

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Директор Інституту ядерних досліджень

НАН України

академік НАН України

В.І. Слісенко

« 27 » листопада

2023 р.



ВИСНОВОК

Інституту ядерних досліджень НАН України

про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації

Клавдієнка Володимира Руслановича на тему:

«Подвійний бета-розпад ядра ^{106}Cd », поданої на здобуття ступеня доктора філософії з

галузі знань 10 Природничі науки

за спеціальністю 104 Фізика та астрономія

Витяг

з протоколу № 732 засідання розширеного наукового семінару відділу фізики лептонів від «23» листопада 2023 року.

Присутні: Головуючий на засіданні – зав. ВФЛ ІЯД НАН України к.ф.-м.н., ст.досл. Кобичев В.В., д.ф.-м.н., проф. Ф.А. Даневич (ВФЛ ІЯД), к.ф.-м.н. Д.В. Касперович (ВФЛ ІЯД), к.ф.-м.н. О.Г. Поліщук (ВФЛ ІЯД), д.ф.-м.н., с.н.с. О.А. Понкратенко (ВФВІ ІЯД), д.філос., с.н.с. М.В. Романюк (ВТЯП ІЯД), д.ф.-м.н. А.М.Саврасов (ВСЯ ІЯД), к.ф.-м.н., с.н.с. В.І. Третяк (ВФЛ ІЯД), к.ф.-м.н., ст.досл. В.В. Улещенко (ВФВІ ІЯД), к.ф.-м.н. Р.Ю. Чаплинський (ВФЛ ІЯД).

Серед присутніх 3 доктори наук, 6 кандидатів наук і 1 доктор філософії. З них 10 – фахівці зі спеціальності, з якої виконувалась дисертація.

Порядок денний:

Обговорення дисертаційного дослідження Клавдієнка В.Р. на тему «Подвійний бета-розпад ядра ^{106}Cd », поданого на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 10 Природничі науки за спеціальністю 104 Фізика та астрономія.

Науковий керівник – д.ф.-м.н., проф., в.о. головного наукового співробітника Інституту ядерних досліджень НАН України Даневич Федір Анатолійович.

Дисертація виконувалась у відділі фізики лептонів Інституту ядерних досліджень НАН України. Тема дисертації затверджена на засіданні вченої ради Інституту ядерних досліджень НАН України (протокол № 1 від 28.01.2020 року).

Виступили:

Здобувач Клавдієнка В.Р. представив презентацію за основними положеннями дисертації «Подвійний бета-розпад ядра ^{106}Cd », поданої на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 104 Фізика та астрономія.

Після закінчення презентації виступили рецензенти дисертаційної роботи О.А.Понкратенко та А.М.Саврасов, які наголосили на позитивних аспектах дослідження та висловили свої побажання та зауваження.

Д.ф.-м.н. О.А. Понкратенко: Дисертаційна робота належить до сфери ядерної фізики та присвячена дослідженню процесів подвійного бета-розпаду ядра ^{106}Cd та бета-розпаду ядра ^{50}V . В роботі досліджено різні канали і моди 2β -розпаду ядра ^{106}Cd та визначено обмеження на період напіврозпаду цього ядра. Також вивчено схему розпаду ядра ^{50}V та отримано результати щодо його періоду напіврозпаду по різним каналам. Робота також містить аналіз експериментальних даних, визначення відгуків детекторної системи на основі моделювання, апроксимацію енергетичних спектрів та оцінку радіоактивної забрудненості компонентів детекторної установки. Актуальність теми дисертації:

1. Важливість подвійного бета-розпаду: Подвійний бета-розпад (2β -розпад) є одним із найцікавіших та досі нерозгаданих явищ у ядерній фізиці. Вивчення цього процесу має велике наукове та фундаментальне значення, оскільки воно дозволяє вивчити фундаментальні властивості ядерних процесів, такі як маса та структура масових станів нейтрино. Також 2β -розпад має важливе значення для космології, оскільки впливає на еволюцію Всесвіту.

2. Пошуки нових фізичних явищ: Дослідження 2β -розпаду ядра ^{106}Cd може призвести до виявлення нових фізичних явищ та взаємодій, які не враховані в поточних теоретичних моделях. Це може розширити наше розуміння фізичного світу та розвитку нових теорій.

3. Розробка нових методів та технологій: Дослідження 2β -розпаду вимагає високо чутливих детекторів та точних методів аналізу даних. Розробка та вдосконалення таких технологій мають практичне застосування в інших галузях науки та техніки.

4. Можливість для міжнародного співробітництва: Дослідження 2β -розпаду часто потребує великих та дорогих експериментів. Тому вони найчастіше виконуються у міжнародному співробітництві, що сприяє обміну знаннями та ресурсами між різними науковими групами та країнами.

Наукова новизна роботи полягає в отриманні нових обмежень на період напіврозпаду ядра ^{106}Cd та ядра ^{50}V , що є важливими результатами в контексті розвитку теоретичних моделей та перевірки гіпотез у ядерній фізиці. Зокрема, у роботі встановлено нове обмеження на період напіврозпаду ядра ^{106}Cd по каналу резонансного безнейтринного подвійного електронного поглинання на збуджений рівень 2718 кеВ ^{106}Pd , що наближається до теоретичних оцінок вірогідності цього процесу. Даний результат має важливе значення для наукового співтовариства.

Узагальнюючи, дисертаційна робота є цінним внеском у вивчення процесів подвійного бета-розпаду та вдосконалення методів експериментального дослідження в цій області. Результати досліджень мають важливе наукове значення та можуть бути корисними для подальших досліджень у ядерній фізиці.

Д.ф.-м.н. А.М.Саврасов: Тема дослідження присвячена визначенню властивостей нейтрино, що є однією із ключових проблем сучасних досліджень фізики елементарних частинок. В рамках Стандартної моделі елементарних частинок і взаємодій нейтрино є безмасовими частинками. Однак, наявність осциляцій нейтрино говорить про ненульову

масу даної елементарної частинки. Це свідчить про недосконалість Стандартної моделі. Дослідження подвійних бета-розпадів атомних ядер є потужним інструментом, яке може відповісти на питання природи, значення мас та визначити схему масових станів нейтринно. Дозволена в Стандартній моделі двонейтринна мода даного процесу є найбільш рідкісним спостереженим ядерним процесом. Вимірювання подвійного бета розпаду ядер дають змогу уточнювати теоретичні розрахунки ядерних матричних елементів, що є актуальною задачею фізики атомного ядра.

У роботі розглянуті основні теоретичні і експериментальні аспекти дослідження подвійного бета-розпаду. Дисертант провів гарну роботу з визначення обмежень на період напіврозпаду ^{106}Cd та дослідження схеми розпаду ядра ^{50}V . Загалом робота заслуговує на присудження дисертанту звання доктора філософії, однак є декілька зауважень до роботи:

1. Треба чіткіше сформулювати мету і завдання.
2. Більше описати практичне значення роботи.
3. Слід додати об'єкт і предмет дослідження.
4. виправити граматичні помилки.

Після виступів рецензентів виступив **науковий керівник** – д.ф.-м.н., проф. **Ф.А. Даневич**.

Керівник: Перед Клавдієнком були поставлені завдання вдосконалення, налагодження, калібрування експериментальної установки, проведення довготривалих низькофононих вимірювань. Потрібно було проаналізувати великий масив даних, отриманих впродовж багатьох років вимірювань, з метою оцінки обмежень на різні моди та канали подвійного бета-розпаду ядра ^{106}Cd . Важливими частинами наукової роботи В.Р. Клавдієнка були дослідження схеми розпаду ядра ^{50}V , пошук методів досягнення високої точності вимірювання періоду напіврозпаду цього ядра відносно електронного поглинання та підвищення чутливості експерименту до процесу β -розпаду ^{50}V . Про велике практичне і теоретичне значення результатів дисертаційної роботи свідчать посилки на статті, де опубліковані ці результати, у роботах інших авторів, інтерес до доповідей В.Р. Клавдієнка на кількох конференціях та нарадах. Дисертант брав безпосередню участь у розробці, збиранні, налаштуванні та проведенні вимірювань на низькофононій сцинтиляційній установці для пошуку 2β -розпаду ядра ^{106}Cd у підземній лабораторії Гран-Сассо (Італія), виконав аналіз усіх експериментальних даних, запропонував та реалізував кілька важливих ідей, спрямованих на визначення та покращення характеристик спектрометра, вперше виявив забрудненість сцинтилятора $^{106}\text{CdWO}_4$ нуклідом ^{176}Lu . Участь В.Р. Клавдієнка була вирішальною у підготовці статей про пошук подвійного бета-розпаду ядра ^{106}Cd та схему розпаду ядра ^{50}V , він практично самостійно підготував статтю про розробку експериментальних методів пошуку подвійного β -розпаду ядра ^{106}Cd . Аспірант Володимир Клавдієнко гарно впорався з поставленою задачею, продемонстрував високу кваліфікацію в галузі фізики, математики, застосуванні програмних методів, достатньо вільно володіє англійською мовою, підготовлена ним дисертація повністю готова до захисту.

Після виступу наукового керівника присутніми на захисті фахівцями були поставлені наступні запитання, зауваження і коментарі по суті дисертації:

К.ф.-м.н., ст.досл. В.В. Улещенко: Чому у назві дисертації не сказано про дослідження схеми розпаду ядра ^{50}V ? Можливо, краща назвати для роботи буде «Подвійний бета-розпад ядра ^{106}Cd і бета-розпад ядра ^{50}V ». Чи можливо на даному етапі змінити назву дисертації?

В.Р.Клавдієнко: Нажаль, на даному етапі захисту моєї дисертації зміна назви викличе багато труднощів. Однак дослідження схеми розпаду ядра ^{50}V тісно пов'язане з дослідженням подвійного бета-розпаду ядер, зокрема ^{106}Cd , оскільки період напіврозпаду і форма бета-спектру ^{50}V залежить від аксіально-векторної константи слабкої взаємодії g_A . В свою чергу, дана константа впливає на період напіврозпаду подвійного бета-розпаду ядер і відіграє важливе значення для оцінки маси майоранівського нейтрино при безнейтринному подвійному бета-розпаді.

В обговоренні дисертаційного дослідження взяли участь:

Д.ф.-м.н. А.М.Саврасов: незважаючи на незначні зауваження, вважаю роботу дисертанта гідною присудження ступені доктора філософії. Прошу врахувати коментарі і зауваження в остаточній версії дисертації. Незважаючи на невелику кількість статей, вони опубліковані в міжнародних реферованих журналах і їх достатньо для захисту.

Д.ф.-м.н., с.н.с. О.А. Понкратенко: дисертаційна робота є цінним внеском у вивченні подвійного бета-розпаду атомних ядер. Вважаю роботу готовою до захисту із врахуванням вищезазначених зауважень.

Д.ф.-м.н., проф. Ф.А. Даневич: Дисертант вчасно провів всі дослідження і написав дисертацію. Участь Володимира Клавдієнка була вирішальною у підготовці статей про пошук подвійного бета-розпаду ядра ^{106}Cd та схему розпаду ядра ^{50}V , він практично самостійно підготував статтю про розробку експериментальних методів пошуку подвійного β -розпаду ядра ^{106}Cd .

К.ф.-м.н., ст.досл. В.В. Кобичев: Дисертаційне дослідження неодноразово доповідалось на наукових семінарах відділу фізики лептонів протягом чотирьох років навчання в аспірантурі і добре оформлено у дисертаційній роботі.

К.ф.-м.н. Д.В. Касперович: Робота написана в повному об'ємі, відповідає всім вимогам для захисту.

К.ф.-м.н., ст.досл. В.В. Улещенко: Незважаючи на те, що назва дисертації не розкриває весь об'єм досліджень, робота гарна і достойна захисту.

ВИСНОВОК

про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації Клавдієнка Володимира Руслановича на тему «Подвійний бета-розпад ядра ^{106}Cd », поданої на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 104 Фізика та астрономія

Обґрунтування вибору теми дослідження. Дослідження подвійного бета розпаду атомних ядер (2β) є потужним інструментом для визначення властивостей нейтрино. Зокрема, якщо нейтрино має Майоранівську природу, то даний процес може відбуватися без випромінювання нейтрино, так званий безнейтринний подвійний бета-розпад ($0\nu 2\beta$ -розпад). Дозволена в СМ двонейтринна мода даного процесу ($2\nu 2\beta$) достовірно зареєстро-

вана лише у 12 ядер з періодом напіврозпаду $T_{1/2} \sim 10^{18}-10^{24}$ років, що робить $2\nu 2\beta$ -розпад найбільш рідкісним спостереженим процесом радіоактивного розпаду. Вимірювання дво-нейтринної моди розпаду ядер дають змогу уточнювати методи теоретичних розрахунків ядерних матричних елементів і також є дуже актуальною задачею ядерної фізики. Варто зауважити, що майже всі відкриті $2\nu 2\beta$ -розпади є процесами з вильотом електронів ($2\nu 2\beta^-$) і тільки для нукліду ^{124}Xe було спостережена мода подвійного електронного поглинання ($2\nu 2\text{EC}$):

^{106}Cd є одним із найбільш перспективних нуклідів для пошуку «подвійних бета-плюс» розпадів: подвійного електронного поглинання (2EC), електронного поглинання з вильотом позитрону ($\text{EC}\beta^+$) та подвійного позитронного розпаду ($2\beta^+$). Також наявні сприятливі теоретичні передбачення для періоду напіврозпаду резонансного $0\nu 2\text{EC}$ -розпаду на збуджений рівень 2718 кеВ ядра ^{106}Pd , що робить даний нуклід цікавим для дослідження. Крім цього, цей ізотоп має відносно високу розповсюдженість (1.245(22) %) та енергію 2β -розпаду $Q_{2\beta}(^{106}\text{Cd}) = 2775.39(10)$ кеВ. Ця енергія перевищує енергію інтенсивних γ -квантів 2614.5 кеВ від розпаду ^{208}Tl , яку прийнято вважати краєм гамма-спектра природної радіоактивності, що дозволяє досягати суттєво більшої експериментальної чутливості для пошуку 2β -розпадів, ніж для нуклідів з $Q_{2\beta} < 2615$ кеВ. Можливість збагачення ізотопів кадмію в газових центрифугах та наявність технологій глибокого очищення кадмію для побудови детекторів, що містять цей елемент (зокрема, вольфрамат кадмію), є додатковими аргументами на користь даного дослідження. Разом з тим, можливі розпади ^{106}Cd на збуджені рівні дочірнього ядра ^{106}Pd , а також наявність γ -квантів 511 кеВ (які утворюються при анігіляції позитрона), дозволяють робити відбір подій, які можна пов'язати зі спостереженням шуканого ефекту.

Однак процес подвійного бета-розпаду важливо досліджувати не лише безпосередньо. Лептонні та адронні струми, що виникають при β -розпаді, можна виразити як суміші векторних та аксіально-векторних внесків, яким відповідають константи зв'язку g_V та g_A , відповідно. Всередині ядерної речовини на значення g_A впливають багатонуклонні кореляції, що призводить до ефективного значення g_A у розрахунках ядерної моделі, яке відрізняється від значення для вільних нуклонів. Теоретичні розрахунки 2β -розпадів показують, що на значення ядерних матричних елементів впливає невизначене значення аксіально-векторної константи слабкої взаємодії g_A . Ефективне значення g_A має вирішальне значення для розрахунків періодів напіврозпаду $0\nu 2\beta$ -розпадів, оскільки періоди напіврозпаду обернено пропорційні g_A у четвертій степені. Ефективне значення g_A може бути отримано з різних експериментів та в рамках теоретичних оцінок. Одним з експериментальних підходів є дослідження періоду напіврозпаду багатократно заборонених неунікальних β -розпадів. Існуючих експериментальних даних стосовно даного переходу недостатньо для точної оцінки g_A , тому необхідні додаткові вимірювання. Саме тому додатковою частиною даної роботи є дослідження чотирикратно заборонених неунікальних розпадів ($\Delta J^{\text{sp}} = 4^+$) ядра ^{50}V , а саме електронного поглинання на збуджений рівень 1553.8 кеВ ядра ^{50}Tl та β -розпаду з вильотом електрона на збуджений рівень 783.3 кеВ ядра ^{50}Cr .

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, грантами. Дисертаційне дослідження виконувалося в рамках кількох держбюджетних тем, науково-дослідних робіт за додатковими цільовими темами та робіт по міжнародним угодам:

1. Науково-технічна робота «Дослідження властивостей елементарних частинок і пошуки ефектів за межами Стандартної моделі елементарних частинок методами низькофонової ядерної спектроскопії» (Державний реєстраційний номер 0122U002390). Місце виконання: Інститут ядерних досліджень Національної академії наук України.
2. Науково-технічна робота «Подвійний бета-розпад атомних ядер» (Державний реєстраційний номер: 0120U104845). Місце виконання: Інститут ядерних досліджень Національної академії наук України.
3. Науково-технічна робота «Дослідження подвійного бета-розпаду ядра ^{106}Cd » (Державний реєстраційний номер 0120U002152). Місце виконання: Інститут ядерних досліджень Національної академії наук України.
4. Науково-технічна робота «Дослідження подвійного бета-розпаду ядер ^{106}Cd і ^{116}Cd за допомогою сцинтиляторів із збагачених ізотопів» (Державний реєстраційний номер 0123U103151). Місце виконання: Інститут ядерних досліджень Національної академії наук України.

Мета і завдання дослідження. Метою даного дослідження є пошук різних мод і каналів 2β -розпаду ядра ^{106}Cd , для чого необхідно було вдосконалити експериментальну низькофонову установку та розробити методи досліджень 2β -розпаду даного ядра.

Іншим завданням дослідження є пошуку β -розпаду ядра ^{50}V з вильотом електрона (період напіврозпаду якого сильно залежить від аксіально-векторної константи слабкої взаємодії g_A) та прецизійне вимірювання значення періоду напіврозпаду по каналу електронного поглинання, а також пошук методів оптимізації експерименту з пошуку β -розпаду ^{50}V .

Об'єкт дослідження. Атомні ядра ^{106}Cd та ^{50}V .

Предмет дослідження. Подвійний бета-розпад ядра ^{106}Cd та схема розпаду ядра ^{50}V .

Методи дослідження. У роботі використовувався метод низькофонової гамма- та бета-спектроскопії з використанням сцинтиляційних детекторів вольфрамату кадмію у експерименті з пошуку 2β -розпаду ^{106}Cd та низькофонова гамма-спектроскопія за допомогою напівпровідникових германієвих детекторів у експерименті з пошуку β -розпаду ^{50}V .

Наукова новизна дослідження:

1) Вдосконалено низькофонову експериментальну установку для пошуку 2β -розпаду ядра ^{106}Cd з використанням сцинтилятора $^{106}\text{CdWO}_4$, збагаченого ізотопом ^{106}Cd до 66%, та двох кристалів великого об'єму CdWO_4 , розташованих у близькій геометрії до збагаченого кристалу. Розроблені методи аналізу даних низькофонових вимірювань та визначено ключові характеристики детекторної установки, отримано експериментальні енергетичні спектри, набрані різними детекторами у різних умовах відбору, та побудовано моделі цих спектрів на основі розрахунків методом Монте-Карло, оцінено радіоактивну забрудненість деталей експериментальної установки.

2) Встановлено нові обмеження на період напіврозпаду 2β -розпаду ядра ^{106}Cd по різних каналах і модам розпаду на рівні $T_{1/2} > 10^{20} - 10^{22}$ років, зокрема встановлено нове обмеження на період напіврозпаду ^{106}Cd відносно $2\nu\text{ECS}^+$ -розпаду $T_{1/2} > 2.1 \cdot 10^{21}$ років, що наближається до теоретичних оцінок вірогідності процесу. Отримано нове обмеження $T_{1/2} > 2.9 \cdot 10^{21}$ років на період напіврозпаду ^{106}Cd відносно резонансного $0\nu 2\text{ECS}$ -розпаду на збуджений рівень 2718 кеВ ядра ^{106}Pd .

3) Визначено період напіврозпаду ^{50}V відносно каналу електронного поглинання на 2^+ збуджений рівень 1553.8 кеВ ^{50}Ti $T_{1/2} = 2.77_{-0.19}^{+0.20} \cdot 10^{17}$ років та встановлено обмеження $T_{1/2} > 8.9 \cdot 10^{18}$ років на період напіврозпаду ^{50}V відносно каналу β^- -розпаду на 2^+ збуджений рівень 783.3 кеВ ^{50}Cr .

Теоретичне значення.

Отримані експериментальні обмеження на період напіврозпаду ядра ^{106}Cd відносно 2β -розпаду є важливими новими ядерними даними, які можуть бути використані для подальшої розробки теоретичних розрахунків ядерних матричних елементів, порівняння з результатами інших експериментів, розробки нових експериментів для пошуку 2β -розпаду цього ядра з вищою чутливістю.

Досліджено два канали чотирикратно забороненого неунікального β -розпаду ядра ^{50}V . Це дає можливість оцінити ефективне значення g_A , що є надзвичайно важливим параметром для прогнозування 2β -розпадів різних атомних ядер, оскільки теоретичні розрахунки періоду напіврозпаду залежать від g_A у четвертій степені.

Практичне значення.

Вдосконалена низькофонова скінтіляційна установка для пошуку 2β -розпаду ядра ^{106}Cd має чутливість до радіоактивної забрудненості скінтіляторів (радіонуклідами рядів ^{232}Th , ^{235}U , ^{238}U та їх дочірніх), яка перевищує чутливість низькофонової напівпровідникової детекторів із надчистого германію аналогічного об'єму за рахунок високої ефективності реєстрації, застосування аналізу форми скінтіляційних сигналів та часово-амплітудного аналізу подій. Зараз установка використовується для пошуку подвійного бета-розпаду ядра ^{106}Cd , у майбутньому установка може бути використана для проведення низькофонової експериментів з метою пошуку різних рідкісних ядерних розпадів.

Особистий внесок здобувача. Дисертація є самостійною науковою працею, в якій висвітлені власні ідеї і розробки автора, що дозволили вирішити поставлені завдання. Робота містить теоретичні та методичні положення і висновки, сформульовані дисертантом особисто. Використані в дисертації ідеї, положення чи гіпотези інших авторів мають відповідні посилання і використані лише для підкріплення ідей здобувача.

Апробація результатів дослідження. Результати, представлені у дисертації, доповідалися автором на наступних наукових конференціях та школах-семінарах:

1. 26-а щорічна наукова конференція ІЯД НАНУ, 8-12.04.2019, Київ, Україна.
2. 8th Int. Pontecorvo Neutrino Phys. School, 1-10.09.2019, Sinaia, Romania.
3. 5th Int. Conf. "High Purity Materials: Production, Application, Properties", 10-13.09.2019, Kharkiv, Ukraine.
4. Міжнародна школа-семінар для молодих вчених "Функціональні матеріали для технічних та біомедичних застосувань", 7-10.09.2020, Кородово, Україна.
5. 27-а щорічна наукова конференція ІЯД НАНУ, 21-25.09.2020, Київ, Україна.
6. 9th International Conference on New Frontiers in Physics (ICNFP 2020), 4.09-2.10.2020, Crete, Greece (Extended internet-only session).
7. Міжнародна конференція молодих учених та аспірантів ІЕФ 2021, 26-28.05.2021, Ужгород, Україна.
8. Workshop for Young Scientists "Functional Materials for Technical and Biomedical Applications", 6-10.09.2021, Kharkiv, Ukraine.

9. 28-а щорічна наукова конференція ІЯД НАНУ, 27.09-1.10.2021, Київ, Україна.
10. 29-а щорічна наукова конференція ІЯД НАНУ, 26.09-30.09.2022, Київ, Україна.
11. 30-а щорічна наукова конференція ІЯД НАНУ, 25.09-29.09.2023, Київ, Україна.

Публікації. За результатами дослідження опубліковані 3 наукові праці у виданнях, що проіндексовані в базі даних Scopus та/або Web of Science Core Collection.

Список опублікованих праць за темою дисертації:

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 ^{50}V ". Phys. Rev. C 102(2020)024319, p. 8. (Q1)
2. P.Belli, R.Bernabei, V.B.Brudanin, F.Cappella, V.Caracciolo, R.Cerulli, F.A.Danevich, A.Inchicchitti, D.V.Kasperovych, **V.R.Klavdiienko**, V.V.Kobychev, V.Merlo, O.G.Polischuk, V.I.Tretyak, M.M.Zarytskyu. "Search for double beta decay of ^{106}Cd with an enriched $^{106}\text{CdWO}_4$ crystal scintillator in coincidence with CdWO_4 scintillation counters". Universe 6(2020)182, p. 15. (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 ^{106}Cd using $^{106}\text{CdWO}_4$ scintillator". Nucl. Phys. At. Energy 24 (2023) p. 193. (Q4)

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційне дослідження складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел із 193 найменувань. 39 рисунків, 7 таблиць. Загальний обсяг дисертації становить 129 сторінок, з яких основного тексту 97 сторінок).

Характеристика особистості здобувача. Дисертант має високу кваліфікацію в галузі фізики, математики, застосуванні програмних методів, достатньо вільно володіє англійською мовою.

Оцінка мови та стилю дисертації. Дисертація виконана фаховою українською мовою, текстове подання матеріалу відповідає стилю науково-дослідної літератури.

Рецензенти рекомендують: відповідно до п.15 Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44, *пропонується такий склад разової ради:*

Голова ради:

Желтоножський Віктор Олександрович, доктор фізико-математичних наук (спеціальність 01.04.16 – Фізика ядра, елементарних частинок і високих енергій), провідний науковий співробітник відділу структури ядра ІЯД.

Рецензенти:

Понкратенко Олег Анатолійович, доктор фізико-математичних наук (спеціальність 01.04.16 – Фізика ядра, елементарних частинок і високих енергій), завідувач відділу фізики важких іонів ІЯД;

Саврасов Андрій Миколайович, доктор фізико-математичних наук (спеціальність 01.04.16 – Фізика ядра, елементарних частинок і високих енергій), провідний науковий співробітник відділу структури ядра ІЯД.

Офіційні опоненти:

Плюйко Володимир Андрійович, доктор фізико-математичних наук (спеціальність 01.04.16 – Фізика ядра, елементарних частинок і високих енергій), професор, професор кафедри ядерної фізики фізичного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка;

Раткевич Сергій Станіславович, кандидат фізико-математичних наук (спеціальність 01.04.16 – Фізика ядра, елементарних частинок і високих енергій), провідний науковий співробітник кафедри фізики ядра та високих енергій імені О. І. Ахієзера, ННІ «Фізико-технічний факультет» Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна.

У результаті попередньої експертизи дисертації Клавдієнка Володимира Руслановича і повноти публікації основних результатів дослідження

УХВАЛЕНО:

1. Затвердити висновок про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації Клавдієнка Володимира Руслановича на тему: «Подвійний бета-розпад ядра ^{106}Cd ».

2. Констатувати, що за актуальністю, ступенем наукової новизни, обґрунтованістю, науковою та практичною цінністю здобутих результатів дисертація Клавдієнка В.Р. відповідає спеціальності 104 Фізика та астрономія та вимогам **Порядку підготовки здобувачів вищої освіти ступеня доктора філософії та доктора наук у закладах вищої освіти (наукових установах)**, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 23 березня 2016 р. № 261, пп. 6, 7, 8 **Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії**, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44.

3. Рекомендувати дисертацію Клавдієнка В.Р. на тему: «Подвійний бета-розпад ядра ^{106}Cd » до захисту на здобуття ступеня доктора філософії у разовій спеціалізованій вченій раді за спеціальністю 104 Фізика та астрономія.

4. Рекомендувати вченій раді Інституту ядерних досліджень затвердити склад разової спеціалізованої вченої ради:

Голова ради:

Желтоножський Віктор Олександрович, доктор фізико-математичних наук (спеціальність 01.04.16 – Фізика ядра, елементарних частинок і високих енергій), провідний науковий співробітник відділу структури ядра ІЯД.

Рецензенти:

Понкратенко Олег Анатолійович, доктор фізико-математичних наук (спеціальність 01.04.16 – Фізика ядра, елементарних частинок і високих енергій), завідувач відділу фізики важких іонів ІЯД;

Саврасов Андрій Миколайович, доктор фізико-математичних наук (спеціальність

01.04.16 – Фізика ядра, елементарних частинок і високих енергій), провідний науковий співробітник відділу структури ядра ІЯД.

Офіційні опоненти:

Плюйко Володимир Андрійович, доктор фізико-математичних наук (спеціальність 01.04.16 – Фізика ядра, елементарних частинок і високих енергій), професор, професор кафедри ядерної фізики фізичного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка;

Раткевич Сергій Станіславович, кандидат фізико-математичних наук (спеціальність 01.04.16 – Фізика ядра, елементарних частинок і високих енергій), провідний науковий співробітник кафедри фізики ядра та високих енергій імені О. І. Ахієзера, ННІ «Фізико-технічний факультет» Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна.

Результати голосування щодо рекомендації до захисту дисертації Клавдієнка В.Р.:

«За» – 10;

«Проти» – немає;

«Утримались» – немає.

Презентація Клавдієнка Володимира Руслановича на 29 стор. додається.

Голова семінару

зав. відділом фізики
лептонів ІЯД НАН України
к.ф.-м.н., ст.досл.



В.В. Кобичев

Секретар семінару

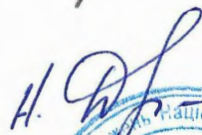
к.ф.-м.н., ст. наук. сп.



В.І. Третяк

Учений секретар

ІЯД НАН України



Н. Л. Дорошко

