

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Московский физико-технический институт  
(государственный университет)

УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по учебной работе  
Ю.А.Самарский  
\_\_\_ мая 2011 г.

## ПРОГРАММА

по курсу: ФИЗИКА (ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ГЛАВЫ)

по направлению: 010900

факультет: ФНБИК

кафедра: физики и физического материаловедения

курс: 1

семестр: 1

лекции: 17 часов

практические (семинарские) занятия: 17 часов

лабораторные занятия: нет

самостоятельная работа: 1 час в неделю

экзамен: нет

зачет: 1 семестр

**ВСЕГО ЧАСОВ: 34**

Программу и задание составил:

д.ф.-м.н., доцент Барабанов Алексей Леонидович

Программа утверждена на заседании кафедры физики и  
физического материаловедения \_\_\_ мая 2011 года

Заведующий кафедрой

В.Г. Вакс

## ФИЗИКА (ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ГЛАВЫ)

1. *Шкала длин.* Астрономическая единица длины. Угловые параллаксы звёзд и парсек. Расстояния между звёздами в галактиках. Размеры галактик и расстояния между галактиками. Закон Хаббла и видимый радиус Вселенной. Длина волны видимого света. Волновые методы исследования атомов, молекул и наноструктур: рентгеновское излучение, электронные и нейтронные волны. Методы исследования фемтоструктур — ядер атомов и элементарных частиц; де-бройлевские длины волн электронов и протонов в современных ускорителях. Планковская длина и "большой взрыв".

[БЗЦ] Ч. 5, Гл. 12, §12.6.; [АЛ]; [В]; [X].

2. *Шкала времён.* Звуковые и электромагнитные волны. Периоды и частоты колебаний. Электромагнитные СВЧ колебания (микроволновое излучение). Частоты световых и рентгеновских волн. Ядерные времена. Планковское время и "большой взрыв". "Первые" три минуты и первичный нуклеосинтез. Современный возраст Вселенной. Сценарии дальнейшей эволюции Вселенной: эпохи горения звёзд, распада вещества и формирования чёрных дыр, испарения чёрных дыр.

[БЗЦ] Ч. 5, Гл. 12, §12.6.; [АЛ]; [В]; [X].

3. *Пространство–время и специальная теория относительности.* Однородность времени и пространства. Изотропия пространства. Принцип относительности. Преобразования Галилея и классический закон сложения скоростей. Принцип постоянства скорости света. Интервал между событиями и его инвариантность. Преобразования Лоренца. Сокращение длин движущихся предметов. Замедление движущихся часов.

[С4] Гл. 9; [КЛО] Ч. 1, Гл. 10.

4. *Основы релятивистской механики.* Скорость света как предельная скорость движения частиц. Релятивистский закон сложения скоростей. Релятивистское преобразование продольного ускорения. Импульс релятивистской частицы, релятивистское уравнение движения и закон сохранения импульса. Энергия релятивистской частицы. Релятивистская связь между энергией и импульсом частицы. Преобразования Лоренца для энергии и импульса частицы.

[С4] Гл. 9; [КЛО] Ч. 1, Гл. 10.

5. *Основы квантовой физики.* Интерференция и дифракция электромагнитных волн: щели, тонкие плёнки и кристаллы. Корпускулярные свойства электромагнитных волн: фотоэффект и эффект Комптона. Фотоны ( $\gamma$ -кванты). Диаграммы Фейнмана. Волновые свойства частиц. Длина волны де Бройля движущейся частицы. Дифракция электронов и нейтронов: щели и кристаллы. Неопределённости координаты и импульса частицы; соотношение неопределённостей. Волновая функция как амплитуда вероятности.

[С5] Гл. 1, 3; [БЗЦ] Ч. 4, Гл. 2, 3; Ч. 5, Гл. 7, §7.5, Гл. 12, §12.4.

6. *Атомы и ядра.* Характерные размеры и характерные энергии связи (дефекты масс) атомов и ядер. Простейший атом – атом водорода и водородоподобные ионы. Спектр водородоподобного атома (формула Бальмера). Принцип Паули и строение сложных атомов. Простейшее ядро – дейтрон. Ядерные спектры и ядерное  $\gamma$ -излучение. Долина стабильности ядер. Нестабильность тяжёлых ядер относительно  $\alpha$ -распада и спонтанного деления. Периоды полураспада.

[С5] Гл. 2, 6, 8, 9; [БЗЦ] Ч.4, Гл. 1, 7, 10.

7. *Электромагнитные, сильные и слабые взаимодействия.* Античастицы. Рождение и уничтожение позитронов в электромагнитных взаимодействиях. Рождение и уничтожение элементарных частиц в сильных взаимодействиях. Законы сохранения в реакциях: лептонные и барионные квантовые числа. Распад свободного нейтрона и К-захват. Нестабильность ядер, удалённых от линии стабильности, относительно  $\beta^-$ - и  $\beta^+$ -распадов. Реакции горения водорода в звёздах. Нейтринная физика.

[С5] Гл. 9, 14, 15, 16; [БЗЦ] Ч. 4, Гл. 10, 11, 12.

8. *Фундаментальные частицы и фундаментальные взаимодействия.* Фундаментальные частицы — лептоны и кварки. Фундаментальные взаимодействия — электрические, слабые и цветовые заряды и связанные с ними электромагнитное, слабое и хромодинамическое (цветное) поля. Корпускулярные свойства полей:  $\gamma$ -кванты,  $W$ - и  $Z$ -бозоны и глюоны  $g$ . Кварковая модель адронов — мезонов и барионов. Рождение и уничтожение частиц в реакциях и распадах, обусловленных электромагнитными, слабыми и сильными взаимодействиями. Теории объединения взаимодействий и планковская масса. Возможный распад протона.

[С5] Гл. 16; [БЗЦ] Ч. 4, Гл. 12.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. [С4] *Сивухин Д.В.* Общий курс физики. Т. 4. Оптика. — Москва, Наука, 1980.
2. [С5] *Сивухин Д.В.* Общий курс физики. Т. 5. Атомная и ядерная физика. — Москва, Физматлит; Изд-во МФТИ, 2002 (2-е изд. стереотип.).

3. [КЛО] *Кингсеп А.С., Локшин Г.Р., Ольхов О.А.* Основы физики. Курс общей физики. Т. 1. Механика. Электричество и магнетизм. Колебания и волны. Волновая оптика. / Под. ред. А.С. Кингсепа. – Москва, Физматлит, 2001.
4. [БЗЦ] *Белонучкин В.Е., Заикин Д.А., Ципенюк Ю.М.* Основы физики. Курс общей физики. Т. 2. Квантовая и статистическая физика. / Под ред. Ю.М. Ципенюка. – Москва, Физматлит, 2001.
5. [О1] *Заикин Д.А., Овчинкин В.А., Прут Э.В.* Сборник задач по общему курсу физики. Ч. 1. Механика. Термодинамика и молекулярная физика. / Под ред. В.А. Овчинкина. – Москва, Изд-во МФТИ, 1998, 2002.

### Дополнительная литература

1. [АЛ] *Адамс Ф., Лафлин Г.* Пять возрастов Вселенной. В глубинах физики вечности. – Москва, Ижевск, НИЦ "Регулярная и хаотическая динамика", 2006.
2. [В] *Вайнберг С.* Первые три минуты. Современный взгляд на происхождение Вселенной. – Москва, Ижевск, НИЦ "Регулярная и хаотическая динамика", 2000.
3. [Х] *Хокинг С.* Краткая история времени. От большого взрыва до чёрных дыр. – Москва, Амфора, 2008.

## ЗАДАНИЕ

для студентов 1-го курса на осенний семестр  
2011/2012 учебного года

**Пояснение:** Приведены ссылки на номера задач в сборнике [O1] для того, чтобы результаты могли быть (при необходимости) сверены с ответами. Однако формулировки некоторых задач изменены, в ряде случаев поставлены дополнительные вопросы.

**Задание 1.** Кинематика специальной теории относительности.

1-1) [O1, 8.7] Космический корабль летит со скоростью  $V = 0.6c$ , где  $c$  – скорость света, от космического маяка 1 к маяку 2. Расстояние между маяками свет проходит за  $T = 2$  месяца. В момент, когда корабль находится посередине между маяками, каждый из них посылает в направлении корабля световой импульс, т.е. в системе отсчёта, связанной с маяками, события 1 и 2 – вспышки на маяках 1 и 2 – происходят одновременно. В какой последовательности происходят события 1 и 2 в системе отсчёта, связанной с кораблём? Какое время  $\tau_{12}$  разделяет события 1 и 2 в системе отсчёта, связанной с кораблём? Вычислите квадрат интервала  $(\Delta s_{12})^2$  между событиями 1 и 2 в системах отсчёта, связанных с маяками и с кораблём. Какое время  $\tau_{34}$  пройдёт на корабле между моментами регистрации космонавтом световых импульсов (событиями 3 и 4)? Найдите квадрат интервала  $(\Delta s_{34})^2$  между событиями 3 и 4.

1-2) [O1, 8.11] Световой сигнал, посылаемый на Землю с планеты Саракш, возвращается на Саракш через  $2T = 30$  лет. Скорость планеты относительно Земли пренебрежимо мала, а её календарь согласован с земным. Космическая станция летит по направлению к Солнечной системе со скоростью  $v = 0.6c$ . В день, когда она пролетает мимо Саракша, на станции рождается мальчик Ваня, и в тот же день (по календарю, связанному со станцией) на Земле рождается девочка Оля. В тот же день (по

саракшскому календарю) на Земле рождается мальчик Петя. Сколько лет будет Пете, Оле и Ване в тот день, когда космическая станция будет пролетать мимо Земли?

1-3) [O1, 8.25] На линейном ускорителе в Стенфорде (США) электроны ускоряются от энергии покоя  $E_0 = 0.5$  МэВ до  $E = 40$  ГэВ в прямой трубе длиной  $l_0 = 3$  км. Считая, что ускорение электрона происходит вдоль трубы равномерно (т.е. энергия электрона растёт пропорционально пройденному пути), определите, какой "кажется" длина трубы самому электрону (пусть это будет длина  $l$ ).

1-4) [O1, 8.32] Найдите время жизни мюона  $\tau$  с энергией  $E = 100$  ГэВ (в лабораторной системе). Время жизни покоящегося мюона  $\tau_0 = 2.2 \cdot 10^{-6}$  с. Масса мюона  $m_\mu = 206.7 m_e$  ( $m_e$  – масса электрона).

1-5) [O1, 8.79] Тонкий стержень пролетает с большой скоростью мимо метки, покоящейся в лабораторной системе  $K$ . В системе  $K$  стержень пролетает мимо метки за время  $\Delta t = 3$  нс, а в системе стержня метка пролетает вдоль стержня за время  $\Delta t' = 5$  нс. Найдите собственную длину стержня (т.е. длину стержня в системе его покоя).

**Задание 2.** Динамика специальной теории относительности.

2-1) [O1, 8.43] Релятивистский  $\pi^0$ -мезон (обладающий массой  $m_\pi$ ) распадается на лету на два  $\gamma$ -кванта с энергиями  $E_1$  и  $E_2$  (в общем случае  $E_1 \neq E_2$ ). Найдите угол  $\theta$  между направлениями разлёта  $\gamma$ -квантов.

2-2) [O1, 8.44] Покоящийся  $\pi^+$ -мезон ( $m_\pi c^2 = 139.6$  МэВ) распадается на антимюон  $\mu^+$  ( $m_\mu c^2 = 105.7$  МэВ) и нейтрино ( $m_\nu = 0$ ). Найдите кинетические энергии  $K_\mu$  и  $K_\nu$  продуктов распада (кинетической энергией  $K$  называют разность между энергией  $E$  движущейся частицы и энергией покоя  $E_0 = mc^2$ ).

2-3) [O1, 8.48] Какой минимальной кинетической энергией должен обладать протон, чтобы при его столкновении с покоящимся протоном оказалась возможной реакция:  $p + p \rightarrow p + p + \Lambda + \bar{\Lambda}$ ? Какими минимальными кинетическими энергиями должны обладать протоны в коллайдере, где протоны летят навстречу друг другу с одинаковыми энергиями, для инициации той же реакции? Энергия покоя протона  $mc^2 = 0.94$  ГэВ; энергия покоя лямбда-гиперона (частицы и античастицы) равна  $Mc^2 = 1.12$  ГэВ.

2-4) [O1, 8.76] Частица массы  $m$  начинает двигаться под действием постоянной по величине и по направлению силы  $F$ . Найдите, через какое время по собственным часам частица достигнет скорости  $v = 0.8c$ .

*Указание:* 
$$\int \frac{dx}{\sqrt{1+x^2}} = \ln(x + \sqrt{1+x^2}) + \text{const.}$$

2-5) [O1, 8.77] Близнецы Пётр и Павел расстались в тот день, когда им исполнилось по 21 году. Сначала Пётр в звездолёте разогнался до скорости  $v = 24c/25$ , причём в течение всего разгона Пётр ощущал силу инерции  $mg$ , точно равную силе тяжести на Земле. Далее он летел с указанной скоростью 7 лет, а потом вместе со звездолётом тормозил так, что вновь ощущал силу инерции, равную  $mg$ , пока звездолёт не совершил посадку на планету, движущуюся вокруг одной из ближайших к Земле звёзд (скорости планеты и этой звезды относительно Земли пренебрежимо малы по сравнению со скоростью света). Пробыв на планете 1 год, Пётр совершил точно такой же перелёт обратно на Землю. Определите возраст каждого из близнецов в момент их встречи на Земле.

*Указание:* Воспользуйтесь результатами предыдущей задачи 2-4 ([O1, 8.76]); при разгоне и торможении звездолёта массы  $M$  постоянной силой  $F = Mg$  все обитатели звездолёта будут ощущать силу инерции, равную силе тяжести (т.е. речь идёт о комфортном варианте разгона и торможения).