

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ЯДЕРНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Заступник директора з наукової роботи
 В.В. Давидовський

« 09 » жовтня 2024 р.



НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС ДИСЦИПЛІНИ

Фізика елементарних частинок без прискорювачів

Освітньо-кваліфікаційний рівень: доктор філософії

Галузь знань: 10 - Природничі науки

Спеціальність : 104 – Фізика та астрономія

Освітня програма: *Фізика ядра, фізика елементарних частинок і високих енергій; ядерно-фізичні установки; радіаційна фізика конденсованого стану; фізика плазми і ядерного синтезу.*

Статус курсу: *фаховий (вибірковий)*

Київ 2024

Фізика елементарних частинок без прискорювачів: Навчально-методичний комплекс дисципліни. – Київ: ІЯД НАНУ, 2024. - 37 с.

Укладач: В.І. Третяк, кандидат фізико-математичних наук, старший науковий співробітник

Ухвалено на засіданні Вченої ради Інституту ядерних досліджень НАН України

протокол № 10 від “ 8 ” жовтня 2024 р.

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ЯДЕРНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

НАВЧАЛЬНА ПРОГРАМА ДИСЦИПЛІНИ

Фізика елементарних частинок без прискорювачів

Освітньо-кваліфікаційний рівень: *доктор філософії*

Галузь знань: *10 – Природничі науки*

Спеціальність: *104 – Фізика та астрономія*

Освітня програма: *Фізика ядра, фізика елементарних частинок і високих енергій; ядерно-фізичні установки; радіаційна фізика конденсованого стану; фізика плазми і ядерного синтезу.*

Статус курсу: *фаховий (вибірковий)*

I. ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

Програма з курсу «**Фізика елементарних частинок без прискорювачів**» відповідає навчальному плану підготовки аспірантів за спеціальністю **104 – Фізика та астрономія** (галузь знань: **10 – Природничі науки**), що здобувають освітньо-кваліфікаційний рівень доктора філософії на відповідній освітній програмі ІЯД НАН України.

Курс «**Фізика елементарних частинок без прискорювачів**» є необхідною складовою є складовою вибіркових навчальних дисциплін циклу професійної та практичної підготовки докторів філософії за спеціальністю **104 – Фізика та астрономія**, напрям підготовки: Фізика ядра, фізика елементарних частинок і високих енергій; ядерно-фізичні установки; радіаційна фізика конденсованого стану; фізика плазми і ядерного синтезу. Курс дає можливість ознайомити аспірантів з задачами, які вирішує неприскорювальна фізика елементарних частинок (astroparticle physics), особливостями експериментальних методів, які застосовуються для дослідження рідкісних ядерних та суб-ядерних процесів, методами аналізу даних низькофонових експериментів, сучасним станом досліджень в галузі фізики нейтрино, пошуків темної матерії, різноманітних гіпотетичних процесів та частинок, досліджень рідкісних бета- та альфа-розпадів.

Курс «Фізика елементарних частинок без прискорювачів» викладається на 2 або 3 році навчання в осінньому або весняному семестрі та розрахований на 6 навчальних тижнів (по 2 ауд. год. щотижня; перший тиждень занять – лекційний). Вивчення курсу передбачає аудиторну (лекції – 16 год.; практичні заняття – 8 год.; консультація – 2 год.) і самостійну роботу (34 год.). Загальна кількість годин, відведених на опанування дисципліни – 60 (2 кредити ЄКТС).

Мета дисципліни – ознайомлення аспірантів з основними положеннями неприскорювальної фізики елементарних частинок, задачами і можливостями цієї галузі фізики у фундаментальних дослідженнях, специфікою експериментальних методів досліджень рідкісних ядерних розпадів (подвійного бета розпаду, альфа, бета та кластерних розпадів, пошуків ефектів за межами Стандартної моделі елементарних частинок (з порушенням законів збереження електричного заряду, баріонного та лептонного чисел), засвоєння методів Монте Карло генерації випадкових подій із заданими енергетичними розподілами та кутовими кореляціями.

Завдання – сформулювати у аспірантів базові знання про предмет, задачі і перспективи неприскорювальної фізики елементарних частинок, основні досягнення і невирішені проблеми, про специфіку експериментальних методів пошуку рідкісних ядерних розпадів, аналізу даних з низькою статистикою, пошуку та аналізу відповідних статей в опублікованій літературі.

Структура курсу.

У результаті вивчення навчальної дисципліни аспірант повинен:

Знати: Основні поняття неприскорювальної фізики елементарних частинок, завдання та перспективи її розвитку, історію та основні результати

у цій галузі досліджень за останні 10-15 років, задачі та перспективи експериментів наступного покоління, особливості методів наднизькофонових експериментів, методи Монте-Карло моделювання процесів розповсюдження ядерних випромінювань, сучасні методи низькофонові ядерної спектрометрії та реєстрації подій, різні типи детекторів, які застосовуються у низькофонових експериментах, джерела інформації про вже отримані результати та сучасний статус і перспективи в цій галузі досліджень, внесок України у неперискорювальну фізику елементарних частинок.

Вміти: Користуватися базами даних про властивості ядер, характеристики детекторів ядерних випромінювань, радіоактивну забрудненість матеріалів. Оцінювати граничні значення ефекту в даних з дуже низькою статистикою. Орієнтуватися у доборі спеціальної сучасної наукової літератури в галузі неперискорювальної фізики елементарних частинок та методів низькофонові ядерної спектрометрії, самостійно працювати з нею.

Місце дисципліни (*в структурно-логічній схемі підготовки фахівців відповідного напрямку*). Вибіркова навчальна дисципліна «**Фізика елементарних частинок без прискорювачів**» є складовою циклу професійної підготовки фахівців освітньо-кваліфікаційного рівня «доктор філософії». Система знань, отримана при вивченні даного курсу, є необхідною для вільного ознайомлення з науковою літературою та при виконанні відповідних кваліфікаційних робіт.

Зв'язок з іншими дисциплінами. При вивченні дисципліни «Фізика елементарних частинок без прискорювачів» використовуються знання та вміння, набуті аспірантами під час вивчення курсів загальної фізики, квантової механіки, ядерної фізики, фізики елементарних частинок, статистичної фізики.

II. ТЕМАТИЧНИЙ ПЛАН ДИСЦИПЛІНИ

№	Назва теми	Кількість годин				
		Всього	Лекцій	Практичних занять	Самостійна та індиві- дуальна робота	Консультації
	Розділ (змістовний модуль) 1. Подвійний бета розпад атомних ядер.	-	-	-	-	-
	Тема 1. Вступ. Поняття про подвійний бета розпад. Двохнейтринна та безнейтринна моди, розпади з вильотом майоронів. Історія досліджень.	3	1	-	2	-
	Тема 2. Сучасний стан досліджень подвійного бета розпаду. Використання різних детекторів та підходів для досліджень і пошуків нових подвійних бета розпадів.	3	1	-	2	-
	Тема 3. Помилкові повідомлення про спостереження подвійного бета розпаду: аналіз їх появи та уроки.	4	1	-	2	
	Тема 4. Напівемпіричні розрахунки періодів напіврозпаду двохнейтринного подвійного бета процесу.	6	1	2	2	
	Всього по розділу 1	16	4	2	8	-
	Розділ (змістовний модуль) 2. Рідкісні ядерні розпади.	-	-	-	-	-
	Тема 5. Бета розпад. Класифікація, форми енергетичних спектрів.		1	-	2	
	Тема 6. Пошуки та дослідження рідкісних бета розпадів.		1	-	2	
	Тема 7. Пошуки та дослідження рідкісних альфа розпадів.		1	-	2	
	Тема 8. Напівемпіричні формули для розрахунків періодів напіврозпаду бета та альфа розпадів.		1	2	2	
	Тема 9. Пошуки та дослідження розпадів із вильотом кластерів.		1	-	2	
	Тема 10. Ядерні переходи в надщільний стан.		1	-	2	
	Тема 11. Надважкі елементи: пошуки надважких ядер в природі.		1	-	2	
	Всього по розділу 2	25	7	2	14	-
	Розділ (змістовний модуль) 3. Гіпотетичні ядерні розпади за межами Стандартної моделі.	-	-	-	-	-

	Тема 12. Процеси з порушенням закону збереження електричного заряду (розпади електрона, бета розпад з порушенням електричного заряду).	3	1	-	2	
	Тема 13. Процеси з порушенням закону збереження баріонного числа (розпади нуклонів, ди- та три-нуклонів в невидимі канали).	3	1	-	2	
	Всього по розділу 3	6	2	0	4	-
	Розділ (змістовний модуль) 4. Методи Монте Карло для ядерних розпадів. Розрахунки факторів зменшення світловиходу сцинтиляторів для важких іонів.	-	-	-	-	-
	Тема 14. Методи Монте Карло для генерації кінематики частинок, що вилітають в подвійному бета розпаді та в бета і альфа розпадах.		1	2	4	
	Тема 15. Генератор подій DECAY0.		1	1	2	
	Тема 16. Розрахунки факторів зменшення світловиходу сцинтиляторів для важких іонів.		1	1	2	
	Всього по розділу 4	34	3	4	8	-
	Іспит	-	-	-	-	2
	Всього	60	16	8	34	2

ЗМІСТ КУРСУ

Розділ (змістовний модуль) 1. Подвійний бета розпад атомних ядер.

Тема 1. Вступ. Поняття про подвійний бета розпад. Двохнейтринна та безнейтринна моди, розпади з вильотом майоронів. Історія досліджень.

Теоретична можливість розпаду атомних ядер з одночасним випроміненням двох електронів або позитронів. Захоплення електрону з атомної оболочки з випроміненням позитрону. Подвійне електронне захоплення. Двохнейтринна та безнейтринна моди подвійного бета розпаду. Безнейтринні розпади з вильотом різних майоранів. Маса нейтрино та абсолютна шкала мас. Експерименти по осциляціям нейтрино. Нейтрино Майорани та Дірака. Незбереження лептонного числа. Можливе існування правих токів в слабкій взаємодії. Зв'язок лептонного та баріонного чисел. Баріонна асиметрія всесвіту. Історія досліджень подвійного бета розпаду.

Тема 2. Сучасний стан досліджень подвійного бета розпаду. Використання різних детекторів та підходів для досліджень і пошуків нових подвійних бета розпадів.

Експериментальні підходи до пошуків та вивчення подвійного бета розпаду. Геохімічний, радіохімічний методи та пряме спостереження. Історія теоретичних та експериментальних досліджень. Сучасний стан знань двохнейтринної моди. Пошуки безнейтринної моди. Нещодавно закінчені експерименти (Heidelberg-Moscow, NEMO-3, Cuoricino, EXO-200). Сучасні експерименти (GERDA, Majorana, Lucifer, CUPID-0, LUMINEU, CUPID-Mo, AURORA, CUORE, KamLAND-Zen, Super-NEMO, AMoRE, NEXT, CANDLES, TGV, COBRA). Майбутні експерименти (LEGEND, CUPID, SNO+, PANDAX III).

Тема 3. Помилкові повідомлення про спостереження подвійного бета розпаду: аналіз їх появи та уроки.

Захоплююча історія помилкових повідомлень про відкриття подвійного бета розпаду (двохнейтринного та безнейтринного): від експерименту E. Fireman 1949 р. до експеримента Heidelberg-Moscow 2001 р. Причини таких повідомлень. Передній край чутливості до вкрай низькоінтенсивних розпадів.

Тема 4. Напівемпіричні розрахунки періодів напіврозпаду двохнейтринного подвійного бета процесу.

Фазові фактори. Ядерні матричні елементи. Важливість напівемпіричних методів розрахунків періодів напіврозпаду для подвійного бета розпаду. Формула Pritychenko. Формула Ren et al. Формула Rajan et al.

Розділ (змістовний модуль) 2. Рідкісні ядерні розпади.

Тема 5. Бета розпад. Класифікація, форми енергетичних спектрів.

Класифікація бета розпадів (дозволені, заборонені різного ступеню заборони, унікальні та неунікальні). Ядерні матричні елементи в бета розпадах різного виду. Форма енергетичного спектру. Види корекційних факторів для унікальних та неунікальних розпадів. Функція Фермі. Експериментальні корекційні фактори, їх класифікація та література. Приклади спектрів різного типу (^{14}C , ^{87}Rb , ^{40}K , $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$, ^{137}Cs).

Тема 6. Пошуки та дослідження рідкісних бета розпадів.

Пошуки рідкісних бета розпадів (^{48}Ca , ^{96}Zr , $^{180\text{m}}\text{Ta}$, ^{123}Te , ^{50}V , ^{113}Cd , ^{115}In , ^{222}Rn). Бета розпад $^{115}\text{In} \rightarrow ^{115}\text{Sn}^*$ з найменшою відомою енергією (148 eV). Залежність періоду напіврозпаду та форми спектру від констант слабкої взаємодії g_A та g_V . Важливість цих констант для подвійного бета розпаду.

Тема 7. Пошуки та дослідження рідкісних альфа розпадів.

Вступ. Нещодавні відкриття рідкісних альфа розпадів (^{148}Sm , ^{151}Eu , ^{180}W , $^{178\text{m}}\text{Hf}^*$, $^{190}\text{Pt}^*$, ^{209}Bi , $^{209}\text{Bi}^*$). Пошуки (^{174}Hf , ізотопи Os). Спостереження випромінювання e^+e^- пари при альфа розпаді ^{241}Am . Гіпотетичні ефекти в альфа розпадах (можливе прискорення розпаду в металах при низьких температурах; можливе прискорення в надтекучому He; вплив оточення).

Тема 8. Напівемпіричні формули для розрахунків періодів напіврозпаду бета та альфа розпадів.

Формули для бета розпаду: Zhang et al. Програма LOGFT (NNDC).

Формули для альфа розпаду: Гейгера-Нуттала; Froman; Poenaru et al.; Wapstra; Brown; Taagepera et al.; Viola et al.; Royer; Fujiwara; Ren et al.; Santosh et al.; Denisov et al.

Тема 9. Пошуки та дослідження розпадів із вильотом кластерів.

Теоретичне передбачення нового виду ядерного розпаду. Перше експериментальне спостереження. Сучасний стан експериментальних та теоретичних досліджень. Методи спостережень (ядерні емульсії, магнітні спектрометри, спостереження гамма квантів від дочірніх продуктів, спостереження послідовності розпадів нестабільних продуктів). Напівемпіричні формули для розрахунків періодів напіврозпаду для кластерних розпадів

Тема 10. Ядерні переходи в надщільний стан.

Ідеї Мігдала щодо існування надщільного стану атомних ядер. Піонний конденсат. Експериментальні пошуки такого розпаду різними методами.

Тема 11. Надважкі елементи: пошуки надважких ядер в природі.

Модель рідкої краплі для описання атомного ядра та оболонкові поправки Майерса, Струтинського та ін. Передбачення існування надважких ядер. Синтез надважких ядер на прискорювачах. Пошуки надважких з великими періодами напіврозпаду в природі. Гігантські гало від альфа частинок в мінералах. Поділи надважких в метеоритах та термальних водах пів-острову Челекен. Довгі треки в кристалах олівіну з метеоритів. Пошуки одночасного випромінювання кількох нейтронів в поділах надважких. Сучасні експерименти по пошуку надважких в природі (Marinov, OLYMPIA, SHIN, великі енерговиділення в кристалічних сцинтиляторах).

Розділ (змістовний модуль) 3. Гіпотетичні ядерні розпади за межами Стандартної моделі.

Тема 12. Процеси з порушенням закону збереження електричного заряду (розпади електрона, бета розпад з порушенням електричного заряду).

Пошуки можливого розпаду електрона як перевірка закону збереження електричного заряду. Можливі моди розпаду електрона: на гамма квант та електронне нейтрино; на декілька нейтрино; переходи в додаткові розмірності; зникнення із збудженням сусіднього ядра. Перевірка принципу Паулі. Бета розпад з порушенням електричного заряду. Сучасні експерименти та експериментальні обмеження на імовірності таких процесів.

Тема 13. Процеси з порушенням закону збереження баріонного числа (розпади нуклонів, ди- та три-нуклонів в невидимі канали).

Додаткові просторові та часові розмірності. Ідеї Рубакова, Двалі, Бабу про можливий перехід електронів та нуклонів в додаткові розмірності. Баріонна асиметрія всесвіту. Пошуки розпаду протона. Процеси з порушенням баріонного заряду на 1, 2 та 3 одиниці. Теоретичні передбачення часів життя. Важливість оцінки часу життя нуклонів безвідносно до моди розпаду. Експериментальні пошуки зникнення нуклонів (розпадів по «невидимим» каналам) різними методами (пошуки індукованого розпаду ядер; вільних нейтронів після розпаду протона в дейтроні – експерименти з важкою водою Bugey, SNO; геохімічні та радіохімічні пошуки; індукований поділ ядра високоенергетичними нейтрино; радіоактивні розпади дочірніх ядер в експериментах DAMA, Borexino). Пошуки розпадів ди- та три-нуклонів. Майбутні експерименти.

Розділ (змістовний модуль) 4. Методи Монте Карло для ядерних розпадів. Розрахунки факторів зменшення світловиходу сцинтиляторів для важких іонів.

Тема 14. Методи Монте Карло для генерації кінематики частинок, що вилітають в подвійному бета розпаді та в бета і альфа розпадах.

Загальні програми моделювання взаємодії частинок з матерією (GEANT3,

GEANT4, MCNP, EGS, FLUKA). Необхідність задавання початкової кінематики частинок, що випромінюються в радіоактивному розпаді (число частинок, їхні типи, енергії, напрямки руху, час випромінювання). Загальні методи Монте Карло. Генерація випадкових чисел, рівномірно розподілених в діапазоні (0, 1). Періоди повтору послідовності, кореляції. Загальні методи генерації випадкових чисел із заданими розподілами імовірностей (метод Неймана, обернених функцій, для дискретних величин, суперпозицій). Генерація кінематики частинок, випромінюваних в подвійному бета, бета та альфа розпадах. Література для детального вивчення методів Монте Карло в задачі взаємодії частинок з речовиною. Джерела даних по атомних ядрах та їх розпадах (часи життя, моди розпаду, імовірності заселення різних рівнів дочірніх ядер, вильоту гамма квантів, конверсійних електронів, електрон-позитронних пар, кутові кореляції). Помилки при генерації кінематики.

Тема 15. Генератор подій DECAU0.

Генератор подій DECAU0 для генерації методом Монте Карло початкової кінематики частинок (число частинок, їхні типи, енергії, напрямки руху, час вильоту), що випромінюються в: подвійному бета розпаді (40 ізотопів із 69 можливих, розпади на основний та збуджені рівні, 20 мод подвійного бета розпаду) та альфа і бета розпадах (59 ізотопів – калібровочні джерела та найбільш небезпечні ядра, що можуть імітувати подвійний бета розпад). Початковий діалог. Вихідні файли з кінематикою. Приклади застосування в сучасних експериментах (GERDA, DAMA, COBRA, Majorana, NEXT та ін.).

Тема 16. Розрахунки факторів зменшення світловиходу сцинтиляторів для важких іонів.

Вступ. Існування темної матерії у всесвіті та її пошуки в наднизькофонових експериментах в підземних лабораторіях. Фактори подавлення світловиходу сцинтиляторів для іонів порівняно з електронами такої ж енергії. Напівемпіричні розрахунки факторів подавлення з використанням теорії Біркса та програм розрахунків енерговиділення для електронів та іонів в речовині. Приклади застосування.

Література

Основна

1. Дж. Блатт, В. Вайскопф, Теоретическая ядерная физика, М.: ИИЛ, 1954.
2. R.D. Evans, The Atomic Nucleus, Bombay: Tata McGraw-Hill Publ. Comp., 1955.
3. Л.Б. Окунь, *Лептоны и кварки*, М.: Наука, 1983.

4. Г.В. Клапдор-Клайнгротхаус, А. Штаудт, *Неускорительная физика элементарных частиц*, М.: Наука, 1997.
5. F. Boehm, P. Vogel, *Physics of Massive Neutrinos*, Cambridge Univ. Press, 1992.
6. K. Zuber, *Neutrino Physics*, CRC Press, 2020.
7. S. Bilenky, *Introduction to the Physics of Massive and Mixed Neutrinos*, Springer, 2010.
8. M. Fukugita, T. Yanagida, *Physics of Neutrinos and Applications to Astrophysics*, Springer, 2003.
9. R.N. Mohapatra, P.B. Pal, *Massive Neutrinos in Physics and Astrophysics*, World Sci., 2004.
10. J.B. Birks, *The Theory and Practice of Scintillation Counting*, Pergamon Press, Oxford, 1964.
11. Yu.G. Zdesenko, The future of double β decay research, *Rev. Mod. Phys.* 74 (2002) 663.
12. K. Blaum et al., Neutrinoless double-electron capture, *Rev. Mod. Phys.* 92 (2020) 045007.
13. F.A. Danevich, V.V. Kobychiev, V.I. Tretyak, Search for effects beyond the Standard Model of particles in low counting experiments. Chapter 7 in book: "Dark Energy and Dark Matter in the Universe" (ed. by V. Shulga), vol. 3: "Observational Manifestation and Experimental Searches", Kyiv, Akademperiodyka, 2015, 375 p. (pp. 245-335).
14. P. Belli et al., Experimental searches for rare alpha and beta decays, *Eur. Phys. J. A* 55 (2019) 140.
15. V.I. Tretyak, Semi-empirical calculation of quenching factors for ions in scintillators, *Astropart. Phys.* 33 (2010) 40.

Додаткова

16. J. Suhonen, *From Nucleons to Nucleus*, Springer, 2007.
17. Б.С. Джелепов, А.Н. Зырянова, Ю.П. Суслов, *Бета-процессы*, Л.: Наука, 1972.
18. H. Behrens, W. Buhring, *Electron Radial Wave Functions and Nuclear Beta Decay*, Oxford: Clarendon Press, 1982.
19. С.Г. Кадменский, В.И. Фурман, *Альфа-распад и родственные ядерные реакции*, М.: Энергоатомиздат, 1985.
20. Э. Сегре (ред.), *Экспериментальная ядерная физика*, т. 1-3, М.: ИИЛ, 1955.

- 21.К. Зигбан (ред.), *Альфа-, бета- и гамма-спектроскопия*, т. 1-4, М.:Атомиздат, 1969.
- 22.Particle Data Group, Review of Particle Physics, Progress of Theoretical and Experimental Physics 08 (2020) C01.
- 23.G. Heusser, Low-radioactivity background techniques, Annu. Rev. Nucl. Part. Sci. 45 (1995) 543.
- 24.S. Cebrian, Cosmogenic activation of materials, International Journal of Modern Physics A 32 (2017) 1743006.
- 25.F. A. Danevich, V. I. Tretyak, Radioactive contamination of scintillators, International Journal of Modern Physics A 33 (2018) 1843007.
- 26.D. Poda, A. Giuliani, Low background techniques in bolometers for double-beta decay search, International Journal of Modern Physics A 32 (2017) 1743012.
- 27.J.A. Formaggio, C.J. Martoff, Backgrounds to sensitive experiments underground, Annu. Rev. Nucl. Part. Sci. 54 (2004) 361.
- 28.S. Agostinelli et al., GEANT4 – a simulation toolkit, Nucl. Instrum. Methods A 506 (2003) 250.
- 29.S. Niese, Underground laboratories for low-level radioactivity measurements, Radioactivity in the Environment 11 (2008) 209.
- 30.G.J. Feldman, R.D. Cousins, Unified approach to the classical statistical analysis of small signals, Phys. Rev. D 57 (1998) 3873.

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ

ІНСТИТУТ ЯДЕРНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

РОБОЧА ПРОГРАМА ДИСЦИПЛІНИ

Фізика елементарних частинок без прискорювачів

Галузь знань, спеціальність, освітня програма, освітньо- кваліфікаційний рівень	Організаційно-методична характеристика навчальної дисципліни	
	Академічна характеристика	Структура
10 – Природничі науки 104 – Фізика та астрономія Освітня програма – Фізика (Теоретична фізика) Доктор філософії	Рік навчання: 2 або 3 Семестр: 1 або 2 * Кількість годин на тиждень: 4 Статус курсу: <i>фаховий (вибірковий)</i> Кількість ECTS кредитів: 4 * дисципліна може викладатися на 2 або 3 році навчання в осінньому або весняному семестрі	Кількість годин: Загальна: 140 Лекції: 32 Практичні заняття: 16 Консультація 2 Самостійна робота: 90 Вид підсумкового контролю: іспит

Робоча програма складена для докторів філософії – Освітня програма Фізика ядра, фізика елементарних частинок і високих енергій; ядерно-фізичні установки; радіаційна фізика конденсованого стану; фізика плазми і ядерного синтезу.

Укладач: В.І. Третяк, кандидат фіз.-мат. наук, ст. наук. співробітник.

III. ПЛАН ЛЕКЦІЙНИХ ЗАНЯТЬ

МЕТА ТА МЕТОДИЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ПРОВЕДЕННЯ ЛЕКЦІЙ

Проведення лекційних занять націлено на донесення загальних знань та побудову теоретичних та практичних методів по дисципліні, на сприяння розвитку у аспірантів розумової діяльності і розширення світогляду.

Розділ (змістовний модуль) 1. Детектори у неприскорювальну фізиці елементарних частинок.

Заняття 1. Тема 1. . Поняття про подвійний бета розпад. Двохнейтринна та безнейтринна моди, розпади з вильотом майоронів. Історія досліджень.
План.

1. Теоретична можливість розпаду атомних ядер з одночасним випроміненням двох електронів або позитронів. Види подвійного бета розпаду.
2. Маса нейтрино. Нейтринні осциляції. Нейтрино Майорани та Дірака.
3. Енергетичні спектри електронів (одиначні та сумарні).
4. Зв'язок лептонного та баріонного чисел. Баріонна асиметрія всесвіту.
5. Історія досліджень подвійного бета розпаду.

Література

1. [4]
2. [5]
3. [6]

Заняття 2. Сучасний стан досліджень подвійного бета розпаду. Використання різних детекторів та підходів для досліджень і пошуків нових подвійних бета розпадів.

План.

1. Геохімічний, радіохімічний методи та пряме спостереження подвійного бета розпаду.
2. Сучасний стан знань двохнейтринної та безнейтринної моди.
3. Експерименти – нещодавно закінчені, сучасні, майбутні.

Література

1. [6]
2. [11]
3. [12]

Заняття 3. Тема 3. Помилкові повідомлення про спостереження подвійного бета розпаду: аналіз їх появи та уроки.

План.

1. Історія помилкових повідомлень про відкриття подвійного бета розпаду.
2. Аналіз причин таких повідомлень.

3. Специфічні джерела фону у низькофонових експериментах.

Література

1. [11]
2. [12]

Заняття 4. Тема 4. Напівемпіричні розрахунки періодів напіврозпаду двохнейтринного подвійного бета процесу.

План.

1. Важливість напівемпіричних методів розрахунків періодів напіврозпаду для подвійного бета розпаду.
2. Формула Pritychenko.
3. Формула Ren et al.
4. Формула Rajan et al. – приклад невдалого підходу.

Література

1. [6]
2. [11]
3. [12]

Розділ (змістовний модуль) 2. Рідкісні ядерні розпади.

Заняття 5. Тема 5. Бета розпад. Класифікація, форми енергетичних спектрів.

План.

1. Класифікація бета розпадів.
2. Форма енергетичного спектру. Види корекційних факторів для унікальних та неунікальних розпадів.
3. Експериментальні корекційні фактори, їх класифікація та література.
3. Приклади енергетичних спектрів різного типу.

Література

1. [1]
2. [2]
3. [16]
4. [17]

Заняття 6. Тема 6. Пошуки та дослідження рідкісних бета розпадів.

План.

1. Пошуки рідкісних бета розпадів.
2. Бета розпад $^{115}\text{In} \rightarrow ^{115}\text{Sn}^*$ з найменшою відомою енергією (148 eV).
3. Залежність періоду напіврозпаду та форми спектру від констант слабкої взаємодії g_A та g_V .

Література

1. [13]
2. [14]

Заняття 7. Тема 7. Пошуки та дослідження рідкісних альфа розпадів.

План.

1. Нещодавні відкриття рідкісних альфа розпадів.
2. Пошуки рідкісних альфа розпадів на основний стан та збуджені рівні дочірніх ядер.
3. Спостереження випромінювання e^+e^- пари при альфа розпаді ^{241}Am .
4. Приклади застосування низькотемпературних болометрів для низькофонових експериментів.
5. Гіпотетичні ефекти в альфа розпадах.

Література

1. [13]
2. [14]

Заняття 8. Тема 8. Напівемпіричні формули для розрахунків періодів напіврозпаду бета та альфа розпадів.

План.

1. Формули для бета розпаду: Zhang et al. Програма LOGFT.
2. Формули для альфа розпаду: Гейгера-Нуттала; Froman; Poenaru et al.; Wapstra; Brown; Taagepera et al.; Viola et al.; Royer; Fujiwara; Ren et al.; Santosh et al.; Denisov et al.

Література

1. [1]
2. [17]
3. [19]

Заняття 9. Тема 9. Пошуки та дослідження розпадів із вильотом кластерів.

План.

1. Теоретичне передбачення кластерного розпаду.
2. Методи спостережень.
3. Сучасний стан експериментальних та теоретичних досліджень.
4. Напівемпіричні формули для розрахунків періодів напіврозпаду для кластерних розпадів.

Література

1. [14]
2. [19]

Заняття 10. Тема 10. Ядерні переходи в надщільний стан.

План.

1. Ідеї Мігдала. Піонний конденсат.
2. Експериментальні пошуки переходів ядер в надщільний стан різними методами.

Література

1. [1]
2. [4]
3. [13]
4. [14]

Заняття 11. Тема 11. Надважкі елементи: пошуки надважких ядер в природі.

План.

- 1 Модель рідкої краплі для описання атомного ядра та оболонкові поправки Майерса, Струтинського та ін.
2. Передбачення існування надважких ядер. Синтез надважких ядер на прискорювачах.
3. Пошуки надважких з великими періодами напіврозпаду в природі: історія та сучасні експерименти.

Література

1. [11]
2. [13]

Розділ (змістовний модуль) 3. Гіпотетичні ядерні розпади за межами Стандартної моделі.

Заняття 12. Тема 12. Процеси з порушенням закону збереження електричного заряду (розпади електрона, бета розпад з порушенням електричного заряду).

План.

1. Пошуки можливого розпаду електрона як перевірка закону збереження електричного заряду. Можливі моди розпаду електрона.
2. Перевірка принципу Паулі.
3. Бета розпад з порушенням електричного заряду.
4. Експерименти та експериментальні обмеження на імовірності таких процесів.

Література

1. [4]
2. [13]

Заняття 13. Тема 13. Процеси з порушенням закону збереження баріонного числа (розпади нуклонів, ди- та три-нуклонів в невидимі канали).

План.

1. Ідеї про можливе існування додаткових просторових та часових розмірностей.
2. Баріонна асиметрія всесвіту. Пошуки розпаду протона.
3. Процеси з порушенням баріонного заряду на 1, 2 та 3 одиниці.
4. Експериментальні пошуки зникнення нуклонів (розпадів по «невидимим» каналам) різними методами.
5. Майбутні експерименти.

Література

1. [4]
2. [13]

Розділ (змістовний модуль) 4. Методи Монте Карло для ядерних розпадів. Розрахунки факторів зменшення світловиходу сцинтиляторів для важких іонів.

Заняття 14. Тема 14. Методи Монте Карло для генерації кінематики частинок, що вилітають в подвійному бета розпаді та в бета і альфа розпадах.

План.

1. Загальні програми моделювання взаємодії частинок з матерією.
2. Загальні методи Монте Карло генерації випадкових чисел із заданими розподілами імовірностей.
3. Генерація кінематики частинок, випромінених в подвійному бета, бета та альфа розпадах.
4. Джерела даних по атомних ядрах.
5. Помилки при генерації кінематики.

Література

1. [13]
2. [14]

Заняття 15. Тема 15. Генератор подій DECAU0.

План.

1. Генератор подій DECAU0 для генерації методом Монте Карло початкової кінематики частинок.
2. Початковий діалог.
3. Формат вихідного файла.
4. Приклади застосування.

Література

1. [13]
2. [14]

Заняття 16. Тема 16. Розрахунки факторів зменшення світловиходу сцинтиляторів для важких іонів.

План.

1. Існування темної матерії у всесвіті та її пошуки в наднизькофонових експериментах в підземних лабораторіях.
2. Фактори подавлення світловиходу сцинтиляторів для іонів порівняно з електронами такої ж енергії.
3. Напівемпіричні розрахунки факторів подавлення.
4. Приклади застосування.

Література

1. [15]

IV. ПЛАН ТА МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ

МЕТА ТА ОСОБЛИВОСТІ ПРОВЕДЕННЯ ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ

Практичні заняття є сполучною ланкою між лекційними заняттями та самостійною роботою і мають на меті поглиблене засвоєння понять, термінів і моделей з дисципліни та набуття практичних навиків розв'язання задач.

В процесі практичних занять з'ясовується ступінь засвоєння понятійно-термінологічного апарату та основних положень предмету, вміння розкривати конкретну тему, шукати сучасну літературу по темі, аналізувати і узагальнювати ключові питання курсу, робити числові оцінки, розв'язувати задачі.

Одним з важливих завдань проведення занять є отримання аспірантами навиків публічних виступів і дискусій.

ЗМІСТ ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ

Передбачаються такі види аудиторної роботи:

- розгляд і обговорення теоретичного за переліком контрольних питань по відповідних темах лекційних занять та питань для самостійного опрацювання;
- проведення семінарів з публічними виступами та доповідями по рефератах, підготовлених студентами самостійно за рекомендованою тематикою;
- розв'язання задач обчислювального характеру;
- проведення колоквіумів по засвоєнню матеріалу;
- виконання контрольних робіт за індивідуальним завданням;
- перевірка практичних завдань, виконаних студентами під час самостійної роботи;
- проведення консультацій з дисципліни;

Практичне заняття 1. Тема 4. Напівемпіричні розрахунки періодів напіврозпаду двохнейтринного подвійного бета процесу.

Контрольні питання:

1. Число нуклідів, для яких можливий подвійний бета розпад, та число нуклідів, для яких спостерігався двохнейтринний процес.
 2. Залежність імовірності процесу від енерговиділення та атомного номеру.
 3. Приклади напівемпіричних формул для розрахунків періоду напіврозпаду.
- Питання для самостійного поглибленого вивчення (теми доповідей):
1. Можливі моди подвійного бета розпаду.
 2. Бозонні нейтрино.
 3. Можливе порушення Лоренцівської інваріантності в подвійному бета розпаді.
 4. Енергетичні спектри електронів (одиначні та сумарні).
 5. Кутові кореляції випромінених електронів.

6. Розрахунки періодів напіврозпаду конкретних ядер за допомогою напівемпіричних формул.

Література:

- [4]
- [5]
- [6]
- [11]

Практичне заняття 2. Тема 8. Напівемпіричні формули для розрахунків періодів напіврозпаду бета та альфа розпадів.

Контрольні питання:

1. Класифікація бета розпадів.
2. Форми енергетичних спектрів для дозволених та заборонених (унікальних та не унікальних бета розпадів).
3. Приклади рідкісних бета розпадів, що були відкриті нещодавно.
4. Залежність імовірності бета процесу від енерговиділення, зміни спіну та парності.
5. Приклади рідкісних альфа розпадів, що були відкриті нещодавно.
6. Залежність імовірності альфа процесу від енерговиділення, зміни спіну та парності.

Питання для самостійного поглибленого вивчення (теми доповідей):

1. Бета розпади з малим енерговиділенням.
2. Потенційна можливість вимірювання маси нейтрино в бета розпадах.
3. Розрахунки періодів напіврозпаду конкретних ядер за допомогою напівемпіричних формул для бета розпадів.
4. Розрахунки періодів напіврозпаду конкретних ядер за допомогою напівемпіричних формул для альфа розпадів.

Література:

- [1]
- [2]
- [13]
- [14]
- [19]
- [20]

Практичне заняття 3. Тема 14. Методи Монте Карло для генерації кінематики частинок, що вилітають в подвійному бета розпаді та в бета і альфа розпадах.

Контрольні питання:

1. Методи отримання випадкових чисел, рівномірно розподілених в діапазоні (0, 1).
2. Отримання випадкових чисел з заданими розподілами.

3. Метод Неймана.
4. Метод обернених функцій.
5. Змішані методи.

Питання для самостійного поглибленого вивчення (теми доповідей):

1. Приклади невдалих методів отримання випадкових чисел.
2. Каскади переходів при заселенні збуджених рівнів ядер.
3. Конкуруючі процеси при переходах між ядерним рівнями: випромінення гамма квантів, конверсійних переходів та електрон-позитронних пар.
4. Залежність імовірності конверсійних процесів від енергії переходу, зміни спіну та парності.
5. Отримання енергетичних спектрів випромінених електронів в подвійному та одиночному бета розпадах.

Література:

- [1]
- [2]
- [13]
- [14]
- [19]
- [20]

Практичне заняття 4. Тема 15. Генератор подій DECAU0.

Контрольні питання:

1. Для чого створений DECAU0.
2. Скільки ядер описано в DECAU0 для подвійного бета розпаду та одиночних альфа та бета розпадів.
3. Формат вхідних та вихідних даних.

Питання для самостійного поглибленого вивчення (теми доповідей):

1. Практична робота з DECAU0 для конкретних ядер та мод розпаду.
2. Отримання енергетичних спектрів для згенерованих подій в розпадах атомних ядер для гамма квантів, електронів, електрон-позитронних пар, альфа частинок.

Література:

- [13]
- [14]

Практичне заняття 5. Тема 16. Розрахунки факторів зменшення світлового сцинтиляторів для важких іонів.

Контрольні питання:

1. Експериментальні факти, що свідчать про відхилення обертання галактик від законів Ньютона.
2. Можливі пояснення відхилення: існування темної матерії у всесвіті, Modified Newton Dynamics (MOND).

3. Претенденти на роль темної матерії: масивні об'єкти, малі чорні діри, слабковзаємодіючі елементарні частинки.

Питання для самостійного поглибленого вивчення (теми доповідей):

1. Можливі маси слабковзаємодіючих елементарних частинок (weak Interacting Massive Particles, WIMPs).
2. Методи детектування WIMPs в наднизькофонових експериментах в підземних лабораторіях.
3. Чому світловиділення у сцинтиляторах для іонів менше від світло виділення для електронів такої ж енергії.
4. Приклади факторів подавлення світловиділення в різних сцинтиляторах, діапазон значень факторів.
5. Від чого залежать фактори подавлення світловиділення.

Література:

- [4]
- [6]
- [10]
- [15]

V. МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

МЕТА І ЗАВДАННЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

Головна мета проведення самостійної роботи полягає у необхідності більш широкого огляду тематики курсу з використанням матеріалів підручників, періодичних видань, наукових праць, монографій з окремих питань дисципліни.

Важливою складовою самостійної роботи студентів є виконання індивідуальних робіт.

Виконання індивідуальних робіт має на меті:

- закріплення знань курсу;
- набуття навичок опрацювання наукової літератури (монографій, наукових статей);
- напрацювання вмінь та навичок розв'язування задач;
- навчання ефективному використанню фізико-математичних довідників, енциклопедій (включно з on-line інформацією) і т. ін.

ЗМІСТ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

№ теми	Завдання	Література	Форма контролю
1	Можливі моди подвійного бета розпаду. Майорони. Бозонні нейтрино. Можливе порушення Лоренцівської інваріантності в подвійному бета розпаді.	4, 5, 6, 11	Опитування, перевірка конспекту, виступи в аудиторії, розв'язання задач в аудиторії, перевірка самостійного розв'язання задач.

2	Енергетичні спектри електронів (одиначні та сумарні). Кутові кореляції випромінених електронів Експериментальні методи пошуків та досліджень подвійного бета розпаду. Минулі, сучасні та майбутні експерименти.	4, 5, 6, 11	Опитування , перевірка конспекту, виступи в аудиторії, розв'язання задач в аудиторії, перевірка самостійного розв'язання задач .
3	Аналіз причин помилкових повідомлень про спостереження подвійного бета розпаду.	4, 5, 6, 11	Опитування , перевірка конспекту, виступи в аудиторії, розв'язання задач в аудиторії, перевірка самостійного розв'язання задач .
4	Напівемпіричні розрахунки періодів напіврозпаду двохнейтринного подвійного бета процесу для декількох конкретних ядер з різними формулами. Порівняння з експериментальними даними.	4, 5, 6, 11	Опитування , перевірка конспекту, виступи в аудиторії, розв'язання задач в аудиторії, перевірка самостійного розв'язання задач .

5	Класифікація бета розпадів. Форми енергетичних спектрів. Експериментальні корекційні фактори. Причини відхилення експериментальних спектрів від теоретичних.	1, 2, 16, 17, 18	Опитування , перевірка конспекту, виступи в аудиторії, розв'язання задач в аудиторії, перевірка самостійного розв'язання задач .
6	Пошуки та дослідження рідкісних бета розпадів – приклади нещодавніх відкриттів. Бета розпади з супермалим енерговиділенням як потенційний метод вимірювання маси нейтрино.	1, 2, 16, 17, 18	Опитування , перевірка конспекту, виступи в аудиторії, розв'язання задач в аудиторії, перевірка самостійного розв'язання задач .
7	Пошуки та дослідження рідкісних альфа розпадів – приклади нещодавніх відкриттів. Альфа розпади на основні та збуджені стани дочірніх ядер. Випромінювання внутрішніх гальмівних гамма квантів та електрон-позитронних пар при альфа розпадах.	1, 2, 18, 19	Опитування , перевірка конспекту, виступи в аудиторії, розв'язання задач в аудиторії, перевірка самостійного розв'язання задач .

8	Розрахунки періодів напіврозпаду з напівемпіричними формулами для альфа розпадів конкретних ядер. Порівняння з експериментом.	1, 2, 18, 19	Опитування , перевірка конспекту, виступи в аудиторії, розв'язання задач в аудиторії, перевірка самостійного розв'язання задач ..
9	Кластерні розпади атомних ядер. Теоретичні передбачення. Експерименти з різними методами. Розрахунки періодів напіврозпаду з напівемпіричними формулами для конкретних ядер. Порівняння з експериментом	1, 2, 13, 18, 19	Опитування , перевірка конспекту, виступи в аудиторії, розв'язання задач в аудиторії, перевірка самостійного розв'язання задач ..
10	Переходи ядер в надщільний стан. Ідеї Мігдала. Піонний конденсат. Експерименти по пошуку ядерних переходів в надщільний стан.	1, 2, 13, 18, 19	Опитування , перевірка конспекту, виступи в аудиторії, розв'язання задач в аудиторії, перевірка самостійного розв'язання задач .

11	Надважкі елементи. Модель рідкої краплі та оболонкові поправки. Передбачення існування «острову стабільності» надважких ядер. Синтез надважких на прискорювачах та його недоліки. Пошуки довгоживучих надважких ядер в природі: від дна океану до поверхні Місяця. Старі і сучасні експериментальні методи. Аналіз повідомлень про спостереження надважких елементів в природі.	1, 2, 13, 18, 19	Опитування , перевірка конспекту, виступи в аудиторії, розв'язання задач в аудиторії, перевірка самостійного розв'язання задач ..
12	Перевірка закону збереження електричного заряду в пошуках розпаду електрона. Можливі (запропоновані) моди розпаду електрона. Бета розпад із незбереженням електричного заряду.	1, 2, 13, 18, 19	Опитування , перевірка конспекту, виступи в аудиторії, розв'язання задач в аудиторії, перевірка самостійного розв'язання задач .
13	Теоретичні передбачення розпаду протона. Часи життя протона в різних теоріях. Ідеї про додаткові просторові та часові розмірності. Можливі переходи електронів, нуклонів, ди- та три-нуклонів в додаткові розмірності. Минулі експерименти по пошуку розпаду нуклонів в «невидимі канали». Проекти майбутніх експериментів.	1, 2, 13, 18, 19	Опитування , перевірка конспекту, виступи в аудиторії, розв'язання задач в аудиторії, перевірка самостійного розв'язання задач .

14	Загальні методи Монте Карло для генерації випадкових чисел із заданими розподілами імовірностей. Генерація специфічних розподілів для кінематики частинок, що вилітають в подвійному бета розпаді та в бета і альфа розпадах. Генерація каскадів гамма квантів, конверсійних електронів та електрон-позитронних пар при розрядженні збуджених ядерних рівнів. Бази ядерних даних. Програми BRICC, LogFT.	1, 2, 13, 18, 19	Опитування , перевірка конспекту, виступи в аудиторії, розв'язання задач в аудиторії, перевірка самостійного розв'язання задач .
15	Генератор подій DECAU0. Практичні вправи: генерація подвійних бета розпадів конкретних ядер, одиночних бета і альфа розпадів. Отримання згенерованих даних, побудова енергетичних і кутових розподілів частинок, що вилетіли. Порівняння з теоретичними розподілами.	1, 2, 13, 18, 19	Опитування , перевірка конспекту, виступи в аудиторії, розв'язання задач в аудиторії, перевірка самостійного розв'язання задач .
16	Фактори зменшення світловиходу сцинтиляторів для важких іонів. Причини подавлення світлового сигналу для іонів в порівнянні з електронами такої ж енергії. Фактори подавлення для конкретних сцинтиляторів, діапазон значень факторів.	10, 15	Опитування , перевірка конспекту, виступи в аудиторії, розв'язання задач в аудиторії, перевірка самостійного розв'язання задач .

ОБСЯГ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

№	Назва теми	Кількість годин
---	------------	-----------------

1.	Підготовка до поточних практичних занять	20
2.	Виконання поточних практичних завдань	20
3.	Опанування матеріалів лекцій та додаткових питань із застосування основної та додаткової літератури	40
4.	Індивідуальні консультації з викладачем	10
	ВСЬОГО	90

Завдання (задачі, вправи) для самостійної роботи

- Обчисліть за однією з напівемпіричних формул $T_{1/2}$ для подвійного бета розпаду розпаду ^{48}Ca ; або - краще - з двома з них для порівняння.
- Знайдіть коефіцієнт внутрішньої електронної конверсії для переходу в ^{208}Tl зі збудженого рівня 2614.5 кеВ у основний стан за допомогою програми BRICC. Знайдіть експериментальне значення та порівняйте його з розрахунковим.
- Встановіть програму BRICC (<http://bricc.anu.edu.au>) на свій комп'ютер.
- Спробуйте знайти напівемпіричні формули для $T_{1/2}$ для бета-мінус розпадів, додаткові до тих, що наведені в кінці 2-ї лекції.
- Обчисліть за 1-2 формулами $T_{1/2}$ для: ^3H , ^{14}C , ^{60}Co , ^{113}Cd . Порівняйте з експериментальними значеннями.
- Розрахуйте $T_{1/2}$ за допомогою двох різних напівемпіричних формул (див. лекцію 3) для альфа-розпадів: ^{147}Sm , ^{151}Eu , ^{190}Pt , ^{209}Bi . Порівняйте з експериментальними значеннями. Спробуйте пояснити причини відхилень.
- Згенеруйте випадкові числа в діапазоні $x = [1,3]$, які розподіляються відповідно до експоненціального закону: $\rho(x) = \text{const} * \exp(2 * x)$. Зробіть це двома різними способами:
(1) методом вибірки (Неймана) (див. лекцію 4);
(2) методом обернених функцій.
Згенеруйте, скажімо, $1\text{e}6$ (або $1\text{e}9$) випадкових чисел; покажіть рисунок із порівнянням згенерованої та теоретичної кривих. Який метод швидший і наскільки швидший?
- Зробіть те ж саме (лише методом відбору проб) для розподілу енергії при бета-розпаді:
 $\rho(e) = (e + m_0c^2)^2 * (q_0 - e)^2$, де $m_0c^2 = 511 \text{ кеВ}$, q_0 - виділення енергії, скажімо $q_0 = 3 \text{ МеВ}$. Намалюйте рисунок із порівнянням згенерованого розподілу та теоретичної кривої.
- Згенеруйте точки, рівномірно розподілені по колу від радіуса $r_1 = 2$ до $r_2 = 10$. Намалюйте $1\text{e}6$ точок разом з колом.
- Згенеруйте розподіл енергії електронів, що випромінюються при подвійному бета-розпаді, коли відомо:
- двовимірний розподіл: $\rho(t_1, t_2) = (t_1 + 1)^2 * (t_2 + 1)^2 * (t_0 - t_1 - t_2)^5$;
- розподіл енергії одиночного електрона: $\rho(t_1) = (t_1 + 1)^2 * (t_0 - t_1)^5$

$$5 * [(t_0 - t_1)^2 + 8(t_0 - t_1) + 28];$$

- розподіл за сумою енергій електронів $t = t_1 + t_2$:

$$\rho(t) = (t^4 + 10t^3 + 40t^2 + 60t + 30) * t * (t_0 - t)^5.$$

Намалюйте згенеровані розподіли для енергій 1-го та 2-го електронів t_1 і t_2 та їх суми $t_1 + t_2$ разом з теоретичними кривими.

Теми для рефератів та доповідей

1. Осциляції нейтрино від різних джерел.
2. Експериментальні пошуки слабковзаємодіючих частинок темної матерії.
3. Альтернативні теорії, що пояснюють відхилення швидкостей галактик від очікуваних по законам Ньютона.
4. Експерименти з пошуку стерильних нейтрино від ядерних реакторів.
5. Шляхи визначення маси нейтрино.
6. Магнітний момент нейтрино.
7. Радіоактивні елементи космогенного походження у природі.
8. Розповсюдженість ^{137}Cs в результаті випробувань ядерної зброї.
9. Темна енергія.
10. Пошук темної матерії за допомогою сцинтиляційних детекторів.
11. Низькофонові лабораторії малої глибини (до 100 м водяного еквіваленту).
12. Глибокі підземні лабораторії
13. Експерименти з реєстрацією дуже малої кількості подій (одна – декілька).
14. Застосування болометричних детекторів для пошуку подвійного бета-розпаду.

VI. ФОРМИ ТА МЕТОДИ КОНТРОЛЮ

МЕТА І ФОРМИ ПОТОЧНОГО КОНТРОЛЮ

Мета поточного контролю – оцінити ступінь засвоєння теоретичного і практичного матеріалу та рівень знань студентів з відповідних розділів дисципліни.

Рівень поточних знань оцінюється в балах по кожному із передбачених видів практичних завдань окремо:

- володіння теоретичним матеріалом;
- розуміння сутності фізичних явищ;
- вміння робити оцінки за порядком величин;
- розв’язання задач аналітичного характеру;
- розв’язання задач обчислювального характеру.

Згідно до методики рейтингової оцінки поточний рейтинг аспіранта розраховується як сума балів за всіма видами практичних завдань, колоквиуму та контрольної роботи (плюс показники відвідування лекційних та практичних занять) і нараховується протягом семестру.

Аспіранти, поточні знання яких оцінені на “незадовільно” (0-29 балів), вважаються не атестованими і до іспиту з дисципліни не допускаються. Аспіранти, які за роботу в семестрі та на іспиті набрали 30-59 балів, мають право на перескладання.

МЕТА І ФОРМИ ПІДСУМКОВОГО КОНТРОЛЮ ЗНАНЬ

Підсумковий контроль знань здійснюється наприкінці семестру шляхом складання іспиту.

До іспиту допускаються аспіранти, які мають необхідний рівень поточних знань.

Іспит проводиться в змішаній формі, по завданнях, які складені на основі програми курсу та мають однаковий рівень складності. На підготовку відводиться 2 академічні години. Під час проведення іспиту дозволяється користуватися конспектом.

ПИТАННЯ ДЛЯ ПІДГОТОВКИ ДО ІСПИТУ

1. Проблеми Стандартної моделі елементарних частинок і взаємодій.
2. Напрямки досліджень у неприскорювальній фізиці елементарних частинок.
3. Осциляції нейтрино.
4. Маса і властивості нейтрино. Нейтрино Майорани та Дірака.
5. Пошук ефектів за рамками Стандартної моделі.
6. Подвійний бета розпад. Двохнейтринна та безнейтринна моди.
7. Енергетичні спектри електронів (одиначні та сумарні).
8. Кутові кореляції випромінених електронів.

9. Подвійний бета розпад з вильотом майоронів.
10. Історія досліджень подвійного бета розпаду.
11. Помилкові повідомлення про відкриття подвійного бета розпаду.
12. Методи експериментальних досліджень подвійного бета розпаду.
13. Напівемпіричні розрахунки періодів напіврозпаду двохнейтринного подвійного бета процесу.
14. Дослідження рідкісних альфа розпадів.
15. Напівемпіричні формули для розрахунків періодів напіврозпаду альфа розпадів.
16. Дослідження рідкісних бета розпадів.
17. Напівемпіричні формули для розрахунків періодів напіврозпаду бета розпадів.
18. Кластерні ядерні розпади.
19. Ядерні переходи в надщільний стан.
20. Надважкі елементи: пошуки надважких ядер в природі.
21. Процеси з порушенням закону збереження електричного заряду
22. Можливі моди розпаду електрона.
23. Бета розпад з порушенням електричного заряду.
24. Процеси з порушенням закону збереження баріонного числа.
25. Розпади нуклонів, ди- та три-нуклонів в невидимі канали.
26. Природна радіоактивність.
27. Альфа, бета радіоактивність.
28. Спонтанний поділ.
29. Ряди урану і торію.
30. Космогенна активація матеріалів.
31. Антропогенна радіоактивність.
32. Пасивний захист.
33. Матеріали для пасивного захисту.
34. Захист від нейтронів.
35. Активний захист.
36. Радіоактивне забруднення детекторів.
37. Радіоактивне забруднення сцинтиляційних матеріалів.
38. Моделювання фону методом Монте-Карло.
39. Пакети програм для моделювання низькофонових експериментів.
40. Підземні лабораторії у світі.
41. Різні типи підземних лабораторій.
42. Підземні лабораторії у Європі і світі.
43. Критерії, за якими порівнюють підземні лабораторії.
44. Методи Монте Карло для ядерних розпадів.
45. Загальні методи Монте Карло для генерації випадкових чисел.
46. Метод Неймана.
47. Метод обернених функцій.
48. Генерація розподілів для дискретних випадкових чисел.
49. Змішані методи.

- 50.Методи генерації енергетичних та кутових розподілів частинок, що випромінюються в подвійному бета розпаді, бета та альфа розпадах.
- 51.Генератор подій DECAУ0.
- 52.Темна матерія: спостережувані ефекти та лабораторні експерименти з пошуку взаємодій з речовиною.
- 53.Теорія Біркса для описання факторів зменшення світловиходу сцинтиляторів для важких іонів
- 54.Напівемпіричні розрахунки факторів зменшення світловиходу сцинтиляторів для важких іонів.

VII. КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ ЗНАНЬ І ВМІНЬ СТУДЕНТІВ, УМОВИ ВИЗНАЧЕННЯ НАВЧАЛЬНОГО РЕЙТИНГУ

Рівень поточних знань студентів оцінюється відповідно до методики рейтингової оцінки. Сутність методики полягає у визначенні поточного рейтингу студента, що розраховується як сума балів за всіма видами практичних завдань та результатами самостійної роботи і нараховується протягом семестру.

<i>Вид роботи</i>	<i>Обсяг за семестр</i>	<i>Максимальна кількість балів за виконану роботу</i>
<i>Теоретичне питання (просте)</i>	<i>4</i>	<i>Кожна правильна і змістовна відповідь - 1 бал. Всього за семестр – 4 бали.</i>
<i>Теоретичне питання (ускладнене)</i>	<i>4</i>	<i>Кожна правильна і змістовна відповідь - 2 бали. Всього за семестр – 8 балів</i>
<i>Розв'язування задач</i>	<i>2</i>	<i>Кожне правильне розв'язання – 5 балів. Всього за семестр – 10 балів</i>
<i>Проведення колоквиуму та контрольної роботи</i>	<i>1</i>	<i>Кожне правильне розв'язання завдання – 5 балів. Всього за колоквиум та контрольну роботу – 10 балів</i>
<i>Відвідування лекцій</i>	<i>16</i>	<i>Кожна відвідана лекція – 1 бал. Всього за семестр – 16 балів</i>
<i>Відвідування семінарів</i>	<i>14</i>	<i>Кожний відвіданий семінар – 1 бал. Всього за семестр – 14 балів</i>
<i>Сукупний рейтинг</i>	<i>-</i>	<i>60 балів</i>

КРИТЕРІЇ СКЛАДАННЯ ІСПИТУ (ЗАЛІКУ)

Кожне завдання для проведення іспиту (заліку) має бути однакової складності. Зміст питань та завдань має бути розрахований на письмову підготовку аспіранта протягом двох академічних годин.

Максимальна кількість балів на проведення підсумкового контролю – 40.
Критерії оцінки підсумкових знань при складанні іспиту наведені в таблиці.

Критерії складання іспиту (заліку)

<i>Характеристика відповіді по варіанту</i>	<i>Максимальна кількість балів</i>
<i>Зміст 2-х теоретичних питань розкрито повністю і в розгорнутому вигляді</i>	<i>30</i>
<i>Вірні відповіді на тести /додаткові питання чи розв'язок задачі</i>	<i>10</i>
<i>ВСЬОГО</i>	<i>40 балів</i>

За результатами складання іспиту (заліку) якість підсумкових знань аспіранта оцінюється за рейтинговою системою та трансформується в національну шкалу та шкалу ECTS

Таблиця

Порядок перерахунку рейтингових показників нормованої 100-бальної університетської шкали оцінювання в національну 4-бальну шкалу та шкалу ECTS.

За шкалою університету	За національною шкалою		За шкалою ECTS
	Іспит	Залік	
91 – 100	5 (відмінно)	Зараховано	A (відмінно)
81 – 90	4 (добре)		B (дуже добре)
71 – 80			C (добре)
66 – 70			D (задовільно)
60 – 65	3 (задовільно)		E (достатньо)
30 – 59	2 (незадовільно)	Не зараховано	FX (незадовільно – з можливістю повторного складання)
1 – 29			F (незадовільно – з обов’язковим повторним курсом)