



ЯДЕРНА ТА НЕЙТРОННА ФІЗИКА

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Перший (бакалаврський)</i>
Галузь знань	<i>Електрична інженерія</i>
Спеціальність	<i>Атомна енергетика</i>
Освітня програма	<i>Атомні електричні станції</i>
Статус дисципліни	<i>Обов'язкова</i>
Форма навчання	<i>очна(денна)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>2 курс, 4-й семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>5,5 кредитів ЄКТС; 165 годин, з них лекції – 36, практичні – 18, лабораторні – 18, СРС – 93.</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>модульна контрольна робота, домашня контрольна робота, екзамен</i>
Розклад занять	<i>http://rozklad.kpi.ua/</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	<i>Лектор: кандидат фіз-мат наук, ст. викладач Бондар Б.М. borys.bondar@gmail.com Практичні / Семінарські: кандидат фіз-мат наук, ст. викладач Бондар Б.М. Лабораторні: кандидат фіз-мат наук, доцент Леценко Б.Ю. borisleshch@ukr.net</i>
Розміщення курсу	

Програма навчальної дисципліни

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

Навчальна дисципліна забезпечує отримання студентами знань з основних понять ядерної та нейтронної фізики, методів розрахунку простих ядерних систем, а також оцінювання точності розрахунків; вміння самостійно працювати з навчально-методичною та довідковою літературою з ядерної та нейтронної фізики; розв'язувати основні типи задач з ядерної та нейтронної фізики; розуміти суть фізики субатомного рівня, визначати межі застосування законів ядерної та нейтронної фізики.

Навчальна дисципліна забезпечує студентів уміннями розбиратися в сучасних уявленнях про будову ядра та ядерних систем; застосовувати квантові закони до опису процесів випромінювання та поглинання гамма-квантів і частинок ядрами; розраховувати основні характеристики взаємодії нейтронів з речовиною; застосовувати квантову механіку до опису ядерних реакцій під дією нейтронів; розраховувати основні параметри ланцюгової ядерної реакції поділу.

Метою навчальної дисципліни є формування здатностей (компетентностей), які студент набуде після вивчення дисципліни:

ЗК 3. Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями.

ЗК 4. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.

ЗК 7. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел

ФК 1. Здатність продемонструвати систематичне розуміння ключових аспектів та концепції розвитку галузі атомної енергетики

ФК 4. Здатність відшукувати та аналізувати інформацію, здійснювати патентний пошук, а також використовувати наукову і технічну літературу, бази даних та інші джерела інформації для здійснення професійної діяльності

ФК 9. Здатність враховувати ширший міждисциплінарний інженерний контекст у професійній діяльності

ФК 10. Здатність використовувати аналітичні та експериментальні методи, а також методи моделювання для вирішення професійних завдань.

ФК 13. Здатність використовувати знання характеристик специфічних матеріалів, обладнання, процесів та продуктів у професійній діяльності в галузі атомної енергетики.

Згідно з вимогами освітньо-наукової програми студенти після засвоєння навчальної дисципліни мають продемонструвати такі програмні результати навчання:

ПРН 1. Знання і розуміння математики, фізики, хімії та інженерних наук на рівні, необхідному для досягнення результатів освітньої програми, в тому числі певна обізнаність в останніх досягненнях в галузі.

ПРН 2. Розуміння широкого міждисциплінарного контексту спеціальності 143 Атомна енергетика.

ПРН 5. Здійснювати розрахунки об'єктів атомно-енергетичного комплексу, виробів, процесів і систем в галузі атомної енергетики, що задовольняють конкретні технічні, економічні, законодавчі та інші вимоги; обрання і застосування адекватної методології проектування

ПРН 7. Використовувати наукову і технічну літературу, бази даних та інші відповідні джерела інформації для розробки і обґрунтування технічних та управлінських рішень в атомній енергетиці

2. Пререквізити та постреквізити дисципліни (місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою)

Дисципліна базується на знаннях, отриманих при вивченні дисциплін: «Вища математика» ПО 1, «Фізика» ПО 2; «Атомна та квантова фізика» ПО 13.

Дисципліни, які базуються на результатах навчання з даної дисципліни: «Енергетичні ядерні реактори» ПО 15, «Теорія ядерних реакторів» ПО 19.

3. Зміст навчальної дисципліни

РОЗДІЛ 1. Предмет та методологія ядерної фізики

Тема 1.1. Предмет та методологія ядерної фізики. Основні етапи розвитку. Місце та роль ядерної фізики в загальній системі природних наук. Зв'язок з іншими науками та розділами фізики.

РОЗДІЛ 2. Загальні властивості ядер

Тема 2.1. Дефект маси. Енергія зв'язку ядер. Формула Вайцекера для питомої енергії зв'язку.

Тема 2.2.. Розміри та деформація ядер. Статичні мультипольні моменти ядер.

РОЗДІЛ 3. Ядерні сили

Тема 3.1. Властивості ядерних сил.

Тема 3.2. Основи теорії структури дейтрона.

РОЗДІЛ 4. Моделі ядер

Тема 4.1. Класифікація моделей. Колективні моделі ядра.

Тема 4.2. Моделі незалежних частинок. Модель Фермі-газу. Оболонкова модель ядра.

РОЗДІЛ 5. Ядерні реакції.

Тема 5.1. Загальні закономірності ядерних реакцій. Закони збереження в ядерних реакціях.

Тема 5.2. Механізми ядерних реакцій.

РОЗДІЛ 6. Радіоактивність

Тема 6.1. Класифікація радіоактивних розпадів. Загальні закони радіоактивного розпаду.

Тема 6.2. Теорії α - та β -розпадів.

Тема 6.3. Ядерна ізомерія. Запізнені нейтрони та механізм їх появи.

Тема 6.4. Резонансне поглинання γ -квантів. Ефект Мессбауера та його використання.

РОЗДІЛ 7. Основи нейтронної фізики

Тема 7.1. Основні властивості та джерела нейтронів.

Тема 7.2. Взаємодія нейтронів з ядрами.

РОЗДІЛ 8. Ядерна енергетика

Тема 8.1. Ланцюгова реакція ділення важких ядер.

Тема 8.2. Ядерні реактори поділу.

Тема 8.3. Проблеми керуваного термоядерного синтезу.

РОЗДІЛ 9. Фізика елементарних частинок

Тема 9.1. Загальні властивості елементарних частинок та типи їхньої взаємодії.

Тема 9.2. Космічні промені.

4. Навчальні матеріали та ресурси

Література, яку потрібно прочитати або використовувати для опанування дисципліни:

1) Базова:

- Б.М. Бондар, Б.Ю. Лещенко, Ядерна і нейтронна фізика в задачах з поясненнями [Електронний ресурс]: підручник для здобувачів ступеня бакалавра за спеціальністю 143 «Атомна енергетика» / Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2024.
- Б.М. Бондар, Б. Ю. Лещенко, Ядерна та нейтронна фізика. Практикум // навчальний посібник для студентів, Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018.
- Каденко І.М. Фізика атомного ядра та частинок: підручник / І.М. Каденко, В.А. Плюйко – 2-ге вид., переробл. і доповн. Електронна версія. К: 2019.
- Булавін Л. А. Ядерна фізика: підручник / Л.А. Булавін, В.К. Тартаковський – К.: Знання, 2005. – 439с.
Носовський А.В. Дозиметрія та захист від іонізуючого випромінювання: підручник / А.В. Носовський, Б.М. Бондар – К: Фенікс, 2020. – 408с

2) Додаткова:

- Булавін Л. А., Тартаковський В. К. Ядерна фізика. – К.: Знання, 2005.
- <http://nuclphys.sinp.msu.ru>.
- Плюйко В. А. Основи теорії ядра та ядерних процесів. Фізика атомного ядра. – К.: ВПЦ, "Київ. ун-т", 2002.; Ядерні процеси. – К.: ВПЦ "Київ. ун-т", 2003.
- Гопыч П. М., Залубовский И. И. Ядерная спектроскопия. – Х.: Вища шк., 1980.
- Немец О. Ф., Теренецкий К. О. Ядерные реакции. – К.: Вища шк., 1977.
- Лещенко Б.Ю. Задачі до курсів: «Взаємодія іонізуючого випромінювання з речовиною», «Методи ресстрації ядерного випромінювання», «Детектори ядерного випромінювання», «Ядерна фізика». –К.: ВПЦ «Київський університет», 2001. –15с.
- бази даних експериментальних та оцінених величин перерізів ядерних реакцій <https://www-nds.iaea.org/exfor/>; <https://www-nds.iaea.org/exfor/endl.htm#1>
- бази даних характеристик ізотопів Live chart nuclides <https://www-nds.iaea.org/relnsd/vcharthtml/VChartHTML.html>

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Для опанування навчальної дисципліни застосовуються:

1. Пояснювально-ілюстративний та інформаційно-рецептивний метод – студенти одержують знання на лекціях та з навчальної і навчально-методичної літератури.

Лекції:

Лекція 1. Вступ: предмет та методи ядерної фізики; основні етапи розвитку; місце та роль ядерної фізики в загальній системі природничих наук; зв'язок з іншими науками та розділами фізики. Історичний огляд та філософські аспекти розвитку. Масштаби фізичних величин у ядерній фізиці.

Лекція 2. Склад, маса та заряд ядра. Енергія зв'язку ядра. Дефект маси. Формула Вайцзекера, її фізична інтерпретація в моделі рідкої краплини. Нуклоностабільні ядра. Смуга бета-стабільності.

Лекція 3. Радіус та форма ядра. Електричний квадрупольний момент. Спін та магнітний момент ядра. Надтонке розщеплення. Ядерний магнітний резонанс. Статистичні властивості ядер. Принцип Паулі

Лекція 4. Ядерні сили. Феноменологічний підхід до вивчення ядерних сил. Властивості дейтрона. Нуклон-нуклонна взаємодія при низьких та високих енергіях. Мезонна теорія ядерних сил.

Лекція 5. Класифікація моделей. Колективні моделі ядра. Крапельна модель ядра. Використання моделі для виведення формули для енергії зв'язку ядра, для пояснення ділення при великих збудженнях, для пояснення гігантського дипольного резонансу, для пояснення колективних збуджень. Коливальні та обертальні рівні.

Лекція 6 . Ядерний Фермі-газ. Оцінка глибини потенційної ями. Оболонкова модель ядра. Урахування спін-орбітальної взаємодії. Магічні числа. Узагальнена модель ядра. Одночастинкові стани у несферичній ямі. Обчислення спінів та магнітних моментів ядер. Розщеплення рівнів в залежності від величини та знака деформації. Обертальні стани. Коливальні рівні.

Лекція 7 . Ядерні реакції. Загальні закономірності. Ефективний переріз та функція збудження. Канали реакції. Закони збереження в ядерних реакціях. \

Лекція 8. Механізми ядерних реакцій. Зв'язок енергетичної ширини рівня та часу життя. Складене ядро. Прямі процеси. Реакція зриву. Кутовий розподіл продуктів реакції.

Лекція 9. Класифікація радіоактивних розпадів. Загальні закони радіоактивного розпаду. Статистичний характер розпаду. Активність. Одиниці виміру. Закон Гейгера-Неттола.

Лекція 10. Механізм α -розпаду (тунельний ефект). β -Розпад. Три типи β -розпаду. Енергетичний спектр електронів розпаду та. γ -Випромінювання ядер. Типи електромагнітних переходів.

Лекція 11. Ядерна ізомерія. Пояснення явища. Запізнені нейтрони та механізм їх появи.

Лекція 12. Резонансне поглинання γ -квантів. Ефект Месбауера та його використання.

Лекція 13. Основні властивості нейтронів. Джерела нейтронів. Методи реєстрації нейтронів. Класифікація нейтронів. Поперечний переріз взаємодії нейтронів з ядрами. Класифікація перерізів. Залежність перерізу взаємодії нейтронів від їх енергії.

Лекція 14. Взаємодія нейтронів з речовиною. Сповільнення нейтронів. Летаргія нейтронів. Дифузія теплових нейтронів. Елементарний акт ділення важких ядер. Радіоактивність уламків. Енергетичний спектр нейтронів ділення. Миттєві та запізнені нейтрони. Елементарна теорія ділення на основі крапельної моделі ядра.

Лекція 15. Ланцюгова реакція ділення важких ядер. Умови здійснення ланцюгової реакції ділення. Коефіцієнт розмноження нейтронів. Формула чотирьох множників. Критична маса.

Лекція 16. Ядерні реактори. Роль запізнених нейтронів в керуванні ланцюговою реакцією. Реактори на швидких нейтронах. Атомні електростанції, їх основні параметри. Розвиток атомної енергетики.

Лекція 17. Принципові умови здійснення ланцюгової реакції синтезу легких ядер. Водневий та азотно-вуглецевий цикли. Перспективи здійснення керованих термоядерних реакцій. Способи отримання гарячої плазми. Забезпечення термоізоляції за допомогою магнітного поля.

Лекція 18. Типи взаємодії між частинками. Закони збереження. Механізми взаємодії елементарних частинок. Порушення закону збереження парності в слабких взаємодіях. Спіральність нейтрино. Анігіляція. Систематика елементарних частинок. Кварки та квантова хромодинаміка. Космічні промені. Зливи. Склад м'якої та жорсткої компонент.

2. Репродуктивний метод - організовується діяльність студентів за кількарізним відтворенням засвоєних знань, для цього використовуються різноманітні вправи, лабораторні, практичні роботи, програмований контроль, і різні форми самоконтролю.

Практичні заняття:

1. Формула Вайцзекера для питомої енергії зв'язку.
2. Розміри та деформація ядер. Статичні мультипольні моменти ядер.
3. Класифікація моделей. Колективні моделі ядра.
4. Моделі незалежних частинок.
5. Механізми ядерних реакцій.
6. Теорії α - та β -розпадів.
7. Резонансне поглинання γ -квантів. Ефект Месбауера та його використання.
8. Взаємодія нейтронів з ядрами.
9. Ланцюгова реакція ділення важких ядер.

Лабораторні заняття:

1. Виконання л/р №1 «Закономірності флуктуацій при реєстрації ядерного випромінювання»
2. Виконання л/р №2 «Вивчення поглинання γ -випромінювання за допомогою сцинтиляційного лічильника»
3. Виконання л/р №3 «Сцинтиляційний гамма-спектрометр»
4. Виконання л/р №4 «Визначення потужності експозиційної дози гамма-випромінювання»
5. Захист л/р №1 «Закономірності флуктуацій при реєстрації ядерного випромінювання»
6. Захист л/р №2 «Вивчення поглинання γ -випромінювання за допомогою сцинтиляційного лічильника»
7. Захист л/р №3 «Сцинтиляційний гамма-спектрометр»
Захист л/р №4 «Визначення потужності експозиційної дози гамма-випромінювання»

6. Самостійна робота студента/аспіранта

Студенти проводять підготовку до лекцій та практичних занять шляхом:

- вивчення матеріалу, викладеного на попередній лекції та практичному занятті;
- розв'язування задач, які були задані для домашньої роботи на практичному занятті;
- виконання розрахунків за даними, отриманими на практичному занятті та лекції;
- вивчення матеріалу, аналізу розрахунків та формулювання висновків при виконанні домашніх завдань та лабораторних робіт.

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Система вимог:

- Відвідування лекцій, практичних і лабораторних занять є обов'язковими;
- На заняттях студент повинен приймати активну участь в роботі з викладачем – відповідати на запитання, пропонувати варіанти розв'язування задач, демонструвати виконані домашні завдання та ін.;
- Для захисту лабораторних робіт студент повинен продемонструвати розуміння явищ, процесів, законів, що вивчаються в роботі, надати та пояснити методику обчислень та отримані результати, вміти зробити правильні висновки та аналіз виконаної роботи;
- Виконані домашні завдання дозволяють отримати заохочувальні бали лише в разі чіткого розуміння розв'язків та суті явищ, що розглядаються в задачі.
- У випадку нерозуміння наданих розв'язків задач, домашні завдання вважаються такими, що порушують правила академічної доброчесності, і можуть призвести до зарахування штрафних балів.

8. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (PCO)

Види контролю знань студента з дисципліни

- експрес-опитування та опитування за темою заняття, перевірка домашніх робіт
- модульна контрольна робота (проводиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу).

- екзамен (умови допуску до семестрового контролю: мінімально позитивна оцінка за роботу на практичних заняттях і лекціях, зарахування усіх виконаних домашніх завдань і лабораторних робіт).

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

Кількість балів	Оцінка
100-95	Відмінно
94-85	Дуже добре
84-75	Добре
74-65	Задовільно
64-60	Достатньо
Менше 60	Незадовільно
Не виконані умови допуску	Не допущено

9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

В умовах дистанційного режиму організація освітнього процесу здійснюється з використанням технологій дистанційного навчання: платформи дистанційного навчання «Сікорський» та «Електронний кампус». Навчальний процес у дистанційному режимі здійснюється відповідно до затвердженого розкладу навчальних занять. Заняття проходять з використанням сучасних ресурсів проведення онлайн-зустрічей (організація відео-конференцій на платформі Zoom).

1. Навчання в умовах правового режиму воєнного стану:

– передбачає проведення усіх видів занять дистанційно (з використанням синхронної або асинхронної моделі освітньої взаємодії), у відповідності до Регламенту організації освітнього процесу в дистанційному режимі та Положення про дистанційне навчання в КПІ ім. Ігоря Сікорського;

– кінцеві терміни виконання індивідуальних завдань і завдань самостійної роботи переносяться на кінець семестру (з обов'язковим виконанням і захистом);

– у рейтингову систему оцінювання вносяться зміни стосовно нарахування штрафних балів за не своєчасне виконання завдань: штрафні бали не нараховуються.

2. Для студентів існує можливість зарахування (у вигляді додаткових балів до рейтингу до 20 балів):

– сертифікатів проходження дистанційних чи он-лайн курсів за тематикою дисципліни;

– сертифікатів, які підтверджують участь у науково-практичних і наукових конференціях за тематикою дисципліни;

публікація статті у науковому журналі за тематикою дисципліни

Перелік питань, які виносяться на семестровий контроль:

1. Загальні властивості ядер.
2. Маса ядра та його складових. Атомна одиниця маси. Енергетичні одиниці маси.
3. Радіус ядра, методи його вимірювання.
4. Розмір та форма ядра. Електричний квадрупольний момент ядра.
5. Дефект маси та енергія зв'язку ядра.
6. Напівемпірична формула для енергії зв'язку ядра.
7. Спін та магнітний момент ядра. Методи визначення.
8. Ядерний магнітний резонанс та його використання.
9. Статистика в мікросвіті. Принцип Паулі.
10. Парність. Закон збереження парності.
11. Властивості ядерних сил. Мезонна теорія ядерних сил.
12. Моделі атомних ядер. Класифікація, загальні властивості.
13. Крапельна модель ядра. Формула Вейцеккера.
14. Модель Фермі-газу.

15. Оболонкова та узагальнена моделі ядер.
16. Ядерні реакції. Класифікація та закони збереження в ядерних реакціях.
17. Властивості ядерних реакцій. Кулонівський бар'єр та Q-реакції.
18. Радіоактивність. Закон радіоактивного розпаду.
19. Типи радіоактивних розпадів. Енергетичні співвідношення, що регулюють різні типи розпадів.
20. Основні властивості α -розпаду, β - розпаду і k - захвата.
21. γ - випромінювання ядер. Природа явища та основні властивості.
22. Типи електромагнітних переходів та правила відбору.
23. Ефект Мессбауера.
24. Основні властивості нейтронів та їх класифікація за енергією.
25. Ядерні реакції під дією нейтронів.
26. Сповільнення та дифузія нейтронів. Середньологарифмічна втрата енергії.
27. Елементарний акт ділення важких ядер. Енергія, що виділяється.
28. Миттєві та запізнілі нейтрони. Механізм їх виникнення.
29. Ланцюгова реакція поділу. Критичні розміри. Коефіцієнт розмноження.
30. Динаміка ланцюгової реакції. Період реактора.
31. Формула 4-х співмножників.
32. Ядерні реактори. Будова, принцип роботи та їх експлуатація.
33. Реакції синтезу легких ядер. Проблеми керованої ланцюгової реакції синтезу

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено:

ст. викладач кафедри АЕС і ІТФ, кандидат фіз-мат наук, Бондар Б.М.

доцент кафедри АЕС і ІТФ, кандидат фіз-мат наук, Лещенко Б.Ю.

Ухвалено кафедрою АЕС і ІТФ (протокол № ___ від _____)

Погоджено Методичною комісією ТЕФ (протокол № ___ від _____)