

Міністерство освіти і науки України

Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

Кафедра прикладної фізики та фізики плазми

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

В. о. директора навчально-наукового  
інституту  
ННІ «Фізико-технічний факультет»  
Пилип КУЗНЦОВ



2023 р.

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

**Сильнострумові пучки**

(назва навчальної дисципліни)

рівень вищої освіти	перший (бакалавр)
галузь знань	10 – “Природничі науки” (шифр і назва)
спеціальність	105 – “Прикладна фізика та наноматеріали” (шифр і назва)
освітня програма	“Прикладна фізика” (шифр і назва)
спеціалізація	“Фізичні технології” та “Фізика плазми” (шифр і назва)
вид дисципліни	обов’язкова (обов’язкова / за вибором)
Навчально-науковий інститут	ННІ “Фізико-технічний факультет”

2023-2024 навчальний рік

Програму рекомендовано до затвердження Вченою радою ННІ «Фізико-технічний факультет»  
“25” серпня 2023 року, протокол №8

**РОЗРОБНИКИ ПРОГРАМИ:**

**Бізюков Олександр** доктор фізико-математичних наук, професор,  
**Анатолійович** професор кафедри прикладної фізики та фізики  
плазми

Програму схвалено на засіданні кафедри прикладної фізики та фізики плазми

Протокол від “24” липня 2023 року № 12

Завідувач кафедри прикладної фізики та фізики плазми

Завідувач кафедри прикладної фізики та фізики плазми



(підпис)

Ігор ГАРКУША

(прізвище та ініціали)

Програму погоджено з гарантом освітньо-професійної програми Прикладна фізика  
(назва освітньої програми)

Гарант освітньої (професійної) програми



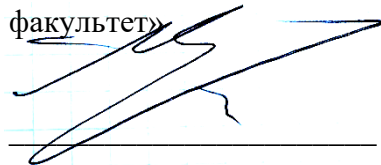
(підпис)

Ігор ГІРКА

(прізвище та ініціали)

Програму погоджено науково-методичною комісією ННІ «Фізико-технічний факультет»  
Протокол від “14” серпня 2023 року № 11

Голова науково-методичної комісії ННІ «Фізико-технічний  
факультет»



Микола ЮНАКОВ

## ВСТУП

Програма навчальної дисципліни «Сильнострумові пучки» складена відповідно до освітньо-професійної (освітньо-наукової) програми підготовки першого рівня вищої освіти (бакалавр).

Галузь знань: 10 – “Природничі науки”.

Спеціальність: 105 – “Прикладна фізика та наноматеріали”.

Освітня програма: “Прикладна фізика”.

Спеціалізація: “Фізичні технології” та “Фізика плазми”

### 1. Опис навчальної дисципліни

#### 1.1. Мета викладання навчальної дисципліни

Метою викладання навчальної дисципліни є надання студентам основних закономірностей фізики сильнострумових пучків при їх генерації, поширенні та взаємодії з фізичними об’єктами. Дисципліна «Сильнострумові пучки» є необхідною складовою підготовки фахівців в галузі фізики плазми вона містить матеріал засвоєння якого дають студентам компетенції в таких напрямках як пучкові технології, нагрів плазми пучками частинок та інших. Засвоєння фундаментальних фізичних складових що викладаються в межах дисципліни «Сильнострумові пучки» є умовою для подальшого викладання таких дисциплін як «Плазмодинаміка» та «Плазмова електроніка та колективні методи прискорення».

#### 1.2. Основними завдання вивчення дисципліни

Основними завданнями вивчення дисципліни «Сильнострумові пучки» є засвоєння теоретичних основ формування, фокусування, транспортування та взаємодії сильнострумових пучків з фізичними об’єктами та методів розрахунку основних фізичних параметрів сильнострумових пучків заряджених частинок.

Загальні компетентності:

- готовність до саморозвитку та самореалізації (ЗК-1);
- здатність до абстрактного та системного мислення й аналізу (ЗК-2);
- здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел; (ЗК-7);
- здатність працювати автономно; (ЗК-9);
- навички здійснення безпечної діяльності. (ЗК-10)

Фахові компетентності:

- здатність самостійно проводити наукові дослідження, складати план дослідження та одержувати нові наукові й прикладні результати (ФК-1);

- здатність використовувати сучасну апаратуру при проведенні наукових досліджень (ФК-2);
- здатність використовувати методи аналітичної обробки результатів дослідження та математичного моделювання (ФК-4);
- здатність використовувати отримані знання для розробки та забезпечення працездатності сучасних дослідницьких та технологічних фізичних систем ядерної та альтернативної енергетики, вакуумно-плазмових та енергетичних пристроїв із дотриманням нормативних заходів безпеки їх експлуатації (ФК-5).

### 1.3. Кількість кредитів 4

### 1.4. Загальна кількість годин 120

1.5. Характеристика навчальної дисципліни	
<b>Обов'язкова</b> / за вибором	
Денна форма навчання	Заочна (дистанційна) форма навчання
Рік підготовки	
4-й	-
Семестр	
8-й	-
Лекції	
28 год.	-
Практичні, семінарські заняття	
-	-
Лабораторні заняття	
28 год.	-
Самостійна робота	
64 год.	-
у тому числі індивідуальні заняття	
30 год.	

### 1.6. Заплановані результати навчання.

За вимогами освітньо-професійної програми «Прикладна фізика» спеціальності 105 «Прикладна фізика та наноматеріали» студенти повинні досягти таких програмних результатів навчання:

- знати і розуміти сучасну фізику на рівні, достатньому для розв'язання складних спеціалізованих задач і практичних проблем прикладної фізики (**Зн-1**);
- знати, розуміти та вміти застосовувати основні положення загальної та теоретичної фізики, зокрема, класичної, релятивістської та квантової механіки, механіки суцільних середовищ, молекулярної фізики та термодинаміки, електромагнетизму, хвильової та

геометричної 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 теоретичної та прикладної фізики. **(Зн-4)**;

- знати і розуміти експериментальні основи фізики: аналізувати, описувати, тлумачити та пояснювати основні експериментальні підтвердження існуючих фізичних теорій. **(Зн-5)**
- застосовувати сучасні математичні методи для побудови й аналізу математичних моделей фізичних процесів. **(Ум-1)**
- застосовувати ефективні технології, інструменти та методи експериментального дослідження властивостей речовин і матеріалів, включаючи наноматеріали, при розв'язанні практичних проблем прикладної фізики. **(Ум-2)**
- застосовувати фізичні, математичні та комп'ютерні моделі для дослідження фізичних явищ, розробки приладів і наукоємних технологій. **(Ум-3)**
- вибирати ефективні методи та інструментальні засоби проведення досліджень у галузі прикладної фізики. **(Ум-4)**
- відшуковувати необхідну науково-технічну інформацію в науковій літературі, електронних базах, інших джерелах, оцінювати надійність та релевантність інформації. **(Ум-5)**
- класифікувати, аналізувати та інтерпретувати науково-технічну інформацію в галузі прикладної фізики. **(Ум-6)**
- мати навички роботи із сучасною обчислювальною технікою, вміти використовувати стандартні пакети прикладних програм і програмувати на рівні, достатньому для реалізації чисельних методів розв'язування фізичних задач, комп'ютерного моделювання фізичних явищ і процесів, виконання обчислювальних експериментів. **(Ум-7)**;
- презентувати результати досліджень і розробок фахівцям і нефахівцям, аргументувати власну позицію. **(Ком-2)**
- планувати й організовувати результативну професійну діяльність індивідуально і як член команди при розробці та реалізації наукових і прикладних проєктів. **(Ком-3)**
- оцінювати фінансові, матеріальні та інші витрати, пов'язані з реалізацією проєктів у сфері прикладної фізики, соціальні, екологічні та інші потенційні наслідки реалізації проєктів. **(Ком-4)**
- мати навички самостійного прийняття рішень стосовно своїх освітньої траєкторії та професійного розвитку. **(Ком-6)**
- 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. **(АіВ-1)**;
- 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. **(АіВ-2)**;
- знати, аналізувати, прогнозувати та оцінювати основні екологічні аспекти загального впливу промислово-технологічної діяльності людства, а також окремих фізичних явищ, наукових досліджень та процесів (природних і штучних) на навколишнє природне середовище та на здоров'я людини. **(АіВ-3)**;

## 2. Тематичний план навчальної дисципліни

### *Розділ 1. Основні визначення та загальні питання фізики сильноточових пучків*

#### *Тема 1. Класифікація та основні параметри пучків заряджених частинок*

Структура курсу «Сильноточові пучки» та його зв'язок з іншими курсами, що викладаються студентам. Короткий огляд навчальної літератури та наукових джерел за тематикою лекцій. Основні визначення: пучок частинок, параметри руху пучка, самоузгоджене електричне поле, первеанс, типи пучків.

#### *Тема 2. Фізичні методи формування електронних та іонних пучків.*

Типова схема формування пучків та її складові частини. Приклади систем формування пучків. Системи формування з балістичним фокусуванням та магнітним супроводженням пучків.

#### *Тема 3. Рух заряджених частинок в електричних та магнітних полях.*

Загальні рівняння руху. Параксіальне наближення. Модифіковані рівняння руху. Теорема Буша. Електростатичні та магнітні лінзи.

#### *Тема 4. Особливості руху інтенсивних потоків заряджених частинок.*

Урахування кулонівського поля об'ємного заряду пучків. Рух пучків в каналах, вільних від зовнішніх полів. Віртуальний катод (анод). Критичні струми утворення та зникнення віртуального катода. Модель зарядженого шару. Динаміка електронів у системах з віртуальним катодом.

#### *Тема 5. Особливості зарядової та струмової нейтралізації електронних та іонних пучків.*

Поняття зарядової та струмової нейтралізації пучків. Природні та штучні механізми зарядової та струмової нейтралізації пучків. Часові та просторові масштаби зарядової та струмової нейтралізації пучків. Значення залишкової напруженості електричного поля в пучках електронів та іонів.

### *Розділ 2. Електронні та іонні джерела стаціонарних пучків.*

#### *Тема 6. Електронні пушки.*

Задача формування електронних пучків та методи її розв'язання. Метод аналізу та метод синтезу. Приклади застосування методів.

#### *Тема 7. Пушки для формування аксіально-симетричних пучків (пушки Пірса).*

Розрахунки форми електродів пушки Пірса для формування пласко-паралельного потоку електронів. Особливості електродних систем для отримання пучків з іншою симетрією. Приклади розрахунку інших типів електронних пушок.

#### *Тема 8. Плазмові джерела заряджених частинок.*

Плазма в якості електрода в іонних та електронних джерелах. Особливості плазми як емітера заряджених частинок. Особливості створення прискорюючих електричних полів у джерелах заряджених частинок.

**Тема 9. Генерація іонних пучків.**

Особливості формування іонних пучків. Умова пласкої межі плазмового емітера. Методи збільшення емісійних властивостей плазмових емітерів.

**Тема 10. Конструкції плазмових джерел заряджених частинок та їх особливості.**

Комірка Пеннінга. Дуоплазматрон. Прискорювач з анодним шаром. Прискорювач з замкненим дрейфом електронів та протяжною зоною прискорення.

**Розділ 3. Плазмові імпульсні генератори електронних та іонних пучків.**

**Тема 11.** Особливості імпульсних плазмових методів генерації пучків. Отримання густої плазми за допомогою явища вибухової емісії на поверхні катода. Параметри плазми. Швидкість руху плазмової (емісійної) межі.

**Тема 12.** Введення електричного поля в плазму. Масштаб проникання електричного поля в плазму. Скін-шар. Величина електричного поля, необхідного для прискорення електронів у плазмі. Поле Дрейсера.

**Тема 13.** Нестійкості в процесі прискорення електронів у плазмі. Характерні періоди розвитку пучково-плазмових нестійкостей. Втрати енергії електронами. Динаміка струму прискорених електронів у плазмі.

**3. Структура навчальної дисципліни**

Назви розділів і тем	Кількість годин					
	Денна форма					
	Усього	у тому числі				
л		п	ла б	інд	ср	
1	2	3	4	5	6	7
<b>Розділ 1. Основні визначення та загальні питання фізики сильнострумівих пучків</b>						
Разом за розділом 1		8		14	10	12
<b>Розділ 2. Електронні та іонні джерела стаціонарних пучків</b>						
Разом за розділом 2		12		14	15	12
<b>Розділ 3. Плазмові імпульсні генератори електронних та іонних пучків.</b>						
Разом за розділом 3		8			5	10
<b>Усього годин</b>	<b>120</b>	<b>28</b>		<b>28</b>	<b>30</b>	<b>34</b>

## 4. Теми практичних, лабораторних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
<b>Лабораторні заняття</b>		
<b>Розділ 1. Основні методи вимірювання зовнішніх електричних параметрів у електрофізичних установках формування сильноточових пучків.</b>		
1	Інструктаж з техніки безпеки. Конструкція та структура електроживлення стаціонарних пучково-плазмових систем. Установки «ППР» (прямий пучково-плазмовий розряд) та «ПАШ» (прискорювач з анодним шаром).	2
2	Методи вимірювання зовнішніх електричних параметрів стаціонарних систем електроживлення. Діапазони електроживлення пучково-плазмових систем.	3
3	Структура електроживлення імпульсних пучково-плазмових систем. Атмосферні та вакуумні розрядники. Тиратрони. Ігнітрони.	2
4	Узгодження розрядних та вимірювальних кіл.	2
5	Вимірювання імпульсних напруг. Компенсовані подільники напруги: принцип роботи, конструкція, калібрування.	3
6	Вимірювання імпульсних струмів. Струмові шунти. Пояс Роговського: принцип роботи, конструкція, калібрування.	2
<b>Разом за Розділом 1.</b>		<b>14</b>
<b>Розділ 2. Методи діагностики параметрів сильноточових пучків.</b>		
1.	Вимірювання макропараметрів пучків: методи вимірювання струму та потужності пучків (циліндри Фарадея), методи заглушення вторинної електронної емісії з колекторів пучків, методи вимірювання розподілу густини струму за перерізом пучка (секціонований колектор пучка, рухомий одинарний направлений зонд Ленгмюра).	3
2.	Отримання функції розподілу за енергією електронних та іонних пучків за допомогою багатосіткового зонда та енергоаналізатора Юза-Рожанського.	2
3	Дослідження параметрів (густини та температури електронів) в пучково-плазмових системах одинарним та подвійним зондами.	3
4	Дослідження розподілу електричного поля в пучково-плазмових системах за допомогою емісійних і ємнісних зондів.	2
5	Дослідження ступеня та механізмів зарядової та струмової нейтралізації електронних пучків при їх транспортуванні в газі.	2
6	Дослідження ступеня та механізмів зарядової та струмової нейтралізації іонних пучків при їх транспортуванні в газі.	2
<b>Разом за Розділом 2.</b>		<b>14</b>
<b>Разом</b>		<b>28</b>



## 5. Завдання для самостійної роботи

№ з/п	Назва теми	Кількість Годин	Форма контролю
<b>Розділ 1. Основні визначення та загальні питання фізики сильнострумових пучків.</b>			
1	Системи формування пучків з балістичним фокусуванням та магнітним супроводженням.	4	Розрахунково-графічна робота
2	Динаміка електронів в системах з віртуальним катодом.	4	
3	Величина залишкової напруженості електричного поля в пучках електронів та іонів за умови зарядової нейтралізації.	4	
	<b>Разом за Розділом 1</b>	<b>12</b>	
<b>Розділ 2. Електронні та іонні джерела стаціонарних пучків.</b>			
1	Особливості генерації прискорюючих електричних полів у джерелах заряджених частинок.	4	Контрольна робота, Розрахунково-графічна робота
2	Прискорювач із замкненим дрейфом електронів та протяжною зоною прискорення.	4	
3	Методи збільшення емісійних властивостей плазмових емітерів.	4	
	<b>Разом за Розділом 2</b>	<b>12</b>	
<b>Розділ 3. Плазмові імпульсні генератори електронних та іонних пучків.</b>			
1	Генерація густої плазми із застосуванням явища вибухової емісії на поверхні катода.	5	Контрольна робота
2	Поле Драйсера	5	
	<b>Разом за Розділом 3</b>	<b>10</b>	
	<b>Разом</b>	<b>34</b>	

## 6. Індивідуальні завдання

Розрахунково-графічна робота за Розділом 1. **10 годин самостійної роботи.**

Зміст завдання: розрахунково-графічна робота виконується за результатами лабораторних робіт передбачених в Розділі 1., обробити отримані експериментальні результати, розрахувати помилки, побудувати залежності фізичних величин від параметрів що вказані в опису до кожної лабораторної роботи. Вимоги до виконання: розрахунково-графічна робота повинна відповідати критеріям ДСТУ 3008-95 «ДОКУМЕНТАЦІЯ. ЗВІТИ У СФЕРІ НАУКИ І ТЕХНІКИ». Оцінювання (15балів)

Розрахунково-графічна робота 2. **10 годин самостійної роботи.**

Зміст завдання: розрахунково-графічна робота виконується за результатами лабораторних робіт передбачених в Розділі 2., обробити отримані експериментальні результати, розрахувати помилки, побудувати залежності фізичних величин від параметрів що вказані

в опису до кожної лабораторної роботи. Вимоги до виконання: розрахунково-графічна робота повинна відповідати критеріям ДСТУ 3008-95 «ДОКУМЕНТАЦІЯ. ЗВІТИ У СФЕРІ НАУКИ І ТЕХНІКИ». Оцінювання (15балів)

Контрольна робота за Розділом 2. **5 годин** самостійної роботи. Контрольна робота містить два теоретичних питання та задачу. Оцінювання(15балів).

Контрольна робота за Розділом 3. **5 годин** самостійної роботи. Контрольна робота містить два теоретичних питання та задачу. Оцінювання(15балів).

### 7. Методи навчання

При викладанні дисципліни використовуються словесні методи навчання, наочні методи навчання, практичні методи навчання. Головним словесним методом навчання є лекція. Під час проведення лекцій використовуються наступні методи навчання: пояснювально-ілюстративний метод або інформаційно-рецептивний; репродуктивний метод (репродукція - відтворення); метод проблемного викладу; частково-пошуковий, або евристичний метод. Головним практичним методом є лабораторні роботи. Під час проведення лабораторних робіт використовуються наступні методи навчання: дослідницький метод. ілюстративний метод або інформаційно-рецептивний; метод проблемного викладу; частково-пошуковий, або евристичний метод. Під час самостійної роботи використовуються наступні методи навчання: дослідницький метод.

### 8. Методи контролю

Навчальним планом передбачені наступні методи контролю:

- Поточний контроль передбачає 2 розрахунково-графічні роботи та 2 контрольні роботи що проводиться протягом семестру.
- Підсумковий семестровий контроль- екзамен в письмовій формі.

### 9. Схема нарахування балів

Поточний контроль, самостійна робота, індивідуальні завдання				Екзамен (залікова робота)	Сума
Розділи	Контрольна робота, передбачена навчальним планом	Індивідуальне завдання	Разом		
Розділ 1		15	15		
Розділ 2	15	15	30		
Розділ 3	15		15		
			60	40	100

Для допуску до складання підсумкового контролю (заліку, або екзамену) здобувач вищої освіти повинен набрати не менше 30 балів з навчальної дисципліни під час поточного контролю, самостійної роботи, індивідуального завдання.

### **Критерії оцінювання навчальних досягнень**

**Критерії оцінювання контрольної роботи.** Максимальна кількість балів за контрольну роботу 15 балів. Контрольна робота містить два теоретичних питання та задачу.

Критерії оцінювання теоретичних питань:

- Повна розгорнута відповідь - 5 бал.
- Повна, але не розгорнута відповідь - 4 бал.
- Повна, але не розгорнута відповідь, яка містить незначну помилку чи суперечність, - 3 бал.
- Неповна відповідь, яка не містить критичних помилок чи суперечностей, - 2 бал.
- Відповідь, що містить критичну помилку чи неточність, або відсутність відповіді оцінюється в 0 балів.

**Критерії оцінювання розв'язання задачі:**

- Студент отримав загальний розв'язок і правильно вирахував числове значення відповіді - 5 бал.
- Студент отримав загальний розв'язок і неправильно вирахував числове значення відповіді - 4 бал.
- Студент отримав загальний розв'язок, але помилився в одиницях вимірювання - 3 бал.
- Студент правильно вписав необхідні для розв'язання закони та рівняння, але не зміг отримати загальний розв'язок - 2 бал.
- Студент не повністю вписав необхідні для розв'язання закони та рівняння - 1 бал.
- Студент не правильно вписав необхідні для розв'язку закони та рівняння, чи розв'язок взагалі відсутній 0 балів.

**Критерії оцінювання розрахунково-графічної роботи.** Максимальна кількість балів за розрахунково-графічну роботу 15 балів. До розгляду приймаються тільки розрахунково-графічні роботи в яких розглянути усі теми лабораторних робіт, що передбачені до виконання в розділі за яким виконана розрахунково-графічна робота. Критерії оцінювання розрахунково-графічної роботи:

- Результати відповідають реальним значенням та збігаються в межах врахованої помилки з результатами контрольних вимірювань (контрольні вимірювання проводить викладач, інженер, лаборант). Графічні матеріали відповідають критеріям ДСТУ 3008-95 «ДОКУМЕНТАЦІЯ. ЗВІТИ У СФЕРІ НАУКИ І ТЕХНІКИ» - 15 балів.
- Результати відповідають реальним значенням та частково збігаються в межах врахованої помилки з результатами контрольних вимірювань (контрольні вимірювання проводить викладач, інженер, лаборант). Графічні матеріали відповідають критеріям ДСТУ 3008-95 «ДОКУМЕНТАЦІЯ. ЗВІТИ У СФЕРІ НАУКИ І ТЕХНІКИ» - 13 балів.

– Результати відповідають реальним значенням та збігаються в межах врахованої помилки з результатами контрольних вимірювань (контрольні вимірювання проводить викладач, інженер, лаборант). Графічні матеріали частково не відповідають критеріям ДСТУ 3008-95 «ДОКУМЕНТАЦІЯ. ЗВІТИ У СФЕРІ НАУКИ І ТЕХНІКИ» - 12 балів.

– Результати відповідають реальним значенням та частково збігаються в межах врахованої помилки з результатами контрольних вимірювань (контрольні вимірювання проводить викладач, інженер, лаборант). Графічні матеріали мають грубі невідповідності до критеріїв ДСТУ 3008-95 «ДОКУМЕНТАЦІЯ. ЗВІТИ У СФЕРІ НАУКИ І ТЕХНІКИ» - 10 балів.

– Результати відповідають реальним значенням та частково збігаються в межах врахованої помилки з результатами контрольних вимірювань (контрольні вимірювання проводить викладач, інженер, лаборант). Графічні матеріали, що зазначені в завданні до роботи представлені частково - 5 балів.

– Результати не відповідають реальним значенням та не збігаються в межах врахованої помилки з результатами контрольних вимірювань (контрольні вимірювання проводить викладач, інженер, лаборант) - 0 балів.

**Підсумковий контроль** проводиться в формі **екзамену**. До складання екзамену можуть бути допущені студенти які набрали протягом семестру не менш 10 балів. Екзаменаційне завдання (білет містить два теоретичних питання та задачу).

Критерії оцінювання теоретичних питань:

– Повна розгорнута відповідь - 10 балів.

– Повна, але не розгорнута відповідь - 9 балів.

– Повна, але не розгорнута відповідь, яка містить незначну помилку чи суперечність, - 8 балів, за кожну наступну незначну помилку чи суперечність знімається 1 бал.

– Неповна відповідь, яка не містить критичних помилок чи суперечностей, - 7 балів, за кожну наступну незначну помилку чи суперечність знімається 1 бал.

– Відповідь, що містить критичну помилку чи неточність, або відсутність відповіді оцінюється в 0 балів.

Критерії оцінювання розв'язання задачі:

– Студент отримав загальний розв'язок і правильно вирахував числове значення відповіді - 20 балів.

– Студент отримав загальний розв'язок і неправильно вирахував числове значення відповіді - 17 балів.

– Студент отримав загальний розв'язок, але помилився в одиницях вимірювання - 13 балів.

– Студент правильно виписав необхідні для розв'язання закони та рівняння, але не зміг отримати загальний розв'язок - 8 балів.

– Студент не повністю виписав необхідні для розв'язання закони та рівняння - 2 бали.

– Студент не правильно виписав необхідні для розв'язку закони та рівняння, чи розв'язок взагалі відсутній 0 балів.

Кількість балів, що студент отримав на екзамені, є сумою балів, що були отримані за кожне завдання з екзаменаційного білету.

Кінцева оцінка виставляється за сумою балів поточного та підсумкового контролю за шкалою що наведена нижче.

#### Шкала оцінювання

Сума балів за всі види навчальної діяльності протягом семестру	Оцінка
	для чотирирівневої шкали оцінювання
90 – 100	<b>відмінно</b>
70-89	<b>добре</b>
50-69	<b>задовільно</b>
1-49	<b>незадовільно</b>

### 10. Рекомендована література

#### Основна література

1. S.I. Molokovsky, A.D. Sushkov . Intense Electron and Ion Beams. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2005
2. Peter Strehl. Beam Instrumentation and Diagnostics. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2006

#### Допоміжна література

1. A.A.Bizyukov , S.N.Abolmasov, Y.Kawai, K.N.Sereda., N.N.Yunakov Low-energy ion source based on RF-magnetron discharge in Penning cell. Proceedings XXV ICPIG International Conference on Phenomena in Ionized Gases. Nagoya, Japan, 2001
2. A.A.Bizyukov, S.N.Abolmasov, M.Shindo, M.Battlar, Y.Kawai, Development of a hybrid PIG-ECR ion source. Surface and Coatings Technology, 2003
3. A.A.Bizyukov, E.V.Romashchenko, K.N. Sereda, A.D. Chibisov, Electric Potential of a Macroparticle in Beam–Plasma Systems. Plasma Physics Reports, 2009
4. A.A.Bizyukov, I.O. Girka, E.V.Romashchenko. Macroparticles in ion beam processing . DPG - Fruhjahrstragung 2017 der Sektion Materia und Kosmos, New Journal

### 11. Посилання на інформаційні ресурси в Інтернеті, відео-лекції, інше методичне забезпечення

1. <http://dspace.univer.kharkov.ua/>
2. <http://ftf.at.ua/>