

Государственный экзамен по физике  
Физический факультет МГУ имени М.В.Ломоносова  
Специальность "Физика конденсированного состояния вещества"

**Билет № 1**

1. Функция Лагранжа и уравнения Лагранжа системы материальных точек. Интегралы движения.
2. Формирование кристаллической структуры из изолированных атомов. Типы связи в твердых телах.
3. Для линейного ионного кристалла из  $2N$  ионов с чередующимися зарядами  $\pm q$  и отталкивающим потенциалом между ближайшими соседями  $A/R^n$ , в дополнение к обычному кулоновскому потенциалу, определить равновесное расстояние  $R_0$  между ионами и равновесную энергию  $U(R_0)$

Заведующий отделением

ядерной физики,  
профессор



М.И.Панасюк

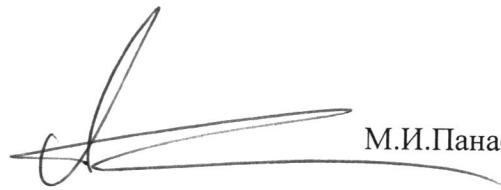
Государственный экзамен по физике  
Физический факультет МГУ имени М.В.Ломоносова  
Специальность "Физика конденсированного состояния вещества"

**Билет № 2**

1. Колебания систем с одной и многими степенями свободы. Свободные и вынужденные колебания.
2. Теорема Блоха. Понятие квазиимпульса. Зона Бриллюэна.
3. В двумерной квадратной решетке с периодом  $a$  кинетическая энергия свободного электрона в узле первой зоны Бриллюэна больше, чем у электрона на середине грани зоны на коэффициент  $b$ . Определить  $b$ .

Заведующий отделением

ядерной физики,  
профессор



М.И.Панасюк

*Государственный экзамен по физике  
Физический факультет МГУ имени М.В.Ломоносова  
Специальность "Физика конденсированного состояния вещества"*

**Билет № 3**

1. Движение в центральном поле. Атом водорода: волновые функции и уровни энергии.
2. Симметрия кристаллов. Базис и кристаллическая структура. Элементарная ячейка. Решетка Браве.
3. Вычислить относительную долю пространства, заполненного сферами, в следующих кристаллических структурах: простая кубическая структура, объемноцентрированная кубическая структура, гранецентрированная кубическая структура. Предполагается, что каждая из структур является плотной упаковкой, т.е. образована жесткими сферами одинакового радиуса, которые касаются друг друга.

Заведующий отделением  
ядерной физики,  
профессор



М.И.Панасюк

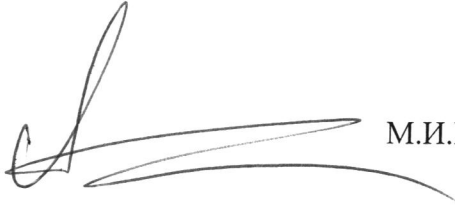
Государственный экзамен по физике  
Физический факультет МГУ имени М.В.Ломоносова  
Специальность "Физика конденсированного состояния вещества"

**Билет № 4**

1. Течение идеальной жидкости. Уравнение Эйлера.
2. Колебания атомов в кристаллической решетке. Температура Дебая. Акустические и оптические фононы.
3. Дана двумерная квадратная решетка с параметром  $a$  и одним атомом массой  $m$  в узле, взаимодействующим только с ближайшими соседями с силовой константой  $K$ . Примем, что фононная дисперсионная кривая описывается функцией  $\omega_q = \sqrt{\frac{4K}{m}} \sin\left(\frac{qa}{2}\right)$ . Определить, в длинноволновом пределе (звук), плотность фононных состояний  $D(\omega) = dN / d\omega$ , т.е. число решеточных колебательных (акустических) мод в интервале  $d\omega$ .

Заведующий отделением

ядерной физики,  
профессор

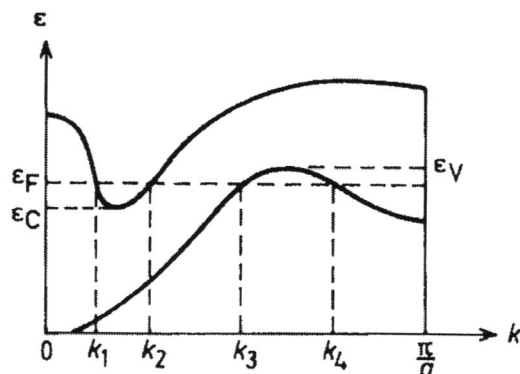


М.И.Панасюк

Государственный экзамен по физике  
Физический факультет МГУ имени М.В.Ломоносова  
Специальность "Физика конденсированного состояния вещества"

Билет № 5

1. Течение вязкой жидкости. Уравнение Навье-Стокса. Число Рейнольдса.
2. Формирование зонного спектра. Эффективная масса. Энергия Ферми и поверхность Ферми.
3. На рисунке представлена зависимость энергии  $\varepsilon$  от волнового вектора  $k$  для электронов в одномерном кристалле с периодом  $a$ . Обозначения:  $\varepsilon_F$  – уровень Ферми,  $\varepsilon_C$  – дно зоны проводимости,  $\varepsilon_V$  – вершина валентной зоны.



- (а) Если  $n$  – плотность числа электронов и  $p$  – плотность числа дырок, что можно сказать об отношении  $p/n$ ?
- (б) В элементарной ячейке этого вещества содержится четное или нечетное число электронов проводимости? Ответ аргументировать.
- (в) Чья эффективная масса больше – электронов или дырок? Ответ аргументировать. Подтвердить расчетом (используя квадратичную аппроксимацию).

Заведующий отделением

ядерной физики,  
профессор

М.И.Панасюк

Государственный экзамен по физике  
Физический факультет МГУ имени М.В.Ломоносова  
Специальность "Физика конденсированного состояния вещества"

Билет № 6

1. Механизмы ядерных реакций.
2. Методы исследования структуры твердых тел. Рентгеновская дифракция. Дифракция нейтронов.
3. Структура гидрида ванадия  $VH_2$  имеет гранецентрированную решетку с периодом  $a=4.24 \text{ \AA}$ . (а) Какую информацию о структуре этого соединения можно получить с помощью рентгеновской дифракции и дифракции нейтронов. Ответ аргументировать. (б) Определить брэгговские углы  $\theta$  для отражений (100), (200) и (300); длина волны излучения  $\lambda=1.542 \text{ \AA}$ . При ответе использовать значение порядкового номера ванадия  $Z=23$ , значения когерентного рассеяния нейтронов для ванадия (0.01838 бн) и водорода (1.7568 бн).

Заведующий отделением  
ядерной физики,  
профессор



М.И.Панасюк


Государственный экзамен по физике  
Физический факультет МГУ имени М.В.Ломоносова  
Специальность "Физика конденсированного состояния вещества"

**Билет № 7**

1. Борновское приближение. Парциальное разложение амплитуды рассеяния.
2. Ядерный магнитный резонанс и ядерный квадрупольный резонанс.
3. Для измерения магнитных полей  $B \cong 0.1$  кГс используют метод ЯМР  $^1\text{H}$  в проточной воде, при котором вода предварительно намагничивается пропусканием ее через область магнитного поля  $B_0 = 10$  кГс. Время перемещения воды из этой области до измерительной ячейки намного меньше времени релаксации намагниченности. Оценить увеличение сигнала ЯМР  $^1\text{H}$  в намагниченной воде по сравнению с сигналом для немагнитной воды. Ответ аргументировать.

Заведующий отделением

ядерной физики,  
профессор

  
М.И.Панасюк

*Государственный экзамен по физике  
Физический факультет МГУ имени М.В.Ломоносова  
Специальность "Физика конденсированного состояния вещества"*

**Билет № 8**

1. Канонические распределения. Идеальные бозе- и ферми-газы.
2. Методы исследования поверхности твердых тел. Сканирующая туннельная микроскопия. Атомно-силовая микроскопия.
3. Пучок электронов с энергией 1 кэВ испытывает дифракцию на плоскостях с межплоскостным расстоянием  $d=1\text{\AA}$  при прохождении через поликристаллическую металлическую фольгу. (а) Определить длину волны электронов. (б) Определить брэгговский угол для дифракционного максимума первого порядка.

При вычислениях использовать следующие значения констант:

$h=6.626 \cdot 10^{-34}$  дж сек;  $m_e=9.11 \cdot 10^{-31}$  кг;  $1 \text{ эВ}= 1.602 \cdot 10^{-19}$  дж.

Заведующий отделением

ядерной физики,  
профессор



М.И.Панасюк



*Государственный экзамен по физике  
Физический факультет МГУ имени М.В.Ломоносова  
Специальность "Физика конденсированного состояния вещества"*

**Билет № 9**

1. Реальные газы. Уравнение Ван-дер-Ваальса.
2. Эффект Мессбауэра. Мессбауэровская спектроскопия твердых тел. Влияние локального окружения на мессбауэровские спектры.
3. Для газа свободных электронов в металле (электроны не взаимодействуют между собой и с решеткой металла) вывести известную формулу для плотности электронных состояний на поверхности Ферми  $\rho(\varepsilon_F) = C\sqrt{\varepsilon_F}$ , где

$$C = \frac{V}{2\pi^2} \left( \frac{2m}{\hbar^2} \right)^{\frac{3}{2}}, V - \text{объем металла.}$$

Заведующий отделением

ядерной физики,  
профессор

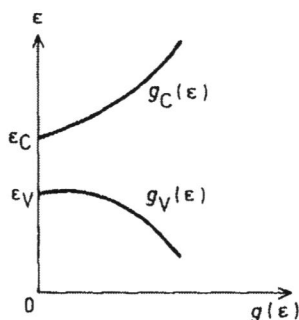


М.И.Панасюк

Государственный экзамен по физике  
Физический факультет МГУ имени М.В.Ломоносова  
Специальность "Физика конденсированного состояния вещества"

**Билет № 10**

1. Фазовые переходы первого и второго рода. Условия устойчивости и равновесия.
2. Электрические и гальваномагнитные явления в двумерных структурах. Квантовый эффект Холла.
3. Рассмотрим собственный полупроводник. Пусть  $\varepsilon$  – энергия электрона,  $g_C(\varepsilon)$  – плотность состояний в зоне проводимости,  $g_V(\varepsilon)$  – плотность состояний в валентной зоне (см. рисунок)



Предположим, что  $\varepsilon_C - \varepsilon_F \gg k_B T$ ,  $\varepsilon_F - \varepsilon_V \gg k_B T$  ( $k_B$  – постоянная Больцмана,  $T$  – температура полупроводника) и

$$g_C(\varepsilon) = C_1 (\varepsilon - \varepsilon_C)^{1/2}$$

$$g_V(\varepsilon) = C_2 (\varepsilon_V - \varepsilon)^{1/2}$$

где  $\varepsilon_C$  – энергия дна зоны проводимости и  $\varepsilon_V$  – энергия вершины валентной зоны. Энергию Ферми обозначим как  $\varepsilon_F$ . (а) Найти выражение для  $n$  – числа электронов в зоне проводимости, через  $\varepsilon_C, \varepsilon_F, k_B, T, C_1$  и безразмерный определенный интеграл. (б) Найти выражение для  $p$  – числа дырок в валентной зоне, через  $\varepsilon_V, \varepsilon_F, k_B, T, C_2$  и безразмерный определенный интеграл. (в) Найти явное выражение для  $\varepsilon_F(T)$ .

Заведующий отделением

ядерной физики,  
профессор

М.И.Панасюк

Государственный экзамен по физике  
Физический факультет МГУ имени М.В.Ломоносова  
Специальность "Физика конденсированного состояния вещества"

**Билет № 11**

1. Уравнение Максвелла в вакууме. Скалярный и векторный потенциалы. Калибровочная инвариантность. Энергия электромагнитного поля. Вектор Пойнтинга
2. Неупорядоченные среды. Ближний и дальний порядок. Сильно легированные полупроводники. Прыжковая проводимость. Закон Мотта. Щель подвижности.
3. Оценить энергию падающего пучка (а) фотонов и (б) нейтронов, при которой будет наблюдаться отчетливая дифракционная картина от кристалла (Типичный период кристаллической решетки принять равным  $1 \text{ \AA}$ .)

При вычислениях использовать следующие значения констант:

$$h=6.626 \cdot 10^{-34} \text{ дж сек}; \quad m_n=1.675 \cdot 10^{-27} \text{ кг}; \quad 1 \text{ эВ}=1.602 \cdot 10^{-19} \text{ дж}.$$

Заведующий отделением

ядерной физики,  
профессор




М.И.Панасюк

Государственный экзамен по физике  
Физический факультет МГУ имени М.В.Ломоносова  
Специальность "Физика конденсированного состояния вещества"

Билет № 12

1. Уравнения Максвелла в среде. Материальные уравнения. Комплексная диэлектрическая проницаемость и показатель преломления, их пространственная и временная дисперсия.
2. Сверхпроводимость. Эффект Мейсснера. Сверхпроводники 1-го и 2-го рода. Вихри Абрикосова. Критический ток. Основные идеи теории Бардина-Купера-Шриффера
3. Для газа свободных электронов плотностью  $n$  ( $n$  электронов в единице объема), вывести выражение  $\varepsilon(\omega) = 1 - \frac{\omega_p^2}{\omega^2}$ ,  $\omega_p^2 = \frac{ne^2}{\varepsilon_0 m}$  для диэлектрической проницаемости как функции  $\omega$ .

Заведующий отделением  
ядерной физики,  
профессор

  
М.И.Панасюк

*Государственный экзамен по физике  
Физический факультет МГУ имени М.В.Ломоносова  
Специальность "Физика конденсированного состояния вещества"*

**Билет № 13**

1. Прохождение частиц через потенциальный барьер. Туннельный эффект.
2. Магнитные свойства веществ. Диамагнетизм и парамагнетизм. Гиромангнитное отношение. Закон Кюри и закон Кюри-Вейсса. Парамагнетизм Паули и диамагнетизм Ландау.
3. Для металлического натрия с ОЦК структурой ( $a=4.25 \text{ \AA}$ ) определить концентрацию электронов проводимости, предполагая один электрон проводимости на атом. В рамках модели свободных электронов получить выражение для энергии Ферми при  $T=0 \text{ К}$ , и рассчитать её для электронов проводимости металлического натрия.

При вычислениях использовать следующие значения констант:

$$h=6.626 \cdot 10^{-34} \text{ дж сек}; \quad m_e=9.11 \cdot 10^{-31} \text{ кг}; \quad 1 \text{ эВ}=1.602 \cdot 10^{-19} \text{ дж}.$$

Заведующий отделением

ядерной физики,  
профессор



М.И.Панасюк

Государственный экзамен по физике  
Физический факультет МГУ имени М.В.Ломоносова  
Специальность "Физика конденсированного состояния вещества"

**Билет № 14**

1. Основы физики молекул. Адиабатическое приближение. Термы двухатомной молекулы. Типы химической связи.
2. Понятие об обменном взаимодействии. Обменный интеграл. Ферромагнетизм. Магнитные домены. Магноны. Антиферромагнетизм.
3. Оценить намагниченность  $M$  монокристалла железа, если бы он полностью спонтанно намагнитился. Для справки: Железо (атомный номер  $Z=26$ ) имеет ОЦК структуру с параметром элементарной ячейки  $a=2.86 \text{ \AA}$ , магнитный момент иона железа  $\mu_0 \approx 2.2\mu_B$  ( $\mu_B = 9.27 \cdot 10^{-24} \text{ Дж тл}^{-1}$  – магнетон Бора), плотность железа  $\rho = 7.9 \text{ г/см}^3$ . Ответ дать в системе СИ.

Заведующий отделением

ядерной физики,  
профессор



М.И.Панасюк

Государственный экзамен по физике  
Физический факультет МГУ имени М.В.Ломоносова  
Специальность "Физика конденсированного состояния вещества"

**Билет № 15**

1. Дисперсия и поглощение света. Отражение и преломление на границах двух сред. Рассеяние света. Формула Рэлея.
2. Формирование кристаллической структуры из изолированных атомов. Типы связи в твердых телах.
3. Для линейного ионного кристалла из  $2N$  ионов с чередующимися зарядами  $\pm q$  и отталкивающим потенциалом между ближайшими соседями  $A/R^n$ , в дополнение к обычному кулоновскому потенциалу, определить равновесное расстояние  $R_0$  между ионами и равновесную энергию  $U(R_0)$

Заведующий отделением

ядерной физики,  
профессор



М.И.Панасюк

Государственный экзамен по физике  
Физический факультет МГУ имени М.В.Ломоносова  
Специальность "Физика конденсированного состояния вещества"

**Билет № 16**

1. Циклотронное и синхротронное излучение. Рассеяние электромагнитных волн на свободных электронах.
2. Теорема Блоха. Понятие квазиимпульса. Зона Бриллюэна.
3. В двумерной квадратной решетке с периодом  $a$  кинетическая энергия свободного электрона в узле первой зоны Бриллюэна больше, чем у электрона на середине грани зоны на коэффициент  $b$ . Определить  $b$ .

Заведующий отделением

ядерной физики,  
профессор



М.И.Панасюк



Государственный экзамен по физике  
Физический факультет МГУ имени М.В.Ломоносова  
Специальность "Физика конденсированного состояния вещества"

Билет № 17

1. Многоэлектронный атом. Приближение самосогласованного поля.
2. Колебания атомов в кристаллической решетке. Температура Дебая. Акустические и оптические фононы.
3. Дана двумерная квадратная решетка с параметром  $a$  и одним атомом массой  $m$  в узле, взаимодействующим только с ближайшими соседями с силовой константой  $K$ . Примем, что фононная дисперсионная кривая описывается функцией  $\omega_q = \sqrt{\frac{4K}{m}} \sin\left(\frac{qa}{2}\right)$ . Определить, в длинноволновом пределе (звук), плотность фононных состояний  $D(\omega) = dN / d\omega$ , т.е. число решеточных колебательных (акустических) мод в интервале  $d\omega$ .

Заведующий отделением

ядерной физики,  
профессор



М.И.Панасюк

*Государственный экзамен по физике  
Физический факультет МГУ имени М.В.Ломоносова  
Специальность "Физика конденсированного состояния вещества"*

**Билет № 18**

1. Основные постулаты квантовой механики. Чистые и смешанные состояния квантовомеханической системы. Волновая функция, матрица плотности. Принцип неопределенности.
2. Эффект Мессбауэра Мессбауэровская спектроскопия твердых тел. Влияние локального окружения на мессбауэровские спектры.
3. Для газа свободных электронов в металле (электроны не взаимодействуют между собой и с решеткой металла) вывести известную формулу для плотности электронных состояний на поверхности Ферми  $\rho(\varepsilon_F) = C\sqrt{\varepsilon_F}$ , где

$$C = \frac{V}{2\pi^2} \left( \frac{2m}{\hbar^2} \right)^{3/2}, V - \text{объем металла.}$$

Заведующий отделением

ядерной физики,  
профессор

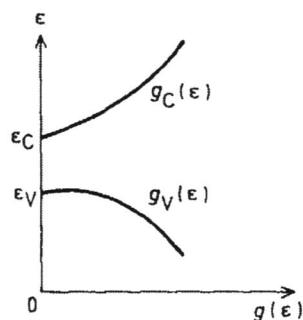


М.И. Панасюк

Государственный экзамен по физике  
Физический факультет МГУ имени М.В.Ломоносова  
Специальность "Физика конденсированного состояния вещества"

**Билет № 19**

1. Уравнения Гейзенберга и Шредингера. Стационарные состояния.
2. Электрические и гальваномагнитные явления в двумерных структурах. Квантовый эффект Холла.
3. Рассмотрим собственный полупроводник. Пусть  $\varepsilon$  – энергия электрона,  $g_C(\varepsilon)$  – плотность состояний в зоне проводимости,  $g_V(\varepsilon)$  – плотность состояний в валентной зоне (см. рисунок)



Предположим, что  $\varepsilon_C - \varepsilon_F \gg k_B T$ ,  $\varepsilon_F - \varepsilon_V \gg k_B T$  ( $k_B$  – постоянная Больцмана,  $T$  – температура полупроводника) и

$$g_C(\varepsilon) = C_1 (\varepsilon - \varepsilon_C)^{1/2}$$

$$g_V(\varepsilon) = C_2 (\varepsilon_V - \varepsilon)^{1/2}$$

где  $\varepsilon_C$  – энергия дна зоны проводимости и  $\varepsilon_V$  – энергия вершины валентной зоны. Энергию Ферми обозначим как  $\varepsilon_F$ . (а) Найти выражение для  $n$  – числа электронов в зоне проводимости, через  $\varepsilon_C, \varepsilon_F, k_B, T, C_1$  и безразмерный определенный интеграл. (б) Найти выражение для  $p$  – числа дырок в валентной зоне, через  $\varepsilon_V, \varepsilon_F, k_B, T, C_2$  и безразмерный определенный интеграл. (в) Найти явное выражение для  $\varepsilon_F(T)$ .

Заведующий отделением

ядерной физики,  
профессор

М.И. Панасюк

Государственный экзамен по физике  
Физический факультет МГУ имени М.В.Ломоносова  
Специальность "Физика конденсированного состояния вещества"

**Билет № 20**

1. Фундаментальные частицы - лептоны и кварки. Античастицы.
2. Понятие об обменном взаимодействии. Обменный интеграл. Ферромагнетизм. Магнитные домены. Магноны. Антиферромагнетизм.
3. Оценить намагниченность  $M$  монокристалла железа, если бы он полностью спонтанно намагнитился. Для справки: Железо (атомный номер  $A=56$ ) имеет ОЦК структуру с параметром элементарной ячейки  $a=2.86 \text{ \AA}$ , магнитный момент иона железа  $\mu_0 \approx 2.2\mu_B$  ( $\mu_B = 9.27 \cdot 10^{-24} \text{ Дж тл}^{-1}$  – магнетон Бора), плотность железа  $\rho = 7.9 \text{ г/см}^3$ . Ответ дать в системе СИ.

Заведующий отделением

ядерной физики,  
профессор



М.И. Панасюк