

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ЯДЕРНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Заступник директора з наукової роботи

В. В. Давидовський
« 5 » 07 2023 р.



НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС ДИСЦИПЛІНИ

ПОДІЛ ЯДЕР

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 2023

**Поділ ядер: Навчально-методичний комплекс дисципліни. –
Київ: ІЯД НАНУ, 2023 . - 25 с.**

Укладач: Денисов В.Ю., член-кореспондент НАН України, професор,
доктор фізико-математичних наук

Ухвалено на засіданні Вченої ради Інституту ядерних досліджень НАН
України

протокол № 6 від “ 5 ” липня 2023 р.

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ЯДЕРНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

НАВЧАЛЬНА ПРОГРАМА ДИСЦИПЛІНИ

ПОДІЛ ЯДЕР

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 2023

I. ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

Програма з курсу «Поділ ядер» 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 «Поділ ядер» є необхідною складовою є складовою вибіркових навчальних дисциплін циклу професійної та практичної підготовки докторів філософії за спеціальністю **104 – Фізика та астрономі**, напрям підготовки: Фізика ядра, фізика елементарних частинок і високих енергій; ядерно-фізичні установки. Він дає можливість ознайомити аспірантів з поділом атомних ядер, властивостями спонтанного та індукованого поділу ядер, властивостями уламків поділу, подвійним та потрійним поділом ядер, статистичної моделлю для опису поділу компаунд-ядер, ланцюгової реакцією, практичним використанням ланцюгової реакції у реакторах та бомбі, різноманітними теоретичними моделями для опису поділу ядер, а також, теоретичними методами розрахунку періоду напіврозпаду ядер і ширин розпаду ядер.

Курс «Поділ ядер» викладається на 2 або 3 році навчання в весняному семестрі та розрахований на 9 навчальних тижнів (по 2 ауд. год. щотижня; лекції). Вивчення курсу передбачає аудиторну (лекції – 18 год.; консультація – 2 год.) і самостійну роботу (40 год.). Загальна кількість годин, відведених на опанування дисципліни – 60 (2 кредити ЄКТС).

Мета дисципліни – ознайомлення аспірантів з основними положеннями фізики поділу, властивостями уламків поділу, теоретичними моделями для опису поділу ядер, ланцюгової реакцією та її практичним використанням.

Завдання – сформувати у аспірантів базові знання про основні властивості спонтанного та індукованого поділу ядер, уламків поділу, ланцюгову реакцію та її практичне використання, сформувати поняття про теоретичні моделі опису поділу ядер.

Структура курсу

У результаті вивчення навчальної дисципліни аспірант повинен:

Знати: Основні поняття про ядерний поділ та властивості уламків поділу, ланцюгову реакцію та її практичне використання. Методи теоретичного опису властивостей поділу та розрахунку ширин розпаду.

Вміти: Описувати та класифікувати типи поділу ядер та властивості уламків. Описувати властивості ланцюгової ядерної реакції. Вміти оцінювати та розуміти різноманітні реакції поділу ядер та властивості осколків поділу для реалізації прикладних задач. Орієнтуватися у доборі спеціальної сучасної наукової літератури та самостійно працювати з нею.

Місце дисципліни (в структурно-логічній схемі підготовки фахівців відповідного напрямку). Вибіркова навчальна дисципліна «Поділ ядер» 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 «**Поділ ядер**» використовуються знання та вміння, набуті аспірантами під час вивчення курсів загальної фізики, електродинаміки, атомної фізики, статистичної фізики, квантової механіки, основ ядерної фізики та ядерних реакцій.

II. ТЕМАТИЧНИЙ ПЛАН ДИСЦИПЛІНИ

№	Назва теми	Кількість годин				
		Всього	Лекцій	Практичних занять	Самостійна та індивідуальна робота	Консультації
	Розділ (змістовний модуль) 1. Поділ ядер.	-	-	-	-	-
	Тема 1. Вступ. Поділ ядер: відкриття та основні властивості.	4	2	-	2	-
	Тема 2. Потенціал Вудса-Саксона, теорія оболонкових поправок. Атомні маси та деформація ядер.	8	2	-	2	-
	Тема 3. Теорія спонтанного поділу.	8	2	-	4	-
	Тема 4. Статистичний розпад ядер.	6	2	-	2	-
	Тема 5. Вимушений поділ ядер.	6	2	-	2	-
	Тема 6. Властивості уламків поділу.	6	2	-	2	-
	Тема 7. Потрійний поділ.	6	2	-	2	-
	Тема 8. Кутовий розподіл осколків поділу.	6	2	-	2	-
	Тема 9. Застосування енергії ділення.	8	2		2	
	Тема 10. Застосування підходу Томаса-Фермі та розширеного підходу Томаса-Фермі до ядерного поділу.		2		2	
	Тема 11. Теорія поділу: підхід рівняння Ланжевена		2		2	
	Тема 12. Розрахунки характеристик фрагментів поділу в моделі розриву трьох тіл (два важких фрагмента та альфа-частинка)		2		2	
	Тема 13. Бар'єри поділу, ширина поділу, Γ_n/Γ_f		2		2	
	Тема 14. Ширина виходу маси осколка поділу в статистичному підході. Залежність середньої повної кінетичної енергії осколків поділу від енергії збудження ядра, що ділиться		2		2	
	Всього по розділу 1	58	28	-	30	-
	Іспит	-	-	-	-	2
	Всього	60	28	-	30	2

ЗМІСТ КУРСУ

Розділ (змістовний модуль) 1. Поділ ядер.

ТЕМА 1. Вступ. Поділ ядер: відкриття та основні властивості.

Опис дисципліни. Мета і завдання курсу.

Відкриття індукованого та спонтанного поділу. Енергія зв'язку ядер. Енергетичні умови поділу. Крапельна модель поділу. Залежність поверхневої та кулонівської енергій ядра від деформації ядра. Бар'єр поділу. Одновимірні та багатовимірні потенційні енергії ядер, що діляться. Залежність висоти бар'єру від деформаційного простору.

ТЕМА 2. Потенціал Вудса-Саксона, теорія оболонкових поправок. Атомні маси та деформація ядер.

Наближення середнього поля, потенціал Вудса-Саксона. Теорія оболонкових поправок. Деформація ядер, маси ядер, бар'єри поділу. Бар'єр поділу та оболонкові поправки. Двогорбий бар'єр. Розрахунки часу життя спонтанного поділу у рамках теорії оболонкових поправок. Експериментальні дані часу життя спонтанного поділу ядер.

Тема 3. Теорія спонтанного поділу.

Сили між нуклонами у ядрах. Сили Скірма, Гоньї. Розрахунки властивостей ядер та поділу за допомогою різноманітних сил у різних наближеннях. Сучасні моделі спонтанного поділу ядер.

Тема 4. Статистичний розпад ядер.

Статистична теорія розпаду компаунд ядра. Випаровування нейтронів, протонів, альфа частинок з компаунд ядра та ширини відповідних процесів. Статистичний поділ ядра. Властивості відношення ширин випаровування нейтронів та поділу.

Тема 5. Вимушений поділ ядер.

Властивості індукованого поділу ядер. Фотоподіл, поділ індукований нейтронами, протонами, ядрами, мезонами. Реакції злиття-поділу. Двогорбий бар'єр, ізомери поділу та їх властивості. Резонансні структури при поділі ядер.

Тема 6. Властивості уламків поділу.

Розподіл енергії при поділі ядер. Кінетична енергія уламків, деформаційна енергія осколків та число нейтронів, що випромінені уламками, гама-кванти, що випромінені при поділі ядер. Симетричний та асиметричний поділ. Багатомодовий поділ та відповідні потенційні поверхні. Розподіл уламків поділу від числа нуклонів та заряду. Залежність розподілу уламків поділу від

числа нуклонів та заряду від енергії збудження ядра. Моделювання розподілу уламків поділу від числа нуклонів та заряду. Затриманий поділ. Затримані нейтрони. Часове уявлення різноманітних процесів при поділі ядра.

Тема 7. Потрійний поділ.

Трійний та четверний поділ – поділ, який супроводжується емісією легких ядер. Властивості трійного поділу.

Тема 8. Кутовий розподіл осколків поділу.

Властивості кутового розподілу уламків поділу при вимушеному поділі ядер за допомогою різноманітних частинок.

Тема 9. Застосування енергії ділення.

Ланцюгова реакція. Атомна бомба. Реактор ОКЛО. Застосування поділу в ядерних реакторах. Типи ядерних реакторів.

Тема 10. Застосування підходу Томаса-Фермі та розширеного підходу Томаса-Фермі до ядерного поділу.

Опис моделі та розрахунки характеристик поділу за допомогою підходу Томаса-Фермі та розширеного підходу Томаса-Фермі до ядерного поділу.

Тема 11. Теорія поділу: підхід рівняння Ланжевена.

Опис моделі та розрахунки характеристик поділу за допомогою рівняння Ланжевена.

Тема 12. Розрахунки характеристик фрагментів поділу в моделі розриву трьох тіл (два важких фрагмента та альфа-частинка).

Опис моделі та розрахунки характеристик фрагментів поділу в моделі розриву трьох тіл (два важких фрагмента та альфа-частинка).

Тема 13. Бар'єри поділу, ширина поділу, Γ_n/Γ_f .

Зв'язки між висотою бар'єри поділу, ширини поділу, та відношення Γ_n/Γ_f . Визначення висоти бар'єру поділу.

Тема 14. Ширина виходу маси осколка поділу в статистичному підході. Залежність середньої повної кінетичної енергії осколків поділу від енергії збудження ядра, що ділиться.

Розрахунок ширина виходу маси осколка поділу в статистичному підході. Залежність середньої повної кінетичної енергії осколків поділу від енергії збудження ядра, що ділиться: теорія та експеримент.

Література

Основна

1. К. Н. Мухин. Экспериментальная ядерная физика. Т. II. Физика элементарных частиц. – Москва: Энергоатомиздат, 1983. – 376 с.
2. Л. А. Булавін, В. К. Тартаковський. Ядерна фізика. – Київ: Знання, 2005.
3. В. Ю. Денисов, В. А. Плюйко. Проблемы физики атомного ядра и ядерных реакций. – Киев: ВПЦ Київ. унів., 2013.
4. И. М. Капитонов. Введение в физику ядра и частиц. – Москва: УРСС, 2002.
5. І. М. Каденко, В. А. Плюйко В.А. Фізика атомного ядра та частинок. – Киев: ВПЦ Київ. унів., 2008.
6. Э. Хайд, И. Перлман, Г. Сиборг. Ядерные свойства тяжелых элементов. Вып. "Деление ядер". – Москва: Атомиздат, 1969.
7. Дж. Халперн. Физика деления. – Москва: Физматгиз. 1961
8. Л. Уилетс. Теория ядерного деления. Москва: Атомиздат, 1967.
9. В. В. Варламов, Б.С. Ишханов, И.М. Капитонов, Фотоядерные реакции. Современный статус экспериментальных данных. – Москва: Университетская книга, 2008
10. С. Г. Кадменский, Л.В. Титова, Квантовая теория двойного и тройного деления. – Воронеж, Издательско-полиграфический центр Воронежского государственного университета, 2007.
11. В. М. Соколов. Плотность уровней атомных ядер. – Москва: Атомиздат. 1985.
12. С. М. Поликанов. Изомерия формы атомных ядер. – Москва: Атомиздат, 1977.
13. И. Н. Бекман, Ядерная индустрия. – Москва: МГУ, 2005.
14. Ю. П. Гангрский, Б. Н. Марков, В. П. Перельгин. Регистрация и спектрометрия осколков деления. – Москва, Энергоатомиздат, 1992.
15. V. Yu. Denisov, O. A. Belyanovska, V. P. Khomenkov, I. Yu. Sedykh, K. M. Sukhyu, Influence of the nuclear part of the nuclei interaction potential to the mass yields of fragments from fission of highly-excited nuclei, International Journal of Modern Physics E, 2018, v. 27, 1850002 (7 pages). DOI: 10.1142/S0218301318500027
16. V. Yu. Denisov, I. Yu. Sedykh, Calculation of the fission width of an excited nucleus with the fission barrier dependent on excitation energy, Physical Review C, 2018, v. 98, 024601 (7 pages). DOI: 10.1103/PhysRevC.98.024601

17. V. Yu. Denisov, I. Yu. Sedykh, Calculation of the ratio $\Gamma_n(E)/\Gamma_f(E)$ in various approaches for the fission width, *European Physical Journal A*, 2018, v. 54, 231 (9 pages). DOI: 10.1140/epja/i2018-12660-9
18. V. Yu. Denisov, O. A. Belyanovska, V. P. Khomenkov, I. Yu. Sedykh, K. M. Sukhyy, A simple description of the temperature dependence of the width of the fission-fragment mass yield in ^{197}Au and ^{209}Bi at intermediate energies, *Chinese Physics C*, 2019, v. 43, 014101 (5 pages). DOI: 10.1088/1674-1137/43/1/014101
19. V. Yu. Denisov, I. Yu. Sedykh, Calculation of fission fragment characteristics for the reactions $n_{\text{th}}+^{235}\text{U}$ and $n_{14 \text{ MeV}}+^{235}\text{U}$, *European Physical Journal A*, 2021, v. 57, p. 129 (25 pages). DOI: 10.1140/epja/s10050-021-00433-8
20. Yu. Denisov, I. Yu. Sedykh, Dependence of average total kinetic energy of fission fragments on excitation energy of fissioning nucleus, *Physics Letters B*, 2022, v. 824, p. 136814 (5 pages). DOI: 10.1016/j.physletb.2021.136814
21. V. Yu. Denisov, I. Yu. Sedykh, Dependence of average total kinetic energy of fission fragments on the excitation energy of the compound nucleus, *Physical Review C*, 2022, v. 105, p. 014616 (5 pages). DOI: 10.1103/PhysRevC.105.014616
22. O. I. Davydovska, V. Yu. Denisov, I. Yu. Sedykh, Evaluation of the fission barrier values using the experimental values of the ratio $\Gamma_n(E)/\Gamma_f(E)$, *Physical Review C*, 2022, v. 105, p. 014620 (8 pages). DOI: 10.1103/PhysRevC.105.014620
23. V. Yu. Denisov, Calculation of the fission fragment characteristics in the three-body model of binary fission, *European Physical Journal A*, 2022, v. 58, p. 188 (16 pages). DOI: 10.1140/epja/s10050-022-00841-4
24. V. Yu. Denisov, Pre-neutron emission average total kinetic energy of fission fragments, *Atomic Data and Nuclear Data Tables*, 2023, v. 152, p. 101582 (15 pages). DOI: 10.1016/j.adt.2023.101582
25. H. J. Krappe, K. Pomorski, *Theory of Nuclear Fission*. – Berlin: Springer-Verlag, 2012.

Додаткова

1. R. Vandenbosh, J.R. Huizenga. *Nuclear Fission*. – New-York: Academic Press, 1973.
2. Walter D. Loveland, David J. Morrissey, Glenn T. Seaborg, *Modern nuclear chemistry*. – New Jersey: John Wiley & Sons, 2006
3. M. A. Hooshyar, I. Reichstein, F. B. Malik, *Nuclear Fission and Cluster Radioactivity*. – Berlin: Springer-Verlag, 2005.

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ

ІНСТИТУТ ЯДЕРНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

РОБОЧА ПРОГРАМА ДИСЦИПЛІНИ

СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ ФІЗИКИ АТОМНОГО ЯДРА І ЯДЕРНИХ РЕАКЦІЙ

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: 2 Статус курсу: <i>фаховий (вибірковий)</i> Кількість ECTS кредитів: 2 * дисципліна може викладатися на 2 або 3 році навчання в осінньому або весняному семестрі	Кількість годин: Загальна: 60 Лекції: 28 Практичні заняття: 0 Консультація 2 Самостійна робота: 30 Вид підсумкового контролю: іспит

Робоча програма складена для докторів філософії – Освітня програма *Фізика ядра, фізика елементарних частинок і високих енергій; ядерно-фізичні установки.*

Укладач: Денисов В.Ю., член-кореспондент НАН України, професор, доктор фізико-математичних наук

III. ПЛАН ЛЕКЦІЙНИХ ЗАНЯТЬ

МЕТА ТА МЕТОДИЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ПРОВЕДЕННЯ ЛЕКЦІЙ

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

Розділ (змістовний модуль) Поділ ядер

Заняття 1. Тема 1. Вступ. Поділ ядер: відкриття та основні властивості.

План.

1. Опис дисципліни. Мета і завдання курсу.
2. Відкриття індукованого та спонтанного поділу.
3. Енергія зв'язку ядер. Енергетичні умови поділу. Крапельна модель поділу. Залежність поверхневої та кулонівської енергій ядра від деформації ядра. Бар'єр поділу.
4. Одновимірні та багатовимірні потенційні енергії ядер, що діляться. Залежність висоти бар'єру від деформаційного простору.

Література

[1-8,14]

Заняття 2. Тема 2. Потенціал Вудса-Саксона, теорія оболонкових поправок. Атомні маси та деформація ядер.

План.

1. Наближення середнього поля, потенціал Вудса-Саксона.
2. Теорія оболонкових поправок. Деформація ядер, маси ядер, бар'єри поділу. Бар'єр поділу та оболонкові поправки. Двогорбий бар'єр.
3. Розрахунки часу життя спонтанного поділу у рамках теорії оболонкових поправок.
4. Експериментальні дані часу життя спонтанного поділу ядер.

Література

[1-5,12]

Заняття 3. Тема 3. Теорія спонтанного поділу.

План.

1. Сили між нуклонами у ядрах. Сили Скірма, Гоньї.
2. Розрахунки властивостей ядер та поділу за допомогою різноманітних сил у різних наближеннях.
3. Сучасні моделі спонтанного поділу ядер.

Література

[1-5,8]

Заняття 4. Тема 4. Статистичний розпад ядер.

План.

1. Статистична теорія розпаду компаунд ядра.
2. Випаровування нейтронів, протонів, альфа частинок з компаунд ядра та ширини відповідних процесів.
3. Статистичний поділ ядра.
4. Властивості відношення ширин випаровування нейтронів та поділу.

Література

[3, 11]

Заняття 5. Тема 5. Вимушений поділ ядер.

План.

1. Властивості індукованого поділу ядер.
2. Фотоподіл, поділ індукований нейтронами, протонами, ядрами, мезонами.
3. Реакції злиття-поділу.
4. Двогорбий бар'єр, ізомери поділу та їх властивості. Резонансні структури при поділі ядер.

Література

[3,4,5,9]

Заняття 6. Тема 6. Властивості уламків поділу.

План.

1. Розподіл енергії при поділі ядер. Кінетична енергія уламків, деформаційна енергія осколків та число нейтронів, що випромінені уламками, гама-кванти, що випромінені при поділі ядер.
2. Симетричний та асиметричний поділ. Багатомодовий поділ та відповідні потенційні поверхні.
3. Розподіл уламків поділу від числа нуклонів та заряду. Залежність розподілу уламків поділу від числа нуклонів та заряду від енергії збудження ядра.
4. Моделювання розподілу уламків поділу від числа нуклонів та заряду. 5. Затриманий поділ. Затримані нейтрони. Часове уявлення різноманітних процесів при поділі ядра.

Література

[1-5,12,14]

Заняття 7. Тема 7. Потрійний поділ.

План.

1. Трійний та четверний поділ – поділ, який супроводжується емісією легких ядер.
2. Властивості трійного поділу.

Література

[3,10]

Заняття 8. Тема 8. Кутовий розподіл осколків поділу.

План.

Властивості кутового розподілу уламків поділу при вимушеному поділі ядер за допомогою різноманітних частинок.

Література

[6]

Заняття 9. Тема 9. Застосування енергії ділення.

План.

1. Ланцюгова реакція.
2. Атомна бомба.
3. Реактор ОКЛО.
4. Застосування поділу в ядерних реакторах. Типи ядерних реакторів.

Література

[13]

Заняття 10. Тема 10. Застосування підходу Томаса-Фермі та розширеного підходу Томаса-Фермі до ядерного поділу.

План.

Опис моделі та розрахунки характеристик поділу за допомогою підходу Томаса-Фермі та розширеного підходу Томаса-Фермі до ядерного поділу.

Література

[3]

Заняття 11. Тема 11. Теорія поділу: підхід рівняння Ланжевена.

План.

Опис моделі та розрахунки характеристик поділу за допомогою рівняння Ланжевена.

Література

[3,25]

Заняття 12. Тема 12. Розрахунки характеристик фрагментів поділу в моделі розриву трьох тіл (два важких фрагмента та альфа-частинка).

План.

Опис моделі та розрахунки характеристик фрагментів поділу в моделі розриву трьох тіл (два важких фрагмента та альфа-частинка).

Література

[3,19,23]

Заняття 13. Тема 13. Бар'єри поділу, ширина поділу, Γ_n/Γ_f .

План.

Зв'язки між висотою бар'єри поділу, ширини поділу, та відношенням Γ_n/Γ_f .
Визначення висоти бар'єру поділу.

Література

[3,16,17,22]

Заняття 14. Тема 14. Ширина виходу маси осколка поділу в статистичному підході. Залежність середньої повної кінетичної енергії осколків поділу від енергії збудження ядра, що ділиться.

Розрахунок ширини виходу маси осколка поділу в статистичному підході.
Залежність середньої повної кінетичної енергії осколків поділу від енергії збудження ядра, що ділиться: теорія та експеримент.

Література

[3,15,18,20,21,24]

IV. 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 теоретичного курсу;
- набуття навичок опрацювання наукової літератури (монографій, наукових статей);
- напрацювання вмінь та навичок розв'язування фізичних 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	Відкриття індукованого та спонтанного поділу. Енергія зв'язку ядер. Енергетичні умови поділу. Крапельна модель поділу. Залежність поверхневої та кулонівської енергій ядра від деформації ядра. Бар'єр поділу. Одновимірні та багатовимірні потенційна енергія ядер, що діляться. Залежність висоти бар'єру від деформаційного простору.	[1-8,14] Д [1,2]	Опитування

2	<p>Наближення середнього поля, потенціал Вудса-Саксона.</p> <p>Теорія оболонкових поправок. Деформація ядер, маси ядер, бар'єри поділу. Бар'єр поділу та оболонкові поправки. Двогорбий бар'єр.</p> <p>Розрахунки часу життя спонтанного поділу у рамках теорії оболонкових поправок.</p> <p>Експериментальні дані часу життя спонтанного поділу ядер.</p>	[1-5,12] Д [1,2,3]	Опитування.
3	<p>Сили між нуклонами у ядрах. Сили Скірма, Гоньї.</p> <p>Розрахунки властивостей ядер та поділу за допомогою різноманітних сил у різних наближеннях.</p> <p>Сучасні моделі спонтанного поділу ядер.</p>	[1-5,8] Д [1,2]	Опитування.
4	<p>Статистична теорія розпаду компаунд ядра.</p> <p>Випаровування нейтронів, протонів, альфа частинок з компаунд ядра та ширини відповідних процесів.</p> <p>Статистичний поділ ядра.</p> <p>Властивості відношення ширин випаровування нейтронів та поділу.</p>	[3,11] Д [1,2]	Опитування.

5	<p>Властивості індукованого поділу ядер.</p> <p>Фотоподіл, поділ індукований нейтронами, протонами, ядрами, мезонами.</p> <p>Реакції злиття-поділу.</p> <p>Двогорбий бар'єр, ізомери поділу та їх властивості. Резонансні структури при поділі ядер.</p>	[3,4,5,9] Д [1,2]	Опитування.
6	<p>Розподіл енергії при поділі ядер. Кінетична енергія уламків, деформаційна енергія осколків та число нейтронів, що випромінені уламками, гама-кванти, що випромінені при поділі ядер.</p> <p>Симетричний та асиметричний поділ. Багатомодовий поділ та відповідні потенційні поверхні.</p> <p>Розподіл уламків поділу від числа нуклонів та заряду. Залежність розподілу уламків поділу від числа нуклонів та заряду від енергії збудження ядра.</p> <p>Моделювання розподілу уламків поділу від числа нуклонів та заряду.</p> <p>Затриманий поділ. Затримані нейтрони. Часове уявлення різноманітних процесів при поділі ядра.</p>	[1-5,12,14] Д [1,2]	Опитування.
7	<p>Трійний та четверний поділ – поділ, який супроводжується емісією легких ядер.</p> <p>Властивості трійного поділу.</p>	[3,10] Д [1,2]	Опитування.

8	Властивості кутового розподілу уламків поділу при вимушеному поділі ядер за допомогою різноманітних частинок.	[6] Д [1,2]	Опитування.
9	Ланцюгова реакція. Атомна бомба. Реактор ОКЛО. Застосування поділу в ядерних реакторах. Типи ядерних реакторів.	[13]	Опитування.
10	Застосування підходу Томаса-Фермі та розширеного підходу Томаса-Фермі до ядерного поділу. Опис моделі та розрахунки характеристик поділу за допомогою підходу Томаса-Фермі та розширеного підходу Томаса-Фермі до ядерного поділу.	[3]	Опитування.
11	Теорія поділу: підхід рівняння Ланжевена. Опис моделі та розрахунки характеристик поділу за допомогою рівняння Ланжевена.	[3625]	Опитування.
12	Розрахунки характеристик фрагментів поділу в моделі розриву трьох тіл (два важких фрагмента та альфа-частинка). Опис моделі та розрахунки характеристик фрагментів поділу в моделі розриву трьох тіл (два важких фрагмента та альфа-частинка).	[3,19,23]	Опитування.
13	Бар'єри поділу, ширина поділу, Γ_n/Γ_f . Зв'язки між висотою бар'єри поділу, ширини поділу, та відношенням Γ_n/Γ_f . Визначення висоти бар'єру поділу.	[3,16,17,22]	Опитування.

14	Ширина виходу маси осколка поділу в статистичному підході. Залежність середньої повної кінетичної енергії осколків поділу від енергії збудження ядра, що ділиться.	[3,15,18,20, 21,24]	Опитування.
----	--	---------------------	-------------

ОБСЯГ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

№	Назва теми	Кількість годин
1.	Опанування матеріалів лекцій та додаткових питань із застосування основної та додаткової літератури	30
	ВСЬОГО	30

Теми для рефератів та доповідей

1. Поділ ядер: відкриття та основні властивості.
2. Потенціал Вудса-Саксона, теорія оболонкових поправок. Атомні маси та деформація ядер.
3. Теорія спонтанного поділу.
4. Статистичний розпад ядер.
5. Вимушений поділ ядер.
6. Властивості уламків поділу.
7. Потрійний поділ.
8. Кутовий розподіл осколків поділу.
9. Застосування енергії ділення.

V. 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.

Згідно до методики рейтингової оцінки поточний рейтинг аспіранта розраховується як сума балів за всіма видами практичних завдань, колоквіуму та контрольної роботи (плюс показники відвідування лекційних 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. Відкриття індукованого та спонтанного поділу.
2. Енергія зв'язку ядер. Енергетичні умови поділу. Крапельна модель поділу. Залежність поверхневої та кулонівської енергій ядра від деформації ядра. Бар'єр поділу.
3. Одновимірні та багатовимірні потенційні енергії ядер, що діляться. Залежність висоти бар'єру від деформаційного простору.
4. Наближення середнього поля, потенціал Вудса-Саксона.

5. Теорія оболонкових поправок. Деформація ядер, маси ядер, бар'єри поділу. Бар'єр поділу та оболонкові поправки. Двогорбий бар'єр.
6. Розрахунки часу життя спонтанного поділу у рамках теорії оболонкових поправок.
7. Експериментальні дані часу життя спонтанного поділу ядер.
8. Сили між нуклонами в ядрах. Сили Скірма, Гоньи.
9. Розрахунки властивостей ядер та поділу за допомогою різноманітних сил у різних наближеннях.
10. Сучасні моделі спонтанного поділу ядер.
11. Статистична теорія розпаду компаунд ядра.
12. Випаровування нейтронів, протонів, альфа частинок з компаунд ядра та ширини відповідних процесів.
13. Статистичний поділ ядра.
14. Властивості відношення ширин випаровування нейтронів та поділу.
15. Властивості індукованого поділу ядер.
16. Фотоподіл, поділ індукований нейтронами, протонами, ядрами, мезонами.
17. Реакції злиття-поділу.
18. Двогорбий бар'єр, ізомери поділу та їх властивості. Резонансні структури при поділі ядер.
19. Розподіл енергії при поділі ядер. Кінетична енергія уламків, деформаційна енергія осколків та число нейтронів, що випромінені уламками, гама-кванти, що випромінені при поділі ядер.
20. Симетричний та асиметричний поділ. Багатомодовий поділ та відповідні потенційні поверхні.
21. Розподіл уламків поділу від числа нуклонів та заряду. Залежність розподілу уламків поділу від числа нуклонів та заряду від енергії збудження ядра.
22. Моделювання розподілу уламків поділу від числа нуклонів та заряду.
23. Затриманий поділ. Затримані нейтрони. Часове уявлення різноманітних процесів при поділі ядра.
24. Трійний та четверний поділ – поділ, який супроводжується емісією легких ядер.
25. Властивості трійного поділу.
26. Властивості кутового розподілу уламків поділу при вимушеному поділі ядер за допомогою різноманітних частинок.
27. Ланцюгова реакція.
28. Атомна (ядерна) бомба. Воднева бомба.
29. Реактор ОКЛО.
30. Застосування поділу в ядерних реакторах. Типи ядерних реакторів.
31. Опис моделі та розрахунки характеристик поділу за допомогою підходу Томаса-Фермі та розширеного підходу Томаса-Фермі до ядерного поділу.
32. Опис моделі та розрахунки характеристик поділу за допомогою рівняння Ланжевена.

33. Характеристики фрагментів поділу в моделі розриву трьох тіл (два важких фрагмента та альфа-частинка).
34. Зв'язки між висотою бар'єри поділу, ширини поділу, та відношенням Γ_n/Γ_f .
35. Визначення висоти поділу.
36. ТКЕ уламків поділу

VI. 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 наращується протягом семестру.

<i>Вид роботи</i>	<i>Обсяг за семестр р</i>	<i>Максимальна кількість балів за виконану роботу</i>
<i>Теоретичне питання (просте)</i>	<i>8</i>	<i>Кожна правильна і змістовна відповідь - 1 бал. Всього за семестр – 8 бали.</i>
<i>Теоретичне питання (ускладнене)</i>	<i>16</i>	<i>Кожна правильна і змістовна відповідь - 2 бали. Всього за семестр – 8 балів</i>
<i>Відвідування лекцій</i>	<i>36</i>	<i>Кожна відвідана лекція – 2 бал. Всього за семестр – 36 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	3 (задовільно)		D (задовільно)
60 – 65			E (достатньо)
30 – 59	2 (незадовільно)	Не зараховано	FX (незадовільно – з можливістю повторного складання)
1 – 29			F (незадовільно – з обов'язковим повторним курсом)