

W każdej sekundzie dociera ze Słońca do Ziemi miliardy neutrin, przelatując praktycznie bez oddziaływania przez ciało człowieka. Rzeczywiście, oddziaływania neutrin z materią są tak słabe iż do ich detekcji potrzebne są ogromne detektory, zawierające setki ton specjalnie przygotowanych materiałów.

W projekcie zajmiemy się teorią neutrin pracując nad odpowiedzią na fundamentalne pytania pojawiające się w teorii cząstek elementarnych: ile rodzajów neutrin występuje w naturze? Jak je odkryć? Jakie mają one własności symetrii? Czy istnieją niestandardowe oddziaływania neutrin i jak mogą one zmienić w przyszłości eksperymenty oscylacji neutrin oraz poszukiwanie nowych procesów w niskich i wysokich energiach?

Przesłanki eksperymentalne i teoretyczne wskazują na to, iż obecnie znane trzy typy „zapachy” (określane także jako rodziny, generacje, gatunki) neutrin (elektronowe, mionowe i tau) to jednak nie wszystko. Masy znanych nam neutrin są co najmniej milion razy lżejsze od elektronu i dodanie dodatkowych ciężkich stanów neutrinowych do teorii ma znaczenie i wpływa między innymi na tempo i sposób ewolucji wszechświata. W projekcie będziemy analizować własności macierzy odpowiadających za kwantowe efekty mieszania neutrin prowadzących do ich oscylacji (zmianie prawdopodobieństwa odkrycia danego zapachu wraz z odległością na które neutrino propaguje), obserwowane między innymi w Słońcu oraz atmosferze ziemskiej. Istnienie dodatkowych stanów neutrinowych powinno objawić się odchyleniem od tzw. unitarności macierzy mieszania neutrin, wyznaczonej eksperymentalnie. Grupa rozwinęła oryginalne podejście do analizy mieszania neutrin oparte o zaawansowane własności teorii macierzy, które już pozwoliło poprawić oszacowania na modele w których pojawia się jeden dodatkowy rodzaj neutrin. Praca na ten temat została opublikowana w 2020 roku w czasopiśmie *Journal of High Energy Physics*, [https://doi.org/10.1007/JHEP03\(2020\)169](https://doi.org/10.1007/JHEP03(2020)169).

W grancie będziemy badać możliwy kwantowy efekt mieszania neutrin prowadzący do ich oscylacji czyli zamiany jednego stanu neutrina w inny oraz czy mieszania te zawierają elementy zespolone, co prowadzi do efektów łamania symetrii parzystości „P” (lustrzanej) i ładunkowej „C” (asymetria oddziaływań cząstek i antycząstek) w modelach z jednym, dwoma i trzema dodatkowymi neutrinami. Będziemy badać jak fazy zespolone macierzy neutrinowych oraz odpowiadające im nowe stany neutrinowe można wykryć w planowanych procesach rzadkich łamiących liczbę leptonową (na przykład rozpad mionu do elektronu z emisją fotonu), czy też akceleratorach wysokich energii (CLIC, FCC, ILC, CEPC).

Będziemy również dociekać jaki jest mechanizm prowadzący do tego iż masy neutrin są tak znikomo małe. Jednym z możliwych, atrakcyjnych mechanizmów jest tzw. mechanizm huśtawki, w którym neutrina oddziałują z polami Higgsa. My szczególnie jesteśmy zainteresowani scenariuszami w których istnieją podwójnie naładowane cząstki Higgsa. Będziemy badać ich sprzężenia z neutrinami oraz możliwość ich bezpośredniej produkcji i eksperymentalnej weryfikacji w akceleratorach wysokich energii.

Badania nasze określają możliwe formy pełnych macierzy mieszania neutrin, zawierających znane trzy stany neutrinowe jak i dodatkowe jeszcze nie odkryte cząstki neutralne. Określimy dla tych macierzy możliwy stopień łamania symetrii CP, czy też tzw. symetrii rodzinnej. Bazując na uzyskanych strukturach macierzy mieszania oraz uzyskanych ograniczeniach na niestandardowe mieszania neutrin, określimy prawdopodobieństwa wykrycia nowych stanów neutrinowych czy też cząstek Higgsa związanych z mechanizmem generacji mas neutrin w procesach nisko i wysokoenergetycznych. Wprowadzimy do fizyki neutrin nowe metody analizy analitycznej i numerycznej związanej z algebrą macierzy oraz teorią kwaternionów (uogólnienie liczb zespolonych).

Zaangażowanie w ten międzynarodowy projekt magistrantów, doktorantów i postdoków będzie miała ogromne znaczenie dla rozwoju naukowego młodej kadry, zwiększy ich kreatywność i podniesie poziom badań podstawowych na Uniwersytecie Śląskim. Dr Patrick Janot (CERN) i prof. Alain Blondel (U. Genewski), Szwajcaria, są światowej klasy ekspertami fizyki oddziaływań elektroślabych i fizyki neutrin w akceleratorach e^+e^- . Prof. Joydeep Chakraborty i dr Tripurari Srivastava z ośrodków naukowych w Indiach są ekspertami w badaniach fenomenologicznych niestandardowych efektów oddziaływań elementarnych.