

1 Cel projektu

Czy kiedykolwiek zastanawialiście się, dlaczego nasz wszechświat składa się prawie wyłącznie z materii, podczas gdy antymaterii prawie nie widać? Zgodnie z teorią Wielkiego Wybuchu, materia i antymateria powinny zostać stworzone w równych ilościach. Jednak rzeczywistość wygląda inaczej. Skąd więc taka nierównowaga?

Fizyk Andriej Sacharow zaproponował listę warunków, które mogą być odpowiedzialne za te anomalie w przyrodzie. Jednym z tych warunków jest naruszenie symetrii sprzężenia ładunkowego (symetrii C). Zgodnie z zasadą zachowania symetrii C, czastki (materia) i antycząstki (antymateria) powinny być traktowane jednakowo przez prawa Modelu Standardowego (SM) fizyki. Jednakże w rzeczywistości przyroda zdaje się odbiegać od tego założenia. Istnieją konkretne dowody na to, że jedna z fundamentalnych sił — oddziaływanie słabe — narusza te symetrie. Natomiast w przypadku oddziaływań elektromagnetycznych (EM) uważa się, że symetria C nadal obowiązuje. W proponowanym projekcie planujemy przetestować symetrię C w oddziaływaniu elektromagnetycznym, wykorzystując nowoczesny detektor J-PET.

2 Powody podjęcia danego tematu badawczego

Projekt ten proponuje nowatorskie i precyzyjne podejście do jednego z najbardziej fundamentalnych pytań w fizyce. Będziemy poszukiwać zdarzeń, w których cztery fotony zostaną wyemitowane w szczególnym układzie katowym przypominającym regularny czworościan — rzadki i teoretycznie istotny wzór. Metoda ta oferuje unikalny sposób na wykrycie oznak naruszenia symetrii C w procesie anihilacji układu materia–antymateria. Analizując katowy rozkład fotonów, możemy uzyskać głębszy wgląd w fundamentalne zachowania przyrody. Dodatkowo badanie to ma potencjał wprowadzenia nowej metodyologii rozróżniania stanów para-pozytonium (pPs) i orto-pozytonium (oPs) w przypadkach rozpadów wielofotonowych. Ogólnie rzecz biorąc, badania te mogą stanowić jedno z najbardziej precyzyjnych eksperymentalnych testów symetrii C w oddziaływaniach elektromagnetycznych.

3 Opis badań

Detektor J-PET został specjalnie zaprojektowany do jednoczesnego rejestrowania wielu fotonów, co czyni go szczególnie odpowiednim do eksperymentów wielofotonowych. W naszym eksperymencie wykorzystamy radioaktywny izotop – sód-22, który podczas rozpadu emituje pozyton. Pozyton łączy się z elektronem z otoczenia, tworząc pozytonium, które następnie rozpada się na fotony. Szczególnie interesują nas przypadki, w których cztery fotony są emitowane w dokładnym układzie regularnego czworościanu — bardzo specyficznej i rzadkiej konfiguracji w już zebranych danych z wykorzystaniem detektora modularnego. Aby przyspieszyć i zwiększyć wiarygodność naszych poszukiwań, planujemy zastosować algorytmy uczenia maszynowego do identyfikacji właściwych wzorców w danych.

4 Oczekiwane znaczące rezultaty

Z planowanych badań przede wszystkim oczekujemy przetestowania możliwości naruszenia symetrii C w układzie materia–antymateria z użyciem modularnego detektora J-PET. Dzięki proponowanej metodzie będzie to jeden z najbardziej rygorystycznych testów naruszenia symetrii C. W praktyce będziemy mogli sprawdzić, czy symetria C jest naruszana oraz w jakim stopniu w oddziaływaniach elektromagnetycznych. Będzie to również test przewidywań teoretycznych i może przynieść lepsze wyniki niż wcześniejsze eksperymenty. Dodatkowo proponowane badanie może posłużyć jako nowa metodologia odróżniania pPs i oPs, niezależnie od ich czasów życia. Na koniec, ponieważ głównym założeniem projektu jest hipoteza dotycząca emisji czterech fotonów w konfiguracji czworościennej podczas rozpadu oPs w wyniku statystyki Bosego-Einsteina, badanie to może również zweryfikować te statystyki na bardzo fundamentalnym poziomie, potencjalnie oferując nowe spojrzenie na kwantową naturę fotonów.