

**НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ**

**ІНСТИТУТ ЯДЕРНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ**

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Заступник директора з наукової роботи

 В. В. Давидовський

« 5 » 2023 р.



**НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ КОМПЛЕКС ДИСЦИПЛІНИ**

**Застосування ядерної фізики в медицині**

**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**

**Застосування ядерної фізики в медицині: Навчально-методичний комплекс дисципліни. – Київ: ІЯД НАНУ, 2023. - 14 с.**

**Укладач:** Поворозник О.М., доктор фіз.-мат. наук, старший науковий співробітник

Ухвалено на засіданні Вченої ради Інституту ядерних досліджень НАН України

протокол № 6 від “ 5 ” липня 2023 р.

**Опис навчальної дисципліни  
«Застосування ядерної фізики в медицині»**

Галузь знань, напрям підготовки, спеціальність, освітньо-кваліфікаційний рівень	
<i>Галузь знань</i>	10 Природничі науки
<i>Напрямок підготовки</i>	104 Фізика і астрономія
<i>Освітньо-кваліфікаційний рівень</i>	доктор філософії
Характеристика навчальної дисципліни	
<i>Вид</i>	Вибір аспіранта
<i>Загальна кількість годин</i>	60
<i>Кількість кредитів ECTS</i>	2
<i>Кількість змістових модулів</i>	2
<i>Форма контролю</i>	залік
Показники навчальної дисципліни для денної форми навчання	
<i>Рік підготовки</i>	III
<i>Лекційні заняття</i>	16
<i>Практичні, семінарські заняття</i>	8
<i>Лабораторні заняття</i>	-
<i>Самостійна робота</i>	34
<i>Консультації</i>	2

## Вступ

**Дисципліна «Ядерна фізика у медицині»** є додатковою дисципліною, В курсі вивчаються основні положення ядерної фізики на яких ґрунтується застосування методів ядерної фізики в сучасній медицині, а саме яким чином знання та вміння отримані при вивченні ядерної фізики використовується в медицині для якісної діагностики та лікування захворювань.

**Метою** курсу «**Ядерна фізика у медицині**» є ознайомлення аспірантів із застосуванням методів ядерної фізики як для медичної візуалізації, яка використовує невелику кількість радіоактивного матеріалу для діагностики та визначення тяжкості різних захворювань, так і для лікування цих виявлених недуг шляхом використання тих же методів ядерної фізики.

**Завданням** курсу «**Ядерна фізика у медицині**» є надати аспірантам уявлення про застосування способів діагностики та лікування в медицині, що базується на використанні методів ядерної фізики.

В результаті вивчення курсу аспірант студент повинен:

### **знати:**

- типи іонізуючого випромінювання та їх властивості;
- основні фізичні механізми взаємодії іонізуючого випромінювання з біологічними об'єктами; механізми дії радіації на біологічно важливі макромолекули;
- основні типи біофізичних моделей радіобіологічних ефектів;
- вплив іонізуючого випромінювання на організм людини; особливості дії підвищених доз радіації на організм та пролонгованого хронічного впливу невеликих доз радіаційного випромінювання.
- фізичні основи і методи, що лежать в основі розробки та застосування сучасних медичних методик та обладнання, що використовує ядерні випромінювання
- фізичні та математичні основи і методи, що лежать в основі розробки та застосування сучасних медичних томографів.

### **вміти:**

- здійснювати розрахунки величин радіоактивності та доз іонізуючого випромінювання;
- аналізувати особливості взаємодії випромінювання з біооб'єктами;
- оцінювати реальну дозу навантаження організму при роботі з джерелами іонізуючого випромінювання; розраховувати реальні дози при радіо хірургічних операціях при лікуванні онкологічних пухлин;
- вирішувати фізичні проблеми при створенні та використанні сучасного високотехнологічного медичного обладнання, що використовує різні види ядерного випромінювання;
- вирішувати фізико-математичні проблеми при створенні та використанні сучасного медичного гомографічного обладнання.

**Зміст та структура навчальної дисципліни**  
**Зміст навчальної дисципліни**

**Модуль 1. Вступ. ІСТОРІЯ ЯДЕРНОЇ МЕДИЦИНИ**

**Тема 1. Вступ, лекції 1 (2 год).**

Вступ. ІСТОРІЯ ЯДЕРНОЇ МЕДИЦИНИ.

Іонізуюче випромінювання. Біологічна дія іонізуючого випромінювання.

Променева діагностика. Радіаційна терапія. Радіонуклідна діагностика і терапія.

**Модуль 2. Медична діагностика, що ґрунтується на ядернофізичних підходах.**

**Тема 2. Лекції 3 - 9 (16 год.).**

**Лекції**

**3 - 4. АТОМНЕ ЯДРО І ЯДЕРНІ ПРОЦЕСИ.**

Атом і атомне ядро. Явище радіоактивності.

Види радіоактивного розпаду.

Ядерні реакції. Види іонізуючих випромінювання.

Взаємодія іонізуючого випромінювання з речовиною.

Особливості взаємодії іонізуючого випромінювання з біологічної тканина

**Лекція 5. ВИМІРЮВАННЯ ІОНІЗУЮЧОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ**

Детектори іонізуючого випромінювання.

Гамма-спектроскопія.

Апаратура для створення зображень радіаційних полів

**Лекція 6. БІОЛОГІЧНА ДІЯ ВИПРОМІНЮВАННЯ.**

Молекулярний рівень впливу.

Клітинний рівень впливу.

Організмний рівень впливу.

Управління радіобіологічним ефектом.

Фізична і біологічна дози.

Доза при зовнішньому опроміненні організму. Еквівалентна доза при

внутрішньому опроміненні.

Норми радіаційної безпеки і санітарні правила.

### **Лекція 7. ДІАГНОСТИКА.**

Рентгенодіагностика. Методи рентгенівської діагностики

Проекційна рентгенографія.

Апаратуру для рентгенівської діагностики. Рентгенівська комп'ютерна томографія.

Принцип комп'ютерної рентгенівської томографії. Застосування комп'ютерної томографії

### **Лекція 8. Сцинтиграфія.**

Особливості радіонуклідної діагностики. Сканування.

Статична сцинтиграфія. Динамічна сцинтиграфія.

Фармакокінетика.

Ізотопи і РФП для радіонуклідної діагностики.

Клінічні застосування РФП для діагностики.

### **Лекція 9. ЕМІСІЙНА ТОМОГРАФІЯ.**

Однофотонна емісійна комп'ютерна томографія. Принцип однофотонної емісійної комп'ютерної томографії.

Радіонукліди і радіофармпрепарати для Оже-ефект.

**ПОЗИТРОННА ЕМІСІЙНА ТОМОГРАФІЯ.**

Принцип двофотонної емісійної томографії.

Апаратура для ПЕТ.

Радіонукліди і радіофармпрепарати для ПЕТ.

## ***Модуль 3. МЕТОДИ РАДІАЦІЙНОЇ ТЕРАПІЇ***

**Тема 3. Лекція 10 - 16 (8 год).**

### **Лекція 10. ПРОМЕНЕВА ТЕРАПІЯ.**

Основні принципи променевої терапії.

Рентгенівська і гамма-терапія.

Фотон-захватна терапія.

Клінічна променева терапія.

Дозиметрія в рентгено- і гамма-терапії.

### **Лекція 11. БРАХІТЕРАПІЯ.**

Сутність методу брахітерапії.

Внутрішньо-порожнинне опромінення.

Внутрішньотканинна брахітерапія.

Аплікаційна терапія

### **Лекції 12 - 13. РАДІОНУКЛІДНА ТЕРАПІЯ.**

Методи радіонуклідної терапії.

Радіонукліди та РФП для радіонуклідної терапії.

Альфа-випромінюючі радіонукліди.

Бета-випромінюючі радіонукліди.

Радіонукліди, що випромінюють оже-електрони.

Наночастинки - носії радіонуклідів.

Радіоімунна терапія. Клінічне застосування радіотерапії.

### **Лекції 14 - 15. КОРПУСКУЛЯРНА РАДІОТЕРАПІЯ**

Електронна терапія.

Протонна терапія.

Мезонна терапія. Іонна терапія.

Нейтронна терапія. Радіотерапія на швидких нейтронах

Нейтрон-захватна терапія.

### **Лекція 16. МЕТОДИ ВИРОБНИЦТВА РАДІОНУКЛІДІВ.**

Виробництво ізотопів на ядерних реакторах прискорювачах заряджених частинок.

**МЕТОДИ СИНТЕЗУ РАДІОФАРМПРЕПАРАТІВ.**

РФП препарати для сцинтиграфії ОФЕКТ та радіоімунного аналізу.

РФП для позитронної емісійної томографії. Радіофармпрепарати для радіонуклідної терапії.

## Структура навчальної дисципліни

<i>Назва лекції</i>	<i>ГОДИНИ</i>		
	<i>лекції</i>	<i>Практичні семінари</i>	<i>Самостійна робота</i>
<i>Змістовний модуль 1. Вступ. Історія ядерної медицини.</i>			
Тема 1. Вступ. Історія ядерної медицини. Лекції 1, 2 (2год).	2	2	4
<i>Разом за змістовний модуль 1</i>	2	2	4
<i>Змістовний модуль 2. Медична діагностика, що ґрунтується на ядернофізичних підходах</i>			
Тема 2. Медична діагностика, що ґрунтується на ядернофізичних підходах. Лекції 3 - 9 (14год).	7	3	16
<i>Разом за змістовний модуль 2</i>	7	3	16
<i>Змістовний модуль 3. Методи радіаційної терапії.</i>			
Тема 3. Методи радіаційної терапії. Лекції 10-16. (8 год)	7	3	14
<i>Разом за змістовний модуль 2</i>	7	3	14
<b><i>Всього</i></b>	<b><i>16</i></b>	<b><i>8</i></b>	<b><i>34</i></b>

Загальний обсяг: 60 год., з них: лекційних - 16 год.; практичних-8; консультацій -2; самостійна робота - 34 год.



## Тематичний план практичних та семінарських занять (8 год)

<i>№</i>	<i>Назва теми</i>	<i>Кількість годин</i>
1.	Повторення базових понять ядерної фізики	1
2.	Принципи дії діагностики, що побудовані на використанні методів ядерної фізики	1
3.	Принцип дії, властивості різних типів детекторів	1
4.	Контрольна робота	1
5.	Особливості методів радіонуклідної діагностики	1
6	Особливості променевої та радіонуклідної терапій	1
7	Ознайомлення з роботою діючого ПЕТ томографа	1
8	Методи виробництва радіонуклідів.	1

### Самостійна робота

<i>№</i>	<i>Назва</i>	<i>Кількість годин</i>
1	Виконання модульних контрольних робіт	4
2	Підготовка до навчальних занять та контрольних робіт	30

### Запитання до заліку

1. Дози при рентгенівській та радіонуклідній діагностиці.
2. Джерела рентгенівського випромінювання.
3. Рентгенодіагностика.
4. Принцип комп'ютерної рентгенівської томографії.
5. Спіральна томографія.
6. Шкала одиниць Хаунсфілда.
7. Контрастні речовини в комп'ютерній томографії.
8. Перетворення Радону.
9. Особливості радіонуклідної діагностики.

10. Критерії вибору радіонукліда.
11. Ізотопні генератори.
12. Отримання зображень за допомогою радіоізотопів.
13. Гамма-камера.
14. Основні стадії емісійної томографії.
15. Принцип однофотонної емісійної комп'ютерної томографії (Оже-ефект)
16. Методи променевої терапії
17. Нейтрон-захватна терапія
18. Нейтронна терапія Радіотерапія на швидких нейтронах
19. Іонна терапія
20. мезонна терапія
21. Джерела випромінювання в терапії
22. Протонна терапія
23. Електронна терапія
24. Методи радіонуклідної терапії
25. Радіонукліди і РФП для радіонуклідної терапії
26. Альфа-випромінюючі радіонукліди
27. Бета-випромінюючі радіонукліди
28. Наночастинки - носії радіонуклідів
29. Клінічне застосування радіотерапії
30. Способи Виробництво радіоізотопів
31. Генератори радіонуклідів
32. Отримання  $^{212}\text{Bi}$ ,  $^{213}\text{Bi}$

### **Форма контролю знань аспіранта**

Основною формою поточного контролю знань є проведення модульних контрольних робіт. За результатами 2-х модульних контрольних робіт виводиться основна оцінка, яка переводиться у рейтингові бали (0 - 30 балів за модульну контрольну роботу). До них додаються бали за результатами складання заліку (0 - 40 балів).

## Шкала оцінювання: національна та ECT8.

Сума балів за всі види навчальної діяльності	За шкалою ECT8	Оцінка за національною шкалою	
		Екзамен	Залік
91 - 100	А (відмінно)	5 (відмінно)	Зараховано
81 - 90	В (дуже добре)	4(добре)	
71 - 80	С (добре)		
66 - 70	О (задовільно)	3 (задовільно)	
60 - 65	Е (достатньо)		
30 - 59	FX (незадовільно - з можливістю повторного складання)	2 (незадовільно)	Не зараховано
1 - 29	F (незадовільно - з обов'язковим повторним курсом)		

### Література

1. В. Н. Забаев. Применение ускорителей в науке и промышленности.
2. А.В. Агафонов. Ускорители в медицине
3. Генераторы радионуклидов
4. Лучевая терапия
5. Брахитерапия (wikipedia)
6. Брахитерапия (ОБР)
7. TYPES OF RADIATION THERAPY
8. Nath et al. Intravascular brachytherapy physics. Med. Phys. 26 (2), February 1999
9. S. Balter, R.C. Chan, T.B. Shope. Intravascular Brachytherapy - Fluoroscopically Guided Interventions
10. Radioisotopes in Medicine
11. Adriana Alexandre S. Tavares, Joao Manuel R. S. Tavares. <sup>99m</sup>Tc Auger Electrons for Targeted Tumor Therapy: A Review
12. Auger therapy
13. Amin I. Kassis. Cancer Therapy with Auger Electrons: Are We Almost There?
14. J A O'Donoghue and T E Wheldon. Targeted radiotherapy using Auger elec-

tron emitters

15. А.В. Агафонов. Ускорители в медицине
16. K.Fujii, M.Maruyama, T.Satoh et al. 25 - 70 MEV VARIABLE ENERGY CYCLOTRON FOR RADIO-ISOTOPE PRODUCTION .
17. P Froment. The production of radioisotopes for medical applications by the adiabatic resonance crossing (ARC) technique
18. И. Звара. Возможности получения  $^{12}\text{C}$  для радиоизотопной диагностики на ускорителях электронов
19. Р. К Даллакян. Исследование фотоядерных реакции на пучке линейного электронного ЕрФИ с энергие 40 МэВ.
20. Р.А. Алиев, С.С. Бельшев, Л.З. Джилавян, А.Н. Ермаков, Б.С. Ишханов, Н.И. Пахомов, В.В. Ханкин, В.И. Шведун. «Экспериментальное исследование возможностей наработки  $^{18}\text{F}$ ,  $^{67}\text{Si}$ ,  $^{177}\text{Lu}$  для ядерной медицины на ускорителях электронов » Препринт ИЯИ РАН 1340/2013, М., 2013, 52 стр.
21. A.N. Dovbnya, N.P. Dikiy, V.I. Nikiforov, V.L. Uvarov. Conception of medical isotope production at electron accelerator.
22. Terry L. Grimm et al. Isotope Production Using a Superconducting Electron Linac
23. Alberto Talamo, Yousry Gohar. Production of medical radioactive isotopes using KIPТ electron driven subcritical facility
24. И.Н. Бекман. РАДОН: ВРАГ, ВРАЧ И ПОМОЩНИК. РАДОТЮТЕРАПИЯ
25. А. И. Папаш. Ю. Г. Аленицкий. Коммерческие циклотроны. Часть 1. Коммерческие циклотроны в диапазоне энергий от 10 до 30 МэВ для производства изотопов
26. А.А. Веревкин, Н.Г. Стервеев, Г.П. Ковтун. Получение и применение короткоживущих и ультракороткоживущих изотопов в медицине
27. А. Ю. Погосов, В.А. Дубковский. Ионизирующая радиация: радиозкология, физика, технологии, защита
28. Д.Ю. Чувилин, В.А. Загрядский, В.Я. Панченко, М.А. Прошин. Способ получения радионуклида висмут-212,
29. М.А. Прошин, П.П. Болдырев, Д.Ю. Чувилин, В.А. Загрядский, В.Я. Панченко, А.С. Захаров. Способ получения радионуклида висмут-213
30. Г.Е. Труфанов, М.А. Асатурян, Г.М. Жаринов. Лучевая терапия
31. А.В. Агафонов. Ускорители в медицине

32. Accelerators for America's Future
33. Francis T. Cole. Medical Accelerators - SLAC
34. Neutron Therapy Facility
35. Fast neutron therapy
36. Нейтрон-захватная терапия (wikipedia)
37. Сергей Таскаев (ИЯФ) О бор-нейтронозахватной терапии  
<http://old.computerra.ru/science/532140/> , /532948/
38. К.Б. Сиваев, В.И. Брегадзе. Бор-нейтронозахватная терапия рака. Химический аспект. Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва им. Д.И. Менделеева), 2004, т. XLVIII № 4.
39. Агент для бора-10
40. Accelerators for America's Future
41. Г.В.Мицын, А.Г.Ольшевский, Е.М.Сыресин. Протонная терапия сегодня и завтра
42. Г.Н. Флеров, В.С. Барашенков. Практические применения пучков тяжелых ионов. УФН **114** 351-373 (1974)
43. Marco Silari. Applications of particle accelerators in medicine
44. Ervin B. Podgorsak. Particle Accelerators in Medicine
45. Б.С. Ишханов, З.И. Кзбин. Антиматерия. Использование антиматерии в медицине
46. В.Г. Недорезов, А.Н. Мушкаренков. Электромагнитные взаимодействия ядер. Применение синхротронного излучения в медицине.
47. Fulvia Arfelli. Synchrotron light and imaging systems for medical radiology.
48. Сцинтиграфия (wikipedia)
49. Однофотонная эмиссионная компьютерная томография (wikipedia)
50. Однофотонная эмиссионная компьютерная томография
51. Single-photon emission computed tomography (wikipedia)
52. Однофотонная эмиссионная компьютерная томография, совмещенная с рентгеновской компьютерной томографией (ОФЭКТ/КТ)
53. Позитронно-эмиссионная томография (wikipedia)
54. Positron emission tomography (wikipedia)
55. PET-CT (wikipedia)
56. Positron emission tomography-magnetic resonance imaging (wikipedia)
57. Bernd Pichler, Hans F Wehrl, Armin Kolb, and Martin S Judenhofer. The next generation of multi-modality imagin'?
58. И.Н. Бекман Позитронная эмиссионная томография

59. C. Casella, M. Heller, C. Joram, T. Schneider. A high resolution TOF-PET concept with axial geometry and digital SiPM readout
60. Хорнак Дж. П. Основы МРТ
61. О.В. Филонин. Общий курс компьютерной томографии
62. Зверт Блинк. МРТ
63. Ядерный магнитный резонанс (wikipedia)
64. Магниторезонансная томография (wikipedia)
65. Устройство магнитно-резонансного томографа
66. Magnetic resonance imaging
67. Magnetic Resonance Imaging (MRI)
68. How does MRI and PET work?
69. How does an MRI scan work?
70. Компьютерная томография
71. Erika Garutti. Lecture 10. CT
72. Erika Garutti. Lecture 11. PET
73. Erika Garutti. Lecture 12. MRI