

ЗАТВЕРДЖУЮ
Директор Інституту ядерних
досліджень НАН України
(посада)
В.І. Слісенко



АНОТОВАНИЙ ЗВІТ
про виконану роботу у 2020 році в рамках реалізації проєкту
із виконання наукових досліджень і розробок
«Подвійний бета-розпад атомних ядер»
(назва Проєкту)

Назва конкурсу: Підтримка досліджень провідних та молодих учених
Реєстраційний номер Проєкту: 2020.02/0011

Підстава для реалізації Проєкту з виконання наукових досліджень і розробок (реєстраційний номер та назва Проєкту) 2020.02/0011 «Подвійний бета-розпад атомних ядер»

Рішення наукової ради Національного фонду досліджень України щодо визначення переможця конкурсу «Підтримка досліджень провідних та молодих учених» протокол від «16-17» вересня 2020 року № 21

1. ЗАГАЛЬНА ІНФОРМАЦІЯ ПРО ПРОЄКТ

Тривалість виконання Проєкту
Початок – 27 жовтня 2020 р.;
Закінчення – 2022 рік.

Загальна вартість Проєкту 6 762 058 грн. (шість мільйонів сімсот шістдесят дві тисячі п'ятдесят вісім гривень 00 копійок).

Вартість Проєкту по роках, грн.:

- 1-й рік 730 252 (сімсот п'ятдесят тисяч двісті п'ятдесят дві)
- 2-й рік 2 922 100 (два мільйони дев'ятсот двадцять дві тисячі сто)
- 3-й рік 3 109 706 (три мільйони сто дев'ять тисяч сімсот шість)

2. ІНФОРМАЦІЯ ПРО ВИКОНАВЦІВ ПРОЄКТУ

до виконання Проєкту буде залучено 7 виконавців, з них:

доктори наук 1;
кандидати наук 3;
інші працівники 3.

3. ІНФОРМАЦІЯ ПРО ГРАНТООТРИМУВАЧА ТА ОРГАНІЗАЦІЮ(Ї) СУБВИКОНАВЦЯ(ІВ) ПРОЄКТУ

Інститут ядерних досліджень Національної академії наук України

4. ОПИС ПРОЄКТУ

4.1. Мета Проєкту (до 200 знаків)

Метою Проєкту є дослідження подвійного бета (2β) розпаду ядер ^{100}Mo , ^{106}Cd , ^{116}Cd , ^{150}Nd , ^{184}Os , ^{190}Pt , оцінка маси нейтрино Майорани, пошук ефектів за межами Стандартної моделі елементарних частинок.

4.2. Основні завдання Проєкту (до 400 знаків)

Новий рівень експериментальної чутливості у дослідженнях подвійного бета-розпаду ядер ^{100}Mo , ^{106}Cd , ^{116}Cd , ^{150}Nd , ^{184}Os , ^{190}Pt , маси нейтрино Майорани, параметрів правих токів у слабкій взаємодії, найточніше вимірювання двонейтринного подвійного бета ($2\nu 2\beta$) розпаду ядер ^{100}Mo , ^{116}Cd та ^{150}Nd , підготовка великомасштабного експерименту з пошуку безнейтринного подвійного бета ($0\nu 2\beta$) розпаду ^{100}Mo .

4.3. Детальний зміст Проєкту:

- Сучасний стан проблеми (до 400 знаків)

Реєстрація $0\nu 2\beta$ -розпаду атомних ядер (усе ще не спостереженого) дозволить визначити масу та схему масових станів нейтрино, природу нейтрино, перевірити закон збереження лептонного числа. Розробляються та готуються великомасштабні експерименти з метою підвищити чутливість до $0\nu 2\beta$ -розпаду до рівня інвертованої схеми масових станів, точніше виміряти різні канали двонейтринної моди розпаду.

- Новизна Проєкту (до 400 знаків)

Експерименти буде виконано за допомогою новітніх методів детектування, на новому рівні чутливості, очікується найбільш точне вимірювання $2\nu 2\beta$ -розпаду ядер ^{100}Mo , ^{116}Cd та ^{150}Nd , можливе перше спостереження процесу електронного поглинання з випромінюванням позитрону ($\text{EC}\beta^+$, у ядрі ^{106}Cd).

- Методологія дослідження (до 400 знаків)

Дослідження 2β -розпаду ядер ^{100}Mo та ^{116}Cd буде виконано методом низькотемпературних сцинтиляційних болومترів, пошуки 2β -процесів у ядрах ^{150}Nd , ^{184}Os , ^{190}Pt – за допомогою наднизькофонових напівпровідникових детекторів з надчистого германію, пошук 2β -розпаду ядра ^{106}Cd буде проведено з унікальним сцинтиляційним кристалом вольфрамату кадмію, збагаченим ізотопом кадмію-106.

5. ОТРИМАНІ НАУКОВІ АБО НАУКОВО-ТЕХНІЧНІ РЕЗУЛЬТАТИ (до 2 сторінок) в поточному році/ в рамках реалізації Проєкту, зокрема:

5.1. Опис наукових або науково-технічних результатів, отриманих в рамках виконання Проєкту (із зазначенням їх якісних та кількісних (технічних) характеристик)

Розроблена конструкція установки для дослідження 2β -розпаду ядра ^{106}Cd за допомогою збагаченого ізотопом кадмію-106 сцинтиляційного кристалу вольфрамату кадмію ($^{106}\text{CdWO}_4$) у збігах з двома сцинтиляційними лічильниками з кристалами вольфрамату кадмію (CdWO_4) великого об'єму у тісній геометрії з детектором $^{106}\text{CdWO}_4$. Нова конструкція установки забезпечила зниження фону детектора $^{106}\text{CdWO}_4$ у 3–5 разів (в залежності від енергії в області енергій 0.6–3.0 MeV), зокрема завдяки використанню для детектора $^{106}\text{CdWO}_4$ спеціального метало-керамічного фотоелектронного помножувача з наднизьким рівнем радіоактивної забрудненості. Енергетичну роздільну здатність покращено на $\approx 80\%$ для детектора $^{106}\text{CdWO}_4$ і на (10–15)% для лічильників CdWO_4 завдяки використанню світловодів з надчистого кварцу для сцинтиляційних лічильників CdWO_4 і світловоду з пластмасового сцинтилятора на основі полістиролу для детектора $^{106}\text{CdWO}_4$.

Методом Монте-Карло виконані моделювання фону в експериментах з болометрами на основі кристалів молібдату та вольфрамату кадмію. Зокрема, розраховано рівні фону від радіонуклідів, космогенно утворених у підземній лабораторії у молібдатах літію, кальцію і свинцю. Показано, що оптимальним для експерименту АМоRE-II є детектор з кристалами молібдату літію, фон від космогенної активації якого буде нехтовно малим, а саме 0.18 відліків у детекторі масою 200 кг за 5 років вимірювань в діапазоні енергій ± 15 кеВ від енергії 2β -розпаду ^{100}Mo . Досліджено характеристики низькотемпературних сцинтиляційних болометрів з кристалами молібдату літію кубічної форми. Показано, що такі детектори не поступаються за своїми характеристиками детекторам з кристалами циліндричної форми, забезпечуючи вищий коефіцієнт використання об'єму низькофонового криостату.

Виконано попереднє моделювання фону детекторів CdWO_4 та $^{116}\text{CdWO}_4$ в установці CROSS від радіонуклідів природного походження ^{40}K , ^{212}Pb , ^{212}Bi , ^{208}Tl , ^{214}Pb та ^{214}Bi . Моделювання компонент фону триває для збільшення статистичної точності моделей, врахування внеску інших радіонуклідів з метою аналізу джерел фону та його зниження шляхом усунення найбільш радіоактивно забруднених деталей установки.

Методом Монте-Карло розраховані ефективності реєстрації ефекту в експерименті для дослідження подвійного бета-розпаду ядра ^{150}Nd на збуджені рівні дочірнього ядра за допомогою наднизькофонового напівпровідникового детектора з чотирма кристалами надчистого германію. Планується експериментальна перевірка розрахованих ефективностей, зокрема у режимі збігів між детекторами.

Розраховано ефективності реєстрації напівпровідниковим детектором з надчистого германію процесів резонансного безнейтринного подвійного електронного поглинання ($0\nu 2\text{EC}$) у ядрі ^{184}Os . Ці розрахунки будуть застосовані для аналізу даних вимірювань зі зразком осмію високої чистоти з метою пошуку резонансних $0\nu 2\text{EC}$ -переходів ядра ^{184}Os на збуджені рівні ^{184}W .

Виконані розрахунки методом Монте-Карло відгуку детекторної системи із двох напівпровідникових детекторів з надчистого германію до резонансних $0\nu 2\text{EC}$ -розпадів ядра ^{190}Pt на збуджені стани ^{190}Os , розпочато аналіз даних з метою оцінки обмежень на періоди напіврозпаду ядра ^{190}Os відносно процесів 2β -розпаду.

5.2. За наявності науково-технічної продукції обґрунтування її переваг у порівнянні з існуючими аналогами

Перевагою нової конструкції установки для дослідження 2β -розпаду ядра ^{106}Cd за допомогою збагаченого сцинтиляційного кристалу $^{106}\text{CdWO}_4$ є нижчий рівень радіоактивного фону та вищі спектрометричні характеристики, що дозволить суттєво підвищити чутливість експерименту до різних мод і каналів 2β -розпаду ядра ^{106}Cd .

Використання у низькотемпературних сцинтиляційних болометрах кристалів молібдату літію кубічної форми дозволить збільшити масу досліджуваного ізотопу в установці CUPID, а отже підвищити чутливість експерименту до маси нейтрино та інших ефектів за межами стандартної моделі елементарних частинок і взаємодій.

Виконані розрахунки ефективності реєстрації γ -квантів наднизькофоновим напівпровідниковим детектором з чотирма кристалами надчистого германію показали можливість найбільш точного вимірювання періоду напіврозпаду ядра ^{150}Nd відносно $2\nu 2\beta$ -розпаду на перший 0^+ збуджений рівень ядра ^{150}Sm .

Завдяки виконаним розрахункам ефективностей реєстрації γ -квантів напівпровідниковими детекторами з надчистого германію показано, що в експериментах зі зразками платини та осмію можна досягнути вищої чутливості до процесів резонансного $0\nu 2\text{EC}$ -розпаду ядер ^{184}Os та ^{190}Pt .

5.3. Практична цінність отриманих результатів реалізації Проєкту для економіки та суспільства (стосується проєктів, що передбачають проведення прикладних наукових досліджень і науково-технічних розробок)

Не дивлячись на фундаментальний характер проєкту, результати розробки експериментальних методів пошуку $0\nu 2\beta$ -розпаду ядра ^{100}Mo за допомогою низькотемпературних сцинтиляційних болометрів можуть бути застосовані для розвитку високотехнологічного виробництва кристалів молібдату літію в Україні. Також розроблені методи низькофонові гамма-спектрометрії з детекторами з надчистого германію сприяють розвитку в Україні технологій глибокого очищення металів.

5.4. Опис шляхів та способів подальшого використання результатів виконання Проєкту в суспільній практиці.

Результати Проєкту будуть використані для розробки методів дослідження рідкісних ядерних процесів, властивостей нейтрино та слабкої взаємодії, зокрема для підготовки великомасштабних міжнародних проєктів з метою дослідження інвертованої схеми масових станів нейтрино AMoRE II та CUPID (обидва – за участі учасників Проєкту), для подальшого розвитку методів експериментальних досліджень подвійного бета-розпаду ядер ^{106}Cd , ^{116}Cd , ^{150}Nd , ^{184}Os , ^{190}Pt . Результати розробки експериментальних методів досліджень 2β -розпаду ядер ^{100}Mo та ^{116}Cd дозволять уточнити значення періодів напіврозпаду та механізм розпаду цих ядер, що важливо для розвитку теорії атомного ядра.

Науковий керівник Проєкту

Завідувач відділу фізики лептонів ІЯД НАНУ

(посада)

Даневич Федір Анатолійович

ПІБ



(підпис)