

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
профессионального образования
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
филиал МГУ в г. Севастополе
факультет естественных наук
кафедра физики и геофизики



УТВЕРЖДАЮ

Директор
Филиала МГУ в г. Севастополе
О.А. Шпырко
20__ г.



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Наименование дисциплины (модуля):

Общий атомный практикум

код и наименование дисциплины (модуля)

Уровень высшего образования:
специалитет

Направление подготовки:

03.05.02 Фундаментальная и прикладная физика

(код и название направления/специальности)

Направленность (профиль) ОПОП:

общий

(если дисциплина (модуль) относится к вариативной части программы)

Форма обучения:

очная

очная, очно-заочная

Рабочая программа рассмотрена
на заседании кафедры физики и геофизики
протокол №4 от «21» июня 2023 г.
Заведующий кафедрой

(К.В. Показеев)

(подпись)

Рабочая программа одобрена
Методическим советом
Филиала МГУ в г. Севастополе
Протокол №6 от «28» июня 2023 г.

(Л.И. Теплова)

(подпись)

Севастополь, 2023

Рабочая программа дисциплины (модуля) разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по специальности 03.05.02 «Фундаментальная и прикладная физика», утвержденным приказом МГУ от 29 декабря 2018 года № 1780 (в редакции приказа МГУ от 10 июня 2021 года № 609, от 7 октября 2021 года № 1048, от 21 декабря 2021 года № 1404), приказами об утверждении изменений в ОС МГУ от 29 мая 2023 года № 700, от 29 мая 2023 года № 702, от 29 мая 2023 года № 703

Год (годы) приема на обучение: с 2020



курс – 3

семестры – 5

зачетных единиц – 2

академических часов – 18, в т.ч.

лекций – нет

практических занятий – 18 часов

Форма промежуточной аттестации:

зачет в 5 семестре

1. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО.

«Общий атомный практикум», как важнейшая составная часть курса общей физики является одной из основных дисциплин в общей системе современной подготовки физиков - профессионалов.

Она изучается на младших курсах параллельно чтению лекций курса общей физики и ее главной задачей является создание фундаментальной базы знаний, на основе которой в дальнейшем можно развивать более углубленное и детализированное изучение всех разделов физики в рамках цикла курсов по теоретической физике и специализированных курсов.

Курс начинается с теоретического введения, далее следуют циклы лабораторных работ по соответствующим разделам курса общей физики.

2. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия (если есть).

Базовые знания по общей физике, высшей математике и технике проведения экспериментов.

3. Результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с требуемыми компетенциями выпускников.

Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю):

Знать:

- методики постановки физических экспериментов;
- основные элементы техники безопасности при проведении экспериментальных исследований.

Уметь:

- подготовить и выполнить физический эксперимент;
- применять теоретические познания к анализу конкретных физических ситуаций;
- работать с современной измерительной аппаратурой.

Владеть:

- методами измерений физических величин и принципы действия современной аппаратуры;
- методами обработки и анализа полученных данных, а также методы представления результатов, с использованием как традиционных, так и современных компьютерных подходов.

Иметь опыт:

- проведения физического эксперимента с использованием электронно-механических средств контроля.

4. Формат обучения – контактный.

5. Объем дисциплины (модуля) составляет 2 з. е., в том числе 18 академических часов, отведенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (аудиторная нагрузка), 54 академических часа на самостоятельную работу обучающихся.

6. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий

6.1. Структура дисциплины (модуля) по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий

Наименование разделов и тем дисциплины (модуля), Форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Номинальные трудозатраты обучающегося			Всего академических часов	Форма текущего контроля успеваемости (наименование)
	Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем) Виды контактной работы, академические часы		Самостоятельная работа обучающегося, академические часы		
	Занятия лекционного типа*	Занятия семинарского типа*			
Введение.	-	Консульта ции, 2	5	7	-
Измерение линейных размеров и плотности образца. Нониус и микрометрически е шкалы.	-	Лаборатор ные работы, 10	4	14	Отчет по лаб. раб.
Мультиметры. Измерение силы тока, напряжения и активных сопротивлений.	-	Лаборатор ные работы, 10	4	14	Отчет по лаб. раб.
Метод наименьших квадратов. Графическое представление данных.	-	Лаборатор ные работы, 10	4	14	Отчет по лаб. раб.
Электронно-лучевой осциллограф.	-	Лаборатор ные работы, 10	4	14	Отчет по лаб. раб.
Изучение работы термостата. Градуировка медного термометра.	-	Лаборатор ные работы, 10	4	14	Отчет по лаб. раб.
Изучение нормального распределения. Применение гистограмм для обработки данных.	-	Лаборатор ные работы, 10	4	14	Отчет по лаб. раб.
Изучение	-	Лаборатор	4	14	Отчет по лаб.

статистики фотоотсчетов ФЭУ.		ные работы, 10			раб.
Другие виды самостоятельной работы (при наличии): например, курсовая работа, творческая работа (эссе)	-	-	-	-	-
	-	18	48	66	
Промежуточная аттестация (зачеты)			6		
Итого				72	

6.2. Содержание разделов (тем) дисциплины.

Дисциплина «Общий атомный практикум» не имеет в своем составе тем (разделов) как таковых. Практикум проходит параллельно с соответствующими дисциплинами по общей физике – механике, молекулярной физике, электромагнетизму, оптике и атомной физике – и содержит от 5 до 12 лабораторных работ по каждой дисциплине.

Теоретические знания.

В рамках раздела «Введение в технику эксперимента» студенты получают теоретические знания по следующим темам:

- Совместные измерения. Идея метода наименьших квадратов. Обработка результатов совместных измерений.
- Погрешности измерений и их классификация. Правила оценки ошибок. Оформление результатов измерений.
- Гистограммы и понятие о плотности распределения вероятности. Доверительные интервалы. Выбор стратегии выполнения измерений.

Осуществляя выполнение лабораторных работ по другим разделам «Общего физического практикума» студенты закрепляют знания, полученные в рамках дисциплин курса «Общей физики» и имеют дополнительную возможность к самостоятельному изучению теоретических основ общефизических дисциплин.

Проведение лабораторных занятий.

Методика проведения практических занятий.

Практические занятия состоят в выполнении студентами лабораторных работ согласно тематическому плану.

Каждая работа обеспечена описанием, включающим

- цель работы;
- теоретические основы работы;
- описание лабораторной установки и (или) компьютерной программы;
- план проведения измерений;

- указания по обработке и представлению результатов;
- контрольные вопросы;
- список рекомендованной литературы.

Выполнение лабораторной работы студентом состоит из следующих частей:

- подготовка к работе на основе описания;
- получение допуска к работе в результате устного тестирования преподавателем по учебному материалу, изложенному в описании и рекомендованной литературе;
- выполнение упражнений на лабораторной установке или компьютере;
- обработка данных и подготовка отчета;
- финальная защита выполненной работы перед преподавателем.

Каждому студенту заблаговременно выдается описание лабораторной работы для самостоятельного изучения и подготовки к выполнению, в конце описания каждой работы приводится список литературы по теме данной работы для более детального изучения материала.

Пример описания лабораторных работ.

Лабораторная работа

ИЗУЧЕНИЕ СПЕКТРА АТОМА ВОДОРОДА

Цель работы – исследование спектральных закономерностей в оптическом спектре водорода. Вычисление по результатам измерений постоянной Ридберга. При выполнении лабораторной работы студенты ознакомятся с основами спектроскопии, закономерностями в спектре водородоподобных атомов, формализме описания Бальмеровской серии атома водорода.

Теоретические основы работы

Квантово-механическая задача о движении электрона в кулоновском поле ядра. Атом водорода является простейшей атомной системой; для него уравнение Шредингера может быть решено точно. Поэтому спектр атома водорода является предметом тщательного экспериментального и теоретического исследования.

Объяснение структуры спектра излучения атомов требует знания схемы атомных энергетических уровней, что, в свою очередь, требует решения задачи о движении электрона в эффективном поле атома. Для атома водорода и водородоподобных (одноэлектронных) атомов определение энергетических уровней значительно упрощается, так как квантовомеханическая задача об относительном движении электрона (заряд $-e$, масса m_e) и ядра (заряд Ze , масса M) сводится к задаче о движении частицы с эффективной массой $\mu = m_e M / (m_e + M)$ в кулоновском поле $-Ze^2/r$. Однако даже для водородоподобных атомов это решение не является простым.

Длины волн спектральных линий водородоподобного атома описываются формулой

$$\frac{1}{\lambda_{mn}} = RZ^2 \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right), \quad (1)$$

где R - константа, называемая постоянной Ридберга, а m и n - целые числа.

Формула (1) известна в спектроскопии с 1885 г. Она была найдена эмпирически и получила название обобщенной формулы Бальмера. Эта формула достаточно правильно описывает экспериментальные значения линий водорода при $R=109\,677,6\text{ см}^{-1}$. Однако физический смысл формулы в то время был непонятен.

Для объяснения спектра атома водорода Нильс Бор в 1913 г. предложил теорию атома, в основу которой положил три постулата:

- 1) из всех возможных с точки зрения классической физики орбит в атоме существуют только некоторые стационарные орбиты, при движении по которым, вопреки представлениям классической электродинамики, электрон не излучает энергии;
- 2) из всех возможных орбит в атоме осуществляются только те, для которых момент количества движения L равен целому кратному величины постоянной Планка:

$$L = n\hbar$$

- 3) излучение или поглощение энергии происходит при переходе атома из одного стационарного состояния в другое, а частота излучаемого (поглощаемого) света связана с разностью энергий атома в стационарных состояниях соотношением

$$\hbar\nu = E_2 - E_1, \quad (3)$$

где ν - частота излучаемой линии.

Использование этих постулатов с учетом кулоновского взаимодействия между ядром и электроном позволяет легко определить возможные энергетические состояния водородоподобного атома. Если считать ядро неподвижным, то эти энергетические состояния определяются выражением

$$E_n = -\frac{2\alpha\pi^2 m_e e^4 Z^2}{\hbar^2} \frac{1}{n^2}. \quad (4)$$

В свою очередь, знание энергетических состояний атома позволяет в соответствии с формулой (4) определить возможные частоты его излучения и объяснить наблюдаемые спектральные закономерности (см. рис.1). Отметим, что квантовомеханический расчет дает тот же результат, однако число n в этих двух подходах имеет различный смысл.

Из рис.1 видно, что линии в спектре водорода можно разложить по сериям: для всех линий серии значение n остается постоянным, а m может принимать любые значения от $n+1$ до ∞ .

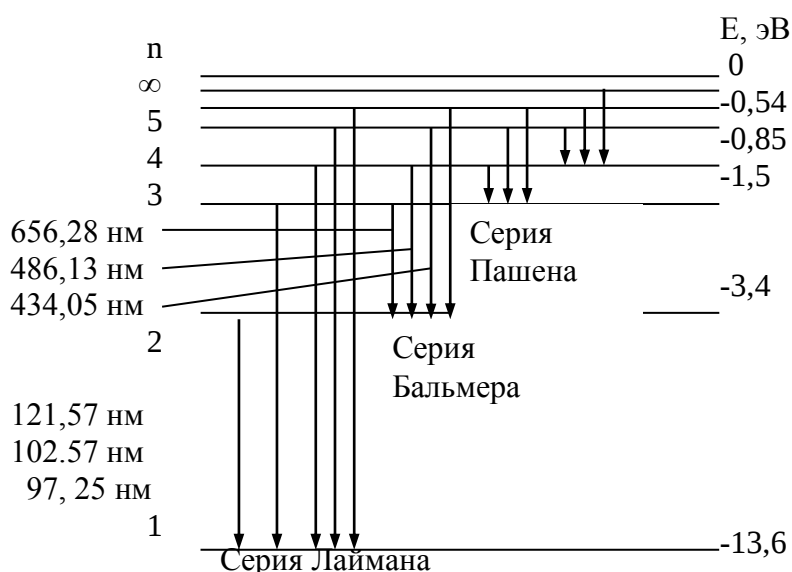


Рис.1. Уровни энергии атома водорода и образование спектральных серий

В данной работе изучается серия Бальмера, линии которой лежат в видимой области. Для серии Бальмера $n=2$. Величина m для первых четырех линий этой серии принимает значения 3, 4, 5, 6. Эти линии обозначаются символами H_α , H_β , H_γ , H_δ .

Рассмотрим, как можно оценить основное и возбужденное состояния водородоподобного атома. Чтобы найти основные состояния квантовой системы, надо минимизировать, с учетом соотношения неопределенностей, полную энергию. Потенциальная энергия электрона равна кулоновской энергии электрона в поле ядра с зарядом Z . Так как электрон локализован в области размером r (радиус его орбиты), то по соотношению неопределенностей его импульс $p \propto \hbar/r$, и следовательно полная энергия определяется выражением

$$E = -\frac{Ze^2}{r} + \frac{\hbar^2}{2m_e r^2} \quad (5)$$

Дифференцирование этого выражения по r приводит к следующему условию для минимального значения энергии:

$$\frac{Ze^2}{r} - \frac{\hbar^2}{m_e r^3} = 0 \quad (6)$$

или

$$r_B = \frac{\hbar^2}{Zm_e e^2} \quad (7)$$

Мы получили значение боровского радиуса (радиуса первой орбиты) для электрона в поле ядра с зарядом Z . Энергию основного состояния получим, подставляя (7) в (5):

$$E = -\frac{m_e e^4}{2\hbar^2} Z^2 = -RZ^2 \quad (8)$$

Аналогичным образом могут быть найдены энергии возбужденных состояний. Дискретные значения энергии электрона в атоме получаются из того условия, что на длине орбиты, по которой движется электрон, должно укладываться целое число волн де Бройля. Если радиус орбиты r , то n -му состоянию электрона соответствует условие

$$2\pi r = \lambda n \quad (n=1,2,3,\dots), \text{ или } m_e v_n = \frac{nh}{2\pi r} \quad (9)$$

Полученное соотношение полностью совпадает со вторым постулатом Бора.

Высшие квантовые состояния имеют n узлов, так как на длине электронной орбиты укладывается n волн де Бройля. Поэтому характерная длина волны λ такого состояния (неопределенность в координате частицы) будет равна r/n , что приводит к увеличению кинетической энергии этих состояний.

Действительно, импульс $p \propto \hbar/\lambda = \frac{nh}{r}$ (10), а кинетическая энергия $T \propto \frac{n^2 \hbar^2}{2m_e r^2}$ (11), что соответствует

боровскому радиусу состояния частицы с квантовым числом n : $r_n = \frac{n^2 \hbar^2}{Zm_e e^2}$ (12) и энергии

$$E_n = -\frac{m_e Z^2 e^4}{2\hbar^2} \frac{1}{n^2} = -R \frac{Z^2}{n^2}. \quad (13)$$

Мы предположили, что радиус орбиты r имеет фиксированное значение. Однако, согласно квантовой механике, радиусы орбит “разбросаны” в окрестности классически устойчивой орбиты. Поэтому здесь в качестве оценки радиуса взято вполне определенное значение r , соответствующее минимуму энергии $E(r)$. В действительности электрон может находиться с разной вероятностью на любом расстоянии от ядра.

Поэтому числовой множитель в формуле (13), несмотря на то, что он получился правильным, достаточно условен, а вот зависимость от квантового числа n принципиально верна.

Полученное решение справедливо для любой “водородоподобной” системы – системы из двух частиц с противоположными зарядами, связанных лишь электростатическими силами. Это однократно ионизованный гелий He^+ , двукратно ионизованный Li^{++} , трехкратно ионизованный бериллий Be^{+++} и т.д. Сюда же относится и позитроний – система e^+e^- , мюонные атомы – атомы с электроном, замещенным на отрицательный мюон μ^- (масса мюона $\sim 200 m_e$).

Ранее мы предполагали, что электрон в атоме движется в кулоновском потенциале неподвижного ядра. На самом деле движение электрона происходит вокруг центра масс системы, а потому энергия состояния атом зависит от приведенной массы μ системы, состоящей из электрона и ядра. Поэтому положение серий спектра водорода и дейтерия слегка отличаются. Это различие носит название изотопического сдвига. Легко показать, что величина относительного сдвига между линиями водорода и дейтерия определяется выражением

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{m_e}{m_p} \frac{A_D - A_H}{A_D A_H} \cong \frac{m_e}{2M_H}, \quad (14)$$

где m_e , m_p , M_H – масса электрона, протона и атома водорода, а $A_H=1$, $A_D=2$ – массовые числа водорода и дейтерия.

Экспериментальная часть

Идея эксперимента. С помощью градуировки спектрометра по известным спектральным линиям гелия и неона строится градуировочная кривая спектрометра, которая затем используется для визуального выявления закономерностей в спектре атома водорода. Используя эти экспериментальные данные определяется постоянная Ридберга R_H и сравнивается с расчетным значением R_H .

Экспериментальная установка. В эксперименте используется экспериментальная установка, предназначенная для исследования спектра излучения водорода. Ее схема размещения приведена на рис.2.

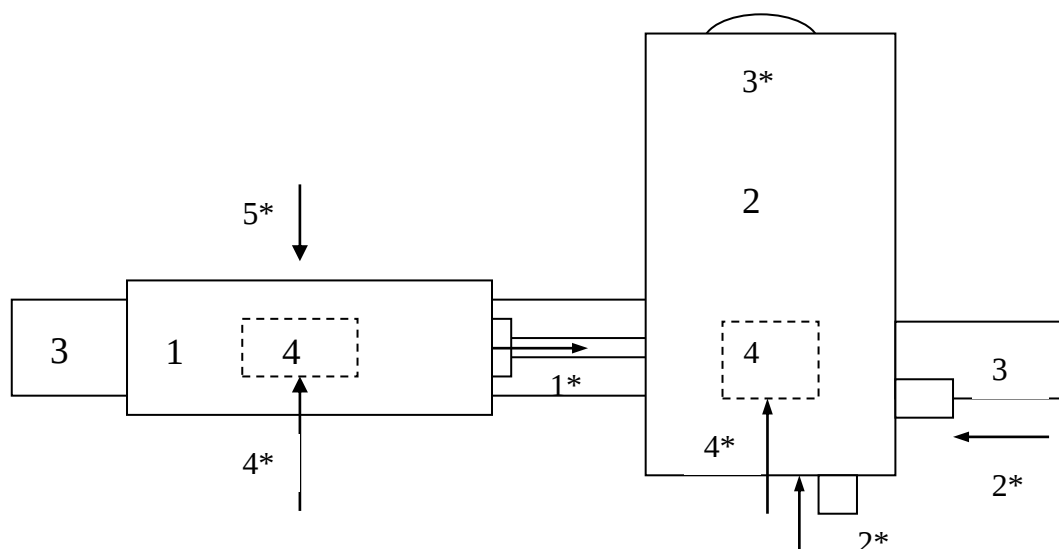


Рис.2. Схема размещения устройств установки в рабочем состоянии (вид сверху). 1 – облучатель, 2 – монохроматор, 3 – рельс, 4 – рейтеры.

Проведение измерений

Спектрометр нуждается в предварительной градуировке. Для градуировки в коротковолновой части спектра удобно применять гелиевую лампу, а в длинноволновой и средней части спектра – неоновую лампу.

Градуировочную кривую следует строить в крупном масштабе. По оси x откладываются градусные деления барабана, а по оси y – длины волн соответствующих линий. Иногда при построении графика некоторые экспериментальные точки оказываются смещенными от плавной кривой. Чаще всего такие выбросы свидетельствуют о неправильной расшифровке наблюдаемой картины спектральных линий (главным образом для неона). В этом случае необходимо более внимательно сопоставить картину с таблицей и внести в градуировочный график необходимые исправления.

В опытах по определению длин волн бальмеровской серии источником света служит водородная лампа Н-образной формы. Для увеличения яркости интересующих нас линий атомарного водорода в состав газа, которым заполняют трубку при ее изготовлении, добавляют пары воды. Молекулы воды в электрическом разряде разлагаются, образуя атомарный водород. Трубка заполняется газом при давлении 5-10 Тор.

Следует отметить, что в спектре водородной лампы наряду с линиями атомного спектра наблюдается также спектр молекулярного водорода. Однако интенсивность молекулярных линий значительно слабее, и отождествление ярких атомных линий на фоне молекулярного спектра не представляет большого труда. Начинать поиск атомных линий нужно с наиболее интенсивной красной линии H_α . Вторая линия, H_β - зелено-голубая. В промежутке между этими линиями располагается несколько красно-желтых и зеленых сравнительно слабых молекулярных полос. Третья линия, H_γ - фиолетовая – синяя. Четвертая линия, H_δ - фиолетовая, и найти ее удастся не всегда.

Обработка данных

1. Проградуируйте спектрометр по спектрам гелия и неона. Постройте градуировочный график.
2. Измерьте положение линий H_α , H_β , H_γ и H_δ (если эта линия видна) и с помощью калибровочного графика определите их длины волн.
3. Убедитесь в том, что отношение длин волн водородных линий соответствует формуле (4).
4. Для каждой из наблюдаемых линий водорода вычислите значение постоянной Ридберга R_H , определите ее среднее значение по всем измерениям и оцените погрешность измерений. Сравните результаты опыта с расчетным значением R_H .

Контрольные вопросы

1. Поясните устройство и назначение призматического монохроматора и монохроматора с дифракционной решеткой.
2. Поясните образование спектральных серий атома водорода?
3. Что такое изотопический сдвиг?
4. Что такое тонкое расщепление?
5. Что такое лэмбовский сдвиг?

7. Фонд оценочных средств (ФОС) для оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю)

7.1. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения текущего контроля успеваемости.

Текущая аттестация осуществляется путем выполнения лабораторных работ в 3 этапа: теоретический допуск, непосредственное выполнение экспериментальной части со снятием данных, защита отчета по работе.

Студент получает зачет при наличии положительных оценок по всем запланированным в семестре лабораторным работам.

Список оценок по лабораторным работам предоставляется в качестве дополнительной информации при сдаче экзамена по соответствующему разделу курса «Общей физики».

Промежуточная аттестация – зачет в 5-м семестре.

7.2 Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения промежуточной аттестации.

- для зачета

Зачет проставляется студенту по факту выполнения (положительной защиты) всех лабораторных работ, предусмотренных практикумом к данной дисциплине по общей физике.

ШКАЛА И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ результатов обучения (РО) по дисциплине (модулю)				
Оценка РО и соответствующие виды оценочных средств	Не зачтено	Зачтено		
Знания (теоретические допуски к лабораторным работам)	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания	Общие, но не структурированные знания	Сформированные систематические знания
Умения (защита лабораторных работ)	Отсутствие умений	В целом успешное, но не систематическое умение	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение (допускает неточности непринципиального характера)	Успешное и систематическое умение
Навыки (владения, опыт деятельности) (зачет)	Отсутствие навыков (владений, опыта)	Наличие отдельных навыков (наличие фрагментарного опыта)	В целом, сформированные навыки (владения), но используемые не в активной форме	Сформированные навыки (владения), применяемые при решении задач

8. Ресурсное обеспечение:

– Перечень основной и дополнительной литературы.

1. Шпольский Э.В. Атомная физика: в 2 т. Т 1 / Э.В. Шпольский. – 8-е изд. стер. – М.: Лань, 2010.
2. Фриш С.Э. Оптические спектры атомов / С.Э. Фриш – 2-е изд. испр. – М.: Лань, 2010. – 640 с.
3. Сивухин Д.В. Курс общей физики: в 5 т. Т 5, ч. 1 / Д.В. Сивухин. – 2-е изд. стер. – М.: Физматлит, 2002. – 784 с.

– Описание материально-технического обеспечения.

Аудитории практикума по физике (лабораторное оборудование: 10 мест – механика; лабораторное оборудование: 10 мест – молекулярная физика; лабораторное оборудование: 10 мест – электромагнетизм; лабораторное оборудование: 10 мест – оптика), №№124, №137, №139, №140 УНЛК

9. Соответствие результатов обучения по данному элементу ОПОП результатам освоения ОПОП указано в общей характеристике ОПОП.

10. Язык преподавания русский.

11. Преподаватель (преподаватели).

Старший преподаватель кафедры физики и геофизики, руководитель образовательной программы по направлению подготовки 03.03.02 «Физика» Андрей Валерьевич Сулимов.

12. Автор (авторы) программы.

Старший преподаватель кафедры физики и геофизики, руководитель образовательной программы по направлению подготовки 03.03.02 «Физика» Андрей Валерьевич Сулимов.