

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ
НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

Физический факультет
Кафедра общей физики

Кочеев А.А., Погосов А.Г., Сербо В.Г.

**Учебно-методический комплекс по курсу физики факультета
информационных технологий НГУ**

Методические материалы (учебно-методический комплекс)

Новосибирск
2012

АННОТАЦИЯ

Данный инновационный курс подготовлен авторами для студентов ФИТ и рассчитан на его прохождение в течение 2,3,4 семестров. Впервые на физическом факультете он построен по модульному принципу, при этом в одном семестре изучаются физические явления из различных областей физики: механики и теории относительности; молекулярной физики, термодинамики и электромагнетизма; электродинамики, оптики и квантовой физики, он знакомит студентов с методами описания и анализа обширного круга физических явлений на основе применения соответствующих физических законов. Учитывая, что для студентов ФИТ физика не является предметом будущих исследований, основная цель курса – дать представление об основных фундаментальных физических законах, основных методах и подходах анализа физических явлений, научить решать широкий класс задач, делать оценки, сформировать общекультурные и профессиональные навыки. Учитывая важность разделов электромагнетизм, электродинамика, оптика и квантовая физика для будущей профессиональной деятельности выпускников факультета информационных технологий, был сокращен объём материала по молекулярной физике, термодинамике. Так, что последние 4 модуля проходятся в течение 1,5 семестров.

Составители:

Кочеев А.А., Погосов А.Г., Сербо В.Г.

Учебно-методический комплекс подготовлен в рамках реализации Программы развития НИУ - НГУ на 2009–2018 годы.

Программы курса «физика» Факультета информационных технологий НГУ

Курс реализуется в рамках направления подготовки бакалавров **230100 «Информатика и вычислительная техника»** в соответствии с ФГОС ВПО, утвержденном приказом Минобрнауки России от 9.11.2009 г. № 553.

Цель курса — знакомство с основными физическими явлениями из области механики и теории относительности, молекулярной физики, термодинамики, электричества, магнетизма, электродинамики, оптики и квантовой физики, с методами описания и анализа этих явлений на основе изучения соответствующих физических законов.

В результате освоения курса студенты должны: **знать** основные физические законы, описывающие изучаемый круг физических явлений; **уметь** применять полученные знания для научного анализа ситуаций, с которыми бакалавру придется сталкиваться в профессиональной деятельности, в том числе при создании новых информационных технологий, а также приобрести **навыки** использования основных общезначимых законов и методов физико-математического анализа для решения естественнонаучных и прикладных задач.

Кроме того, успешное освоение курса должно сформировать у студента естественнонаучное мировоззрение, умение применять научный подход к объяснению процессов и явлений, с которыми ему придется сталкиваться, в том числе и в бытовых ситуациях.

В процессе изучения дисциплины формируются следующие общекультурные компетенции: ОК-1, ОК-5, ОК-18, ОК-20, ОК-21:

- способностью использовать в познавательной и профессиональной деятельности базовые знания в области математики и естественных наук (ОК-1);
- способностью выстраивать и реализовывать перспективные линии интеллектуального, культурного, нравственного, физического и профессионального саморазвития и самосовершенствования (ОК-5);
- способностью применить основные методы защиты производственного персонала и населения от возможных последствий аварий, катастроф, стихийных бедствий (ОК-18);
- способностью использовать нормативные правовые документы в своей деятельности (ОК-20);
- способностью понимать сущность и значение информации в развитии современного информационного общества, сознавать опасности и угрозы, возникающие в этом процессе, соблюдать основные требования информационной безопасности, в том числе защиты государственной тайны (ОК-21).

В процессе изучения дисциплины формируются следующие профессиональные компетенции: ПК-1 – ПК-4, ПК-5, ПК-10, ПК-11:

- способностью использовать базовые теоретические знания для решения профессиональных задач (ПК-1);
- способностью применять на практике базовые профессиональные навыки (ПК-2);
- способностью эксплуатировать современную физическую аппаратуру и оборудование (ПК-3);

- способностью использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин (в соответствии с профилем подготовки) (ПК-4);
- способностью применять на практике базовые общепрофессиональные знания теории и методов физических исследований (в соответствии с профилем подготовки) (ПК-5);
- способность проводить научно-исследовательскую деятельность самостоятельно и в коллективе (ПК-10);
- владеет методами отбора материала для теоретических занятий и лабораторных работ (ПК-11).

В соответствии с ФГОС ВПО курс разбит на отдельные модули «Механика и теория относительности», «Молекулярная физика и термодинамика», «Электростатика и магнитостатика», «Электродинамика», «Оптика», «Квантовая физика».

Курс рассчитан на три семестра - 2, 3, 4, с общей трудоемкостью 5 зачетных единиц (96 часов лекций, 96 часов семинарских занятий и 132 часа самостоятельной работы.)

Ниже приведены краткие программы отдельных модулей с указанием семестра, форм промежуточного и итогового контроля, приведены характерные задачи заданий и контрольных.

2 семестр

Программа модуля «Механика и теория относительности».

I. Организационно-методический раздел первого семестра.

1.1. Название курса: **Механика и теория относительности.**

Курс реализуется в рамках направления подготовки 230100.62 «Информатика и вычислительная техника», относится к циклу общих математических и естественно-научных дисциплин. Курс читается во втором семестре

1.2. Цели и задачи курса.

Основной целью освоения дисциплины является изучение основных законов нерелятивистской и релятивистской механики

Для достижения поставленной цели выделяются задачи курса: изучить механику Ньютона и специальную теорию относительности. Кроме этого введен небольшой раздел механических волн для знакомства с волновыми движениями и волновым уравнением.

1.3. Требования к уровню освоения содержания курса (дисциплины).

По окончании изучения указанной дисциплины студент должен

- **иметь представление** об естественно-научной картине мира, о фундаментальных силах взаимодействия - гравитационное, электрослабое и сильное взаимодействия.

–

– **знать** основные законы механики и специальной теории относительности, основные принципы ядерной энергетики и её перспективах.

– **уметь** делать оценки и решать простые задачи по данному курсу

1.4. Формы контроля

Итоговый контроль. Для контроля усвоения дисциплины учебным планом предусмотрен экзамен.

Текущий контроль. В течение семестра выполняются 2 контрольные работы, принимается коллоквиум и 2 задания. Выполнение указанных видов работ является обязательным для всех студентов, а результаты текущего контроля служат основанием для выставления оценок в ведомость контрольной недели на факультете.

1.4. Структура и содержание дисциплины __Механика и теория относительности

Общая трудоемкость модуля составляет 3 зачетных единиц, 108 часов.

№ п/п	Раздел дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра) Форма промежуточной аттестации (по семестрам)			
				Лекции,	Практические занятия,	Самостоятельная работа студента (семинары, домашние задания),	В начале каждого занятия проверка задач, заданных на дом
1	Нерелятивистская кинематика	2	1-2	4	4	8	
2	Релятивистская кинематика	2	3-4	4	4	10	
3	Нерелятивистская динамика. Фундаментальные взаимодействия	2	5-8	8	8	16	
4	Релятивистская динамика	2	9-10	3	3	10	
5	Колебания		10-11	3	3	10	
8	Волновые движения	2	10-11	2	1	4	
6	Момент импульса. Центральное поле	2	12-13	4	4	10	
7	Движение твердого тела. Статика	2	14-15	4	4	12	
				32 час	32 час	80 час	

Содержание разделов и тем курса:

Нерелятивистская кинематика --- 2 л + 3 с

1. Координаты, скорость, ускорение.
2. Движение по окружности, нормальная и тангенциальная составляющие ускорения. Общий случай движения по криволинейной траектории.
3. Инерциальные системы отсчета. Принцип относительности.

4. Преобразования Галилея.

Релятивистская кинематика --- 1 л + 1 с

5. Постулаты Эйнштейна. Относительность одновременности. Неизменность поперечных размеров движущегося предмета. Замедление хода движущихся часов. Сокращение продольных размеров движущегося предмета.
6. Преобразования Лоренца. Релятивистские преобразования скорости.

Нерелятивистская динамика. Фундаментальные взаимодействия--- 3 л +4 с

7. Законы динамики Ньютона.
8. Импульс. Закон сохранения импульса у замкнутой системы тел. Центр инерции.
9. Работа. Кинетическая энергия. Связь работы силы с изменением кинетической энергии.
10. Потенциальные силы. Потенциальная энергия.
11. Закон сохранения энергии.
12. Распады и соударения в нерелятивистской механике
13. Закон Кулона. Закон всемирного тяготения. Понятие о фундаментальных силах; гравитационное, электрослабое и сильное взаимодействия.

Релятивистская динамика --- 1 л + 1 с

14. Релятивистские энергия и импульс. Фотон.
15. Понятие о методе встречных пучков.

Колебания --- 2 л + 2 с

16. Одномерное движение в потенциальном поле. Период колебаний.
17. Линейный осциллятор. Линейность уравнений и принцип суперпозиции.
18. Затухающие и вынужденные колебания, резонанс.
19. Механические волны. Волновое уравнение. Волны на струне.

Момент импульса. Центральное поле --- 2 л + 2с

20. Момент силы. Момент импульса и его связь с секториальной скоростью. Закон сохранения момента импульса для движения частицы в центральном поле и у замкнутой системы тел.
21. Движение в центральном поле.
22. Задача Кеплера.

Движение твердого тела. Статика --- 2 л + 2 с

23. Поступательное и вращательное движение твердого тела.
24. Кинетическая энергия твердого тела. Момент инерции.
25. Момент импульса твердого тела.
26. Элементы статики.

Для контроля усвоения дисциплины учебным планом предусмотрен экзамен. В течение семестра выполняются 2 контрольные работы, принимается коллоквиум и 2

задания. Выполнение указанных видов работ является обязательным для всех студентов, а результаты текущего контроля служат основанием для выставления оценок в ведомость контрольной недели на факультете.

Экзамен проводится только после полной сдачи задания.

Вопросы к экзамену по курсу Механика и теория относительности:

1. Координаты, скорость, ускорение.
2. Движение по окружности. Нормальная и тангенциальная составляющие ускорения. Общий случай движения по криволинейной траектории.
3. Инерциальные системы отсчета. Принцип относительности. Преобразования Галилея.
4. Постулаты Эйнштейна и первые следствия из них. Замедление хода движущихся часов. Сокращение продольных размеров движущегося предмета.
5. Преобразования Лоренца. Релятивистские преобразования скорости.
6. Интервал и собственное время. 4-векторы.
7. Законы динамики Ньютона.
8. Закон сохранения импульса у замкнутой системы тел. Центр масс.
9. Работа. Кинетическая энергия. Связь работы силы с изменением кинетической энергии.
10. Потенциальные силы. Потенциальная энергия. Примеры.
11. Закон сохранения энергии.
12. Релятивистские энергия и импульс.
13. Фотон. Эффект Доплера.
14. Понятие о методе встречных пучков.
15. Одномерное движение в потенциальном поле. Линейный осциллятор.
16. Затухающие колебания.
17. Вынужденные колебания, резонанс.
18. Момент силы. Момент импульса и его связь с секториальной скоростью.
19. Закон сохранения момента импульса для движения частицы в

центрального поле и у замкнутой системы частиц.

20. Движение в центральном поле.

21. Задача Кеплера.

22. Поступательное и вращательное движение твердого тела.

23. Кинетическая энергия твердого тела. Момент инерции.

24. Момент импульса твердого тела.

2. **Учебно-методическое обеспечение дисциплины:** имеется учебное пособие по курсу на сайте кафедры

2.1 примеры заданий и контрольных:

ЗАДАНИЕ ПО ФИЗИКЕ №1 (сдать к концу марта)

1. Жук ползёт по глобусу радиуса $R = 0,5$ м из Камчатки (160° восточной долготы и 60° северной широты) в Бразилию (50° западной долготы и 10° южной широты), выбирая кратчайшее расстояние. Найти длину этого пути.

2. Самолёт летит по прямой с постоянной скоростью V и пролетает мимо радиолокатора на наименьшем расстоянии L . Найти **зависимость** от времени угла поворота φ , угловой скорости ω и углового ускорения антенны локатора, следящего за самолётом. Привести графики этих величин.

3. Для тела, брошенного под углом $\alpha = 30^\circ$ к горизонту с начальной скоростью $V = 40$ м/с, найти значения скорости V , ускорения a , нормальной a_n и тангенциальной a_t составляющих ускорения, а также радиус кривизны траектории $R_{кр}$ через 1 секунду после начала движения.

4. Автомобиль спускается по винтовой дороге (радиус ее R , шаг винта h) со скоростью $V = \beta t$. Найти ускорение автомобиля a и его нормальную a_n и тангенциальную a_t составляющие, а также радиус кривизны $R_{кр}$ траектории автомобиля.

5. Пусть в некоторой инерциальной системе отсчета S произошли три события $(ct_1; x_1) = (1; 1)$ м, $(ct_2; x_2) = (5; 6)$ м и $(ct_3; x_3) = (6; 5)$ м. Рассмотрим пару событий i и j ($i, j = 1, 2; 1, 3; 2, 3$). В какой инерциальной системе отсчета S' эти события одновременны или одноместны? Для одновременных событий указать расстояние между ними в S' -системе, а для одноместных - разницу во времени между ними в S' -системе.

6. Мимо перрона проезжает со скоростью V релятивистский поезд. Ученый А определил его длину следующим образом: он выставил наблюдателей с часами вдоль перрона и велел им засечь в одно и то же время координаты начала X_1 и конца X_2 поезда, после чего объявил, что длина поезда $L = (x_2 - x_1)$. Ученый В определил длину поезда иначе: стоя на одном месте перрона, он засек по своим часам время t_1 и t_2 прохождения мимо него головы и хвоста поезда. С его точки зрения длина поезда

$L = (t_2 - t_1)$. Попробуйте стать судьей в споре ученых А и В и указать, кто из них прав. На сколько будут отличаться полученные ими длины L_l и L_v от собственной длины поезда L_0 ?

7. Над Омском и Новосибирском одновременно в системе Земли навстречу друг другу пролетели два релятивистских самолета, со скоростями V_1 и V_2 . Найдите время полета самолетов до встречи, в системе Земли и в системе 1го самолета.

ЗАДАНИЕ ПО ФИЗИКЕ №2 (сдать к середине мая)

8. Веревка длиной $l = 1$ м соскальзывает без трения в отверстие в столе под действием силы тяжести ($g = 10$ м/с). Найти время соскальзывания, если в начальный момент длина свисающей части равна половине длины веревки.

9. Найти закон движения частицы в поле $U(x) = -kx^4$, если ее энергия равна нулю. Рассмотреть случаи: $x(0) = a, V(0) < 0$ и $x(0) = a, V(0) > 0$.

10. Бусинка скользит по гладкой проволоке, имеющей форму $y = a \operatorname{ch}(x/b)$ и расположенной в вертикальной плоскости в поле тяжести ($g = 10$ м/с).. Найти частоту малых колебаний бусинки.

11. Определить порог рождения протон-антипротонной пары при столкновении позитрона с покоившимся электроном. Сравнить со случаем встречных $e + e^-$ пучков.

12. На будущих линейных ускорителях со встречными $e + e^-$ пучками предполагается получать пучки высокоэнергичных фотонов, рассеивая свет мощного лазера на $e \pm$ пучках. Найти максимальную энергию фотона, рассеянного электроном с энергией 250 ГэВ, если энергия начального (лазерного) фотона равна 1 эВ.

13. Две одинаковые частицы массы m каждая связаны нитью, пропущенной через отверстие О в столе. Найти частоту малых вертикальных колебаний нижней частицы, если верхняя движется по гладкому горизонтальному столу по траектории, близкой к окружности радиуса R .

14. На подлете к Земле на расстоянии $OA = R, AB = 3R$ обнаружена комета (здесь R – радиус Земли). Найти минимальную скорость кометы v_0 , при которой она еще не упадет на Землю. Ускорение на поверхности Земли g .

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА ПО ФИЗИКЕ 21 марта 2011 г. ВАРИАНТ 1

1. Вертикальная решётка состоит из тонких пластин, образующих угол α с горизонтом. Справа на решётку налетают частицы с горизонтальной скоростью v . При какой вертикальной скорости решётки и частицы проходят через решётку? Влиянием силы тяжести на движение частиц пренебречь.

2. Частица движется в плоскости xu по окружности радиуса R так, что её угол $\varphi(t) = \beta t^4$. Найти модули скорости $v(t)$, продольного $a_t(t)$ и поперечного $a_n(t)$ ускорения частицы.

3. Длина стороны равностороннего треугольника в его собственной системе отсчёта S' равна l_0 . В инерциальной системе отсчёта S треугольник движется со скоростью $v=0,99$ с перпендикулярной к одной из сторон треугольника. Найти периметр этого треугольника в системе S .

4. Две релятивистских ракеты вылетают одновременно (в момент времени $t_1=t_2=0$) из городов A и B и направляются с постоянными скоростями v_1 и v_2 в город C . Треугольник ABC --- равносторонний, длина $AB=l_0$. Найти время старта

второй ракеты и время её прибытия в конечный пункт C по часам пилота первой ракеты.

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА ПО ФИЗИКЕ 21 марта 2011 г. ВАРИАНТ 2

1. Капли дождя из-за сопротивления воздуха падают с постоянной скоростью v , перпендикулярной поверхности земли. Под каким углом α необходимо расположить цилиндрическое ведро, находящееся на движущейся горизонтально со скоростью u платформе, чтобы капли не попадали на его стенки?

2. Частица движется в плоскости xy по окружности радиуса R так, что её угол $\phi(t) = \beta t^5$. Найти модули скорости $v(t)$, продольного $a_t(t)$ и поперечного $a_n(t)$ ускорения частицы.

3. Длина катета равнобедренного прямоугольного треугольника в его собственной системе отсчёта S' равна l_0 . В инерциальной системе отсчёта S треугольник движется со скоростью $v=0,99$ с параллельной одному из катетов треугольника. Найти периметр этого треугольника в системе S .

4. Две релятивистских ракеты вылетают одновременно (в момент времени $t_1=t_2=0$) из городов A и B и направляются с постоянными скоростями v_1 и v_2 в город C . Треугольник ABC --- прямоугольный равнобедренный, катет $AB=l_0$. Найти

время старта первой ракеты и время её прибытия в конечный пункт C по часам пилота второй ракеты.

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА ПО ФИЗИКЕ, май 2011 г.

1. Пуля массы m пролетает сквозь вязкую среду толщиной l . Сила сопротивления при движении в этой среде равна $F_x = -\alpha v^2$. Найти начальную скорость пули v_0 , если конечная скорость пули равна v_k .

2. Период обращения спутника, вращающегося по круговой траектории вблизи поверхности Луны, равен 110 мин. Известно, что гравитационная постоянная $G=6,7 \cdot 10^{-11}$ Н м²/кг².

По этим двум данным определить плотность Луны, считая её однородным шаром.

3. Однородный стержень OA может вращаться в вертикальной плоскости вокруг оси, проходящей через точку O . Длина стержня равна $l=1,2$ м. В начальный момент стержень отпускают из горизонтального положения без начальной скорости. Найти скорость

точки A стержня в момент, когда он примет вертикальное положение. Ускорение силы тяжести $g=10$ м/с².

4. Неизвестная частица распадается на лету на 4 частицы, разлетающихся с одинаковыми скоростями $v=4c/5$ так, что углы разлёта соседних частиц равны 90° (см. рисунок). Масса одной из частиц равна $2m$, массы трёх остальных частиц одинаковы и равны m . Найти массу M неизвестной частицы.

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА ПО ФИЗИКЕ 19 марта 2012 г. ВАРИАНТ 1

1. Гладкая шайба скользит со скоростью $v_0=3$ м/с по горизонтальному столу высотой $h=0,8$ м и затем падает. Найти радиус кривизны траектории шайбы в момент касания пола. Ускорение свободного падения $g=10$ м/с².

2. Частица движется в плоскости xu по закону (в полярных координатах) $r=v_0 t$, $\phi = \omega t$, где v_0 и ω --- известные константы. Найти модули скорости $v(t)$ и ускорения $a(t)$ частицы.

3. В собственной системе отсчёта S' ромб $ABCD$ имеет сторону $AB=a_0$ и угол $\angle DAB=\alpha_0 = 60^\circ$. Найти периметр ромба в системе отсчёта S , в которой он движется со скоростью $V=0,8$ с вдоль стороны AB .

4. Две релятивистских ракеты вылетают одновременно (в момент времени $t_1=t_2=0$) из городов A и B и направляются с постоянными скоростями v_1 и v_2 в город C . Треугольник ABC - равносторонний, длина $AB=l_0$. Найти время старта второй ракеты и время её прибытия в конечный пункт C по часам пилота первой ракеты.

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА ПО ФИЗИКЕ 19 марта 2012 г. ВАРИАНТ 2

1. Машина движется со скоростью $v_0=144$ км/час по горизонтальному шоссе и срывается в пропасть глубиной $h=45$ м. Найти радиус кривизны траектории машины в конце её траектории. Ускорение свободного падения $g=10$ м/с².

2. Частица движется в плоскости xOy по закону $x = \alpha t, \sin(\beta t), y = \alpha t, \cos(\beta t)$, где α и β --- известные константы. Найти модули скорости $v(t)$ и ускорения $a(t)$ частицы.

3. В собственной системе отсчёта S' ромб $ABCD$ имеет сторону $AB = a_0$ и угол $\angle DAB = \alpha_0 = 120^\circ$. Найти периметр ромба в системе отсчёта S , в которой он движется со скоростью $V = 0,6c$ вдоль стороны AB .

4. Две релятивистских ракеты вылетают одновременно (в момент времени $t_1 = t_2 = 0$) из городов A и B и направляются с постоянными скоростями v_1 и v_2 в город C . Треугольник ABC --- прямоугольный равнобедренный, катет $AB = l_0$. Найти время старта первой ракеты и время её прибытия в конечный пункт

C по часам пилота второй ракеты.

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА ПО ФИЗИКЕ 21 мая 2012 г.

1. Пуля массы m пролетает сквозь неподвижную вязкую среду толщиной l . Сила сопротивления при движении в этой среде равна $F_x = -\alpha v$. Найти начальную скорость пули v_0 , если конечная скорость пули равна v_k .

2. Тонкий невесомый стержень длиной $2l$ может вращаться в вертикальной плоскости вокруг оси, проходящей через его середину O . На концах стержня закреплены частицы массы m и $2m$. Найти период малых колебаний этого маятника. Ускорение силы тяжести равно g .

3. На каком расстоянии R от центра Земли должен вращаться спутник, чтобы его период обращения был равен 12 часам. Землю считать однородным шаром радиуса $R_3 = 6400$ км, ускорение силы тяжести на поверхности Земли $g = 10 \text{ м/с}^2$.

4. Неизвестная частица распадается на лету на 3 одинаковые частицы, разлетающиеся с одинаковыми скоростями $v = 4c/5$ (здесь c --- скорость света) так, что углы вылета

крайних частиц $\alpha = 60^\circ$ (см. рисунок). Массы образовавшихся частиц одинаковы и равны m . Найти массу M неизвестной частицы.

2.2. Список основной и дополнительной литературы

1. Кочеев А.А., Сербо В.Г. *Механика и теория относительности*, РИЦ НГУ, 2008; Москва-Ижевск НИЦ РХД, 2012.
2. Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М. *Фейнмановские лекции по физике*, т.1-2. М.: Мир, 1977.
3. Астахов А.В. *Курс физики*, т.1. М.: Наука, 1977.
4. Сивухин Д.В. *Общий курс физики*, т.1. М.: Наука, 1974.
5. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. *Механика*. М.: Наука, 1988.

					кие занят ия,	работа сту- сдача семестровых домашних заданий),	очередного занятия проверка задач, заданных на дом
1	Молекулярно-кинетическая теория	3	1	2	2		
2	Статистические распределения Распределение Максвелла, Больцмана.	3	2	2	2		
3	Явления переноса. Длина пробега Диффузия, теплопроводность, вязкость.	3	3	2	2	2	
4	Термодинамическое равновесие и температура. Обратимые и необратимые процессы.	3	4	2	2		
5	Первое начало термодинамики. Теплоемкость. Политропический процесс и его частные случаи.	3	5-6	3	3	1	
6	Цикл Карно и его коэффициент полезного действия. Энтропия.	3	6-7	3	3	1	
7	Реальные газы. Уравнение Ван-дер-Ваальса. Фазовые превращения.	3	8	2	2		
8	Уравнение Клапейрона-Клаузиуса. Давление насыщенного пара.	3	9	2	2		
9	Элементы термодинамики излучения. Законы Стефана-Больцмана, Кирхгофа, Вина.	3	10	2	2		
				20 час	20 час	4 час	

В результате освоения данного модуля студент должен:

- Знать: основные молекулярные распределения и получаемые на их основе средние значения физических величин, природу теплоёмкости и молекулярные основы явлений переноса в плотных и разреженных газах; знать первое, второе и третье начала термодинамики, понимать принципы термодинамики и физические основы работы тепловых и охлаждающих машин, смысл термодинамических потенциалов и условия равновесия фаз.
- Владеть: методикой расчёта равновесных и кинетических параметров молекулярных систем на основе молекулярных распределений; методикой расчета физических характеристик (коэффициент полезного действия и холодильный коэффициент, теплоёмкости) различных термодинамических процессов для различных термодинамических систем.
 - Уметь: предсказывать и объяснять наиболее вероятные направления развития процессов с применением современных статистических и термодинамических методов. Уметь использовать полученные знания в своей профессиональной деятельности.

Краткое содержание лекций

1. Молекулярно-кинетическая теория. 2л, 2сем.

1. Агрегатные состояния вещества. Твердое, жидкое и газообразное состояние.

Кристаллические и аморфные состояния вещества. Поликристаллы и монокристаллы.

Плазма. Характерные размеры молекул и атомов. Структура молекул различных типов.

Газокинетические размеры Концентрации молекул в различных агрегатных состояниях.

Концентрация молекул в газах при нормальных условиях. Массы молекул и молекулярный вес. Число Авогадро. Взаимодействия молекул, потенциал Леннарда – Джонса. Связь

агрегатного состояния вещества с величиной межмолекулярного взаимодействия и энергией хаотического движения. Разреженные газы.

2. Температура. Методы измерения температуры. Эмпирические шкалы температур. Связь температуры с энергией хаотического движения, постоянная Больцмана. Термодинамическая или абсолютная шкала температур. Связь шкалы Цельсия и Кельвина.

3. Элементы теории вероятностей. Распределение студентов ФИТ по росту. По измеренным значениям роста студентов вводятся понятия среднего роста студентов, наиболее вероятного роста. Функции распределения студентов по росту, Вероятности обнаружения студента с ростом в заданных пределах. Достоверные и невозможные события. Единственно возможные и равновозможные события. Вероятность события, априорная вероятность. Теорема сложения вероятностей – вероятность суммы несовместимых событий равна сумме вероятностей этих событий. Теорема умножения вероятностей для независимых событий – вероятность произведения независимых событий равна произведению их вероятностей. Роль статистических распределений в молекулярной физике.

4. Давление газа с точки зрения молекулярно кинетической теории. Расчет давления газа на стенку исходя из концентрации, массы и средне-квадратичного значения скорости в

$$\text{заданном направлении. } p = mn \int_{-\infty}^{\infty} v_x^2 dw(\vec{v}) = mn \overline{v_x^2} = \frac{1}{3} nm \overline{v^2} = \frac{2}{3} n \left(\frac{m \overline{v^2}}{2} \right) = \frac{2}{3} n \overline{E_k}, P = nkT$$

5 Модель идеального газа. Разреженный газ, роль столкновений при установлении равновесия. Закон Бойля – Мариота – произведение объема газа на его давление зависит только от температуры. Закон Авогадро. Уравнение состояния идеального газа $PV = RT$. Закон Дальтона. Закон Гей-Люссака. Абсолютная газовая шкала температур. Область применимости уравнения состояния идеального газа для практических расчетов.

2. Статистические распределения 2л, 2 сем.

1. Газ во внешнем поле. Изменение концентрации молекул газа с высотой в гравитационном поле. Барометрическая формула. Нахождения концентрации молекул на нулевой высоте по заданному полному числу частиц в сосуде заданной формы. Распределение концентрации молекул по радиусу во вращающейся центрифуге. Разделения изотопов методом центрифугирования. Роль гравитационного поля, молекулярного веса и температуры газа в рассеянии атмосферы планет.
2. Распределение Максвелла. Вывод распределений Максвелла молекул идеального газа по скоростям в предположении изотропности пространства и независимости вероятности обнаружить молекулу с заданным диапазоном скорости от скоростей по другим координатам. Одномерное, двухмерное и трехмерное распределение Максвелла.
3. Распределение Максвелла по абсолютному значению скорости и его вид в декартовой цилиндрической и сферической системе координат. Вывод распределения молекул по кинетическим энергиям и нахождение среднего значения энергии хаотического движения молекул. Броуновское движение средняя энергия хаотического движения броуновских частиц. Влияние взаимодействия молекул на вид распределения
4. Наиболее вероятная, средняя и среднеквадратичная скорости. Средний модуль скорости
5. Распределение скорости в потоке газа при истечении через малое отверстие. Наиболее вероятная, средняя и среднеквадратичная скорости в потоке газа.
6. Экспериментальное обоснование распределения Максвелла.
7. Распределение частиц в силовых полях. Распределение Больцмана..
8. Распределение Максвелла – Больцмана, обобщенные координаты распределение Гиббса, элементы статистики.

3.. Элементы физической кинетики. 2л. ,2 сем

1. Число столкновений и длина свободного пробега. Понятие о сечении взаимодействия, газокинетический диаметр молекул. Частота столкновений легких молекул примесного газа с молекулами основного газа, имеющего преобладающую концентрацию. Длина пробега этих молекул между столкновениями с основным газом. Средняя относительная скорость движения молекул в однородном газе и в смеси газов. Частота столкновений молекул в смеси газов. Вычисление длины пробега молекул в смеси газов. Оценка длины пробега молекул воздуха при нормальных условиях. Влияние соотношения длины пробега и диаметра трубопровода на режим течения газа. Континуальный и свободно-молекулярный режимы течения

2. Роль столкновений и взаимодействия молекул на процессы возвращения системы к равновесию. Релаксация газа к состоянию равновесия. Времена релаксации в различных процессах. Соотношение характерного времени протекания процесса и времени релаксации в квазистационарных процессах.
3. Эмпирические уравнения переноса: Фика, Фурье и Ньютона. Явления переноса в различных средах. Температурные зависимости.
4. Явления переноса в газах. Диффузия, теплопроводность, вязкость. Расчет коэффициентов диффузии, теплопроводности, вязкости для газов. Технические применения этих процессов

4. Феноменологическая термодинамика. 4л. 5сем.

1. Макроскопические системы. Термодинамическое равновесие и температура. Связь энергии хаотического движения с температурой. Нулевое начало термодинамики. Эмпирическая температурная шкала. Абсолютная шкала температур Кельвина. Газовый термометр. Методы измерения температуры – термометры, термометры сопротивления, термопары, пирометры, полупроводниковые измерители.
2. Квазистатические процессы. Число независимых параметров. Внутренняя энергия. Уравнение состояния в термодинамике. Калорическое и термическое уравнение состояния. Уравнение состояния идеального газа. Обратимые и необратимые процессы.
3. Первое начало термодинамики. Теплоемкость при постоянном объеме и при постоянном давлении. Уравнение Майера. Изохорический, изобарический, изотермический, адиабатический процессы в идеальных газах. Политропический процесс и его частные случаи. Связь теплоемкости с числом степеней свободы. «Вымораживание» вращательных и колебательных степеней свободы.
4. Преобразование теплоты в механическую работу. Работа по расширению и сжатию газа, Расчет работы в различных процессах. Коэффициент полезного действия тепловых машин. Использование PV диаграмм для анализа работы тепловых машин. Цикл Карно и его коэффициент полезного действия. Энтропия. Представление цикла Карно на TS диаграмме. Оценка КПД двигателя внутреннего сгорания. Цикл Дизеля, цикл Майера.
5. Связь теплоемкости идеального газа с числом степеней свободы молекул. Зависимость теплоемкости реальных газов от температуры.
6. Реальные газы. Уравнение Ван-дер-Ваальса. Двухфазные состояния вещества изотермы реальных газов Критическая температура, критические параметры – температура, давление, удельный объем и их связь. Агрегатные состояния вещества, фазовые превращения, тройная точка сосуществования фаз. Понятие о фазовых превращениях второго рода
7. Метод циклов при анализе термодинамических процессов. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса. Давление насыщенного пара и его связь с теплотой испарения. Процессы кипения и замерзания. Перегретая жидкость, переохлажденный пар. Характерные значения для различных жидкостей, Методы получения низких температур, сжиженные газы.
8. Элементы термодинамики излучения. Законы Стефана-Больцмана, Кирхгофа, Вина. Абсолютно черное тело, излучение реальных тел.

Примеры заданий и контрольных по модулю «Молекулярная физика и термодинамика»

Задание (сдать до 15 ноября)

1. Оценить число молекул в воздушном шарике диаметром 20см. при нормальных условиях. Оценить число молекул в капле струйного принтера, приняв диаметр капли 10мкм., а её молекулы в основном молекулы этилового спирта C_2H_5OH .
2. Броуновская частица хаотически движется в воде. Чему равна средняя кинетическая энергия броуновской частицы, плотность которой примерно равна плотности воды, диаметром 5 мкм.? Чему равна среднеквадратичная скорость этой частицы?
3. Пользуясь распределением Максвелла по скоростям $dW(V)$
 $dw(v) = 4\pi(m/2kT\pi)^{3/2} \exp(-mv^2 / 2kT)v^2 dv..$ Получить распределение молекул по энергиям $dW(E)$, приняв $E=mV^2/2$
4. Записав распределение Максвелла в цилиндрической системе координат найти зависимость тока электронов от запирающего напряжения в длинном цилиндрическом вакуумном диоде, на оси которого находится раскаленная нить эммитирующая электроны. Температура нити T .
5. Оценить давление и длину пробега молекул на высоте полета над Землей 10 Км. Температуру воздуха считать постоянной равной -20 C^0 , а ускорение 10м/сек^2
6. На малое отверстие откачанного до глубокого вакуума сосуда, направлен поток молекул с одинаковой скоростью V_0 , с концентрацией их в пучке n_0 . Найти равновесную концентрацию и температуру молекул в сосуде.
7. Найти КПД цикла состоящего из двух изобар P_1 и P_2 , и двух изохор V_1 и V_2
8. Нагревается или охлаждается газ при расширении от V_0 до $2V_0$? Если в этом процессе $PV^2 = \text{const}$, что будет при $P^2V = \text{const}$? Найти тепло, которое нужно подводить или отводить в этом процессе.
9. По известным постоянным a и b реального газа рассчитать его критические температуру, давление и объем.
10. Приняв Солнце за черное тело с температурой 6000 K^0 , найти равновесную температуру Земли, считая Солнце единственным источником её нагрева.

Задачи контрольной.

1. Два одинаковых сосуда соединены малым отверстием. Сосуды имеют температуру T_0 , концентрация молекул в сосудах n_0 . Температуру одного из сосудов увеличили в 4 раза, Найти изменение концентрации и длины пробега молекул в сосудах.
2. Какое количество тепла отдает моль идеального газа при изобарическом обратимом охлаждении, если затраченная на сжатие газа в этом процессе работа равна 10 Дж.
3. Найти мощность двигателя компрессора, если он изотермически, за одну секунду повышает давление моля идеального газа в три раза. Чему будет равна необходимая мощность, если процесс адиабатический? Исходные состояния газа одинаковы и соответствуют нормальным условиям.
4. При нагреве моля идеального газа на 1 K^0 при постоянном объеме, его давление увеличивается на 10 паскаль. При нагреве его на 1 K^0 при постоянном давлении, объем увеличивается на 1 Дм^3 . Найти исходные давление, объем и температуру газа.
5. Найти температуру кипения воды на вершине горы высотой 5 км. Теплота парообразования воды 540 кал/г , изменением температуры окружающего воздуха пренебречь.

Задачи для самостоятельного решения

1. Какое количество тепла отдает моль идеального, одноатомного газа при его изобарическом сжатии, если при этом совершена работа в 10 Дж?

Согласно условиям $\delta Q = -c_v dT - PdV = -c_v dT - A$, т.к. $P(V_2 - V_1) = A$, а $V = \frac{RT}{P}$ получаем что $A = R(T_2 - T_1)$. Отсюда $T_2 - T_1 = \frac{A}{R}$, тогда

$$\delta Q = -c_v \frac{A}{R} - A = -(c_v / c_p - c_v + 1) A = c_p A / R, \quad c_p = 5/2R, \text{ следовательно}$$

$$\delta Q = 50/2 = 25 \text{ Дж.}$$

2. Газ изобарически охлаждают от T_1 до T_2 , при этом совершают работу в 12 Дж. Найти количество тепла, отданное газом.

$$Q = c_v (T_2 - T_1) + P(V_2 - V_1) = c_v (T_2 - T_1) + R (T_2 - T_1) = -c_p A / R = -30 \text{ Дж.}$$

3. Идеальный газ первоначальным объемом в 2,2 литра сжали адиабатически, так, что его температура изменилась от 0 до 100 °C $c_p / c_v = 1,4$. Какая при этом совершена работа?

Так как процесс адиабатический вся работа пошла на увеличение внутренней энергии газа т.е $A = \nu c_v (T_2 - T_1) = 0,1 * 3/2 * 8,3 * 100 = 120 \text{ Дж.}$

4. Оцените степень сжатия в дизельном двигателе, если для самовоспламенения рабочей смеси требуется температура в 500 °C.

$$T_k = 500 + 273 \approx 800 \text{ OK. } T_H V_H^{\gamma-1} = T_K V_K^{\gamma-1}, \quad T_K / T_H = 800 / 273 \approx 3$$

$3 = (V_H / V_K)^{\gamma-1}$ следовательно $(V_H / V_K) = 32,5 = 15,5$. В реальных дизельных двигателях, для увеличения КПД степень сжатия доводят до 20-25, а для увеличения удельной мощности используют турбонаддув, повышая начальную плотность воздуха.

5. Два адиабатических сосуда одинакового объема V_0 наполнены одинаковыми массами идеального газа и находятся под давлением P_1 и P_2 соединяются трубкой. Найти изменение энтропии системы при переходе в равновесие

Отличие начальных давлений означает разную начальную температуру газа $T_1 = P_1 V_0 / \nu R$ и $T_2 = P_2 V_0 / \nu R$ т.к. $U_1 + U_2 = U_k$ $T_k = (T_2 + T_1)/2$. Изменив, равновесным образом температуру в сосудах от начальной до конечной и расширив объем каждого газа в два раза, найдем суммарное изменение энтропии

$$\Delta S = \Delta S_1 + \Delta S_2 = \sum \left(\int_{T_1}^{T_2} \frac{c dT}{T} + \int_{V_1}^{2V_1} \frac{PdV}{V} \right) = \nu C_v \ln((T_2 + T_1)/2 T_1 T_2) + 2\nu R \ln 2$$

6. Идеальный одноатомный газ, в количестве 10 молей, расширяется без подвода тепла необратимым образом совершая работу так, что температура изменяется от 300 OK до 200 OK. После этого газ квазистатически сжимается сначала изотермически, затем адиабатически и возвращают в исходное состояние. При изотермическом сжатии совершается работа 15 Дж. Найти изменение энтропии.

$$A = RT \ln V_2/V_1, \quad \Delta S = A/T_2 - \nu C_v (T_1 - T_2)/T_2 = 13 \text{ Дж.}$$

7. Из сосуда объемом V газ истекает в вакуум через малое отверстие площадью S . Как во времени нужно подводить тепло к газу, чтобы его температура оставалась неизменной? Как будет изменяться температура газа если сосуд адиабатически изолирован? Начальная плотность газа n_0 .

8. В центрифуге радиуса R , вращающейся с угловой скоростью ω , находится смесь двух газов с молекулярными весами μ_1 и μ_2 и количеством молекул N_1 и N_2 . Найти отношение плотностей газов у внешней стенки и на оси центрифуги. Сделать оценки для смесей U^{235} — U^{238} ; $R = 10$ см, $\omega = 10^4$ с $^{-1}$.

9. Одним из способов определения отношения теплоемкости при постоянном давлении c_p к теплоемкости при постоянном объеме c_v является следующий опыт. Из сосуда, в котором находится газ при комнатной температуре и под давлением P_1 , большим атмосферного P_0 , приоткрыв кран, выпускают газ, пока избыток давления не исчезнет. Затем кран закрывают и, после того как температура в сосуде вновь станет комнатной, измеряют давление в сосуде P_2 . Найдите по этим данным найти показатель адиабаты газа γ ?

10. Во сколько раз изменится средняя скорость молекул газа при его адиабатическом сжатии от V_1 до объема V_2 ?

Задачи для семинарских зан

1. Статистический вес одноатомного идеального газа, находящегося в герметичном баллоне, зависит от внутренней энергии в соответствии с формулой

$$\Omega = C \cdot U^{\frac{3}{2}N},$$

где C — некоторая постоянная, зависящая от объема и количества газа, N — число молекул газа, U — внутренняя энергия газа.

Вывести формулу для расчета энтропии газа.

Решение

Применив формулу (5.1), получаем

$$S = k \cdot \ln \Omega = \frac{3}{2} kN \cdot \ln U + k \ln C$$

2. Найти приращение энтропии воды массой $m = 0,1$ кг при нагревании ее от температуры $t_1 = 00$ С до температуры $t_2 = 1000$ С и последующем превращении воды в пар.

Решение

Найдем отдельно изменение энтропии воды при нагревании ΔS_1 и при превращении ее в пар ΔS_2 . При нагревании

$$\Delta S_1 = \int_{T_1}^{T_2} \frac{c_{y\partial} m \cdot dT}{T},$$

где теплоемкость c заменена произведением удельной теплоемкости суд и массы воды. Интегрируем

$$\Delta S_1 = c_{y\partial} m \cdot \ln \frac{T_2}{T_1}$$

и после вычислений получаем $\Delta S_1 = 131$ Дж/К.

При испарении воды температура остается постоянной. Поэтому, интегрируя формулу (5.3) при постоянной температуре, получим

$$\Delta S_2 = \frac{Q_{исп}}{T_2} = \frac{rm}{T_2},$$

где r — удельная теплота испарения воды. После вычислений получаем $\Delta S_2 = 606$ Дж/К, $\Delta S = \Delta S_1 + \Delta S_2 = 737$ Дж/К.

3. Определить изменение энтропии, если температура одного моля идеального газа увеличивается в $e \approx 2,7$ раз при:

- изобарическом,
- изохорическом,
- адиабатическом процессах.

Решение

Если первое начало термодинамики записать в виде $\delta Q = dU + P \cdot dV$ и заменить δQ , используя равенство (5.3), получим $T \cdot dS = dU + P \cdot dV$. Учтем, что изменение внутренней энергии одного моля идеального газа dU_M можно записать в виде $dU_M = C_V \cdot dT$ (формулы (3.5) и (3.6)), где c_V — мольная теплоемкость газа при постоянном объеме. Тогда $T \cdot dS = \nu \cdot C_V \cdot dT + P \cdot dV$.

а) При изобарическом процессе, используя уравнение Клапейрона – Менделеева $PV = \nu RT$, можно получить формулу $P \cdot dV = \nu R \cdot dT$. С учетом этого перепишем первое начало термодинамики

$$T \cdot dS = \nu \cdot C_V \cdot dT + \nu \cdot R \cdot dT \quad \text{или} \quad dS = \nu \cdot (C_V + R) \cdot \frac{dT}{T} = \nu \cdot C_P \cdot \frac{dT}{T}.$$

После интегрирования последней формулы получаем

$$\Delta S = \nu \cdot C_P \ln \frac{T_2}{T_1} = \nu C_P \ln e = \nu \cdot C_P$$

б) При изохорическом процессе $dV=0$. Тогда $T \cdot dS = \nu \cdot C_V \cdot dT$ или $dS = \nu \cdot C_V \frac{dT}{T}$. После интегрирования этой формулы получаем

$$\Delta S = \nu \cdot C_V \ln \frac{T_2}{T_1} = \nu \cdot C_V \ln e = \nu \cdot C_V$$

в) При адиабатическом процессе $\delta Q = 0$ и, в соответствии с (5.3), $\Delta S = 0$.

4. Рабочее вещество тепловой машины совершает цикл, в пределах которого абсолютная температура изменяется в два раза, а сам цикл в координатах T – S имеет вид, показанный на рисунке 5.1. Найти коэффициент полезного действия η цикла.

Решение

$$\eta = \frac{A_{\text{полезн}}}{Q_{\text{получ}}} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1},$$

По определению , где Q_1 —

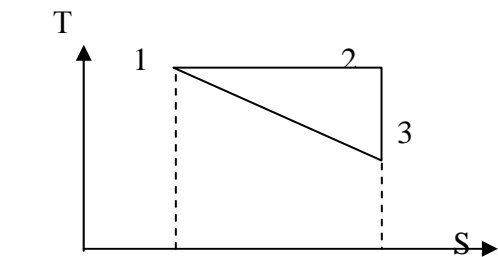


Рис. 5.1.

количество теплоты, получаемое тепловой машиной за цикл, и Q_2 количество теплоты,

отдаваемое за цикл холодильнику. Используем формулу (5.4), т.е. $Q = \int T \cdot dS$. Учтем, что на диаграмме величина интеграла соответствует площади криволинейной трапеции под линией процесса. Интегрирование можно разбить на три участка 1-2, 2-3 и 3-1. На участке 1-

2 $dS > 0$. Тогда $Q_{1-2} = T_1 \int dS = T_1 \Delta S_{1-2} > 0$ (машина получает количество теплоты). На участке 2-3 $dS = 0$ (теплообмена нет). На участке 3-1 $dS < 0$. Тогда

$Q_{3-1} = \int T dS = \frac{T_1 + T_3}{2} \Delta S_{3-1} < 0$ (машина отдает количество теплоты холодильнику). Учтем, что $T_1 = 2T_3$ и $\Delta S_{1-2} = -\Delta S_{3-1} = -\Delta S$. Тогда

$$\eta = \frac{T_1 \Delta S - \frac{3}{4} T_1 \Delta S}{T_1 \Delta S} = 0,25$$

5. Идеализированный цикл бензинового двигателя внутреннего сгорания изображен на P–V диаграмме (рис. 5.2). Участок 1-2 — соответствует адиабатическому сжатию горючей смеси; участок 2-3 — изохорическому увеличению давления при сгорании топлива; участок 3-4 — адиабатическому расширению газообразных продуктов сгорания топлива «рабочий ход»; участок 4-1 — изохорическому выхлопу отработавших газов. Выразить КПД двигателя через

степень сжатия газа $k = \frac{V_1}{V_2}$. Сделать расчет для $k = 7$ при показателе адиабаты $\gamma = 1,4$.

Решение

$$\eta = \frac{A_{\text{полезн}}}{Q_{\text{получ}}}$$

По определению

Проанализируем процессы с точки зрения теплообмена и совершения работы:
1-2 — адиабатический процесс с уменьшением объема $Q_{1-2} = 0$, $A_{1-2} < 0$ — работа совершается внешними силами при сжатии газа

$$A_{1-2} = \int_{V_1}^{V_2} P \cdot dV < 0.$$

Для расчета интеграла используем уравнение

адиабаты $PV^\gamma = P_2V_2^\gamma$.

Тогда $P = P_2V_2^\gamma \cdot \frac{1}{V^\gamma}$ и, после преобразования подынтегрального выражения, получим

$$A_{1-2} = P_2V_2^\gamma \int_{V_1}^{V_2} \frac{1}{V^\gamma} \cdot dV = \frac{P_2V_2^\gamma}{1-\gamma} \left[\frac{1}{V_2^{\gamma-1}} - \frac{1}{V_1^{\gamma-1}} \right] =$$

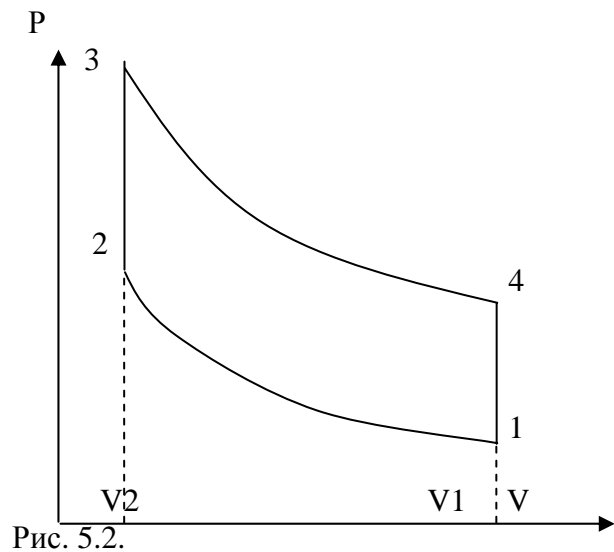


Рис. 5.2.

$$= \frac{P_2 V_2}{\gamma - 1} \left[\left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{\gamma - 1} - 1 \right] = \frac{P_2 V_2}{\gamma - 1} \left[\left(\frac{1}{k} \right)^{\gamma - 1} - 1 \right] < 0.$$

2-3 — изохорический процесс. В этом случае работа $A_{2-3} = 0$. Увеличение давления связано с увеличением температуры. Следовательно, внутренняя энергия газа увеличивается за счет получаемого при сгорании топлива количества теплоты

$$Q_{2-3} = \nu C_V (T_3 - T_2) = \nu C_V \left(\frac{P_3 V_2}{\nu R} - \frac{P_2 V_2}{\nu R} \right) = \frac{C_V V_2}{R} (P_3 - P_2) > 0.$$

3-4 — процесс аналогичен процессу 1-2, но идет в противоположном направлении. Поэтому $Q_{3-4} = 0$, и работа $A_{3-4} > 0$:

$$A_{3-4} = -\frac{P_3 V_2}{\gamma - 1} \left[\left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{\gamma - 1} - 1 \right] = \frac{P_3 V_2}{\gamma - 1} \left[1 - \left(\frac{1}{k} \right)^{\gamma - 1} \right].$$

4-1 — процесс аналогичен процессу 2-3. Работа $A_{4-1} = 0$, температура и внутренняя энергия газа уменьшаются за счет «сбрасывания» количества теплоты в атмосферу

$$Q_{4-1} < 0.$$

Используя полученные результаты, можно найти коэффициент полезного действия. При этом необходимо учесть, что полезной (результатирующей) работой является величина $A_{3-4} + A_{1-2}$, где $A_{1-2} < 0$.

$$\eta = \frac{A_{\text{полезн}}}{Q_{\text{получ}}} = \frac{A_{3-4} + A_{1-2}}{Q_{2-3}} = \frac{\frac{V_2 (P_3 - P_2)}{\gamma - 1} \left(1 - \frac{1}{k^{\gamma - 1}} \right)}{\frac{c_V V_2}{R} (P_3 - P_2)}$$

$$\frac{R}{C_V} = \frac{C_P - C_V}{C_V} = \gamma - 1$$

Учтем, что . Тогда

$$\eta = 1 - \frac{1}{k^{\gamma - 1}} = 1 - \frac{1}{7^{0,4}} \approx 0,54 \quad \text{или } \eta \approx 54\%.$$

Замечание: реальный КПД бензиновых двигателей гораздо меньше, так как в расчетах не учтены силы трения, теплообмен со стенками цилиндров и другие факторы.

6. Найти КПД тепловой машины, работающей по циклу Карно, если при адиабатическом расширении рабочей смеси давление уменьшается в 2 раза. Постоянная адиабаты $\gamma = 1,5$.
Решение

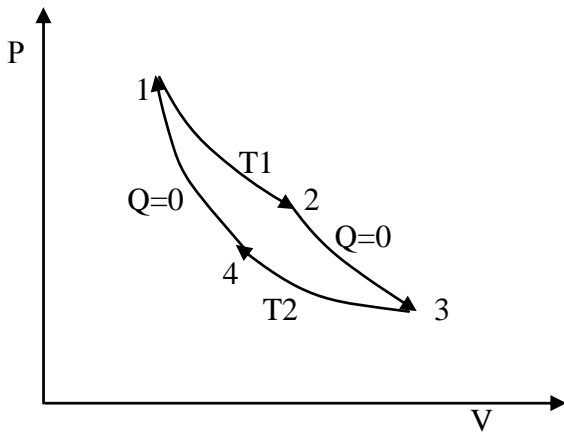


Рис. 5.3.

Цикл Карно состоит из двух адиабат и двух изотерм (рис. 5.3). Его КПД

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}.$$

Для определения отношения минимальной T_2 и максимальной T_1 температур в цикле можно использовать

$$PV^\gamma = \text{Const}.$$

Воспользовавшись уравнением Клапейрона-Менделеева, его можно преобразовать к виду

$$P^{-\frac{1-\gamma}{\gamma}} T = \text{Const}.$$

Тогда для участка 2-3 $P_2^{-\frac{1-\gamma}{\gamma}} T_1 = P_3^{-\frac{1-\gamma}{\gamma}} T_2$ или

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_3} \right)^{\frac{1-\gamma}{\gamma}}.$$

$$\frac{P_2}{P_3} = 2$$

По условию задачи $\frac{P_2}{P_3} = 2$. С учетом этого рассчитаем значение КПД

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1} = 1 - 2^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} = 1 - 2^{-\frac{1}{3}} \approx 0,21.$$

Второе начало термодинамики

Мерой вероятности осуществления какого либо макроскопического состояния системы при заданных внешних условиях является энтропия S , которая в статистической физике определяется как

$$S = k \cdot \ln \Omega, \quad (5.1)$$

где Ω — статистический вес состояния или число микросостояний, посредством которых может быть реализовано данное макросостояние.

Статистический вес и энтропию системы, состоящей из N подсистем, определяют по формулам

$$\Omega = \Omega_1 \cdot \Omega_2 \cdot \dots \cdot \Omega_N, \quad S = S_1 + S_2 + \dots + S_N. \quad (5.2)$$

Согласно одной из формулировок второго начала термодинамики энтропия изолированной термодинамической системы может только возрастать или оставаться постоянной после достижения максимума.

В термодинамике энтропия была введена на основе другой формулировки второго начала, которую Р. Клаузиус дал в виде неравенства

$$dS \geq \frac{\delta Q}{T}, \quad (5.3)$$

где знак равенства справедлив для равновесных (обратимых) процессов.

Следствием этого определения являются полезные при решении задач формулы

$$Q = \int_1^2 T \cdot dS \quad \text{и} \quad \Delta S = \int_1^2 \frac{C \cdot dT}{T}, \quad (5.4)$$

где учтена связь $\delta Q = C \cdot dT$, C — теплоемкость системы.

Формулы (5.4) позволяют рассчитать теплообмен и изменение энтропии при различных процессах, в том числе происходящих в тепловых машинах. Определив количество теплоты, получаемое тепловой машиной за цикл от нагревателя Q_1 , и количество теплоты, отдаваемое за цикл холодильнику Q_2 можно рассчитать коэффициент полезного действия η (КПД) тепловой машины

$$\eta = \frac{A_{\text{полезн}}}{Q_{\text{получ}}} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}. \quad (5.5)$$

В реальных тепловых машинах КПД ограничен неравенством Карно

$$\eta \leq 1 - \frac{T_2}{T_1}, \quad (5.6)$$

где T_2 и T_1 — соответственно минимальная и максимальная температура рабочего вещества за цикл. Равенство в формуле (5.6) достигается только в цикле Карно (обратимом цикле, состоящем из двух изотермических и двух адиабатических процессов).

Задачи по данной теме подразделяются на три группы:

- задачи на расчет изменения энтропии ΔS или статистического веса Ω с использованием формул (5.1) и (5.2);
- задачи на расчет Q или ΔS в процессах с использованием формул (5.4) или (2.1), (2.2), (2.4) и (2.7);
- задачи на расчет КПД тепловых машин (термодинамических циклов) с использованием формул (5.5), (5.6), (2.1), (2.2), (2.4) и (2.7).

Разность молярных теплоемкостей C_p и C_V определяется по уравнению Майера

$$C_p - C_V = R. \quad (2.3)$$

Внутренняя энергия моля идеального газа U_M равна сумме энергий отдельных молекул. Тогда

$$U_M = \frac{i}{2} kT \cdot N_A = \frac{i}{2} RT, \quad \text{где учтено, что } kN_A = R. \quad (3.5)$$

Для идеального газа из формулы (2.7) следует, что $c_V = \left(\frac{dU_M}{dT} \right)_V$. Тогда из (3.5), (2.3) и (2.6) получаем

$$c_V = \frac{i}{2} R; \quad c_p = \frac{i+2}{2} R; \quad \gamma = \frac{i+2}{i}. \quad (3.6)$$

Список основной и дополнительной литературы

1. Конспект лекций (в разработке)
2. Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М. *Фейнмановские лекции по физике*, т.1-5. М.: Мир, 1977.
3. Астахов А.В. *Курс физики*, т.2. М.: Наука, 1977.

4. Сивухин Д.В. *Общий курс физики*, т.2. М.: Наука, 1974.
5. Ландау Л.Д., Ахиейзер А.И., Е.М. Лифшиц. Курс общей физики.
6. И.А. Квасников Молекулярная физика МГУ, Эдиториал УРСС, 1998г.
7. Замураев В. П., Калинина А. П. Задачи по термодинамике и молекулярной физике. Новосибирск: Изд. НГУ, 2003.
8. Замураев В. П., Калинина А. П. Задачи с решениями по термодинамике и молекулярной физике. Новосибирск: Изд. НГУ, 2008.

модуль «Электростатика и магнитостатика»

Структура и содержание модуля «Электростатика и магнитостатика»

№ п/п	Раздел дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра) Форма промежуточной аттестации (по семестрам)			
				Лек- ции,	Прак- тическ ие заняти я,	Самос- тоятельная работа сту- дента семестровых домашних заданий),	В начале каждого очередного занятия проверка задач, заданных на дом
1	Закон Кулона. Электрическое поле. Напряженность и потенциал электрического поля.	3	11	2	2		
2	Теорема Гаусса, расчет напряженности и потенциала электрического поля в простейших случаях.	10	12	2	2	1	
3	Электрическая емкость, конденсатор. Электрическое поле в среде, диэлектрическая проницаемость. Энергия электрического поля.	11	13	2	2	1	
4	Магнитное поле.	3	14	2	2		

	Сила Лоренца. Закон Био–Савара. Магнитное поле прямого тока.						
5	Теорема о циркуляции. Движение заряда в электрическом и магнитном полях.	3	15	2	2	1	
6	Магнитное поле в веществе. Напряженность магнитного поля и магнитная проницаемость. Классификация магнетиков. Постоянные магниты.	3	16	2	2	1	
				10 час	10 час	4 час	

Краткое содержание лекций

Электростатика. Зл. 2сем.

1. Закон Кулона. Электрическое поле. Напряженность и потенциал электрического поля.
2. Теорема Гаусса в интегральной и дифференциальной форме, расчет напряженности и потенциала электрического поля в простейших случаях.
3. Электрическая емкость, конденсатор. Электрическое поле в среде, диэлектрическая проницаемость. Напряженность электрического поля E и индукция электрического поля D , их связь в простейших случаях. Расчет емкости конденсаторов простой геометрии.
4. Энергия электрического поля.
5. Емкость в цепи переменного тока, переходные процессы в RC цепях

Магнитостатика. Зл. 3 сем

6. Магнитное поле. Сила Лоренца. Закон Био–Савара. Магнитное поле прямого тока. Теорема о циркуляции.
7. Движение заряда в электрическом и магнитном полях.
8. Электрический ток, закон Ома в дифференциальной и интегральной форме. Уравнение непрерывности. Линейные и нелинейные проводники. Дифференциальное сопротивление.
9. Магнитное поле в веществе. Ферромагнетики, диамагнетики, парамагнетики. Напряженность магнитного поля и магнитная проницаемость.
10. Расчет простейших магнитных цепей. Постоянные магниты. Петля гистерезиса, коэрцитивная сила, остаточная намагниченность

Примеры заданий по модулю «Электростатика и магнитостатика»

Задачи по модулю электростатика.

Семинары

1. Три одинаковых частицы имеют массу m и заряд $-q$ каждая. Расстояние между каждой парой a . Они движутся на неизменном расстоянии вокруг центральной частицы, заряд которой равен $+q$. При какой скорости частиц система находится в равновесии? Какова энергия полной «ионизации» системы?
2. Две одинаковые заряженные однородно палочки образуют две стороны равностороннего треугольника. Напряженность поля в центре треугольника E_0 потенциал φ_0 . Чему будут равны эти величины, если убрать одну из палочек?
3. Найти напряженность поля внутри и вне заряженной металлической сферы. Заряд сферы q радиус R .
4. Сфера радиуса R_1 расположена концентрично внутри сферы радиуса R_2 . Сферы имеют заряды q_1 и q_2 соответственно. Найти напряженность и потенциал результирующего электрического поля во всем пространстве. Как изменится результат если сферы соединить проводящей перемычкой?
5. На расстоянии l от центра металлической сферы радиуса a расположен точечный заряд q . Найти потенциал сферы.
6. Какую массу должен иметь протон для того, чтобы сила электрического отталкивания уравновешивалась силой гравитационного взаимодействия.
7. Найти потенциал и электрическое поле внутри и снаружи равномерно заряженного объемной плотностью ρ шара радиуса a .
8. Найти электрическое поле и потенциал, создаваемые плоскостью, равномерно заряженной, с поверхностной плотностью σ . То же для нити, равномерно заряженной с линейной плотностью k .
9. Полубесконечная нить заряжена с линейной плотностью k найти поле E на расстоянии a от торца нити.
10. Найти поле диполя состоящего из зарядов q и $-q$, находящихся на расстоянии L друг от друга. Определить форму поверхности нулевого потенциала если заряды разные по величине
11. Найти напряженность электрического поля и потенциал на оси кольца, создаваемые заряженным тонким кольцом радиуса R , с зарядом q . На каком расстоянии от центра кольца будет наблюдаться максимальная напряженность и максимальный потенциал.
12. Найти напряженность поля и потенциал внутри сферы заряженной по поверхности с плотностью заряда $\sigma = \sigma_0 \cos \alpha$
13. Рассчитать емкость плоского конденсатора заданной геометрии, а также энергию электрического поля в таком конденсаторе, заряженного до напряжения U .
14. Найти энергию, которую тратит источник с напряжением $U = 100$ в для зарядки конденсатора емкостью 100 мкФ.
15. Почему емкость конденсатора возрастает при заполнении его диэлектриком.
16. Оценить электрическую емкость человека. Тоже для Земли.
17. Рассчитать погонную емкость двухпроводной линии, если расстояние между проводами равно d , а радиус проводов r .
18. Найти емкость конденсатора образованного конденсаторами C_1 и C_2 соединенными:
а) последовательно, в) параллельно.
10. Найти емкость плоского конденсатора после заполнения его на половину расстояния между пластинами диэлектриком с проницаемостью ϵ . Емкость конденсатора до заполнения диэлектриком C_0 . Тоже если мы заполним полностью пространство между пластинами диэлектриком половину площади конденсатора.

11. Сфера радиуса $R_1 = 5\text{см}$ расположена концентрично внутри сферы радиуса $R_2 = 10\text{см}$. Сферы имеют потенциалы $\varphi_1 = 100\text{В}$ и $\varphi_2 = 50\text{В}$. Как изменятся потенциалы сфер после соединения их перемычкой.

Задания

1. Заряды $-q_1$ и q_2 закреплены в точках А и В, $|AB| = a$. Частица массы m с зарядом q летит вдоль прямой АВ. Какую скорость v должна иметь эта частица на большом расстоянии от зарядов, чтобы достичь точки А?
2. Внутри шара радиуса R , равномерно заряженного по объему с плотностью ρ , имеется незаряженная шарообразная полость, радиус которой R_1 , а центр отстоит от центра шара на расстояние a ($a + R_1 < R$). Найти электрическое поле \mathbf{E} в полости.
3. Отрезок коаксиального кабеля длиной l с радиусами внутренней и внешней обмотки a и b , соответственно, заполнен изолятором с диэлектрической проницаемостью ϵ . Найти а) электрическую ёмкость этого отрезка, измеренную на нулевой частоте, б) энергию электрического поля, сосредоточенного в этом отрезке кабеля, соединенного с источником постоянного напряжения U .
4. Конденсатор состоящий из двух прямоугольных пластин, площадью S заряжен зарядом q . Найти силу притяжения между пластинами.
5. Оценить соотношение сил гравитационного и электромагнитного взаимодействия электрона и протона в атоме водорода.
6. С какой силой притягивается заряд величиной q к проводящей плоскости находящейся на расстоянии h от плоскости.
7. Оценить величину заряда Земли если напряженность электрического поля на поверхности в среднем равна 130 В/м

Задачи по модулю магнитостатика.

Семинары

1. Найти магнитное поле на расстоянии r от бесконечного прямого тока I .
2. Найти силу взаимодействия на единицу длины двух параллельных бесконечных прямых проводов, по которым текут токи I_1 и I_2 .
3. Найти магнитное поле прямого провода упирающегося перпендикулярно в проводящую плоскость.
4. Найти магнитное поле витка с током I на оси этого витка на различных расстояниях от его центра.
5. Найти поле соленоида представляющего цилиндрическую катушку с числом витков N и длиной L . Найти поле на оси у торца соленоида.
6. На границе раздела двух сред с магнитной проницаемостью μ_1 и μ_2 по проводу течет ток величиной I . Найти величину напряженности магнитного поля \mathbf{H} и индукцию магнитного поля \mathbf{B} на расстоянии r от провода.
7. Найти поле в небольшом зазоре d электромагнита, если длина сердечника L , сечение S . По обмотке с числом витков N течет ток I
8. Описать движение точечного заряда q в постоянном однородном магнитном поле \mathbf{H} .
9. Найти магнитное поле внутри бесконечного соленоида радиуса a с плотностью намотки n , по которой течет ток I . Найти энергию магнитного поля, заключенную в единице длины соленоида.

Задания

1. По проводу заземления, вертикально воткнутому в землю, течет ток I . Найти магнитное поле во всем пространстве.

2. Электромагнит длиной l с сердечником проницаемостью μ радиуса a ($a \ll l$) состоит из N витков провода, по которому течет ток I . Найти магнитное поле а) у торца катушки, б) на расстоянии r от торца таком, что $a \ll r \ll l$.
3. По проводу протекает ток I , во сколько раз изменятся B и H , если провод положить на бесконечное полупространство с магнитной проницаемостью $\mu = 100$.
4. На тороидальный сердечник имеющий в сечении прямоугольную форму высотой h . внутренний радиус R_1 внешний R_2 намотана обмотка с количеством витков N . Магнитная проницаемость сердечника μ . Найти индукцию магнитного поля B при протекании через обмотку тока I .
5. Прямой провод проходит перпендикулярно через границу раздела двух полубесконечных сред с магнитными проницаемостями μ_1 и μ_2 . Найти B и H в обеих средах.
6. Найти напряжение на датчике Холла через который течет ток I , помещенного в магнитное поле B , если концентрация носителей n , а поперечные размеры $h \times d$.

Список основной и дополнительной литературы

1. Сивухин Д.В. *Общий курс физики*, Электричество. М.: Наука, 1974.
2. Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М. *Фейнмановские лекции по физике*, т.6. Электродинамика. М.: Мир, 1977.
3. Астахов А.В., Широков Ю.М. *Курс физики*, II. Электромагнитное поле. М.: Наука, 1980.
4. Яковлев В. И. Классическая электродинамика. Новосибирск: НГУ, 2003, Ч. 1.
5. Меледин Г.В., Черкасский В.С., Электродинамика в задачах. Новосибирск: НГУ, 2003. Ч 1.

4 семестр

Модули «Электродинамика», «Оптика», «Квантовая физика» объединены в семестровый курс, читаемый в 4-м семестре в объеме 32 лекции, 32 семинара и 44 часа самостоятельной работы. В течение семестра выполняются 2 контрольные работы, принимается коллоквиум и 2 задания. Итоговая аттестация – экзамен. В данном разделе каждый пункт модуля рассчитан на освоение в течение 1 лекции, одного семинара и самостоятельной работы в объеме 44 часа.

Общая трудоемкость дисциплины в 4 семестре составляет 3 зачетных единиц, 108 часов.

Если предыдущие модули данного УМК имели в основном общеобразовательный характер, и являются базой для дальнейшего изучения физики, то модули 4го семестра имеют непосредственное отношение к будущей профессиональной деятельности выпускников ФИТ. Технологии используемые в современных информационных устройствах непосредственно используют законы и явления рассматриваемые в модулях «Электродинамика», «Оптика», «Квантовая физика». Невозможно в полном объеме дать полную картину всего богатства законов и явлений этих разделов в семестровом курсе. Поэтому авторы выбрали наиболее важные с их точки зрения разделы и предполагают, что более детальное рассмотрение прикладных аспектов будет дано в курсе «Физические основы информатики». Своей задачей в рамках этих модулей авторы считали усвоение студентами основных фундаментальных законов и получение ими базовых знаний и навыков для более детального знакомства, при необходимости, с использованием монографий и научной литературы по данной проблематике. С другой стороны успешное усвоение материала данных модулей позволит выпускникам грамотно применять и знать физические ограничения тех или иных устройств и технологий, применяемых в информатике. Даже для

«чистых» программистов полученные знания позволят грамотно формулировать технические задания на программные комплексы и также эффективно их затем реализовывать.

Модуль «Электродинамика»

Структура и содержание модуля «Электродинамика»

№ п/п	Раздел дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра) Форма промежуточной аттестации (по семестрам)			
				Лек- ции,	Прак- тическ ие заняти я,	Самос- тоятельная работа сту- дента семестровых домашних заданий),	В начале каждого очередного занятия проверка задач, заданных на дом
1	Явление электромагнитной индукции. Примеры основных устройств, работа которых основана на этом явлении.	4	1	2	2	4	
2	Цепи переменного тока. Колебательный контур. Добротность.	4	2	2	2	4	
3	Квазистационарные явления. Скин-эффект.	4	3	2	2	4	
4	Электромагнитная волна. Основные характеристики плоской электромагнитной волны.	4	4	2	2	4	
5	Распространение электромагнитных волн в волноводах.	4	5	2	2	4	
				10час	10час	20 час	

Краткое содержание лекций

Явление электромагнитной индукции. 2л. 2 сем

1. Электромагнитная индукция. Самоиндукция. Индуктивность соленоида. Энергия магнитного поля. Трансформатор. Генератор. Электромотор.
2. Цепи переменного тока, комплексное сопротивление. Колебательный контур, состоящий из C , L , R элементов. Понятие добротности, эквивалентность различных определений этого понятия.

Квазистационарные явления. Электромагнитные волны. 2л. 2 сем

3. Ток смещения. Уравнения Максвелла в интегральной форме. Скин-эффект.
4. Электромагнитные волны. Волновое уравнение. Плоская электромагнитная волна (амплитуда, частота, волновой вектор, фаза, поляризация, фазовая скорость). Распространение волн в односвязных и многосвязных волноводах (кабелях).

Задачи по модулю электродинамика.

Семинары

1. Коаксиальный кабель состоит из двух цилиндрических оболочек радиусами a и b , пространство между которыми заполнено средой с магнитной проницаемостью μ . Найти коэффициент самоиндукции на единицу длины кабеля.
2. На один сердечник намотаны две катушки с самоиндукциями $L_1 = 0,5$ Гн и $L_2 = 0,7$ Гн. Чему равен коэффициент взаимной индукции. Рассеяния магнитного поля нет.
3. Плоский контур, ограничивающий площадь S , вращается с угловой скоростью ω в однородном магнитном поле вокруг оси, лежащей в плоскости контура и перпендикулярной к полю. Индукция поля равна B . Определить эдс индукции в этом контуре.
4. Показать, что в прямоугольном волноводе с идеально проводящими стенками не могут распространяться чисто поперечные волны.

Задания

1. Самоиндукция плоского контура в воздухе ($\mu = 1$) равно L . Найти самоиндукцию этого контура, если его положить на плоскую границу полупространства, заполненного магнетиком с проницаемостью μ .
2. Стержень OA длиной l вращается с угловой скоростью ω вокруг точки O в плоскости, перпендикулярной однородному магнитному полю B . Найти эдс индукции между точками O и A (униполярный генератор).
3. На схему подаются периодические прямоугольные импульсы напряжения. Длительность импульсов τ , период повторения импульсов T (см. рисунок). В течение периода напряжение на конденсаторе изменяется очень мало. Найти установившееся через много периодов напряжение на конденсаторе.

Модуль «Оптика».

Структура и содержание модуля «Оптика»

№ п/п	Раздел дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра) Форма промежуточной аттестации (по семестрам)			
				Лек- ции,	Прак- тические занятия,	Самос- тоятельная работа сту- сдача семестровых домашних заданий),	В начале каждого очередного занятия проверка задач, заданных на дом
1	Законы геометрической оптики. Ход лучей в оптических приборах.	4	6	2	2	2	
2	Отклонения от геометрической оптики. Интерференция световых волн.	4	7	2	2	2	
3	Дифракция света. Дифракционные решетки. Голография.	4	8	2	2	2	
4	Излучение электромагнитных волн.	4	9	2	2	2	
5	Рассеяние света.	4	10	2	2	2	
				10ча с	10час	20 час	

Краткое содержание лекций

Геометрическая оптика. Интерференция. Дифракция. 3л. 3 сем

1. Геометрическая оптика. Закон отражения и преломления. Полное внутреннее отражение. Плоская линза. Ход лучей в микроскопе и телескопе.
2. Интерференция света. Опыт Юнга. Интерференция в тонких пленках. Дифракция. Принцип Гюйгенса–Френеля.
3. Дифракция Френеля. Зонная пластинка. Дифракция Фраунгофера. Ограничения оптических приборов. Дифракционные решетки. Понятие о голографии.

Излучение и рассеяние света. 2л. 2 сем

4. Излучение электромагнитных волн. Антенны. Фазированные решетки, диаграмма направленности.
5. Рассеяние электромагнитных волн. Рассеяние волн в кристаллах. Использование оптических технологий в информатике

Задачи по модулю оптика.

Семинары.

1. Вывести граничные условия для полей электромагнитной волны. Используя их, получить законы отражения и преломления, а также доказать равенство частот в отраженной и преломленной волнах.
2. С помощью принципа Ферма найти: а) закон преломления света на плоской границе двух однородных сред с показателями преломления n_1 и n_2 ; б) фокусное расстояние тонкой линзы с радиусами кривизны поверхностей R_1 и R_2 с показателем преломления n и сферического зеркала радиуса R .
3. В схеме опыта Юнга найти распределение интенсивности на экране.
4. Под углом α на стеклянную пластинку толщиной d с показателем преломления n падает плоская волна (длина волны λ). Найти условия образования интерференционных максимумов и минимумов отраженного света.
5. Оценить диаметр отверстия камеры-обскуры длиной L , при котором изображение получится самым резким (длина волны λ).
6. Найти угловое распределение интенсивности при нормальном падении света на решетку из N щелей с периодом d . Ширина щели a .
7. Найти: а) угловое распределение интенсивности излучения от диполя; б) полное излучение dE/dt от дипольного излучателя.
8. Определить эффективное сечение рассеяния свободным зарядом линейно-поляризованной электромагнитной волны.
9. Линейно поляризованная волна падает на изотропный гармонический осциллятор. Скорость электрона $v \ll c$. Найти дифференциальное $d\sigma/d\Omega$ и полное σ сечение рассеяния волны с учетом силы лучистого трения.

Задания.

10. Предмет находится на двойном фокусном расстоянии от линзы с показателем преломления $n_0 = 1,504$ (оптическое стекло крон). Как изменится положение и размер изображения, если пространство между предметом и линзой залить бензолом ($n_1 = 1,501$)? Линза симметричная, двояковыпуклая, углы малы.
11. Определить показатель преломления стекла, если интерференционные полосы в схеме Юнга смещаются на величину x при помещении стеклянной пластинки толщиной h перед одной из щелей установки, расстояние между щелями d .
12. Оценить минимальный размер объекта на Земле, который можно разглядеть на фотографии, полученной со спутника. Предполагается, что Вы хорошо представляете явление, можете сами задать необходимые для оценки величины и получить численный результат.
13. а) Построить полярную диаграмму направленности для излучения диполя в плоскости, проходящей через ось диполя, и в плоскости, перпендикулярной оси. б) Нарисовать качественно вид полярной диаграммы направленности для антенны, состоящей из двух полуволновых вибраторов, параллельных друг другу, если расстояние между ними: 1) $a = \lambda/2$, токи совпадают по фазе; 2) $a = \lambda/2$, токи в противофазе; 3) $a = \lambda$, токи в противофазе; 4) $a = \lambda/4$, токи сдвинуты по фазе на $\pi/2$.
14. Плоская монохроматическая волна с круговой поляризацией и длиной волны λ рассеивается на двух электронах, находящихся на расстоянии $\lambda/4$ друг от друга. Волна

идет вдоль линии, соединяющей электроны. Найти поляризацию и отношение интенсивностей в продольном и поперечном направлениях.

Модуль «Квантовая физика»

Структура и содержание модуля «Квантовая физика»

№ п/п	Раздел дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра) Форма промежуточной аттестации (по семестрам)			
				Лекции,	Практические занятия,	Самостоятельная работа студента (семинары, домашние задания),	В начале каждого занятия проверка задач, заданных на дом
1	Соотношение неопределенностей. Волновая функция.	4	11	2	2	4	
2	Квантование. Уровни энергии в ограничивающем потенциале.	4	12	2	2	4	
3	Спин. Тожественность частиц.	4	13	2	2	4	
4	Электроны и дырки в полупроводниках.	4	14	2	2	4	
5	Полупроводниковые наноструктуры. Размерное квантование.	4	15-16	4	4	8	
				12час	12час	24час	

Краткое содержание лекций

Основные понятия квантовой механики. Зл. 3 сем

1. Соотношение неопределенностей Гейзенберга. Характерный размер атома, энергия основного состояния. Понятие волновой функции. Уравнение Шредингера.
2. Уровни энергии в яме с бесконечными стенками. Уровни энергии в гармоническом осцилляторе и атоме водорода.

3. Тождественность частиц. Понятие о спине. Ферми и Бозе частицы. Лазер.

Квантовые явления в полупроводниках. 2л. 2 сем

4. Фазовый объем. Электроны и дырки в полупроводниках. Вырожденный электронный газ. Запрещенная зона и зона проводимости
5. P- N переход, полупроводниковый диод. P- N- P структуры, полупроводниковые транзисторы. Приборы с изолированным затвором, полевые транзисторы.
6. Квантовая физика полупроводниковых наноструктур. Перспективы применения.

Задачи по модулю квантовая физика.

Семинары.

1. Пользуясь соотношением неопределенностей оценить энергию основного состояния атома водорода.
2. Найти уровни энергии электрона в одномерной потенциальной яме с бесконечными стенками шириной a .
3. Найти уровни энергии электрона в одномерном гармоническом потенциале.
4. Показать, что в легированном полупроводнике концентрация электронов n и дырок p удовлетворяют уравнению $np = n_i^2$, где n_i — собственная концентрация носителей в полупроводнике.
5. Поверхностная концентрация электронов в вырожденном двумерном электронном газе равна n . Найти волновой вектор k_F электрона на поверхности Ферми.

Задания.

6. Пользуясь соотношением неопределенностей оценить характерный размер атома водорода.
7. Найти плотность состояний в вырожденном электронном газе для а) трехмерного и б) двумерного случая.
8. Вырожденный двумерный электронный газ разделен так, что два «ферми-моря», к которым присоединены контакты, соединены коротким перешейком ширины W . Длина перешейка много меньше длины свободного пробега электрона. Показать, что кондактанс G такой наноструктуры (кондактанс — величина, обратная полному сопротивлению: $G = 1/R$) как функция ширины W квантуется с периодом $\Delta G = \frac{2e^2}{h}$, где e — заряд электрона, h — постоянная Планка.

Список основной и дополнительной литературы

1. Сивухин Д.В. *Общий курс физики*, Оптика. М.: Наука, 1974.
2. Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М. *Фейнмановские лекции по физике*, т.3. Излучение. Волны. Кванты. М.: Мир, 1977.
3. Астахов А.В., Широков Ю.М. *Курс физики*, II. Электромагнитное поле. М.: Наука, 1980.
4. Ландсберг Г.С. Оптика. М.: Физматлит, 2003.
5. Яковлев В. И. Классическая электродинамика. Новосибирск: НГУ, 2009, Ч. 2.
6. Меледин Г.В., Черкасский В.С. Электродинамика в задачах. Новосибирск: НГУ, 2005. Ч 2.
7. Зелевинский В.Г. Лекции по квантовой механике. Новосибирск: СУИ, 2002
8. Сербо В.Г., Хрипович И.Б. Квантовая механика. Новосибирск: НГУ, 2000.
9. Абрикосов А.А. Основы теории металлов. М.: Наука, 1987.

