

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ НАУКОВИЙ ЦЕНТР
«ХАРКІВСЬКИЙ ФІЗИКО-ТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Генеральний директор

« 30 »

Микола ШУЛЬГА

2022 р.



РОБОЧА ПРОГРАМА
навчальної дисципліни
Основи плазмової електроніки
Назва навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти

Доктор філософії

галузь знань

10 Природничі науки

спеціальність

104 фізика та астрономія

освітня програма

освітньо-професійна програма «Фізика та астрономія»

спеціалізація

«Радіаційна фізика та ядерна безпека»;
«Фізика твердого тіла»; «Теоретична фізика»;
«Фізика плазми»; «Фізика пучків заряджених частинок»

вид дисципліни

обов'язкова професійна підготовка

Інститут

Національний Науковий Центр
«Харківський Фізико-Технічний Інститут»

2022 / 2023 навчальний рік

Програму рекомендовано до затвердження
Науково-технічною радою ННЦ ХФТІ

Від “29.11” 2022 року, протокол № 6

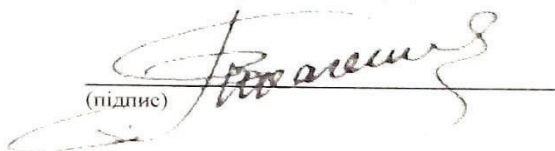
РОЗРОБНИКИ ПРОГРАМИ:

д.ф.-м. н., професор Ткаченко В.І.

Програму схвалено на засіданні Науково-технічної ради НВК ВДЕРТ
ННЦ ХФТІ

від “23” 11 2022 року, протокол № 11

Директор НВК ВДЕРТ

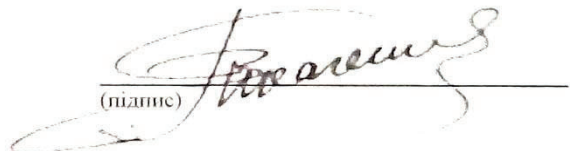

(підпис)

Віктор ТКАЧЕНКО
(прізвище та ініціали)

Програму погоджено з гарантом освітньо-професійної програми
«Фізика та астрономія»

назва освітньої програми

Гарант освітньо-професійної програми «Фізика та астрономія»


(підпис)

Віктор ТКАЧЕНКО
(прізвище та ініціали)

Вступ

Дисципліна «Основи плазмової електроніки» є частиною професійної підготовки аспірантів за вибором ННЦ ХФТІ за напрямом 10 Природничі науки, за спеціальністю – 104 фізика і астрономія, яка викладається протягом другого року навчання.

ОПИС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

1.1. Метою викладання навчальної дисципліни є підготовка фахівців, які здатні самостійно розв'язувати різноманітні комплексні завдання і проблеми, пов'язані з виконанням досліджень різноманітних задач плазмової електроніки: генерація електромагнітних хвиль пучками заряджених частинок і прискорення заряджених частинок електромагнітними хвилями і, зокрема, знати методологію та основні етапи історії розвитку плазмової електроніки. Курс «Основи плазмової електроніки» є необхідною складовою загальних навчальних дисциплін циклу професійної та практичної підготовки докторів філософії за спеціальністю 104 – Фізика та астрономія. Він дає можливість ознайомити аспірантів з основами опису взаємодії заряджених частинок з електромагнітними хвилями з урахуванням різних геометричних конфігурацій систем, що взаємодіють, а також в різних граничних умовах.

В процесі вивчення курсу планується прослуховування лекцій та проведення практичних занять з викладанням фізики розглядуваних систем. Здобувачі набуватимуть здібності постановки задач, вибору методів вирішення проблем, представлення отриманих результатів в доступній наглядовій формі.

1.2. Основні завдання вивчення дисципліни:

1. Ознайомити здобувачів з історією виникнення і розвитку плазмової електроніки, як напрямку досліджень. Надати інформацію щодо досягнутих результатів та сформулювати перспективні напрями досліджень.

2. На прикладах біографій видатних вчених ознайомити аспірантів з історичними аспектами розвитку плазмової електроніки.

3. Ознайомити аспірантів з проблематикою плазмової електроніки, яку викладено в лекційному матеріалі та супутніх матеріалах.

4. Система знань, отримана при вивченні даного курсу, є необхідною для вільного ознайомлення з науковою літературою та при виконанні відповідних кваліфікаційних робіт.

5. Одним з важливих завдань проведення занять є отримання аспірантами навичок представлення отриманих результатів, як у публічних виступах, так і в дискусіях.

1.2.1. Формування наступних загальних компетентностей:

- ЗК 01. Здатність генерувати нові ідеї (креативність).
- ЗК 02. Здатність працювати в міжнародному контексті.

- ЗК 03. Здатність розв'язувати комплексні наукові проблеми на основі системного наукового світогляду та загального культурного кругозору із дотриманням професійної етики та академічної доброчесності.

1.2.2. Формування наступних спеціальних (фахових) компетентностей

- СК 19. Компетенція у сфері теорії плазми.
- СК 20. Компетенція у сфері фізики пучків заряджених частинок.
- СК 21. Компетенція у сфері основ плазмової електроніки.
- СК 33. Здатність використовувати сучасну апаратуру при проведенні наукових досліджень.
- СК 34. Здатність використовувати методи аналітичної обробки результатів дослідження та математичного моделювання (ФК-4).
- СК 35. Здатність використовувати сучасні теоретичні уявлення в галузі фізики для аналізу фізичних систем.
- СК 36. Здатність виконувати обчислювальні експерименти, використовувати чисельні методи для розв'язування фізичних задач і моделювання фізичних систем.

1.2.3. Здатності:

Здатність постановки задачі дослідження з плазмової електроніки.

Здатність проведення досліджень з питань плазмової електроніки. Для цього необхідні знання основних методів опису досліджуваних систем, та обґрунтування їх вибору.

Здатність проведення верифікації отриманих результатів, проведення числових оцінок розглядуваних систем.

Здатність професійно презентувати результати своїх досліджень на наукових конференціях, семінарах.

Уміння здійснювати моніторинг наукових джерел інформації відносно досліджуваної проблеми.

1.3. Кількість кредитів – 4.

1.4. Загальна кількість годин – 120.

1.5. Характеристика навчальної дисципліни:

Опис навчальної дисципліни «Основи плазмової електроніки»

Галузь знань, напрям підготовки, спеціальність, освітньо-кваліфікаційний рівень	
Галузь знань	10 – Природничі науки
напрямок підготовки	104 – фізика та астрономія
спеціальність	
освітньо-кваліфікаційний рівень	Доктор філософії
Характеристика навчальної дисципліни	
Вид	Цикл загальнонаукової підготовки

Загальна кількість годин	120
Кількість кредитів ECTS	4
Кількість змістових модулів	2
Форма контролю	іспит
Показники навчальної дисципліни	
Рік підготовки	II
Лекційні заняття	32
Практичні заняття	16
Самостійна робота	68
Консультації	2

1.6. Заплановані результати навчання.

Згідно з освітньо-науковою програмою аспіранти мають досягти таких результатів навчання:

РН 01. 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 та/або здійснення розробок та інновацій.

РН 04. Розробляти та досліджувати концептуальні, математичні і комп'ютерні моделі процесів і систем, ефективно використовувати їх для отримання нових знань та/або створення інноваційних продуктів у фізиці (астрономії) та дотичних міждисциплінарних напрямках.

РН 05. Планувати і виконувати експериментальні та/або теоретичні дослідження з фізики (астрономії) та дотичних міждисциплінарних напрямів з використанням сучасних інструментів, критично аналізувати результати власних досліджень і результати інших дослідників у контексті усього комплексу сучасних знань щодо досліджуваної проблеми.

РН 22. Знати характеристики видів та характеристик плазмових хвильоводів, методів опису дисперсійних властивостей плазмових хвильоводів, якостей періодичних плазмових хвильоводів, типів хвиль, що поширюються у плазмових хвильоводах, принципів прискорення та генерації хвиль у плазмових хвильоводах, одномодові та багатомодові режими генерації, вплив дисипації на генерацію електромагнітних хвиль. Уміти визначати характеристики плазмових хвильоводів, обрання методу опису дисперсійних властивостей плазмових хвильоводів, проводити розрахунки періодичних плазмових хвильоводів, визначення типів хвиль, що поширюються у плазмових хвильоводах, оцінити вплив дисипації на генерацію електромагнітних хвиль.

Згідно з вимогами освітньо-професійної програми здобувачі повинні:

Знати - визначення плазми;

- закономірності дрейфового руху заряджених частинок в полях;
- рівняння гідродинамічної та кінетичної моделей плазми;
- методи опису зіткнень заряджених частинок;
- тензор діелектричної проникності плазми;

- основні типи хвиль в ізотропній і магнітоактивній плазмі;
- методи опису хвиль в неоднорідній плазмі та явище лінійної трансформації;
- типи нестійкостей нерівноважної плазми; процеси перенесення частинок та енергії;
- основи квазілінійної теорії;
- основні процеси та методи опису нелінійної взаємодії хвиль і заряджених частинок.

Знати фізичні основи колективних взаємодій заряджених частинок з електромагнітними хвилями; основних процесів їх нелінійної взаємодії; процесів утворення кільватерних полів; методів опису нелінійної еволюції амплітуд полів; механізмів, що обмежують збільшення електричних полів; фізичних основ методів прискорення заряджених частинок; принципів роботи лінійних і циклічних прискорювачів.

Знати характеристик видів та характеристик плазмових хвилеводів, методів опису дисперсійних властивостей плазмових хвилеводів, якостей періодичних плазмових хвилеводів, типів хвиль, що поширюються у плазмових хвилеводах, принципів прискорення та генерації хвиль у плазмових хвилеводах, одномодові та багатомодові режими генерації, вплив дисипації на генерацію електромагнітних хвиль.

Уміти визначати ключові механізми взаємодії інтенсивних електромагнітних хвиль з пучками заряджених частинок; визначати характерний час розвитку нестійкостей та інтенсивність полів, що збуджуються; розраховувати характеристики електро-динамічних структур, полів, а також параметрів плазми, для забезпечення належного темпу прискорення заряджених частинок; визначати умови транспортування заряджених частинок; проводити розрахунок динаміки пучків заряджених частинок.

Уміти визначати ту чи іншу теоретичну модель для опису фізичних процесів у плазмових системах, в тому числі визначати доцільність лінійного чи нелінійного опису; застосовувати основні теоретичні методи для розв'язування рівнянь моделі; аналізувати фізичний сенс отриманих розв'язків та давати фізичну інтерпретацію досліджуваних явищ.

Уміти визначати характеристики плазмових хвилеводів, обрання методу опису дисперсійних властивостей плазмових хвилеводів, проводити розрахунки періодичних плазмових хвилеводів, визначення типів хвиль, що поширюються у плазмових хвилеводах, оцінити вплив дисипації на генерацію електромагнітних хвиль.

2. ЗМІСТ ТА СТРУКТУРА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Зміст навчальної дисципліни

Модуль 1. Основи плазмової електроніки (загальні принципи)

Тема 1. Становлення та розвиток теоретичних основ плазмової електроніки.

Хронологічний огляд становлення та розвитку теоретичних основ плазмової електроніки. Аналізу широкого переліку монографій та наукових статей з цієї тематики за весь період становлення плазмової електроніки. Умове розбиття загального напрямку досліджень на такі складові, як теорія плазмових хвильоводів, теорія проникнення полів у плазму, і, власне, теоретичні основи плазмової електроніки. Короткі витримки з основоположних публікацій, які обґрунтовують причини виникнення даного напрямку досліджень. Прогнозування щодо подальшого розвитку.

Тема 2. Фізичні механізми взаємодії пучків заряджених частинок із плазмою.

Збудження невластивих коливань у вільній плазмі. Збудження власних коливань електронним пучком у вільній плазмі та діелектрику. Дисипативні нестійкості. Кінетичні нестійкості. Пучкові нестійкості у магнітоактивній плазмі. Абсолютна та конвективна нестійкості.

Тема 3. Енергія та імпульс при пучково-плазмовій нестійкості.

Рівняння балансу енергії та імпульсу при повільній зміні амплітуди та фази електромагнітної хвилі в нерівноважному диспергуючому та дисипативному середовищі. Аналіз рівнянь балансу енергії та імпульсу у лінійному наближенні.

Тема 4. Нелінійна теорія порушення коливань пучками заряджених частинок.

Система основних рівнянь. Еволюція резонансної хвилі. Нелінійна теорія взаємодії пучка малої густини з плазмою (аналітичний розв'язок). Нелінійна теорія збудження нерезонансних хвиль. Нелінійна теорія дисипативних та кінетичних нестійкостей. Нелінійна теорія порушення коливань у магнітоактивній плазмі. Нелінійна теорія збудження коливань плазмових хвильоводів.

Модуль 2. Основи плазмової електроніки (окремі питання)

Тема 5. Управління частотним спектром пучково-плазмових нестійкостей

Взаємодія коливань та управління спектром резонансних частот ізотропної плазми. Взаємодія резонансних та нерезонансних коливань. Розвиток пучкової нестійкості в плазмовій системі з регулярним зовнішнім полем та кінцевим рівнем шуму. Взаємодія коливань у разі розвитку пучкової нестійкості.

Тема 6. Основні типи коливань плазмових хвильоводів

Коливання та хвилі в ізотропних плазмових хвильоводах. Об'ємні потенційні хвилі у магнітоактивних плазмових хвильоводах. Непотенційні хвилі у магнітоактивних плазмових хвильоводах. Поширення поверхневих хвиль у плавно-неоднорідних плазмових хвильоводах.

Тема 7. Порушення коливань електронними пучками у плазмових хвилеводах

Вплив неоднорідності щільності пучка та розташування його щодо плазми на інкременти нестійкості. Плазмово-пучкова нестійкість у неоднорідних хвилеводах. Нелінійна теорія збудження поверхневої хвилі у плазмовому хвилеводі змінного радіусу.

Тема 8. Дифракційний спосіб виведення енергії з плазмових хвилеводів
Дифракція поверхневих хвиль на різкому стрибку щільності циліндричного плазмового хвилеводу. Дифракція та збудження поверхневих хвиль, що поширюються на кордоні плазма-метал при врахуванні просторової дисперсії. Дифракція поверхневих хвиль, що поширюються на межі плазма-метал уперек магнітного поля.

Тема 9. Релятивістська плазмова електроніка

Стійкість сильноточних пучків у плазмі. Особливості збудження коливань моноенергетичним релятивістським електронним пучком. Взаємодія пучка з плазмою при збудженні інтенсивних параметрично нестійких коливань. Експериментальні дослідження взаємодії релятивістських пучків.

Структура навчальної дисципліни

Тема лекції	Всього	Лекцій	Практичних занять	Самостійна робота	Консультації
Модуль 1. Основи плазмової електроніки (загальні принципи)					
Тема 1. Становлення та розвиток теоретичних основ плазмової електроніки.	14	4	2	8	-
Тема 2. Фізичні механізми взаємодії пучків заряджених частинок із плазмою.	14	4	2	8	-
Тема 3. Енергія та імпульс при	16	4	4	8	-

пучково-плазмовій нестійкості.					
Тема 4. Нелінійна теорія порушення коливань пучками заряджених частинок.	14	4	2	10	2
Всього за модулем 1	58	16	10	34	2
Модуль 2. Основи плазмової електроніки (окремі питання)					
Тема 5. Управління частотним спектром пучково-плазмових нестійкостей	14	4	2	8	-
Тема 6. Основні типи коливань плазмових хвильоводів	16	4	2	8	-
Тема 7. Порушення коливань електронними пучками у плазмових хвильоводах	12	4	-	8	-
Тема 8. Дифракційний спосіб виведення енергії плазмових хвильоводів	9	2	2	6	-
Тема 9.	9	2	-	4	2

Релятивістська плазмова електроніка					
Всього за модулем 2	62	16	6	34	2
Разом	120	32	16	68	4

Загальний обсяг: 120 год., зокрема: лекцій – 32 год.; практичних/семінарів – 16 год., самостійної роботи – 68 год., консультацій – 4 год.

4. Тематичний план практичних та семінарських занять

№ з/п	Тема	Години
1	Збудження власних коливань електронним пучком у вільній плазмі та діелектрику.	2
2	Дисипативні нестійкості.	2
3	Рівняння балансу енергії та імпульсу при повільній зміні амплітуди та фази електромагнітної хвилі в нерівноважному диспергуючому та дисипативному середовищі.	2
4	Еволюція резонансної хвилі.	2
5	Нелінійна теорія взаємодії пучка малої густини з плазмою (аналітичний розв'язок).	2
6	Нелінійна теорія дисипативних та кінетичних нестійкостей.	2
7	Розвиток пучкової нестійкості в плазмовій системі з регулярним зовнішнім полем та кінцевим рівнем шуму.	2
8	Взаємодія коливань у разі розвитку пучкової нестійкості.	2
	Всього	16

5. Самостійна робота

№ з/п	Тема	Години
1	Самостійне опрацювання теми дифракція поверхневих хвиль на різкому стрибку щільності циліндричного плазмового хвилеводу.	34
2	Самостійне опрацювання теми особливості збудження коливань моноенергетичним релятивістським електронним пучком.	34
	Всього	68

Запитання для самоперевірки

1. Збудження ленгмюрівських хвиль пучком малої густини.
2. Прискорення іонів внаслідок нестійкості поперечно обмеженого пучка у плазмі.
3. Плазма - пучок як підсилювач коливань.
4. Нестійкість пучка в середовищі з від'ємною діелектричною проникливістю.
5. Дисперсійне рівняння для кількох холодних потоків.
6. Дисипативні нестійкості.
7. Нестійкість двох потоків рівної густини.
8. Поляризаційна нестійкість пучка у плазмі.
9. Дисперсійне рівняння при урахуванні теплового руху частинок.
10. Взаємодія двох власних хвиль, що можуть збуджуватись пучком в одній структурі.
11. Вплив теплового руху частинок пучка та плазми на інкременти гідродинамічної нестійкості.
12. Нестійкість пучка з великим тепловим розкидом у холодній плазмі.
13. Взаємодія хвиль у плазмі з великим рівнем шуму.
14. Нелінійна теорія збудження коливань електронними пучками.

Запитання до екзамену

1. Теорія нестійкості потоків у холодній плазмі в лінійному наближенні.
2. Нестійкість відносного руху іонів та електронів.
3. Збудження ленгмюрівських хвиль пучком малої густини.
4. Нестійкість пучка в середовищі з від'ємною діелектричною проникливістю.
5. Властивості одиночного моноенергетичного потоку.
6. Прискорення іонів внаслідок нестійкості поперечно обмеженого пучка у плазмі.
7. Нестійкість пучка в середовищі з від'ємною діелектричною проникливістю.
8. Нестійкість пучка електронів у магнітоактивній плазмі.
9. Плазма - пучок як підсилювач коливань.
10. Нестійкість пучка в середовищі з від'ємною діелектричною проникливістю.
11. Нестійкість пучка електронів у магнітоактивній плазмі.
12. Плазма - пучок як підсилювач коливань.
13. Дисперсійне рівняння для кількох холодних потоків.
14. Нестійкість потоків у лінійному гідродинамічному наближенні з урахуванням теплового руху частинок.
15. Дисипативні нестійкості.
16. Нестійкість двох потоків рівної густини.
17. Нестійкість потоків у лінійному гідродинамічному наближенні з урахуванням теплового руху частинок.
18. Дисипативні нестійкості.
19. Поляризаційна нестійкість пучка у плазмі.

20. Дисперсійне рівняння при збудженні косих хвиль холодним пучком малої густини у плазмі з урахуванням теплового руху та зіткнення частинок плазми.
21. Дисперсійне рівняння при урахуванні теплового руху частинок.
22. Релятивістські пучки.
23. Вплив теплового руху частинок пучка та плазми на інкременти гідродинамічної нестійкості.
24. Способи керування нестійкістю на початковому відтинку її розвитку.
25. Оцінка кількості кінетичної енергії, що передається електричному полю від пучка малої густини.
26. Нестійкість пучка з великим тепловим розкидом у холодній плазмі.
27. Взаємодія хвиль у плазмі з великим рівнем шуму.
28. Нелінійна теорія збудження коливань електронними пучками.
29. Взаємодія двох власних хвиль, що можуть збуджуватись пучком в одній структурі.
30. Вплив неоднорідності пучка, просторово суміщеного з плазмою, на інкремент нестійкості.
31. Умови придатності лінійного наближення.
32. Розвиток пучкової нестійкості у плазмовій системі з кінцевим рівнем шуму.
33. Нелінійна теорія збудження хвиль у плазмових хвилеводах.
34. Дисперсійне рівняння для кількох холодних потоків.
35. Система основних нелінійних рівнянь для розмаху та фази хвилі.
36. Розвиток резонансної хвилі.

6. Методи контролю

Складання колоквіумів за темами практичних/семінарських занять, письмовий екзамен.

7. Схема нарахування балів

Матеріал курсу «Основи плазмової електроніки» згідно навчальної програми містить 9 тем. Темі розподілені по модулях відповідно: I модуль – 4 теми (від 1 до 4), II модуль – 5 тем (від 5 до 9). Оцінка роботи здобувачів проводиться за модульно-рейтинговою системою і включає такі види роботи над курсом: практичні роботи, засвоєння теоретичного матеріалу та домашні завдання.

Теми за курсом			Разом
Модуль 1	Модуль 2	Екзамен	100
T1-T4	T5-T9		
30	30	40	

T1, T2 ... - теми розділів.

Оцінка за модуль складається з оцінки за практикум, поточний контроль, виконання домашніх письмових завдань. Здобувачі повинні виконати та оформити всі практичні роботи.

Здобувачі пишуть відповідно до кожного модуля письмові контрольні роботи, кожна з яких оцінюється максимум 10-ма балами. Решта 20 балів – це середня оцінка поточного контролю за відповідними темами, колоквиуми (усні), самостійні письмові роботи і т. ін.

Для допуску до підсумкового семестрового контролю здобувач в сумі за практикум, поточний контроль, виконання домашніх письмових завдань має набрати не менше 30-ти балів з 60-ти можливих, тобто не менше 50% від максимально можливого.

На екзамені здобувач може одержати від 20 до 40 балів. Між 0 та 20 балами оцінка не виставляється, екзамен вважається не зданим. Бали, одержані на екзамені від 20 до 40 додаються до балів, одержаних у семестрі (30-60 балів). За цією сумою згідно таблиці шкали оцінювання виставляється підсумкова оцінка до залікової книжки.

Шкала оцінювання

Сума балів за всі види навчальної діяльності протягом семестру	Оцінка
	за чотирирівневою шкалою оцінювання
90-100	відмінно
70-89	добре
50-69	задовільно
1-49	незадовільно

Критерії оцінювання

питань екзаменаційного білету (контрольної роботи)

Екзаменаційний білет (контрольна робота) містить кілька завдань (теоретичні питання або задачі). Кожне завдання має свій ваговий бал (вказується у дужках біля питання) та оцінюється окремо. Сумарно за всі відповіді на екзаменаційні питання можна отримати максимально 40 балів. Сумарний бал за контрольну роботу вказується в тексті відповідної роботи.

№	Характеристика відповіді на кожне з питань екзаменаційного білету (контрольної роботи)	% від max балу за відповідь на питання
1	Повна та вірна відповідь на питання або у повному обсязі правильно вирішена практична задача білету	100 %
2	Повна відповідь з незначними помилками (або незначні помилки у розрахунках практичних	80-95 %

	завдань за наявності вірної розрахункової формули);	
3	Неповна, але вірна відповідь (або значні помилки у розрахунках практичних завдань за наявності вірної розрахункової формули для розв'язання практичних завдань);	50-80 %
4.	Відповідь повна, але містить грубі помилки (або вирішення практичних завдань білету містить грубі помилки, розрахункові формули для розв'язання практичних завдань містять помилки)	30-50 %
5	Неповна відповідь з суттєвими помилками	5-30 %
6	Невірна відповідь	0-5 %
7	Відсутня відповідь на теоретичне питання (або відсутнє вирішення практичних завдань білету)	0 %

9. Рекомендована література

Основна література

1. Кіндратенко А.М. Вступ до теоретичної плазмової електроніки. Навчальний посібник. Харків: ХНУ, 2000 – 74 с.
2. <https://Plasma Physics: An Introductory Course - Cambridge University...>
3. [https://\(PDF\) Introduction to Plasma Physics - ResearchGate](https://(PDF) Introduction to Plasma Physics - ResearchGate)