

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Смирнов Сергей Николаевич  
Должность: врио ректора  
Дата подписания: 23.09.2022 12:11:19  
Уникальный программный ключ:  
69e375c64f7e975d4e8830e7b4fcc2ad1bf35f08

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет»

Утверждаю:

Руководитель ООП



Б.Б.Педько

«28» июня 2022 г.

Рабочая программа дисциплины (с аннотацией)

**Физика атомного ядра и элементарных частиц**

Направление подготовки

03.03.02 Физика

профиль

Физика конденсированного состояния вещества

Для студентов

3 курса, очной формы обучения

Составитель: к.ф.-м.н., доцент Шуклов А.Д.

Тверь, 2022

## **I. Аннотация**

### **1. Наименование дисциплины в соответствии с учебным планом**

Физика атомного ядра и элементарных частиц

### **2. Цель и задачи дисциплины**

**Целью** освоения дисциплины является:

создание фундаментальной базы знаний, на основе которой в дальнейшем можно развивать более углубленное и детализированное изучение других разделов физики и специализированных курсов.

**Задачами** освоения дисциплины (модуля) являются:

- изучение основных принципов физики ядра и явлений, происходящих в мире элементарных частиц;
- установление связи между различными физическими явлениями, вывод основных законов в виде математических уравнений;
- постановка и анализ задачи, применение различных методов решения.

### **3. Место дисциплины в структуре ООП**

Дисциплина «Физика атомного ядра и элементарных частиц» (Б1.Б.04.06) входит в базовую часть учебного плана ООП бакалавриата по направлению подготовки 03.03.02 – физика.

Общий курс «Физика атомного ядра и элементарных частиц» ставит своей целью познакомить студентов с основами экспериментальной и теоретической ядерной физики с тем, чтобы выпускник физико-технического факультета имел достаточно полное представление об основных результатах и современных тенденциях в развитии молодой науки. Это касается в первую очередь: свойств атомных ядер; радиоактивности, ядерных реакций и экспериментов в физике низких, средних и высоких энергий; нуклон-нуклонных взаимодействий и свойств ядерных сил; модели атомных ядер; взаимодействия ядерного излучения с веществом; фундаментальных взаимодействий в природе; классификации элементарных частиц; современных астрофизических представлений.

Теоретические дисциплины (или модули) и практики, для которых освоение данной дисциплины (или модуля) необходимо как предшествующее: общий физический практикум, курсы общей и теоретической физики.

Уровень начальной подготовки обучающегося для успешного освоения дисциплины: иметь представление об основных понятиях и законах ядерной физики в рамках программы средней школы; знать курс общей физики и математических дисциплин в рамках программы 5-и семестров университета.

**4. Объем дисциплины:** 3 зачетных единицы, 108 академических часов, **в том числе контактная работа:** лекции 30 часов, практические занятия 15 часов, **самостоятельная работа:** 63 часа.

**5. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы**

Планируемые результаты освоения образовательной программы (формируемые компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине
<p><b>ОПК 3</b> способность использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач</p>	<p><b>Уметь:</b> решать типичные задачи на основе воспроизведения стандартных алгоритмов решения <b>Знать:</b> основные законы и формулы, типичные алгоритмы решения задач</p>
<p><b>ПК 4</b> способность применять на практике профессиональные знания и умения, полученные при освоении профильных физических дисциплин</p>	<p><b>Уметь:</b> использовать законы атомной физики на практике <b>Знать:</b> основные законы и формулы</p>

**6. Форма промежуточной аттестации:** экзамен (6 семестр)

**7. Язык преподавания** русский

**II. Содержание дисциплины (или модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий**

**1. Для студентов очной формы обучения**

Наименование разделов и тем	Всего (час.)	Контактная работа (час.)		Самостоятельная работа (час.)
		Лекции	Практ. раб.	
1. <b>Свойства атомных ядер.</b> Ядро как совокупность протонов и нейтронов. Масса и энергия ядра. Энергия связи ядра. Капельная модель, полуэмпирическая Вайцзеккера для масс ядра, спин и магнитный момент ядра. Квадрупольный электрический момент, четность, магические числа, ядерные оболочки, обобщенная модель ядра.	5	2	1	2
2. <b>Радиоактивность.</b> Радиоактивные превращения ядер. Радиоактивные семейства. Искусственная радиоактивность. Виды распада: $\alpha$ - распад, механизм распада, туннельный эффект, роль центробежного барьера. Зависимость периода $\alpha$ -распада от энергии $\alpha$ -частиц. Правила отбора. $\beta$ - распад. Экспериментальное доказательство существования нейтрино. Несохранение четности в $\beta$ - распаде. Разрешенные и запрещенные $\beta$ - переходы. $\gamma$ - излучение ядер. Правила отбора. Электрические и магнитные переходы. Ядерная изомерия. Внутренняя конверсия. Эффект Мессбауэра. Применение эффекта Мессбауэра. Датировка событий.	8	3	3	2
3. <b>Взаимодействие нуклонов и свойства ядерных сил.</b> Свойства ядерных сил. Система	5	2	1	2

<p>двух нуклонов. Дейтрон. Тензорный характер ядерных сил. Зарядовая независимость ядерных сил. Изоспин. Обменный характер ядерных сил. Мезонная модель нуклон – нуклонного взаимодействия.</p>				
<p>4. <b>Модели атомных ядер.</b> Основные экспериментальные факты. Микроскопические и коллективные модели. Модель Ферми-газа. Капельная модель ядра. Полуэмпирическая формула энергии связи ядра. Деформация ядер. Квадрупольный электрический момент. Физическое обоснование оболочечной модели. Потенциал среднего ядерного поля. Спин-орбитальное взаимодействие. Одночастичные состояния в ядерном потенциале. Коллективные свойства ядер. Колебательные и вращательные состояния ядер. Обобщенная модель ядра.</p>	5	2	1	2
<p>5. <b>Ядерные реакции.</b> Методы изучения ядерных реакций. Детекторы частиц. Принципы работы ускорителей. Законы сохранения в ядерных реакциях. Энергия и порог реакции. Сечения реакций. Каналы реакций. Кинематика ядерных реакций. Механизмы ядерных реакций. Модель составного ядра. Резонансные ядерные реакции. Формула Брейта-Вигнера. Прямые ядерные реакции. Оптическая модель ядра. Взаимодействие фотонов и электронов с ядрами. Нейтронная физика. Деление ядер. Деление изотопов урана нейтронами. Цепная реакция деления. Ядерные взрывы. Ядерные реакторы. Теория подкритичного ядерного реактора. Реакции синтеза легких ядер. Термоядерная энергия. Трансурановые</p>	8	3	3	2

элементы.				
<p><b>6. Взаимодействие ядерного излучения с веществом.</b> Взаимодействие заряженных частиц со средой. Тяжелые и легкие частицы. Потери энергии на ионизацию и возбуждение атомов. Радиационные потери. Пробеги заряженных частиц. Взаимодействие нейтронов с веществом. Замедление нейтронов.</p> <p>Прохождение <math>\gamma</math>-излучения через вещество: фотоэффект, Комптон – эффект, рождение электрон-позитронных пар. Эффект Вавилова – Черенкова. Дозиметрия. Биологическое действие излучения и защита от него.</p>	6	2	2	2
<p><b>7. Частицы и взаимодействия.</b> Четыре типа фундаментальных взаимодействия. Константы и радиусы взаимодействия. Принципы описания взаимодействия частиц в квантовой теории поля. Переносчики взаимодействия. Понятие о диаграммах Фейнмана. Основные характеристики частиц. Классификация частиц. Фотон, лептоны, мезоны и барионы. Калибровочные бозоны. Фундаментальные частицы. Квантовые числа частиц и законы сохранения. Античастицы. Возбужденные состояния адронов. Резонансы. Странные частицы. Античастицы. Нейтральные частицы.</p>	5	2	1	2
<p><b>8. Эксперименты в физике высоких энергий.</b> Экспериментальные методы в физике высоких энергий. Ускорители. Встречные пучки. Пучки вторичных частиц. Детекторы. Реакции с частицами. Взаимодействия и распады частиц.</p>	3	2	0	1
<p><b>9. Электромагнитные взаимодействия.</b> Основные свойства электромагнитного</p>	5	2	1	2

<p>взаимодействия. Испускание и поглощение фотонов. Электромагнитное рассеяние лептонов. Взаимодействие фотонов с адронами. Векторные мезоны. Упругое рассеяние электронов. Формула Мотта. Форм-факторы нуклонов и частиц.</p>				
<p><b>10. Сильные взаимодействия.</b> Классификация адронов. Барионы и мезоны. Супермультиплеты адронов. Странность и другие адронные квантовые числа. Адронные свойства фотона. Глубоконеупругие процессы. Кварки. Глюоны. Кварковая модель адронов. Тяжелые кварки <math>s</math>, <math>b</math>, <math>t</math>. Цвет кварков и глюонов. Потенциал сильного взаимодействия. Асимптотическая свобода и невылетание кварков (конфайнмент).</p>	5	2	1	2
<p><b>11. Слабые взаимодействия.</b> Основные характеристики слабого взаимодействия. Распады мюона и <math>\tau</math>-лептона. Лептоны и лептонные квантовые числа. Промежуточные бозоны <math>W^+</math>, <math>W^-</math>, <math>Z</math>. Законы сохранения в слабых взаимодействиях. Слабые распады лептонов и кварков. Нейтрино и антинейтрино. Взаимодействие нейтрино с веществом. Масса нейтрино.</p>	4	2	0	2
<p><b>12. Дискретные симметрии.</b> Симметрии и законы сохранения. Пространственная инверсия. Зарядовое сопряжение. Обращение времени. Несохранение пространственной и зарядовой четности в слабых взаимодействиях. СРТ-инвариантность. Экспериментальная проверка инвариантности различных типов фундаментальных взаимодействий. CP-преобразование. <math>K^0</math>-мезоны. Нарушение CP-симметрии в распаде <math>K^0</math>-мезонов.</p>	4	2	0	2

13. <b>Объединение взаимодействий.</b> Экранировка заряда в квантовой электродинамике. Зависимость констант взаимодействия от переданного импульса. Объединение электромагнитных и слабых взаимодействий. Великое объединение. Поиск нестабильности протона.	4	2	0	2
14. <b>Современные астрофизические представления.</b> Вещество астрофизических объектов в экстремальных условиях (сверхвысокие давления и температуры). Представление о нейтронных звездах, пульсарах, черных дырах. Космические лучи. Гипотезы о происхождении космических лучей.	5	2	1	2
Экзамен:	36			36
Итого:	108	30	15	63

### **III. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине**

- планы практических (семинарских) занятий.
- сборники задач.
- методические рекомендации по организации самостоятельной работы студентов.
- требования к рейтинг-контролю.

### **IV. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине**

**Форма проведения экзамена:** студенты, освоившие программу курса «Физика атомного ядра и элементарных частиц» могут сдать экзамен по итогам рейтинговой аттестации согласно Положения о рейтинговой системе

обучения и оценки качества учебной работы студентов ТвГУ (протокол №5 от 31 октября 2017 г.).

Если условия «Положения о рейтинговой системе ...» не выполнены, то экзамен сдается согласно Положения о промежуточной аттестации (экзаменах и зачетах) студентов ТвГУ (протокол №5 от 31 октября 2017 г.).

**1. Типовые контрольные задания для проверки уровня сформированности компетенции ОПК 3: способность использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач**

Этап формирования компетенции, в котором участвует дисциплина	Типовые контрольные задания для оценки знаний, умений, навыков	Показатели и критерии оценивания компетенции, шкала оценивания		
		Высокий уровень (3 балла по каждому критерию)	Средний уровень (2 балла по каждому критерию)	Низкий уровень (1 балл по каждому критерию)
	<i>Задания для проверки сформированности умений:</i>			
	Решить задачу: Во сколько раз число распадов ядер радиоактивного иода $^{131}\text{I}$ в течение первых суток больше числа распадов в течение вторых суток? Период полураспада изотопа $^{131}\text{I}$ равен 193 часам.	Понимает физику явления, указанного в условии задачи. Знает формулу радиоактивного распада и уверенно применяет ее, записывая необходимые соотношения. Получает решение.	Понимает физику явления, указанного в условии задачи. Знает формулу радиоактивного распада. Неуверенно применяет ее, записывая необходимые соотношения. Получает решение.	Понимает физику явления, указанного в условии задачи. Знает формулу радиоактивного распада. С трудом применяет ее, записывая необходимые соотношения.
	Решите задачу: Определить в лабораторной системе координат кинетическую энергию ядра $^9_4\text{Be}$ , образующегося при пороговом значении энергии нейтрона в реакции $^{12}_6\text{C}(n, \alpha)^9_4\text{Be}$ .	Понимает физику явления. Записывает законы сохранения и формулу для энергетического выхода реакции. Решает систему уравнений, записывая правильный ответ.	Понимает физику явления. Неуверенно записывает законы сохранения и формулу для энергетического выхода реакции. Неуверенно решает систему уравнений, записывая правильный ответ.	Понимает физику явления. Неуверенно записывает законы сохранения и формулу для энергетического выхода реакции. С трудом решает систему уравнений, записывая правильный ответ.

	<i>Задания для проверки сформированности знаний:</i>	<i>Высокий уровень (3 балла по каждому критерию)</i>	<i>Средний уровень (2 балла по каждому критерию)</i>	<i>Низкий уровень (1 балл по каждому критерию)</i>
	Знать основные положения капельной модели ядра.	Знает основания капельной модели. Записывает формулу Вайцзеккера, подробно объясняя смысл каждого слагаемого. Не допускает ошибок.	Знает основания капельной модели. Неуверенно записывает и поясняет формулу Вайцзеккера, допуская несущественные математические ошибки.	Знает основания капельной модели. Но имеет отрывочные знания о формуле Вайцзеккера.
	Знать механизмы ядерных реакций.	Знает все механизмы ядерных реакций, четко объясняя физику процессов и приводя примеры.	Знает все механизмы ядерных реакций, но неуверенно владеет физическим обоснованием.	Знает все механизмы ядерных реакций, но не может пояснить физику явлений и привести примеры.

## 2. Типовые контрольные задания для проверки уровня сформированности компетенции ПК 4: способность применять на практике профессиональные знания и умения, полученные при освоении профильных физических дисциплин

Этап формирования компетенции, в котором участвует дисциплина	Типовые контрольные задания для оценки знаний, умений, навыков	Показатели и критерии оценивания компетенции, шкала оценивания		
		<i>Высокий уровень (3 балла по каждому критерию)</i>	<i>Средний уровень (2 балла по каждому критерию)</i>	<i>Низкий уровень (1 балл по каждому критерию)</i>
	<i>Задания для проверки сформированности умений:</i>			
	Решить задачу: Вычислить удельную энергию связи для ядра $^{12}\text{C}$ .	Понимает физику явления, указанного в условии задачи. Знает формулу расчета удельной энергии связи и уверенно применяет ее, записывая необходимые	Понимает физику явления, указанного в условии задачи. Знает формулу расчета удельной энергии связи. Неуверенно пользуется справочными	Понимает физику явления, указанного в условии задачи. Знает формулу расчета удельной энергии связи. Плохо ориентируется в используемых

		соотношения. Получает решение.	данными, необходимым и для энергии связи. Получает решение.	эмпирических формулах.
	Решите задачу: Определить кинетические энергии $\alpha$ -частицы и конечного ядра при $\alpha$ -распаде ${}_{83}^{212}\text{Bi} \rightarrow {}_{81}^{208}\text{Tl} + \alpha$ .	Понимает физику явления. Записывает формулы для расчета кинетической энергии. Получает правильный ответ.	Понимает физику явления. Записывает формулы для расчета кинетической энергии. Неуверенно пользуется справочными данными.	Понимает физику явления. Неуверенно ориентируется в используемых эмпирических формулах.
	<b>Задания для проверки сформированности знаний:</b>	<b>Высокий уровень (3 балла по каждому критерию)</b>	<b>Средний уровень (2 балла по каждому критерию)</b>	<b>Низкий уровень (1 балл по каждому критерию)</b>
	Знать основные положения оболочечной модели ядра.	Знает основные положения оболочечной модели ядра. Имеет представления о физической возможности применения этой модели. Не допускает ошибок.	Знает основные положения оболочечной модели ядра. Недостаточно уверенно знает квантовые законы движения нуклона в центральном поле.	Имеет представления об основных положениях оболочечной модели ядра.
	Прохождения заряженных частиц через вещество.	Знает основные механизмы потери энергии заряженной частицы, четко объясняя физику процесса и приводя примеры.	Знает основные механизмы потери энергии заряженной частицы, но недостаточно хорошо ориентируется в возможной области реализации того или иного механизма.	Имеет некоторые механизмы потери энергии заряженной частицы,

*Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций.*

1. Интернет-ресурс «Ядерная физика в Интернете»  
<http://nuclphys.sinp.msu.ru/>

#### **V. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины**

##### **а) Основная литература:**

1. Мухин К.Н. Экспериментальная ядерная физика. В 3-х тт. Т. 1. Физика атомного ядра. СПб.: Лань, 2009. 384 с. - Электронный ресурс. – Режим доступа: [http://e.lanbook.com/books/element.php?p11\\_id=277](http://e.lanbook.com/books/element.php?p11_id=277)
2. Мухин К.Н. Экспериментальная ядерная физика. В 3-х тт. Т. 3. Физика элементарных частиц. СПб.: Лань, 2009. 326 с. - Электронный ресурс. – Режим доступа: [http://e.lanbook.com/books/element.php?p11\\_id=279](http://e.lanbook.com/books/element.php?p11_id=279)

##### **б) Дополнительная литература:**

1. Капитонов И. М. Введение в физику ядра и частиц. Москва: Физмалит, 2010. - Электронный ресурс. – Режим доступа: <http://www.biblioclub.ru/index.php?page=book&id=75503>
2. Мухин К.Н. Экспериментальная ядерная физика. В 3-х тт. Т. 2. Физика ядерных реакций. СПб.: Лань, 2009. 432 с. - Электронный ресурс. – Режим доступа: [http://e.lanbook.com/books/element.php?p11\\_id=280](http://e.lanbook.com/books/element.php?p11_id=280)

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

1. Ядерная физика в Интернете <http://nuclphys.sinp.msu.ru/>
2. Электронная библиотека издательства Лань: <http://e.lanbook.com/>
3. Университетская библиотека ONLINE: <http://www.biblioclub.ru/>
4. Сайт издательского дома ЮРАЙТ: <http://www.biblio-online.ru/>

## VII. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

### – планы практических (семинарских) занятий:

**Семинар 1:** Решение задач на тему «Рассеяние элементарных частиц и размеры атомных ядер». Примеры задач:

1. Альфа-частицы с кинетической энергией  $T = 6.5$  МэВ испытывают Резерфордское рассеяние на ядре золота  $^{197}\text{Au}$ . Определить: 1) параметр столкновения  $b$  для альфа-частиц, наблюдаемых под углом  $\theta = 90^\circ$ ; 2) минимальное расстояние  $r_{\min}$  сближения альфа-частиц с ядром; 3) кинетическую ( $T'$ ) и 4) потенциальную ( $E'$ ) энергии альфа-частиц в этой точке.
2. Протон с кинетической энергией  $T = 2$  МэВ налетает на неподвижное ядро  $^{197}\text{Au}$ . Определить дифференциальное сечение рассеяния  $d\sigma/d\Omega$  на угол  $\theta = 60^\circ$ . Как изменится величина дифференциального сечения рассеяния, если в качестве рассеивающего ядра выбрать  $^{27}\text{Al}$ ?
3. Вычислить сечение рассеяния  $\alpha$ -частицы с кинетической энергией  $T = 5$  МэВ кулоновским полем ядра  $^{208}\text{Pb}$  под углами больше  $90^\circ$ .

**Семинар 2:** Решение задач на тему «Энергия связи ядер. Капельная модель ядра». Примеры задач:

1. Вычислить удельную энергию связи для ядра  $^{12}\text{C}$ .
2. Найти энергии отделения нейтрона и протона от ядра  $^{12}\text{C}$ .
3. Найти энергию отделения альфа-частицы от  $^{12}\text{C}$ .

**Семинар 3:** Решение задач на тему «Квантовые характеристики ядерных состояний». Примеры задач:

1. Определить спины и четности основных состояний изотопов кислорода  $^{15}\text{O}$ – $^{18}\text{O}$ . Ответ:  $1/2^-$ ,  $0^+$ ,  $5/2^+$ ,  $0^+$ .
2. Определить спины и четности основных состояний ядер  $^{39}\text{K}$  и  $^{41}\text{Ca}$ . Ответ:  $3/2^+$  и  $7/2^-$  соответственно.
3. Предсказать магнитный момент ядра  $^{41}\text{Sc}$  в основном состоянии, опираясь на одночастичную модель оболочек. Ответ:  $+5,79\mu_N$
4. Предсказать магнитный момент ядра  $^{13}\text{C}$  в основном состоянии, опираясь на одночастичную модель оболочек. Ответ:  $+0,64\mu_N$

**Семинар 4:** Решение задач на тему «Радиоактивность». Примеры задач:

1. Активность препарата  $^{32}\text{P}$  равна 2 мкКи. Сколько весит такой препарат? период полураспада равен 14.5 суток.
2. В результате  $\alpha$ -распада радий  $^{226}\text{Ra}$  превращается в радон  $^{222}\text{Rn}$ . Какой объем радона при нормальных условиях будет находиться в равновесии с 1 г радия? Период полураспада  $^{226}\text{Ra}$   $T_{1/2}(\text{Ra}) = 1600$  лет,  $^{222}\text{Rn}$  -  $T_{1/2}(\text{Rn}) = 3.82$  дня.
3. Удельное содержание изотопа  $^{14}\text{C}$ , усвоенного деревом при его жизни, затем уменьшается вследствие  $\beta$ -распада с периодом полураспада 5700 лет. Определить возраст деревянного предмета, обнаруженного при раскопках, если удельная активность  $^{14}\text{C}$  этого предмета составляет 0,1 от удельной активности свежесрубленного дерева.
4. Используя формулу Вайцеккера, оценить, начиная с какого массового числа становится энергетически возможным  $\alpha$ -распад. Ответ:  $A > 150$ .
5. Оценить период полураспада радиоактивного ядра, испускающего  $\alpha$ -частицы с энергией 1 МэВ, если ядро  $^{232}_{90}\text{Th}$  имеет период полураспада  $T = 1.4 \cdot 10^{10}$  лет и испускает  $\alpha$ -частицы с энергией 4 МэВ, а для ядра  $^{212}_{84}\text{Po}$  период полураспада  $T = 3 \cdot 10^{-7}$  с и  $E_{\alpha} = 8,8$  МэВ. Ответ:  $T = 3.2 \cdot 10^{84}$  лет.

### Семинар 5: Решение задач на тему «Деление ядер. Ядерные реакции».

Примеры задач:

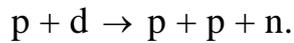
1. С помощью формулы Вейцеккера
  1. Вычислите энергию, высвобождаемую при делении ядра  $^{238}\text{U}$  на два одинаковых осколка.
  2. Найдите критическое значение  $Z^2/A$ , при котором становится энергетически возможным деление ядра на два одинаковых осколка.
2. Возможны ли реакции:
  1.  $\alpha + {}^7\text{Li} \rightarrow {}^{10}\text{B} + n$ ;
  2.  $\alpha + {}^{12}\text{C} \rightarrow {}^{14}\text{N} + d$

под действием  $\alpha$ -частиц с кинетической энергией  $T_{\alpha} = 10$  МэВ?

Ответ: 1. Возможна, 2) невозможна.
3. Вычислить порог реакции:  ${}^{14}\text{N} + \alpha \rightarrow {}^{17}\text{O} + p$ , в двух случаях, если налетающей частицей является:

1)  $\alpha$ -частица, 2) ядро  $^{14}\text{N}$ . Энергия реакции  $Q = 1.18 \text{ МэВ}$ .  
Объяснить результат.

4. Определить, какую минимальную энергию должен иметь протон, чтобы стала возможной реакция



**Семинар 6:** Решение задач на тему «Элементарные частицы и их взаимодействие». Примеры задач:

1. Какая минимальная кинетическая энергия частиц каждого из сталкивающихся пучков  $p\bar{p}$  – коллайдера необходима для протекания

реакций: 1)  $p + \bar{p} \rightarrow \bar{\Omega}^- + \Omega^-$ ; 2)  $p + \bar{p} \rightarrow \bar{\Sigma}^0 + \Lambda$ ; 3)  $p + \bar{p} \rightarrow \bar{\Lambda} + \Lambda$ ?

Энергии покоя частиц:  $m_p c^2 = 938,27 \text{ МэВ}$ ,  $m_{\Omega^-} c^2 = 1672,43 \text{ МэВ}$ ,

$m_{\Sigma^0} c^2 = 1192,55 \text{ МэВ}$ ,  $m_{\Lambda} c^2 = 1115,63 \text{ МэВ}$ .

2. Найти, какие из самых тяжелых ядер и антиядер могут образоваться в реакции  $p + p$  при соударении протона с энергией  $E_p = 3 \cdot 10^{12} \text{ эВ}$  с неподвижным протоном и на встречных пучках протонов, ускоренных до такой же энергии.

3. Определить частицы  $X$ , образующиеся в следующих реакциях сильного взаимодействия: 1)  $\pi^- + p \rightarrow K^- + p + X$ ; 2)  $K^- + p \rightarrow \Omega^- + K^0 + X$ ; 3)  $p + \bar{p} \rightarrow \Xi^- + \pi^+ + X$ .

4. Могут ли следующие реакции: 1)  $\pi^- + p \rightarrow K^- + \Xi^- + K^+$ ; 2)  $\pi^+ + p \rightarrow \Delta^{++} + \pi^0$ ; 3)  $K^+ + n \rightarrow \Sigma^+ + \pi^0$  происходить в результате сильного взаимодействия.

– **сборники задач:**

1. Сборник задач по общему курсу физики. Ч.3 Атомная и ядерная физика. Структура вещества./Под ред. В.А. Овчинкина. М.: Физматкнига, 2009.-512 с.

2. Савельев И.В. Сборник вопросов и задач по общей физике. СПб.: Лань,

2005.-288с.

3. Иродов И.Е. *Задачи по общей физике*. М.: Бином, 2001. – 432с.
4. *Сборник задач по общему курсу физики. В 5 т. Кн. V. Атомная физика. Физика ядра и элементарных частиц / Под ред. Д. В. Сивухина. М.: ФИЗМАТЛИТ; ЛАНЬ, 2006. - 184 с.*

**– методические рекомендации по организации самостоятельной работы студентов:**

1. Изучить рекомендуемую литературу.
2. Просмотреть задачи, разобранные на аудиторных занятиях.
3. Разобрать задачи, рекомендованные преподавателем для самостоятельного решения, используя, при необходимости, примеры решения аналогичных задач.
4. Обсудить проблемы, возникшие при решении задач с преподавателем.

**Требования к рейтинг-контролю.** В течение семестра два раза (на модульных неделях) необходимо:

- 1) сдать преподавателю решения домашних задач, полученных из указанных сборников задач,
  - 2) ответить на теоретические вопросы. Примеры вопросов (<http://nuclphys.sinp.msu.ru/misc/questions.htm>):
1. Состав и размер ядра. N-Z диаграмма атомных ядер.
  2. Масса и энергия связи ядра. Формула Вайцзеккера.
  3. Радиоактивный распад ядер. Законы радиоактивного распада ядра.
  4. Альфа-распад. Кулоновский и центробежный барьеры.
  5. Бета-распад. Экспериментальное обнаружение (анти)нейтрино.
  6. Гамма-переходы в ядрах. Электрические и магнитные гамма-переходы.
  7. Дейтрон - связанное состояние нейтрона и протона.
  8. Свойства нуклон-нуклонного взаимодействия.
  9. Мезонная теория ядерных сил.
  10. Ядерные реакции. Законы сохранения, кинематика.

11. Механизмы ядерных реакций. Прямые реакции. Составное ядро.
12. Деление ядер.
13. Модель ядерных оболочек.
14. Одночастичные и коллективные возбуждения ядер.
15. Фундаментальные частицы Стандартной модели
16. Законы сохранения в физике частиц.
17. Частицы и античастицы.
18. Резонансные частицы.
19. Электромагнитные взаимодействия. Структура нуклона.
20. Изоспин. Изоспиновые мультиплеты.
21. Странность. Рождение и распад странных частиц.
22. Сильные взаимодействия. Кварки. Глюоны. Цвет.
23. Кварковая структура адронов. Барионы. Мезоны.
24. Слабые взаимодействия. Промежуточные бозоны.
25. Слабые распады лептонов и кварков.
26. Пространственная инверсия. P-четность.
27. Зарядовое сопряжение. Зарядовая четность. CP-инверсия.
28. Обращение времени. CPT-теорема.
29. Фундаментальные взаимодействия. Объединение взаимодействий.  
Проблема нестабильности протона.
30. Нуклеосинтез во Вселенной. Ядерные реакции в звездах.
31. Космические лучи. Состав и происхождение.

**VIII. Перечень педагогических и информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (по необходимости)**

1. Лекции и практические занятия проводятся в аудиториях, оснащенных мультимедийной техникой. DLP проектор для демонстрации презентаций и учебных фильмов,
2. доступ к сети Интернет

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

Наименование специальных* помещений	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения. Реквизиты подтверждающего документа
Учебная аудитория № 218 (170002 Тверская обл., г. Тверь, Садовый пер., д. 35)	1. Комплект учебной мебели на 25 посадочных мест. 2. Экран настенный 153x203 3. Переносной комплект мультимедийной техники.	Adobe Acrobat Reader DC – бесплатно Microsoft Windows 10 Enterprise - Акт приема-передачи № 369 от 21 июля 2017 Kaspersky Endpoint Security 10 для Windows – Акт на передачу прав №2129 от 25 октября 2016 г. Google Chrome – бесплатно MS Office 365 pro plus - Акт приема-передачи № 369 от 21 июля 2017
Лекционная аудитория № 226 (170002 Тверская обл., г. Тверь, Садовый пер., д. 35)	1 Микшерный пульт Yamaha MG-124C 2 Аудиокомплект (мик. пульт, акуст. усилитель, акуст. система, радиосистема) 3 Интерактивная система SMART Board 660i4 4 Мультимедийный проектор Epson EB-4850WU с потолочным креплением 5 Телекоммуникационный шкаф ШТК-М-18.6.6-3AAA с полками 6 Телекоммуникационный шкаф ШТК-М-18.6.6-3AAA с полками 7 Экран настенный ScreenMedia 213*213 (M082-08156) 8 Компьютер iRU Corp 510 15-2400/4096/500/G210-512/DVD-RW/W7S/монитор E-Machines E220HQVB 21,5”	Google Chrome – бесплатно Kaspersky Endpoint Security 10 для Windows – Акт на передачу прав №2129 от 25 октября 2016 г. MS Office 365 pro plus - Акт приема-передачи № 369 от 21 июля 2017 Microsoft Windows 10 Enterprise - Акт приема-передачи № 369 от 21 июля 2017

	9 Комплект учебной мебели на 110 посадочных мест	
--	--	--

### Помещения для самостоятельной работы:

Наименование помещений	Оснащенность помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения. Реквизиты подтверждающего документа
Помещение для самостоятельной работы, учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, занятий семинарского типа, курсового проектирования (выполнения курсовых работ), групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, практики, Компьютерный класс физико-технического факультета. Компьютерная лаборатория робототехнических систем №4а (170002 Тверская обл., г. Тверь, Садовый пер., д. 35)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Компьютер RAMEC STORM C2D 4600/160Gb/ 256mB/DVD-RW +Монитор LG TFT 17" L1753S-SF – 12 шт</li> <li>2. Мультимедийный комплект учебного класса (вариант № 2) Проектор Casio XJ-M140, настенный проекц. экран Lumien 180*180. ноутбук Dell N4050. сумка 15,6", мышь</li> <li>3. Коммутатор D-Link 10/100/1000mbps 16-port DGS-1016D</li> <li>4. Видеокамера IP-FALCON EYE FE-IPC-BL200P, ОнЛайн Трейд ООО</li> <li>5. Видеокамера IP-FALCON EYE FE-IPC-BL200P, ОнЛайн Трейд ООО</li> <li>6. Демонстрационное оборудование комплект «LegoMidstormsEV3»</li> <li>7. Комплект учебной мебели</li> </ol>	<p>Adobe Acrobat Reader DC - бесплатно</p> <p>Cadence SPB/OrCAD 16.6 - Государственный контракт на поставку лицензионных программных продуктов 103 - ГК/09 от 15.06.2009</p> <p>Google Chrome - бесплатно</p> <p>Java SE Development Kit 8 Update 45 (64-bit) - бесплатно</p> <p>Kaspersky Endpoint Security 10 для Windows – Акт на передачу прав №2129 от 25 октября 2016 г.</p> <p>Lazarus 1.4.0 - бесплатно</p> <p>Lego MINDSTORM EV3 - бесплатно</p> <p>Mathcad 15 M010 - Акт предоставления прав ИС00000027 от 16.09.2011</p> <p>MATLAB R2012b - Акт предоставления прав № Us000311 от 25.09.2012</p> <p>Microsoft Express Studio 4 - бесплатно</p> <p>MiKTeX 2.9 - бесплатно</p> <p>MPICH 64-bit – бесплатно</p> <p>MSXML 4.0 SP2 Parser and SDK - бесплатно</p> <p>Microsoft Windows 10 Enterprise - Акт приема-передачи № 369 от 21 июля 2017</p> <p>MS Office 365 pro plus - Акт приема-передачи № 369 от 21 июля 2017</p>

## Х. Сведения об обновлении рабочей программы дисциплины

№п.п.	Обновленный раздел рабочей программы дисциплины	Описание внесенных изменений	Дата и протокол заседания кафедры, утвердившего изменения
1	Раздел IV	Реквизиты «Положения о рейтинговой системе обучения и оценки качества учебной работы студентов ТвГУ» и «Положения о промежуточной аттестации (экзаменах и зачетах) студентов ТвГУ»	Протокол Совета ФТФ №5 от 31 октября 2017 г.
2	Раздел IX	Оснащенность аудиторного фонда для проведения учебных занятий и самостоятельной работы студентов согласно «Справки МТО ООП ...»	Протокол Совета ФТФ №5 от 31 октября 2017 г.