

СИЛАБУС
навчальної дисципліни
«ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ РІДКІСНИХ ЯДЕРНИХ ПРОЦЕСІВ»

Галузь знань	<i>10 – Природничі науки</i>
Спеціальність	<i>104 – Фізика та астрономія</i>
Освітня програма	<i>Фізика ядра, фізика елементарних частинок і високих енергій; ядерно-фізичні установки; радіаційна фізика конденсованого стану; фізика плазми і ядерного синтезу</i>
Освітній рівень	<i>доктор філософії</i>
Статус дисципліни	<i>Фаховий / Вибірковий</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Курс / семестр	<i>II (III) курс, 1 (2) семестр</i>
Кількість кредитів ЄКТС	<i>2 кредити</i>
Розподіл за видами занять та годинами навчання	<i>Лекції – 16 год.</i>
	<i>Практичні (семінарські) – 8 год.</i>
	<i>Консультації – 2 год.</i>
	<i>Самостійна робота – 34 год.</i>
Форма підсумкового контролю	<i>Іспит</i>
Відділ	<i>Відділ фізики лептонів, ІЯД НАН України, корп. 31, кімн. 6, http://lpd.kinr.kiev.ua/</i>
Викладач (-і)	<i>Даневич Федір Анатолійович, д. ф.-м. н., проф., чл.-корр. НАН України</i>
Контактна інформація викладача (-ів)	<i>f.danevich@gmail.com, +380-99-604-8850</i>
Дні занять	<i>Понеділок – п'ятниця, за розкладом</i>
Консультації	<i>Дистанційні, за домовленістю з ініціативи здобувача, групові</i>

Опис навчальної дисципліни, її мета, предмет вивчення та результати навчання

Мета навчальної дисципліни – ознайомлення з основними експериментальними методами дослідження рідкісних ядерних процесів, галузі фізики, яка бурхливо розвивається протягом останніх 20 – 30 років.

Предмет навчальної дисципліни – експериментальні методи дослідження рідкісних ядерних процесів, досягнення та експериментальні методи.

Компетентності

Інтегральна компетентність (ІК): Здатність розв'язувати комплексні проблеми в галузі професійної та/або дослідницько-інноваційної діяльності у сфері фізики, що передбачає глибоке переосмислення наявних та створення нових цілісних знань та/або професійної практики. Здатність продукувати нові ідеї, розв'язувати комплексні проблеми у галузі управління та адміністрування, що передбачає глибоке переосмислення наявних та створення нових цілісних знань та/або професійної практики, застосовувати новітні методології наукової та педагогічної діяльності, здійснювати власні наукові дослідження.

Загальні компетентності (ЗК):

ЗК01. Здатність генерувати нові ідеї (креативність).

ЗК03. Здатність розв'язувати комплексні наукові проблеми на основі системного наукового світогляду та загального культурного кругозору із дотриманням професійної етики та академічної доброчесності.

Спеціальні (фахові) компетентності (СК):

СК01. Здатність виявляти, ставити та вирішувати проблеми дослідницького характеру в сфері фізики та/або астрономії, інтегрувати знання з різних галузей, оцінювати та

СК04. Здатність організовувати та здійснювати науково-педагогічну діяльність у сфері фізики та/або астрономії.

СК05. Здатність ініціювати, розробляти та реалізовувати науково-дослідницькі, розробницькі та інноваційні проєкти у сфері фізики та/або астрономії, планувати й організовувати

роботу науково-дослідницьких, розробницьких та інноваційних колективів.

СК06. Здатність застосовувати сучасні методи, методики, технології, інструменти та обладнання для проведення прикладних та фундаментальних наукових досліджень у галузі фізики та/або астрономії.

Програмні результати навчання

РН01. Мати сучасні концептуальні та методологічні знання з фізики та/або астрономії та дотичних до них міждисциплінарних напрямів, а також необхідні навички, достатні для проведення фундаментальних і прикладних наукових досліджень з метою отримання нових знань та/або здійснення розробок та інновацій.

РН02. Аналізувати та оцінювати стан і перспективи розвитку фізики та/або астрономії, а також дотичних міждисциплінарних напрямів.

РН06. Планувати і виконувати прикладні та/або фундаментальні дослідження фізики та/або астрономії та дотичних міждисциплінарних напрямів з використанням сучасних методів, методик, технологій, інструментів та обладнання, з дотриманням норм академічної етики, критично аналізувати результати наукових досліджень у контексті усього комплексу сучасних знань щодо досліджуваної проблеми; готувати проєктні пропозиції щодо фінансування наукових досліджень та/або розробницьких і інноваційних проєктів.

РН10. Мати навички захисту прав інтелектуальної власності.

РН11. Організовувати освітній процес і проводити педагогічну діяльність у сфері фізики та/або астрономії, забезпечувати відповідне наукове, навчально-методичне та нормативне забезпечення.

Після засвоєння матеріалу дисципліни аспіранти повинен: знати про проблеми фізики елементарних частинок та ядерної фізики, знати про методичні обмеження фізики високих енергій за використанням прискорювачів частинок та можливості досліджень властивостей елементарних частинок (у тому числі, гіпотетичних) методами неприскорювальної фізики елементарних частинок, знати про експериментальні методи дослідження у цій галузі, вміти виконувати пошук літератури з новітніх проблем галузі, робити оцінки можливостей експериментів, спрямованих на дослідження властивостей елементарних частинок та атомних ядер, виконувати розрахунки, пов'язані з реєстрацією ефектів рідкісних ядерних та суб'ядерних процесів, принципи організації сучасних досліджень у галузі.

Передумови для навчання

Перелік попередньо прослуханих дисциплін / Знання, вміння, навички, якими повинен володіти здобувач, щоб приступити до вивчення дисципліни

Для успішного засвоєння дисципліни аспірант повинен знати експериментальну та теоретичну ядерну фізику, методи математичного аналізу та теорії рівнянь математичної

фізики, англійську мову в обсязі стандартних університетських курсів. Крім того, бажано мати навички програмування в сучасних математичних пакетах (Geant, PAW, ROOT, тощо). Компетентності, знання, уміння та досвід, одержані в процесі вивчення кредитного модуля «Неприскорювальна фізика елементарних частинок», є необхідними для якісного виконання наукових досліджень за темою дисертації.

Зміст навчальної дисципліни

Дисципліну структурно розділено на 2 розділи:

Розділ 1. Проблеми фізики елементарних частинок, можливості, результати та перспективи неприскорювальної фізики елементарних частинок.

Розділ 2. Експериментальні методи неприскорювальної фізики елементарних частинок.

Матеріально-технічне (програмне) забезпечення дисципліни

Для виконання практичних завдань за темою курсу потрібен персональний комп'ютер; можна вважати, що ця вимога легко задовольняється для аспірантів ІЯД НАН України у тих відділах, де виконується наукова робота (навіть якщо аспірант не має персонального комп'ютера вдома). Доступ до Інтернету, та програмних засобів, необхідних для виконання практичних завдань, наприклад, Geant, EGS, COSMO, ACTIVIA, PAW, ROOT, тощо.

Сторінка курсу на платформі Інституту (персональна навчальна система)

Наразі такої немає.

Рекомендовані джерела

Базова література:

1. F.A.Danevich, V.V.Kobychev, 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, Akadempriodyka, 2015, 375 p. (pp. 245-335).
2. Ф.А.Даневич, Про розвиток в Україні неприскорювальної фізики елементарних частинок, Вісник НАН України 3(2022)71-80. <https://doi.org/10.15407/visn2022.03.071>
3. Г.В. Клапдор-Клайнротхаус, А. Штаудт, Неускорительная физика элементарных частиц, М.: Наука, 1997.
4. Review of Particle Physics, Particle Data Group, R L Workman et al., Progress of Theoretical and Experimental Physics, Volume 2022, Issue 8, August 2022, 083C01, <https://doi.org/10.1093/ptep/ptac097>
5. Di Jose Wagner Furtado Valle, Jorge Romao, Neutrinos in High Energy and Astroparticle Physics, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA
6. Matteo Agostini, Gower Street, Giovanni Benato, Jason A. Detwiler, Javier Menendez, Francesco Vissani, Toward the discovery of matter creation with neutrinoless $\beta\beta$ decay, REVIEWS OF MODERN PHYSICS, VOLUME 95, APRIL–JUNE 2023

Допоміжна література:

1. Ф.А.Даневич, ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ НЕЙТРИНО І СЛАБКОЇ ВЗАЄМОДІЇ У ПОДВІЙНОМУ БЕТА-РОЗПАДІ АТОМНИХ ЯДЕР, Вісн. НАН України, 2015, № 9, doi: 10.15407/visn2015.09.039
2. Ф.А.Даневич, В.В.Кобичев, В.І.Третяк. У нейтрино є маса, Вісник НАН України 1(2016)20-29.
3. F. A. Danevich, V. I. Tretyak, Radioactive contamination of scintillators, Int. J Mod. Phys. A 33 (2018) 1843007 (review)

4. K.Blaum, S.Eliseev, F.A.Danevich, V.I.Tretyak, S.Kovalenko, M.I Krivoruchenko, Yu.N.Novikov, J.Suhonen, Neutrinoless double-electron capture, Rev. Mod. Phys. 92(2020)045007, 61 p.
5. P. Belli et al., Experimental searches for rare alpha and beta decays, Eur. Phys. J. A 55 (2019) 140 (review)
6. Di Esteban Roulet, Francesco Vissani, Neutrinos In Physics And Astrophysics, World Scientific, 2022, Pages: 236, DOI: <https://doi.org/10.1142/12982>
7. Gianfranco Bertone and Dan Hooper, History of dark matter, Rev. Mod. Phys. 90 (2018) 045002, DOI:<https://doi.org/10.1103/RevModPhys.90.045002>
8. Paul Langacker, The Standard Model and Beyond, SECOND EDITION, CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton London New York, 2017, DOI: 10.1201/b22175
9. I Ciufolini, V Gorini, U Moschella, and P Fré, Gravitational Waves, RC Press, 2001, Boca Raton, Pages 412, DOI <https://doi.org/10.1201/9781420034257>

Навчальний контент

Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Загальний методичний підхід до викладання навчальної дисципліни визначається як комунікативно-когнітивний та професійно орієнтований, згідно з яким у центрі освітнього процесу знаходиться аспірант – суб'єкт навчання і майбутній науковець.

Лекційні заняття

Розділ 1. Проблеми фізики елементарних частинок, можливості, результати та перспективи неприскорювальної фізики елементарних частинок.

Лекція 1. Стандартна модель фізики елементарних частинок (СМ) і її обмеження, необхідність розширення, неприскорювальна фізика елементарних частинок. Досягнення СМ. Недоліки СМ. Неможливість подальших кроків через проблему «пустелі» і технічні обмеження досягнення достатньо високих енергій на прискорювачах. Можливості досліджень властивостей частинок без прискорювачів. Основні напрямки і методи досліджень.

Лекція 2. Властивості нейтрино і слабкої взаємодії. Нейтрино як ключова частинка у розвитку фізики елементарних частинок. Маса нейтрино. Осциляції нейтрино. Гіпотетичні властивості нейтрино (нестабільність, магнітний момент, природа, незбереження лептонного числа). Подвійний бета-розпад. Нейтрино від різних джерел. Дослідження нейтрино від Землі, Сонця, наднових, екстремальних процесів у Всесвіті.

Лекція 3. Гіпотетичні елементарні частинки і ефекти, темна матерія та енергія. Порушення законів у фізиці елементарних частинок (принцип Паулі, збереження лептонного та баріонного зарядів, електричного заряду), розпад протона. Свідчення астрономії та астрофізики про існування темної матерії, різні моделі темної матерії, аксіони, стерильні нейтрино, маса фотона. Темна енергія.

Лекція 4. Катастрофічні явища у Всесвіті, астрономія широкого діапазону енергій і випромінювань різної природи (multi-messenger astronomy). Теорія гарячого Всесвіту, Великий Вибух. Розширення Всесвіту. Космологічні моделі. Стандартна космологічна модель. Аномальні явища у Всесвіті (гамма-сплески, нейтрино, частинки надвисоких енергій, магнетари, пульсари). Гравітаційні хвилі. Рідкісні ядерні розпади.

Розділ 2. Експериментальні методи неприскорювальної фізики елементарних частинок.

Лекція 5. Джерела фону в експериментах у неприскорювальній фізиці елементарних частинок. Фон від природної радіоактивності, фон космічного походження та від нейтронів, фон спричинений людською діяльністю, космогенна активація, шуми різної природи. Джерела фону детекторів нейтрино високих енергій.

Лекція 6. Методи зниження фону. Підземні лабораторії, захист детекторів (пасивний, активний захисти, захист від радону та нейтронів), глибоке очищення матеріалів, аналіз даних з метою зниження фону різної природи. Зниження фону сцинтиляційних, напівпровідникових, двофазових, низькотемпературних детекторів. Методи зниження фону детекторів нейтрино високих енергій.

Лекція 7. Нейтринні експерименти, пошуки темної матерії та гіпотетичних взаємодій та частинок. Реєстрація нейтрино від реактора, Сонця, прискорювачів на великих відстанях від наднових, космічних надпотужних джерел. Подвійні бета-розпад експерименти: CUORE, KamLand-Zen, GERDA – LEGEND, Majorana, EXO, CUPID, AMoRE, NEXT. Експерименти з пошуку темної матерії: DAMA/Libra, XENON, Darwin, LUX, Sabre, LZ, DEAP, ArDM, WARP, DarkSide, PandaX. Пошуки аксіонів, стерильних нейтрино, порушень принципу Паулі, збереження електричного заряду та баріонного числа, розпаду протону, маса фотону.

Лекція 8. Астрономія широкого діапазону енергій і випромінювань різної природи. Реєстрація космічних частинок високих і надвисоких енергій, гамма-кванти надвисоких енергій, нейтрино високих та надвисоких енергій, рентгенівська астрономія, реєстрація античастинок, радіоастрономія широкого діапазону. Реєстрація нейтрино надвисоких енергій шляхом реєстрації радіохвиль. Програми одночасної реєстрації різних випромінювань від вибухових космічних процесів. Нейтринні експерименти: Borexino, JUNO, HyperKamiokande, Baikal, IceCube, Antares. Гравітаційні детектори наземного базування. Проекти гравітаційних детекторів на космічних платформах.

Практичні заняття

Заняття 1. Радіоактивність, схеми розпаду ядер, космічні промені, нейтронна активація. Методи оцінки потоків випромінювань від природної радіоактивності від космічних променів, нейтронної активації.

Заняття 2. Космогенна активація, радіоелектронні шуми, аналіз даних з низькою статистикою. Оцінки космогенної активації за допомогою програм COSMO та ACTIVIA. Оцінки впливу радіоелектронних шумів сцинтиляційних, напівпровідникових, низькотемпературних, газових детекторів на результати низькофонових експериментів. Аналіз даних з низькою статистикою із застосуванням підходу Feldman-Cousins.

Заняття 3. Моделювання фону методом Монте-Карло. Моделювання фону сцинтиляційних, напівпровідникових, низькотемпературних, газових детекторів методом Монте-Карло за допомогою пакетів програм Geant, EGS, вибір фізичних списків. Оцінки невизначеності результатів моделювання в різних енергетичних діапазонах.

Заняття 4. Характеристики детекторів, аналіз сигналів за формою. Визначення часових та енергетичних різних детекторів. Аналіз форми сигналів сцинтиляційних, напівпровідникових та низькотемпературних детекторів

Самостійна робота аспіранта

Самостійна робота здобувача наукового ступеня доктора філософії є основним засобом засвоєння навчального матеріалу у вільний від навчальних занять час і включає:

Вид самостійної роботи	Кількість годин СРС
Опрацювання матеріалу лекцій та літератури	16
Підготовка реферату на обрану тему	6
Виконання практичних завдань	4
Підготовка до іспиту	8

Політика та контроль

Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Система вимог, які викладач ставить перед аспірантом:

- правила відвідування занять: заняття проводяться відповідно до розкладу згідно із правилами, встановленими [Положенням про організацію освітнього процесу в Інституті ядерних досліджень НАН України](#), присутність на заняттях є добровільною, примушування до будь-яких дій в навчальному процесі без особистої згоди аспіранта не допускається. Відповідно до робочої навчальної програми даної дисципліни бали нараховують за відповідні види навчальної активності на лекційних та практичних заняттях згідно з [Уніфікованою системою оцінювання навчальних досягнень аспірантів](#).
- правила поведінки на заняттях: аспірант має можливість отримувати бали за відповідні види навчальної активності на лекційних заняттях, передбачені робочою навчальною програмою дисципліни. Використання засобів зв'язку для пошуку інформації на гугл-диску викладача, в інтернеті, в дистанційному курсі на платформі Інституту здійснюється за умови вказівки викладача;
- політика дедлайнів та перескладань: якщо аспірант не виконував модульні контрольні роботи (без поважної причини), то його результат оцінюється у 0 балів. Перескладання передбачено за поважних причин;
- політика щодо академічної доброчесності: [Положення про академічну доброчесність працівників та здобувачів вищої освіти в Інституті ядерних досліджень НАН України](#) встановлює загальні моральні принципи, правила етичної поведінки осіб та передбачає політику академічної доброчесності для осіб, що працюють і навчаються в Інституті, якими вони мають керуватись у своїй діяльності, в тому числі при вивченні та складанні контрольних заходів з дисципліни;
- при використанні цифрових засобів зв'язку з викладачем (мобільний зв'язок, електронна пошта, переписка на форумах та у соцмережах тощо) необхідно дотримуватись загальноприйнятих етичних норм, зокрема бути ввічливим та обмежувати спілкування робочим часом викладача.

Система оцінювання результатів навчання

Види контролю та система оцінювання результатів навчання

Поточний контроль: опитування за темою заняття.

Календарний контроль: провадиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу.

Семестровий контроль: іспит.

Умови допуску до семестрового контролю: відсутні.

Рейтинг аспіранта з дисципліни складається з балів, які він отримує:

- 1) на практичних заняттях;
- 2) за відповідь на екзамені;
- 3) зміст та якість реферату на обрану тему.

Система рейтингових балів

- 1) Практичні заняття. Ваговий коефіцієнт дорівнює 18. Максимальна кількість балів, які може отримати аспірант на практичних заняттях становить $3 \times 18 = 54$ балів. Нарахування балів на одному практичному занятті:

- відмінне виконання 18 балів;
- дуже добре або добре виконання 13-18 балів;
- задовільні, достатні відповіді 5-12 балів.

2) Екзамен. Критерії оцінювання. Завдання містить два теоретичні питання, кожне з яких оцінюються у 23 бали. Всього $2 \times 23 = 46$ балів.

Нарахування балів за екзаменаційну відповідь:

- повна відповідь (не менше 90 % потрібної інформації) 39-46 балів;
- достатньо повна відповідь (не менше 75 % потрібної інформації) 32-38 балів;
- неповна відповідь (не менше 60 % потрібної інформації) 25-31 балів;
- незадовільна відповідь (менше 60 % потрібної інформації) 0.

Накопичування рейтингових балів з навчальної дисципліни			
Види навчальної роботи		Мах кількість балів	
Виконання самостійних практичних завдань		60	
Іспит		40	
Максимальна кількість балів		100	
Відповідність системи оцінювання ІЯД НАН України шкалі оцінювання ЄКТС та національній системі оцінювання			
Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка ЄКТС	Оцінка за національною шкалою	
		для екзамену (іспиту), диференційованого заліку, курсового проекту (роботи), практики, тренінгу	для заліку
90 – 100	A	відмінно	зараховано
82 – 89	B	добре	
74 – 81	C		
64 – 73	D	задовільно	
60 – 65	E	достатньо	
35 – 59	FX	незадовільно	не зараховано
1 – 34	F		
Більш детальну інформацію щодо компетентностей, результатів навчання, методів навчання, форм оцінювання, самостійної роботи наведено у Робочій програмі навчальної дисципліни, див. сайт ІЯД.			

Силабус затверджено на засіданні вченої ради ІЯД НАН України.
« 8 » жовтня 2024 р. Протокол № 10.