

Cel prowadzonych badań / hipoteza badawcza:

Celem poznawczym projektu jest zaobserwowanie naruszenia symetrii dyskretnych w układach czysto leptonowych.

Istniejemy, więc istnieje asymetria między materią i antimaterią, która prawdopodobnie pojawiła się we wczesnym stadium ewolucji Wszechświata. Jednak pomimo prób w wielu wiodących laboratoriach nie udało się jeszcze zaobserwować łamania symetrii dyskretnych takich jak odbicie w przestrzeni (P), sprzężenie ładunkowe (C) czy odwrócenie w czasie (T) w procesach wywoływanych oddziaływaniem grawitacyjnym, elektromagnetycznym czy silnym. Naruszenie symetrii C i CP jest jednym z warunków koniecznych do powstania asymetrii pomiędzy materią i antimaterią. Do tej pory łamanie tych symetrii zostało odkryte w procesach wywoływanych przez oddziaływanie słabe. Jednak obserwowany nadmiar materii nad antimaterią jest o dziewięć rzędów wielkości większy w stosunku do przewidywań opartych na znanych zjawiskach łamiących symetrię dyskretne.

Rozbieżność ta jest jednym z najciekawszych wyzwań poznawczych współczesnej fizyki i kosmologii.

Jedną z hipotez tłumaczących powstanie materii jest leptogeneza mówiąca, że obecny nadmiar materii w stosunku do antimaterii wywodzi się z asymetrii lepton-antylepton powstałej we wczesnej fazie ewolucji Wszechświata. Teoria ta wymaga istnienia masywnych neutrin oraz innych obiektów, które nie zostały do tej pory potwierdzone empirycznie. W tym projekcie proponujemy badanie łamania symetrii dyskretnych w rozpadach atomów pozytonium. Atom pozytonium jako układ związany elektronu i antyelektronu, stanowi system czysto leptonowy. Pozytonium jest najprostszym atomem i równocześnie anty-atomem co sprawia, że jest obiektem bardzo dogodnym do badania symetrii dyskretnych. Proponowany projekt jest komplementarny do badań symetrii dyskretnych w układach kwarkowych prowadzonych np. w laboratorium CERN, i dotyczy badania symetrii w układach leptonowych prowadzonych w takich ośrodkach światowych jak J-PARC w Japonii czy Fermilab w USA, gdzie zaobserwowano na poziomie jednego odchylenia standardowego fluktuacje mogące wskazywać na łamanie symetrii CP w oscylacjach neutrin.

Zastosowana metoda badawcza / metodyka:

Bazę eksperymentalną tego projektu stanowi Jagielloński Pozytonowo Emisyjny Tomograf (J-PET) skonstruowany w 2015 roku w oparciu o nową technologię nieinwazyjnego obrazowania wnętrza człowieka opracowaną przez kierownika tego grantu. O nowatorskości metody świadczy 16 międzynarodowych zgłoszeń patentowych. Tomograf J-PET będzie używany do pomiarów kwantów gamma pochodzących z rozpadów pozytonium. Wnioskowanie o łamaniu symetrii dyskretnych będzie przeprowadzane w oparciu o pomiar wartości oczekiwanych różnych operatorów skonstruowanych z wektorów polaryzacji i pędów mierzonych kwantów gamma oraz z polaryzacji atomów pozytonium. Zaobserwowanie niezerowej wartości oczekiwanej takiego operatora wskazywałoby na łamanie symetrii względem której operator ten jest nieparzysty. Eksperymenty będą prowadzone przez zespół badawczy J-PET założony i kierowany przez proponenta tego grantu.

Unikalność tomografu J-PET, która pozwoli na zwiększenie precyzji w stosunku do poprzednich eksperymentów przejawia się w: (i) możliwości pomiaru polaryzacji kwantów gamma (jest to cecha unikalna w skali światowej), (ii) ponad 10 razy lepszej rozdzielczości czasowej, (iii) około 10 razy lepszej rozdzielczości kątowej, oraz (iv) możliwości zgromadzenia w trakcie projektu ponad dwa rzędy wielkości większej statystyki.

Wpływ spodziewanych rezultatów na rozwój nauki, cywilizacji, społeczeństwa:

Wyniki poszukiwań zjawisk łamiących symetrię dyskretne w układach czysto leptonowych z dwa rzędy wielkości większą precyzją mogą przyczynić się do rozwiązania zagadki przetrwania materii w ewolucji Wszechświata. Wykonanie proponowanych badań wymaga stworzenia procedur do rekonstrukcji miejsc anihilacji atomów pozytonium oraz wyznaczania ich czasów życia. Dlatego badania te przyczynią się do rozwinięcia nowej metody obrazowania morfometrycznego wynalezionej przez proponenta tego projektu. Metoda ta wykorzystuje fakt, że prawdopodobieństwo wytworzenia i czas życia atomów pozytonium mocno zależy od wielkości wolnych przestrzeni między molekułami. Dlatego czas życia pozytonium wewnątrz komórek zależy od ich nano-struktury i może okazać się użytecznym wskaźnikiem stadium zaawansowania nowotworów. Obecnie atomy pozytonium wytwarzane są wewnątrz człowieka w rutynowych badaniach PET lub w trakcie naświetlania nowotworów w terapii hadronowej. Jednak ten fakt nie był do tej pory wykorzystywany w diagnostyce. Projekt stanowi unikalny przykład jak technologia obrazowania medycznego daje możliwości wykonywania badań podstawowych dotyczących najbardziej fundamentalnych pytań związanych z naszym istnieniem i mogących pomóc w zrozumieniu ewolucji Wszechświata, oraz jak prowadzone badania mogą stworzyć podwaliny nowej dziedziny w diagnostyce medycznej opartej o nieznane dotąd obrazowanie morfometryczne.