

## Bartłomiej Kozłowski

### **„Rozpad próżni” – nagły i natychmiastowy koniec wszystkiego**

Tekst opublikowany pierwotnie na portalu Polska.pl

Co jakiś czas szukające sensacji media raczą nas kolejnymi przepowiedniami na temat spodziewanego za jakiś czas końca świata. Raz jego przyczyną ma być jakaś pędząca z głębin Kosmosu kometa albo asteroida, innym razem zbliżające się rzekomo przebiegunowanie Ziemi (które poniekąd w liczącej zapewne 4,5 miliarda lat historii naszej planety zdarzało się wielokrotnie i jakoś końca świata nie spowodowało), jeszcze innym inwazja Kosmitów lub coś, co wynika z dawnego kalendarza Majów (według tego ostatniego koniec świata nastąpi podobno w roku 2012). (1)

Większość nas nie przejmuje się specjalnie tymi opowiastkami (albo po prostu się z nich śmieje)... ale mimo to problem ostatecznego losu Ziemi, gatunku ludzkiego i wreszcie całego wszechświata ciekawi (w mniejszym lub większym stopniu) chyba wszystkich.

Czy taki koniec kiedyś nastąpi? Znakomita większość ludzi sądzi, że tak. Jakby nie było - wiara w Armagedon jest głęboko zakorzeniona w różnych kulturach i religiach – w tym również w dominującym w naszym kraju chrześcijaństwie.

Zostawmy jednak religię w spokoju, a przyjrzyjmy się lepiej, co na temat końca świata mówią naukowcy. Czy specjaliści w takich dziedzinach, jak np. fizyka i astronomia mają na ten temat coś do powiedzenia?

#### **Słońce kiedyś zgaśnie**

Owszem – mają jak najbardziej. Pewne ustalenia tych naukowców znane są pewnie wielu – jeśli nie większości – czytelnikom. Dość powszechnie wiadomo np. o tym, że za jakiś czas Słońce tak bardzo powiększy swe rozmiary (inaczej mówiąc, po prostu „spuchnie”), że na Ziemi zapanują temperatury uniemożliwiające wszelkie życie.

Istnieją spory na temat tego, jak długo jeszcze życie przetrwa na naszej planecie. Niektórzy naukowcy twierdzą, że ostatnie wysokorozwinięte organizmy wyginą już za pół miliarda lat – i to nie tyle z powodu samego tylko wzrostu temperatury, co raczej w wyniku zjawiska odwrotnego do tego, które powoduje tak osławiony obecnie efekt cieplarniany: drastycznego spadku ilości dwutlenku węgla w atmosferze. Ilość CO<sub>2</sub> zrobi się po prostu tak mała, że przestanie zachodzić proces fotosyntezy – wskutek czego najpierw wyginą rośliny, a później zwierzęta (i oczywiście ludzie – jeśli będą wówczas jeszcze żyli). Inni nie zgadzają się z tymi twierdzeniami i dowodzą, że życie ma szansę przetrwać znacznie dłużej. Kto w tym sporze ma rację, trudno jest ocenić nie mając naprawdę poważnej wiedzy z kilku dziedzin nauki. Ale

tak, czy owak – zagłada życia na Ziemi na skutek ewolucji Słońca – to sprawa niesłychanie odległej przyszłości. No, a poza tym Słońce i układ słoneczny to przecież nie cały wszechświat. Gdy Słońce przejdzie w stadium tzw. czerwonego olbrzyma – a później zmieni się w bardzo gorącego, ale malutkiego (tej mniej więcej wielkości, co Ziemia) i emitującego w związku z tym jedynie minimalną (jak na gwiazdę) ilość ciepła białego karła, w Kosmosie nadal będą istnieć inne gwiazdy i planety. Niektóre z nich – dodajmy - dopiero powstaną. I kto wie, czy za ileś tam milionów (czy nawet miliardów) lat ludzie nie przeniosą się na jedną z takich nieistniejących jeszcze planet? W tak długim okresie czasu wszystko jest potencjalnie możliwe.

### **Martwy wszechświat**

Co jednak z całym wszechświatem? Czy on przynajmniej będzie trwał w nieskończoność? Odpowiedź na to pytanie zależy od tego, co rozumiemy pod pojęciem „trwanie wszechświata”. Nie ulega bowiem wątpliwości, że za wiele miliardów, czy tym bardziej bilionów lat wszechświat cokolwiek się zmieni. Wszystkie gwiazdy kiedyś zgasną, zamieniając się w takie obiekty, jak białe - a po pewnym bardzo długim czasie - czarne karły, a także gwiazdy neutronowe i czarne dziury – i w końcu w przestrzeni kosmicznej będzie zbyt mało gazu i pyłu, by mogły powstawać nowe gwiazdy i planety. Wszechświat stanie się zimny i ciemny. Nie będzie w nim życia – będzie martwy.

W świecie tym będzie nadal działać jednak siła grawitacji. Dzięki niej wspomniane wcześniej obiekty będą nadal krążyć po swoich orbitach. Towarzysząca temu emisja promieniowania grawitacyjnego po niesłychanie długim czasie sprawi jednak, że orbity te będą się stopniowo zacieśniać. Za bilion bilionów lat np. orbita Słońca ulegnie rozpadowi i czarny karzeł – bo tylko to już pozostanie wówczas z naszej Gwiazdy Diennej – zostanie połknięty przez coraz bardziej rozrastającą się i żarłoczną czarną dziurę, która znajduje się w centrum naszej galaktyki.

### **Nawet czarne dziury znikną**

Jednak nawet i czarne dziury - jak już w 1974 stwierdził słynny brytyjski fizyk Stephen Hawking - wbrew temu, co wydawało się wcześniej, nie są wieczne. Za jakiś czas wszystkie one wyparują, obwieszczając swój koniec krótkimi błyskami światła. Co prawda – będzie to w zupełnie już niewyobrażalnej przyszłości – jak obliczył Hawking, czas życia czarnej dziury o masie naszego Słońca wynosi  $10^{66}$  lat – a supermasywnej czarnej dziury – takiej np.. jak kryje się w środku naszej Galaktyki –  $10^{99}$  lat. W dodatku, proces parowania czarnej dziury nie może się nawet rozpocząć, dopóki sama przestrzeń kosmiczna nie stanie się zimniejsza od czarnej dziury. Żadna czarna dziura o masie Słońca nie zacznie więc parować wcześniej, niż za  $10^{22}$  potęgi lat – dopiero wtedy wynosząca dziś 2,7 stopnia Kelvina temperatura promieniowania relikтового, będącego pozostałością po Wielkim Wybuchu, stanie się niższa od temperatury czarnej dziury o takiej masie.

### **Czy cząstki elementarne są trwałe?**

Lecz nawet wówczas, gdy czarne dziury wyparują, będą w kosmosie istnieć inne obiekty – jakies wyrzucone z galaktyk planety, błakające się gdzie w międzygalaktycznych pustkowiach czarne karły, gwiazdy neutronowe itp. Ale czy na pewno będą one jeszcze wówczas istnieć? To już zależy od kwestii np. tego, czy – i na ile – trwałe są cząstki elementarne, takie jak proton i neutron. Jeśli cząstki te po jakimś – znowu, nieprawdopodobnie długim czasie - ulegną rozpadowi, to cała materia we wszechświecie w końcu się rozleci. Czy tak się jednak stanie, nikt nie wie – jak dotąd bowiem, na nietrwałość protonu i neutronu nie znaleziono jakichkolwiek dowodów. (2)

Zostawmy jednak w spokoju wspomniane powyżej wizje wszechświata w niezmiernie odległej przyszłości. Mówiąc o końcu świata, mamy zazwyczaj na myśli jakies gwałtowne i spektakularne wydarzenie – nie proces trwający miliardy, biliony, czy tym bardziej kwadryliony lat.

### **W końcu wszystko rozerwie?**

Czy wszechświat może czekać taki właśnie, gwałtowny i dramatyczny koniec? Trudno jest na ten temat powiedzieć coś pewnego, ale niewykluczone, że tak. Taki właśnie los wszechświata wieści prof. Robert Caldwell z Uniwersytetu w Dartmouth (Stany Zjednoczone, stan Massachusetts). Kilka lat temu sformułował on niezwykłą hipotezę, znaną pod nazwą „teorii wielkiego rozdarcia” (Big Rip Theory). Teoria ta opiera się na obserwacji, że wszechświat nie tylko się rozszerza – ale rozszerza się coraz szybciej. Czynnikiem powodującym coraz szybsze rozszerzanie się wszechświata jest tajemnicza „ciemna” energia, istniejąca w samej przestrzeni kosmicznej. Teoria Caldwell’a idzie jednak dalej – zakłada ona, że sama siła powodująca coraz szybsze rozszerzanie się wszechświata staje się coraz potężniejsza. W końcu, stanie się tak olbrzymia, że rozerwie dosłownie wszystko. Rozerwane zostaną gromady galaktyk. Później same galaktyki. Jeszcze później układy planetarne. W końcu eksploduje Ziemia i inne planety. Pół godziny później przestaną istnieć nawet najdrobniejsze cząstki elementarne – aż wreszcie zniszczona zostanie sama struktura czasoprzestrzeni. Czy to będzie koniec świata? Chyba... tak.

### **A może koniec świata już się zaczął?**

Jednak nawet według „teorii wielkiego rozdarcia” koniec wszechświata – aczkolwiek rzeczywiście wyjątkowo dramatyczny – nastąpi w niesłychanie odległej przyszłości. Zdaniem Caldwell’a, na wspomniane powyżej wydarzenia trzeba będzie poczekać jeszcze ok. 20 miliardów lat. Czego jak czego, ale „wielkiego rozdarcia” nie musimy się więc obawiać.

Ale czy wydarzenie, które trudno byłoby nazwać inaczej, niż po prostu końcem świata, nie może nastąpić wcześniej, niż za 20 czy w ogóle ileś tam miliardów lat? I żeby było jasne – chodzi tu o wydarzenie mogące spowodować koniec wszechświata jako takiego, a nie sam tylko koniec rodzaju ludzkiego lub nawet Ziemi. A może wydarzenie takie... już nastąpiło, tylko że my o nim jeszcze nie wiemy?

## Zagadkowe pojęcie – rozpad próżni

W czerwcu 1980 r. dwaj amerykańscy fizycy – Sidney Coleman i Frank de Luccia opublikowali w wysoce cenionym wśród fizyków i astronomów czasopiśmie naukowym „Physical Review D” artykuł pt. „Grawitacyjne efekty rozpadu próżni” (otrzymany przez redakcję czasopisma w dniu 4 III 1980 r.). Dla przeciętnego zjadacza chleba tytuł ten brzmi cokolwiek zagadkowo. Jak bowiem w ogóle (i jeszcze na co?) może się rozpaść coś takiego, jak próżnia? Jak rozpaść może się coś, co jest po prostu zwykłą pustką?

Z tą próżnią to nie jest jednak tak, jak sobie to potocznie wyobrażamy. Przede wszystkim, próżnia istnieje nie tylko w przestrzeni kosmicznej – i w pomieszczeniach oraz naczyniach, z których kompletnie wypompowano powietrze, ale... właściwie wszędzie. Znakomita większość materii, z której składa się Ziemia i cały wszechświat jest bowiem po prostu... dziurawa. Niemal cała masa materii skupiona jest w protonach i neutronach tworzących jądra atomowe, których rozmiary są kilkadziesiąt tysięcy razy mniejsze od rozmiarów całych atomów. Atomy są więc... prawie puste. Aby wyobrazić sobie, jak w gruncie rzeczy pusta jest cała materia, warto pomyśleć o jedynych w całym wszechświecie obiektach, w których próżni rzeczywiście nie ma: gwiazdach neutronowych. Gwiazdy te – mające masę z zakresu 1,4 – 2,5 masy Słońca przy średnicach rzędu 10 – 15 km są tak gęste, że łyżeczka materii jednej z takich gwiazd ważyłaby na Ziemi 50 miliardów ton. Już to choćby pokazuje, jak olbrzymia ilość próżni jest w materii, z którą mamy na co dzień do czynienia.

Drugie nieporozumienie na temat próżni polega na wyobrażeniu, że próżnia to kompletna pustka, w której się nie dzieje. Tymczasem w tej pozornie pustej przestrzeni cały czas dzieją się burzliwe procesy kwantowe, w wyniku których w nieprawdopodobnie krótkim czasie pojawiają się i znikają rozmaite cząstki – z powodu krótkości ich życia zwane wirtualnymi. Taka kwantowa próżnia ma swoją... energię – i to ta właśnie energia powoduje coraz szybsze rozszerzanie się wszechświata. Jaka jednak jest ta energia?

Najprawdopodobniej, energia ta jest najmniejsza z możliwych. Inaczej mówiąc, próżnia istniejąca we wszechświecie jest rzeczywistością - „prawdziwą” - próżnią. Ale z drugiej strony – skąd mamy być tego pewni? Nie da wykluczyć się tego, że próżnia jest tak naprawdę próżnią fałszywą, mającą energię nieporównanie większą od próżni prawdziwej – tej o najniższym możliwym stanie energetycznym.

### Czy to się może stać?

Czym taka ewentualność grozi? Odpowiadając na to pytanie trzeba zacząć od tego, że jedną z dobrze potwierdzonych zasad mechaniki kwantowej jest to, że układy o wyższej energii dążą na ogół do przejścia do stanu o niższej energii. Np. atom w stanie wzbudzonym dąży do przejścia do stanu o najniższej możliwej energii, który jest trwały (tzn. nie może się zmienić sam z siebie). Na takiej samej zasadzie fałszywa próżnia (zakładając oczywiście, że próżnia

istniejąca we wszechświecie rzeczywiście jest fałszywa) dąży do przekształcenia się w próżnię prawdziwą – o najniższym możliwym stanie energetycznym.

Z tym przekształceniem się próżni fałszywej w prawdziwą może nie być łatwo. Istnieją bowiem siły, które zapobiegają takiemu zdarzeniu. Ale co się stanie, jeśli do takiego zdarzenia gdzieś – w jakimś punkcie przestrzeni – jednak dojdzie? Otóż, gdyby coś takiego się stało, we wszechświecie pojawiłby się bąbel prawdziwej próżni, który zacząłby się rozszerzać z prędkością światła. Rozszerzania tego nic nie zdołałoby powstrzymać – aż bąbel prawdziwej próżni ogarnąłby cały wszechświat.

### Natychmiastowa zagłada

Jak była już mowa, różnica energii między „prawdziwą” a „fałszywą” próżnią może mieć nieprawdopodobną wartość. W wypadku, gdyby doszło do wspomnianego powyżej zdarzenia, cała ta energia skupiałaby się na granicy między fałszywą próżnią, a rozszerzającym się bąblem prawdziwej próżni. Tam, gdzie dotarłaby ściana bąbla prawdziwej próżni nastąpiłby kataklizm, którego rozmiary przekraczałyby wszelkie granice ludzkiej wyobraźni. Zniszczone zostałyby absolutnie wszystko – mogłoby być np. tak, że momentalnie nastąpiłaby kompletna zmiana właściwości wszystkich cząstek elementarnych i ich oddziaływań – np. protony i neutrony mogłyby ulec natychmiastowemu rozpadowi i cała materia nagle by wyparowała. Co gorsza - jak stwierdzili Coleman i De Lucia - energia i ciśnienie prawdziwej próżni wygenerowałyby tak gigantyczne pole grawitacyjne, że całe wnętrze bąbla zapadłoby się w ciągu kilku mikrosekund – mimo, iż jego ściany ciągle by się rozszerzały. Wszystko to, co znalazłoby się we wnętrzu owego bąbla, zostałoby niemal natychmiast anihilowane przez istniejącą w środku osobliwość czasoprzestrzeni. Mówiąc krótko, byłby to natychmiastowy koniec wszystkiego.

Perspektywa takiego wydarzenia, jak rozpad próżni jest – jak delikatnie stwierdzili Coleman i De Lucca – „raczej niepokojąca” i dodali: *„Możliwość, że żyjemy w fałszywej próżni nigdy nie wydawała się szczególnie radosna. Rozpad próżni stanowi ostateczną katastrofę ekologiczną; po takim rozpadzie nie tylko życie staje się niemożliwe, ale całkowicie zmienia się chemia. Jednak dotychczas mogliśmy się pocieszać myślą, że z biegiem czasu w nowym, stanie znów pojawi się życie, może nie takie, jakie znamy, ale jednak zdolne do przeżywania radości. Ta możliwość została teraz wyeliminowana”*.

Wkrótce po opublikowaniu pracy Disneya Colemana i Franka De Luccia zagadnienie rozpadu próżni stało się przedmiotem ożywionych dyskusji między astronomami i fizykami. Kosmolog Michel Turner i fizyk Frank Wilczek (laureat nagrody Nobla w 2004 r.) w opublikowanym w 1982 r. na łamach miesięcznika „Nature” artykule „Czy nasza próżnia jest metastabilna?” przedstawili apokaliptyczny wniosek: *„Z punktu widzenia mikrofizyki jest całkiem możliwe, że nasza próżnia jest metastabilna... bez żadnego ostrzeżenia gdzieś we wszechświecie może pojawić się bąbel prawdziwej próżni i będzie rozszerzał się z prędkością światła”*. (3)

## Czy fizycy zniszczą wszechświat?

Niedługo później na łamach tego samego pisma wyrażony został pogląd... że to fizycy, zajmujący się cząstkami elementarnymi mogą zniszczyć cały wszechświat. Chodzi o to, że podczas zderzeń między cząstkami o bardzo dużych energiach, do których dochodzi w akceleratorach, na krótką chwilę powstają warunki mogące sprzyjać rozpadowi próżni. Gdyby do takiego rozpadu doszło, zagłady wszechświata nic nie zdołałoby powstrzymać. W drobnym ułamku sekundy przestałaby istnieć Ziemia, trochę ponad sekundę później Księżyc, nieco ponad osiem minut później Słońce itd. Ale czy z możliwości takiego wydarzenia (zakładając, że jest ono w ogóle prawdopodobne – nie wiemy bowiem, czy próżna jest fałszywa, czy prawdziwa) powinien wynikać wniosek, że powinno się zakazać budowy nowych akceleratorów cząstek – lub nawet zamknąć już istniejące?

Otóż, autorzy wyrażającego wspomniany powyżej pogląd artykułu - Piet Hut i Martin Rees – wskazali, że coś takiego jest praktycznie niemożliwe. Cząstki promieniowania kosmicznego często mają energię większą od tej, jaką można osiągnąć w akceleratorach i od kilku miliardów lat bombardują one atmosferę ziemską, nie powodując jednak rozpadu próżni. Z drugiej strony, gdyby moc akceleratorów wzrosła kilkaset razy, naukowcy mogliby badać zderzenia cząstek o wyższych energiach, niż te, które występują w promieniowaniu kosmicznym. Czy coś takiego nie byłoby potencjalnie groźne? Otóż, jak zauważają Hut i Rees w Kosmosie zdarza się – choć bardzo rzadko – że dwie cząstki promieniowania kosmicznego zderzają się czołowo, wyzwalaając energię miliard razy większą od tej, jaką można osiągnąć za pomocą akceleratorów. Jeśli takie zdarzenia nie prowadzą do rozpadu próżni i końca wszechświata – fizycy doprowadzający do zderzeń cząstek w akceleratorach też go nie spowodują. (4)

Przypisy:

1. Jakoś nie nastąpił.
2. Naukowcy są w każdym razie zdania, że okres połowiczny rozpadu protonów musi wynosić co najmniej  $10^{32}$  lat. Odnośnie neutronów warto natomiast zauważyć, że średni czas życia swobodnych neutronów wynosi 885,7 sekund – po takim czasie (średnio rzecz biorąc) czasie tego rodzaju neutron rozpada się na proton, elektron i antyneutrino. Proces ten zachodzi jednak tylko w przypadku neutronów nie wchodzących w skład jąder atomowych – o czasie życia neutronów tworzących wraz z protonami jądra atomowe (w każdym razie te, które są stabilne, tzn. nie ulegają rozpadowi promieniotwórczemu) wiadomo tyle samo, co o czasie życia protonów – czyli praktycznie nic.
3. Warto dodać, że możliwość „rozpadu próżni” wiąże się obecnie z właściwościami tzw. [Pola Higgsa](#), odnośnie którego istnieją przypuszczenia, że znajduje się ono w stanie – jak się to określa metastabilnym. Jak można przeczytać w [artykule w](#)

[Wikipedii](#) (anglojęzycznej) na temat rozpadu próżni, jeśli Pole Higgsa ma taką właściwość, to rozpad próżni może nastąpi

4. w ciągu 20 – 30 miliardów lat Z kolei amerykańska astrofizyczka Katie Mack w swej wydanej w 2020 r. książce „Koniec wszystkiego – scenariusze kosmicznej apokalipsy” napisała, że zakładając prawdziwość teorii dotyczących właściwości Pola Higgsa można przypuszczać, że rozpad próżni nastąpi w czasie większym, niż przeszło  $10^{100}$  lat od teraz. Choć teoretycznie rzecz biorąc, z niewiarygodnie małym prawdopodobieństwem, może nastąpić w każdej chwili.
5. W każdym razie, akcelerator, w którym można byłoby uzyskać energię odnośnie której istnieją podejrzenia, że mogłaby ona doprowadzić do rozpadu próżni, musiałby mieć średnicę większą od średnicy Ziemi.

Warto też wspomnieć, że „rozpad próżni” niekoniecznie musiałby mieć jakieś katastroficzne, a w każdym razie skrajnie katastroficzne konsekwencje. Istnieją różne scenariusze takiego zdarzenia, zależne głównie od różnicy potencjałów energii „fałszywej” (istniejącej) oraz „prawdziwej” (mogącej powstać w wyniku „rozpadu”) próżni. Jak może przeczytać w będącym całkiem dobrym źródłem wiedzy na temat zagadnienia rozpadu próżni [artykule w Wikipedii](#), niektóre z tych scenariuszy pociągają za sobą całkowite zniszczenie wszelkich istniejących obecnie sił fizycznych i destrukcję wszystkich cząstek elementarnych - bądź nawet natychmiastowe zapadnięcie się Wszechświata - podczas gdy inne są kompatybilne z przetrwaniem takich struktur, jak gwiazdy i galaktyki, bądź nawet życia biologicznego.

Można też jeszcze dodać, że rozpad próżni – gdyby nastąpił – nie zniszczyłby *dokładnie* całego wszechświata. Byłoby tak dlatego, że wszechświat się rozszerza – i to, jak wiadomo od 1998 r. coraz szybciej. Im dalej od nas – czy od jakiegokolwiek innego punktu we wszechświecie znajdują jakieś obiekty – tym szybciej od nas uciekają (oczywiście, jest to reguła ogólna – nie jest ona prawdziwa w odniesieniu do wszystkich, zwłaszcza względnie bliskich obiektów – wiadomo np. że Galaktyka w gwiazdozbiórze Andromedy, odległa o ok. 2,52 mln lat świetlnych od Ziemi, zbliża się do nas i za jakieś 3,5 miliarda lat zderzy się z Drogą Mleczną). Te, które są odpowiednio daleko od nas, oddalają się z prędkością, która w stosunku do Ziemi jest prędkością nadświatłą (jak to jest możliwe, skoro prędkość światła jest najwyższą możliwą prędkością we wszechświecie? Otóż jest to możliwe z tego względu, że jakkolwiek nic w przestrzeni kosmicznej nie może poruszać się z prędkością większą, niż prędkość światła, to sama przestrzeń może się rozszerzać szybciej, niż światło – unosząc ze sobą znajdującą się w niej materię i oczywiście też poruszające się w niej światło). Tak więc, rozszerzający się z prędkością światła – czy niemal prędkością światła – bąbel „prawdziwej próżni” nie ogarnąłby całego wszechświata – obiekty znajdujące się odpowiednio daleko od miejsca, w którym by on powstał zdołałyby przed nim uciec.

Zob. też [krótki filmik poświęcony zagadnieniu rozpadu próżni](#).

[Strona główna](#)