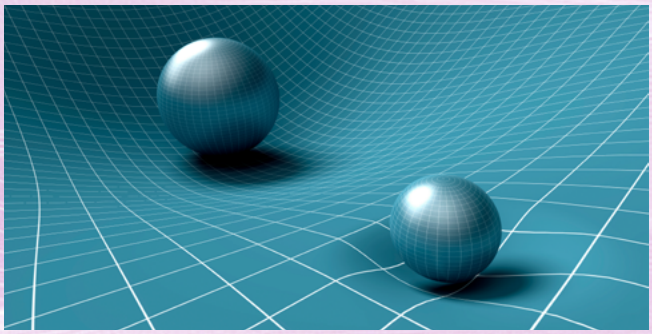
Temperatura w układzie bardzo wielu cząstek antymaterii jest dokładnie tak samo określona, jak w układzie bardzo wielu cząstek materii. W przypadku gazu doskonałego jest ona proporcjonalna do średniej energii kinetycznej pojedynczej cząstki. Nie obserwujemy w przyrodzie powstałych w sposób naturalny układów bardzo wielu cząstek antymaterii, ale w eksperymentach wytwarzamy układy zawierające tysiące lub nawet miliony takich cząstek. Jednym z takich eksperymentów jest badający własności antywodoru eksperyment ALPHA. W publikacji tego zespołu z roku 2011 czytamy, że temperatura wyprodukowanego gorącego gazu antyprotonów i pozytonów została obniżona do około 50–100 stopni w skali Kelvina. Kilkaset z nich utworzyło atomy antywodoru, które zostały utrzymane i obserwowane przez kilkanaście minut, a następnie uległy anihilacji w zetknięciu ze zwykłą materią.

CZY JEST RÓWNOWAGA MIĘDZY ANTYMATERIĄ A MATERIĄ WE WSZECHŚWIECIE? TO ZNACZY, MASA MATERII JEST RÓWNA MASIE ANTYMATERII? JEŻELI NIE, TO CZEMU?

Odpowiedzi udzielił prof. Marek Demiański

Korzystając z dostępnych obecnie danych obserwacyjnych, na to ważne pytanie można odpowiedzieć jednoznacznie – wszechświat jest zbudowany głównie z materii, a antymateria stanowi jedynie znikomy dodatek. Skąd mamy taką pewność? Mieszanina materii i antymaterii jest układem bardzo niestabilnym. Zderzenie cząstki antymaterii z cząstką materii powoduje ich anihilację, ale jednocześnie w tym procesie powstają dwa fotony o odpowiednio dużej energii. Obserwując strumień wysokoenergetycznych fotonów docierających do górnych warstw atmosfery ziemskiej, możemy oszacować jak wiele takich procesów anihilacji par cząstka–antycząstka zachodzi w otaczającym nas wszechświecie. Te dane pozwalają na oszacowanie rozpowszechnienia cząstek antymaterii we wszechświecie.

Przypuszcza się, że zaraz po Wielkim Wybuchu wszechświat mógł zawierać niemal tyle samo materii co antymaterii. W późniejszych epokach, kiedy w wyniku rozszerzania się wszechświata średnie energie cząstek zmalały, równowaga między materią a antymaterią została naruszona i liczba cząstek antymaterii zaczęła gwałtownie maleć ale rosła liczba fotonów. Jednym z efektów tego procesu zaniku antymaterii jest obecnie znacznie większa liczba fotonów w stosunku do liczby cząstek. Obecnie na jedną cząstkę przypada średnio kilka miliardów fotonów.



JEŚLI ISTNIEJĄ FORMY ANTYMATERII WE WSZECHŚWIECIE, TO ABY ZACHOWANA BYŁA RÓWNOWAGA, ANTYCZĄSTEK MUSIAŁOBY BYĆ TYLE SAMO, ILE CZĄSTEK. ZATEM, CZY ONE SIĘ WZAJEMNIE NIE PRZYCIĄGAJĄ, CZY NIE DĄŻĄ DO WYRÓWNANIA WARTOŚCI ŁADUNKU DO ZERA?

Odpowiedzi udzielił Jan Gaj

Równowadze sprzyja równość ładunku dodatniego i ujemnego, którą obserwujemy w przyrodzie z ogromną dokładnością już w obrębie samej materii. Wystarczy sobie uświadomić, że mol (6×10^{23}) elektronów, który znajduje się na przykład w żelaznej kulce o masie nieco ponad 2 g (średnicy ok. 8 mm) ma ładunek równy stałej Faradaya, czyli 96 500 C. W elektrycznie obojętnej kulce ten ładunek jest zrównoważony dodatnim ładunkiem protonów znajdujących się w jądrach żelaza. Gdybyśmy z tych elektronów usunęli jeden na miliard (to tak, jakby jeden Chińczyk opuścił swój kraj), kulka uzyskałaby ładunek około jednej dziesiątej milikulomba, co przy jej niewielkiej pojemności (mniej niż pół pikofarada) nadałoby jej napięcie około dwustu milionów woltów. Takie napięcie jest zupełnie nierealne. Widać więc, że w rzeczywistości ładunki dodatnie i ujemne równoważą się z jeszcze znacznie większą dokładnością, i to bez antymaterii.

CZARNE DZIURY PROMIENIUJĄ POPRZEZ EMISJĘ JEDNEJ Z WIRTUALNYCH CZĄSTEK WYTWORZONYCH NA SKRAJU HORYZONTU ZDARZEŃ. CZY TO OZNACZA, ŻE RAZ W PRZESTRZEŃ WYDOSTAJE SIĘ CZĄSTKA, A RAZ ANTYCZĄSTKA?

Odpowiedzi udzielił Mikołaj Misiak

W promieniowaniu Hawkinga czarnych dziur o masach rzędu masy Słońca (lub większych) występują przede wszystkim fotony oraz hipotetyczne grawitony, czyli cząstki o zerowej masie spoczynkowej. W przypadku fotonów i grawitonów nie ma rozróżnienia między materią a antymaterią, gdyż same są swoimi antycząstkami.

W promieniowaniu Hawkinga mogłyby występować również neutrina i odpowiadające im antyneutrina, gdyby ich masa była zerowa lub odpowiednio mała, co nie jest wykluczone. W tym przypadku moglibyśmy powiedzieć, że czarne dziury w równych proporcjach kreują materię i antymaterię.