

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего образования

«Костромской государственной университет»

(КГУ)

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

АТОМНАЯ И ЯДЕРНАЯ ФИЗИКА

Направление подготовки 03.03.02–Физика

Направленность: Физика

Квалификация выпускника: Бакалавр

**Кострома
2021**

Рабочая программа дисциплины «Атомная и ядерная физика» разработана в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования направления подготовки 03.03.02–Физика, утвержден 07.08.2020 г., приказ № 891

Разработала: Мухачёва Татьяна Леонидовна, доцент кафедры общей и общей и теоретической физики

Рецензент: Дьяков Илья Геннадьевич, доцент кафедры общей и теоретической физики, к.т.н., доцент

УТВЕРЖДЕНО:

Заведующий кафедрой общей и теоретической физики
Шадрин Сергей Юрьевич, к.т.н., доцент

Цели и задачи освоения дисциплины

Основной целью курса является подготовка бакалавров физики к научно-исследовательской, научно-инновационной, организационно-управленческой и педагогической деятельности в научно-исследовательских институтах, высших и средних учебных заведениях, лабораториях, конструкторских или проектных бюро, на предприятиях.

В результате изучения учебной дисциплины «Атомная и ядерная физика» обучаемые должны приобрести общепрофессиональную компетенцию:

– способен применять базовые знания в области физико-математических и (или) естественных наук в сфере своей профессиональной деятельности (ОПК-1)

Для достижения поставленной цели должны быть решены следующие задачи:

1. Сформировать знания об основных экспериментальных фактах, лежащих в основе квантовых представлений, важнейших законах и теоретических моделях современной физики атомов и молекул;

2. Развить умения использовать математический аппарат квантовой механики для объяснения свойств атомов и молекул.

3. Отработать навыки решения задач по физике атомов, молекул и квантовой механике.

4. Сформировать знания о содержании основных законов и понятий ядерной физики, границах их применимости.

5. Развивать навыки физического мышления и умения ставить и решать задачи на статические свойства и модели атомных ядер, радиоактивные распады и ядерные реакции, свойства частиц и взаимодействий, взаимодействия частиц с веществом.

2. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине

В результате изучения дисциплины «Атомная и ядерная физика» обучаемые должны

Освоить компетенции:

ОПК-1: способен применять базовые знания в области физико-математических и (или) естественных наук в сфере своей профессиональной деятельности.

Код и содержание индикаторов компетенции

ОПК-1.3. Использует базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач

знать

– основные понятия современной физики атомных явлений, атомного ядра и элементарных частиц, философские проблемы взаимосвязи классической и квантовой физики; физический смысл квантовых законов;

– базовые эксперименты, которые привели к созданию квантовой теории, современной ядерной физики и физики элементарных частиц;

– основные законы движения объектов микромира; спектральные закономерности в излучении атомов и молекул; границы применимости классических и квантовых законов, закономерности внутриядерных процессов;

уметь

– использовать полученные знания о законах микромира для решения теоретических и прикладных задач современной физики и естествознания в целом;

– интерпретировать экспериментальные и теоретические данные, относящиеся к физике атомного ядра и элементарных частиц, объяснять их содержание в процессе профессиональной коммуникации;

владеть

– математическими методами обработки данных, относящихся к физике атома,

атомного ядра и элементарных частиц.

– методами статистической оценки достоверности и значимости экспериментальных данных;

3. Место дисциплины в структуре ОП ВПО

Данная дисциплина изучается в шестом семестре и относится к обязательной части образовательной программы подготовки бакалавров физики.

Современное физическое образование требует серьезной подготовки студентов в области физико-математических наук. Курс «Атомная и ядерная физика» является базовой дисциплиной при подготовке специалистов с физическим образованием, как теоретиков, так экспериментаторов и педагогов.

Перед изучением дисциплины «Атомная физика» обучающийся должен иметь четкие представления об основных понятиях и законах механики, молекулярно-кинетической теории строения вещества, теории электрических и магнитных явлений, оптики, уметь использовать соответствующие уравнения и законы в различных физических моделях. Требуемые знания, умения и навыки формируются в рамках ранее изучаемых дисциплин «Механика», «Молекулярная физика», «Электричество и магнетизм», «Оптика», «Общий физический практикум», «Теория вероятности и математическая статистика», «Математический анализ», «Дифференциальные уравнения».

Освоение данной дисциплины необходимо как предшествующее для последующих курсов: Астрофизика, Теория поля, Квантовая теория.

4. Объем дисциплины

4.1. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием академических часов и виды учебной работы

Виды учебной работы	Всего
Общая трудоемкость в зачетных единицах	5
Общая трудоемкость в часах	180
Аудиторные занятия в часах	134
Лекции	44
Практические (лабораторные) занятия	90
Самостоятельная работа в часах	46
Вид итогового контроля (трудоемкость в зачетных единицах)	Экзамен 6 семестр

4.2. Объем контактной работы на 1 обучающегося

Виды учебных занятий	Очная форма
Лекции	44
Практические занятия	90
Лабораторные занятия	–
Консультации	2
Зачет/зачеты	–

Экзамен/экзамены	0,35
Курсовые работы	3
Всего	139,35

5. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам), с указанием количества часов и видов занятий

5.1 Тематический план учебной дисциплины

№	Название раздела, темы	Всего зач.ед/час	Аудиторные		Самостоят. работа
			Лекции	Практ.	
1	Введение. Частицы и волны.	8/0.22	2	6	–
2	Основные экспериментальные данные о строении атома	10/0.28	4	4	2
3	Основы квантовых представлений о строении атома	12/0.33	4	6	2
4	Одноэлектронный атом	8/0.22	2	6	–
5	Многочелюстные атомы	12/0.33	4	6	2
6	Электромагнитные переходы в атомах	8/0.22	2	6	–
7	Рентгеновские спектры	6/0.17	2	4	–
8	Атом в поле внешних сил	8/0.22	2	6	–
9	Молекула	6/0.17	2	4	–
10	Структура и свойства атомных ядер	10/0.28	4	6	–
11	Модели атомных ядер	10/0.28	2	6	2
12	Распады ядер. Радиоактивность	8/0.22	2	6	–
13	Ядерные реакции. Деление и синтез ядер	8/0.22	2	6	–
14	Взаимодействие ядерного излучения с веществом	8/0.22	2	6	–
15	Эксперименты в физике высоких энергий	6/0.17	2	4	–
16	Элементы физики адронов, лептонов, бозонов	12/0.33	4	6	2
17	Нуклеосинтез и вселенная	4/0.11	2	2	–
	Экзамен	36/1			36
	ВСЕГО:	180/5	44	90	46

5.2. Содержание дисциплины

1. Введение. Частицы и волны.

Особенности физики микромира. Масштабы физических величин. Невозможность описания явлений микромира в рамках классической теории.

Понятие светового кванта. Гипотеза Планка. Корпускулярно-волновой дуализм. Фотоэффект. опыты Герца и Столетова. Закон Эйнштейна. Рассеяние электромагнитного излучения на свободных зарядах. Эффект Комптона. Тормозное рентгеновское излучение. Особенности тормозного рентгеновского спектра.

Гипотеза де Бройля. Свойства волн де Бройля. опыты Девиссона-Джермера и Томсона. Физический смысл волн де Бройля и волновой функции. Соотношение неопределенностей Гейзенберга.

2. Основные экспериментальные данные о строении атома

Модель атома Томсона. опыты Резерфорда и выбор модели атома. Планетарная модель атома и проблема устойчивости атомов. Сериальные закономерности в спектре атома водорода. Модель атома Бора. Постулаты Бора. Принцип соответствия. Экспериментальное доказательство дискретной структуры энергетических уровней атома. опыты Франка и Герца. Ограниченность модели Бора.

3. Основы квантовых представлений о строении атома.

Квантовая система и измеряемые параметры. Уравнение Шредингера. Стационарные и нестационарные состояния. Плотность вероятности. Простейшие одномерные задачи. Дискретный спектр и континуум. Краткие сведения об операторном методе. Момент импульса частицы. Квантовые числа.

4. Одноэлектронный атом.

Квантово-механическое описание атома водорода. Вырождение энергетических уровней. Магнитный момент атома. Гиромагнитное отношение. Магнетон Бора. опыты Штерна и Герлаха. Спин электрона. Спин фотона. Невозможность классического истолкования спина. Принцип Паули. Бозоны и фермионы. Спин-орбитальное взаимодействие. Тонкая структура уровней атома водорода.

5. Многоэлектронные атомы.

Принципы описания многоэлектронного атома. Полный механический момент атома. Нормальная связь и ($\mathbf{j}-\mathbf{j}$)-связь. Понятия электронного слоя и оболочки. Электронная конфигурация атома. Периодическая система элементов. Основные термы атомов. Эмпирические правила Хунда.

6. Электромагнитные переходы в атомах.

Правила отбора при излучении и поглощении света. Модельный метод векторных диаграмм. Разрешенные и запрещенные переходы. Спектральные серии. Общие представления об оптических переходах в многоэлектронном атоме. Правило Лапорта. Индуцированное излучение. Вероятность перехода. Понятие о квантовой теории электромагнитного поля. Электромагнитный вакуум. Фотоны. Естественная ширина спектральной линии. Лэмбовский сдвиг. Опыт Лэмба и Ризерфорда. Рэлеевское и комбинационное рассеяние света. Многофотонные процессы.

7. Рентгеновские спектры.

Переходы внутренних электронов в атомах. Характеристическое рентгеновское излучение. Закон Мозли. Эффект Оже. Основы рентгеноструктурного и рентгеноспектрального анализа.

8. Атом в поле внешних сил.

Атом в магнитном поле. Нормальный и аномальный эффекты Зеемана. Эффект Пашена-Бака. Электронный парамагнитный резонанс (ЭПР). Аномальный магнитный момент электрона. Атом в электрическом поле, эффект Штарка.

9. Молекула.

Природа химической связи. Ковалентная и ионная связи. Валентность. Обменное взаимодействие. Адиабатическое приближение. Параводород и ортоводород. Спектры молекул. Колебательные и вращательные квантовые числа. Принцип Франка - Кондона. Предиссоциация. Люминесценция. Флуоресценция. Фосфоресценция.

10. Структура и свойства атомных ядер.

Масштабы физических явлений в физике атомного ядра и элементарных частиц. Этапы развития физики ядра и частиц. Научно-технические и методологические особенности физики атомного ядра и частиц, методические особенности учебного курса.

Состав ядра. Форма ядра. Массы ядер. Основные сведения о двунуклонных состояниях. Энергия связи ядра. Свойства ядерных сил.

Чётность. Спин. Изоспин.

11. Модели атомных ядер.

Капельная модель. Модель ядерных оболочек. Ядерные моменты. Коллективная модель. Кластерная и α -частичная модели. Возможности проверки моделей.

12. Распады ядер. Радиоактивность.

Общие сведения о распаде ядер. Среднее время жизни. Экспоненциальный закон распада. γ -распад. Эффект Мёссбауэра. Внутренняя конверсия. β -распад. α -распад. Единицы радиоактивности и их связь с дозами радиобиологического эффекта.

13. Ядерные реакции. Деление и синтез ядер.

Законы сохранения в ядерных реакциях. Кинематика и механизмы ядерных реакций. Реакции через промежуточное ядро. Прямые ядерные реакции.

Виды деления ядер. Основные свойства деления. Прикладной аспект деления ядер. Синтез ядер.

14. Взаимодействие ядерного излучения с веществом.

Прохождение тяжелых заряженных частиц через вещество. Прохождение легких заряженных частиц через вещество. Прохождение γ -квантов через вещество.

15. Эксперименты в физике высоких энергий.

Типы взаимодействий частиц. Современные ускорители. Экспериментальное исследование структуры частиц. Диаграммы Фейнмана для электромагнитных взаимодействий.

16. Элементы физики адронов, лептонов, бозонов.

Взаимодействия и поля в физике элементарных частиц. Основные свойства адронов. Кварковая модель адронов. Кварковый состав мезонов и барионов. Цвет кварков и другие квантовые числа. Особенности экспериментального подтверждения кварковой модели. Конфайнмент и асимптотическая свобода. Кварковые диаграммы.

Общие представления об основных результатах и методах квантовой электродинамики. Элементы квантовой хромодинамики. Лептонные заряды. Типы нейтрино.

Слабые взаимодействия. Электрослабая модель. Заключительные замечания по физике частиц.

17. Нуклеосинтез и Вселенная.

Дозвездный синтез ядер. Звездная эра. Происхождение элементов. Современные представления о происхождении и эволюции Вселенной.

6. Методические материалы для обучающихся по освоению дисциплины

Основное содержание предмета излагается в лекциях, аудиторные практические занятия позволяют закрепить приобретенные знания и проверить степень усвоения их при решении базовых для предмета задач. Дальнейшее закрепление материала происходит при самостоятельной работе с теоретической частью предмета и при решении заданного объема задач. Для получения допуска к экзамену необходимо полностью решить эти задачи. Студен-

там предлагается использовать рекомендованную литературу для более прочного усвоения учебного материала, изложенного на лекциях, а также для изучения материала, запланированного для самостоятельной работы.

Студенты должны регулярно изучать лекционный материал, поскольку пропущенные термины и понятия, неизученный материал не позволят полноценно освоить последующие лекции и получить необходимый объем знаний по изучаемому предмету, что приведёт в итоге к «пробелу» в комплексе знаний, необходимых физико. Курс строится таким образом, что понятия, введённые на предшествующих лекциях, широко используются в дальнейшем.

Для глубокого понимания предмета студенту недостаточно только разбирать лекции, необходимо также уметь применять полученные на лекциях знания в ходе практических занятий. Умением решать задачи проверяется полнота усвоения полученных теоретических знаний. Студент обязан решать вместе с преподавателем на практических занятиях предлагаемые задачи, а, кроме того, обязательно решать однотипные задачи, предложенные для самостоятельной (внеаудиторной) работы.

6.1. Самостоятельная работа обучающихся по дисциплине (модулю)

№ п/п	Раздел (тема) дисциплины	Задание	Часы	Методические рекомендации по выполнению задания	Форма контроля
2	Основные экспериментальные данные о строении атома	Решение индивидуальных заданий	2	Для подготовки к решению индивидуальных заданий рекомендуется пользоваться учебными пособиями [1–5] из списка основной литературы	Индивидуальная проверка, презентация докладов
3	Основы квантовых представлений о строении атома	Решение задач по теме, подготовка докладов	2	Для подготовки к решению индивидуальных заданий рекомендуется пользоваться учебными пособиями [1–5] из списка основной литературы	Устный опрос, проверка решений
5	Многоэлектронные атомы	Аналитический обзор литературы, подготовка докладов	2	Для подготовки к решению индивидуальных заданий рекомендуется пользоваться учебными пособиями [1–5] из списка основной литературы	Выступление с презентацией
11.	Модели атомных ядер	Решение задач по теме, подготовка докладов	2	Для подготовки к решению индивидуальных заданий рекомендуется пользоваться учебными пособиями [1–5] из списка основной литературы и журналом [1] из списка дополнительной	Индивидуальная проверка, презентация докладов

				литературы	
16.	Элементы физики адронов, лептонов, бозонов	Решение задач по теме	2	Для подготовки к решению индивидуальных заданий рекомендуется пользоваться учебными пособиями [1–5] из списка основной литературы и журналом [1] из списка дополнительной литературы	Письменная самостоятельная работа

6.2. Тематика и задания для практических занятий

Формой отчетности по данной дисциплине является экзамен. Необходимые условия допуска к экзамену:

- 1) Наличие полного конспекта лекций
- 2) Выполнение всех контрольных работ с положительным результатом

Решение каждой физической задачи представляет собой небольшое исследование, в котором те или иные физические понятия и закономерности должны быть применены к конкретному вопросу, изложенному в тексте задачи. При решении задач знания, полученные на лекциях, не только уясняются и уточняются путём их применения к конкретному случаю, но и лучше фиксируются в памяти студентов.

В качестве основного учебного пособия по физике атома выступает задачник Иродова И.Е. «Задачи по общей физике». На занятиях целесообразно решать задачи со сложным анализом физической ситуации, так как в данном случае преподаватель может различными методическими приемами подвести студентов к построению правильной физической картины рассматриваемого явления. Однако, при решении даже сложных задач необходимо акцентировать внимание учащихся на самых простых элементах физического анализа. Полезно на качественном уровне обсудить возможные варианты изменения исходных данных.

Так как в задачнике И.Е. Иродова не все темы представлены одинаково полно, используются также отдельные задачи из других сборников, в частности, из сборников задач И. В. Савельева, Д. И. Сахарова, Е. М. Гершензона и В. С. Волькенштейн.

По физике атомного ядра и элементарных частиц используется задачник Н.Г Гончаровой, Б.С. Ишханова и И.М. Капитонова «Частицы и атомные ядра». Это лучший на сегодня сборник задач по физике ядра и частиц, но он издан малым тиражом, и его нет в университетской библиотеке. По этой причине в самом начале семестра студентам ссылка на сайт кафедры общей ядерной физики физического факультета МГУ, где данный задачник представлен.

Ниже приведены примерные планы семинарских занятий. В темах 1-9 где это не указано отдельно, номера задач даны по задачнику И.Е. Иродова «Задачи по общей физике». В темах 10-17, если не указано отдельно. Номера задач даны по задачнику Н.Г Гончаровой, Б.С. Ишханова и И.М. Капитонова «Частицы и атомные ядра».

Тема № 1.

Введение. Частицы и волны.

Тема для обсуждения: Квантовые явления в оптике. Корпускулярно-волновой дуализм. Физический смысл волн де Бройля. Физический смысл соотношения неопределенностей.

Задачи, решаемые на занятиях: 5.1, 5.5, 5.19, 5.25, 5.26, 5.28, 5.14-5.17, 5.87-5.89, 5.91, 5.96-5.98

Задания для самостоятельной работы: 5.8, 5.12, 5.29-5.34, 5.86, 5.90, 5.92, 5.99-5.101, 5.105-5.108, 5.102, 5.110

Тема № 2

Основные экспериментальные данные о строении атома.

Тема для обсуждения: Особенности теории Бора

Задачи, решаемые на семинарах: 5.42, Сахаров-40.16, Гершензон-4.41, Волькенштейн-19.37, 5.79, 5.112

Задания для самостоятельной работы: 5.57, 5.58, 5.74, 5.76

Тема № 3

Основы квантовых представлений о строении атома.

Тема для обсуждения: Физический смысл волновой функции

Задачи, решаемые на семинарах: 5.116-5.118, 5.124, 5.125

Задания для самостоятельной работы: 5.119, 5.120, 5.155, 5.156, 5.141

Тема № 4

Одноэлектронный атом.

Тема для обсуждения: Квантовое описание атома водорода

Задачи, решаемые на семинарах: 5.120, 5.143(а)

Задание для самостоятельной работы: 5.143(б), 5.145

Тема № 5.

Многоэлектронные атомы.

Тема для обсуждения: Принцип Паули. Понятие спина.

Задачи, решаемые на семинарах: 5.158, 5.159, 5.164-5.166

Задания для самостоятельной работы: 5.167-5.172

Тема № 6

Электромагнитные переходы в атомах.

Тема для обсуждения: Физический смысл термина. Периодические свойства элементов.

Задачи, решаемые на семинарах: 5.173-5.175, 5.185, 5.186

Задания для самостоятельной работы: 5.178-5.181, 5.198-5.201

Тема № 7.

Рентгеновские спектры.

Тема для обсуждения: Характеристические рентгеновские спектры

Задачи, решаемые на семинарах: 5.55-5.58

Задания для самостоятельной работы: 5.59-5.62

Тема № 8.

Атом в поле внешних сил.

Тема для обсуждения: Простой и сложный эффекты Зеемана.

Задачи, решаемые на семинарах: 5.207-5.209

Задания для самостоятельной работы: 5.210-5.213

Тема № 9.

Молекула.

Тема для обсуждения: Особенности молекулярных спектров

Задачи, решаемые на семинарах: 5.224-5.227

Задания для самостоятельной работы: 5.228-5.231

Тема № 10.

Структура и свойства атомных ядер.

Темы для обсуждения: Размеры и массы ядер. Энергии связи ядер.

Задачи, решаемые на занятиях: 1.7.1 – 1.7.10

Задания для самостоятельной работы: 2.6.1 – 2.6.41

Тема № 11.

Модели атомных ядер.

Темы для обсуждения: Модель заряженной капли. Оболочечная модель.

Задачи, решаемые на семинарах: 1.8.1 – 1.8.20

Задания для самостоятельной работы: 2.7.1 – 2.7.36

Тема № 12.

Распады ядер. Радиоактивность.

Темы для обсуждения: Вероятности распадов. Типы распадов.

Задачи, решаемые на семинарах: 1.2.1 – 1.2.13

Задания для самостоятельной работы: 2.8.1 – 2.8.54

Тема № 13.

Ядерные реакции. Деление и синтез ядер.

Тема для обсуждения: Законы сохранения в ядерных реакциях. Цепная реакция деления.

Синтез ядер.

Задачи, решаемые на семинарах: 1.11.1 – 1.11.6, 1.11.7 – 1.11.10

Задания для самостоятельной работы: 2.9.1 – 2.9.13, 2.10.1 – 2.10.25

Тема № 14.

Взаимодействие ядерного излучения с веществом.

Тема для обсуждения: Механизм потери энергии заряженной частицы при взаимодействии с веществом.

Задачи, решаемые на семинарах: 3.2.1 – 3.2.5; 3.3.1 – 3.3.2

Задания для самостоятельной работы: 3.2.6 – 3.2.7; 3.3.3 – 3.3.4

Тема № 15.

Эксперименты в физике высоких энергий.

1. В коллайдере TEVATRON сталкивались протоны и антипротоны с энергиями 1 ТэВ. Чему равно число актов их взаимодействия в 1 с, если сечение взаимодействия протона и антипротона при этих энергиях $\sigma = 75$ мб, а светимость коллайдера $L = 5 \cdot 10^{31} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$.

2. В электрон-протонном коллайдере электронный пучок с энергией E_e^* ($E_e^* \gg m_e$) сталкивается с протонным пучком энергии E_p^* ($E_p^* \gg m_p$). Рассчитать полную энергию столкновения в системе центра масс и оценить, какая энергия электронного пучка потребовалась бы для создания эквивалентной установки с фиксированной мишенью.

3. 1) В коллайдере LHeC (одна из предложенных модификаций БАК, ЦЕРН) электронный пучок 60 ГэВ будет сталкиваться с протонным пучком 7 ТэВ. Рассчитать полную энергию столкновения в системе центра масс и оценить, какая энергия электронного пучка потребовалась бы для создания эквивалентной установки с фиксированной мишенью. Частицы какой массы можно образовать на этом коллайдере? 2) ELIC (CEBAF, JLAB), $E_e = 10$ ГэВ, $E_p = 250$ ГэВ; 3) eRHIC (RHIC, BNL) $E_e = 20$ ГэВ, $E_p = 325$ ГэВ.

4. Для чего в настоящее время создаются ускорители с непрерывным пучком электронов? Какие эксперименты наиболее целесообразно ставить на таких ускорителях?

5. С помощью каких методов можно получать быстрые моноэнергетические нейтроны?

6. Определить время пролёта нейтронов с энергий 1, 3, 10 МэВ 100-метровой базы.

Тема № 16.

Элементы физики адронов, лептонов, бозонов.

Тема для обсуждения: Адроны, кварки, глюоны. Сравнение сильных и электромагнитных взаимодействий. Диаграммы Фейнмана.

Задачи, решаемые на семинарах: 1.4.1 – 1.4.14, 1.5.1 – 1.5.4.

Задания для самостоятельной работы: 2.4.1 – 2.4.39, 2.5.1 – 2.5.3.

Тема № 17.

Нуклеосинтез и Вселенная.

1. Оценить поток солнечных нейтрино на поверхности Земли.
2. Рассчитайте энергию, выделяющуюся в р-р-цепочке.
3. Наряду с CNO-циклом в массивных звездах горение водорода происходит в цикле реакции, исходным ядром которого является ^{24}Mg . Постройте соответствующую цепочку реакции (Mg-Al цикл).
4. Наряду с CNO-циклом в массивных звездах горение водорода происходит в цикле реакции, исходным ядром которого является ^{20}Ne . Постройте соответствующую цепочку реакции (Ne-цикл).
5. Какие элементы могли образовываться на дозвездной стадии эволюции Вселенной?
6. В каких реакциях на дозвездной стадии эволюции Вселенной могли образовываться изотопы He?
7. Какие особенности имеет распространенность элементов во Вселенной? Какие механизмы образования элементов ответственны за эти особенности?
8. Почему в распространенности элементов наблюдаются максимумы для α -частичных ядер?
9. В результате каких процессов образуются ядра тяжелее железа?
10. Какие ядерные реакции являются источниками нейтронов в г- и s-процессах?
11. Происходит ли образование химических элементов в современную эпоху? Поясните свой ответ наблюдательными фактами.
12. Объясните, почему распространенность нейтронноизбыточных ядер превышает распространенность нейтроннодефицитных ядер.
13. В результате каких реакций образуются нейтроннодефицитные изотопы ^{74}Se , ^{92}Mo ?
14. Напишите ядерные реакции, в которых образуются изотопы бериллия ^7Be , ^{10}Be .
15. Оцените величину запаса ядерной энергии звезды, имеющей массу Солнца.

7. Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)

а) основная литература:

1. *Капитонов, И. М.* Введение в физику ядра и частиц : учебник / И. М. Капитонов. – 4-е изд. – Москва : Физматлит, 2010. – 512 с. – Режим доступа: по подписке. – URL: https://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=75503
2. *Сивухин, Д. В.* Общий курс физики : Учеб. пособие для студ. физ. спец. высш. учеб. заведений : В 5 т. Т. 5 : Атомная и ядерная физика / Д. В. Сивухин. - 2-е изд., стер. - М. : Физматлит : Изд-во МФТИ, 2002. - 784 с. https://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=82991
3. *Савельев, И. В.* Курс общей физики / И. В. Савельев ; под ред. Л. Л. Енковского. – Изд. 3-е, доп., перераб. – Москва : Наука, 1970. – Том 3. Оптика, атомная физика, физика атомного ядра и элементарных частиц. – 527 с. https://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=483316
4. *Иродов, И. Е.* Задачи по общей физике : учебное пособие / И. Е. Иродов. — 17-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2020. — 420 с. <https://e.lanbook.com/reader/book/126942/#1>
5. *Волькенштейн, В. С.* Сборник упражнений и задач по физике / В. С. Волькенштейн, Е. Е. Гельман, С. Э. Фриш ; ред. С. Э. Фриш. – Москва : Издательство Ленинградского Университета, 1940. – 205 с. – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=102401>

б) дополнительная литература:

1. Вестник Московского Университета. Серия 3. Физика. Астрономия / гл. ред. Н. Н. Сысоев ; учред. Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, ф. М. Физический. – Москва : Московский Государственный Университет, 2017. – № 3. – 119 с. : схем., табл., ил. – Режим доступа: по подписке. –
URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=573224>.

8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины

Информационно-образовательные ресурсы:

1. <http://nuclphys.sinp.msu.ru> – Ядерная физика в интернете. Проект кафедры общей ядерной физики физического факультета МГУ.

Электронные библиотечные системы:

1. <http://studentam.net>
2. <http://mexalib.com>
3. <http://booksee.org>

9. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Аудитория для лекций

Лекционные занятия проводятся в аудиториях с требуемым числом посадочных мест, оборудованные мультимедиа (например, корпус Е, № 226, количество посадочных мест – 60, мультимедийный комплекс, включающий экран, компьютер и проектор)

Аудитория для практических занятий:

Корпус Е, № 304, количество посадочных мест – 24.

Аудитории для самостоятельной работы:

Читальный зал корпуса «Е», количество посадочных мест – 22, 9 компьютеров (6 для читателей, 3 для сотрудников); 1 сканер.

Читальный зал корпуса «Б1», количество посадочных мест – 200. 3 компьютера для сотрудников; 1 принтер; 1 копир/принтер; 1 проектор; 2 экрана для проектора; 1 ворота «Антивор»; 1 WIFI-точка доступа. Лицензионное ПО: АИБС МаркSQL.

Компьютерный класс, корпус "Е", ауд.227, количество посадочных мест – 16, Блок системный КМ Office ТЗ-4170, монитор Philips. Лицензионное ПО: Windows 8.1 Pro договор № 50155/ЯР4393 от 12.12.2014 с ООО Софт-лайн Проекты, MathCAD Education договор № 208/13 от 10.06.2013 с ООО ЮнитАльфаСофт.