

Istniejemy, więc musi także istnieć asymetria między materią i antymaterią. W przeciwnym razie już dawno w wyniku wzajemnej anihilacji cząstek i antycząstek cała materia i antymateria zamieniłaby się w fotony czyli światło. Wyjaśnienie istnienia tej asymetrii, tożsamej w gruncie rzeczy z wyjaśnieniem istnienia materii w ogóle, jest jednym z najciekawszych wyzwań poznawczych współczesnej fizyki i kosmologii. Dlatego procesy fizyczne, które zachodziły we wczesnych etapach ewolucji Wszechświata są tak interesujące dla badaczy i przyczyniły się do powstania wielu hipotez tłumaczących powstanie materii. Niestety żadna z nich nie jest w stanie podać kompletnego wyjaśnienia naruszenia symetrii między materią a antymaterią bez odwoływania się do bytów czy zjawisk doświadczalnie niepotwierdzonych.

Obecnie we Wszechświecie obserwujemy ponad tysiąc milionów razy więcej światła niż materii. Tę resztkę, która przetrwała wielką anihilację, stanowią kwarki i leptoni. Kwarki stanowią budulec jąder atomowych, a leptoni to cząstki takie jak na przykład elektron. Sacharow podał warunki konieczne, które muszą być spełnione, aby część materii mogła przetrwać wczesny etap ewolucji Wszechświata. Wśród nich jest łamanie symetrii ładunkowej (C) czyli naruszenie niezmienniczości procesów fizycznych ze względu na zamianę cząstki z antycząstką oraz łamanie symetrii przestrzenno-ładunkowej (CP), czyli operacji zamiany cząstki na anty-cząstkę połączonej z odbiciem lustrzanym w przestrzeni (P). Do tej pory naruszenie symetrii ładunkowej C i ładunkowo-przestrzennej CP zaobserwowano jedynie w procesach wywoływanych oddziaływaniem słabym. Natomiast pomimo wielu prób eksperymentalnych w wielu wiodących laboratoriach na świecie nigdy jeszcze nie zaobserwowano asymetrii między zachowaniem materii i antymaterii w procesach wywoływanych oddziaływaniem grawitacyjnym, elektromagnetycznym czy silnym, a więc dla oddziaływań, które determinują istnienie gwiazd, atomów i jąder atomowych. Na dodatek, łamanie symetrii CP potwierdzono empirycznie tylko dla dwóch spośród setek znanych cząstek zbudowanych z kwarku i anty-kwarku (mezonu K i mezonu B), ale naruszenie tej symetrii nie zostało dotąd zaobserwowane w procesach z udziałem samych leptonów.

Celem tego projektu jest poszukiwanie łamania symetrii dyskretnej w rozpadach atomów pozytonium na fotony. Atomy pozytonium będące stanem związanym elektronu z anty-elektronem są układem zbudowanym z samych leptonów i jako stan zbudowany z materii i anty-materii idealnie nadają się do testów niezmienniczości względem zamiany cząstek na anty-cząstki. Proponowany projekt dotyczy aktualnej tematyki na froncie badań fizyki i kosmologii. Świadczy o tym choćby fakt, że podobny cel naukowy, czyli zaobserwowanie łamania symetrii dyskretnej w układach z samych leptonów, jest częścią dalekosiężnych planów badawczych flagowych eksperymentów neutrinowych w Japonii i w USA, gdzie jednoczesne naruszenie symetrii zamiany cząstki na antycząstkę i symetrii odbicia w przestrzeni próbuje się zaobserwować w przemianach neutrin i antyneutrin przesyłanych na przykład z laboratorium J-PARC do odległego o 295 km detektora Super-Kamiokande czy z Fermilab do odległego o 810 km detektora NOvA. Warto podkreślić, że eksperyment realizowany w ramach tego grantu stawia sobie podobne fundamentalne cele stosując inną metodologię - jeśli symetrie dyskretne w układach leptonów są łamane, to daje on duże szanse na ich odkrycie. Celem doświadczalnym projektu jest wykonanie po raz pierwszy w laboratorium Polskim badań niezmienniczości procesów fizycznych ze względu na zamianę elektronu z anty-elektronem, z dokładnością przewyższającą ponad sto razy dotychczasowe eksperymenty tego typu wykonane w wiodących ośrodkach naukowych w Japonii i USA. Badania będą przeprowadzone za pomocą Jagiellońskiego Pozytonowego Emisyjnego Tomografu (J-PET) zbudowanego w 2015 roku na Uniwersytecie Jagiellońskim w oparciu o nową technologię nieinwazyjnego obrazowania wnętrza człowieka opracowaną przez kierownika tego grantu. O nowatorskości opracowanej metody świadczy choćby 16 międzynarodowych zgłoszeń patentowych. Projekt stanowi unikalny przykład jak technologia, która może być wykorzystywana na potrzeby obrazowania medycznego, otwiera możliwości wykonywania badań podstawowych dotyczących najbardziej fundamentalnych pytań związanych z naszym istnieniem i mogących pomóc w zrozumieniu ewolucji Wszechświata.

Atomy pozytonium ($e+e-$) będące jednocześnie anty-atomami będą wytwarzane wewnątrz komory diagnostycznej tomografu naświetlając fantomy z areozeli anty-elektronami emitowanymi ze źródła promieniotwórczego sodu. Fotony emitowane w trakcie anihilacji atomów pozytonium będą rejestrowane przez tomograf, który w stosunku do urządzeń używanych w poprzednich tego typu eksperymentach w USA i Japonii posiada znacząco lepszą rozdzielczość przestrzenną i czasową, i dzięki nowo opracowanej technice detekcji tomograf ten pozwoli na osiągnięcie stu-krotnie większej czułości na badanie stopnia łamania symetrii dyskretnej. Ponadto tomograf J-PET stwarza unikalne możliwości pomiaru polaryzacji fotonów otwierając pole do badania symetrii dyskretnej w naturze w sposób niedostępny we wcześniejszych eksperymentach!