Облікова картка дисертації

I. Загальні відомості

Державний обліковий номер: 0823U102038

Особливі позначки: відкрита

Дата реєстрації: 28-12-2023

Статус: Наказ про видачу диплома

Реквізити наказу МОН / наказу закладу: №42-к від 06.03.2024р.

II. Відомості про здобувача

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Клавдієнко Володимир Русланович
2. Volodymyr R. Klavdienko

Кваліфікація: 01.04.16

Ідентифікатор ORCID ID: Не застосовується

Вид дисертації: доктор філософії

Аспірантура/Докторантура: так

Шифр наукової спеціальності: 104

Назва наукової спеціальності: Фізика та астрономія

Галузь / галузі знань: природничі науки

Освітньо-наукова програма зі спеціальності: Фізика ядра, фізика елементарних частинок і високих енергій; ядерно-фізичні установки; радіаційна фізика конденсованого стану; фізика плазми і ядерного синтезу

Дата захисту: 19-02-2024

Спеціальність за освітою: фізика та астрономія

Місце роботи здобувача: Інститут ядерних досліджень Національної академії наук України

Код за ЄДРПОУ: 23724640

Місцезнаходження: проспект Науки, буд. 47, Київ, 03028, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Національна академія наук України

Ідентифікатор ROR:

III. Відомості про організацію, де відбувся захист

Шифр спеціалізованої вченої ради (разової спеціалізованої вченої ради): ID 4152

Повне найменування юридичної особи: Інститут ядерних досліджень Національної академії наук України

Код за ЄДРПОУ: 23724640

Місцезнаходження: проспект Науки, буд. 47, Київ, 03028, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Національна академія наук України

Ідентифікатор ROR:

IV. Відомості про підприємство, установу, організацію, в якій було виконано дисертацію

Повне найменування юридичної особи: Інститут ядерних досліджень Національної академії наук України

Код за ЄДРПОУ: 23724640

Місцезнаходження: проспект Науки, буд. 47, Київ, 03028, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Національна академія наук України

Ідентифікатор ROR:

V. Відомості про дисертацію

Мова дисертації: Українська

Коди тематичних рубрик: 29.15.15

Тема дисертації:

1. Подвійний бета-розпад ядра 106Cd
2. Double-beta decay of 106Cd

Реферат:

1. Дисертаційна робота присвячена пошуку подвійного бета-розпаду ядра 106Cd, розробці експериментальних методів дослідження даного розпаду та дослідженню схеми розпаду ядра 50V. У роботі коротко описано основні аспекти подвійного бета-розпаду: теорія, моделі опису процесу в рамках Стандартної моделі елементарних частинок і взаємодій та за її межами, експериментальні методи дослідження та вимоги до експериментів. Подано результати найбільш чутливих експериментів з пошуку подвійного бета-розпаду атомних ядер, та оцінки чутливості проектів, що знаходяться на етапі розробки або спорудження. Описано експериментальну установку з пошуку подвійного бета-розпаду ядра 106Cd з використанням кристалу вольфрамату кадмію 106CdWO4, збагаченого досліджуваним ізотопом до 66%. Дані набирались у збігах (антизбігах) з двома детекторами CdWO4 великого об'єму у близькій геометрії із збагаченим кристалом. Експериментальна установка була вдосконалена, що дозволило покращити її

спектрометричні та часові характеристики. Визначено стабільність роботи детекторів, шляхом аналізу положення краю □-спектру нукліду 113mCd, який є у кристалі 106CdWO4. Енергетична та часова роздільна здатність визначена для всіх детекторів до та після модифікації установки, яка полягала у заміні фотоелектронних помножувачів та світловодів. Для детектора 106CdWO4 енергетична роздільна здатність була визначена як ПШПВ = 6.85 × √(E_□), де ПШПВ - повна ширина на половині висоти і E_□ - енергія гамма-кванту у кеВ. Після модифікації установки енергетична здатність покращилась приблизно в 1.5 рази і становить ПШПВ = 4.56 × √(E_□). Для додаткових детекторів енергетична роздільна здатність також покращилась зі значення ПШПВ ≈ 3.1 × √(E_□) до ПШПВ ≈ 2.8 × √(E_□). Часова роздільна здатність була оцінена на рівні ~ 15 нс. Проведено порівняння експериментальних даних, отриманих під час калібрувальних вимірювань з джерелами гамма-випромінювання, та Монте-Карло моделями. Результати порівняння показали гарний збіг і дозволили визначити енергетичні пороги детекторної системи. Реалізовано метод оптимального фільтра, що дозволило відокремити події від □(□)- та □-частинок за формою сцинтиляційного сигналу. Це дало можливість понизити фон у ~1.6 рази в області 800–1300 кеВ, де очікуються □-події 232Th і 238U та їх дочірніх нуклідів. Забрудненість сцинтиляційних кристалів радіонуклідом 228Th була визначена за допомогою часово-амплітудного аналізу як 0.0174(14) мБк/кг для 106CdWO4 та 0.012(2) мБк/кг для CdWO4. Оцінено забрудненість кристалів CdWO4 □-активними дочірніми елементами 232Th (232Th -> 228Ra і 228Th ->...-> 208Pb) і 238U (238U -> 234Th; 234U -> 230Th; 230Th -> 226Ra; 226Ra->...-> 210Pb; 210Pb->...-> 206Pb) за допомогою аналізу сумарного □-спектру, набраного даними детекторами. Побудовано модель фону на основі комбінованої апроксимації □(□)-спектрів, набраних різними детекторами у різних умовах відбору. Визначено радіоактивну забрудненість основних компонентів детекторної установки. Встановлено нові обмеження на періоди напіврозпаду для різних каналів і мод подвійного бета-розпаду ядра 106Cd на рівні T1/2 ~ 10^20 – 10^22 років. Покращено обмеження періоду напіврозпаду відносно 2□EC□+-розпаду 106Cd на основний рівень 106Pd як T_(1/2)^(2□EC□+) > 2.1 × 10^21 років. Було встановлено нове обмеження для резонансного безнейтринного подвійного електронного поглинання на збуджений рівень 2718 кеВ 106Pd, як T_(1/2)^0□2K > 2.9 × 10^21 років. Експериментальна чутливість для даного розпаду знаходиться в межах теоретичних прогнозів, які знаходяться в діапазоні T1/2 ~ 10^22 років. Після вдосконалення установки була оцінена експериментальна чутливість до 0□2EC-, 2□EC□+-, 0□2□+- та 0□EC□+-розпаду 106Cd на основний рівень 106Pd в різних умовах відбору: [T]_(1/2)^0□2EC > 8.9 × 10^20 років, T_(1/2)^(2□EC□+) > 1.5 × 10^21 років, T_(1/2)^(0□2□+) > 8.4 × 10^21 років та T_(1/2)^(0□EC□+) > 1.1 × 10^22 років. Також у роботі було досліджено схему розпаду ядра 50V. Даний нуклід може розпадатись по каналах електронного поглинання на збуджений рівень 1553.8 кеВ ядра 50Ti та □- розпаду на збуджений рівень 783.3 кеВ ядра 50Cr. Обидва розпади є чотирьохкратно забороненими неунікальними □-розпадами, аналіз яких може дозволити визначити ефективне значення аксіально-векторної константи слабкої взаємодії gA. Дана константа відіграє важливу роль у оцінці ймовірності подвійних □-розпадів. Гамма-спектрометрія зразка ванадію масою 955 г з природним вмістом ванадію виконувалась за допомогою двох напівпровідникових германієвих детекторів з надчистого германію (HPGe). Було проаналізовано спектр, набраний детекторами, визначено найбільш інтенсивні гамма-піки, встановлено радіоактивну забрудненість зразка ванадію. Період напіврозпаду ядра 50V відносно процесу EC на 2+ рівень 1553.8 кеВ 50Ti визначений як T_(1/2)^EC= [[2.774]_(-0.19)^(+0.20)] × 10^17 років.

2. The thesis for obtaining the scientific degree of Doctor of Philosophy by specialization 104 - physics and astronomy - Institute for Nuclear Research, The National Academy of Science of Ukraine, Kyiv, 2023. The dissertation is devoted to the search for the double beta decay of 106Cd nucleus, the development of experimental methods for studying this decay, and the study of the decay scheme of 50V nucleus. The work provides a brief overview of the main aspects of double beta decay, including the theory, models for describing the process within the Standard Model of particle physics and its extensions, experimental research methods, and requirements for experiments. The results of the most sensitive experiments on the search for double beta decay of atomic nuclei are presented, along with assessments of the sensitivity of projects under development or construction. The experimental setup for the search for double beta decay of 106Cd nucleus using a cadmium tungstate crystal enriched in nuclide to 66% is described. Data were collected in coincidences (anti-coincidences) with two large-

volume CdWO4 detectors in close geometry to the enriched crystal. The experimental setup was improved to enhance its spectroscopic and time characteristics. The stability of detector performance was determined by analyzing the edge position of the □-spectrum of the 113mCd nuclide present in the 106CdWO4 crystal. Energy and time resolutions were determined for all detectors before and after the modification of the setup, which involved the replacement of photomultiplier tubes and light guides. For the 106CdWO4 detector, the energy resolution was determined as FWHM = 6.85 × √(E_□), where FWHM is the full width at half maximum, and E□ is the gamma-ray energy in keV. After the modification of the setup, the energy resolution improved by approximately 1.5 times, resulting in FWHM = 4.56 × √(E_□). The energy resolution for additional detectors also improved from FWHM ≈ 3.1 × √(E_□) to FWHM ≈ 2.8 × √(E_□). The time resolution was estimated as approximately 15 ns. Experimental data obtained during calibration measurements with gamma radiation sources and Monte Carlo models were compared. The results of the comparison showed a good agreement and allowed to determine the energy thresholds of the detector system. The pulce shape discrimination method was implemented, which made it possible to separate events from □(□)- and □-particles based on the shape of the scintillation signal. This reduced the background by approximately 1.6 times in the 800-1300 keV range, where □-events of 232Th, 238U, and their daughter nuclides are expected. The contamination of scintillation crystals with the radionuclide 228Th was determined using time-amplitude analysis to be 0.0174(14) mBq/kg for 106CdWO4 and 0.012(2) mBq/kg for CdWO4. The contamination of CdWO4 crystals with □-active daughter elements of 232Th (232Th -> 228Ra and 228Th ->...-> 208Pb) and 238U (238U -> 234Th; 234U -> 230Th; 230Th -> 226Ra; 226Ra ->...-> 210Pb; 210Pb ->...-> 206Pb) was estimated through the analysis of the total □-spectrum collected by the detectors. A background model was constructed based on the combined approximation of □(□) spectra collected by different detectors under various selection conditions. The radioactive contamination of the main components of the detector system was determined. New improved half-life limits were set on the different channels and modes of the 106Cd double beta decay at level of T1/2 ~ 10^20 – 10^22 yr. The half-life limit 2□EC□+ decay of 106Cd to the ground state of 106Pd was improved as T_(1/2)^(2□EC□+) > 2.1 × 10^21 yr. New half-life limit to the resonant neutrinoless double-electron capture to the 2718 keV excited state of 106Pd was set as T_(1/2)^0□2K > 2.9 × 10^21 yr. The experimental sensitivity for this decay is within the theoretical predictions, which are in the range of T1/2 ~ 1022 years. After improvement of the setup, the experimental sensitivity in different selection conditions to 0□2EC-, 2□EC□+, 0□2□+ and 0□EC□+ decays of 106Cd to the ground state of 106Pd was evaluated: [T]_(1/2)^0□2EC > 8.9 × 10^20 yr, T_(1/2)^(2□EC□+) > 1.5 × 10^21 yr, T_(1/2)^(0□2□+) > 8.4 × 10^21 yr and T_(1/2)^(0□EC□+) > 1.1 × 10^22 yr. Additionally, the decay scheme of 50V was investigated in the work. The transitions of this nuclide can undergo through electron capture (EC) decay channel to the 1553.8 кеВ excited levels of 50Ti and □- decay to the 783.3 keV excited levels of 50Cr. Both the decay channels are fourfold forbidden nonunique, the analysis of which can allow determining the effective value of the axial-vector coupling constant gA. This constant plays a prominent role in estimation of double □-decays probability. Gamma spectrometry of a 955 g natural isotopic abundance vanadium sample was performed with the help of two ultralow-background high purity germanium detectors (HPGe). The spectrum collected by the detectors was analyzed.

Державний реєстраційний номер ДіР:

Пріоритетний напрям розвитку науки і техніки: Фундаментальні наукові дослідження з найбільш важливих проблем розвитку науково-технічного, соціально-економічного, суспільно-політичного, людського потенціалу для забезпечення конкурентоспроможності України у світі та сталого розвитку суспільства і держави

Стратегічний пріоритетний напрям інноваційної діяльності: Освоєння нових технологій транспортування енергії, впровадження енергоефективних, ресурсозберігаючих технологій, освоєння альтернативних джерел енергії

Підсумки дослідження: Нове вирішення актуального наукового завдання

Публікації:

- 1. F.A.Danevich, M.Hult, D.V.Kasperovych, V.R.Klavdiienko, G.Lutter, G.Marissens, O.G.Polischuk, V.I.Tretyak. Decay scheme of 50V. Phys. Rev. C 102(2020)024319, p. 8. https://doi.org/10.1103/PhysRevC.102.024319 (Scimago: Q1).
- 2. P.Belli, R.Bernabei, V.B.Brudanin, F.Cappella, V.Caracciolo, R.Cerulli, F.A.Danevich, A.Incicchitti, D.V.Kasperovych, V.R.Klavdiienko, V.V.Kobychev, V.Merlo, O.G.Polischuk, V.I.Tretyak, M.M.Zarytskyy. Search for double beta decay of 106Cd with an enriched 106CdWO4 crystal scintillator in coincidence with CdWO4 scintillation counters. Universe 6(2020)182, p. 15. https://doi.org/10.3390/universe6100182 (Scimago: Q2).
- 3. P. Belli, R. Bernabei, F. Cappella, V. Caracciolo, R. Cerulli, F. A. Danevich , A. Inchicchitti, D. V. Kasperovych , V. R. Klavdiienko , V. V. Kobychev , A. Leoncini, V. Merlo, O. G. Polischuk, V. I. Tretyak. Low-background experiment to search for double beta decay of 106Cd using 106CdWO4 scintillator. Nucl. Phys. At. Energy 24 (2023) p. 193. https://doi.org/10.15407/jnpae2023.03.193 (Scimago: Q4)

Наукова (науково-технічна) продукція: методи, теорії, гіпотези

Соціально-економічна спрямованість:

Охоронні документи на ОПІВ:

Впровадження результатів дисертації: Планується до впровадження

Зв'язок з науковими темами: 0122U002390 0120U104845 0120U002152 0123U103151

VI. Відомості про наукового керівника/керівників (консультанта)

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Даневич Федір Анатолійович

2. Fedor A. Danevich

Кваліфікація: д. ф.-м. н., професор, 01.04.16

Ідентифікатор ORCID ID: Не застосовується

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Інститут ядерних досліджень Національної академії наук України

Код за ЄДРПОУ: 23724640

Місцезнаходження: проспект Науки, буд. 47, Київ, 03028, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Національна академія наук України

Ідентифікатор ROR:

VII. Відомості про офіційних опонентів та рецензентів

Офіційні опоненти

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Парлаг Олег Олександрович

2. Parlag Oleg Oleksandrovych

Кваліфікація: к. ф.-м. н., с.н.с., 01.04.16

Ідентифікатор ORCID ID: Не застосовується

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Інститут електронної фізики Національної академії наук України

Код за ЄДРПОУ: 05540008

Місцезнаходження: вул. Університетська, буд. 21, Ужгород, Ужгородський р-н., 88000, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Національна академія наук України

Ідентифікатор ROR:

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Плюйко Володимир Андрійович

2. Volodymyr A. Pluiko

Кваліфікація: д.ф.-м.н., професор, 01.04.16

Ідентифікатор ORCID ID: Не застосовується

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Київський національний університет імені Тараса Шевченка

Код за ЄДРПОУ: 02070944

Місцезнаходження: вул. Володимирська, буд. 60, Київ, 01033, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

Рецензенти

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Понкратенко Олег Анатолійович

2. Oleh A. Ponkratenko

Кваліфікація: д.ф.-м.н., с.н.с., 01.04.16

Ідентифікатор ORCID ID: Не застосовується

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Інститут ядерних досліджень Національної академії наук України

Код за ЄДРПОУ: 23724640

Місцезнаходження: проспект Науки, буд. 47, Київ, 03028, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Національна академія наук України

Ідентифікатор ROR:

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Саврасов Андрій Миколайович
2. Andriy M. Savrasov

Кваліфікація: д. ф.-м. н., 01.04.16

Ідентифікатор ORCID ID: Не застосовується

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Інститут ядерних досліджень Національної академії наук України

Код за ЄДРПОУ: 23724640

Місцезнаходження: проспект Науки, буд. 47, Київ, 03028, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Національна академія наук України

Ідентифікатор ROR:

VIII. Заключні відомості

Власне Прізвище Ім'я По-батькові голови ради	Желтоножський Віктор Олександрович
Власне Прізвище Ім'я По-батькові головуючого на засіданні	Желтоножський Віктор Олександрович
Відповідальний за підготовку облікових документів	Порицький Павло Віталійович
Реєстратор	УкрІНТЕІ
Керівник відділу УкрІНТЕІ, що є відповідальним за реєстрацію наукової діяльності	Юрченко Тетяна Анатоліївна