

**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**



Рабочая программа дисциплины

ТЕХНИКА ПЛАЗМЕННОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

направление подготовки: **03.03.02 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	4	5	6	7	8	9	10	11
8	72	21	11		18	18	2			2
Всего 72 часа / 2 зачётные единицы, из них: - контактная работа 36 часов										
Компетенции ПК-1										

Ответственный за образовательную программу,
д.ф.-м.н., проф.

С. В. Цыбуля

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.	8
6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся.	9
8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.	9
9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.	9
10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.	10

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

Дисциплина (курс) «Техника плазменного эксперимента» имеет своей целью: дать учащимся набор сведений об устройстве и принципах создания исследовательских плазменных установок, их основных технических системах и элементах. Изучение дисциплины должно позволить студентам ориентироваться в номенклатуре технических средств, применяемых в экспериментальной физике плазмы, определять параметры технических систем, разрабатываемых и модернизируемых физических установок, предлагать и обосновывать технические решения задач, возникающих при проведении экспериментальных исследований.

Цель курса – знакомство с одним из основных теоретических подходов описания плазмы – одножидкостной магнитной гидродинамики, а также дать понимание базовых законов физики плазмы, привить практические навыки использования этих законов

Дисциплина нацелена на формирование у выпускника следующей профессиональной компетенции:

Результаты освоения образовательной программы (компетенции)	Индикаторы	Результаты обучения по дисциплине
ПК-1 Способность использовать специализированные знания в области физики при построении теоретических моделей физических явлений и процессов в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования	<p>ПК 1.1 Применяет специализированные знания в области физики при воспроизведении учебного материала с требуемой степенью научной точности и полноты.</p> <p>ПК 1.2 Использует специализированные знания при проведении научных изысканий в избранной области.</p>	<p>Знать: воспроизводить и объяснять учебный материал с требуемой степенью научной точности и полноты; основной математический аппарат, который используется для вычисления параметров технических систем разрабатываемых технических установок.</p> <p>Уметь: решать и обосновывать технические решения задач, возникающих при проведении экспериментальных исследований.</p> <p>Владеть: навыками самостоятельной работы со специализированной литературой; навыками применения современного математического инструментария для решения задач в области физики плазмы.</p>

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.

Курс “Техника плазменного эксперимента” читается в заключительном семестре обучения по программе бакалавриата, полученные при изучении курса знания и компетенции используются студентами для выполнения квалификационной работы. Вопросы, рассматриваемые в курсе, более подробно изучаются в магистерской программе на кафедре физики плазмы в спецкурсах “Инженерно-физические проблемы УТС”, “Физика открытых ловушек”, “Мощные электронные и ионные пучки”.

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
8	72	21	11		18	18	2			2
Всего 72 часа / 2 зачётные 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, практические занятия, консультации, самостоятельная работа студента и её контроль преподавателями с помощью заданий, экзамен.

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля:

- текущий контроль успеваемости: домашние задания, контрольные работы, задания для самостоятельного решения;
- промежуточная аттестация: экзамен.

Общая трудоемкость рабочей программы дисциплины составляет 2 зачетные единицы.

- занятия лекционного типа – 21 часов;
 - практические занятия – 11 часов;
 - самостоятельная работа обучающегося в течение семестра, не включая период сессии – 18 часов;
 - промежуточная аттестация (подготовка к сдаче экзамена, консультации и экзамен) – 22 часа.
- Объём 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 «Техника плазменного эксперимента» представляет собой полугодовой курс, читаемый на 4-ом курсе физического факультета НГУ в восьмом семестре. Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетные единицы, 72 академических часа.

№ п/п	Раздел дисциплины	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоёмкость (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)
			Всего	Аудиторные часы		Сам. работа во время занятий (не включая период сессии)	
				Лекции	Практические занятия		
1	2	3	4	5	6	7	10
1.	Общие вопросы подготовки и планирования эксперимента. История развития плазменного эксперимента.	1	5	3		2	
2.	Вакуумная техника.	2	4	2	1	1	
3.	Системы газонапуска плазменных установок.	3	4,5	2	1	1,5	
4.	Взаимодействие водорода с металлами. Применение систем металл-водород в физическом эксперименте.	4	4,5	2	1	1,5	
5.	Системы создания плазмы. Типы газовых разрядов. Генераторы плазмы и плазменные пушки.	5	4,5	2	1	1,5	
6.	Магнитные системы физических установок.	6	4,5	2	1	1,5	
7.	Системы питания плазменных установок, накопители энергии.	7	4,5	2	1	1,5	
8.	Техника высоких напряжений, высоковольтная импульсная техника.	8	4,5	2	1	1,5	
9.	Генерация электронных и ионных пучков.	9	4,5	2	1	1,5	
10.	Системы управления экспериментальными установками.	10-13	4,5	2	1	1,5	
11.	Ключевые термоядерные программы, крупные плазменные установки.	14-16	5		2	3	
12.	Самостоятельная подготовка обучающегося к экзамену		18				18
13.	Консультации перед экзаменом		2				2
14.	Экзамен		2				2
Всего			72	21	11	18	22

План лекций по курсу (21 час)

1. Подготовка и планирование эксперимента, сооружение экспериментальной установки. Выбор задачи и физическое обоснование эксперимента. Выработка технических решений, проектирование установки. Организация производства, своевременный заказ уникального и дефицитного оборудования. Проектирование, сооружение и подготовка специальных помещений. Организация работы на крупной экспериментальной установке. Основные части плазменной установки. Пример сооружения плазменной установки в ИЯФ СО РАН **(3 часа)**
2. Вакуумная техника. Требования к вакууму в плазменных установках. Источники протечек и их влияние на удержание и нагрев плазмы. **(2 часа)**
3. Режимы течения газа. Методы расчета вакуумных систем. Общие характеристики вакуумных систем, требования к вакуумным системам термоядерных установок. Особенности конструкций вакуумных систем. Вакуумные материалы. Вакуумные камеры плазменных установок. Обезгаживание вакуумных поверхностей. Вакуумная гигиена. Средства откачки, типы вакуумных насосов. Откачка больших потоков водорода. Техника измерения и контроля вакуума. Течеискатели, масс-спектрометрия остаточного газа **(2 часа)**
4. Системы газонапуска. Механические (игольчатые) натекатели. Тепловые (палладиевые) натекатели. Импульсные газовые клапаны, их разновидности. Системы газонапуска крупных плазменных установок. Подача плазменного "топлива" инъекцией таблеток. **(2 часа)**
5. Взаимодействие водорода с металлами. Энергетическая диаграмма водорода в металлах, параметры растворимости водорода. Сверхпроницаемость. Образование гидридов, предельная растворимость водорода, фазовая диаграмма образования гидридов. Система водород-титан, использование накопителей водорода в плазменном эксперименте. **(2 часа)**
6. Типы газовых разрядов. Искровой разряд, тлеющий разряд, дуга. Системы создания плазмы. Пеннингский разряд, отражательный разряд. Ионизация газа разрядным током, электронными пучками. Источники и генераторы плазмы. Плазменные пушки. **(2 часа)**
7. Методы формирования магнитных полей. Постоянные магниты, электромагниты, сверхпроводящие магниты. Формирование сверхсильных магнитных полей. Методы расчета магнитных полей. Измерение и контроль магнитного поля. Магнитные системы плазменных установок. Открытые ловушки, токамак, стелларатор. **(2 часа)**
8. Системы питания плазменных установок. Общие требования и параметры. Использование промышленной сети для питания плазменных установок. Преобразователи и выпрямители напряжения. Накопители энергии. Емкостные накопители. Конденсаторы, их конструкции и основные характеристики. Большие конденсаторные батареи, их компоновка, ошиновка. Индуктивные накопители, достоинства, конструктивные особенности. Сверхпроводящие накопители. Инерционные накопители. Ударные генераторы с маховиками. Униполярные генераторы. Мощные генераторы переменного тока. **(2 часа)**
9. Высоковольтная и импульсная техника. Применение высокого напряжения для ускорения частиц. Основные принципы построения высоковольтных систем, высоковольтная изоляция. Импульсная техника. Мегавольтные генераторы импульсных напряжений, формирующие и передающие линии, обостряющие системы. Системы коммутации: искровые и газовые разрядники, тиратроны, игнитроны, полупроводниковые коммутаторы. **(2 часа)**
10. Получение электронных пучков. Накаливаемые, взрывоэмиссионные, плазменные катоды. Вакуумные диоды для генерации электронных пучков. Применение мощных электронных пучков в плазменном эксперименте и технологиях. Инжекторы мощных пучков нейтралов. Применение, физические схемы получения нейтральных пучков, основные элементы инжекторов. Системы питания нейтральных инжекторов. **(1 час)**

11. Системы управления экспериментальными установками. Современные промышленные средства автоматизации. Стандарты передачи данных. (1 час)

План практических занятий по курсу (11 часов)

1. Вакуумная техника. (1 час)

Задача 1. Определить величину газового потока в вакуумный объем, если при скорости откачки 500 л/с давление в объеме составляет 10^{-4} Па.

Задача 2. Вакуумный объем с потоком водорода 0.1 ст.см³/мин откачивается насосом 100 л/с через трубку длиной 50 см и диаметром 2 см. Определить рабочее давление в вакуумном объеме.

Задача 3. Вакуумный объем с поступлением водорода 0.1 ст.см³/мин откачивается системой турбомолекулярный насос – форвакуумный насос. Параметры турбомолекулярного насоса – скорость откачки 500 л/с, степень сжатия по водороду 1000. Форвакуумный насос – 250 л/мин, предельный вакуум 1 Па. Определить рабочий вакуум в вакуумном объеме.
2. Системы газонапуска плазменных установок. (1 час)

Задача 1. В установку с помощью импульсного клапана необходимо инжектировать 10^{19} молекул водорода за 10 мс. Определить параметры клапана (условное отверстие и величину C_v), необходимого для напуска газа.
3. Взаимодействие водорода с металлами. Применение систем металл-водород в физическом эксперименте. (1 час)

Задача 1. Пучок водорода с плотностью тока 1 мА/см² и энергией 1 МэВ инжектируется в толстую танталовую мишень. Через какое время концентрация растворенного в тантале водорода сравняется с концентрацией металла?

Задача 2. Пучок водорода с плотностью тока 1 мА/см² инжектируется в медную мишень на глубину 10 мкм. Оценить максимальную концентрацию водорода в меди через 1000 с после начала облучения.
4. Системы создания плазмы. Типы газовых разрядов. Генераторы плазмы и плазменные пушки. (1 час)

Задача 1. Ионный источник с накаливаемым катодом (геометрия Байарда-Альперта) имеет цилиндрическую сетку с длиной 2 см, диаметром 1 см. Напряжение на сетке 200 В. Оцените долю ионов H_3^+ , вытекающих из источника при рабочем давлении водорода 10^{-1} Па.

Задача 2. Излучение от СВЧ генератора (8 мм) проходит через волновод с давлением внутри волновода 10^{-1} Па. Оцените, при какой мощности генератора в волноводе может произойти пробой.
5. Магнитные системы физических установок. (1 час)

Разбор магнитных систем плазменных установок ИЯФ СО РАН
6. Системы питания плазменных установок, накопители энергии. (1 час)

Задача 1. Нарисуйте схему трехфазного выпрямителя Ларионова.

Задача 2. Чем определяется предельная плотность энергии, запасаемая в конденсаторной батарее? Чему равна эта плотность энергии?

Задача 3. Объясните принцип работы включения индуктивного накопителя с паузой тока.

7. Техника высоких напряжений, высоковольтная импульсная техника. (1 час)

Задача 1. Объясните, как работает спиральный генератор напряжения.

Задача 2. Какие параметры импульсов высокого напряжения могут быть получены с помощью современных импульсных тиратронов?

Задача 3. Как устроен игнитрон? Каковы преимущества и недостатки этого типа коммутаторов?

Задача 4. Приведите основные схемы поджига в управляемых разрядниках.

8. Генерация электронных и ионных пучков. (1 час)

Качественный разбор способов генерации электронных и ионных пучков.

9. Системы управления экспериментальными установками. (1 час)

Качественный обзор систем управления плазменных установок в ИЯФ СО РАН.

10. Ключевые термоядерные программы, крупные плазменные установки. (2 часа)

Обзор технических характеристик крупных плазменных установок. Оценка параметров плазмы в них.

Самостоятельная работа студентов (36 часов)

Перечень занятий на СРС	Объем, час
Подготовка к практическим занятиям.	7
Подготовка к контрольным работам	11
Подготовка к экзамену	18

5. Перечень учебной литературы.

1. П.А. Багрянский, А.В. Бурдаков, А.А. Шошин Современные проблемы управляемого ядерного синтеза : учебное пособие / ; Федер. агентство по образованию, Новосибир. гос. ун-т, Физ. фак., Каф. физики плазмы .— Новосибирск : Новосибирский государственный университет, 2010 .— 72 с. : ил. ; 20 см. — Библиогр.: с.70-72., ISBN 978-5-94356-939-5 (34 экз.)

2. Чередниченко, Владимир Семенович. Плазменные электротехнологические установки / В. С. Чередниченко, А. С. Аньшаков, М. Г. Кузьмин ; под ред. В. С. Чередниченко .— Новосибирск : Изд-во Новосиб. гос. техн. ун-та, 2005 .— 507 с. : ил. ; 22 см., ISBN 5-7782-0448-5 (10 экз.)

3. Б.З.Персов Расчет и проектирование экспериментальных установок, — Изд. 2-е, испр .— Москва ; Ижевск : Институт компьютерных исследований : Регуляр. и хаотич. динамика, 2006, ISBN 5-93972-571-6 (29 экз.)

4. Сенченков А.П. Техника физического эксперимента. М. Энергоатомиздат, 1983.(2 экз.)

5. Королев Б.И. Основы вакуумной техники. М.;Л.: Энергия: 1964.(1 экз.)

6. Королев, Борис Иванович Основы вакуумной техники : учебник для электровакуумных и радиотех. техникумов / Б. И. Королев 5-е изд., перераб.М. ; Л. : Энергия, 1964. 464 с. : ил.(1 экз.)

7. Кнопфель Г. Сверхсильные импульсные магнитные поля. М.: Мир,1972.(3 экз.)

8. Диденко А.Н., Григорьев В.Л., Усов Ю.П. Мощные электронные пучки и их применение. М.: Атомиздат, 1977.(3 экз.)
9. Глазков А.А., Саксаганский Г.Д. Вакуум электрофизических установок и комплексов. М.: Энергоатомиздат, 1985.(3 экз.)

6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся.

1. С.Полосаткин, Техника плазменного эксперимента. Электронный курс лекций. Новосибирск, НГУ, 2013 (интернет-ресурс <http://www.inp.nsk.su/students/plasma/sk/tpe.ru.shtml>)

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

1. www.nist.gov – физические базы данных
2. <http://www-amdis.iaea.org/ALADDIN/> - ,база данных элементарных процессов в плазме
3. <http://ufn.ru/> - сайт журнала “Успехи физических наук”
4. http://adsabs.harvard.edu/abstract_service.html - библиографическая база NASA

7.2. Информационные справочные системы

Не используются.

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

1. Для обеспечения реализации дисциплины используется стандартный комплект программного обеспечения (ПО), включающий регулярно обновляемое лицензионное ПО Windows и MS Office.
2. Ltspice IV – программа для электротехнических расчетов
3. Femlab – пакет программ для расчетов электрических и магнитных полей
4. Matlab - программа для проведения численных расчетов

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

Для реализации дисциплины «Техника плазменного эксперимента» 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 путём проведения контрольных работ.

Промежуточная аттестация

Окончательная оценка работы студента в течение семестра происходит на экзамене. Экзаменационные вопросы включают в себя один теоретический вопрос и одну задачу. При подготовке к ответу студентам разрешается пользоваться всей доступной информацией. Экзаменационные задачи представляют собой, по сути, кейсы (case) – практические ситуации, с которыми может столкнуться физик-экспериментатор при проведении исследований по физике плазмы. Предполагается, что студент должен за ограниченное время (несколько часов) найти необходимую для решения справочную информацию, сделать оценки физических параметров, предложить варианты решения поставленной задачи и обосновать выбор одного из вариантов.

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 коллективных плазменных процессов 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. Вопросы 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. Полученные баллы на экзамене прибавляются к баллам полученным на коллоквиуме. 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
------------------	---	---------------------------

<p>ПК 1.1 Применяет специализированные знания в области физики при воспроизведении учебного материала с требуемой степенью научной точности и полноты.</p>	<p>Знать: воспроизводить и объяснять учебный материал с требуемой степенью научной точности и полноты; основной математический аппарат, который используется для вычисления параметров технических систем разрабатываемых технических установок.</p> <p>Уметь: решать и обосновывать технические решения задач, возникающих при проведении экспериментальных исследований.</p>	<p>Проведение контрольных работ, дифференцированный зачет.</p>
<p>ПК 1.2 Использует специализированные знания при проведении научных изысканий в избранной области</p>	<p>Владеть: навыками самостоятельной работы со специализированной литературой; навыками применения современного математического инструментария для решения задач в области физики плазмы.</p>	<p>Проведение контрольных работ, дифференцированный зачет.</p>

10.2 Описание критериев и шкал оценивания индикаторов достижения результатов обучения по дисциплине «Техника плазменного эксперимента».

Таблица 10.2

Критерии оценивания результатов обучения	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Уровень освоения компетенции			
		Не сформирован (0 баллов)	Пороговый уровень (3 балла)	Базовый уровень (4 балла)	Продвинутый уровень (5 баллов)
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	Продемонстрированы частично основные умения. Решены типовые за	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

		грубые ошибки.	дачи. Допу- щены негру- бые ошибки.		ошибок.
--	--	-------------------	---	--	---------

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

Задачи для контрольной работы по теме “Вакуумная техника”

1. Высоковакуумный насос имеет скорость откачки 500 л/с в диапазоне давлений 10^{-2} – 10^{-6} Па. Давление на выхлопе насоса должно составлять 1 Па. Найти требуемую скорость откачки форвакуумного насоса.
2. Стационарный ионный источник подключен к вакуумной камере объемом 10 л. Ток ионного источника 50 мА, газовая эффективность (доля газа, переведенного в ионы) 10%. Найти давление в вакуумной камере при ее откачке высоковакуумным насосом со скоростью откачки 300 л/с.
3. Вакуумная камера объемом 500 л откачивается с атмосферного давления до давления 1 Па форвакуумным насосом со скоростью откачки 250 л/мин. Найти время откачки вакуумной камеры.
4. В вакуумной камере поддерживается вакуум 10^{-4} Па с помощью высоковакуумного насоса 500 л/с и форвакуумного насоса. В определенный момент времени форвакуумная откачка прекращается. За какое время давление в форвакуумной магистрали повысится с 1 до 10 Па, если объем форвакуумной магистрали 1 л.
5. Вакуумный объем с рабочим вакуумом 10^{-4} Па откачивается с помощью турбомолекулярного насоса со скоростью откачки 500 л/с. Определите массу поглотителя адсорбционного (цеолитоового) насоса, необходимую для обеспечения форвакуумной откачки в течение рабочего дня (площадь поверхности поглотителя (цеолита) $1000 \text{ м}^2/\text{г}$)
6. Определить величину газового потока в вакуумный объем, если при скорости откачки 500 л/с давление в объеме составляет 10^{-4} Па.
7. Вакуумный объем с потоком водорода $0.1 \text{ ст.см}^3/\text{мин}$ откачивается насосом 100 л/с через трубку длиной 50 см и диаметром 2 см. Определить рабочее давление в вакуумном объеме
8. Вакуумный объем с натеканием $10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{л}/\text{с}$ откачивается насосом 100 л/с через диафрагму диаметром 1 см. Определить рабочее давление в вакуумном объеме
9. Вакуумный объем с рабочим вакуумом 10^{-4} Па откачивается с помощью криосорбционного насоса со скоростью откачки 1000 л/с. Емкость насоса 10 ст. литров. Определите время работы насоса до его регенерации.
10. Вакуумный объем с поступлением водорода $0.1 \text{ ст.см}^3/\text{мин}$ откачивается системой турбомолекулярный насос – форвакуумный насос. Параметры турбомолекулярного насоса –

скорость откачки 500 л/с, степень сжатия по водороду 1000. Форвакуумный насос – 250 л/мин, предельный вакуум 1 Па. Определить рабочий вакуум в вакуумном объеме.

11. Вакуумная камера имеет объем 100 л. Определить, при каком вакууме в камере можно начинать откачку камеры с помощью криосорбционного насоса с параметром включения 10^4 Па*л

12. Вакуумный объем с потоком водорода $0.1 \text{ ст.см}^3/\text{мин}$ откачивается насосом 100 л/с через диафрагму диаметром 1 см. Определить рабочее давление в вакуумном объеме

13. В установку с помощью импульсного клапана необходимо инжектировать 10^{19} молекул водорода за 10 мс. Определить параметры клапана (условное отверстие и величину C_v), необходимого для напуска газа.

Вопросы для контрольной работы по теме “Системы питания физических установок. Высоковольтная импульсная техника”:

1. Нарисуйте схему трехфазного выпрямителя Ларионова.
2. Нарисуйте и объясните схему включения обмоток трансформатора в ”зигзаг”. Зачем используется эта схема
3. Нарисуйте осциллограмму токов и напряжений в трехфазном тиристорном выпрямителе и объясните, как работает эта схема
4. Нарисуйте схему простейшего источника тока на основе IGBT-сборки (чоппера)?
5. Чем определяется предельная плотность энергии, запасаемая в конденсаторной батарее. Чему равна эта плотность энергии
6. Объясните, в чем состоит отличие в зарядке конденсаторной батареи от источника тока и источника напряжения
7. Чем определяется плотность энергии и время накопления энергии в индуктивных накопителях. Чему равна предельная плотность энергии в индуктивных накопителях
8. Нарисуйте электрическую схему включения индуктивного накопителя энергии
9. Объясните принцип работы включения индуктивного накопителя с паузой тока.
10. Что такое SOS-диоды? Как они могут использоваться для вывода энергии из индуктивных накопителей
11. Чем определяется плотность энергии и механических (инерционных) накопителей. Чему равна предельная плотность энергии в таких накопителях?
12. Что такое униполярная машина. Каковы ее преимущества и недостатки?
13. Укажите пробивную напряженность электрического поля в вакууме, по поверхности, и в элегазе при атмосферном давлении
14. Почему в ускорительных трубках необходимо организовывать принудительный разнос потенциала между промежуточными электродами?
15. Объясните, как работает схема Маркса для получения импульсов напряжения
16. Объясните, как работает схема Фитча для получения импульсов напряжения. В чем ее преимущества по сравнению со схемой Маркса

17. Объясните, как устроена двойная формирующая линия
18. Объясните, как работает спиральный генератор напряжения
19. Какие параметры импульсов высокого напряжения могут быть получены с помощью современных импульсных тиратронов?
20. Как устроен игнитрон? Каковы преимущества и недостатки этого типа коммутаторов?
21. Приведите основные схемы поджига в управляемых разрядниках
22. Объясните принцип работы LTD (linear transformer driver) модуля

Задачи для контрольной домашней работы по темам “Системы создания плазмы”, “Водород в металлах”

1. Оценить минимальную мощность СВЧ-генератора с частотой 2,45 ГГц, требуемую для зажигания СВЧ-разряда в медном резонаторе при рабочем давлении 100 Па.
2. Оценить напряжение зажигания разряда в пенинговском разряде с расстоянием между катодами 2 см, диаметром анода 1 см, магнитным полем 0,05 Тл при давлении 10^{-2} Па.
3. Оценить напряжение зажигания разряда в магнетронном разряде с диаметром катода 2 см, диаметром анода 3 см, длиной электродов 5 см, магнитным полем 0,05 Тл при давлении 10^{-2} Па.
4. Ионный источник с накаливаемым катодом (геометрия Байарда-Альперта) имеет цилиндрическую сетку с длиной 2 см, диаметром 1 см, прозрачностью 99%. Напряжение на сетке 200 В. Оцените ток ионов с одного из торцов сетки при токе эмиссии катода 5 мА и рабочем давлении 10^{-3} Па.
5. Ионный источник с накаливаемым катодом (геометрия Байарда-Альперта) имеет цилиндрическую сетку с длиной 2 см, диаметром 1 см. Напряжение на сетке 200 В. Оцените долю ионов H_3^+ , вытекающих из источника при рабочем давлении водорода 10^{-1} Па.
6. Излучение от СВЧ генератора (8 мм) проходит через волновод с давлением внутри волновода 10^{-1} Па. Оцените, при какой мощности генератора в волноводе может произойти пробой.
7. Оценить величину напряжения на обходе тора, требуемую для зажигания разряда в токамаке T-10 при концентрации газа (водорода) 10^{13} см⁻³
8. Определить равновесную концентрацию водорода в меди при давлении водорода над поверхностью 10^4 Па.
9. Пучок водорода с плотностью тока 1 мА/см² и энергией 1 МэВ инжектируется в толстую танталовую мишень. Через какое время концентрация растворенного в тантале водорода сравняется с концентрацией металла?
10. Пучок водорода с плотностью тока 1 мА/см² инжектируется в медную мишень на глубину 10 мкм. Оценить максимальную концентрацию водорода в меди через 1000 с после начала облучения.
11. Определить максимальное количество водорода, которое может быть растворено в геттере St101 объемом 0,1 см³ при температуре 200 градусов
12. Найти равновесное распределение концентрации водорода в танталовой фольге толщиной 100 мкм при инжекции на одну из ее поверхностей пучка ионов водорода с плотностью тока 1 мА/см² и энергией 1 МэВ. Поверхности считать свободными от загрязнений

Примерные вопросы на экзамен

1. Оцените параметры элементов каскадного генератора для получения напряжения 30 кВ с мощностью 1 Вт при допустимом уровне пульсаций 1%?
2. Рентгеновский ЭОП представляет собой микрочанальную пластину, за которой установлен

люминесцентный экран. Предложите схему питания ЭОПа для получения кадра с длительностью 200 нс.

3. Оценить минимальную мощность СВЧ-генератора с частотой 2,45 ГГц, требуемую для зажигания СВЧ-разряда в медном резонаторе при рабочем давлении 100 Па.
4. В применяемых в ИЯФ системах питания инжекторов нейтралов импульс высокого напряжения формируется с помощью искусственной линии и подается на нагрузку через повышающий трансформатор 1:20. Определите параметры и число элементов, составляющих длинную линию, для получения на выходе импульса 30 кВ, 60 А, 1 мс.
5. Турбомолекулярный насос со скоростью откачки 30 л/с подключен к вакуумному объему через гибкий шланг (сильфон) длиной 50 см. При каком диаметре сильфона он не ограничивает существенно скорость откачки?
6. Определите энергию инъекции, необходимую для эффективного нагрева плазмы с помощью пучков быстрых атомов водорода в нейтронном генераторе на основе открытой ловушки ($n=10^{14}$ см⁻³, $l=30$ см). Какова эффективность конверсии протонного пучка в нейтралы при этой энергии?
7. Оценить требования к скорости откачки вакуумной печи объемом 20 л, в которой молибденовый лайнер нагревается до температуры 600 °С, при необходимости обеспечения рабочего вакуума не хуже 10^{-2} Па
8. Оценить расход гелия для криопанели площадью 1 м², закрытой экраном, находящимся при температуре 77К.
9. Для проведения экспериментов Вам необходим пробкотрон с диаметром 10 см, расстоянием между пробками 30 см, магнитным полем в центре 1 Тл и пробочным отношением 2. Предложите геометрию магнитной системы пробкотрона, оцените требования к системе питания.
10. Оцените поток газа (аргона и водорода), необходимый для работы перезарядной мишени тандемного ускорителя (БНЗТ).
11. Вакуумный объем с рабочим вакуумом 10^{-4} Па откачивается с помощью турбомолекулярного насоса со скоростью откачки 500 л/с. Определите объем сорбционного насоса для обеспечения форвакуумной откачки в течение рабочего дня.
12. Определите параметры конденсаторной батареи для питания пробкотрона, состоящего из двух катушек соленоида ГОЛ-3 ($R_{\min}=75$ мм, $R_{\max}=150$ мм, $l=40$ мм, 69 витков), отстоящих друг от друга на 20 см, при необходимости получения магнитного поля в центре пробкотрона 2 Тл при длительности эксперимента 1 мс.
13. Оцените максимально возможную длительность импульса магнитного поля в соленоиде ГОЛ-3 при рабочем значении магнитного поля. Определите энергию, требуемую для питания соленоида и предложите возможную схему питания.
14. Предложите систему формирования импульса 20 кВ, 30 нс для питания ячейки Поккельса импульсного лазера.

-
1. Требования к вакуумным условиям термоядерных установок, общие характеристики вакуумных систем. Вакуумные системы плазменных установок – схемы построения, применяемые материалы, подготовка поверхности.
 2. Типы вакуумных насосов. Форвакуумные и высоковакуумные насосы.
 3. Системы измерения вакуума, течейскатели.
 4. Способы поддержания баланса вещества в плазме. Стационарные и импульсные системы газонапуска. Пеллет-инжекция.
 5. Системы создания плазмы. Способы ионизации газа, виды газовых разрядов. Источники и генераторы плазмы. Плазменные пушки.
 6. Магнитные системы плазменных установок. Типы магнитных катушек, разновидности соленоидов. Особенности магнитных катушек на сильные и сверхсильные магнитные поля.

Материалы для магнитных систем. Сверхпроводящие магнитные системы. Измерение и контроль магнитного поля.

7. Емкостные накопители. Конденсаторы, их конструкции и основные характеристики. Большие конденсаторные батареи, их компоновка, ошиновка. Системы зарядки емкостных накопителей
8. Индуктивные накопители, их достоинства. Конструктивные особенности индуктивных накопителей. Размыкатели для индуктивных накопителей. Сверхпроводящие накопители.
9. Системы коммутации напряжения, различные виды коммутаторов
10. Мегавольтные генераторы импульсных напряжений, формирующие и передающие линии, обостряющие системы.
11. Средства нагрева плазмы. Инжекторы мощных пучков нейтралов.
12. Инерционные накопители. Ударные генераторы с маховиками. Униполярные генераторы.
13. Ключевые термоядерные программы: тороидальные системы, открытые ловушки, лазерный и пучковый УТС. Крупнейшие современные термоядерные установки, их краткая характеристика. Термоядерные установки будущего (ITER и др.).
14. Крионасосы. Разновидности, принципы работы, основные параметры

Пример экзаменационного билета

1. Оцените поток газа (аргона и водорода), необходимый для работы перезарядной мишени тандемного ускорителя (БНЗТ).
2. Мегавольтные генераторы импульсных напряжений, формирующие и передающие линии, обостряющие системы.

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 «Техника плазменного эксперимента»
по направлению подготовки 03.03.02 Физика
Профиль «Общая и фундаментальная физика»**

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