

Міністерство освіти і науки України

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

Кафедра прикладної фізики та фізики плазми

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Перший проректор

“ ___ ” _____ 2015р.

Програма навчальної дисципліни

Фізика прискорювачів

(назва навчальної дисципліни)

напрямок _____ **10 – Природничі науки** _____
(шифр, назва напрямку)

спеціальність **105 – «Прикладна фізика та наноматеріали»** за освітньою програмою **«Прикладна фізика»** _____
(шифр, назва спеціальності)

факультет _____ **фізико-технічний**

2015 / 2016 навчальний рік

Програму рекомендовано до затвердження Вченою радою фізико-технічного факультету
Протокол від “16 ” вересня 2015 року № 8.

РОЗРОБНИКИ ПРОГРАМИ:

–доктор фізико-математичних наук, старший науковий співробітник, професор кафедри
прикладної фізики та фізики плазми
Огнівенко Володимир Всеволодович

Програму схвалено на засіданні кафедри прикладної фізики та фізики плазми

Протокол від “ 10 ” вересня 2015 року № 8.

Завідувач кафедри прикладної фізики та фізики плазми

(підпис)

І.О. Гірка
(прізвище та ініціали)

Програму погоджено методичною комісією фізико-технічного факультету

Протокол від “ 15 ” вересня 2015 року № 1.

Голова методичної комісії фізико-технічного факультету

(підпис)

М.М. Юнаков
(прізвище та ініціали)

ВСТУП

Програма навчальної дисципліни «Фізика прискорювачів» складена відповідно до освітньо-професійної програми підготовки другого рівня вищої освіти, магістр. Галузь знань: 10 – Природничі науки, Спеціальність: 105 – «Прикладна фізика та наноматеріали» за освітньою програмою «Прикладна фізика».

Предметом вивчення навчальної дисципліни є фізичні основи методів прискорення заряджених частинок, яка є спеціальною дисципліною без знання якої неможливе якісне засвоєння знань, що становлять основу освіти майбутнього спеціаліста експериментатора у галузях фізики прискорювачів, фізики пучків заряджених частинок, ядерної фізики, фізики плазми, фізичного матеріалознавства та наукоємних фізичних технологій. Предмет вивчається у десятому семестрі, коли студенти вже навчилися використанню основ математичного аналізу, засвоїли такі розділи фізики, як механіка, теорія поля, електродинаміка, квантова механіка.

Програма навчальної дисципліни складається з таких розділів:

1. Фізичні основи методів прискорення заряджених частинок.
2. Принципи роботи лінійних і циклічних прискорювачів.
3. Основи сучасної прискорювальної техніки та її застосування.

1. Мета та завдання навчальної дисципліни

1.1. **Метою** викладання навчальної дисципліни є надання студентам знань фундаментальних фізичних основ класичних методі прискорення заряджених частинок, ввести студентів в область сучасної фізики і техніки прискорювачів, а також підготувати їх до самостійної роботи в даній області. Сформувані у студентів загальну компетентність у техніці прискорення і динаміки пучків заряджених частинок.

1.2. Основними завданнями дисципліни є вивчення принципів дії, характеристик прискорювачів заряджених частинок, методів фокусування пучків частинок, основних уявлень про динаміку руху прискореного пучка, метод зустрічних пучків, а також важливіших застосувань прискорювачів в науці і техніці.

1.3. Згідно з вимогами освітньо-професійної програми студенти повинні досягти таких результатів навчання:

Знати:

- Механізми прискорення заряджених частинок і принципи автофазування.
- Методи фокусування частинок.
- Радіаційні ефектів, що впливають на динаміку частинок.
- Основи сучасної прискорювальної техніки та її застосування.

Вміти:

- Розраховувати характеристики електродинамічних структур та полів у лінійних прискорювачах, для забезпечення належного темпу прискорення заряджених частинок.
- Визначати радіус орбіти та необхідні зовнішні поля для прискорення частинок в циклічних прискорювачах.
- Запропонувати фокусуєчі системи для транспортування заряджених частинок.
- Під керівництвом провести розрахунок динаміки пучка заряджених частинок у прискорювачі.

2. Опис навчальної дисципліни.

Найменування показника	Галузь знань (предметна область), напрям, спеціальність, рівень вищої освіти / освітньо-кваліфікаційний рівень	Характеристика навчальної дисципліни
		денна форма навчання
Кількість кредитів – 3	Галузь знань: <u>10 – Природничі науки</u> Спеціальність: <u>105 – «Прикладна фізика та наноматеріали» за освітньою програмою «Прикладна фізика»</u> Рівень вищої освіти: <u>– «магістр»</u>	Нормативна
Індивідуальне завдання - немає		Рік підготовки
		5-й
Загальна кількість годин 90		Семестр
		10-й
Тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних – 2 самостійної роботи студента – 3,3		Лекції
		34 год.
		Практичні, семінарські
		0 год.
		Лабораторні
	0 год.	
	Самостійна робота	
	56 год.	
Індивідуальні завдання:		
0 год.		
Вид контролю:		
залік		

Співвідношення кількості годин аудиторних занять до самостійної і індивідуальної роботи становить (%):

для денної форми навчання – 38%/62%

3. Виклад змісту навчальної дисципліни

Розділ 1. Фізичні основи методів прискорення заряджених частинок.

Тема 1. Принципи прискорення.

Високовольтне прискорення. Індукційне прискорення. Резонансне прискорення: лінійні резонансні прискорювачі, циклічні резонансні прискорювачі. Автофазування. Прискорення рівноважної частинки, вираз для рівноважної фази: - у лінійних прискорювачах, у циклічних прискорювачах. Фазовий рух і автофазування в лінійних прискорювачах. Рівняння, що описує фазові коливання. Малі відхилення. Частота фазових коливань. Амплітуда фазових коливань, загасання фазових коливань. Великі фазові коливання: припустимий розкид по швидкості. Врахування релятивізму швидкості. Фазові траєкторії, їхня структура. Синхротронні коливання: - у лінійному прискорювачі, у циклічному прискорювачі.

Тема 2.. Поперечна стійкість і фокусування.

Стійкість ідеальних орбіт у циклічному прискорювачі. Аксіальна стійкість. Радіальна стійкість. Бетатронні коливання. Фокусування неоднорідним магнітним полем. Слабке фокусування, сильне (жорстке) фокусування. Фокусування за допомогою зовнішнього магнітного поля в лінійних прискорювачах. Критерій стійкості в періодичних системах. Опис системи частинок у фазовому просторі. Фазова площа, фазові траєкторії. Теорема Ліувілля. Емітанс пучка. Аксептанс каналу транспортування. Доказ неможливості

одночасного досягнення радіальної та фазової стійкості у вакуумних лінійних прискорювачах. Вплив прискорювального поля на фокусування.

Тема 3. Радіаційні ефекти в циклічних прискорювачах.

Випромінювання електронів у циклічних прискорювачах (синхротронне випромінювання (СВ)). Властивості випромінювання: потужність випромінювання, спектр випромінювання. Некогерентні втрати енергії. Когерентні втрати. Вплив СВ на динаміку руху електронів. Вплив випромінювання на синхротронні коливання. Вплив випромінювання на бетатронні коливання. Квантові флуктуації випромінювання і їхня дія на динаміку електрона. Збільшення середньоквадратичного розкиду по енергії.

Розділ 2. Принципи роботи лінійних і циклічних прискорювачів.

Тема 4. Опис і конструкції прискорювачів.

Високовольтні прискорювачі. Прискорювачі трансформаторного типу. Каскадні прискорювачі. Електростатичні прискорювачі. Індукційні прискорювачі. Бетатрони. Лінійні індукційні прискорювачі. Циклічні резонансні прискорювачі. Циклічні прискорювачі: - з постійним магнітним полем; - з постійною орбітою.

Тема 5. Лінійні резонансні прискорювачі.

Основи електродинаміки. Поширення хвиль у періодичній структурі. Основні характеристики прискорювальних систем: - фазова швидкість, амплітуда прискорювальних гармонік, потік потужності й групова швидкість. Дисперсійні характеристики діафрагмованого хвилеводу.

Тема 6. Динаміка релятивістських частинок у лінійних резонансних прискорювачах.

Поздовжній рух у поле хвилі з фазовою швидкістю близької до c . Фазові траєкторії. Зміна енергії й фази в процесі прискорення. Фокусування в лінійних резонансних прискорювачах. Вплив несинхронних гармонік поля, що прискорює. Фазозмінне фокусування. Ефекти обумовлені просторовим зарядом. Обрив імпульсу струму. Вплив просторового заряду на поздовжній і поперечний рух.

Розділ 3. Основи сучасної прискорювальної техніки та її застосування.

Тема 7. Установки із зустрічними пучками.

Метод зустрічних пучків. Накопичення легких частинок. Накопичення важких частинок. Електронне охолодження. Прискорювально - накопичувальні комплекси. Лінійні коллайдери.

Тема 8. Потужнострумові електронні й іонні пучки.

Потужнострумові діоди. Струм і напруга в плоскому діоді. Парапотенційний режим. Потужнострумовий діод з магнітною ізоляцією. Потужнострумовий іонний діод. Транспортування пучків. Електростатичний граничний струм. Транспортування зарядженого пучка в магнітному полі. Граничний струм нейтралізованого пучка. Інжекція потужнострумових пучків у плазму й газ. Радіаційний захист.

Тема 9. Застосування прискорювачів.

Фізика високих енергій. Використання прискорювачів у прикладних цілях. Імітація радіаційних пошкоджень реакторів. Електроядерний спосіб одержання матеріалів. Пучковий КТС. Одержання й використання СВ, ондуляторного випромінювання, гальмівного випромінювання. Лазери на вільних електронах. Електронно-пучкове зварювання, імплантація іонів, дефектоскопія, радіаційна терапія, виробництво радіонуклідів, стерилізація.

4. Структура навчальної дисципліни

Назви розділів і тем	Кількість годин				
	Денна форма				
	Усього	у тому числі			
л		п	лаб	інд	с.р.
Розділ 1. Фізичні основи методів прискорення заряджених частинок.					
Тема 1. <i>Принципи прискорення.</i>	10	4			6
Тема 2. <i>Поперечна стійкість і фокусування.</i>	10	4			6
Тема 3. <i>Радіаційні ефекти в циклічних прискорювачах.</i>	10	4			6
Разом за розділом 1	30	12			18
Розділ 2. Принципи роботи лінійних і циклічних прискорювачів.					
Тема 4. <i>Опис і конструкції прискорювачів.</i>	10	4			6
Тема 5. <i>Лінійні резонансні прискорювачі.</i>	10	4			6
Тема 6. <i>Динаміка релятивістських частинок у лінійних резонансних прискорювачах.</i>	12	4			8
Контр. робота.	2	2			
Разом за розділом 2	34	14			20
Розділ 3. Основи сучасної прискорювальної техніки та її застосування.					
Тема 7. <i>Установки із зустрічними пучками.</i>	8	2			6
Тема 8. <i>Потужнострумкові електронні й іонні пучки.</i>	8	2			6
Тема 9. <i>Застосування прискорювачів.</i>	10	4			6
Разом за розділом 3	26	8			18
Усього годин	90	34			56

5. Теми лабораторних занять

Немає

6. Самостійна робота

№ з/п	Назва теми	Кількість годин	Форма контролю
Розділ 1. Фізичні основи методів прискорення заряджених частинок.			
1	Попереднє групування и дебанчери в лінійних прискорювачах. .	6	залік
2	Зміна параметрів бетатронних коливань в процесі прискорення.	6	
3	Випромінювання електронів в ондуляторах.	6	
	Разом	18	
Розділ 2. Принципи роботи лінійних і циклічних прискорювачів.			
1	Розрахунок коефіцієнта корисної дії лінійного індукційного прискорювача.	6	КР, залік
2	Розрахунок параметрів періодичного хвилеводу для отримання необхідного темпу прискорення заряджених частинок.	6	
3	Розрахунок граничного струму пучка в лінійному резонансному прискорювачі електронів.	8	
	Разом	20	
Розділ 3. Основи сучасної прискорювальної техніки та її застосування.			
1	Розрахунок світливості зустрічних пучків.	6	залік
2	Розрахунок граничного струму електронного пучка в	6	

	циліндричному хвилеводі.		
3	Аналіз можливих застосувань прискорювачів, що є в ХНУ ім. В.Н. Каразіна.	6	
	Разом	18	

7. Індивідуальні завдання (розрахункові роботи)

Немає

8. Методи навчання

Лекційні заняття з навчальної дисципліни проводяться з комплексним застосуванням технічних засобів навчання, зокрема за допомогою комп'ютерних засобів відеовідображення.

Контрольні завдання охоплюють основні принципові питання, що визначають рівень підготовки студентів до вирішення практичних задач з навчальної дисципліни.

9. Методи контролю

Контроль засвоєння навчального матеріалу здійснюється шляхом:

- поточного контролю під час проведення занять;
- проведення тестування за результатами відпрацювання основних положень навчальної програми;
- проведення письмового підсумкового контролю знань.

Студенти, які при виконанні всіх видів робіт, що включені до навчального плану, протягом семестру набрали менше 10 балів до заліку не допускаються.

10. Розподіл балів, які отримують студенти

Поточний контроль та самостійна робота									Залік	Сума
Розділ 1			Розділ 2			Розділ 3				
T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	40	100
8	8	8	8	8	8	4	4	4		

T1, T2 ... T9 – теми розділів.

Шкала оцінювання

Сума балів за всі види навчальної діяльності протягом семестру	Оцінка за національною шкалою	
	для екзамену	для заліку
90 – 100	відмінно	зараховано
70-89	добре	
50-69	задовільно	
1-49	незадовільно	не зараховано

11. Рекомендоване методичне забезпечення

Конспекти лекцій, базова та допоміжна література.

Базова література

1. Коломенский А.А., Лебедев А.Н. Теория циклических ускорителей. М.: Физматгиз, 1962.
2. Лебедев А.Н., Шальнов А.В. Основы физики и техники ускорителей. В 3 т. М.: Энергоиздат, 1981-1983; 2-е изд. М.: Энергоатомиздат, 1991.
3. Власов А.Д. Теория линейных ускорителей. М.: Атомиздат, 1965
4. Коломенский А.А. Физические основы методов ускорения заряженных частиц. М.: Изд-во МГУ, 1980.
5. Вальднер О.А., Власов А.Д., Шальнов А.В. Линейные ускорители. М.: Атомиздат, 1969.
6. Комар Е.Г. Основы ускорительной техники. М.: Атомиздат, 1975.
7. Лоусон Дж. Физика пучков заряженных частиц. М.: Мир, 1980.
8. Ливингуд Дж. Принципы работы циклических ускорителей. М.: Изд-во иностр. лит., 1963.
9. Зверев Б.В., Собенин Н.П. Электродинамические характеристики ускоряющих резонаторов. М.: Энергоатомиздат, 1993.
10. Алямовский И.В. Электронные пучки и электронные пушки. М.: Сов. радио, 1966.
11. Браун Я. Физика и технология источников ионов. М.: Мир, 1998.
12. Быстрицкий В.М., Диденко А.Н. Мощные ионные пучки. М.: Энергоатомиздат, 1984.
13. Карташев В.П., Котов В.И. Основы магнитной оптики пучков заряженных частиц высоких энергий. М.: Энергоатомиздат, 1984.
14. Арцимович Л.А., Лукьянов С.Ю. Движение заряженных частиц в электрических и магнитных полях. М.: Наука, 1978.
15. Рошаль А.С. Моделирование заряженных пучков. М.: Атомиздат, 1978.
16. Капица С.П., Мелехин В.Н. Микротрон. М.: Наука, 1962.
17. Маршалл Т. Лазеры на свободных электронах. М.: Мир, 1987.
18. Капчинский И.М. Теория линейных резонансных ускорителей. М.: Энергоиздат, 1982.
19. Синхротронное излучение и его применения / И.М. Тернов и др. М.: Изд-во МГУ, 1990.
20. Диденко А.Н., Севрюкова Л.М., Ятис А.А. Сверхпроводящие ускоряющие СВЧ структуры. М.: Энергоиздат, 1981.
21. Дюдерштадт Дж., Мозес Г. Инерциальный термоядерный синтез. М.: Энергоатомиздат, 1984.

Допоміжна література

1. Accelerators 2014. Highlights and Annual Report. Deutsches Elektronen-Synchrotron. Hamburg, Germany.
2. Krasilnikov M. Development of a photo cathode laser system for quasi ellipsoidal bunches at a high brightness photo injector. Helmholtz Gesellschaft, Berlin, 2014.
3. Черняев А.П., Вазарь С.М. Ускорители в современном мире. Ядерная физика. Т.77, № 10, с. 1266, 2014.
4. Рябухин Ю.С. Ускоренные пучки и их применение. М.: Атомиздат, 1980.
5. Разработка, эксплуатация и применение линейных ускорителей / Под ред. А.В. Шальнова. М.: Энергоатомиздат, 1984.
6. Диденко А.Н., Григорьев В.П., Усов Ю.П. Электронные пучки и их применение. М.: Атомиздат, 1977.
7. Абрамян Е.А. Промышленные ускорители электронов. М.: Энергоатомиздат, 1986.
8. Якубович В.А., Старжинский В.М. Линейные дифференциальные уравнения с периодическими коэффициентами и их приложения. М.: Наука, 1972.

9. Никольский В.В. Электродинамика и распространение радиоволн. М.: Наука, 1978.
10. Молоковский С.И., Сушков А.Д. Интенсивные электронные и ионные пучки. Л.: Энергия, 1972.
11. Форрестер Ф.Т. Интенсивные ионные пучки. М.: Мир, 1992.
12. Штеффен К. Оптика пучков высокой энергии. М.: Мир, 1969.
13. Брук Г. Циклические ускорители заряженных частиц. М.: Атомиздат, 1970.
14. Лихтенберг А. Динамика частиц в фазовом пространстве. М.: Атомиздат, 1972.
15. Вахрушин Ю.П., Анацкий А.И. Линейные индукционные ускорители. М.: Атомиздат, 1978.
16. Бурштейн Э.Л., Воскресенский Г.В. Линейные ускорители электронов с интенсивными пучками. М.: Атомиздат, 1970.

Інформаційні ресурси

1. <http://home.cern/> - є характеристики прискорювального комплексу CERN.
2. http://www.desy.de/research/accelerators/index_eng.html - схеми, параметри прискорювального комплексу на базі DESY.
3. <https://www.linearcollider.org/> - проект та характеристики лінійного коллайдера (ILC).
4. <http://www.fnal.gov/directorate/icfa/index.html> – сайт комітету, який сприяє міжнародному співробітництву у створенні та використанні прискорювачів для фізики високих енергій (International Committee for Future Accelerators (ICFA)).