

ПРОГРАММА

И

ЗАДАЧИ

ПО

ФИЗИКЕ

ММФ НГУ

3-ий курс

www.phys.nsu.ru

**МИНИСТЕРСТВО
ОБЩЕГО И ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

Механико-математический факультет

Кафедра общей физики

www.phys.nsu.ru

**Программа и задачи
по физике
для студентов 3-го курса
механико-математического факультета.
часть 2**

**Новосибирск
2004**

www.phys.nsu.ru

Пособие содержит вторую часть программы годовичного курса общей физики, читаемого на механико-математическом факультете НГУ для студентов 2-3 курсов, и типичные задачи, рекомендуемые для решения на семинарских занятиях («Основные задачи») и при выполнении контрольных заданий («Дополнительные задачи»).

Объем пособия ограничен разумным для решения количеством задач, исходя из учебного плана – один семинар в неделю и два контрольных задания в семестр.

Пособие предназначено для студентов 3-го курса ММФ НГУ.

www.phys.nsu.ru
**Составители – А.А.Васильев
А.П.Ершов**

Печатается по решению кафедры общей физики НГУ

© Интернет версия подготовлена для сервера Физического факультета НГУ
<http://www.phys.nsu.ru>

© Новосибирский государственный университет, 2004

ПРОГРАММА ПО ФИЗИКЕ
механико-математический факультет НГУ
2-3-ий курс

1 семестр

ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ПОЛЕ.
ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ.

ПРЕДМЕТ ФИЗИКИ ([2], т.1, гл.1-5,10,12-17; [2], т.5, гл.12)

1. Частицы. Поля. Волны. Фундаментальные взаимодействия. Состояния вещества.
2. Пространство и время. Законы сохранения.
3. Эксперимент и теория. Физические величины. Системы единиц и эталоны.
Роль математики в физике.

ЭЛЕКТРОСТАТИКА ([1], т.2, гл.1-3; [2], т.1, гл.13-14,18;
[2], т.5, гл.1,4-8; [3], гл.1; [5], т.3, гл.1)

4. Закон Кулона. Электрическое поле заряда. Принцип суперпозиции.
5. Потенциал. Силовые линии и эквипотенциальные поверхности.
6. Теорема Гаусса. Уравнения Максвелла для электростатики.
7. Проводники в электрическом поле. Метод изображений.
8. Поле и потенциал диполя.
9. Конденсаторы. Энергия электрического поля.

ДИЭЛЕКТРИКИ ([1], т.2, гл.1-3,9; [2], т.5, гл.10-11; [3], гл.2;
[5], т.3, гл.1)

10. Диполь во внешнем поле. Наведенная поляризация.
Поляризуемость.

11. Поле в среде. Векторы поляризации и электростатической индукции.
12. Диэлектрическая проницаемость. Уравнения электростатики в присутствии диэлектриков. Условия на границе двух сред. Энергия поля в среде.

ПОСТОЯННЫЙ ТОК ([1], т.2, гл.4; [2], т.5, гл.13; [3], гл.3; [5], т.3, гл.2)

13. Электрический ток. Сопротивление. Закон Ома.
14. Сторонняя эдс. Источники тока. Правила Кирхгофа.

МАГНИТНОЕ ПОЛЕ ([1], т.2, гл.5-6,10; [2], т.5, гл.13-14; [2], т.6, гл.15-17; [3], гл.4-6; [5], т.3, гл.3)

15. Сила Лоренца.
16. Закон Био-Савара. Векторный потенциал магнитного поля.
17. Взаимодействие токов. Формула Ампера.
18. Теорема Стокса. Уравнения Максвелла для магнитостатики.
19. Магнитный момент.
20. Магнитное поле в среде. Намагниченность. Вектор магнитной индукции. Условия на границе двух сред.

ЭЛЕКТРОДИНАМИКА ([1], т.2, гл.7; [2], т.6, гл.15,17-18,20,21-22,29; [3], гл.6-7; [5], т.3, гл.4)

21. Закон Фарадея.
22. Энергия магнитного поля. Индуктивность.
23. Цепи переменного тока. Импеданс. Простейшие импульсные цепи.
24. Ток смещения. Полная система уравнений Максвелла.
25. Электромагнитные волны. Дипольное излучение.

ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ ([1], т.1, гл.10-13; [2], т.2, гл.15-17; [2], т.6, гл.25)

26. Инвариантность скорости света в теории Максвелла. Принцип относительности Эйнштейна. Предельная скорость. Относительность одновременности.
27. Преобразования Лоренца. Сокращение масштаба и замедление времени. Интервал. Релятивистская динамика.
28. Четырехвекторы. Сохранение энергии – импульса.

2 семестр

ВОЛНЫ. СТРОЕНИЕ ВЕЩЕСТВА.

МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА И ТЕРМОДИНАМИКА.

ВОЛНОВАЯ ФИЗИКА И ОПТИКА ([1], т.3, гл.9; [2], т.7, гл.32-33; [5], т.4, гл.1-5)

1. Интенсивность волны. Сложение волн. Интерференция.
2. Интерференция света. Принцип Гюйгенса.
3. Дифракция от двух щелей. Дифракционная решетка.
4. Преломление и отражение света. Показатель преломления.
5. Освещенность, световой поток, сила света.
6. Дисперсия. Фазовая и групповая скорость волны. Спектры.
7. Геометрическая оптика. Принцип Ферма.
8. Оптические приборы. Фотография, голография, томография.

СТРОЕНИЕ ВЕЩЕСТВА ([1], т.4, гл.1,2,5-9; [2], т.3, гл.37-38)

9. Постоянная Планка. Кванты. Распределение Бозе-Эйнштейна. Фотонный газ. Вращательная и колебательная энергия молекул.
10. Атом Бора. Волны де Бройля. Принцип неопределенности Гейзенберга.
11. Волновая функция. Уравнение Шредингера.
12. Строение атома. Принцип Паули.
13. Распределение Ферми-Дирака. Электроны в металлах.
14. Атомное ядро. Ядерные силы. Реакции деления. Цепная реакция.
15. Атомная энергетика. Термоядерные реакции. Элементарные частицы

ТЕРМОДИНАМИКА ([1], т.5, гл.2,4-6; [2], т.4, гл.44-45; [4], гл.1; [5], т.2, гл.1-2)

16. Уравнение состояния идеального газа. Температура. Внутренняя энергия газа. Степени свободы.
17. P - V диаграмма. Работа расширения. Первый закон термодинамики. Теплоемкость при разных процессах.
18. Адиабатический процесс. Тепловые машины. Работа и КПД цикла.
19. Второй закон термодинамики. Энтропия.
20. Термодинамические потенциалы.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ МОЛЕКУЛ ([4], гл. ; [5], т.2, гл.8-10; [6], гл.12)

21. Потенциальная энергия молекул. Фазовые переходы. Кривые фазового равновесия. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса.
22. Уравнение Ван-дер-Ваальса.
23. Поверхностный слой. Капиллярные явления.

ЯВЛЕНИЯ ПЕРЕНОСА ([2], т.1, гл.39-43; [6], гл.14-15; [5], т.2, гл.4,7,9)

24. Столкновения молекул. Длина свободного пробега.

25. Диффузия. Теплопроводность и вязкость.

СТАТИСТИКА ([1], т.5, гл.6; [2], т.1, гл.6; [6], гл.11)

26. Равновесие атмосферы. Распределение Больцмана.

27. Распределение Максвелла. Установление равновесия.
Скорость химической реакции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Берклеевский курс физики, т. I - V.

2. Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс И. Фейнмановские лекции по физике. Т.1-9.

3. Тамм И.Е. Основы теории электричества.

4. Румер Ю.Б., Рывкин М.Ш. Термодинамика, статистическая физика и кинетика.

5. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Т.1-5.

6. Ландау Л.Д., Ахиезер А.И., Лифшиц Е.М. Курс общей физики. Механика и молекулярная физика.

Программу составили:

профессор А.А.Васильев

профессор А.П.Ершов

ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ

Семинар 1. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВОЛНЫ. ГРУППОВАЯ И ФАЗОВАЯ СКОРОСТИ. ВЕКТОР ПОЙТИНГА. ДИАГРАММЫ НАПРАВЛЕННОСТИ ИЗЛУЧЕНИЯ

1. В среде с известными ε и μ распространяется плоская электромагнитная волна с частотой ω и средним потоком энергии S . Определить напряженности электрического и магнитного полей \mathbf{E} и \mathbf{B} в такой волне и ее длину волны λ .

2. По прямому проводу радиуса a течет постоянный ток I . Найти вектор Пойтинга на поверхности провода, если сопротивление единицы длины равно ρ .

3. Вычислить групповую скорость u , если фазовая скорость v описываются следующими законами дисперсии:

1) $v = a = \text{const}$ - звуковые волны в воздухе;

2) $v = a \sqrt{\lambda}$ - волны на поверхности воды, вызываемые силой тяжести;

3) $v = a/\lambda$ - поперечные колебания стержня;

4) $v = \sqrt{c^2 + b^2 \lambda^2}$ - электромагнитные волны в ионосфере;

4. Вычислить групповую скорость u , если фазовая скорость v описывается законом дисперсии: $v = c \omega / \sqrt{\varepsilon \mu \omega^2 - c^2 a^2}$ - электромагнитные волны в прямолинейном волноводе. При каком законе дисперсии $\varepsilon(\omega)$ немагнитной среды,

заполняющей прямолинейный волновод, для электромагнитных волн выполняется соотношение $u \cdot v = c^2$?

5. Определить диаграмму направленности излучения диполя, момент которого \mathbf{p} меняется по периодическому закону с частотой ω . Вычислить средние значения вектора Пойтинга и мощности излучаемой энергии.

Семинар 2. ПРЕЛОМЛЕНИЕ И ОТРАЖЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН. ПОКАЗАТЕЛЬ ПРЕЛОМЛЕНИЯ

1,2. Электромагнитная волна падает на плоскую границу раздела двух диэлектриков, характеризующихся ε_1 и ε_2 . Определить коэффициенты отражения и прохождения для случая: а) вектор \mathbf{E} параллелен плоскости падения; б) вектор \mathbf{E} перпендикулярен плоскости падения. Рассмотреть в качестве предельного случая нормального падения. При каком условии происходит потеря фазы при отражении?

3. Определить угол Брюстера для случая падения солнечного луча на водную поверхность. Какова интенсивность отраженного света I_r (по отношению к I_0 падающего), если $n=4/3$?

4. Считая, что свет состоит из фотонов с импульсом $p=hv/c$, определить давление P световой волны на плоское зеркало, если угол падения равен φ , а коэффициент отражения - γ . Определить тангенциальную силу T , действующую на единицу поверхности зеркала со стороны падающего излучения. Плотность энергии падающей волны равна w .

Как изменится давление P , если зеркало заменить идеальной матовой поверхностью?

5. Две слоистые прозрачные среды с медленно меняющимися показателями преломления $n(z)$ граничат друг с другом вдоль плоскости $z=\text{const}$, на которой показатель преломления $n(z)$ непрерывен, а его производная dn/dz претерпевает разрыв. На границе раздела нормально к ней из первой среды падает плоская монохроматическая волна. Считая, что условия применимости геометрической оптики в каждой из сред выполнены, найти коэффициент отражения.

6. Диэлектрический слой с проницаемостью ϵ_2 , ограниченный плоскостями $z=0$ и $z=a$, разделяет диэлектрические среды с проницаемостями ϵ_1 и ϵ_3 ($\mu_1=\mu_2=\mu_3=1$). На этот слой из области $z<0$ падает нормально к его поверхности электромагнитная волна. При какой толщине слоя отражение будет минимальным? При каком соотношении между ϵ_1 , ϵ_2 и ϵ_3 отражения не будет (условие просветленной оптики)? Как изменится результат, если волна будет падать из области $z>a$?

Семинар 3. ПОЛЯРИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН. РАСПРОСТРАНЕНИЕ В НЕОДНОРОДНЫХ СРЕДАХ.

1. Две плоские монохроматические линейно поляризованные волны одной частоты ω распространяются вдоль оси z . Одна волна с амплитудой A поляризована по оси x , а другая с амплитудой B - по оси y , причем вторая опережает первую по фазе на угол φ . Определить поляризацию результирующей волны.

2. Две монохроматические волны с близкими частотами $\omega \pm \Delta\omega$, поляризованные по кругу в противоположных направлениях, распространяются в одном направлении, имея одинаковые фазы и амплитуды волн. Найти поляризацию результирующей волны.

3. Большое число $(N+1)$ поляроидов уложено в стопку так, что ось каждого последующего поляроида составляет угол α с осью предыдущего (ось последнего образует с осью первого угол $\theta = N\alpha$). На вход падает линейно поляризованный свет интенсивности I_0 , направление плоскости поляризации которого совпадает с осью первого поляроида. Пренебрегая потерями на отражение света определить интенсивность света I на выходе из стопки.

4. Свет с круговой поляризацией падает на четвертьволновую пластинку. Какую поляризацию он имеет после выхода из пластинки?

5. Волновой пакет длиной Δx входит в среду с дисперсией $\omega(k) = \omega_0 + v(k - k_0) + 0.5 a^2 (k - k_0)^2$. Оценить его размер после прохождения слоя толщиной d .

6. Градиент показателя преломления воздуха вблизи земной поверхности составляет около $3 \cdot 10^{-10} \text{ см}^{-1}$. Определить радиус кривизны луча, распространяющегося в атмосфере в горизонтальном направлении. Каков должен быть градиент, чтобы луч света, выйдя в горизонтальном направлении, описал окружность вокруг земного шара?

Семинар 4. ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ ВОЛН

1. Найти результирующую N когерентных колебаний, фазы которых образуют арифметическую прогрессию с шагом φ_0 . Амплитуды колебаний считать одинаковыми.

2. Два излучателя S_1 и S_2 , удаленные друг от друга на расстояние $2a$, создают когерентные сферические волны с амплитудой A и частотой ω . Определить интерференционную картину этих излучателей в волновой зоне. Как изменится картина, если излучатели характеризуются сдвигом фаз колебаний?

3. Точечный источник S излучает свет с длиной волны $\lambda_0 = 5 \cdot 10^{-7}$ м. Источник расположен на расстоянии $a=10$ см от линии пересечения бисеркал Френеля с углом $\alpha=20'$. Свет от S , отражаясь от бисеркал, попадает на экран \mathcal{E} , удаленный от линии пересечения бисеркал на расстояние $l = 190$ см. Определить число интерференционных полос на экране \mathcal{E} ? Каково распределение интенсивности I на экране? Прямой свет от S на экран не попадает.

4. В установке для наблюдения колец Ньютона пространство между плоско-выпуклой линзой (показатель преломления $n_1=1,55$) и плоской прозрачной пластинкой с $n_3=1,50$ заполнено жидкостью с $n_2=1,60$. Монохроматический пучок с $\lambda_0 = 6 \cdot 10^{-7}$ м падает нормально на плоскую поверхность линзы. Найти радиус кривизны линзы R , если радиус четвертого ($n=4$) светлого кольца в проходящем свете $r_4 = 1$ мм. Изменится ли результат, если жидкость слить?

5. Определить число полос интерференции N , если бипризма Френеля, расположенная между источником S и экраном \mathcal{E} , имеет преломляющий угол α и показатель

преломления n , а источник S , удаленный на расстояние a от бипризмы, излучает свет с длиной волны λ . Экран удален от бипризмы на расстояние b .

6. Плоская электромагнитная волна с λ_0 падает нормально на плоскопараллельную пластинку с показателем преломления n , имеющую на выходе уступ толщины d . Прошедшая волна собирается в фокусе линзы. Найти ее интенсивность I через I_0 волны, проходящей через пластинку без уступа. При какой d $I = I_0/2$?

Семинар 5. ДИФРАКЦИЯ ВОЛН

1. На отверстие в непрозрачном экране падает по нормали параллельный пучок монохроматического света. В точке A за экраном на оси пучка интенсивность света равна I_0 , если в отверстии укладывается одна зона Френеля. Как изменится интенсивность в A , если радиус отверстия уменьшить в k раз?

2. Интенсивность центрального максимума при дифракции на одной щели равна I_0 . Определить интенсивности последующих максимумов. Определить угловое положение главного максимума для $\lambda_0 = 5000 \text{ \AA}$ и $a = 10^{-2} \text{ мм}$.

3. На прямоугольную бесконечную щель шириной a падает плоская монохроматическая волна с длиной волны λ . После щели свет с помощью линзы собирается на экране \mathcal{E} . Найти распределение интенсивности света I на экране.

4. Как изменится результат предыдущей задачи, если щель заменить на дифракционную решетку с периодом d ($d = a +$

b , где b - ширина непрозрачной перемычки)? Каков максимальный порядок спектра от решетки с $d=5 \cdot 10^{-3}$ мм и $\lambda_0=6000$ А?

5. Лазерный пучок с $\lambda = 6000$ А с помощью телескопа диаметром $D=2$ м фокусируется на поверхность Луны (расстояние от Земли $L = 400000$ км). Определить размер светового пятна на Луне.

Семинар 6. КВАНТОВАЯ ФИЗИКА: ПОСТУЛАТЫ БОРА. ВОДОРОДО-ПОДОБНЫЙ АТОМ.

1. Используя модель атома Бора определить:

- а) характерные размеры атома, электрона;
- б) плотность вещества в ядре атома;
- в) характерные уровни энергии в водородоподобном атоме;
- г) потенциал ионизации атома водорода;
- д) время жизни классического атома водорода.

2. Определить энергию, необходимую для удаления обоих электронов из атома He. Энергия связи в основном состоянии $E_0=24.6$ эв.

3. Время жизни радиоактивного элемента в среднем составляет $\tau=10$ дней. Определить вероятность распада произвольного атома этого элемента в течение пятого дня.

4. Определить высоту кулоновского барьера, преодолеваемого α -частицами у поверхности ядра U^{238} при его распаде.

Семинар 7. КОРПУСКУЛЯРНЫЕ И ВОЛНОВЫЕ СВОЙСТВА ЧАСТИЦ. СООТНОШЕНИЯ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЕЙ. ВОЛНОВАЯ ФУНКЦИЯ. ВЕРОЯТНОСТЬ И ЕЕ ПЛОТНОСТЬ.

1. Плоская волна падает на щель в экране шириной d , образуя угол θ с нормалью к плоскости экрана. Используя соотношение неопределенностей оценить ширину световой полосы на втором экране, расположенном на расстоянии l от первого. Длина волны λ .

2. Свободный электрон в начальный момент времени был локализован в области размером $l=10^{-8}$ см. Оценить промежуток времени, за который ширина соответствующего волнового пакета увеличится в $\eta=100$ раз.

3. Внутри сферы радиусом R имеется электрон. Каково давление P , оказываемое на поверхность сферы, если электрон находится: а) в низшем s - состоянии, б) в низшем p -состоянии?

4. Найти среднее значение координаты и импульса частицы, состояние которой описывается функцией $\psi(x,0) = A \exp(-x^2/a^2 + ik_0x)$. Вычислить $\langle \Delta x^2 \rangle$, $\langle \Delta p^2 \rangle$ и проверить соотношение неопределенности.

Семинары 8-9. УРАВНЕНИЕ ШРЕДИНГЕРА. ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ЯМЫ И БАРЬЕРЫ. ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УРОВНИ. ВЫРОЖДЕНИЕ.

1. Одномерная потенциальная яма конечной глубины задана в виде: $U = -U_0$ при $|x| < a$ и $U=0$ при $|x| > a$. Определить

коэффициенты отражения R и прохождения D для случая инфинитного движения.

2. В условиях предыдущей задачи определить волновые функции для основного состояния с энергией $E_1 = -U_0/2$ (финитное движение). Найти вероятность обнаружения частицы вне ямы.

3. Потенциальное поле задано следующим образом: $U = \infty$ при $|x| \geq b$, $U = U_0$ при $|x| \leq a$, $U = 0$ при $a < |x| < b$. Определить волновые функции частицы массы m в этом потенциальном поле для $E > U_0$.

4. Решить предыдущую задачу для $E < U_0$. Каковы уровни энергии E_n при $E \ll U_0$?

5. Барьер задан уравнением: $U = U_0$ при $x \geq 0$ и $U = 0$ при $x < 0$. Определить волновые функции задачи при различных E . Какова вероятность обнаружения частицы массы m в забарьерной области при $E < U_0$?

6. Определить энергетические уровни частицы массы m , движущейся в поле $U = \infty$ при $x < 0$ и $U(x) = m\omega^2 x^2/2$ при $x > 0$.

7. Периодический потенциал образован последовательностью прямоугольных потенциальных барьеров шириной b , расположенных на расстоянии $a+b$ друг от друга и разделенных областями с нулевым потенциалом шириной a . Высота каждого барьера равна U_0 . Получить общие соотношения для волновых функций и энергетического спектра.

8. Для предыдущей задачи рассмотреть упрощенный случай, переходя к пределу $b \rightarrow 0$, $U_0 \rightarrow \infty$ таким образом, чтобы произведение bU_0 оставалось постоянным. Определить зоны разрешенных значений энергии.

Семинар 10. СТАТИСТИЧЕСКИЕ КЛАССИЧЕСКИЕ И КВАНТОВЫЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ. ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ПОТЕНЦИАЛЫ. РАВНОВЕСНЫЕ И НЕРАВНОВЕСНЫЕ ПРОЦЕССЫ.

1. Система состоит из N частиц, каждая из которых может иметь энергию $E=0$, $E=kT$ и $E=2kT$. Определить число частиц N , если в равновесном состоянии энергия системы равна $1000 kT$.

2. Используя распределение Максвелла для кинетической энергии частиц определить среднюю и наиболее вероятную энергию. Сравнить со значениями энергий, рассчитанными по соответствующим скоростям.

3. Определить среднюю потенциальную энергию молекул воздуха в поле тяготения Земли. На какой высоте от поверхности Земли потенциальная энергия молекул равна средней потенциальной энергии? Считать $t_0=0^\circ \text{C}$.

4. В сосуде, содержащем идеальный газ, проделано небольшое круглое отверстие сечением S . Найти число частиц, попадающих на круглый диск радиуса R , расположенный на расстоянии h от щели. Плоскость диска параллельна плоскости отверстия. Центры отверстия и диска лежат на прямой, перпендикулярной плоскости сечения.

Указание: молекулы газа подчиняются максвелловскому распределению по скоростям.

5. Определить, при какой ширине потенциального ящика a дискретность энергии становится сравнимой с энергией теплового движения при температуре T .

Семинар 11. ФЛУКТУАЦИИ. ДЛИНА СВОБОДНОГО ПРОБЕГА. ВЯЗКОСТЬ.

1. В сосуде находится смесь двух газов. В единице объема смеси содержится n_1 молекул одного и n_2 молекул другого газа. Радиусы молекул соответственно равны r_1 и r_2 . Оценить длину свободного пробега молекул этих газов.

2. Оценить время t^* рассеяния планетной атмосферы, предполагая, что атмосфера изотермическая, разреженная и состоит из одинаковых частиц. Найти t^* для атомарного и молекулярного водорода, предполагая, что температура атмосферы $T=300$ К.

3. Оценить среднее расстояние, на которое за время t продиффундирует газ, состоящий из больших молекул радиуса a , выпущенных из точечного источника в жидкость с коэффициентом внутреннего трения η при температуре T .

4. Определить коэффициент вязкости для потока газа, имеющего градиент скорости вдоль X . Газ подчиняется распределению Максвелла.

5. Определить скорость звука в смеси $v_1, v_2 \dots v_n$ молей различных идеальных газов при температуре T .

Семинар 12. ТЕПЛОЕМКОСТЬ, ЭНТРОПИЯ, ЭНТАЛЬПИЯ.

1. Молекулы газа распределены по двум состояниям с внутренними энергиями 0 и E со статистическими весами g_1 и g_2 соответственно. Вычислить молярную теплоемкость газа.

2. Вычислить максимальное значение теплоемкости C_V и положение максимума в температурной шкале для системы N невзаимодействующих частиц с двумя уровнями энергии $(\varepsilon_1, \varepsilon_2)$, если статистический вес g_1 верхнего уровня значительно меньше статистического веса g_0 нижнего уровня.

3. Найти молярную теплоемкость C_V идеального одноатомного ультрарелятивистского газа $E = cp$.

4. Двумерный гармонический осциллятор обладает $(n + 1)$ - вырожденными энергетическими уровнями $E_n = \hbar\nu(n + 1)$. Вычислить среднюю энергию и теплоемкость системы из N независимых двумерных гармонических осцилляторов.

5. Энергетические уровни системы состоят из невырожденного основного состояния и зоны сплошного спектра, отстоящей от основного состояния на величину D . Плотность уровней в зоне постоянна и равна ε . Найти энтропию и теплоемкость такой системы.

**Семинар 13. УРАВНЕНИЯ СОСТОЯНИЯ.
ХАРАКТЕРНЫЕ ПРОЦЕССЫ ТЕРМОДИНАМИКИ,
ЦИКЛЫ И КПД. ФАЗОВЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ.**

1. Цикл состоит из двух изотерм ($T_{14} = 300^\circ$ и $T_{23} = 600^\circ$ К) и двух изобар ($P_{12} = 4 P_{43}$). Определить КПД цикла для идеального газа с числом степеней свободы $i=5$. Каков КПД цикла Карно (две изотермы, две адиабаты) для этих же температур? Даст ли выигрыш переход к одноатомному газу и увеличение степени сжатия? Каков КПД цикла, если изобарические участки заменить на изохорические ($V_{34} = 4 V_{12}$)?

2. Цикл состоит из изотермы ($T_{12} = 600^\circ$ К), изобары и изохоры ($V_2/V_3 = 2$). Определить КПД цикла для идеального газа с числом степеней свободы $i=5$. Определить изменение энтропии на каждом из этапов цикла.

3. Определить толщину льда, образующегося в течение заданного времени τ на спокойной поверхности озера. Температура воздуха равна -30° С, плотность льда $\rho=0,9$ г/см³, $q=3,35 \cdot 10^9$ эрг/г, теплопроводность $\zeta=2,22 \cdot 10^5$ эрг/(с см град).

4. Определить время испарения сферической водяной капли с начальным радиусом $a_0 = 1$ мм в воздухе с относительной влажностью 40% при температуре $t = 20^\circ$ С. Плотность насыщенного пара над плоской поверхностью при этой температуре $\rho_{\text{нас}} = 1,7 \cdot 10^{-5}$ г/см³, коэффициент диффузии пара $D = 0,22$ см²/с.

5. В закрытом сосуде объемом $V = 3$ л находится $m=1$ кг воды при $t=100^\circ$ С в равновесии со своим насыщенным

паром. Найти увеличение массы пара при увеличении температуры на 5° . Теплота парообразования $q=539$ кал/г.

Семинар 14. РАДИАЦИОННОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ.

1. Кривая закона равновесного излучения Планка имеет максимум при частоте ω_m . Определить отношение частот ω_m при различных температурах.

2. Температура поверхности Солнца $T_C = 5500^\circ$ К. Считая, что Земля находится в состоянии термодинамического равновесия между поглощаемым электромагнитным излучением от Солнца и собственным тепловым излучением, оценить ее температуру. Землю и Солнце считать абсолютно черными телами, удовлетворяющими закону излучения Стефана-Больцмана. Необходимые константы взять в справочнике.

3. Имеются две полости с малыми отверстиями одинакового радиуса r и абсолютно отражающими наружными поверхностями. Полости отверстиями обращены друг к другу, причем расстояние между отверстиями $l \gg r$. В одной из полостей поддерживается температура T_1 . Найти установившуюся температуру во второй полости.

4. Вычислить плотность энтропии s поля излучения, используя соотношения между плотностью энергии u , радиационным давлением p и абсолютной температурой T : $p = u/3$, $u = \sigma T^4$. Изобразить изотермы, адиабаты и рассмотреть цикл Карно.

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ.

К семинару 1.

1. В момент времени $t=0$ по проводящей плоскости начинает течь ток с поверхностной плотностью i . Найти порождаемую им электро-магнитную волну.

2. Световая волна имеет частоту $f = 4 \cdot 10^{14}$ гц и длину волны $\lambda = 5 \cdot 10^{-7}$ м. Какова скорость распространения этой волны? Каков показатель преломления n среды, в которой

распространяется волна? Какова длина волны света λ_0 в воздухе?

3. В колебательном контуре происходят свободные незатухающие колебания с энергией E_0 . Пластины конденсатора медленно раздвинули так, что частота колебаний увеличилась в n раз. Какая при этом совершена работа?

4. Определить время, за которое амплитуда колебаний тока в контуре с добротностью Q уменьшится в n раз, если частота затухающих колебаний равна ω .

5. Два полуволновых вибратора расположены на расстоянии d параллельно друг другу. Как меняется диаграмма направленности излучения при варьировании d ? Амплитуды и частоты вибраторов считать одинаковыми. Как влияет начальный сдвиг фаз колебаний вибраторов?

6. Плоский воздушный конденсатор с пластинами в виде дисков радиуса a подключен к гармоническому напряжению частоты ω . Найти отношение максимальных значений электрической и магнитной энергий внутри конденсатора.

7. Протоны, имеющие одинаковую скорость v , образуют пучок круглого сечения с током I . Найти вектор Пойтинга S вне пучка на расстоянии r от его оси.

8. Показатель преломления рентгеновских лучей определяется выражением $n^2 = 1 - \omega_0^2 / \omega^2$ ($\omega_0 = \text{const}$). Найти групповую скорость u рентгеновского излучения в среде, если предельный угол полного внутреннего

отражения при падении этих лучей на среду из воздуха равен α^* .

К семинару 2.

- 1.** На плоское зеркало, движущееся со скоростью V по нормали к своей поверхности, нормально падает плоская электромагнитная волна с частотой ω_0 и длиной волны λ_0 . Найти ω и λ в отраженной волне.
- 2.** Параллельные полупрозрачные пленки 1 и 2 характеризуются по отдельности коэффициентами отражения и пропускания ρ_i и σ_i соответственно ($i=1,2$). Степень монохроматичности падающего света мала, т.е. имеет место обычное сложение интенсивностей. Найти ρ и σ для системы двух пленок.
- 3.** Каков будет результат для m одинаковых пленок (см. предыдущую задачу)?
- 4.** Имеется система из слоев 1,2,3 с соответствующими коэффициентами ε_i и μ_i ($i=1,2,3$). Из слоя 1 на слой 2 падает нормально электромагнитная волна с интенсивностью I_0 . Определить интенсивность волны, проходящей в слой 3. Определить интенсивность отраженной волны в слое 1. Может ли коэффициент пропускания такой системы равняться единице?
- 5.** Какому условию должны удовлетворять толщина и волновое сопротивление пленки покрытия, чтобы сделать невидимым для электромагнитных колебаний с длиной волны λ_0 объект с волновым сопротивлением Z_3 (волновое

www.phys.nsu.ru

сопротивление окружающей среды равно Z_1)? По какому закону должны создаваться многослойные покрытия для защиты объекта от сигналов с шириной полосы $\Delta\lambda$?

6. Определить интенсивность света, прошедшего через интерферометр Фабри-Перо (две высококачественных параллельных пластинки с зазором d). Отражающие поверхности характеризуются коэффициентами отражения R и пропускания T .

7. Как выглядят формулы Френеля для сред, характеризуемых кроме диэлектрических ϵ_i еще и магнитными μ_i проницаемостями? Каков при этом угол Брюстера? Чему равна отражательная способность среды с $\epsilon = \mu$ и нормальном падении света на границу раздела?

www.phys.nsu.ru

8. Свет, отраженный от плоской границы диэлектрика, полностью поляризован. Какой угол образуют отраженный и преломленный лучи? Под каким углом к нормали распространяется при этом преломленный луч? Каково давление света, если амплитуда падающей волны = E_0 ?

9. Плоская монохроматическая линейно поляризованная волна падает по нормали на проводящую бесконечно тонкую поверхность, для которой имеет место закон Ома $I = \sigma E$, где I - ток через единицу длины, σ - проводимость. Найти коэффициент прохождения волны.

10. Луч света падает на поверхность плоскопараллельной пластинки толщиной d под углом ϕ , большим угла полного внутреннего отражения. Электрическое поле волны параллельно поверхности пластинки. Определить интенсивность прошедшего через пластинку света. Считать

заданными показателями преломления среды n_1 и пластинки $n_2 < n_1$.

11. При каком угле падения φ разность фаз δ между компонентой отражённой волны, поляризованной в плоскости падения, и компонентой, поляризованной перпендикулярно к ней, достигает максимума при полном внутреннем отражении, если падающая волна линейно поляризована? Чему равен этот максимум?

К семинару 3.

1. Две монохроматические волны одной частоты ω поляризованы по кругу в противоположных направлениях и, имея одинаковые фазы, распространяются в одном направлении. Найти зависимость поляризации результирующей волны от отношения амплитуд E_{\perp}/E_{\parallel} соответственно лево- и правополяризованной волн.

2. Какую минимальную разность показателей преломления Δn право- и левополяризованных по кругу лучей ($\lambda = 5893 \text{ \AA}$) можно обнаружить при слое вещества $l = 30 \text{ см}$, если измерять угол поворота плоскости поляризации с точностью до 1° ?

3. Чему равна разность показателей преломления Δn для право- и левополяризованного по кругу света длины волны $\lambda = 5893 \text{ \AA}$ в кварце, если известно, что вращение плоскости поляризации в кварце для этой длины волны равно 21.7° на 1 мм .

4. Свет с круговой поляризацией падает на четвертьволновую пластинку. Какую поляризацию он имеет после выхода из пластинки?

5. Пространство $x > 0$ занято прозрачной средой, показатель преломления которой меняется по закону $n = n_0(1 + k y)$. Перпендикулярно к поверхности раздела падает луч света (при $y = 0$). Найти траекторию луча в среде.

6. Дана прозрачная пластина толщиной h . Показатель преломления пластины меняется по закону $n(r) = b r^2$, где b - константа, а r - расстояние от центра пластины. В параксиальном приближении пластина действует как линза. Оценить её фокусное расстояние.

7. Показатель преломления рентгеновских лучей определяется выражением $n^2 = 1 - \omega_0^2 / \omega^2$ ($\omega_0 = \text{const}$). Найти групповую скорость u рентгеновского излучения в среде, если предельный угол полного внутреннего отражения при падении этих лучей на среду из воздуха равен α_* .

8. Найти фазовую и групповую скорости волн в среде с $n(\omega) = 1 + \beta^2 / [(\omega - \omega_0)^2 + \gamma^2]$, где β , γ и ω_0 - константы. Рассмотреть случаи $\omega \ll \omega_0$ и $\omega \gg \omega_0$ ($\mu = 1$).

К семинару 4.

1. Материальная точка подвергается воздействию двух скалярных колебаний одинаковой частоты ω , имеющих амплитуды A_1 и A_2 и начальные фазы φ_1 и φ_2 соответственно. Определить результирующее колебание.

Каким будет результат, если исходные колебания имеют близкие частоты ω_1 и ω_2 ($\omega_2 = \omega_1 + \Omega$)?

2. Что будет наблюдаться, если исходные колебания одинаковой частоты ω , имеющие амплитуды A_1 и A_2 и начальные фазы φ_1 и φ_2 соответственно, будут воздействовать на частицу вдоль взаимно перпендикулярных направлений?

3. Показать, что суперпозиция двух бегущих плоских волн одинаковой амплитуды, частоты и длины волны, распространяющихся в противоположных направлениях, представляет стоячую волну.

4. Синфазные излучатели 1,2,3 расположены вдоль прямой: $r_{12} = a$, $r_{23} = b$. Какова должна быть амплитуда излучателя 3 при равных амплитудах 1 и 2, чтобы в диаграмме направленности существовали минимумы нулевой интенсивности? Найти направления на эти минимумы. Рассмотреть случай $a = \lambda/2$, $b = 3\lambda/4$.

5. Антенна в виде одномерной решетки содержит N полуволновых вибраторов, сдвинутых параллельно друг другу с периодом d . Определить диаграмму направленности излучения такой антенны при условии, что амплитуды всех вибраторов одинаковы. Каково количество лепестков и их ширина?

6. Каковы допустимые размеры источника света, чтобы в установке с бисеркалами Френеля еще могли наблюдаться интерференционные полосы при некогерентном излучении различных точек источника?

7. Какова должна быть толщина пленки жидкости с показателем преломления $n = 1.5$, чтобы можно было наблюдать интерференционную картину в естественном свете при угле падения $\alpha = 45^\circ$? Какова толщина пленки для лазерного луча ($\lambda = 6328 \text{ \AA}$, $\Delta\lambda \approx 4 \cdot 10^{-2} \text{ \AA}$)?

8. Клинообразная пленка из вещества с показателем преломления $n = 1.4$ имеет угол клина $\alpha = 20^\circ$. Определить длину волны света, если при нормальном падении на пленку расстояние между интерференционными полосами $\Delta x = 25 \text{ мм}$.

К семинару 5.

1. Параллельный пучок монохроматического света падает перпендикулярно на непрозрачный экран с круглым отверстием диаметром $d = 1.2 \text{ мм}$. В точке P на оси на расстоянии $l = 18 \text{ см}$ фиксируется темное пятно. На какое минимальное расстояние Δl нужно передвинуть экран (удаляясь от P), чтобы в ней снова появилось темное пятно?

2. Сферически сходящаяся волна в момент прохождения отверстия в непрозрачном экране имеет радиус кривизны a . Дифракционная картина наблюдается в точке P на оси отверстия, удаленной на расстояние b от волны. Определить радиусы зон Френеля в плоскости, проходящей через P перпендикулярно оси. Длина волны - λ_0 .

3. Вычислить радиус m -ой зоны Френеля, если источник S расположен на расстоянии a перед зонной пластинкой ЗП, а экран \mathcal{E} - на расстоянии b за ней. Длина волны источника равна λ_0 .

4. Плоская световая волна падает нормально на диск из стекла с показателем преломления n (для длины волны λ). Диск установлен на пути световых лучей так, что перекрывает для точки P полторы зоны Френеля. При какой толщине диска h интенсивность в P будет максимальной?

5. Плоская волна с λ падает на прямолинейный край непрозрачного экрана I, дифракционная картина наблюдается в параллельном экрану сечении II, сдвинутом от I на расстояние a . Определить координаты светлых и темных полос интерференции.

6. Будут ли перекрываться спектры первого и второго порядков дифракционной решетки при освещении ее видимым светом ?

7. Решетка с каким числом штрихов может разрешить натриевый дуплет в спектре первого порядка ($\lambda_1 = 5890 \text{ \AA}$ и $\lambda_2 = 5896 \text{ \AA}$)?

8. Точечный источник S, центр непрозрачного полудиска радиуса R и точка наблюдения A лежат на одной прямой. Определить освещенность в точке A, если полудиск закрывает: а) четное число полузон; в) нечетное. Что произойдет, если непрозрачный полудиск дополнить прозрачным с показателем преломления n , толщина которого $l = k \lambda / [2(n-1)]$, k - целое число?

9. Светосильный (отношение квадрата диаметра D^2 к квадрату фокусного расстояния f^2) объектив используется для съемки микрообъектов. Какова должна быть

разрешающая способность фотопленки, чтобы наиболее эффективно использовать данный объектив?

10. Оценить разрешение при съемке из космоса объективом с диаметром $D=10$ см и фокусным расстоянием $f=1$ м (считать $H \approx 200$ км)

К семинару 6.

1. Позитрон имеет одинаковую с электроном массу, но положительный заряд и противоположный спиновый магнитный момент. Если в атоме водорода заменить протон позитроном, то получится атом позитрония. Определить энергию связи электрона в атоме позитрония в основном состоянии.

2. μ -- мезон ($m_\mu = 210 m_e$) и протон образуют водородоподобный атом. Вычислить радиус первой боровской орбиты для такого атома. Какова энергия фотона, испускаемого атомом при переходе из первого возбужденного состояния в основное? Какова скорость μ -- мезона на n - ой боровской орбите?

3. Определить максимальную скорость фотоэлектронов, вырываемых с поверхности серебра γ -лучами с длиной волны $\lambda=0.0247$ А. Работа выхода из металла $A=47$ эв.

4. Если бы заряд протона оказался вдвое большим, то каковы были бы зарядовое число Z и массовое число A для наиболее устойчивого ядра?

5. Оценить кинетическую энергию нуклона в ядре атома углерода (диаметр ядра $\approx 3 \cdot 10^{-15}$ м).

6. Какова должна быть напряженность магнитного поля, чтобы оба электрона в атоме гелия, помещенного в это поле, имели сонаправленные спины?

7. В рамках модели атома Бора определить магнитное поле, действующее на протон в атоме водорода со стороны электрона, находящегося в состоянии $2p$.

8. Какова конфигурация электронных оболочек атома калия ($Z=19$) в основном состоянии?

К семинару 7.

1. Пользуясь соотношением неопределенностей найти минимально возможный размер объекта при наблюдении его в микроскоп в отраженном свете с длиной волны λ .

2. Используя соотношение неопределенностей оценить размер пятна на экране, рас-положенном в фокальной плоскости линзы диаметром d с фокусным расстоянием F , собравшую параллельный пучок лазерного света с длиной волны λ , падающего на линзу вдоль ее главной оптической оси.

3. Параллельный пучок атомов водорода со скоростью $v = 1.2$ км/с падает нормаль-но на диафрагму с узкой щелью, за которой на расстоянии $l = 0.1$ м расположен эк-ран. Исходя из соотношения неопределенности, оценить ширину щели, при которой эффективная ширина изображения на экране будет минимальной.

4. Идеальный упругий мяч радиуса R падает в вакууме на закрепленный идеально упругий шар того-же радиуса с высоты $10R$. Пренебрегая движением Земли, вычис-лить наибольшее число отскоков мяча от неподвижного шара при наиболее благо-приятных условиях.

5. Частица находится в одномерном потенциальном ящике размером l с бесконечно высокими стенками. Оценить силу давления частицы на стенки ящика при мини-мально возможном значении её энергии E_{\min} .

6. Электрон находится в атоме водорода в основном состоянии. Определить для этого случая $\langle r \rangle$, $\langle r^2 \rangle$ и наиболее вероятное значение r_0 .

7. Для частицы, состояние которой описывается функцией $\psi(x,0) = A \exp(-x^2/a^2 + ik_0x)$., найти среднее значение координаты и импульса. Вычислить $\langle \Delta x^2 \rangle$, $\langle \Delta p^2 \rangle$ и проверить соотношение неопределенности

8. Исследовать временную эволюцию волнового пакета, который в начальный момент времени описывается функцией вида $\psi(x,0) = A \exp(-0.5x^2/a^2 + ik_0x)$. Найти плотность $\rho(x,t)$, поток $S(x,t)$ и зависимость ширины волнового пакета $a(t)$ от времени.

9. Вероятность того, что для некоторой системы значения величины x и y находятся в интервалах $[x, x+dx]$ и $[y, y+dy]$ дается выражением $dW(x,y) = C e^{-\alpha(x^2+y^2)} dx dy$ ($\alpha > 0$). Пусть областями изменения переменных x и y являются интервалы $[-\infty, +\infty]$. Найти C . Определить вероятность того, что значение величины x будет лежать в интервале $[x, x+dx]$.

К семинару 8-9.

1. В момент времени $t=0$ поведение свободной частицы описывается функцией $\psi(x,0) = A \exp(-x^2/a^2 + ik_0x)$.

Определить нормировочный коэффициент A и область, где локализована частица. Найти коэффициенты Фурье и определить ширину волнового пакета.

2. Состояние частицы массой m характеризуется волновой функцией $\psi_k(r) = (e^{-ikr} + b e^{ikr})/r$, где r - расстояние от начала координат. Определить энергию этой частицы.

3. Определить волновую функцию для атома водорода в основном состоянии. При каком r вероятность обнаружения электрона максимальна?

4. В одномерной яме шириной b с бесконечными стенками находится N электронов. Определить минимальное значение полной энергии и силу давления электронов на стенки ямы. Взаимодействием электронов пренебречь.

5. Определить среднее время жизни гармонического осциллятора в возбужденном состоянии с высокими квантовыми уровнями энергии (масса m , заряд q , классическая круговая частота ω и квантовый уровень n частицы известны).

6. Частица m движется в поле $U(x) = m \omega^2 x^2/2$. Определить ее энергетический спектр.

7. Частица движется в поле $U(x) = k x^2/2$, ее волновая функция $\psi(x) = A \exp(-\alpha x^2)$. Определить α и E в данном состоянии.

8. Для одномерного гармонического осциллятора, энергия которого равна $7\hbar\omega/2$, вычислить среднюю кинетическую энергию.

9. Одномерный гармонический осциллятор находится на n -м уровне энергии. Найти для него $\langle x^2 \rangle$ и среднюю потенциальную энергию.

10. Частица m находится в потенциальной яме в виде полусферы радиуса R . Оценить кинетическую энергию частицы в основном состоянии (рассмотреть нерелятивистский квантовый случай).

11. Одномерная потенциальная яма задана соотношениями $U = 0$ при $0 \leq x \leq a$ и $U = \infty$ при $x \leq 0$ и $x \geq a$. Определить энергетические уровни частицы массы m , находящейся в этой яме. Определить координаты x_i наиболее вероятных положений частицы для различных уровней энергии E_n ?

12. Найти наименьшее значение энергии электрона, при которой он беспрепятственно пройдет над прямоугольной потенциальной ямой глубиной $U = -5$ эВ и шириной $b = 10^{-8}$ см.

13. Барьер определяется соотношениями $U(x) = U_0$ при $|x| \leq a$ и $U = 0$ при $|x| > a$. Определить коэффициенты отражения и пропускания при энергии частицы $E > U_0$.

14. Решить предыдущую задачу для $E < U_0$. Какова доля электронов, проникающих за барьер шириной $2a = 1$ А при $E = U_0/2 = 1$ эВ?

15. Барьер задан в следующем виде: $U = 0$ при $x < 0$, $U = U_2$ при $0 \leq x \leq a$, $U = U_1$ при $x > a$. Определить коэффициенты отражения и пропускания при энергии частицы $E > U_2$.

16. Для условия предыдущей задачи определить коэффициент прозрачности барьера для частицы массы m , движущейся к нему слева с энергией E ($U_1 < E < U_2$).

17. Определить коэффициенты отражения и прозрачности для частицы массы m , проходящей через потенциальный барьер треугольной формы $U = U_0(1 - x/l)$ при $E < U_0$.

18. Определить коэффициент прозрачности потенциального барьера $U = U_0(1 - x^2/l^2)$ для частицы m , движущейся с энергией $E < U_0$.

19. Найти уровни энергии и волновые функции одномерного гармонического осциллятора, помещенного в постоянное электрическое поле напряженностью E . Заряд частицы e .

20. Электрон движется в вакууме под действием однородного магнитного поля **B**. Найти энергетические уровни. Показать, что для больших орбит магнитный поток через орбиту квантуется. Спин электрона не учитывать.

Указание:

Представить Гамильтониан в виде $H = [(p_x - eA_x/c)^2 + (p_y - eA_y/c)^2 + p_z^2]/2m$, $A_z = 0$.

К семинару 10.

1. Используя распределение Гиббса получить различные формы распределения Максвелла: а) вероятность того, что скорость любой частицы заданной системы лежит в интервалах $[v_x, v_x + dv_x], [v_y, v_y + dv_y], [v_z, v_z + dv_z]$; б) вероятность того, что абсолютное значение скорости любой частицы заданной системы лежит в интервале $[v, v + dv]$; в) вероятность того, что кинетическая энергия любой частицы заданной системы лежит в интервале $[e, e + de]$.

2. Используя функцию распределения Максвелла для молекул газа по модулям скоростей, найти функцию распределения молекул по длинам волн.

3. Разреженный газ находится в сосуде при давлении P . Определить скорость истечения v газа в вакуум через небольшое отверстие S_0 при максвелловском распределении молекул газа по скоростям.

4. Найти относительное число молекул азота, модуль скорости которых превышает модуль средней (наивероятнейшей, средне-квадратичной) скорости, если температура газа $T = 1000^\circ \text{ K}$. При какой температуре средне-квадратичная скорость молекул азота станет достаточной для преодоления поля Земли?

5. При какой температуре функция распределения по скоростям молекул водорода будет совпадать с аналогичной функцией для азота при $T=300^\circ \text{ K}$?

6. В сосуде объемом $V = 30 \text{ л}$ находится $m=100 \text{ г}$ азота при давлении $P_0=3 \cdot 10^5 \text{ Па}$. Определить наиболее вероятное значение кинетической энергии молекул азота.

7. Найти распределение плотности газа $\rho(r)$ во вращающейся центрифуге (пустотелый цилиндр радиуса R и высоты h) и среднюю «потенциальную» энергию частицы газа, если центрифуга вращается с угловой скоростью ω вокруг оси. В центрифуге находится N частиц.

8. В газе, имеющем температуру T и плотность ρ , взвешены шарообразные частицы радиуса r . Концентрация частиц на высоте h вдвое меньше, чем при $h=0$. Найти массу взвешенных частиц.

К семинару 11.

1. Найти полное число соударений, испытываемых отдельной молекулой в 1 сек со всеми остальными. Молекулы считать абсолютно упругими шариками радиуса R_0 . Определить среднюю длину свободного пробега l .

2. Вычислить флуктуацию положения центра масс для идеального однородного газа, заключенного в сферу радиуса a .

3. Коэффициент диффузии молекул A в газах B_1 и B_2 равен соответственно D_1 и D_2 , если в единице объема этих газов содержится n частиц. Найти D в смеси газов, если в единице объема содержатся n_1 молекул газа B_1 и n_2 молекул газа B_2 .

4. Для частицы с зарядом e с помощью распределения Больцмана найти соотношение между коэффициентом диффузии D и подвижностью μ (соотношение Эйнштейна).

5. Микрокапли масла радиусом r_0 находятся в газе при температуре T (вязкость η). Пренебрегая гравитационными эффектами найти среднеквадратичное смещение капли за время Δt .

6. Определить среднеквадратичное отклонение тока в цепи с индуктивностью L при температуре T .

7. Определить коэффициент электропроводности и теплопроводности металла, если вдоль оси X существует стационарный градиент температуры $k \frac{dT}{dx} = \text{const}$ и приложено поле E , а $t^* = \lambda_0/v$ (λ_0, v - средняя длина свободного пробега и скорость электрона). Электронный газ считать невырожденным.

8. Мыльный пузырь с горячим воздухом неподвижно висит в атмосфере, где давление равно P_0 , а температура - T_0 . Плотность мыльной пленки - ρ , ее толщина - δ , радиус

пузыря - г. Найти T горячего воздуха в пузыре, если поверхностное натяжение мыльной воды равно σ .

9. Идеальный газ заключен в сосуд, который закрыт подвижным поршнем массы M . Определить уравнение состояния газа в данном случае.

К семинару 12.

1. Атом может находиться в любом из двух квантовых состояний с разностью энергий E . Какова зависимость удельной теплоемкости c ансамбля таких частиц от T ? Каков ход $c(T)$ при $T \rightarrow 0$ и $T \rightarrow \infty$?

2. Определить среднюю энергию E , энтропию S и давление P для N невзаимодействующих частиц в объеме V . Рассмотреть случаи: а) одноатомного газа; б) двухатомного газа при "замороженных" колебаниях атомов.

3. Упругость резинового жгута k зависит от температуры по закону $k(T) = k_0 (1 - \beta T/T_0)$, теплоемкость же c от деформации и T не зависят. При температуре T_0 жгут в свободном состоянии имеет длину l_0 . Определить температуру жгута после его адиабатического растяжения до длины $2l_0$.

4. Определить теплоемкость c_v газа Ван-дер-Ваальса и величину $(c_p - c_v)$. Какова энтропия ν молей? Каково уравнение адиабатического процесса?

5. Адиабатический сосуд разделен пополам перегородкой. В каждой половинке находится по одному моллю Ar при температурах $T_1 = 600^\circ \text{K}$ и $T_2 = 300^\circ \text{K}$. Перегородку убирают. Определить изменение энтропии газа после установления равновесного состояния.

6. Найти уравнение процесса, при котором теплоемкость идеального газа и температура взаимосвязаны соотношением $c = a/T$, $a = \text{const}$.

7. Нагревается или охлаждается идеальный газ, если он расширяется по закону $P V^3 = \text{const}$ (показатель 3 типичен для продуктов взрыва твердых ВВ). Найти теплоемкость газа в этом процессе. Как изменится результат, если закон расширения будет $P^3 V = \text{const}$?

8. Система из N атомов типа A приводится в диффузионный контакт с системой из N атомов типа B , находящейся при той же температуре и имеющей тот же объем. Найти возрастание суммарной энтропии после достижения диффузионного равновесия ("энтропия перемешивания"). Рассмотреть два случая: а) A и B - различные типы атомов; б) A и B - тождественные частицы.

9. В двух одинаковых сосудах находятся при одинаковом давлении v_1 и v_2 молей различных идеальных газов. Найти изменение энтропии системы при перемешивании газов. Как изменится результат, если газы вначале характеризовались различными P и T ?

К семинару 13.

1. Определить КПД обратной машины, работающей по замкнутому циклу (прямоугольный треугольник в ST-координатах), если $T_2 = 2T_{13}$, $S_3 = 2S_{12}$.

2. Сравнить к.п.д. циклов Отто (адиабата - изохора - адиабата - изохора) и Дизеля (адиабата - изобара - адиабата - изохора) для идеального газа.

3. Рассматривается газ, подчиняющийся уравнению состояния Диттеричи: $P = nRT \exp(-na/RTV) / (V - nb)$, где n - число молей, R - универсальная газовая постоянная, a, b - константы. Показать, что в критической точке $P^* = a/[4(eb)^2]$, $V^* = 2nb$, $T^* = a/(4Rb)$.

4. Определить температуру кипения воды на высоте 300 м над уровнем моря. Удельная теплота парообразования воды при нормальных условиях $\lambda = 540$ кал/г.

5. Сферический кусок льда ($\rho = 0.916$ г/см³) с начальным радиусом $r_0 = 1$ см погружен в большую массу воды с температурой $t_0 = 10^\circ$ С. Определить время τ , в течение которого лед полностью растает. Теплопроводность воды $\zeta = 6 \cdot 10^{-3}$ дж/(с см град), теплота плавления льда $q = 330$ дж/г.

6. Найти приращение энтальпии 1 кг льда при его нагревании от температуры $t_0 = -10^\circ$ С и превращении в пар.

7. Найти время испарения сферической водяной капли радиуса $a_0 = 0,1$ мм при температуре воздуха $t = 20^\circ$ С в предположении, что воздух насыщен водяными парами.

8. Определить изменение энтропии системы, состоящей из воды и насыщенного пара, при переходе ее в насыщенный пар. Начальная температура T_1 , конечная - T_2 , масса пара $m_п$, масса воды $m_в$.

9. Как зависит давление насыщенного пара у поверхности капли радиуса R от поверхностного натяжения жидкости σ ?

К семинару 14.

1. Вещество Солнца почти целиком состоит из протонов и электронов. Определить термодинамическое и радиационное давления газа в центре Солнца, если плотность вещества в центре Солнца $\rho = 80 \text{ г/см}^3$, а температура $T \approx 13 \cdot 10^6 \text{ К}$?

2. При взрыве атомной бомбы в ее центре достигаются температуры $T=10 \text{ КэВ}$. Принимая плотность вещества в центре бомбы $\rho \sim 20 \text{ г/см}^3$ найти кинетическое и световое давления в центре. Сравнить их.

3. Полость объемом $V=1 \text{ л}$ заполнена тепловым излучением при температуре $T=1000^\circ \text{ К}$. Найти теплоемкость c_v и энтропию S этого излучения.

4. В откачанный сосуд, температура стенок которого поддерживается вблизи 0° К , поместили медный шарик радиуса $r_0 = 1 \text{ см}$, нагретый до температуры $T = 1500^\circ \text{ К}$. Считая шарик абсолютно черным телом определить за какое время его температура уменьшится в $n=5$ раз. Теплоемкость меди $c = 0.38 \text{ дж/г град}$, $\rho = 8.9 \text{ г/см}^3$.

5. Определить мощность излучения с поверхности Солнца ($d = 10^6$ км, $T = 6000^\circ$ К) для длины волны λ_0 и ширины полосы излучения Δf . Оценить какую массу теряет Солнце за 1 секунду за счет излучения. Оценить за какое время масса Солнца уменьшится на 1%. Наиболее вероятная длина волны в спектре солнечного спектра $\lambda = 0.48$ мкм, масса Солнца $M = 2 \cdot 10^{30}$ кг, радиус $R = 7 \cdot 10^8$ м, постоянная Вина $b = 0.29$ см К.

6. Каждый атом газа излучает монохроматический свет длины волны λ_0 и интенсивностью I_0 . Найти интенсивность излучения газа, состоящего из N атомов, как функцию λ .

7. Медный шарик, отдаленный от других тел, облучают электромагнитным излучением с длиной волны $\lambda = 0.2$ мкм. До какого максимального потенциала зарядится шарик. Работа выхода электрона с поверхности меди $A = 4.47$ эВ.

8. Найти температуру полностью ионизованной водородной плазмы плотностью $\rho = 0.1$ г/см³, при которой давление излучения равно кинетическому давлению частиц плазмы (при высоких температурах вещества подчиняются уравнению состояния для идеального газа).

9. Определить установившуюся температуру T черной пластинки, помещенной в вакууме перпендикулярно солнечным лучам. Поток лучистой энергии $I = 2$ кал/см² мин.

10. Температура поверхности Солнца $T_C = 5500^\circ$ К. Считая, что Земля находится в состоянии термодинамического равновесия между поглощаемым электромагнитным излучением от Солнца и собственным тепловым

излучением, оценить ее температуру. Землю и Солнце считать абсолютно черными телами, удовлетворяющими закону излучения Стефана-Больцмана. Необходимые константы взять в справочнике.

КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ

Из раздела

«Дополнительные задачи»

решить по одной задаче из рекомендованных к каждому семинару.

Номера семинаров

Задание 1:	1	2	3	4	5	6	7
----- 2:	8	9	10	11	12	13	14

Варианты

номера задач

1	1	2	3	4	5	6	7	8
2	2	3	4	5	6	7	8	1
3	3	4	5	6	7	8	1	2
4	4	5	6	7	8	1	2	3
5	5	6	7	8	1	2	3	4
6	6	7	8	1	2	3	4	5
7	7	8	1	2	3	4	5	6
8	8	1	2	3	4	5	6	7

Сроки сдачи контрольных заданий:

- 1 -- до 25 ноября,
- 2 -- до 20 декабря

О Г Л А В Л Е Н И Е

Программа по физике	3
Литература	7
Основные задачи	8
Дополнительные задачи	14
Контрольные задания	26

Васильев Анатолий Александрович
Ершов Александр Петрович

**Программа и задачи по физике
для студентов 3-го курса ММФ НГУ.
часть 2.**

© Интернет версия подготовлена для
сервера Физического факультета НГУ
<http://www.phys.nsu.ru>

www.phys.nsu.ru

ИГУ. Зак. Тир. Цена

www.phys.nsu.ru

www.phys.nsu.ru