



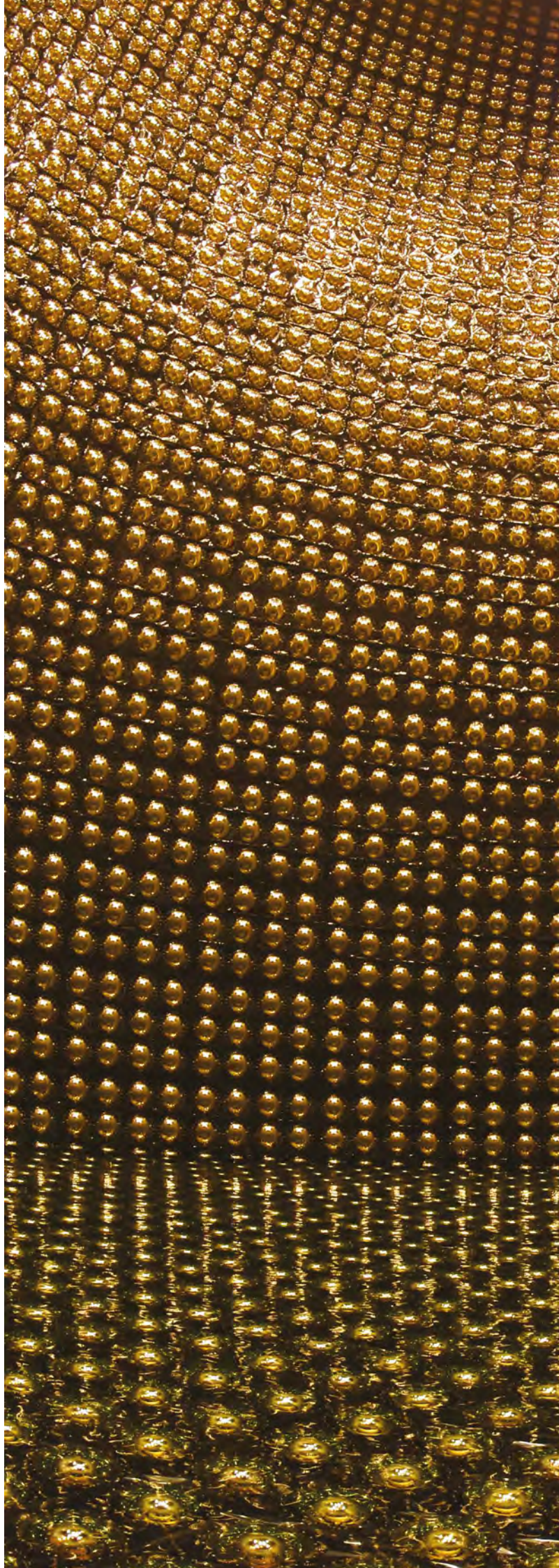
tekst: dr Małgorzata Kłoskowicz

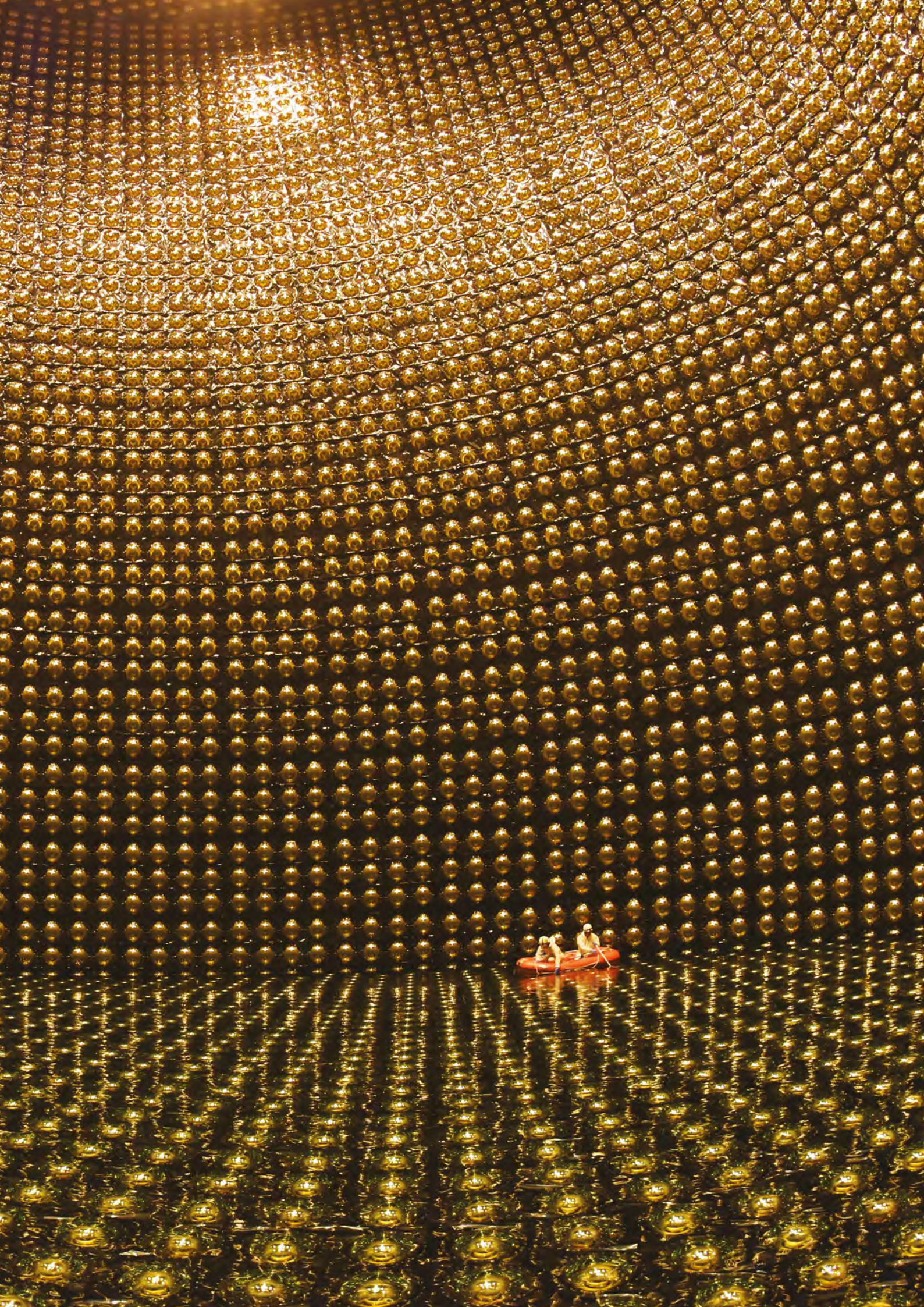
DLACZEGO

WSZECHŚWIAT
SKŁADA SIĘ
GŁÓWNIE
Z MATERII



Wszechświat, który znamy, składa się głównie z materii. Wszystkie otaczające nas obiekty zbudowane są z cząstek. Materia jest więc na wyciągnięcie ręki. Ba, to budulec tej ręki. Okazuje się, że w tym samym Wszechświecie pozostały też śladowe ilości antimaterii. To najrzadziej występująca i tym samym najdroższa substancja na świecie. Dlaczego Wszechświat jest dużo, nad wyraz dużo bardziej materialny niż „antymaterialny”? Do rozwiązania tej zagadki przybliżają nas wyniki badań natury neutrin i antyneutrin w ramach eksperymentu T2K / fot. Kamioka Observatory, ICRR (Institute for Cosmic Ray Research), The University of Tokyo







Natura neutrin wciąż jest poznawana. Obserwacje z ostatnich lat sugerują, że analiza tych cząstek może przybliżyć nas do zrozumienia, dlaczego Wszechświat składa się przede wszystkim z materii. Neutrina, choć niepozerne, już kilka razy otworzyły drogę zajmującym się nimi naukowcom do Nagrody Nobla. Czy tak będzie i tym razem?

Czyszczenie powierzchni wody. Poziom wody wynosi około 31 m / fot. Kamioka Observatory, ICRR (Institute for Cosmic Ray Research), The University of Tokyo

W grudniu 1930 roku austriacki fizyk Wolfgang Pauli zaproponował błyskotliwe rozwiązanie wszystkich problemów związanych z rozpadem beta, polegające na dodaniu do modelu pewnego brakującego elementu. Sugerował istnienie neutralnej cząstki o znikomej masie, poruszającej się z prędkością mniejszą od prędkości światła. Hipoteza istnienia neutrina elektronowego została potwierdzona dopiero w 1956 roku w eksperymencie Clyde'a Cowana i Fredericka Reinesa. W latach 60. ubiegłego wieku eksperymentalnie potwierdzone zostało istnienie neutrina mionowego, w 2000 roku natomiast odkryto trzeci i ostatni rodzaj – neutrinu taonowe.

Co wiemy o tych cząstkach elementarnych? Dr hab. Arkadiusz Bubak, prof. UŚ z Instytutu Fizyki Uniwersytetu Śląskiego odpowiada bez zastanowienia.

– Pięć lat świetlnych betonu – taką mniej więcej grubość musiałaby mieć ściana, aby zatrzymać wszystkie neutrina słoneczne (strumień na Ziemi: $10^{11}/\text{cm}^2/\text{s}$). Są to niezwykle cząstki, które bardzo słabo oddziałują z materią. Aby to zrozumieć, wystarczy wyobrazić sobie, że przez każdy

centymetr naszego ciała w ciągu sekundy przechodzą ich miliardy. Czy ktokolwiek z nas odczuł skutki łatwości, z jaką nieustannie penetrują materię? – pyta naukowiec, który wraz z prof. dr. hab. Janem Kisielalem uczestniczy w eksperymencie neutrinowym Tokai-to-Kamioka (T2K). Aby zatem uchwycić ich obecność i badać właściwości, należało zaprojektować potężne detektory zamontowane w miejscach, do których docierać będzie znikoma ilość promieniowania kosmicznego. Tylko w takich warunkach możliwe jest obserwowanie oddziaływań neutrin.

Ogromnemu wyzwaniu technologicznemu sprościli konstruktorzy dwóch potężnych detektorów zbudowanych na potrzeby eksperymentu T2K. Bliski detektor ND280 zlokalizowany jest w Japonii, w miejscowości Tokai. Tam też znajduje się ośrodek Japan Proton Accelerator Research Complex (J-PARC), w którym produkuje się wiązkę protonów kierowaną w stronę odpowiednio zaprojektowanej tarczy grafitowej. W wyniku oddziaływania protonów z tarczą produkowane są inne cząstki, między innymi piony, które rozpadają się, wytwarzając neutrina. Po-

wstałe neutrina mogą być wykrywane w detektorach – wspomnianym już bliskim ND280 (zlokalizowanym 280 m od tarczy) oraz dalekim Super-Kamiokande, znajdującym się w odległości 295 km od ośrodka J-PARC, w kopalni we wnętrzu góry w japońskiej miejscowości Kamioka. – Stąd też wzięła się nazwa eksperymentu T2K – Tokai-to-Kamioka – wyjaśnia prof. Jan Kisiel, który kieruje grupą naukowców z Instytutu Fizyki Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach biorących udział w eksperymencie.

– Przyglądamy się naturze neutrin, chcemy je lepiej poznać. Ich trzy odkryte rodzaje nazywane są przez fizyków zapachami. Cząstki te mają pewną ciekawą „umiejętność”, mogą w trakcie słabych oddziaływań zmieniać zapach. W praktyce oznacza to, że na przykład neutrina mionowe, „podróżując” z akceleratora w Tokai do detektora w Kamioka, stają się... neutrinami elektronowymi. Proces zmiany zapachu nazywamy oscylacją – dodaje naukowiec z Uniwersytetu Śląskiego. Warto wspomnieć o tym, że odkrycie zjawiska oscylacji neutrin zostało uhonorowane Nagrodą Nobla w 2015

roku. Otrzymali ją dwaj fizycy – Takaaki Kajita i Arthur McDonald.

Dlaczego oscylacja neutrin jest tak ważna? Aby odpowiedzieć na to pytanie, musimy wprowadzić jeszcze jednego bohatera akcji. Będzie nim antyneutrino – ślad antymaterii w świecie.

Jak wyjaśnia prof. Jan Kisiel, gdy mówimy o materii i antymaterii, posługujemy się pojęciami cząstek i antycząstek. Cząstki i antycząstki mają identyczne własności, na przykład tę samą masę czy spin, ale różnią się znakiem liczb kwantowych, takich jak ładunek elektryczny czy tak zwana liczba leptonowa. Fizycy znają wiele takich par. Należą do nich: elektron i pozyton, proton i antyproton czy neutron i antyneutron. Te ostatnie są cząstkami elektrycznie obojętymi różniącymi się tworzącymi je kwarkami bądź antykwarkami.

– Traktujemy antymaterię jako coś niezwykłego. Tymczasem antycząstki występują na przykład w naszych organizmach. Ciało człowieka składa się głównie z materii. To fakt. Tworzą je takie pierwiastki, jak tlen, węgiel, wodór, azot, wapń czy fosfor, ale też – w zdecydowanie mniejszej ilości – potas, sód, siarka, magnez czy chlor. Co ważne, część z nich to pierwiastki nietrwałe, które ulegają rozpadowi. Do tej grupy należy radioaktywny izotop potasu ^{40}K , który w wyniku rozpadu β^+ emituje pozytony, czyli dodatnie elektrony, a więc... antycząstki – mówi prof. Arkadiusz Bubak.

Gdy cząstka na swej drodze spotka antycząstkę, obie natychmiast zamieniają się w czystą energię. Zjawisko to nazywane jest anihilacją. Tak właśnie dzieje



się w naszym organizmie i we Wszechświecie, choć na co dzień nie odczuwamy żadnych skutków zachodzących wciąż procesów. Tak działa się prawdopodobnie również zaraz po Wielkim Wybuchu, gdy Wszechświat powstawał.

– Gdyby wówczas doszło do anihilacji wszystkich cząstek i antycząstek, powstałaby tylko czysta energia. Tak się jednak nie stało. Oczywiście zdecydowana większość materii i antymaterii zamieniła się na kwanty promieniowania elektromagnetycznego gamma, ale pozostała pewna resztką, która dziś jest wszystkim, co znamy i co nas otacza, jest też nami. Szacuje się, że przetrwała 1 na 1 mld cząstek. Ta delikatna różnica wystarczyła, aby powstał cały Wszechświat – mówi prof. Arkadiusz Bubak.

Naukowcy od dawna podejrzewali, że zaraz po Wielkim Wybuchu mogło dojść do pewnych różnic w sposobie oddziaływania materii i antymaterii. W związku z tym rozpoczęli poszukiwania śladów źródła występowania tej asymetrii we Wszechświecie.

Jedną z teorii zakłada, że tuż po Wielkim Wybuchu zachodził proces nazywany bariogenezą. To wtedy mogły powstać takie cząstki, jak protony i neutrony, czyli główne składniki materii. Radziecki fizyk jądrowy Andriej Sacharow sformułował trzy warunki, które, jeśli rzeczywiście byłyby spełnione, mogłyby tłumaczyć tak wielką ilościową przewagę materii.

– Jednym z warunków jest łamanie symetrii ładunkowo-przestrzennej CP (ang. *Charge-Parity Symmetry*). Mówiliśmy już o tym, że materia i antymateria mają takie same własności. Zakładaliśmy również, że oddziałują w ten sam sposób. Okazuje się jednak, że może tak nie być. Istnieją pewne przesłanki, które świadczą o występowaniu niewielkich różnic w oddziaływaniach cząstek i antycząstek, a dokładniej – neutrin i antyneutrino. Kluczowe pytanie brzmi więc, jakie są te różnice i czy one wystarczyły, aby doprowadzić do powstania takiego Wszechświata, jaki znamy – mówi prof. Arkadiusz Bubak.

Właściwe pytanie brzmi więc: dlaczego oscylacja neutrin i antyneutrino jest tak ważna? Neutrino i antyneutrino, podobnie jak wszystkie cząstki i antycząstki, mają te same własności, mogą oscylować,

czyli zmieniać swój zapach. Wyniki dotychczasowych badań w ramach eksperymentu T2K sugerują, że sam proces oscylacji może zachodzić jednak nieco inaczej dla neutrin i antyneutrino.

– Raz z ośrodka J-PARC puszczana jest wiązka neutrin mionowych i prowadzone są obserwacje ich oscylacji na neutrina elektronowe, potem pojawia się wiązka antyneutrino mionowych i przyglądamy się procesowi ich oscylacji na antyneutrino elektronowe. Gdyby proces był symetryczny, nie dostrzegliśmyby różnic – tłumaczy prof. Jan Kisiel. – Okazuje się jednak, że z pewną dozą prawdopodobieństwa możemy stwierdzić, iż owa symetria jest łamana. To wydaje się brakującym elementem, który może przybliżyć nas do wyjaśnienia różnicy między obserwowanymi ilościami materii i antymaterii we Wszechświecie.

Wciąż jednak mamy do czynienia ze wskazaniem, nie odkryciem. W związku z tym fizycy będą kontynuować badania zjawiska oscylacji neutrin i antyneutrino. Aby mogli uzyskać jeszcze bardziej dokładne wyniki, w tej chwili rozbudowywana jest infrastruktura eksperymentu T2K. Przygotowane są prototypy dwóch części detektora bliskiego. Kilka segmentów będzie unowocześnianych, co wymaga ogromnych nakładów finansowych i czasu. Jednocześnie trwają prace nad zwiększeniem intensywności wiązki neutrin i antyneutrino w centrum akceleratorowym J-PARC w Tokai w Japonii. To pozwoli zwiększyć dokładność pomiarów i przekonać się ostatecznie, czy przypuszczenia grupy kilkuset fizyków z całego świata są słuszne.

Dotychczasowe wyniki badań zostały opublikowane w artykule pt. *Constraint on the matter-antimatter symmetry-violating phase in neutrino oscillations* opracowanym przez naukowców współpracujących w eksperymencie T2K. Materiał ukazał się na łamach kwietniowego numeru czasopisma „Nature”.

i prof. dr hab. Jan Kisiel
jan.kisiel@us.edu.pl
dr hab. Arkadiusz Bubak, prof. UŚ
arkadiusz.bubak@us.edu.pl
Instytut Fizyki
Widział Nauk Ścisłych i Technicznych
Uniwersytetu Śląskiego