

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Новосибирский национальный исследовательский государственный университет»  
(Новосибирский государственный университет, НГУ)

**Физический факультет  
Кафедра физики плазмы**



ТВЕРЖДАЮ  
Декан ФФ, д.ф.-м.н  
В.Е.Блинов  
2022 г.

**Рабочая программа дисциплины**

**ФИЗИКА ОТКРЫТЫХ ЛОВУШЕК**

направление подготовки: **03.04.02 Физика**  
направленность (профиль): **Общая и фундаментальная физика**

Форма обучения  
**Очная**

Семестр	Общий объем	Виды учебных занятий (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)				
		Контактная работа обучающихся с преподавателем			Самостоятельная работа, не включая период сессии	Самостоятельная подготовка к промежуточной аттестации	Контактная работа обучающихся с преподавателем			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия			Консультации	Зачет	Дифференцированный зачет	Экзамен
1	2	3	9	6	7	8	9	10	11	12
1	72	32			18	18	2			2
Всего 72 часа / 2 зачётных единицы, из них: - контактная работа 36 часов										
Компетенции ПК-1										

Руководитель программы

И. Б. Логашенко

д.ф.-м.н.

Новосибирск, 2022

## Содержание

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы. ....	3
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы. ....	3
3. Трудоёмкость дисциплины в зачётных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу. ....	4
4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведённого на них количества академических часов и видов учебных занятий. ....	4
5. Перечень учебной литературы. ....	6
6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся. ....	6
7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины. ....	7
8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине. ....	8
9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине. ....	8
10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине. ....	8

## 1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы.

Дисциплина «Физика открытых ловушек» имеет своей целью познакомить студентов с основными принципами удержания заряженных частиц в открытых магнитных ловушках, проблемами устойчивости плазмы в них, типами открытых магнитных ловушек, а также перспективами их применения в качестве мощных нейтронных источников и термоядерных реакторов.

Дисциплина нацелена на формирование у обучающегося профессиональной компетенции:

Результаты освоения образовательной программы (компетенции)	Индикаторы	Результаты обучения по дисциплине
<p><b>ПК-1</b> Способен использовать специализированные знания в области физики при решении поставленных задач в научно-исследовательской деятельности в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.</p>	<p><b>ПК 1.1</b> Применяет специализированные знания в области физики при решении конкретных задач в области научных исследований в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.</p> <p><b>ПК 1.2</b> Выбирает наиболее эффективные методы решения конкретных задач в области научных исследований в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.</p>	<p><b>Знать</b> методы и способы постановки и решения задач физических исследований в области физики плазмы и физики открытых ловушек в частности, возможности, методы и системы компьютерных технологий для физических теоретических и экспериментальных исследований, базовые разделы общей и теоретической физики: основные понятия, модели, законы и теории; теоретические и методологические основы общей и теоретической физики и способы их использования при решении научно-инновационных задач.</p> <p><b>Уметь</b> применять изученные модели и методы для нахождения решения простых задач по методам удержания плазмы в открытых магнитных ловушках.</p> <p><b>Владеть</b> навыками самостоятельной работы с учебной литературой по удержанию плазмы; основной терминологией и понятийным аппаратом физики плазмы; методами расчета магнитных полей, необходимых для удержания плазмы.</p>

## 2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.

Дисциплина «Физика открытых ловушек» реализуется в осеннем семестре 1-го курса для магистрантов, обучающихся по направлению подготовки 03.04.02 Физика. Курс является одной из профессиональных дисциплин по выбору, реализуемых кафедрой физики плазмы. Для его

восприятия требуется предварительная подготовка студентов по таким физическим дисциплинам как классическая механика, электродинамика, статистическая физика, физика сплошных сред, основы физики плазмы. Курс должен предшествовать выполнению квалификационной работы студента по данной специализации, так как дает ему необходимые знания, навыки и предоставляет инструменты для выполнения научных исследований в рамках подготовки его квалификационной работы.

**3. Трудоемкость дисциплины в зачётных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу.**

Семестр	Общий объем	Виды учебных занятий (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)				
		Контактная работа обучающихся с преподавателем			Самостоятельная работа, не включая период сессии	Самостоятельная подготовка к промежуточной аттестации	Контактная работа обучающихся с преподавателем			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия			Консультации	Зачет	Дифференцированный зачет	Экзамен
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	72	32			18	18	2			2
Всего 72 часа / 2 зачётных единицы, из них: - контактная работа 36 часов										
Компетенции ПК-1										

Реализация дисциплины предусматривает практическую подготовку при проведении следующих видов занятий, предусматривающих участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью: лекции, консультации, самостоятельная работа студента и её контроль преподавателями путем опросов экзамен. Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля:

- текущий контроль: контроль посещения лекций, опрос по материалам лекций.
- промежуточная аттестация: экзамен.

Общая трудоемкость рабочей программы дисциплины составляет 2 зачетные единицы.

- занятия лекционного типа – 32 часа;
- самостоятельная работа обучающегося в течение семестра, не включая период сессии – 18 часов;
- промежуточная аттестация (подготовка к сдаче экзамена, консультации и экзамен) – 22 часа;

Объем контактной работы обучающегося с преподавателем (занятия лекционного типа, практические занятия, групповые консультации, экзамен) составляет 36 часов.

**4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведённого на них количества академических часов и видов учебных занятий.**

Дисциплина «Физика открытых ловушек» представляет собой полугодовой курс, читаемый в магистратуре физического факультета НГУ в 1-м семестре. Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетные единицы, 72 часа.

№ п/п	Раздел дисциплины	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоёмкость (в часах)					Консультации перед экзаменом (часов)	Промежуточная аттестация (в период сессии) (в часах)
			Всего	Аудиторные часы		Сам. работа во время занятий (не включая период сессии)	Сам. работа во время промежуточной аттестации		
				Лекции	Практические занятия				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Удержание плазмы в классическом пробкотроне Будкера-Поста.	1	4	2		2			
2	Магнито-гидродинамическая устойчивость плазмы в открытой ловушке.	2-4	8	6		2			
3	Кинетические неустойчивости.	5-6	6	4		2			
4	Открытые ловушки с улучшенным продольным удержанием.	7-10	12	8		4			
5	Реакторные перспективы открытых магнитных ловушек. Рекуператоры энергии.	11-13	10	6		4			
6	Нейтронные источники на основе открытых ловушек.	14-15	6	4		2			
7	Технологические применения открытых ловушек.	16	4	2		2			
8	Групповая консультация		2					2	
9	Подготовка к экзамену		18				18		
10	Экзамен		2						2
<b>Всего</b>			<b>72</b>	<b>32</b>		<b>18</b>	<b>18</b>	<b>2</b>	<b>2</b>

### Программа и основное содержание лекций (32 часа)

#### Раздел 1. Удержание плазмы в классическом пробкотроне Будкера-Поста (2 час.)

Классический пробкотрон. Удержание отдельных частиц. Роль столкновений, оценка времени жизни. Различные виды открытых ловушек.

#### Раздел 2. Магнито-гидродинамическая устойчивость плазмы в открытой ловушке (6 час.)

Неустойчивости плазмы в открытых ловушках. МГД неустойчивость, эффекты КЛР, методы стабилизации. Экспериментальные исследования стабилизации желобковой неустойчивости в открытых ловушках.

### **Раздел 3. Кинетические неустойчивости (4 час.)**

Кинетические неустойчивости плазмы в открытых ловушках и методы их стабилизации.

### **Раздел 4. Открытые ловушки с улучшенным продольным удержанием (8 час.)**

Другие виды открытых магнитных ловушек с улучшенным продольным удержанием. Амбиполярная ловушка. Газодинамическая ловушка. Системы дополнительного нагрева плазмы в открытых ловушках.

### **Раздел 5. Реакторные перспективы открытых магнитных ловушек. Рекуператоры энергии (6 час.)**

Современная ядерная энергетика. Реакторы синтеза на основе открытых магнитных ловушек. Рекуператоры потоков энергии из ловушки.

### **Раздел 6. Нейтронные источники на основе открытых ловушек (4 час.)**

Критерии создания нейтронного источника на основе открытых ловушек. Перспективы промышленного применения.

### **Раздел 7. Технологические применения открытых ловушек (2 час.)**

Другие применения открытых магнитных ловушек. Открытые ловушки с малой длиной импульса.

### **Самостоятельная работа студентов (36 часов)**

Перечень занятий на СРС	Объем, час
Изучение теоретического материала, не освещаемого на лекциях	18
Подготовка к экзамену	18

### **5. Перечень учебной литературы.**

1. Сковорода А.А., Магнитные ловушки для удержания плазмы, Физматлит, ISBN: 978-5-9221-1133-1, 2009. (1 экз)
  2. Б.Б.Кадо́мцев, Коллективные явления в плазме, М.: Наука, 1976.(7 экз)
  3. Л.А.Арцимович, Р.З.Сагдеев, Физика плазмы для физиков, М.: Атомиздат, 1979.( 18 экз)
  4. Лукьянов С.Ю. Горячая плазма и управляемый ядерный синтез. М.: Наука, 1975.(11 экз)
- 6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся.**

1. Электронное пособие по курсу «физика открытых ловушек» на сайте кафедры физики плазмы ФФ НГУ <http://www.phys.nsu.ru/>
2. Л.А.Арцимович, Что каждый физик должен знать о плазме, М.: Энергоатомиздат (1979)
3. Б.В.Чириков, В сб.: Вопросы теории плазмы, М.: Энергоатомиздат, вып.13, 3(1983).
4. В.П.Пастухов, Вопросы теории плазмы, вып. 13, Энергоатомиздат, 1984, 160.
5. Д.В.Сивухин, В сб.: Вопросы теории плазмы, М.: Энергоатомиздат, вып.4, (1963).
6. Б.А.Трубников, В сб.: Вопросы теории плазмы, М.: Госатомиздат, вып.1, 98(1963).
7. М.С.Иоффе, Б.Б.Кадоццев, Удержание плазмы в адиабатических ловушках, УФН, том 100, в.4, стр.601.
8. Р.Бриггс, «Двухпучковая неустойчивость», в кн. Достижения физики плазмы, М.: Мир, 1974
9. А.Б.Михайловский, Теория плазменных неустойчивостей, т.1,2, Москва, Атомиздат, 1977
10. А.Б.Михайловский, Неустойчивости плазмы в магнитных ловушках, Москва, Атомиздат, 1978
11. Димов Г.И., Закайдаков В.В., Кишиневский М.Е., Физика плазмы, 1976, 2, 597.
12. Д.А.Панов, в сб. Итоги науки и техники, сер. Физика плазмы, М.: ВИНТИ, 1988, т.8,
13. Т. К. Fowler and V.G.Logan, Comments on Plasma Phys. And Contr. Fusion, 1977, 2, 167
14. Baldwin Рютов Д.Д., УФН, т.154, вып. 4(1988), 565
15. D.E., Logan B.G., Phys. Rev. Letters, 1979, 43, 1318
16. I.A.Kotelnikov, V.V.Mirnov, V.P.Nagorny, D.D.Ryutov, In: Plasma Physics and Controlled Fusion Research, 2, IAEA, Vienna, p.309, (1985).
17. Е.Р.Kruglyakov, Transactions of Fusion Technology, v.35, № IT, Fuste 8(1), p.p.20-29, (1999).
18. I.A.Kotelnikov, D.D.Ryutov, Yu.A.Tsidulko et al, Preprint of the Budker Institute of Nuclear Physics №105, Novosibirsk, (1990).
19. Ivanov A.A., Ryutov D.D., Mirror-based neutron sources for fusion technology studies, Nucl. Science and Engineering, 1990, Vol.106, P.235.
20. В.А.Чуянов, в сб. Итоги науки и техники, сер. Физика плазмы, М.: ВИНТИ, 1980, т.1, 119.
21. T.C.Simonen, Proc. IEEE, 1981, v.69, p.935.
22. W.L. Barr and B.G. Logan, Comments on Plasma Phys. Controll. Fusion, 8, (3), 103 (1984).
23. G.I.Dimov, Reactor's Perspectives of Tandem Mirrors, Transactions of Fusion Technology, 1999, v.35, N.1T, p.10.
24. F.R.L.Chang Diaz, Research status of the Variable Specific Impulse Magnetoplasma Rocket, Transactions of Fusion Technology, 1999, v.35, N.1T, p.87.
25. V.I.Tereshin, et al., Transactions of Fusion Technology, 1999, v.35, N.1T, p.87.

## **7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.**

Для освоения дисциплины используются следующие ресурсы:

- электронная информационно-образовательная среда НГУ (ЭИОС);
- образовательные интернет-порталы;
- информационно-телекоммуникационная сеть Интернет.

### **7.1 Современные профессиональные базы данных**

Не используются.

### **7.2. Информационные справочные системы**

Не используются.

## **8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.**

Для обеспечения реализации дисциплины используется стандартный комплект программного обеспечения (ПО), включающий регулярно обновляемое лицензионное ПО Windows и MS Office.

Использование специализированного программного обеспечения для изучения дисциплины не требуется.

## **9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.**

Для реализации дисциплины используются специальные помещения:

1. Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, практических занятий, курсового проектирования (выполнения курсовых работ), групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля, промежуточной и итоговой аттестации.

2. Помещения для самостоятельной работы обучающихся.

Учебные аудитории укомплектованы специализированной мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду НГУ.

Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине для обучающихся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья осуществляется согласно «Порядку организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья в Новосибирском государственном университете».

## **10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.**

### **10.1 Порядок проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине**

#### ***Текущий контроль***

Текущий контроль осуществляется в ходе семестра путем контроля посещения лекций студентами и опроса в начале каждой лекции по материалам предыдущей лекции.

#### ***Промежуточная аттестация***

Освоение компетенций оценивается согласно шкале оценки уровня сформированности компетенции. Положительная оценка по дисциплине выставляется в том случае, если заявленная компетенция ПК-1 сформирована не ниже порогового уровня в части, относящейся к формированию способности использовать специализированные знания в области физики открытых ловушек в профессиональной деятельности.

Окончательная оценка работы студента в течение семестра происходит на экзамене. Экзамен проводится в конце семестра в экзаменационную сессию по билетам в устной форме. Во-



просы билета подбираются таким образом, чтобы проверить уровень сформированности компетенции ПК-1.

Вывод об уровне сформированности компетенций принимается преподавателем. Каждый вопрос билета оценивается от 0 до 5 баллов. Положительная оценка ставится, когда все компетенции освоены не ниже порогового уровня. Оценки «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» означают успешное прохождение промежуточной аттестации.

### Соответствие индикаторов и результатов освоения дисциплины

Таблица 10.1

Индикатор	Результат обучения по дисциплине	Оценочные средства
<b>ПК 1.1</b> Применяет специализированные знания в области физики при решении конкретных задач в области научных исследований в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.	<b>Знать</b> методы и способы постановки и решения задач физических исследований в области физики плазмы и физики открытых ловушек в частности, возможности, методы и системы компьютерных технологий для физических теоретических и экспериментальных исследований, базовые разделы общей и теоретической физики: основные понятия, модели, законы и теории; теоретические и методологические основы общей и теоретической физики и способы их использования при решении научно-инновационных задач.	Опрос в начале каждой лекции, экзамен
<b>ПК 1.2</b> Выбирает наиболее эффективные методы решения конкретных задач в области научных исследований в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.	<b>Уметь</b> применять изученные модели и методы для нахождения решения простых задач по методам удержания плазмы в открытых магнитных ловушках.  <b>Владеть</b> навыками самостоятельной работы с учебной литературой по удержанию плазмы; основной терминологией и понятийным аппаратом физики плазмы; методами расчета магнитных полей, необходимых для удержания плазмы.	Опрос в начале каждой лекции, экзамен

### 10.2 Описание критериев и шкал оценивания индикаторов достижения результатов обучения по дисциплине «Физика открытых ловушек».

Таблица 10.2

Критерии оценивания результатов обучения	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения)	Уровень освоения компетенции			
		Не сформирован (0 баллов)	Пороговый уровень (3 балла)	Базовый уровень (4 балла)	Продвинутый уровень (5 баллов)

	ения компетенций)				
1	2	3	4	5	6
Полнота знаний	ПК 1.1	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имеют место грубые ошибки.	Демонстрирует общие знания базовых понятий по темам/разделам дисциплины. Допускается значительное количество негрубых ошибок.	Уровень знаний соответствует программе подготовки по темам/разделам дисциплины. Допускается несколько негрубых/несущественных ошибок. Не отвечает на дополнительные вопросы.	Уровень знаний соответствует программе подготовки по темам/разделам дисциплины. Свободно и аргументированно отвечает на дополнительные вопросы.
Наличие умений	ПК 1.2	Отсутствие минимальных умений. Не умеет решать стандартные задачи. Имеют место грубые ошибки.	Продемонстрированы частично основные умения. Решены типовые задачи. Допущены негрубые ошибки.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задания с негрубыми ошибками или с недочетами.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задания в полном объеме без недочетов и ошибок.
Наличие навыков (владение опытом)	ПК 1.2	Отсутствие владения материалом по темам/разделам дисциплины. Нет навыков в решении стандартных задач. Наличие грубых ошибок.	Имеется минимальный набор навыков при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.	Имеется базовый набор навыков при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.	Имеется базовый набор навыков при решении стандартных задач без ошибок и недочетов. Продемонстрированы знания по решению нестандартных задач.

### 10.3 Типовые контрольные задания и материалы, необходимые для оценки результатов обучения

#### Вопросы, выносимые на экзамен

- Удержание частиц и энергии в ловушке Будкера-Поста.
- Формирование электрических полей в плазме открытой ловушки.
- Методы создания плазмы в открытых ловушках.
- Методы нагрева плазмы в открытых ловушках
- Равновесие плазмы в открытой ловушке.
- МГД устойчивость плазмы в открытой ловушке.
- Кинетические неустойчивости плазмы в открытых ловушках.
- Снижение продольных потерь в открытых ловушках. Амбиполярное удержание.
- Рекуператоры потоков энергии.
- Газодинамическая ловушка.
- Нейтронный источник на основе открытой ловушки.
- Энергобаланс реактора на основе пробкотрона.
- Специфические диагностики для открытых ловушек.
- Удержание плазмы в каспе.
- Роль торцевой стенки.

- Движители для космических полетов на основе открытых ловушек.

### **Пример экзаменационного билета**

Инварианты (включая адиабатические) при движении частиц в открытой магнитной ловушке.

Оценочные материалы по промежуточной аттестации, предназначенные для проверки соответствия уровня подготовки по дисциплине требованиям СУОС, хранятся на кафедре-разработчике РПД в печатном и электронном виде.

**Лист актуализации рабочей программы  
по дисциплине «Физика открытых ловушек»  
по направлению подготовки 03.04.02 Физика  
Профиль «Общая и фундаментальная физика»**

№	Характеристика внесенных изменений (с указанием пунктов документа)	Дата и № протокола Учёного совета ФФ НГУ	Подпись ответственного