

СИЛАБУС

навчальної дисципліни

“Основи фізики прискорювачів та іонної імплантації”

Галузь знань	10 Природничі науки
Шифр та назва спеціальності	104 Фізика та астрономія
Рівень вищої освіти	Третій (освітньо-науковий)
Статус дисципліни	вибіркова

Викладач (розробник)



Батурин Володимир Андрійович
Кандидат фізико-математичних наук,
baturin49@gmail.com
Інститут прикладної фізики НАН України,
вул. Петропавлівська, 58, м. Суми

Загальна інформація про дисципліну

Анотація	<p>Завдання курсу полягає в висвітленні проблем прискорення не тільки однієї зарядженої частинки, а і цілого ансамблю частинок, забезпечивши довго тривалість цього процесу створення умов стійкості прискореного пучка заряджених частинок шляхом його фокусування, ознайомлення з сучасними високоенергетичними прискорювачами що працюють в провідних наукових центрах. Викладений у лекціях матеріал дасть можливість аспірантам сформулювати цілісне бачення сучасних методів прискорення заряджених частинок в широкому діапазоні енергій, та ознайомитися з широким спектром використанні прискорювальної техніки в сучасному фізичному експерименті, орієнтуватися в сучасних методах іонно-променевої модифікації матеріалів та аналізувати сучасну літературу з проблем іонної імплантації.</p>
Мета	<p>Метою викладання дисципліни є ознайомлення аспірантів а) в частині фізики прискорювачів: - з фізичними принципами передачі енергії електромагнітного поля системі заряджених частинок, одержання пучків заряджених частинок, прискорених до потрібних енергій. Така передача може здійснюватися як традиційними способами (високовольтне прискорення, прискорення індукційними полями) так і з використанням нових методів прискорення; із сучасними типами прискорювачів заряджених частинок та їх використанням в наукових дослідженнях, медицині та технологіях. б) в частині іонна імплантація: - з теоретичними питаннями взаємодії</p>

	<p>прискорених іонів з твердим тілом, ознайомлення аспірантів із структурою експериментального обладнання для іонної імплантації, методами дослідження імплантованих шарів та ролі іонної імплантації в сучасних технологіях.</p>
Результати навчання	<p>Внаслідок вивчення навчальної дисципліни аспірант повинен бути здатним продемонструвати такі</p> <p>Компетентності:</p> <ul style="list-style-type: none"> • СК09. Здатність проводити дослідження процесів взаємодії іонів, електронів і фотонів з речовиною, в тому числі з біооб'єктами та полями. • СК10. Здатність застосовувати електростатичні прискорювачі та пучкові технології у вирішенні загально-фізичних та прикладних задач. • Результати навчання: • РН01. Мати сучасні концептуальні та методологічні знання з фізики та дотичних до них міждисциплінарних напрямів, а також необхідні навички, достатні для проведення фундаментальних і прикладних наукових досліджень з метою отримання нових знань, здійснення розробок та інновацій. • РН06. Планувати і виконувати прикладні та фундаментальні дослідження з фізики 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, розробницьких і інноваційних проєктів. • РН15. Мати навички застосування електростатичних прискорювачів та пучкових технологій для вирішення загально-фізичних та прикладних задач.
Обсяг дисципліни	<p>Кількість кредитів – 4</p> <p>Загальна кількість годин — 120 год.:</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Лекції — 32 год; ○ Практичні — 10 год; ○ Лабораторні — 4 год; ○ Самостійна робота — 70 год. ○ Консультації — 4 год.
Методи навчання	<ul style="list-style-type: none"> • МН1. Лекційне навчання. • МН2. Практикоорієнтоване навчання. • МН3. Ресурсно-орієнтоване навчання (RBL).
Методи сумативного оцінювання:	<ul style="list-style-type: none"> • МСО1. Виконання завдань на практичних заняттях. • МСО2. Виконання завдань на лабораторних заняттях. • МСО3. Іспит (комплексне завдання).

Форма підсумкового контролю	Екзамен	
Опис навчальної дисципліни		
Лекційні заняття		
№ з/п	Назви тем	К-сть годин
1	Вступ. Предмет і завдання дисципліни	1
2	Тема 1. Фізичні принципи прискорення заряджених частинок. 1.1. Рух зарядженої частинки в електромагнітних полях (1 год) Рух зарядженої частки в схрещених електричному та магнітному полях. Рух зарядженої частинки в полі поперечної електромагнітної хвилі. 1.2. Прискорювачі прямої дії (1 год) 1.3. Резонансні методи прискорення (1 год) Резонансні методи прискорення заряджених частинок. Резонансні циклічні прискорювачі. Резонансні лінійні прискорювачі (Загальні відомості). Поняття резонансної (синхронної) частинки.	3
3	Тема 2. Фокусування та радіаційні ефекти в циклічних прискорювачах. 2.1. Фізичний принцип автофазування заряджених частинок (2 год) Фізичний принцип автофазування заряджених частинок Векслера-Мак-Міллана. Рівняння фазових коливань. Синхротронні коливання заряджених частинок в циклічних прискорювачах. 2.2. Фазові коливання заряджених частинок (2 год) Фазові коливання заряджених частинок в резонансних циклічних прискорювачах. Частота фазових коливань в резонансних циклічних прискорювачах. Фазова площина. Фазові траєкторії захоплених та незахоплених частинок. Сепаратриса. Аксептанс прискорюючої системи. 2.3. Поперечна стійкість та поперечне фокусування зарядженої частинки (1 год) Поперечна стійкість та поперечне фокусування зарядженої частинки. Фокусування неоднорідним магнітним полем. Радіальне та аксіальне фокусування. Критерій стійкості радіального та аксіального фокусування. Бетатронні коливання. 2.4. Сильне фокусування (1 год) Знакомінне (сильне) фокусування Куранта-Снайдера-Лівінгстона (1952 рік) (Кристофілоса). Критерій стійкості знакомінного фокусування та бетатронні коливання в періодичних системах. Квадрупольне магнітне фокусування.	6
4	Тема 3. Індукційні та резонансні циклічні прискорювачі 3.1. Індукційні прискорювачі (1 год). Індукційні прискорювачі. Бетатрон. 3.2. Циклічні резонансні прискорювачі (2 год) . Циклічні резонансні прискорювачі. Фізичні принципи роботи різних типів циклічних прискорювачів: циклотрона, ізохронного циклотрона, синхроциклотрона, мікротрона, синхротрона. 3.3. Радіаційні ефекти в циклічних прискорювачах електронів (3 год). Радіаційні ефекти в циклічних прискорювачах електронів. Випромінювання електронів в циклічних прискорювачах (синхротронне випромінювання). Вплив випромінювання на синхротронні та бетатронні коливання. Фазовий об'єм, емітанс. Теорема Ліувілля про збереження фазового об'єму пучка заряджених частинок.	6

5.	<p>Тема 4. Лінійні прискорювачі та нові методи прискорення (8 год).</p> <p>4.1. Високовольтні прискорювачі (1 год). Високовольтні лінійні прискорювачі. Прискорювачі трансформаторного типу. Каскадні прискорювачі. Електростатичні прискорювачі. Прискорювач Ван-де-Граафа. Принцип дії та схема пристрою. Електричні поля в колоні генератора та прискорюючій трубці. Ізолююче середовище (N₂, CO₂, SF₆).</p> <p>4.2. Лінійні резонансні прискорювачі (2 год). Лінійні резонансні прискорювачі електронів та іонів. Фазові коливання. Фокусування часток. Автофазування в лінійних прискорювачах. Умови Векслера-Мак-Міллана для параметрів резонансних лінійних прискорювачів. Рівняння фазових коливань. Лінійні синхротронні коливання заряджених частинок в лінійних прискорювачах. Частоти синхротронних коливань в лінійних резонансних прискорювачах.</p> <p>4.3. Метод зустрічних пучків (2 год). Фізичні принципи створення накопичувачів пучків. Співвідношення між енергіями заряджених часток в лабораторній системі координат та системі центра мас. Метод зустрічних пучків. Лінійні та циклічні колайдери.</p> <p>4.4. Колективні методи прискорення (3 год) Нові колективні методи прискорення пучків заряджених частинок. Прискорення плазмовими хвилями, лазерні методи прискорення.</p>	8
6	<p>Тема 5. Методи та обладнання іонної імплантації (8 год)</p> <p>5.1. Елементарні процеси при взаємодії прискорених іонів з твердими тілами (2 год) Гальмування іонів в складних мішенях. Пробіг іонів. Середньоквадратичне відхилення. Складні мішені. Пробіги іонів в монокристалах. Критичний кут каналювання. Деканалювання. Розподіл іонів в монокристалах.</p> <p>5.2. Обладнання для іонної імплантації (3 год) Структура та організація іонно-променевого обладнання. Джерела газових іонів та іонів металів. Методи формування та фокусування іонних пучків. Системи масової та енергетичної сепарації іонних пучків.</p> <p>5.3. Структурні перетворення в твердих тілах під дією прискорених іонів (3 год) Число зміщених атомів. Дефекти структури. Двовірні дефекти. Роль каналювання в каскаді зіткнень. Накопичення та трансформація дефектів в твердих тілах в процесі імплантації. Виникнення розупорядкованих областей.</p>	8
Разом (год.)		32
Теми практичних занять		
1	Пучки заряджених часток, принципи прискорення заряджених часток (лабораторний корпус ІПФ НАН України)	4
2	Циклічні резонансні прискорювачі, розрахунки основних параметрів сучасних	2

	прискорювачів У76, Tevatron, LHC.	
3	Лінійні прискорювачі електронів.	2
4	Знайомство з проектом та принципом роботи електронно-позитронних колайдерів CLIC та ILC.	2
5	Знайомство з високодозним іонним імплантером.	4
Разом (год.)		14
Лабораторні роботи		
1	Знайомство з аналітичним прискорюючим комплексом на базі ЕСУ.	2
2	Проведення сеансу іонної імплантації мідної мішені важкими іонами.	2
Разом (год.)		4
Самостійна робота		
Опрацювання тем, які не входять до плану аудиторних занять		
1.	Використання прискорювачів у медицині.	8
2.	Іонізуючі випромінювання що використовуються в медицині.	8
3.	Променева терапія.	10
4.	Ядерна медицина.	4
5.	Лазери на вільних електронах.	4
6.	Сучасні прискорювачі – CLIC (компактний лінійний електрон-позитронний колайдер).	10
7.	Сучасні прискорювачі- ILC (міжнародний лінійний колайдер).	10
8.	Імітаційні дослідження радіаційних пошкоджень матеріалів на іонних пучках.	10
9	Іонна імплантація напівпровідникових матеріалів.	6
Разом (год.)		70

ОЦІНЮВАННЯ ЗА ОСВІТНІМ КОМПОНЕНТОМ

Сумативне оцінювання

1.1. Для оцінювання очікуваних результатів навчання передбачено

№	Методи сумативного оцінювання	Бали / Вага у загальній оцінці	Дата складання
1	Практичні заняття	50 балів / 50%	Згідно графіка навчального процесу
2	Лабораторні заняття	20 балів / 20%	
4	Іспит (комплексне завдання)	30 балів / 30%	

1.2. Критерії оцінювання

№ з/п	Вид діяльності	Оцінювання
1	Практичні заняття (5 занять)	Нарахування балів відбувається по шкалі: (Відповідно до кількості практичних занять) - відмінні відповіді 9-10 балів; - добрі відповіді 5-8 балів; - достатні відповіді 3-4 балів; - задовільні відповіді 1-2 балів Разом: 50 балів

2	Лабораторні заняття (2 заняття)	Нарахування балів відбувається по шкалі: (Відповідно до кількості лабораторних занять) - Виконано усі вимоги завдання 9-10 балів; - Більшість вимог виконано, але окремі складові відсутні або недостатньо розкриті 5-8 балів; -Вимоги щодо завдання не виконано 1-5 балів. Разом:20 балів
3	Іспит	27-30 балів - здобувач гарно орієнтується в теоретичному матеріалі, задачі розв'язані вірно; 15-27 балів - здобувач достатньо орієнтується в теоретичному матеріалі, задачі розв'язані з невеликими помилками; 5-15 балів - здобувач недостатньо орієнтується в теоретичному матеріалі, задачі розв'язані не повністю; 0-5 балів - здобувач недостатньо орієнтується в теоретичному матеріалі, задачі не розв'язані.

Методичне забезпечення

1. Тексти та конспекти лекцій.
2. Методичні розробки для аспірантів з практичних занять.
3. Доступ та опрацювання он-лайн ресурсів.

Рекомендована література

Базова

1. Chao W, Mess K. H. Tigner, M., Zimmermann F.. Handbook of Accelerator Physics and Engineering, Second Edition. 2013 by World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.
2. *Ekdahl C.* Modern Electron Accelerators for Radiography // IEEE Trans. Plasma Sci. 2002. V. 30. P. 254-261.
3. *Hamm R. W., Hamm M. E.* Industrial Accelerators and Their Applications. Singapore: World Sci. Publ. Co. Pte. Ltd., 2012.
4. *Hellborg Ed. R.* Electrostatic accelerators: Fundamentals and Application // Springer, 2005. P.192-221
5. Lawson J. The physics of charged-particle beams. Clarendon Press Oxford, 1977. 4. Livingood J. Principles of cyclic particle accelerators. Princeton 1961
6. Miller R.B. An introduction to the physics of intense charged particle beams. Plenum Press, New York 1982.
7. Nastasi M., Mayer J.W., Wang Y. Ion beam analysis: fundamentals and applications. CRC Press, 2014. 472 P.

Допоміжна

1. *Amaldi U.* Accelerators for Medical Applications, CERN, Geneva, Switzerland and TERA Foundation, Novara, Italy.
2. *Karzmark C. J., Nunan C. S., Tanabe E.* Medical Electron Accelerators. New York: McGraw-Hill, Inc., 1993.
3. *Marshall T.* Free Electron Lasers. London: Macmillan, 1985.
4. Paganetti H. Proton Therapy Physics, CRC Press, 2012, P. 651.
5. W. D. Newhauser, R. Zhang. The physics of proton therapy. Phys. Med. Biol. 60 (2015) R155–R209.

Академічна доброчесність

Здобувач вищої освіти повинен дотримуватись Етичного кодексу ученого України. Дотримання академічної доброчесності здобувачами освіти передбачає: самостійне виконання навчальних завдань, завдань поточного та підсумкового контролю результатів навчання (для осіб з особливими освітніми потребами ця вимога застосовується з

урахуванням їхніх індивідуальних потреб і можливостей); посилання на джерела інформації у разі використання ідей, розробок, тверджень, відомостей; дотримання норм законодавства про авторське право і сум права; надання достовірної інформації про результати власної навчальної (наукової, творчої) діяльності, використані методики досліджень і джерела інформації.

У випадку порушення академічної доброчесності – реагування відповідно до «Положення про академічну доброчесність в ІПФ НАН України».