

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
**«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**  
(ТГПУ)



УТВЕРЖДАЮ  
Декан физико-математического  
факультета  
М.А. Червонный  
“30” августа 2012 г.

**ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

ОПД.В.02 «Физика атомного ядра и элементарных частиц»

**050200.62 Физико-математическое образование**

Профессионально-образовательный профиль: **Физика**

**Квалификация – «Бакалавр»**

### 1. Цели и задачи дисциплины:

Курс «Физика атомного ядра и элементарных частиц», который посвящен изучению свойств и структуры атомных ядер и физических явлений, в которых ядра играют основную роль. Программа предназначена для построения курса лекционных занятий для студентов-физиков (квалификация – бакалавр физико-математического образования (физика)).

В программу входят следующие темы дисциплины: введение, эволюция представлений о частицах, образующих первооснову вещества, классы частиц; элементарные частицы – переносчики взаимодействия, виды фундаментальных взаимодействий; элементарные частицы вещества – лептоны и адроны; наблюдение, регистрация и производство элементарных частиц, методы исследования в физике ядра и частиц; законы сохранения в физике элементарных частиц; реакции и распады элементарных частиц, энергетика реакций и распадов; структура адронов, кварки, их свойства; изотопическая симметрия и зарядовые мультиплеты; современные тенденции в физике элементарных частиц; элементарные частицы в космологии.

Большое значение имеет часть курса, в которой рассматриваются законы сохранения, играющие ключевую роль в выявлении возможных процессов в физике элементарных частиц с участием конкретных частиц и определении характеристик взаимодействующих частиц.

Целью курса «Физика атомного ядра» является формирование у студента-физика современных представлений о структуре материи, включая свойства и структуру атомных ядер и физических явлений, в которых ядра играют основную роль, представление о фундаментальных взаимодействиях и элементарных частицах.

Изучая основные законы, модели и методы исследования физики атомного ядра, студенты получают широкое представление о данном предмете и возможности, позволяющие впоследствии использовать полученные знания в преподавании и для дальнейшей специализации.

Содержание предмета помогает студенту-физику дополнить уже имеющиеся представления о материальном мире картиной процессов, происходящих на субатомных масштабах. Именно физика сверхмалых масштабов дает научные основы для понимания закономерностей поведения макромира и даже мегамира, что проявляется в космологических приложениях субатомной физики.

Главной задачей курса является расширение фундаментальной базы физических знаний, на основе которой в дальнейшем можно развивать более глубокое и детализированное изучение всех разделов физики в рамках цикла курсов по теоретической физике.

### 2. Требования к уровню освоения содержания дисциплины:

В результате усвоения материала курса студент должен иметь понятие о методах исследования в ядерной физике, знать свойства ядер и основные ядерные процессы, понимать физические механизмы, лежащие в их основе, уметь ориентироваться в физических моделях, используемых для описания атомных ядер, иметь представление о фундаментальных взаимодействиях и тенденциях развития физики высоких энергий.

### 3. Объем дисциплины и виды учебной работы:

Вид учебной работы	Всего часов	Семестр
		6
Общая трудоемкость дисциплины	80	80
Аудиторные занятия	36	36
Лекции	36	36

Практические занятия (ПЗ)		
Семинары (С)		
Лабораторные работы (ЛР)		
И (или) другие виды аудиторных занятий		
Самостоятельная работа	44	44
Курсовой проект (работа)		
Расчетно-графические работы		
Реферат		
И (или) другие виды самостоятельной работы		
Вид итогового контроля		зачёт

#### 4. Содержание дисциплины

##### 4.1. Раздел дисциплины и вид занятий (Тематический план)

№ п/п	Раздел дисциплины	Лекции	Сам. работа
1	Введение. Краткая история развития ядерной физики	2	4
2	Состав и свойства атомных ядер	2	4
3	Статические характеристики ядер. Энергия связи ядра	4	6
4	Нуклон-нуклонное взаимодействие и свойства ядерных сил	2	2
5	Модели атомных ядер. Модель жидкой капли Оболочечная и обобщенная модели	4	2
6	Общие закономерности радиоактивного распада. Естественная и искусственная радиоактивность. Виды распада	4	6
7	Ядерные реакции. Классификация. Законы сохранения. Энергетика реакций и распадов	8	6
8	Деление ядер. Термоядерные реакции. Использование ядерной энергии	4	4
9	Эксперименты в физике высоких энергий. Методы исследования в физике ядра и частиц. Наблюдение, регистрация и производство элементарных частиц. Ускорители	4	6
10	Классификация элементарных частиц. Фундаментальные взаимодействия. Тенденции развития физики высоких энергий	2	4

##### 4.2. Содержание разделов дисциплины:

###### 1. Введение. Краткая история развития ядерной физики

Введение. Краткая история развития ядерной физики. Возникновение ядерной физики. Естественная и искусственная радиоактивность: экспериментальные открытия. Эволюция теоретических представлений о строении атомного ядра

###### 2. Состав и свойства атомных ядер

Состав и свойства атомных ядер. Характеристики атомного ядра. Структурные составляющие ядра. Свойства протона и нейтрона. Терминология. Размеры ядер и

распределение плотности ядерного вещества. Форма ядра и электрический квадрупольный момент

### 3. Статические характеристики ядер. Энергия связи ядра

Статические характеристики ядер. Энергия связи ядра. Масса и энергия связи атомного ядра. Зависимость удельной энергии связи от массового числа. Спин и магнитный дипольный момент ядра. Четность состояния ядра и изотопический спин. Изотопический мультиплет. Аналоговые уровни энергии

### 4. Нуклон-нуклонное взаимодействие и свойства ядерных сил

Нуклон-нуклонное взаимодействие и свойства ядерных сил. Ядерные силы. Нуклон-нуклонный потенциал. Свойства ядерных сил: короткодействие, зарядовая независимость, нецентральность, свойство насыщения, обменный характер сил. Дейтрон. Мезонная теория ядерных сил. Переносчики ядерного взаимодействия —  $\pi$ -мезоны. Механизм сильного взаимодействия

### 5. Модели атомных ядер. Модель жидкой капли. Оболочечная и обобщенная модели

Модели атомных ядер. Модель жидкой капли. Оболочечная и обобщенная модели. Коллективные модели: капельная модель ядра. Формула Вайцзеккера для энергии связи ядра. Качественное объяснение процесса деления ядра. Магические ядра. Одночастичные модели: оболочечная модель ядра. Обобщенная и другие модели ядра

### 6. Общие закономерности радиоактивного распада. Естественная и искусственная радиоактивность. Виды распада

Общие закономерности радиоактивного распада. Естественная и искусственная радиоактивность. Виды распада. Стабильные и радиоактивные ядра. Виды радиоактивного распада. Радиоактивные ряды. Основной закон радиоактивного распада. Альфа-распад. Особенности альфа-распада. Гамма-излучение. Бета-распад. Электронный бета-распад. Позитронный бета-распад. Нейтрино и антинейтрино. Электронный захват. Другие виды распада. Протонная радиоактивность

### 7. Ядерные реакции. Классификация. Законы сохранения. Энергетика реакций и распадов

Ядерные реакции. Классификация. Законы сохранения. Энергетика реакций и распадов. Основные определения. Эффективное сечение и выход реакции. Законы сохранения в ядерных реакциях и распадах. Модели ядерных реакций. Классификация реакций. Ядерное время. Прямые ядерные реакции. Реакции срыва и подхвата. Теория составного ядра. Энергия распада. Энергия реакции. Порог реакции. Нерелятивистское приближение. Взаимодействие ядерного излучения с веществом

### 8. Деление ядер. Термоядерные реакции. Использование ядерной энергии

Деление ядер. Термоядерные реакции. Использование ядерной энергии. Открытие деления ядер. Спонтанное деление ядер. Простейшая теория деления. Критическое значение параметра деления. Деление ядер под действием нейтронов. Трансурановые элементы. Синтез легких ядер. Термоядерные реакции, идущие на Солнце и в звездах. Водородный цикл. Углеродно-азотный и другие циклы. Военное и промышленное использование ядерной энергии

### 9. Эксперименты в физике высоких энергий. Методы исследования в физике ядра и частиц. Наблюдение, регистрация и производство элементарных частиц. Ускорители

Эксперименты в физике высоких энергий. Методы исследования в физике ядра и частиц. Наблюдение, регистрация и производство элементарных частиц. Ускорители. Электронные детекторы. Трековые детекторы. Принципы действия приборов. Ускорители частиц высоких энергий: классификация. Производство новых частиц. Резонансы

### 10. Классификация элементарных частиц. Фундаментальные взаимодействия. Тенденции развития физики высоких энергий

Классификация элементарных частиц. Фундаментальные взаимодействия. Тенденции развития физики высоких энергий. Лептоны. Адроны. Частицы и античастицы. Частицы-переносчики взаимодействий. Электромагнитное, сильное, слабое,

гравитационное взаимодействия. Электрослабое взаимодействие. Теории Великого объединения. Тенденции объединения всех фундаментальных взаимодействий. Понятие о суперсимметрии. Понятие о теории суперструн

**5. Лабораторный практикум:** не предусмотрен

**6. Учебно-методическое обеспечение дисциплины:**

**6.1. Рекомендуемая литература:**

**а) основная литература**

1. Е. Н. Кириллова. Физика ядра и элементарных частиц. Курс лекций. Томск: ТГПУ, 2006.
2. И. М. Капитонов. Введение в физику ядра и частиц. М.: Едиториал УРСС, 2002.
3. Е. Н. Кириллова. Элементарные частицы. Задачи: учебно-методическое пособие. Часть I. Томск: ТГПУ, 2008.

**а) дополнительная литература**

1. Д. В. Сивухин. Общий курс физики. Атомная и ядерная физика. В 2-х ч. Ч. 2. Ядерная физика. М., 2002.
2. И. В. Савельев. Курс общей физики. В 5 кн. Кн. 5. Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц. М.: Астрель, АСТ, 2002.
3. Ю. М. Широков, Н. П. Юдин. Ядерная физика. М.: Наука, 1980.
4. Сборник задач по общему курсу физики: Атомная физика. Физика ядра и элементарных частиц / Под ред. Д. В. Сивухина. М., 1981.
5. Л.Б. Окунь. Физика элементарных частиц. М.: Едиториал УРСС, 2005.
6. А. И. Наумов. Физика атомного ядра и элементарных частиц. М., 1984.
7. Д. Орир. Физика. В 2-х т. Т.2. М.: Мир, 1981.
8. К. Готфрид, В. Вайскопф. Концепции физики элементарных частиц. М.: Мир, 1988.
9. И. Л. Бухбиндер, Фундаментальные взаимодействия, Энциклопедия «Современное естествознание», том 4, Физика элементарных частиц. М: Астрофизика, Издательский дом Магистр-Пресс, 2000, стр. 7- 12.
10. Физика микромира. Маленькая энциклопедия. Под ред. Д. В. Ширкова. М.: Советская энциклопедия, 1980.
11. Физический энциклопедический словарь. Под ред. А. М. Прохорова. М.: Советская энциклопедия, 1983.
12. Jonathan Allday. Quarks, Leptons and the Big Bang. UK, London: Institute of Physics Publishing, 2002.

**6.2 Средства обеспечения дисциплины:**

рекомендуемая литература и учебно-методические пособия по предмету.

**7. Материально-техническое обеспечение дисциплины:** нет.

**8. Методические рекомендации по организации изучения дисциплины:**

8.1. Методические рекомендации для преподавателей

Студентам предлагается использовать рекомендованную литературу для более прочного усвоения учебного материала, изложенного на лекциях, а также для изучения материала, запланированного для самостоятельной работы. Студенты выполняют задания, вынесенные на самостоятельную работу, оценки за которые учитываются при выставлении зачёта.

## 8.2 Методические рекомендации для студентов.

**Перечень примерных контрольных вопросов и заданий для самостоятельной работы:**

### а) контрольные вопросы:

1. Состав ядра
2. Каковы различия между протоном и нейтроном?
3. Зарядовое число
4. Массовое число
5. Методы определения размеров атомных ядер
6. Классификация экспериментальных методов наблюдения частиц
7. Какие силы действуют внутри ядра?
8. Какая величина характеризует меру прочности ядра?
9. Какая симметрия связана с квантовым числом «изоспин»?
10. Зависимость ядерных сил от расстояния между нуклонами
11. Характерный радиус действия ядерных сил
12. Наиболее известные модели ядра
13. Отличие моделей ядра от последовательной физической теории
14. Какой процесс называется радиоактивностью?
15. Основной закон радиоактивного распада
16. Основные виды радиоактивного распада
17. Запись ядерной реакции (полная и сокращенная форма)
18. Основные физические величины, сохраняющиеся в реакциях и распадах
19. Какие законы сохранения выполняются в ядерных реакциях?
20. Понятие «ядерного времени»
21. Классификация ядерных реакций по времени протекания реакции
22. Что такое «элементарные частицы»?
23. Что такое «истинно элементарная частица»?
24. На какие классы разбивают все элементарные частицы?
25. Античастица
26. Определение лептонов
27. Определение адронов
28. Структура барионов и мезонов
29. Какие законы сохранения не выполняются в слабых взаимодействиях?
30. Перечислить виды фундаментальных взаимодействий

### б) задания для самостоятельной работы:

1. Используя формулу для эффективного радиуса ядра  $R = 1,3 \cdot A^{1/3}$  фм, вычислить массовую плотность числа частиц ядерного вещества. Масса нуклона (протона, для определенности)  $m_p = 1,67 \cdot 10^{-27}$  кг. Число нуклонов в единице объема  $n = A/V_{\text{я}}$ , где  $A$  – массовое число,  $V_{\text{я}}$ , объем ядра.
2. Найти число нуклонов в единице объема ядерного вещества  $n = A/V_{\text{я}}$ , где  $A$  – массовое число,  $V_{\text{я}}$  – объем ядра, эффективный радиус ядра  $R = 1,3 \cdot A^{1/3}$  фм.
3. Добавить недостающий элемент в записи распада:  ${}^{226}_{88}\text{Ra} \rightarrow {}^{222}_{86}\text{Rn} + \dots?$
4. Добавить недостающие индексы в записи распада:  ${}^{238}_{92}\text{U} \rightarrow \dots? \dots? \text{Th} + \alpha$

5. Добавить недостающий показатель массового числа в правой части записи распада возбужденного ядра урана  $U^* : {}^{236}_{92}U^* \rightarrow \dots?_{92}U + \gamma$ .
6. Добавить недостающий показатель массового числа в правой части записи распада возбужденного ядра урана  $U^* : {}^{236}_{92}U^* \rightarrow \dots?_{92}U + n$ .
7. Найти удельную энергию связи ядра атома гелия ( $E_{св}({}^4_2\text{He}) = 28,5 \text{ МэВ}$ ).
8. Добавить, исходя из законов сохранения, недостающий элемент в правой части записи реакции синтеза  ${}^2_1\text{H} + {}^2_1\text{H} \rightarrow \dots? + {}^1_1\text{H}$ .
9. Добавить, исходя из законов сохранения, недостающий элемент в правой части записи реакции синтеза  ${}^2_1\text{H} + {}^3_2\text{He} \rightarrow \dots? + {}^4_2\text{He}$ .
10. Вычислить, какая энергия (в МэВ) выделится при слиянии двух ядер тяжелого водорода  ${}^2_1\text{H}$  в ядро гелия  ${}^3_2\text{He}$ ,  ${}^2_1\text{H} + {}^2_1\text{H} \rightarrow {}^3_2\text{He} + {}^1_0n$ , если  $\varepsilon({}^3_2\text{He}) = 2,573 \text{ МэВ/нукл}$ ,  $\varepsilon({}^2_1\text{H}) = 1,112 \text{ МэВ/нукл}$ , энергией нейтрона  ${}^1_0n$  пренебрегаем.
11. Разрешена ли законами сохранения реакция  $e^- + p \rightarrow n + \pi^0$ ?
12. Разрешена ли законами сохранения реакция  $e^- + \pi^+ \rightarrow n + \nu_e$ ?
13. Разрешена ли законами сохранения реакция  $n + \nu_e \rightarrow e^- + p$ ?
14. Какой закон сохранения запрещает реакцию  $p + n \rightarrow \pi^+ + \pi^0$ , где  $p$  – протон,  $n$  – нейтрон,  $\pi^+$  и  $\pi^0$  – положительный и нейтральный  $\pi$ -мезоны?
15. Какой закон сохранения разрешает реакцию  $p + p \rightarrow p + p + \pi^0$ , но запрещает реакцию  $p + p \rightarrow p + p + \pi^+$ , где  $p$  – протон,  $n$  – нейтрон,  $\pi^+$  и  $\pi^0$  – положительный и нейтральный  $\pi$ -мезоны?
16. Выразить массу протона  $938,28 \text{ МэВ}$  в граммах.  $1 \text{ эВ} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$ .
17. Выразить  $1 \text{ а.е.м.}$   $1,67 \cdot 10^{-24} \text{ г}$  в энергетических единицах.  $1 \text{ эВ} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$ .
18. Вычислить энергию связи нуклонов в ядре  ${}^4_2\text{He}$ .  $M_{ам}({}^4_2\text{He}) = 4,00260 \cdot 931,49 \text{ МэВ} = 3728,38 \text{ МэВ}$ ,  $M_{ам}({}^1_1\text{H}) = 1,00794 \text{ а. е. м.} = 1,00794 \cdot 931,49 \text{ МэВ} = 938,88 \text{ МэВ}$ ,  $m_n = 939,57 \text{ МэВ}$ .
19. Найти энергию связи ядра  ${}^{235}_{92}\text{U}$ , если удельная энергия связи урана –  $7,5 \text{ МэВ/нукл}$ .
20. При захвате нейтрона ядром  ${}^{235}_{92}\text{U}$  происходит деление по схеме:  ${}^1_0n + {}^{235}_{92}\text{U} \rightarrow {}^{94}_{38}\text{Sr} + {}^{140}_{54}\text{Xe} + 2{}^1_0n$ . Какая энергия выделяется в результате этой реакции, если  $E_{св}({}^{235}\text{U}) = 1762,5 \text{ МэВ}$ ,  $E_{св}({}^{94}\text{Sr}) + E_{св}({}^{140}\text{Xe}) = 2012,4 \text{ МэВ}$ ? Дефектом массы нейтрона пренебречь

**8.2. Примерная тематика рефератов, курсовых работ:**  
не предусмотрено учебным планом.

**Примерный перечень вопросов к зачету:**

1. Возникновение ядерной физики и основные этапы развития
2. Понятия естественной и искусственной радиоактивности. История открытия. Имена, связанные с этими открытиями. Использование ядерной энергии
3. Экспериментальные методы исследования в физике ядра и элементарных частиц. Цели исследования. Приборы и устройства, используемые реакции. Наблюдение и регистрация элементарных частиц. Классификация методов. Приборы
4. Структура ядра. История исследования структуры ядра. Структурные составляющие
5. Состав и свойства атомного ядра
6. Важнейшие статические характеристики ядра. Перечислить, дать понятие
7. Дефект массы и энергия связи атомного ядра. Расчетная формула для энергии связи (с использованием атомных масс)

8. Удельная энергия связи. Экспериментальная зависимость от массового числа. В качестве примера вычислить удельную энергию связи  $^{238}_{92}\text{U}$ , если полная энергия связи  $^{238}_{92}\text{U}$  составляет 1801,7 МэВ
9. Размеры и эффективный радиус ядра. Связанные с этим понятия. Распределение плотности числа нуклонов в ядре. Методы определения размеров ядер
10. Спин и магнитный дипольный момент ядра. Четность состояния ядра
11. Смысл понятия изотопической симметрии. Изотопический спин ядра
12. Свойства ядерных сил. Нуклон-нуклонный потенциал
13. Обменный характер ядерных сил. Переносчики ядерного взаимодействия. История их открытия
14. Принципы классификации ядерных моделей. Капельная модель ядра. Качественное объяснение процесса деления ядра на основе капельной модели
15. Написать формулу Вайцеккера для энергии связи ядра, дать название слагаемым и объяснить их физический смысл
16. Понятие магических ядер. Какая модель и каким образом объясняет их существование?
17. Оболочечная модель ядра. На каких принципах она основывается? В каких случаях модель оболочек точно предсказывает спин и четность основного состояния ядра? Обобщенная модель ядра. Общие недостатки ядерных моделей
18. Стабильные и радиоактивные ядра. Соотношение числа протонов и нейтронов в стабильных ядрах. Виды радиоактивного распада
19. Закон радиоактивного распада. Вывод формулы. Постоянная распада. Активность
20. Период полураспада. Определение. Вывод формулы. Вычислить в качестве примера период полураспада для золота  $^{198}\text{Au}$ , если постоянная распада для  $^{198}\text{Au}$  равна  $2,97 \cdot 10^{-6}$  1/с
21.  $\alpha$ -распад.  $\gamma$ -излучение.  $\beta$ -распад, все виды. Описание. Символическая запись. Примеры
22. Классификация ядерных реакций. Формы записи ядерных реакций. Пример. Основные характеристики взаимодействия. Описать реакции срыва и подхвата
23. Записать законы сохранения, действующие в ядерных реакциях и распадах. Пользуясь законами сохранения, найти конечное ядро в реакции  $\gamma + ^{28}_{14}\text{Si} \rightarrow ^4_2\text{He} + x$ . Какие законы сохранения использовались?
24. Сохранение энергии в реакциях и распадах. Различие между экзоэнергетическими и эндоэнергетическими реакциями. Понятие «порога реакции». Рассчитать значение  $Q$  для реакции:  $^2_1\text{H} + ^{63}_{29}\text{Cu} \rightarrow n + ^{64}_{30}\text{Zn}$ . Атомные массы элементов, участвующих в реакции:  $M_{\text{ат}}(^2_1\text{H}) = 2,014102$  а.е.м.,  $M_{\text{ат}}(^{63}_{29}\text{Cu}) = 62,929599$  а.е.м.,  $m_n = 1,008665$  а.е.м.,  $M_{\text{ат}}(^{64}_{30}\text{Zn}) = 63,929145$  а.е.м. Множитель для перехода к энергетическим единицам взять равным  $\cdot 931,5$  МэВ/а.е.м.
25. Спонтанное деление тяжелых ядер. От чего зависит вероятность деления? Найдите предельное значение атомного номера стабильного элемента, если условие устойчивости ядер имеет вид  $Z^2/A \leq k$ , где параметр  $k = 47$ , а связь между  $Z$  и  $A$  для тяжелых ядер такова:  $Z \approx 2/5 A$
26. Вычислить энергию  $Q$ , которая выделяется в одной из самых высокоэнергетичных (термоядерных) реакций  $^2_1\text{H} + ^3_1\text{H} \rightarrow ^4_2\text{He} + n$ .  $M_{\text{ат}}(^2_1\text{H}) = 2,014102$  а.е.м.,  $M(^3_1\text{H}) = 3,016049$  а.е.м.,  $M_{\text{ат}}(^4_2\text{He}) = 4,002603$  а.е.м.,  $m_n = 1,008765$  а.е.м. Множитель для перехода к энергетическим единицам взять равным  $\cdot 931,5$  МэВ/а.е.м.
27. Какие реакции являются энергетически более выгодными: реакции деления тяжелых ядер или синтеза легких ядер? Обосновать свою точку зрения, используя в качестве примера деления тяжелых ядер реакцию  $n + ^{235}_{92}\text{U} \rightarrow 2 n + ^{94}_{38}\text{Sr} + ^{140}_{54}\text{Xe}$ , в результате которой выделяется энергия  $Q_f \approx 250$  МэВ. В качестве примера реакции



синтеза возьмем  ${}^2_1\text{H} + {}^3_2\text{He} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^1_1\text{H}$ , в которой выделяется энергия  $Q = 18,32$  МэВ

28. Дать понятие термоядерной реакции. Вычислить энергию  $Q$ , которая выделяется в одной из самых высокоэнергетических реакций  ${}^2_1\text{H} + {}^3_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + n$ .  $M_{\text{ат}}({}^2_1\text{H}) = 2,014102$  а.е.м.,  $M({}^3_1\text{H}) = 3,016049$  а.е.м.,  $M_{\text{ат}}({}^4_2\text{He}) = 4,002603$  а.е.м.,  $m_n = 1,008765$  а.е.м. Множитель для перехода к энергетическим единицам взять равным  $\cdot 931,5$  МэВ/а.е.м.

29. Классификация элементарных частиц. Лептоны. Адроны: определение, свойства, кварковое строение. Античастицы. Определение истинно нейтральной частицы

30. Фундаментальные взаимодействия. Описать каждый вид взаимодействия, сравнить по интенсивности. Класс частиц – переносчиков взаимодействия

Программа составлена в соответствии с Государственным образовательным стандартом высшего профессионального образования по направлению **050200.62 Физико-математическое образование**, степень – **Бакалавр физико-математического образования (физика)**.

Программу составила кандидат физ.-мат. наук, доцент



Е. Н. Кириллова

Программа утверждена на заседании кафедры теоретической физики, протокол № 8 от « 30 » августа 2012 г.

Заведующий кафедрой, профессор



И. Л. Бухбиндер

Программа дисциплины одобрена УМК физико-математического факультета ТГПУ, (УМС университета), протокол № 5 от 30 августа 2012 г.

Председатель УМК физико-математического факультета



З.А. Скрипко

Согласовано:

Декан физико-математического факультета



М. А. Червонный