

Czas jest nie tylko jedną z najbardziej fundamentalnych wielkości obecnych w nauce, ale jest również pojęciem, które intuicyjnie znamy z życia codziennego. Dla fizyków, ale nie tylko dla nich jest to tajemnicza wielkość związana w jakiś sposób z ruchem i przestrzenią. Od starożytności filozofowie przyrody starali się zrozumieć jego prawdziwą naturę oraz podać ścisłą definicję, która zadowoli każdego. Od czasów Newtona i Leibniza wysiłki filozofów mające na celu zrozumienie tych pojęć można postrzegać jako konflikt między absolutnymi koncepcjami przestrzeni, czasu i ruchu a podejściem relacyjnym. Rewolucja w fizyce spowodowana przez Newtona wydawała się rozwiązywać problem właściwego zdefiniowania czasu aż do początku XX wieku. Fizycy zapomnieli o subtelnościach związanych z tym tematem, ponieważ wszystko w fizyce wydawało się działać zgodnie z interpretacją Newtona. Pierwsza oznaka upadku tej interpretacji pojawiła się, gdy Einstein sformułował swoją teorię względności. Szczególna i ogólna teorie względności pokazują, że czas jest tylko jedną z czterech współrzędnych, które można przekształcać między różnymi układami odniesienia.

Następną wielką rewolucję w fizyce wywołało powstanie mechaniki kwantowej, która zupełnie zmieniła klasyczny punkt widzenia. Odtąd każda mierzalna wielkość została opisana jako operator działający na przestrzeni Hilberta. Jedynie definicja czasu, która została wprowadzona do mechaniki kwantowej, pozostaje taka sama jak w klasycznej interpretacji Newtona. Czas w mechanice kwantowej nadal jest tylko parametrem skalarnym opisującym ewolucję układu.

Poradzenie sobie z tymi sprzecznościami jest jednym z kluczowych celów współczesnej fizyki teoretycznej. Badanie zjawisk leżących na pograniczu dwóch wielkich gałęzi fizyki: teorii względności i mechaniki kwantowej może być impulsem do opracowania lepszej teorii godzącej różne punkty widzenia na naturę czasu. Niedawne publikacje pokazują nowy sposób traktowania czasu w mechanice kwantowej. Od teraz czas może być rozumiany poprzez pomiar układów kwantowych pełniących funkcję zegarów. Wprowadzenie kwantowych zegarów zachęca nas do traktowania ich jako nieodłącznej części układu, nie zaś tylko jako część tła dla dziejącej się ewolucji. W związku z tym naturalne jest wykorzystywanie kwantowości pomiaru czasu w celu zadawania fundamentalnych pytań i wprowadzania wielkości, które mogą służyć jako możliwość testowania teorii relatywistycznych i kwantowych.

W naszych badaniach planujemy zbadać dwa interesujące zjawiska – kwantową dylatację czasu i tzw. nieokreślony porządek czasowy. Pierwsze z nich pojawia się po zadaniu pytania: Co się dzieje, gdy zegar znajduje się w kwantowej superpozycji dwóch różnych prędkości? Drugi problem wiąże się z możliwością, że kolejność dwóch zdarzeń również może być w superpozycji, w przeciwieństwie do zwykłego pojęcia superpozycji, które odnosi się do tradycyjnych kwantowych stopni swobody takich jak np. przestrzenne stopnie swobody. W naszej pracy planujemy wykorzystać te zjawiska, aby opracować układy, które przetestują związki teorii kwantowych i relatywistycznych, odkrywając w tym samym czasie zjawiska, które mogą zapewnić nam dalszy wgląd w pogranicze leżące pomiędzy tymi wielkimi teoriami współczesnej fizyki.

Problem zrozumienia pojęcia czasu w kontekście teorii względności i mechaniki kwantowej wymaga dualistycznego punktu widzenia. Wymaga zrozumienia problemu pomiaru czasu w sposób w pełni relacyjny, ale także zrozumienia, w jaki sposób zasada superpozycji wpływa na standardową definicję czasu. W związku z tym planujemy podzielić nasze badania na dwie części.

1. Uniwersalność kwantowej dylatacji czasu w całkowicie relatywistycznym reżimie

W naszych poprzednich badaniach wykazaliśmy, że dylatacja czasu kwantowego wydaje się uniwersalna, tj. można ją zmierzyć niezależnie od modelu zegara. Jednak nasze wyniki zostały obliczone tylko do wiodącego rzędu relatywistycznych poprawek w fizyce nierelatywistycznej. Teraz planujemy pokazać, jak zachowuje się kwantowa dylatacja czasu w całkowicie relatywistycznej teorii. Planujemy również rozszerzyć poprzednie wyniki na przypadek zegara umieszczonego w zakrzywionej czasoprzestrzeni. W ten sposób chcielibyśmy potwierdzić, że uniwersalność kwantowej dylatacji czasu zachodzi również w przypadku atomu, w którym występuje grawitacyjna dylatacja czasu.

2. Pomiar nieokreślonego porządku czasowego za pomocą zegarów kwantowych

W tej części naszych badań planujemy skupić się na relatywistycznej dylatacji czasu, aby wykazać, że zegar symulowany przez poruszające się atomy doświadczające różnych czasów w wyniku szczególnej teorii względności może tworzyć nieokreślony porządek czasowy zdarzeń. Ten nieokreślony porządek czasowy zostałby następnie użyty do naruszenia czasowych nierówności Bella. W ten sposób będziemy mogli udowodnić, że porządek czasowy zdarzeń może występować w superpozycji.