

Warszawa, 7 października 2015

Perfekcyjnie dokładne zegary nigdy nie powstaną

Czy zawsze i wszędzie można precyzyjnie zmierzyć upływ czasu? Odpowiedź zmartwi niejednego zegarmistrza. Zespół fizyków z uniwersytetów w Warszawie i Nottingham właśnie wykazał, że tam, gdzie mamy do czynienia z bardzo dużymi przyspieszeniami, żaden zegar nie będzie w stanie pokazywać rzeczywistego upływu czasu – tzw. czasu własnego.

Idealny zegar to jedynie wygodna fikcja, wykazali teoretycy z Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego (FUW) i Uniwersytetu w Nottingham (UN). W pracy opublikowanej w czasopiśmie „Classical and Quantum Gravity” udowadniają oni, że w układach poruszających się z ogromnymi przyspieszeniami zbudowanie zegara, który dokładnie mierzyłby upływający czas, jest niemożliwe z przyczyn fundamentalnych.

„W obu teoriach względności, szczególnej i ogólnej, zakłada się milcząco, że zawsze można skonstruować idealny zegar – taki, który będzie dokładnie odmierzał czas upływający w układzie, niezależnie od tego, czy układ spoczywa, porusza się z jednostajną prędkością czy przyspiesza. Okazuje się jednak, że gdy mówimy o naprawdę dużych przyspieszeniach, ten postulat po prostu nie może obowiązywać”, mówi dr hab. Andrzej Dragan z Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego (FUW).

Najprostszym zegarem są niestabilne cząstki elementarne, np. miony, cząstki o podobnych cechach co elektrony, lecz ponad 200 razy od nich masywniejsze. Miony zwykle rozpadają się na elektron, neutrino mionowe oraz antyneutrino elektronowe. Mierząc czasy rozpadu i uśredniając wyniki dla mionów poruszających się wolno oraz z prędkościami bliskimi prędkości światła można zaobserwować m.in. słynne spowolnienie upływu czasu: im szybciej poruszają się miony, tym eksperymentator rzadziej zobaczy ich rozpady. Prędkość wpływa więc na obserwowane tempo pracy zegarów. A przyspieszenie? W końcu lat 70. ubiegłego wieku w CERN przeprowadzono eksperymenty z pomiarami czasu rozpadów mionów poddawanych w ruchu po okręgu przyspieszeniom nawet miliardy miliardów razy większym od przyspieszenia ziemskiego (10^{18} g). Nie stwierdzono wtedy żadnego wpływu przyspieszenia na czasy rozpadu.

Polsko-brytyjska grupa teoretyków z UW i UN zajmowała się opisem niestabilnych cząstek poruszających się ruchem przyspieszonym po prostej. Czynnikiem o kluczowym znaczeniu dla wyników analizy okazał się niezwykle ciekawy efekt, przewidziany w 1976 roku przez kanadyjskiego fizyka Williama Unruha.

„Wbrew intuicji, pojęcie cząstki nie jest całkowicie niezależne od obserwatora. Wszyscy znamy na przykład efekt Dopplera. Powoduje on, że foton emitowany przez ruchome źródło jest bardziej niebieski według obserwatora, ku któremu źródło się zbliża, a bardziej czerwony według tego, od

którego się oddala. Z efektem Unruha jest nieco podobnie, tyle że rezultaty są bardziej spektakularne: w obszarze przestrzeni, w którym według obserwatora niepodlegającego przyspieszeniom znajduje się próżnia pola kwantowego, według innego, przyspieszającego, widać wiele cząstek”, wyjaśnia dr Dragan.

Równanie opisujące efekt Unruha mówi więc, że liczba cząstek widocznych w obrębie pola kwantowego zmienia się zależnie od przyspieszeń doznawanych przez obserwatora: im większe przyspieszenie, tym jest ich więcej. Te nieinercjalne efekty mogą być wynikiem ruchu obserwatora, ale ich źródłem może być także pole grawitacyjne. Co ciekawe, efekt Unruha jest bardzo pokrewny słynnemu promieniowaniu Hawkinga, emitowanemu przez czarne dziury.

Niestabilne cząstki, w rozważaniach fizyków z UW i UN traktowane jako fundamentalne zegary, rozpadają się wskutek oddziaływań z innymi polami kwantowymi. Teoria mówi, że jeśli pojedyncza cząstka przebywa w przestrzeni wypełnionej próżnią, rozpada się w innym tempie niż wtedy, gdy w pobliżu jest wiele innych oddziałujących z nią cząstek. Skoro zatem w ekstremalnie przyspieszającym układzie wskutek efektu Unruha widać więcej cząstek, średnie czasy rozpadów cząstek takich jak miony powinny się zmienić.

„Nasze obliczenia wykazały, że powyżej pewnych, bardzo dużych przyspieszeń po prostu musi dojść do zaburzeń czasu rozpadu cząstek elementarnych. A jeśli zaburzeniom ulegają tak fundamentalne zegary jak miony, to każde inne urządzenie zbudowane w oparciu o zasady kwantowej teorii pola także będzie zakłócone. Zatem idealnie precyzyjne pomiary czasu własnego przestają być możliwe. Ten fakt ma dalsze konsekwencje, bo utrata możliwości dokładnego mierzenia upływu czasu oznacza problemy także z pomiarami odległości”, tłumaczy dr Dragan.

Dotychczas przyjmowano, że pojęcia czasu i przestrzeni mogą tracić swój tradycyjny sens dopiero wtedy, gdy istotną rolę zaczynają odgrywać zjawiska przewidywane przez hipotetyczne teorie grawitacji kwantowej. Przypuszcza się, że niezbędne do tego warunki panowały w okolicach Wielkiego Wybuchu.

„W naszej publikacji pokazujemy, że aby pojawiły się kłopoty z pomiarami czasoprzestrzeni, tak ekstremalne warunki wcale nie są potrzebne. Czas, a więc i przestrzeń, najprawdopodobniej przestają się dawać mierzyć nawet w dzisiejszym Wszechświecie, pod warunkiem, że pomiary będziemy próbowali przeprowadzać w układach poruszających się z ogromnym przyspieszeniem”, zauważa dr Dragan.

Wyniki fizyków z Warszawy i Nottingham oznaczają, że przy dostatecznie dużych przyspieszeniach zaburzeniu ulegają zdolności operacyjne każdej teorii zbudowanej na pojęciu czasu, a więc także i przestrzeni. Wniosek ten rodzi ciekawe pytania. Jeśli w ekstremalnie przyspieszających układach nie można zbudować zegara dokładnie mierzącego czas, czy jest to wyłącznie fundamentalna wada metody pomiaru? A może coś dzieje się bezpośrednio z samym czasem? I czy wielkości, których nie można mierzyć, mają w ogóle fizyczny sens?

Współczesne akceleratory potrafią rozpędzać cząstki z przyspieszeniami kilka rzędów wielkości większymi niż w eksperymentach z lat 70. Już dziś można więc przeprowadzić doświadczenia, w których efekt Unruha powinien być widoczny – a wraz z nim zmiany w czasach rozpadu cząstek wywołane przyspieszeniem. Wnioski polsko-brytyjskiej grupy fizyków dotyczące idealnych zegarów będzie więc można wkrótce zweryfikować.

„Jeśli nasze przewidywania zostaną potwierdzone eksperymentalnie, sporo rzeczy związanych z naszym rozumieniem czasoprzestrzeni, upływu czasu i metodami jego pomiaru będziemy musieli przemyśleć od podstaw. To może być... ciekawe”, podsumowuje z uśmiechem dr Dragan.

Prace grupy polskiej sfinansowano z grantu Sonata BIS Narodowego Centrum Nauki.

Fizyka i astronomia na Uniwersytecie Warszawskim pojawiły się w 1816 roku w ramach ówczesnego Wydziału Filozofii. W roku 1825 powstało Obserwatorium Astronomiczne. Obecnie w skład Wydziału Fizyki UW wchodzi Instytuty: Fizyki Doświadczalnej, Fizyki Teoretycznej, Geofizyki, Katedra Metod Matematycznych oraz Obserwatorium Astronomiczne. Badania pokrywają niemal wszystkie

dziedziny współczesnej fizyki, w skalach od kwantowej do kosmologicznej. Kadra naukowo-dydaktyczna Wydziału składa się z ok. 200 nauczycieli akademickich, wśród których jest 88 pracowników z tytułem profesora. Na Wydziale Fizyki UW studiuje ok. 1000 studentów i ponad 170 doktorantów.

PUBLIKACJE NAUKOWE:

„Ideal clocks – a convenient fiction”; K. Lorek, J. Louko, A. Dragan; Classical and Quantum Gravity 03/2015; 32(17). DOI: 10.1088/0264-9381/32/17/175003

KONTAKTY:

dr hab. **Andrzej Dragan**
Instytut Fizyki Teoretycznej Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego
tel. +48 22 5532926
email: dragan@fuw.edu.pl

POWIĄZANE STRONY WWW:

<http://www.fuw.edu.pl/>
Strona Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego.

<http://www.fuw.edu.pl/informacje-prasowe.html>
Serwis prasowy Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego.

MATERIAŁY GRAFICZNE:

FUW151007b_fot01s.jpg HR: http://www.fuw.edu.pl/press/images/2015/FUW151007b_fot01.jpg
Salvadore Dali przeczuwał to w swoich snach, teoretycy z Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego właśnie dowiedli: idealne zegary to fikcja. (Źródło: MoMA)