

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

Фізичний факультет
(назва факультету)

Кафедра ядерної фізики та високих енергій



РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ
(повна назва навчальної дисципліни)
**« ПРАКТИКУМ З ФІЗИКИ ЯДРА ТА ЕЛЕМЕНТАРНИХ
ЧАСТИНОК »**

для студентів

галузь знань 10. Природничі науки
(шифр і назва)
спеціальність 104. Фізика та астрономія,
(шифр і назва спеціальності)
освітній рівень бакалавр
(молодший бакалавр, бакалавр, магістр)
освітня програма фізика,
(назва освітньої програми)
вид дисципліни обов'язкова ОК 32

Форма навчання денна
Навчальний рік 2022/2023
Семестр 6
Кількість кредитів ECTS 3
Мова викладання, навчання та оцінювання українська
Форма заключного контролю залік

Пролонговано: на 20__/20__ н.р. (_____) «__» ____ р.
(підпис, ПІБ, дата)

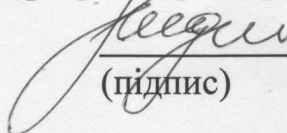
на 20__/20__ н.р. (_____) «__» ____ 20__ р.
(підпис, ПІБ, дата)

КИЇВ – 2022

Розробники: док .фіз.-мат.наук, професор кафедри ядерної фізики Плюйко В.А., інженер II категорії навчальної лабораторії кафедри експериментальної фізики Клецонок Т.В.; інженер I категорії навчальної лабораторії кафедри ядерної фізики Бондаренко Т.І.

ЗАТВЕРДЖЕНО

Зав. кафедри ядерної фізики та високих енергій

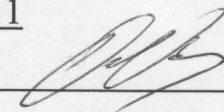
 (Ігор Каденко)
(підпис) (прізвище та ініціали)

Протокол № 14 від «03» червня 2022 р.

Схвалено науково - методичною комісією факультету
фізичного факультету

Протокол від «10» червня 2022 року №11

Голова науково-методичної комісії

 (Олег Оліх)
(підпис) (прізвище та ініціали)

« _____ » _____ 20__ року

1. Мета дисципліни полягає у поглибленні теоретичних знань з курсу «Фізика ядра та елементарних частинок», одержаних на лекціях: сприянні докладнішому вивченню фізичних понять, явищ та законів; оволодінні студентами практичними навичками користування вимірювальними приладами, отриманні з досліду фізичної інформації, а також оволодінні культурою запису отриманої інформації, правильному представленню отриманих результатів у вигляді графіків, таблиць; математичною обробкою результатів експерименту та оцінки похибок вимірювання; формуванню навичок дослідницької діяльності, здатності абстрактного та критичного мислення. Тим самим *підкреслюється експериментальний характер фізики та науки загалом.*

2. Попередні вимоги до опанування або вибору навчальної дисципліни (за наявності):

1.Знати основні закони термодинаміки та ядерної фізики, основи теорії похибок та обробки даних.

2.Вміти застосовувати попередні знання з представленням експериментальних даних, правило обчислення похибок вимірювань, обчислення похідних, інтегралів, вміти графічно будувати отримані експериментально залежності.

3.Володіти елементарними навичками роботи з вимірювальними приладами; пошуку та аналізу табличних даних, роботи з програмним забезпеченням для обробки даних, роботи в групі.

3. Анотація навчальної дисципліни:

Навчальна дисципліна «**Практикум з фізики ядра та елементарних частинок**» є складовою частиною вивчення *базової нормативної* дисципліни - загального курсу «Фізика ядра та елементарних частинок. Формою викладання дисципліни «**Практикум з фізики ядра**» є лабораторні роботи. Заняття проводяться паралельно з курсом «Фізика ядра та елементарних частинок», який включає в себе лекції та практичні заняття, у відповідності до його програми. Тематика лабораторних робіт дозволяє більш успішно опанувати такі основні розділи курсу «Фізика ядра та елементарних частинок»:

1. Структура атомних ядер (лабораторні роботи №2,3,4,6,10).

2. Ядерні процеси (лабораторні роботи № 1,5, 7, 8, 9).

Оскільки лабораторні роботи представлені в недостатньої кількості установок для фронтального виконання за темою, яка викладається в лекційному курсі (що унеможливорює об'єднання робіт в модулі за змістом), то для забезпечення одночасного виконання робіт всіма студентами однієї групи лабораторні роботи призначаються викладачем в *довільному порядку* (без попереднього викладення матеріалу). Тому для ефективного виконання лабораторної роботи студент повинен самостійно ознайомитись з короткими теоретичними відомостями, які подані в описі лабораторної роботи, законспектувати їх. Теоретичні відомості в описах до лабораторних робіт викладено стисло, тому для глибшого вивчення деяких теоретичних питань потрібно опрацювати рекомендовану літературу.

Для роз'яснення незрозумілих питань перед початком лабораторного заняття викладач може провести коротку *консультацію*.

4. Завдання (навчальні цілі):

- розвиток навичок студентів самостійно працювати та застосовувати теоретичні знання для вирішення практичних задач;

- засвоєння методів і прийомів фізичних вимірювань та оволодіння практичними навичками користування лабораторним устаткуванням, вміння аналізувати отримані результати;
- вміння застосовувати математичний апарат для обробки отриманих результатів експерименту; оволодіння культурою запису та представлення отриманої інформації у вигляді графіків, таблиць;
- набуття та розвиток навичок комунікації, роботи в групі;
- розвиток абстрактного та критичного мислення для подальшого застосування в науковій роботі.

Згідно вимог Стандарту вищої освіти України (перший (бакалаврський) рівень вищої освіти, галузь знань 10 «Природничі науки», спеціальність 104 «Фізика та астрономія», ОПП «Фізика» дисципліна забезпечує набуття здобувачами освіти наступних компетентностей:

Інтегральних:

Здатність розв'язувати складні задачі і проблеми дослідницького та інноваційного характеру у фізиці та астрономії.

Загальних:

ЗК2. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.

ЗК4. Здатність бути критичним і самокритичним.

ЗК5. Здатність приймати обґрунтовані рішення.

ЗК6. Навички міжособистісної взаємодії.

ЗК7. Навички здійснення безпечної діяльності.

ЗК8. Здатність оцінювати та забезпечувати якість виконуваних робіт.

ЗК9. Визначеність і наполегливість щодо поставлених завдань і взятих обов'язків

Фахові:

ФК1. Знання і розуміння теоретичного та експериментального базису сучасної фізики та астрономії.

ФК2. Здатність використовувати на практиці базові знання з математики як математичного апарату фізики і астрономії при вивченні та дослідженні фізичних та астрономічних явищ і процесів.

ФК3. Здатність оцінювати порядок величин у різних дослідженнях, так само як точності та значимості результатів.

ФК4. Здатність працювати із науковим обладнанням та вимірювальними приладами, обробляти та аналізувати результати досліджень.

ФК8. Здатність виконувати теоретичні та експериментальні дослідження автономно та у складі наукової групи.

ФК9. Здатність працювати з джерелами навчальної та наукової інформації.

ФК11. Розвинуте відчуття особистої відповідальності за достовірність результатів досліджень та дотримання принципів академічної доброчесності разом з професійною гнучкістю.

ФК13. Здатність працювати із науковим обладнанням та вимірювальними приладами, обробляти та аналізувати результати досліджень.

ФК14. Здатність виконувати обчислювальні експерименти, використовувати чисельні методи для розв'язування задач в галузі оптики, лазерної фізики та метрології, проводити моделювання оптичних та оптико-електронних систем.

5. Результати навчання за дисципліною:

Результат навчання (1. знати; 2. вміти; 3. комунікація; 4. автономність та відповідальність)		Форми (та/або методи і технології) викладання і навчання	Методи оцінювання та пороговий критерій оцінювання (за необхідності)	Відсоток у підсумковій оцінці з дисципліни
Код	Результат навчання			
1	Знати: 1.1. основні принципи та закони ядерної фізики, їх математичне формулювання та фізичний зміст 1.2. про взаємозв'язок окремих явищ і процесів 1.3. про складнощі проведення вимірювань, точності отримання результатів та джерела імовірних похибок 1.4. загальні правила безпеки при проведенні експериментальних досліджень	Захист лабораторної роботи	-	40%
		Захист лабораторної роботи Письмове оформлення лабораторної роботи Вступна лекція Інструктаж		30%
2	Вміти: 2.1 представляти та аналізувати одержані результати 2.2 працювати з нескладним експериментальним устаткуванням, оцінювати похибки вимірювання 2.3. обробляти та пояснювати отримані результати 2.4. оцінювати порядки величин, що досліджуються, їх точність та ступінь достовірності, розраховувати похибки вимірювань та формулювати висновки 2.5. самостійно працювати з навчальною, навчально-методичною та довідковою літературою з ядерної фізики.	Захист лабораторної роботи Проведення експерименту		25%
		Захист лабораторної роботи Оформлення лабораторної роботи, Захист лабораторної роботи		5%
3	3.1. вміти працювати у групі; 3.2. вміти вислуховувати співрозмовника та розуміти його точку зору.	Проведення експерименту Захист лабораторної роботи		
4.	4.1. нести особисту відповідальність за виконання правил безпеки, самостійну роботу з лабораторним устаткуванням 4.2. розвиток навичок студентів автономно працювати та застосовувати свої теоретичні знання для виконання експериментального завдання	Проведення експерименту Проведення експерименту		

6. Співвідношення результатів навчання дисципліни із програмними результатами навчання (не обов'язково для вибіркових дисциплін які не входять до блоків спеціалізації)

Результати навчання дисципліни(код)	1.1	1.2	1.3	1.4	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	3.1/мен	3.2	4.1	4.2
Програмні результати навчання (назва)													
ПРН1.Знати, розуміти та вміти застосовувати на базовому рівні основні положення загальної та теоретичної фізики, зокрема, класичної, релятивістської та квантової механіки, ядерної фізики та термодинаміки, електромагнетизму, хвильової та квантової оптики, фізики атома та атомного ядра для встановлення, аналізу, тлумачення, пояснення й класифікації суті та механізмів різноманітних фізичних явищ і процесів для розв'язування складних спеціалізованих задач та практичних проблем з фізики.	+												+
		+											
ПРН3.Знати і розуміти експериментальні основи фізики: аналізувати, описувати, тлумачити та пояснювати основні експериментальні підтвердження існуючих фізичних теорій.		+					+	+					
ПРН4.Вміти застосовувати базові математичні знання, які використовуються у фізиці: з аналітичної геометрії, лінійної алгебри, математичного аналізу, диференціальних та інтегральних рівнянь, теорії ймовірностей та математичної статистики, теорії груп, методів математичної фізики, теорії функцій комплексної змінної, математичного моделювання.							+	+					
ПРН8.Мати базові навички самостійного навчання: вміти відшукувати потрібну інформацію в друкованих та електронних джерелах, аналізувати, систематизувати, розуміти, тлумачити та використовувати її для вирішення наукових і прикладних завдань.									+				+
ПРН9.Мати базові навички проведення теоретичних та/або експериментальних наукових досліджень з окремих спеціальних розділів фізики, що виконуються індивідуально (автономно) та/або у складі наукової групи.			+	+						+		+	+
ПРН10.Вміти обирати дослідження, обирати оптимальні методи та засоби досягнення мети дослідження, знаходити шляхи роз'яснення наукових завдань та вдосконалення застосованих методів.													
ПРН11.Вміти упорядковувати, тлумачити та узагальнювати одержані наукові та практичні результати, робити висновки.	+				+		+	+	+				+
ПРН12. Вміти представляти одержані наукові результати, брати участь у дискусіях стосовно змісту і результатів власного наукового дослідження.					+						+		
ПРН14.Знати і розуміти основні вимоги техніки безпеки при проведенні експериментальних досліджень, зокрема правила роботи з певними видами обладнання та речовинами, правила захисту персоналу від дії різноманітних чинників, небезпечних для здоров'я людини.						+						+	

7. Схема формування оцінки.

Схема формування оцінки здійснюється за рейтинговою системою.

Рейтинг кожної роботи складається з **10 балів**:

- підготовка до виконання лабораторної роботи (щоб отримати допуск до виконання треба вміти відповісти на контрольні запитання щодо виконання роботи, знати мету роботи та мати протокол з теоретичними відомостями) - **1 бал**
Без попередньої підготовки студент не допускається до виконання лабораторної роботи.
- виконання роботи та отримання експериментальних даних, кількість та якість вимірів – **2 бала**
- оформлення протоколу, обробка експериментальних даних: обчислення величин, похибок; пояснення розбіжностей і похибок у висновку – **3 бала**
- знання та розуміння матеріалу за темою роботи, що захищається – **4 балів**

При виставленні балів враховуються:

якість виконання та оформлення лабораторних робіт;

знання та розуміння матеріалу відповідної теми при захисті лабораторних робіт; якість самостійної роботи студента при виконанні відповідних завдань для самостійної роботи.

Обов'язковим для заліку є виконання та захист **10** лабораторних робіт. Таким чином студент максимально може отримати **100** балів

7.1 Форми оцінювання студентів:

1. Письмове оформлення лабораторної роботи.
2. Усна відповідь.

семестрове оцінювання:

Студент, який виконав три роботи та не захистив жодної з них до наступної роботи не допускається.

Лабораторні роботи (10 робіт): РН -100 балів/10 балів за *кожну*

підсумкове оцінювання (у формі екзамену/комплексного екзамену, диференційованого заліку): диференційований залік

умови допуску до підсумкового екзамену з курсу «Фізика ядра та елементарних частинок»:

залік отримується з дисципліни «Практикум з ядерної фізики» з рейтингом не менше ніж 60 балів. При невиконанні лабораторних робіт в повному обсязі, або виконанні з кількістю балів, меншою 60, студент до іспиту з курсу «Фізика ядра та елементарних частинок» не допускається.

7.2 Організація оцінювання: *(обов'язково зазначається порядок організації передбачених робочою навчальною програмою форм оцінювання із зазначенням орієнтовного графіку оцінювання).* Оцінювання проводиться впродовж одного семестру, після виконання та захисту лабораторної роботи. Для захисту лабораторної роботи студент має подати письмовий звіт про виконання відповідної лабораторної роботи, в якому крім даних попередньої підготовки мають бути первісні дані експерименту, кінцеві показники експерименту – формула та результат обчислення шуканої величини, похибки, відповідні графіки, висновки відносно методики вимірювань і знайдених закономірностей, а також відповіді на основні питання за темою роботи.

Основні контрольні запитання для захисту лабораторних робіт з ядерної фізики

Робота №1. Вивчення поглинання γ -випромінювання за допомогою сцинтиляційного лічильника

- Вимоги до геометрії установки для коректного вимірювання поглинання γ -квантів?
- В чому відмінність законів поглинання γ -квантів і заряджених частинок речовиною?
- Чому ймовірність фотоефекту зменшується при збільшенні енергії γ -квантів?
- На яких оболонках атома ймовірність фотоефекту найбільша і чому?
- Яка залежність ймовірності ефекту Комптона від енергії γ -квантів і порядкового номера z ?
- Як розрахувати час вимірювання для визначення коефіцієнта поглинання з точністю 5%?

Робота №2. Вивчення кутової кореляції анігіляційних фотонів та оцінка їхньої енергії

- Як відбувається процес сповільнення позитронів в речовині.
- Що таке позитроній. Який його час життя.
- Яким чином можна за допомогою позитронних джерел оцінювати температуру електронного газу в металах.
- Навести приклади радіоактивних ядер, що випромінюють позитрони.
- Що таке зарядове спряження.

Робота №3. Сцинтиляційний γ -спектрометр

- Ядро якого хімічного елемента випромінює γ -кванти з енергією 1.17 MeV та 1,33 MeV ?
- На електронах якого хімічного елемента найчастіше проходить передача енергії $\gamma \rightarrow$ електрон в кристалі NaI(Tl)?
- Пояснити принцип роботи ФЕП
- Пояснити принцип роботи АЦП. Який мертвий час АЦП на 1024 канали, що має генератор 200 МГц?
- Схематично намалювати спектри від γ -квантів з енергією 1 MeV та 5 MeV, що отримані за допомогою спектрометра на основі кристалу NaI(Tl).

Робота №4. Визначення часу життя мюонів

- Походження мюонів в атмосфері Землі
- Мінімальна енергія мюонів, які доступні для реєстрації в атмосфері Землі.
- Як час життя мюонів залежить від їх енергії?

Робота №5. Вивчення ефективності лічильника Гейгера-Мюллера, активності препарату, періоду напіврозпаду Co-60 методом збігів

- Основні квантові характеристики основного і збудженого рівнів ядра.
- Мультипольності радіаційних переходів між рівнями ядер. Магнітні та електричні переходи.
- Принцип роботи лічильника Гейгера-Мюллера. Зовнішнє і внутрішнє гасіння розряду. Лічильна характеристика.

Робота №6. Закономірності флуктуацій при реєстрації ядерного випромінювання

- Загальні умови застосування закону Пуассона.
- Зв'язок закону Пуассона з законом Гауса.
- Інтеграл помилок Гауса. Середньоквадратична (стандартна) та імовірнісна похибки.
- Відносна похибка. Визначення часу виміру для одержання заданої точності.

Робота №7. Визначення часу життя збудженого стану ядра Fe-57 (ефект Мессбауера)

- Ефект Мессбауера. Резонансна флуоресценція.
- Чим визначається ширина резонансної лінії γ -випромінювання?
- Чому ефект Мессбауера спостерігається тільки для речовин з кристалічною ґраткою?
- Блок-схема мессбауерівського спектрометра.
- Типи мессбауерівських спектрометрів

Робота №8. Визначення потужності експозиційної дози радіоактивного джерела

- Чим відрізняється величина поглиненої дози від керми.
- Для чого ввели величину ефективна доза? Чи використовують цю величину для оцінки дозового навантаження на тварин?
- Для якої геометрії опромінення зовнішнім полем дозові конверсійні коефіцієнти мають найбільше значення? Пояснити відмінність дозового навантаження при різних геометріях опромінення.
- Що таке повітряна керма?

Робота №9. Визначення питомої активності джерел β -випромінювання

- Що таке β -частинка?
- Що таке β -розпад ядра, які типи такого розпаду ви знаєте?
- Який вигляд мають β -спектри?
- Визначити екстрапольований пробіг β -частинок джерела $^{38}_{90}\text{Sr}$ $^{90}_{39}\text{Y}$ в м'якій тканині за масою: 10% Н, 18% С, 3% N, 65% О, 4% інших елементів.
- В організмі дорослої людини міститься 0.19% (за вагою) калію. Оцінити радіоактивність людини і визначити поглинуту дозу в тілі людини від ^{40}K за рік.
- Що таке мінімальна детектована активність (МДА)?

Робота №10. Статистичні методи аналізу вимірюваної величини

- Відносна похибка
- Визначення часу виміру для одержання заданої точності.

7.3 Шкала відповідності оцінок

Відмінно / Excellent	90-100
Добре / Good	75-89
Задовільно / Satisfactory	60-74
Незадовільно / Fail	0-59
Зараховано / Passed	60-100
Не зараховано / Fail	0-59

8. Структура навчальної дисципліни. Тематичний план лабораторних занять.

В « Практикумі з Ядерної фізики» в наявності 10 робіт (10 установок):

- Лабораторна робота №1. **Вивчення поглинання γ -випромінювання за допомогою сцинтиляційного лічильника**(1 установка)
- Лабораторна робота №2. **Вивчення кутової кореляції анігіляційних фотонів та оцінка їхньої енергії** (1 установка).
- Лабораторна робота №3. **Сцинтиляційний γ -спектрометр** (1 установка).
- Лабораторна робота №4. **Визначення часу життя мюонів** (1 установка).
- Лабораторна робота №5. **Вивчення ефективності лічильника Гейгера-Мюллера, активності препарату, періоду напіврозпаду Co-60 методом збігів** (1 установка).

- Лабораторна робота №6. **Закономірності флуктуацій при реєстрації ядерного випромінювання** (1 установка).
- Лабораторна робота №7. **Визначення часу життя збудженого стану ядра Fe-57 (ефект Мессбауера)**. (1 установка).
- Лабораторна робота №8. **Визначення потужності експозиційної дози радіоактивного джерела** (1 установка).
- Лабораторна робота №9. **Визначення питомої активності джерел β-випромінювання** (1 установка).
- Лабораторна робота №10. **Статистичні методи аналізу вимірюваної величини.**(1 установка).

№ заняття	Порядковий номер лабораторної роботи	Кількість годин	
		Лабораторна робота	Самостійна робота
1.	Вступне заняття. Проведення інструктажу з техніки безпеки (про це робиться відповідний запис у лабораторному журналі). Правила внутрішнього розпорядку, встановленого в лабораторії «Практикум з ядерної фізики». Ознайомлення з розміщенням лабораторних робіт та робочих місць. Вимоги до виконання розкладу; виконання, оформлення та захисту лабораторних робіт.	4	
2.	Лабораторна робота №1.	3	3
3.	Лабораторна робота №2	3	3
4.	Лабораторна робота №3.	3	3
5.	Захист робіт, що виконані.	3	4
6.	Лабораторна робота №4.	3	3
7.	Лабораторна робота №5.	3	3
8.	Лабораторна робота №6.	3	3
9.	Захист робіт, що виконані.	3	4
10.	Лабораторна робота №7.	3	3
11.	Лабораторна робота №8.	3	3
12.	Лабораторна робота №9.	3	3
13.	Лабораторна робота №10.	3	3
14.	Захист робіт, що виконані.	4	4
	ВСЬОГО	44	45

Загальний обсяг 90 год., в тому числі :

Лабораторні заняття - 44 год.

Консультації - 1 год.

Самостійна робота - 45 год.

9. Рекомендовані джерела:

Основна

1. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з ядерної фізики в електронному вигляді <http://atom.univ.kiev.ua/2016/stud/stud.html>
2. І. М. Каденко, В.А. Плюйко В.А. Фізика атомного ядра та частинок. – Київ: ВПЦ Київ. унів., 2008.
3. Л. А. Булавін, В. К. Тартаковський. Ядерна фізика. – Київ: Знання, 2005.
4. Широков Ю.М., Юдин Н.П. Ядерная физика.-М.-1980.-С.259-273, 446-453, 491-516.
5. Практикум по ядерной физике / Под ред. Ш.Ш.Башкирова. – Казань,1985. - С.36-40.
6. Кабардин О.Ф..Практикум по ядерной физике.-М.,1965.-С.25-29, 48-49, 143-146.
7. Сборник лабораторных работ по ядерной физике / Под ред. Проф. К.Н.Мухина. – М.:Атомиздат, 1979. –с.71-76.
8. Вальтер А.К. Введение в физику элементарных частиц.-Харьков,1960, С.164-210.
9. Вальтер А.К., Залюбовский И.И. Ядерная физика.- Харьков, 1978.
10. Альфа-, бета- и гамма-спектроскопия. Под ред. К.Зигбана. – М.: Атомиздат.
11. Иванов В.И. Курс дозиметрии. - М.,1978. - 392 с.
12. Маргулис У.Я. Атомная энергия и радиационная безопасность. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 224 с.
13. Горн Л.С., Хазанов Б.И. Современные приборы для измерения ионизирующих излучений. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 232 с.

Додаткова

1. Б. Ю. Денисов, В. А. Плюйко. Проблемы физики атомного ядра и ядерных реакций. – Киев: ВПЦ Київ. унів., 2013.
2. Прайс В. Регистрация ядерного излучения.- М., 1960.
3. Абрамов А.И. и др. Основы экспериментальных методов ядерной физики. - М., 1970. - 215с.
4. Н.Л. Григоров, М.А. Кондратьева, И.Д. Рапорт. Космические лучи. М., Физматгиз, 1962.
5. А.О.Вайсенберг. Мю-мезон. М., АН СССР. 1963.
6. Н.А. Добротин. Космические лучи. М., Гостехиздат, 1954.
7. В.Л.Гинзбург, С.И.Сыроватский. Происхождение космических лучей. Изд. АН СССР. М., 1963.
8. В.С.Мурзин, Л.И.Сарычева. Космические лучи и их взаимодействие. М., Атомиздат. 1968.
9. Райский С.М., Смирнов В.Ф. Физические основы метода радиоактивных индикаторов. - М., 1956.
10. Антонова И.А. и др. Практикум по ядерной физике.- 1979.
11. Естулин И.В. Радиоактивные излучения. - М., 1962. - С.260.

12. Гольданский В.И. и др. Статистика отсчетов при регистрации ядерных частиц — М.,Физматгиз, 1959.
13. Худсон Д. Статистика для физиков.-1967.-С.20-30,190-196.
14. Гольданский В.И. Эффект Мессбауэра и его применение в химии.-М., 1963.- 83 с.
15. Вертхейм Г.К. Эффект Мессбауэра.- М., 1966.- 172 с.
16. Защита от ионизирующих излучений. Т.1. Физические основы защиты от излучений / Под ред. Гусева Н.Г.-М.:Энергоатомиздат,1989.
17. Козлов В.Ф. Справочник по радиационной безопасности. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 352 с.
18. Норми радіаційної безпеки України (НРБУ - 97). – Київ, 1997. – 121 с.
19. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99): Гигиенические нормативы. – М: Центр санитарно-эпидемиологического нормирования, гигиенической сертификации и экспертизы Минздрава России, 1999. – 116 с.
20. Горн Л.С., Хазанов Б.И. Избирательные радиометры. – М.: Атомиздат, 1975. – 376 с.
21. Дементьев В.А. Измерение малых активностей радиоактивных препаратов. – М.: Атомиздат, 1967. – 140 с.
22. Брегадзе Ю.И., Степанов Э.К., Ярына В.П. Прикладная метрология ионизирующих излучений. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 264 с.

10. Додаткові ресурси:

1. Техническое описание и инструкция по эксплуатации спектрометра ЯГРС-2М. - М., 1975.- С.9-49
2. Гониометр Г-5. Техническое описание. - 1981.
3. Международные основные нормы безопасности для защиты от ионизирующих излучений и безопасного обращения с источниками излучения. Серия изданий по безопасности, № 115.МАГАТЭ. – Вена, 1997. – 382 с.

Голова Науково-методичної ради

В.А.Бугров