



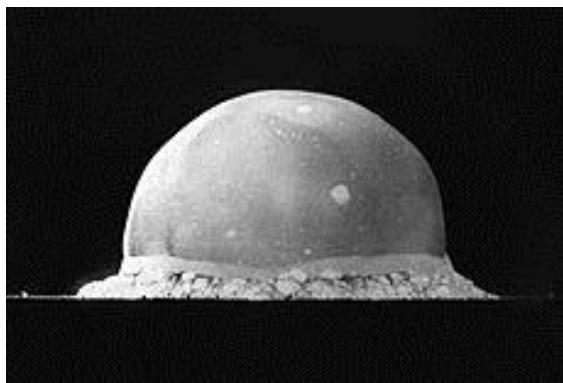
Czy fizycy mogą sprowokować koniec świata?

*Krzysztof Fiałkowski
Instytut Fizyki UJ*

Prasa całego świata doniosła we wrześniu, że słynny brytyjski astrofizyk Stephen Hawking przedstawił we wstępie do książki, która jest zbiorem wykładów oraz artykułów znanych fizyków wydanych z okazji odbywającego się pod koniec września na Teneryfie astronomicznego festiwalu „Starmus”, zaskakującą sugestię. Otóż cały Wszechświat jest niestabilny, bo stan próżni nie jest w rzeczywistości stanem o najniższej energii. Oznacza to, że stany, które uważamy za stany o najniższej możliwej energii (nazywane próżnią) odpowiadają w rzeczywistości tylko lokalnym minimom energii. Co gorsza, prowadzone przez fizyków doświadczenia związane z odkrytą niedawno cząstką zwaną bozonem Higgsa mogą spowodować przeskok do stanu o naprawdę najniższej energii, a zatem całkowitą zagładę tego Wszechświata, który nas otacza.

Czy powinniśmy naprawdę poważnie obawiać się takiego zjawiska, a w konsekwencji, czy powinniśmy przerwać doświadczenia nad produkcją bozonu Higgsa? Zanim odpowiemy definitywnie na te pytania i wyjaśnimy bardziej szczegółowo, na czym polega niestabilność, przypomnijmy, że nie jest to pierwsza taka katastroficzna przepowiednia. W ostatnim stuleciu już dwukrotnie ostrzegano, że doświadczenia prowadzone przez fizyków mogą sprowadzić na nas globalną katastrofę. Warto więc może wyjaśnić, dlaczego katastrofa taka nie nastąpiła i dlaczego dziś uważamy, że nie mogła nastąpić.

Po raz pierwszy wizja zagłady pojawiła się w związku z pierwszą próbą jądrową.

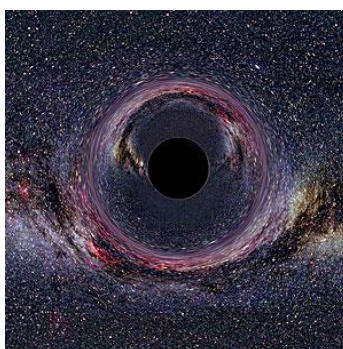


Rys. 1. Pierwsza eksplozja jądrowa 16 ms po detonacji. Średnica „bąbla” eksplozji to ok. 200 m

W relacjach wielu obserwatorów tej próby znajdują się opowieści o tym, że rozważano wtedy możliwość „pożaru atmosfery” i zagłady życia na Ziemi przez zainicjowanie reakcji syntezy jąder azotu w cięższe jądra. Jak się zdaje, autorzy tych opowieści często nie byli świadomi, że taką możliwość zasugerował już kilka lat wcześniej późniejszy współtwórca bomby wodorowej Edward Teller, a inny wybitny fizyk Hans Bethe przeprowadził stosowne obliczenia i udowodnił, że taka katastrofa nam nie grozi. Łatwo można zrozumieć, dlaczego tak jest. Każde połączenie jąder azotu wyzwala energię, która powoduje wzrost temperatury i ciśnienia gazu, a zatem wywołuje jego rozprężanie. Spadek gęstości zmniejsza prawdopodobieństwo kolejnych reakcji. Nie ma więc żadnej możliwości zainicjowania reakcji łańcuchowej, w której liczba kolejnych połączeń rośnie lawinowo. W bombach wodorowych skomplikowany układ eksplozji zapewnia utrzymanie wysokich temperatur i ciśnień przez dostatecznie długi czas, aby wyzwolić wielką energię wybuchu. Nic takiego nie może się zdarzyć w atmosferze.

Kolejne wizje zagłady i ostrzeżenia przed katastroficznymi skutkami planowanego eksperymentu pojawiły się w 1999 roku przed uruchomieniem akceleratora RHIC (Relativistic Heavy Ion Collider, czyli zderzacz relatywistycznych ciężkich jonów). Zderzające się przeciwbieżne wiązki jonów dostarczają tam energii rzędu setek GeV na parę zderzających się nukleonów. Głównym celem planowanych eksperymentów było wytwarzanie tzw. plazmy kwarkowo-gluonowej, czyli stanu, w którym składniki wielu nukleonów „mieszą się”, a nukleony tracą swoją indywidualność. Jednak rozważano też oczywiście wiele innych możliwych procesów, a wśród nich powstawanie w wyniku zderzeń miniaturowych czarnych dziur, czyli obiektów, z których nie może wychodzić żadne promieniowanie.

Informacja o tych rozważaniach dotarła do laików, a wśród nich – polityków. Niektórzy z nich zażądali wstrzymania eksperymentu w obawie, że wytworzona czarna dziura, która zgodnie z teorią powinna pochłaniać otaczającą ją materię, może ostatecznie zniszczyć całą Ziemię.



Rys. 2. Artystyczna wizja czarnej dziury ze strony internetowej RHIC

Dyrektor laboratorium Brookhaven, w którym powstał RHIC, John Marburger, powołał więc specjalny komitet, któremu zlecił przygotowanie raportu wyjaśniającego, czy niebezpieczeństwo takie jest realne. Przygotowaniem zajęli się wybitni fizycy: Wit Busza, Robert Jaffe, Jack Sandweiss i późniejszy laureat Nagrody Nobla Frank Wilczek. Oprócz niebezpieczeństwa związanego z powstawaniem czarnych dziur rozważano w raporcie możliwość przejścia całego Wszechświata w stan odpowiadający niższej energii próżni (a więc ten sam proces, którym „straszy” Hawking), a także możliwość przemiany materii w taką, która zawiera kwarki dziwne. Wnioski były jednoznaczne: sugerowane „scenariusze zagłady” są wykluczone przez ewidencję eksperymentalną i/lub wiarygodne rozważania teoretyczne.

John Marburger podsumował najważniejsze argumenty dwudziestokilku-stronicowego raportu w jednym zdaniu: „Nature has been creating collisions of energies comparable to those at RHIC for billions of years, and there is no evidence of any kind of disaster related to those collisions”, czyli „Natura przeprowadzała przez miliardy lat zderzenia cząstek przy energiach porównywalnych do energii RHIC i nie ma śladów jakichkolwiek katastrof związanych z tymi zderzeniami”.

Wypada sprawdzić, czy rzeczywiście najwyższe energie zderzeń z akceleratorów odpowiadają energiom zderzeń zachodzących w przyrodzie. Rachunek jest dość prosty: Wykorzystamy w tym celu relację wynikającą ze Szczególnej Teorii Względności, na mocy której energia w układzie środka masy E_{CM} , odpowiadająca sumie energii zderzających się wiązek przeciwbieżnych, jest związana z energią E cząstki padającej na nieruchomą tarczę wzorem

$$E_{CM}^2 = 2Emc^2 + m^2c^4,$$

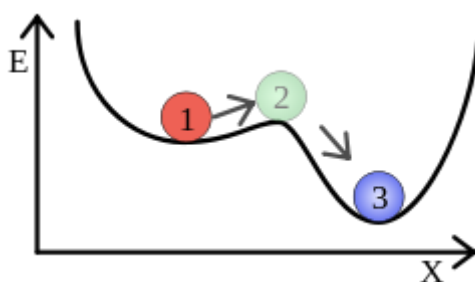
gdzie m jest masą cząstki.

Dla bardzo wysokich energii ostatni człon można pominąć. Masa protonu to około $1 \text{ GeV}/c^2$, więc łatwo sprawdzić, że zderzenia protonów przy energii w układzie środka masy rzędu setek GeV odpowiadają zderzeniu z nieruchomym protonem tarczy protonu o energii rzędu dziesiątek tysięcy GeV, czyli dziesiątek TeV. Energie obserwowane dla protonów promieniowania kosmicznego sięgają 10^{21} eV , czyli miliardów TeV*, mogą więc być o wiele rzędów wielkości większe. Stwierdzenie profesora Marburgera jest zatem w pełni uzasadnione.

Co z najnowszym „proroctwem zagłady” Stephena Hawkinga? Jak już wspomniano, pomysł niestabilności (a dokładniej metastabilności) próżni otaczającego nas świata nie jest nowy, skoro uwzględniano go już przy otwarciu RHICa. Jego historia jest jeszcze dłuższa, o czym opowiemy za chwilę.

* Dla przypomnienia: $1 \text{ GeV} = 10^9 \text{ eV} = 10^{-3} \text{ TeV} = 10^{-6} \text{ PeV} = 10^{-9} \text{ EeV}$.

Najpierw wyjaśnimy, **na czym polega niestabilność i metastabilność**. Najprościej można to wyjaśnić na przykładzie masywnej kulki na zakrzywionej powierzchni. Siła grawitacji powoduje, że kulka dąży do znalezienia możliwie najniższego położenia, odpowiadającego globalnemu minimum potencjalnej energii grawitacyjnej. Dla przykładu pokazanego na rys. 3 takie położenie to pozycja 3, odpowiadająca stanowi stabilnemu. Kulka tracąca stopniowo energię kinetyczną, np. w wyniku sił tarcia, zatrzyma się właśnie w tej pozycji. Jeśli jednak kulka wystartuje z niewielką prędkością z położenia bliskiego pozycji 1, zatrzyma się w tej pozycji, w której energia ma minimum lokalne. Jest to stan metastabilny: przy małych wychyleniach kulka wraca do tej pozycji, a przy większych przeskoczy do pozycji 3. Wszystkie inne pozycje, a w szczególności pozycja 2, są niestabilne. Kulka poruszająca się z dowolnie małą prędkością nie może się w nich zatrzymać.



Rys. 3. Zależność energii kulki od jej położenia.
Stan metastabilny (1), niestabilny (2) i stabilny (3)

Już w 1982 roku astrofizyk Michael Turner i wspomniany już późniejszy laureat Nagrody Nobla Frank Wilczek zauważyli, że podstawowy stan teorii oddziaływań elektrosłabych (w którym pole odpowiadające bozonowi Higgsa ma niezerową wartość oczekiwaną), może być metastabilny. Niestety rozważania teoretyczne nie dają dokładnych przewidywań, a jedynie pokazują, że możliwe jest powstanie podczas ewolucji Wszechświata takiego stanu z czasem życia znacznie dłuższym od obecnych ocen wieku Wszechświata. Turner i Wilczek zauważyli też, że odpowiednio silne zaburzenie może „przerzucić” ten stan do stabilnego stanu o najniższej energii próżni w otoczeniu punktu zaburzenia. „Bańka” stanu stabilnego będzie się wtedy rozszerzać z prędkością światła, aż obejmie cały Wszechświat, niszcząc taki świat, jaki obecnie znamy.

Czy takim zaburzeniem może być zderzenie cząstek, w którym powstanie bozon Higgsa? Oczywiście jest to teoretycznie możliwe, ale podany już wyżej argument mówi, że nasze akceleratory nie mogły dotąd wyprodukować niczego bardziej egzotycznego, niż natura. Najwyższa energia w układzie środka masy osiągnięta w akceleratorze LHC, w którym odkryto bozon Higgsa, jest rzędu

dziesięciu TeV, co odpowiada zderzeniom z nieruchomą tarczą cząstek o energii rzędu setek PeV. Jak już wspomniano, w promieniowaniu kosmicznym zdarzają się cząstki o energii tysiąckrotnie większej! **Gdyby zderzenia mogły doprowadzić do „końca świata”, zdarzyłoby się to już dawno.**

Dodajmy, że fakt odkrycia bozonu Higgsa w LHC nie ma oczywiście znaczenia dla oceny ryzyka. Skoro masa bozonu to „tylko” około 250 mas protonu, bozon ten musiał już wielokrotnie powstawać nie tylko w oddziaływaniach promieni kosmicznych, ale i w mniejszych akceleratorach. Najwyraźniej jego powstanie nie jest zaburzeniem wystarczająco silnym dla zainicjowania końca świata. Możemy więc spać spokojnie, gdy fizycy kontynuują swoje eksperymenty!



Mem o końcu świata 2012 (źródło: Internet, hasło: memy o końcu świata)