Warszawa, 22.04.2026

Załącznik nr 3

AUTOREFERAT

(w języku polskim)

---

dr Magdalena Posiadała-Zezula



Spis treści

1 Dane osobowe **3**

2 Posiadane dyplomy, stopnie naukowe **3**

3 Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych **4**

4 Omówienie osiągnięć naukowych będących podstawą wystąpienia **5**

Bibliografia **10**

5 Informacje o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej, w szczególności zagranicznej **13**

6 Informacja o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę **16**

7 Inne informacje dotyczące mojej kariery zawodowej **19**

ROZDZIAŁ 1

Dane osobowe

Imię i nazwisko Magdalena Posiadała-Zezula (nazwisko panieńskie *Posiadała*)
Data i miejsce urodzenia: 27.04.1981, Przemyśl (Polska)
mężatka, dwoje dzieci

ROZDZIAŁ 2

Posiadane dyplomy, stopnie naukowe

- stopień doktora nauk fizycznych w zakresie fizyki nadany uchwałą Rady Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego z dnia 14 maja 2012 roku za pracę pt. **„Measurements of Hadronic Cross Section for Precise Determination of Neutrino Beam Properties in the T2K Oscillation Experiment"**, przygotowaną pod kierunkiem prof. dr hab. Danuty Kiełczewskiej.
- tytuł zawodowy magistra uzyskany w czerwcu 2005 roku na podstawie ukończenia studiów magisterskich na kierunku fizyka, specjalność: cząstki elementarne i oddziaływania fundamentalne, na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego. Tytuł pracy magisterskiej: *„Rekonstrukcja kierunku neutrin z supernowej w detektorze ICARUS"*.

ROZDZIAŁ 3

Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych

- Od lutego 2013 adiunkt na Wydziale Fizyki, Uniwersytetu Warszawskiego, w Zakładzie Cząstek i Oddziaływań Fundamentalnych, zatrudniona na umowach na czas określony od 15 lutego 2013. Od 1 października 2018 na umowa na czas nieokreślony.
- Od 1 października 2010 do 14 lutego 2013 specjalista inżynieryjno-techniczny na Wydziale Fizyki, Uniwersytetu Warszawskiego, w Zakładzie Cząstek i Oddziaływań Fundamentalnych.
- Urlopy:
  - 2017-2018 urlop macierzyński i rodzicielski, łącznie 10 miesięcy.
  - 2021 urlop macierzyński i rodzicielski, łącznie 8 miesięcy.

ROZDZIAŁ 4

Omówienie osiągnięć naukowych będących podstawą wystąpienia

Jako osiągniecie naukowe na podstawie Art. 219 ust. 1 pkt 2 z dnia 20 lipca 2018 r. o Prawie o szkolnictwie wyższym i nauce, wskazuję monografię zatytułowaną:

The Super-Kamiokande detector and its contributions to neutrino oscillation searches in the GeV energy range.

wydaną w języku angielskim nakładem Wydawnictwa Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa 2026, **ISBN 978-83-235-7184-1**, której jestem jedynym autorem.

Badania nad neutrinami, należącymi do najbardziej nieuchwytnych cząstek występujących w przyrodzie, odegrały kluczową rolę w rozwoju Modelu Standardowego fizyki cząstek elementarnych, a zarazem dostarczyły istotnych przesłanek wskazujących na istnienie zjawisk wykraczających poza jego ramy. W tym kontekście detektor Super-Kamiokande (SK), działający pod patronatem **Institute for Cosmic Ray Research (ICRR), University of Tokyo** w Japonii, od wielu lat zajmuje kluczowe miejsce w światowych badaniach neutrin. To właśnie z wykorzystaniem tego detektora dokonano odkrycia oscylacji neutrin atmosferycznych, co stanowiło bezpośredni dowód na to, że neutrina posiadają niezerową masę [1]. Za odkrycie oscylacji neutrin Nagrodą Nobla w dziedzinie fizyki w 2015 roku zostali uhonorowani Takaaki Kajita z eksperymentu Super-Kamiokande oraz Arthur B. McDonald, kierujący współpracą Sudbury Neutrino Observatory (SNO) [2].

Niniejsza monografia poświęcona jest badaniom oscylacji neutrin w zakresie energii rzędu GeV, prowadzonym z wykorzystaniem dwóch komplementarnych klas źródeł tych cząstek, obserwowanych za pomocą detektora Super-Kamiokande (SK): neutrin atmosferycznych, powstających naturalnie w atmosferze Ziemi, oraz neutrin akceleratorowych, wytwarzanych w kontrolowanej wiązce w laboratorium J-PARC na potrzeby eksperymentu Tokai-to-Kamioka (T2K).

Przedstawione osiągnięcie naukowe stanowi rezultat wieloletniej, konsekwentnie rozwijanej przeze mnie działalności badawczej w obszarze eksperymentalnej fizyki neutrin. Jego przedmiotowy zakres obejmuje zagadnienia centralne dla współczesnych badań oscylacji neutrin, takie jak: przygotowanie i kontrola jakości danych eksperymentalnych, modelowa-

nie odpowiedzi detektora, wyznaczanie niepewności systematycznych oraz interpretację wyników w ramach analiz oscylacyjnych. W tym sensie monografia nie jest wyłącznie opracowaniem wybranego zagadnienia naukowego, lecz odzwierciedla także rozwój mojego własnego programu badawczego oraz stopniowe budowanie samodzielnej pozycji naukowej w międzynarodowym środowisku badaczy neutrin.

Moja kariera naukowa w tej dziedzinie rozwijała się w ramach najważniejszych międzynarodowych eksperymentów neutrinowych. Od 2006 roku jestem członkiem współpracy T2K, w latach 2008–2024 byłam zaangażowana w eksperyment NA61/SHINE, a od 2019 roku uczestniczę również w pracach współprac Super-Kamiokande oraz Hyper-Kamiokande. Początkowy etap mojej działalności koncentrował się na pomiarach produkcji hadronów wykorzystywanych do przewidywania strumienia wiązki neutrinowej dla eksperymentu T2K. W kolejnych latach głównym obszarem mojej aktywności stały się analizy oscylacji neutrin w zakresie energii rzędu GeV, prowadzone z wykorzystaniem danych pochodzących z detektora Super-Kamiokande, zarówno dla neutrin atmosferycznych, jak i akceleratorowych.

Na obecnym etapie mojej działalności naukowej istotną rolę odgrywa nie tylko mój bezpośredni wkład w analizy naukowe, ale również wkład pracujących w moim zespole doktorantów i adiunktów naukowych, a także pełnienie funkcji związanych z odpowiedzialnością ekspercką i koordynacyjną. W ramach współpracy Super-Kamiokande pełnię funkcję przedstawiciela Polski oraz koordynatora działalności Polskiej Grupy Neutrinowej; uczestniczę również w pracach: grupy kalibracyjnej oraz grupy analiz neutrin atmosferycznych i rozpadu protonu. W eksperymencie T2K w latach 2018–2024, a więc przez sześć lat, byłam członkiem komitetu publikacyjnego całego projektu *Publication Board*, a w latach 2022–2024 pełniłam funkcję zastępcy przewodniczącego tego gremium, o czym szerzej pisze w Rozdziale 7.

Istotnym potwierdzeniem mojej samodzielności naukowej jest także utworzenie i rozwijanie własnej grupy badawczej, której działalność pozostaje bezpośrednio związana z tematyką przedstawioną w monografii. Pod moim kierunkiem członkowie zespołu uczestniczą w kalibracji detektora Super-Kamiokande, przygotowaniu danych wejściowych do analiz oscylacyjnych T2K oraz rozwoju narzędzi rekonstrukcyjnych i symulacyjnych wykorzystywanych w nowych okresach pracy detektora SK. Członkowie mojej grupy regularnie jeżdżą do Japonii, co jest możliwe dzięki funduszom zgromadzonym w licznych grantach naukowych realizowanych zarówno bezpośrednio na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego, jak i w ramach krajowych oraz międzynarodowych konsorcjów. W grantach tych pełnię funkcję kierownika po stronie Uniwersytetu Warszawskiego, natomiast na poziomie całych konsorcjów projekty mają odrębnych liderów. Podczas tych pobytów członkowie mojego zespołu uczestniczą w dyżurach związanych z kontrolą pracy detektora Super-Kamiokande, biorą udział w zebraniach obu współprac, T2K i SK, oraz w pracach nad analizą danych, realizowanych wspólnie z zespołami z innych europejskich i japońskich ośrodków badawczych. Osiągnięcie przedstawione w monografii należy zatem rozumieć jako efekt nie tylko mojego indywidualnego wkładu badawczego, lecz również konsekwentnie budowanego przeze mnie środowiska naukowego, zdolnego do podejmowania odpowiedzialnych zadań w ramach międzynarodowych eksperymentów fizyki neutrin.

Pierwszy rozdział monografii wprowadza nas do świata neutrin, wyróżniających się

wyjątkowo słabym oddziaływaniem z materią, co czyni je jednymi z najbardziej nieuchwytnych cząstek elementarnych. Szczególne miejsce w tym rozdziale zajmuje omówienie zjawiska oscylacji neutrin, wynikającego z faktu, że stany własne zapachu neutrin nie są tożsame ze stanami własnymi masy. Mieszanie między tymi stanami opisywane jest przez macierz Pontecorvo–Maki–Nakagawa–Sakata (PMNS) [3, 4]. Obserwacja tego, z natury kwantowo-mechanicznego efektu, stanowi przekonujący dowód na niezerowe masy neutrin oraz mieszanie zapachów tych leptonów, a tym samym należy do najważniejszych odkryć współczesnej fizyki cząstek elementarnych.

W prezentacji eksperymentalnych podstaw fizyki oscylacji neutrin omawiam osobno poszczególne sektory przestrzeni parametrów oscylacyjnych, charakteryzowane przez różnice kwadratów mas $\Delta m^2 ij$ oraz kąty mieszania θij, gdzie $ij = 12, 13, 23$. Parametry te opisują mieszanie między stanami masowymi neutrin, którego konsekwencją są obserwowane przejścia między stanami zapachowymi ν_e, ν_μ i ν_τ. W praktyce sektor 12 dominuje w oscylacjach neutrin słonecznych, sektor 23 w oscylacjach neutrin atmosferycznych i akceleratorowych, natomiast sektor 13 odgrywa kluczową rolę w oscylacjach badanych w eksperymentach reaktorowych. Odpowiadające im eksperymenty przedstawiam w porządku historycznym, rozpoczynając od najwcześniejszych obserwacji. Najpierw omawiam sektor 12, tradycyjnie nazywany sektorem słonecznym [5, 6, 7, 8, 9, 10]. Następnie przechodzę do sektora 23, związanego z oscylacjami neutrin atmosferycznych [1, 11, 12] i akceleratorowych [13, 14, 15]. Na końcu omawiam sektor 13, którego własności zostały wyznaczone przede wszystkim w eksperymentach z neutrinami reaktorowymi [16, 17].

W drugim rozdziale omawiam detektor Super-Kamiokande (SK) [18] oraz infrastrukturę wykorzystywaną w eksperymencie Tokai-to-Kamioka (T2K) [19], w którym stosuje się zarówno detektory bliskie, umieszczone w pobliżu źródła wiązki neutrin, jak i detektor daleki SK, zlokalizowany 295 km od miejsca wytworzenia wiązki neutrinowej. SK jest cylindrycznym wodnym detektorem Czerenkowa o masie 50 kiloton, zlokalizowanym w kopalni Kamioka w prefekturze Gifu w Japonii. Od początku działania w 1996 roku odgrywa on centralną rolę w fizyce neutrin jako wielozadaniowe obserwatorium neutrin atmosferycznych, słonecznych i akceleratorowych, a także w poszukiwaniach astrofizycznych źródeł neutrin oraz rozpadu protonu. Detektor ten, rozwijany i wykorzystywany przez dużą międzynarodową współpracę, odegrał kluczową rolę w rozwoju fizyki neutrin, przyczyniając się do szeregu przełomowych osiągnięć, w tym do odkrycia, wspomnianych już, oscylacji neutrin atmosferycznych [1], potwierdzenia oscylacji neutrin słonecznych [7] oraz obserwacji pojawiania się neutrin elektronowych w akceleratorowej wiązce neutrin mionowych T2K [13, 14]. W tym rozdziale omawiam również mój wkład oraz wkład członków mojego zespołu w kalibrację detektora SK [20, 21]. W szczególności przeprowadziłam badania odbicia światła na powierzchni fotokatody fotopowielacza (PMT), wykorzystując te same dane laserowe, które służyły do wyznaczania parametrów jakości wody. W modelu kalibracyjnym uwzględnia się cztery warstwy materiałowe: wodę, szkło, bialkali oraz próżnię, z których każda charakteryzuje się odpowiednim współczynnikiem załamania. Współczynnik załamania szkła parametryzowany jest jako funkcja długości fali lasera, natomiast fotokatoda bialkaliczna opisywana jest za pomocą zespolonego współczynnika załamania, którego część rzeczywista i urojona wyznaczane są w procedurze kalibracyjnej. Przedstawiam tu również kalibrację dotyczącą odczytu czasu i ładunku z wewnętrznych

fotopowielaczy w SK, w której uczestniczą członkowie mojej grupy naukowej.

W odniesieniu do eksperymentu T2K omawiam również zalety poza-osiowej konfiguracji wiązki neutrin w porównaniu z konwencjonalnym podejściem na osi wiązki. Następnie przedstawiam przewidywania strumieni neutrin T2K dla detektora dalekiego, uzyskane przy użyciu narzędzia symulacji Monte Carlo stanowiącego integralną część środowiska programowego T2K [22]. Na końcu omawiam historię pomiarów produkcji hadronów mierzonych przez eksperyment NA61/SHINE w CERN'ie na potrzeby T2K, ze szczególnym uwzględnieniem danych z cienkiej tarczy. W tym kontekście przedstawiam także mój wkład w analizę oraz zastosowanie danych NA61/SHINE z cienkiej tarczy przygotowanych dla T2K [23, 24].

W kolejnym rozdziale przedstawiam mój wkład w analizę oscylacji neutrin atmosferycznych opartą na danych zebranych za pomocą detektora SK w ciągu 6511.3 dni pracy, co odpowiada całkowitej ekspozycji 484.2 kTy (ang. kiloton years) [25]. Moja aktywność w tej analizie koncentrowała się przede wszystkim na rozszerzeniu obszaru objętości czynnej detektora SK dla zdarzeń w pełni zawartych w jego wewnętrznej części (ang. Fully Contained events, FC) oraz na ocenie niepewności systematycznych związanych z rekonstrukcją liczby pierścieni Czerenkowa, identyfikacją cząstek naładowanych, przede wszystkim elektronów i mionów, a także rekonstrukcją pionów neutralnych (π^0). Piony neutralne, rozpadając się na dwa fotony, mogą wytwarzać w SK sygnał podobny do obserwowanego w oddziaływaniach neutrin elektronowych, dlatego ocena ich wkładu ma kluczowe znaczenie dla wiarygodności i precyzji analizy oscylacji neutrin.

Analiza ta stanowi pierwsze badanie oscylacji neutrin atmosferycznych w SK, w którym uwzględniono zdarzenia FC pochodzące z rozszerzonego obszaru objętości czynnej detektora, nad którego zastosowaniem pracowałam. Całkowita objętość czynna detektora SK wykorzystana w tej analizie wynosi 27.2 kiloton dla wszystkich okresów zbierania danych, w porównaniu z 22.5 kiloton w poprzedniej analizie [26]. W konsekwencji całkowita ekspozycja dla zdarzeń zawartych w SK osiąga w obecnej analizie 484.2 kTy, co oznacza wzrost o 48 % względem wcześniej opublikowanego wyniku [26]. Było to możliwe dzięki dwóm efektom: dodaniu nowych danych oddziaływań neutrin atmosferycznych z okresu zbierania ich w SK (lata 2019-2020) oraz powiększeniu objętości czynnej tego detektora dla wszystkich analizowanych danych. W rozdziale omawiam wyniki tej analizy, obejmujące pomiar parametrów oscylacyjnych neutrin: $\sin^2\theta_{23}$, Δm^2_{32} oraz δ_{CP}, a także analizę hierarchii mas neutrin. Dane neutrin atmosferycznych były gromadzone przez SK w latach 1996–2020, w okresach, w których detektor wypełniony był czystą wodą, będącą tarczą dla oddziaływań neutrin. Rozdział rozpoczyna się omówieniem strumieni i oscylacji neutrin atmosferycznych w SK, następnie przedstawia metodologię analizy, a kończy się prezentacją głównych wyników. Analiza dostarcza pomiarów parametrów oscylacyjnych Δm^2_{32}, $\sin^2\theta_{23}$, $\sin^2\theta_{13}$ oraz δ_{CP}, a po uwzględnieniu ograniczenia reaktorowego na $\sin^2\theta_{13}$ wskazuje na preferencję dla normalnej hierarchii mas neutrin na poziomie 92.3% [25]. Wyniki te prezentowałam, w imieniu współpracy Super-Kamiokande, na prestiżowej konferencji **NEUTRINO 2024**, która odbyła się w Mediolanie we Włoszech; szerzej piszę o tym w załączniku 4. Konferencja ta gromadzi czołowych specjalistów z zakresu fizyki neutrin z całego świata, a wszystkie prezentacje mają charakter plenarny i są wygłaszane wyłącznie na zaproszenie organizatorów.

Rozdział czwarty monografii poświęcony jest badaniom oscylacji z wykorzystaniem neutrin akceleratorowych w eksperymencie T2K z długą bazą, w którym stosuje się zarówno detektory bliskie, umieszczone w pobliżu źródła wiązki neutrin, jak i detektor daleki SK, rejestrujący neutrina po przebyciu długiej drogi od miejsca ich wytworzenia. W rozdziale tym w pierwszej kolejności omawiam moją aktywność w ramach pierwszej wspólnej analizy oscylacyjnej Super-Kamiokande oraz T2K, łączącej dane dotyczące neutrin atmosferycznych zebrane przez SK z danymi neutrin akceleratorowych zarejestrowanych w eksperymencie T2K [27]. Jako jedna z pięciu osób ze współprac T2K i Super-Kamiokande recenzowałam wyniki analiz oscylacyjnych obu eksperymentów, w tym aspekty kluczowe dla spójnego połączenia danych dotyczących neutrin atmosferycznych i akceleratorowych. Ze względu na moje doświadczenie w tej analizie zostałam również powołana do komitetu redakcyjnego odpowiedzialnego za przygotowanie pełnej publikacji przedstawiającej omawiane wyniki, w odróżnieniu od krótszego listu opublikowanego w [27].

Sama analiza oparta jest na 3244.4 dniach danych atmosferycznych SK, zebranych w okresie SK-IV (2008–2018), co odpowiada około 50% statystyki wykorzystanej w analizie opisanej w poprzednim rozdziale [25]. Szczegóły analizy oscylacji neutrin atmosferycznych przedstawiono w [28]. W przypadku neutrin wiązki T2K wykorzystano ekspozycję 19.7 (16.3) $\times 10^{20}$ protonów na tarczę w trybie neutrinowym (antyneutrinowym) [29]. Połączona analiza wykluczyła wartość niezmiennika Jarlskoga odpowiadającą zachowaniu symetrii CP na poziomie 1.9–2.0σ oraz wykazała niewielką preferencję dla normalnej hierarchii mas neutrin. Wyniki te pokazują naukowe znaczenie łączenia próbek neutrin atmosferycznych i akceleratorowych, ponieważ ich komplementarność zwiększa czułość na pozostałe nieznane parametry modelu mieszania neutrin.

Ponadto metodologia opracowana w tej analizie stanowi istotną podstawę dla przyszłych badań eksperymentu Hyper-Kamiokande, który jest obecnie w budowie, i planowany jest jego start na koniec 2028 roku. Wyniki te wskazują, że fizyka neutrin wkroczyła w erę wspólnych analiz oscylacyjnych, w ramach których łączna interpretacja danych z komplementarnych eksperymentów odgrywa coraz większą rolę w wyznaczaniu parametrów oscylacyjnych neutrin [30].

Istotnym wątkiem monografii jest również szersze znaczenie eksperymentalne detektora SK. Dzięki znakomitym możliwościom rekonstrukcji zdarzeń, bardzo niskiemu poziomowi tła oraz długoterminowej stabilności działania SK stał się jednym z najważniejszych detektorów w eksperymentalnej fizyce neutrin. Na szczególne podkreślenie zasługuje fakt, że w 2026 roku przypada 30-lecie rozpoczęcia działania detektora Super-Kamiokande. Doświadczenie zdobyte przy jego budowie, kalibracji oraz programie analiz odegrało kluczową rolę w kształtowaniu eksperymentu nowej generacji Hyper-Kamiokande [31]. Hyper-Kamiokande zapewni znacznie większą objętość czynną, a także lepszą kontrolę niepewności systematycznych, otwierając drogę do istotnie dokładniejszych badań oscylacji neutrin oraz łamania symetrii CP w sektorze leptonowym [32].

Badania wskazują ponadto, że Hyper-Kamiokande będzie dysponował potencjałem do odkrycia łamania symetrii CP w sektorze leptonowym, na poziomie 5σ w ciągu około trzech lat, przy założeniu maksymalnego łamania CP oraz **znanej** hierarchii mas neutrin. Jeżeli dodatkowo uwzględnione zostaną ograniczenia pochodzące z neutrin atmosferycznych uzyskane przez ten sam eksperyment oraz fakt, że chcemy również wyznaczyć hierarchię

mas neutrin, to takie odkrycie mogłoby zostać osiągnięte w ciągu około sześciu lat, poprzez łączną analizę oscylacji neutrin. Perspektywy te ilustrują ciągłość pomiędzy programami fizycznymi SK i Hyper-Kamiokande oraz pokazują, w jaki sposób osiągnięcia naukowe pierwszego z tych eksperymentów bezpośrednio motywują i wspierają cele drugiego [31].

Łącznie badania przedstawione w niniejszej monografii ukazują centralną rolę SK w pogłębianiu naszego rozumienia oscylacji neutrin w zakresie energii rzędu GeV. Pokazują one również, że obecne wyniki oraz przyszłe perspektywy tworzą spójny, długofalowy program badawczy ukierunkowany na wyznaczenie pozostałych nieznanych własności neutrin, w tym hierarchii mas neutrin oraz możliwego łamania symetrii CP w sektorze leptonowym poprzez coraz dokładniejsze poszukiwania fazy δ_{CP}. Od wielu lat eksperyment T2K odgrywa centralną rolę w poszukiwaniach fazy δ_{CP} [33, 34, 35, 36, 37]. Wartość δ_{CP} różna od 0 lub π wskazywałaby na łamanie symetrii CP w sektorze leptonowym, implikując odmienne zachowanie oscylacji neutrin i antyneutrin, a zarazem potencjalnie dostarczając ważnej wskazówki co do pochodzenia asymetrii materia–antymateria we Wszechświecie, której istnienia nie możemy wyjaśnić na chwilę obecną.

Bibliografia

[1] Y. Fukuda et al. Evidence for oscillation of atmospheric neutrinos. *Phys. Rev. Lett.*, 81:1562–1567, Aug 1998.

[2] Nobel Prize Outreach. The nobel prize in physics 2015. `https://www.nobelprize.org/prizes/physics/2015/summary/`, 2026.

[3] Ziro Maki, Masami Nakagawa, and Shoichi Sakata. Remarks on the unified model of elementary particles. *Prog. Theor. Phys.*, 28:870–880, 1962.

[4] B. Pontecorvo. Neutrino experiments and the problem of conservation of leptonic charge. *Zh. Eksp. Teor. Fiz.*, 53:1717–1725, 1967.

[5] John N. Bahcall. Solar models: An historical overview. *Nuclear Physics B - Proceedings Supplements*, 118:77–86, April 2003.

[6] Raymond Davis. Solar Neutrinos. II. Experimental. *Phys. Rev. Lett.*, 12:303–305, Mar 1964.

[7] S. Fukuda et al. Solar ^8B and hep neutrino measurements from 1258 Days of Super-Kamiokande Data. *Phys. Rev. Lett.*, 86:5651–5655, Jun 2001.

[8] S. Fukuda et al. Determination of solar neutrino oscillation parameters using 1496 days of Super-Kamiokande-I data. *Phys. Lett. B*, 539(3):179–187, 2002.

[9] B. Aharmim et al. Electron energy spectra, fluxes, and day-night asymmetries of ^{8}B solar neutrinos from measurements with NaCl dissolved in the heavy-water detector at the Sudbury Neutrino Observatory. *Phys. Rev. C*, 72:055502, Nov 2005.

[10] B. Aharmim et al. Low-energy-threshold analysis of the Phase I and Phase II data sets of the Sudbury Neutrino Observatory. *Phys. Rev. C*, 81:055504, May 2010.

[11] M. Jiang et al. Atmospheric Neutrino Oscillation Analysis with Improved Event Reconstruction in Super-Kamiokande IV. *PTEP*, 2019(5):053F01, 2019.

[12] Z. Li et al. Measurement of the tau neutrino cross section in atmospheric neutrino oscillations with Super-Kamiokande. *Phys. Rev. D*, 98:052006, Sep 2018.

[13] K. Abe et al. Indication of electron neutrino appearance from an accelerator-produced off-axis muon neutrino beam. *Phys. Rev. Lett.*, 107:041801, 2011.

[14] K. Abe et al. Observation of electron neutrino appearance in a muon neutrino beam. *Phys. Rev. Lett.*, 112:061802, 2014.

[15] K. Abe et al. Updated T2K measurements of muon neutrino and antineutrino disappearance using 3.6×1021 protons on target. *Phys. Rev. D*, 108(7):072011, 2023.

[16] J. K. Ahn et al. Observation of reactor electron antineutrino disappearance in the RENO experiment. *Phys. Rev. Lett.*, 108:191802, 2012.

[17] F. P. An et al. Observation of electron-antineutrino disappearance at Daya Bay. *Phys. Rev. Lett.*, 108:171803, 2012.

[18] Y. Fukuda et al. The Super-Kamiokande detector. *Nucl. Instr. Meth. A*, 501:418–462, 2003.

[19] K. Abe et al. The T2K experiment. *Nucl. Instr. Meth. A*, 659:106–135, 2011.

[20] S. Fukuda et al. The Super-Kamiokande detector. *Nucl. Instr. Meth. A*, 501(2):418–462, 2003.

[21] K. Abe et al. Calibration of the Super-Kamiokande detector. *Nucl. Instr. Meth. A*, 737:253–272, 2014.

[22] K. Abe et al. T2K neutrino flux prediction. *Phys. Rev. D*, 87:012001, 2013.

[23] N. Abgrall et al. Measurements of cross sections and charged pion spectra in proton-carbon interactions at 31 GeV/c. *Phys. Rev. C*, 84:034604, Sep 2011.

[24] N. Abgrall et al. Measurements of $\pi^{\pm}$, $K^{\pm}$, K^0_S , Λ and proton production in proton–carbon interactions at 31 GeV/c with the NA61/SHINE spectrometer at the CERN SPS. *Eur. Phys. J. C*, 76(2):84, 2016.

[25] T. Wester et al. Atmospheric neutrino oscillation analysis with neutron tagging and an expanded fiducial volume in super-kamiokande i–v. *Phys. Rev. D*, 109(7), April 2024.

[26] K. Abe et al. Atmospheric neutrino oscillation analysis with external constraints in Super-Kamiokande I-IV. *Phys. Rev. D*, 97:072001, Apr 2018.

[27] K. Abe et al. First joint oscillation analysis of Super-Kamiokande atmospheric and T2K accelerator neutrino data. *Phys. Rev. Lett.*, 134:011801, Jan 2025.

[28] M Jiang et al. Atmospheric neutrino oscillation analysis with improved event reconstruction in super-kamiokande iv. *Prog. Theor. Exp. Phys.*, 2019(5):053F01, 05 2019.

[29] K. Abe et al. Measurements of neutrino oscillation parameters from the T2K experiment using 3.6×10^{21} protons on target. *Eur. Phys. J. C*, 83(9):782, 2023.

[30] Abe. A et al. Joint neutrino oscillation analysis from the T2K and NOvA experiments. *Nature*, 646:818–824, 2025.

[31] K. Abe et al. Physics potential of a long-baseline neutrino oscillation experiment using a J-PARC neutrino beam and Hyper-Kamiokande. *Prog. Theor. Exp. Phys.*, 2015(5):053C02, 05 2015.

[32] K. Abe et al. Sensitivity of the hyper-kamiokande experiment to neutrino oscillation parameters using accelerator neutrinos, 2025. arXiv:2505.15019 [hep-ex].

[33] K. Abe et al. Combined analysis of neutrino and antineutrino oscillations at T2K. *Phys. Rev. Lett.*, 118(15):151801, 2017.

[34] K. Abe et al. Updated T2K measurements of muon neutrino and antineutrino disappearance using $1.5{\times}10^{21}$ protons on target. *Phys. Rev. D*, 96(1):011102, 2017.

[35] K. Abe et al. Search for CP violation in neutrino and antineutrino oscillations by the T2K experiment with 2.2×10^{21} Protons on Target. *Phys. Rev. Lett.*, 121(17):171802, 2018.

[36] K. Abe et al. Search for electron antineutrino appearance in a long-baseline muon antineutrino beam. *Phys. Rev. Lett.*, 124(16):161802, 2020.

[37] K. Abe et al. Constraint on the matter–antimatter symmetry-violating phase in neutrino oscillations. *Nature*, 580(7803):339–344, 2020. [Erratum: Nature 583, E16 (2020)].

[38] K. Abe et al. Measurement of neutrino and antineutrino oscillations by the T2K experiment including a new additional sample of ν_e interactions at the far detector. *Phys. Rev. D*, 96(9):092006, 2017. [Erratum: Phys.Rev.D 98, 019902 (2018)].

[39] K. Abe et al. Improved constraints on neutrino mixing from the T2K experiment with $\mathbf{3.13 \times 10^{21}}$ protons on target. *Phys. Rev. D*, 103(11):112008, 2021.

[40] K. Abe et al. Results from the T2K Experiment on neutrino mixing including a new far detector μ-like sample. *Phys. Rev. Lett.*, 135:261801, Dec 2025.

ROZDZIAŁ 5

Informacje o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej, w szczególności zagranicznej

Od 2004 roku należę do Polskiej Grupy Neutrinowej, założonej przez prof. dr hab. Agnieszkę Zalewską z Instytutu Fizyki Jądrowej PAN (IFJ) i prof. dr hab. Danutę Kiełczewską z Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego. Grupa ta stworzyła ważne środowisko naukowe dla rozwoju fizyki neutrin w Polsce. Skupia ona badaczy z IFJ PAN, Uniwersytetu Warszawskiego, Narodowego Centrum Badań Jądrowych (NCBJ), Uniwersytetu Śląskiego, Uniwersytetu Wrocławskiego oraz Politechniki Warszawskiej.

Istotna część mojej działalności naukowej była realizowana w środowisku międzynarodowym, budowanym przez wiele instytucji, poprzez udział w kilku eksperymentach z zakresu fizyki cząstek elementarnych: Tokai-to-Kamioka (T2K) (od 2006 roku), NA61/SHINE (2008–2024), Super-Kamiokande (od 2019 roku) oraz Hyper-Kamiokande (od 2019 roku). Poniżej przedstawiam wybrane przykłady takiej aktywności:

- Aktywnie uczestniczę w pracach współprac: SK oraz T2K. Istotnym elementem mojej działalności w ramach współpracy SK jest udział w grupie kalibracji detektora SK z naukowcami: z **Institute for Cosmic Ray Research (ICRR), University of Tokyo** (prof. Hida Tanaka), **Chonnam National University** (dr Byeongsu Yang) oraz z Uniwersytetu Śląskiego (dr Lakshmi S. Mohan). Ponadto wraz z moim zespołem badawczym prowadzę ścisłą współpracę z naukowcami z **Kyoto University**, w szczególności z prof. Rogerem Wendellem i jego zespołem, w zakresie badań oscylacji neutrin atmosferycznych w SK oraz badań oscylacji neutrin akceleratorowych w T2K. Dzięki wspólnym działaniom tych instytucji Polska Grupa Neutrinowa stworzyła silne podstawy uczestnictwa w najważniejszych międzynarodowych eksperymentach, takich jak T2K oraz SK. Planujemy wykorzystywać zdobyte doświadczenia w przyszłym neutrinowym projekcie Hyper-Kamiokande, który ma rozpocząć okres zbierania danych oddziaływań neutrin w 2028 roku i ma kontynuować pracę przez kolejne 25 lat. Zatem kluczowe jest już kształcenie młodych badaczy, którzy będą bardzo potrzebni w projekcie Hyper-Kamiokande.

- W ramach projektu Unii Europejskiej **From Super-Kamiokande to Hyper-Kamiokande** (**SK2HK**), finansowanego w konkursie **H2020-MSCA-RISE-2019**, reprezentowałam Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego (FUW) jako osoba odpowiedzialna za realizację projektu na FUW, a także uczestniczyłam w rozwijaniu

aktywności Uniwersytetu Warszawskiego w ramach tego konsorcjum. Grant był realizowany w okresie od 1 listopada 2019 roku do 28 lutego 2026 roku.

Mój wkład w tematykę analiz fizycznych prowadzonych w ramach tego grantu koncentrował się na zagadnieniach oscylacji neutrin, zarówno atmosferycznych, badanych w eksperymencie Super-Kamiokande we współpracy z prof. Wendellem (Kyoto University), jak i akceleratorowych, analizowanych w eksperymencie T2K, w szczególności w ramach prac grupy prowadzącej łączną analizę oscylacji neutrin T2K+SK.

W ramach tego projektu rozwinęłam współpracę naukową z prof. Luisem Labargą, koordynatorem projektu na **Universidad Autónoma de Madrid**, oraz z jego zespołem, a także z dr Olivierem Drapierem i zespołem **Laboratoire Leprince-Ringuet w École Polytechnique w Palaiseau**, w tym z dr Benjaminem Quilainem. Współpraca ta umożliwiła mi wymianę doświadczeń z czołowymi zespołami zaangażowanymi w eksperymenty T2K, Super-Kamiokande oraz Hyper-Kamiokande, a także przyczyniła się do budowania długofalowych relacji naukowych pomiędzy Uniwersytetem Warszawskim a kluczowymi europejskimi instytucjami partnerskimi.

- Ważnym elementem mojej działalności naukowej w ostatnich latach jest współpraca z grupą neutrinową w NCBJ. W szczególności, w ramach grantów Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego pt. *Wsparcie udziału polskich zespołów naukowych w międzynarodowych projektach infrastruktury badawczej*: **"Experyment T2K (Tokai to Kamioka)"** oraz **"Hyper-Kamiokande"**, rozwinęłam bliską współpracę z dr hab. Justyną Łagodą oraz prof. dr hab. Ewą Rondio. Współpraca nasza pomiędzy Wydziałem Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego a NCBJ dotyczy badania oscylacji neutrin w eksperymencie T2K oraz Super-Kamiokande. Przyczyniła się ona również do integracji warszawskiego środowiska neutrinowego oraz wspierała rozwój wspólnej działalności naukowej w szerszym krajowym i międzynarodowym kontekście badawczym. Obejmowała także ścisłą współpracę przy opiece nad pracami magisterskimi realizowanymi wspólnie z grupą NCBJ i opartymi na programie naukowym T2K, przyczyniając się tym samym do kształcenia młodych badaczy oraz do rozwoju spójnego warszawskiego środowiska fizyki neutrin.

- W ciągu ostatnich lat jednym z moich ważnych osiągnięć naukowych było utworzenie grupy neutrinowej na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego, o czym szerzej piszę w Rozdziale 7, a następnie doprowadzenie, dzięki aktywnej pracy jej członków, do uzyskania przez tę grupę rozpoznawalności zarówno we współpracy Super-Kamiokande, jak i T2K.

Doświadczenie naukowe zdobyte za granicą

Po uzyskaniu stopnia doktora prowadziłam prace badawcze podczas licznych pobytów w wiodących międzynarodowych ośrodkach naukowych. Pobyty te były bezpośrednio związane z moją działalnością naukową w eksperymentach SK, T2K oraz NA61/SHINE i obejmowały zarówno prace związane z funkcjonowaniem detektorów, jak i analizy danych.

- **Kamioka Observatory, Mozumi, Japonia**. Podczas pobytów w Mozumi zapoznałam się z operacyjną kontrolą detektora SK oraz odbyłam wymagane szkolenie w kopalni Kamioka, w której detektor jest zlokalizowany. Pracowałam również z grupą zajmującą się kalibracją detektora SK. Łączny czas tych pobytów wyniósł trzy tygodnie: dwa tygodnie w lutym 2019 roku, krótko po ponownym napełnieniu SK wodą po modernizacji, oraz jeden tydzień w kwietniu 2019 roku.

- **Kompleks akceleratorowy J-PARC, Tokai, Japonia**. Byłam odpowiedzialna za kontrolę pracy bliskiego detektora eksperymentu T2K (ND280) w okresach zbierania danych, kiedy protony o energii 30 GeV były kierowane na grafitową tarczę w laboratorium J-PARC. W ciągu pięciu lat, przed rozpoczęciem mojego pierwszego urlopu macierzyńskiego w 2017 roku, odbyłam kilka pobytów badawczych w Tokai, o łącznym czasie trwania około pięciu miesięcy.

- **Eksperyment NA61/SHINE przy akceleratorze SPS w CERN, Szwajcaria**. Byłam odpowiedzialna za nadzór nad pracą detekta NA61/SHINE w okresach zbierania danych. W ciągu pięciu lat, przed rozpoczęciem urlopu macierzyńskiego w 2017 roku, odbyłam kilka pobytów badawczych w CERN, o łącznym czasie trwania około pięciu miesięcy.

- **Kompleks akceleratorowy J-PARC, Tokai, Japonia**. Brałam udział w testach prowadzonych w celu monitorowania działania rogów magnetycznych, które stanowią kluczowe elementy stacji tarczy eksperymentu T2K. Rogi magnetyczne ogniskują naładowane piony i kaony, których rozpady prowadzą do powstawania neutrin. Podczas tego pobytu miałam możliwość zapoznania się z zasadą działania tych urządzeń oraz konstrukcją stacji tarczy. Moim zadaniem było pełnienie dyżurów podczas testów pracy rogów magnetycznych oraz sprawdzanie ewentualnych wycieków wody z systemu ich chłodzenia. Ponieważ te układy magnetyczne pracują przy natężeniu prądu wynoszącym 250 kA, wymagają regularnego chłodzenia podczas ich pracy. Pobyt ten odbył się w okresie od listopada do grudnia 2008 roku.

ROZDZIAŁ 6

Informacja o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę

Moja działalność dydaktyczna obejmowała następujące zajęcia i wykłady na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego:

- **(semestr zimowy 2025/2026, 2024/2025 i 2023/2024)**
  - (1100-1AF14) 60 godz., **„Fizyka I (Mechanika)”** – ćwiczenia w języku polskim;
  - (1100-3002) 30 godz., **„Wstęp do fizyki subatomowej I”** – ćwiczenia w języku polskim;
  - (1101-5FJ17) 22.5 godz., **„Proseminarium fizyki jądra atomowego i cząstek elementarnych B2+”** – proseminarium w języku angielskim;
  - (1100-4MEPP) 6 godz., **„Modern Experimental Particle Physics I”** – wykład w języku angielskim;
- **(semestr zimowy 2023/2024 i 2024/2025)**
  - (1100-1F11) 15 godz., **„Technologie informacyjno-komunikacyjne”** – wykład w języku polskim;
- **(semestr letni 2025 i 2024)**
  - (1100-1AF24) 60 godz., **„Fizyka II (Elektryczność i magnetyzm)”** – ćwiczenia w języku polskim;
  - (1100-4MEPP2) 3 godz., **„Modern Experimental Particle Physics II”** – wykład w języku angielskim;
- **(semestr letni 2025)**
  - (1700-SZD-RNZI) 30 godz., **„SDNSP - Rozwój naukowy – zajęcia indywidualne z promotorem (warsztat naukowca)”** – warsztaty w języku polskim i angielskim;

W grudniu 2024 roku otrzymałam **Wyróżnienie Dydaktyczne**, przyznane przez studentów Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego, w uznaniu za prowadzenie zajęć w ramach kursu **„Fizyka II (Elektryczność i magnetyzm)”**.

6.0.1 Opieka nad doktorantami oraz promotorstwo prac magisterskich i licencjackich realizowanych na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego

1. Mariusz Girguś – rozprawa doktorska pt. "Atmospheric neutrino oscillation analysis in the Super-Kamiokande experiment" – w toku; stypendium finansowane z mojego projektu SONATA BIS; promotor pomocniczy.

2. Prithivraj Govindaraj – rozprawa doktorska pt. "Advanced neutrino oscillation analysis in the T2K experiment" – w toku; stypendium finansowane z mojego projektu SONATA BIS; promotor pomocniczy.

3. Maitrayee Mandal – była doktorantka w NCBJ, realizująca pracę doktorską pt. "Search for tau neutrinos at the Super-Kamiokande detector"; pod kierownictwem dr hab. Justyny Łagody (NCBJ) oraz moim jako promotor pomocniczy od kwietnia 2022 do stycznia 2024.

4. Wojciech Żurek – praca magisterska pt. "Measurement of stopping protons on prototype of new scintillator detector"; promotorzy: dr Joanna Zalipska (NCBJ) oraz dr Magdalena Posiadała-Zezula; obrona: 23.07.2020.

5. Kamil Skwarczyński – praca magisterska pt. "Detection of antineutrino interactions with outgoing protons in T2K"; promotorzy: dr hab. Justyna Łagoda (NCBJ) oraz dr Magdalena Posiadała-Zezula; obrona: 16.07.2019.

6. Jerzy Mańczak – praca magisterska pt. "Sensitivity study for the Glashow resonance detection at KM3NeT"; promotorzy: dr Piotr Mijakowski (NCBJ) oraz dr Magdalena Posiadała-Zezula; obrona: 17.09.2018.

7. Karolina Rozwadowska – praca magisterska pt. "Search for neutrino interactions on correlated nucleon pairs in the T2K experiment"; promotorzy: dr Joanna Zalipska (NCBJ) oraz dr Magdalena Posiadała-Zezula; obrona: 25.06.2018.

8. Paulina Golak – praca licencjacka pt. "Future long-baseline neutrino oscillation experiments: Hyper-Kamiokande and DUNE"; promotor: dr Magdalena Posiadała-Zezula; obrona: 27.06.2025.

9. Paweł Sajdak – praca licencjacka pt. "How to see the Sun in the Kamioka mine?"; promotor: dr Magdalena Posiadała-Zezula; obrona: 19.09.2024.

10. Maria Kondzielska – praca licencjacka pt. "Atmospheric neutrino oscillations at the Super-Kamiokande detector"; promotor: dr Magdalena Posiadała-Zezula; obrona: 18.07.2024.

11. Wojciech Żurek – praca licencjacka pt. "How are reactor neutrinos produced?"; promotor: dr Magdalena Posiadała-Zezula; obrona: 04.09.2017.

12. Kamil Skwarczyński – praca licencjacka pt. "Why do we use a near detector in neutrino experiments?"; promotorzy: dr hab. Justyna Łagoda (NCBJ) oraz dr Magdalena Posiadała-Zezula; obrona: 24.07.2017.

13. Anna Bugajska – praca licencjacka pt. "Characteristics of the off-axis neutrino beam in the T2K experiment"; promotor: dr Magdalena Posiadała-Zezula; obrona: 02.06.2016.

6.1 Działalność organizacyjna na rzecz instytucji

1. Członek Rady Naukowej Dyscypliny Nauki Fizyczne na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego w latach 2019–2020.

2. Członek Rady Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego w latach 2015–2016.

6.2 Popularyzacja nauki

1. Wykład popularnonaukowy wygłoszony w czerwcu 2016 roku podczas obchodów 200-lecia Uniwersytetu Warszawskiego. Tytuł wykładu: "Neutrina – najbardziej tajemnicze cząstki we Wszechświecie".

2. Wykład naukowy dla nauczycieli fizyki z całej Polski, wygłoszony na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego 18 listopada 2015 roku. Tytuł wykładu: "Nagroda Nobla z fizyki 2015: za odkrycie zjawiska oscylacji neutrin".

3. Udział w audycji "Akademia Nauk" w Radiu TOK FM (10 października 2015 roku, w 2016 roku oraz 11 sierpnia 2016 roku), poświęconej zagadnieniom fizyki neutrin w kontekście Nagrody Nobla z fizyki w 2015 roku.

4. Udział w Festiwalu Nauki poprzez warsztaty "Jak zobaczyć coś niewidzialnego", podczas których uczniowie budowali proste komory mgłowe i obserwowali przechodzące przez nie miony kosmiczne (2014, 2015).

ROZDZIAŁ 7

Inne informacje dotyczące mojej kariery zawodowej

7.1 Udział w międzynarodowych współpracach badawczych, w tym T2K, Super-Kamiokande, Hyper-Kamiokande oraz NA61/SHINE

Załączam **dwa listy rekomendacyjne**: jeden od szefa współpracy Super-Kamiokande, **prof. Hiroyuki Sekiya, Associate Professor w Kamioka Observatory, Institute for Cosmic Ray Research**, oraz drugi od **prof. Kendall Mahn z Michigan State University**, pełniącej funkcję międzynarodowego szefa eksperymentu T2K. Listy te stanowią potwierdzenie mojej działalności naukowej w ramach obu międzynarodowych projektów.

- Od 2006 roku **członek projektu Tokai-to-Kamioka (T2K)**(`https://t2k-experiment.org`). Moja działalność naukowa w ramach współpracy T2K koncentrowała się na analizach oscylacji neutrin, w szczególności w zakresie energii GeV. Udział w tym projekcie umożliwił mi rozwinięcie długofalowej współpracy międzynarodowej z czołowymi grupami badawczymi zajmującymi się fizyką neutrin i odegrał istotną rolę w kształtowaniu mojej kariery naukowej.

- W latach 2008–2024 **członek eksperymentu NA61/SHINE** (`https://shine.web.cern.ch`.) Jako członek współpracy NA61/SHINE w CERN uczestniczyłam w ważnym międzynarodowym programie badawczym z zakresu eksperymentalnej fizyki cząstek. W szczególności wniosłam wkład w pomiary produkcji hadronów wykorzystywane do przewidywań strumienia neutrin w eksperymencie T2K.

- Od 2019 roku **członek eksperymentu Super-Kamiokande (SK)** (`https://www-sk.icrr.u-tokyo.ac.jp/en/sk/`.) Od momentu dołączenia do współpracy Super-Kamiokande aktywnie uczestniczę w badaniach oscylacji neutrin z wykorzystaniem danych dotyczących neutrin atmosferycznych. Współpraca ta ma centralne znaczenie dla mojej obecnej działalności naukowej i stanowi bezpośrednią podstawę osiągnięć badawczych przedstawionych w moim postępowaniu habilitacyjnym. Moja działalność w ramach Super-Kamiokande wzmocniła również moją pozycję w międzynarodowym środowisku fizyki neutrin.

- Od 2019 roku **członek eksperymentu Hyper-Kamiokande (Hyper-K)** (`https://www-sk.icrr.u-tokyo.ac.jp/en/hk/about/outline/`)
  Moje członkostwo we współpracy Hyper-Kamiokande stanowi rozszerzenie mojej międzynarodowej aktywności badawczej w kierunku przyszłych wielkoskalowych eksperymentów neutrinowych. Świadczy ono o ciągłości mojego zaangażowania naukowego w fizykę neutrin oraz o aktywnym udziale w przygotowaniach do kolejnej generacji badań oscylacji neutrin.

7.1.1 Pełnione przeze mnie funkcje w międzynarodowych współpracach badawczych

1. **Eksperyment Super-Kamiokande**

   - **Polski koordynator** od maja 2022 roku. W tej funkcji jestem członkiem komitetu przedstawicieli krajowych we współpracy SK (ang. Country Board Committee) oraz koordynuję działalność Polskiej Grupy Neutrinowej w ramach eksperymentu. Do moich obowiązków należy organizacja dyżurów realizowanych na rzecz współpracy Super-Kamiokande, a także koordynacja analiz opartych na danych SK.
   - **Członek grupy kalibracyjnej** od 2019 roku. W tej roli odpowiadam za kalibrację współczynników załamania fotokatod zainstalowanych w fotopowielaczach (PMT) detektora. Ponadto od początku 2025 roku dr Haradhan Adhikary, zatrudniony w mojej grupie na stanowisku adiunkt naukowy, uczestniczy pod moim kierunkiem w kalibracji czasu i ładunku (TQ) wewnętrznych fotopowielaczy detektora SK. Dr Adhikary brał również udział w kampanii zbierania danych kalibracyjnych w czerwcu 2025 roku w kopalni Kamioka, gdzie znajduje się detektor SK. Jego praca obejmowała walidację i porównanie otrzymanych map TQ dla różnych okresów pracy SK, ze szczególnym uwzględnieniem identyfikacji problematycznych fotopowielaczy, dla których występowały różne defekty elektroniczne.
   - **Członek grupy zajmującej się analizą neutrin atmosferycznych oraz rozpadem protonu** (ang. Atmospheric and Proton Decay Group–(ATMPD) Jestem członkiem grupy ATMPD od 2019 roku i pracuję nad dwiema analizami oscylacji neutrin atmosferycznych opisanymi poniżej.
     Analiza oscylacji neutrin atmosferycznych w zmiennych kąta zenitalnego oraz energii neutrin. Mój wkład w analizę zmiennych kąta zenitalnego oraz energii neutrin rozpoczął się od badań związanych z rozszerzeniem objętości czynnej (z ang. Fiducial Volume - FV) detektora SK. W standardowej objętości czynnej SK wybiera się przypadki oddziaływań neutrin, których wierzchołki tych oddziaływań zostały zrekonstruowane w odległości co najmniej 2 m od najbliższej ściany detektora SK, co odpowiada masie detektora 22.5 kT. W rozszerzonej objętości czynnej SK odległość tę zmniejszono do 1 m dla zdarzeń w pełni zawartych w detektorze (ang. Fully Contained–FC), tzn. takich dla których powstały lepton z oddziaływania neutrina nie wyszedł poza część

wewnętrzną SK. Takie podejście dodało 4.7 kilotony w obszarze 1–2 m i zwiększyło ekspozycję danych atmosferycznych o około 20%. Moja praca obejmowała porównania danych i symulacji Monte Carlo dla wszystkich próbek atmosferycznych neutrin FC w okresach zbierania danych SK–I–V (1996–2020), badania rozdzielczości kątowej i energetycznej w rozszerzonym obszarze objętości czynnej detektora. Odpowiadałam również za ponowne wyznaczenie wybranych niepewności systematycznych związanych z identyfikacją cząstek, liczeniem pierścieni oraz identyfikacją π^0 w obszarze rozszerzonej objętości czynnej SK. Prace te doprowadziły do zaproszenia mnie do komitetu publikacyjnego artykułu [25], w skład którego łącznie było pięć osób z SK, w tym ja jedyna z Polski. Prace nad publikacją rozpoczęły się w lipcu 2022 roku i zakończyły opublikowaniem artykułu w kwietniu 2024 roku.

Analiza oscylacji neutrin atmosferycznych w funkcji L/E

Mój doktorant, mgr Mariusz Girguś, pracuje nad analizą oscylacji neutrin atmosferycznych w funkcji zmiennych L/E. Opracował nowy algorytm klasyfikacji zdarzeń częściowo zawartych z wykorzystaniem informacji z zewnętrznego detektora SK. Został wybrany do przedstawienia wyników swojej analizy w imieniu współpracy Super-Kamiokande podczas konferencji ICHEP 2026 w Brazylii (wystąpienie równoległe) oraz podczas konferencji Neutrino 2026 w Stanach Zjednoczonych (prezentacja plakatowa).

2. **Eksperyment T2K**

- **Członek komitetu redakcyjnego w T2K** (ang. Publication Board) w latach 2018–2024, wybrana zostałam, jako jedyny przedstawiciel z Polski, wraz z sześciorgiem innych współpracowników z T2K do pracy w tym gremium. Od 2022 roku zostałam wybrana na zastępcę przewodniczącego tego komitetu na dwuletnią kadencję. W tej roli odpowiadałam za nadzór nad publikacjami przygotowywanymi przez współpracę T2K, koordynację i nadzorowanie procesu publikacyjnego od etapu wewnętrznej recenzji do złożenia pracy, ułatwianie komunikacji pomiędzy autorami a organami współpracy oraz pomoc w rozwiązywaniu problemów naukowych i redakcyjnych pojawiających się podczas przygotowywania manuskryptów. Komitet redakcyjny odpowiedzialny jest za utrzymanie wysokiej jakości naukowej, spójności i przejrzystości publikacji współpracy, zapewniając, że opublikowane wyniki spełniały wysokie standardy T2K.
- **Członek grupy wspólnej analizy oscylacji neutrin atmosferycznych z Super-Kamiokande i neutrin akceleratorowych z T2K**
  W czerwcu 2023 roku zostałam wybrana do pracy w komitecie recenzującym kilka not technicznych związanych ze wspólną analizą oscylacji neutrin atmosferycznych z Super-Kamiokande i neutrin akceleratorowych z T2K. Komitet składał się z międzynarodowych ekspertów z obu projektów. Proces recenzyjny był złożony i trwał ponad rok, wymagał licznych dodatkowych badań. Główne wyniki tej analizy zostały opublikowane w krótkim artykule [27]. Obecnie trwają prace nad pełnym referatem przedstawiającym tę analizę szczegółowo. Zosta-

łam zaproszona do udziału w komitecie publikacyjnym tej pracy, jako jeden z dwunastu członków T2K+SK, jedyny przedstawiciel z Polski. Komitet został powołany 11 grudnia 2024 roku i praca nad długim artykułem trwa do chwili obecnej.

- **Działalność w grupie T2K–Super-Kamiokande**
  Od 2019 roku jestem członkiem grupy T2K–SK. Dr Yashwanth Prabhu, badacz zatrudniony na stanowisku podoktorskim finansowanym z mojego grantu SONATA BIS jest jednym z trzech koordynatorów tej grupy, wnosi wkład w przygotowanie danych wejściowych z detektora dalekiego do analiz oscylacyjnych w T2K, w odpowiada za selekcję zdarzeń neutrin w SK, niepewności systematyczne detektora oraz uczestniczy w grupie analizy oscylacji neutrin. Dr Prabhu jest odpowiedzialny również za testy nowych danych zebranych na jesieni 2025 roku przez T2K przy większej intensywności wiązki oraz przy pracy Super-Kamiokande z domieszką 0.03% gadolinu. Ponadto pełni funkcję członka komitetu przygotowującego artykuł dotyczący analizy oscylacyjnej T2K z 2023 roku. Mój doktorant, również finansowany z mojego grantu SONATA BIS, mgr Prithivraj Govindaraj, pracuje nad oprogramowaniem rekonstrukcyjnym wykorzystywanym w T2K dla nowych danych SK-VIII, w szczególności nad tablicą rozpraszania opisującą stosunek światła bezpośredniego do pośredniego produkowanego przez elektrony o energii 3 MeV w zbiorniku Super-Kamiokande. Ponadto uczestniczy on w testowaniu narzędzia symulacyjnego SK-G4, pełnego modelu Geant4 detektora SK, wymaganego do analizy danych zebranych po awarii jednego z elementów detektora. W wyniku awarii cewek kompensujących pole magnetyczne około 30% danych T2K zostało zarejestrowanych w zmodyfikowanych warunkach pracy detektora SK. W kwietniu 2026 roku zostałam poproszona o objęcie funkcji przewodniczącej komitetu recenzującego najnowsze wyniki dotyczące przygotowania próbek oddziaływań neutrin w detektorze SK na potrzeby eksperymentu T2K, a także modelowania odpowiedzi detektora w postaci niepewności systematycznych związanych z SK.
- **Członek grupy wiązki w T2K** w latach 2008–2016. Jako jedna z głównych autorów analiz NA61/SHINE wykonywanych na potrzeby przewidywań strumienia neutrin T2K, byłam członkiem komitetu publikacyjnego dla [23, 24]. Obie prace obejmują moje wyniki dotyczące różniczkowych przekrojów czynnych przy małych pędach oraz średnich krotności naładowanych pionów i protonów produkowanych w oddziaływaniach p+C przy $p \approx 31$ GeV/c, zmierzonych w eksperymencie NA61/SHINE.

  Analiza przedstawiona w publikacji [23] oparta jest na danych zebranych podczas pierwszego cyklu pracy NA61/SHINE w 2007 roku. Kolejna publikacja z 2016 roku [24] wykorzystuje zestaw danych zebrany w 2009 roku o około ośmiokrotnie większej statystyce. Obie analizy zostały wykonane z użyciem cienkiej tarczy grafitowej o grubości odpowiadającej 4% jądrowej długości oddziaływania. Wyniki dotyczące wydajności produkcji naładowanych pionów uzyskane w pilotażowym cyklu z 2007 roku zostały następnie wykorzystane przez eksperyment T2K do strojenia symulacji wiązki neutrinowej i redukcji jej

niepewności, jak opisano w publikacji [22].

3. **Eksperyment Hyper-Kamiokande**

   - **Członek komitetu wyborczego w projekcie Hyper-Kamiokande** (ang. Election Committee) w latach 2023–2026. Jako jedyny przedstawiciel z Polski w tym komitecie uczestniczyłam w procesie wyboru kluczowych organów kierowniczych współpracy, w tym międzynarodowego współrzecznika, *Institutional Board* oraz *Executive Board*, współodpowiadając wraz z innymi członkami komitetu za wybór pięciu niejapońskich członków *Executive Board* na dwuletnie kadencje.

7.2 Wyróżnienia i nagrody

1. grudzień 2024 – **Wyróżnienie Dydaktyczne**, przyznane przez studentów Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego, w uznaniu za prowadzenie zajęć w ramach kursu **„Fizyka II (Elektryczność i magnetyzm)”**.

2. kwiecień 2021 – **Nagroda za działalność naukową i dydaktyczną**, przyznana przez Rektora Uniwersytetu Warszawskiego w uznaniu wkładu szczególnie wspierającego rozwój i prestiż Uniwersytetu Warszawskiego.

3. 18 października 2017 – **Indywidualna nagroda III stopnia za osiągnięcia naukowe**, przyznana przez Rektora Uniwersytetu Warszawskiego.

4. listopad 2015 – **2016 Breakthrough Prize in Fundamental Physics**.
   `https://breakthroughprize.org/Laureates/1/L155`
   Nagroda naukowa przyznana członkom współprac Daya Bay, KamLAND, K2K, T2K, Sudbury Neutrino Observatory oraz Super-Kamiokande, którzy byli autorami publikacji objętych nagrodą [14].

7.3 Umiejętności w zakresie budowania i zarządzania zespołem

Jednym z istotnych rezultatów projektu SONATA BIS pt. **Study of neutrino oscillations in the upgraded Super-Kamiokande detector** (numer rejestracyjny: 2022/46/E/ST2/00336, finansowanie: 2023–2028), którego jestem kierownikiem, było utworzenie aktywnego zespołu badawczego na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego. Grant umożliwił mi nie tylko realizację zaproponowanego programu badawczego, lecz także zbudowanie grupy młodych badaczy i studentów, których praca przyczyniła się do rozwoju analiz oscylacji neutrin w eksperymentach Super-Kamiokande i T2K. Oprócz członków zespołu wspieranych w ramach mojego projektu SONATA BIS mogłam włączyć do działalności badawczej również Paulinę Golak, studentkę studiów magisterskich, dzięki finansowaniu zapewnionemu przez grant MNiSW dla eksperymentu T2K (Tokai to Kamioka, numer rejestracyjny: NR DIR/2023/WK/04, finansowanie 2023–2028).

Mój obecny zespół badawczy składa się z:

- *Adiunkt naukowy:* **dr Haradhan Adhikary** — zatrudniony w ramach mojego projektu SONATA BIS.
- *Adiunkt naukowy:* **dr Yashwanth Prabhu** — zatrudniony w ramach mojego projektu SONATA BIS.
- *Doktorant:* **Mariusz Girguś** — stypendium finansowane w ramach mojego projektu SONATA BIS.
- *Doktorant:* **Prithivraj Govindaraj** — stypendium finansowane w ramach mojego projektu SONATA BIS.
- *Studentka studiów magisterskich:* **Paulina Golak** — jej działalność naukowa jest wspierana z funduszy grantu MNiSW dla eksperymentu T2K (Tokai to Kamioka)(Numer grantu: NR DIR/2022/WK/15, fundusze w latach 2023-2028).

7.3.1 Udział członków zespołu w konferencjach (wystąpienia ustne i prezentacje plakatowe)

Lista ustnych prezentacji naukowych wygłoszonych przez członków mojego zespołu w okresie 2025–2026 na międzynarodowych i krajowych konferencjach naukowych:

- "The T2K Neutrino Flux Predictions," Haradhan Adhikary; referat podczas *NuFlux 2026 Workshop on Accelerator and Atmospheric Neutrino Flux Determination*, marzec 2026, Uniwersystet w Notre Dame, USA.
- "T2K Status and Plans," Yashwanth Prabhu; referat podczas *NuFact 2025 – The 26th International Workshop on Neutrinos from Accelerators*, wrzesień 2025, Liverpool, Wielka Brytania.
- "Improving Super-Kamiokande's L/E Resolution Using a Boosted Decision Tree Classifier for Partially Contained Events," Mariusz Girguś; prezentacja plakatowa podczas *16th International Neutrino Summer School 2025*, sierpień 2025, Fermilab, USA.
- "Understanding the Impact of the Geomagnetic Field on the Super-Kamiokande Detector with Monte Carlo," Prithivraj Govindaraj; prezentacja plakatowa podczas *II EU Workshop on Water Cherenkov Experiments for Precision Physics*, wrzesień 2025, Kraków, Polska.
- "Improving Super-Kamiokande's L/E Resolution Using a Boosted Decision Tree Classifier for Partially Contained Events," Mariusz Girguś; prezentacja plakatowa podczas *II EU Workshop on Water Cherenkov Experiments for Precision Physics*, wrzesień 2025, Kraków, Polska.
- "Future long-baseline neutrino oscillation experiments: Hyper-Kamiokande and DUNE," Paulina Golak; prezentacja plakatowa podczas *II EU Workshop on Water Cherenkov Experiments for Precision Physics*, wrzesień 2025, Kraków, Polska.

- "Joint Neutrino Oscillation Analysis of Atmospheric and Beam Data in the Super-Kamiokande Detector," Prithivraj Govindaraj; referat podczas konferencji *Particle Astrophysics in Poland (PAiP 2025)*, luty 2025, Warszawa, Polska.
- "Partially Contained Samples in the Super-Kamiokande Atmospheric Neutrino Oscillation Analyses," Mariusz Girguś; referat podczas konferencji *Particle Astrophysics in Poland (PAiP 2025)*, luty 2025, Warszawa, Polska.