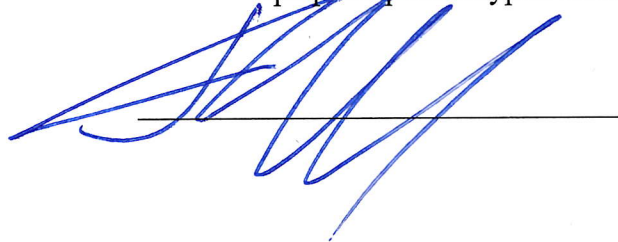


**«УТВЕРЖДАЮ»**

И.о. декана физического факультета МГУ

профессор Белокуров В.В.



**БИЛЕТЫ ГОСУДАРСТВЕННОГО ЭКЗАМЕНА**

**Направление подготовки 03.04.02 «Физика»**

**Магистерская программа**

**«НЕЙТРОННАЯ ФИЗИКА И ФИЗИКА НАНОСИСТЕМ»**

### 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 получения нейтронов широко используется реакция  $t(d,n)\alpha$ . Определить энергию нейтронов  $T_n$ , вылетающих под углом  $90^\circ$  в нейтронном генераторе, использующем дейтроны, ускоренные до энергии  $T_d = 0.2$  МэВ.

### Билет № 2

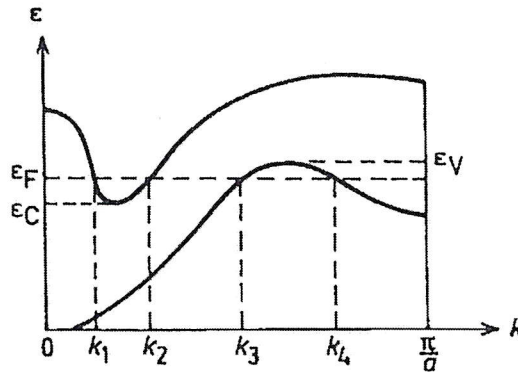
1. Колебания систем с одной и многими степенями свободы. Свободные и вынужденные колебания.
2. Теорема Блоха. Понятие квазиимпульса. Зона Бриллюэна.
3. Вычислить относительную долю пространства, заполненного сферами, в следующих кристаллических структурах: простая кубическая структура, объемноцентрированная кубическая структура, гранецентрированная кубическая структура. Предполагается, что каждая из структур является плотной упаковкой, т.е. образована жесткими сферами одинакового радиуса, которые касаются друг друга.

### 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. Для получения нейтронов используется реакция  ${}^7\text{Li}(p,n){}^7\text{Be}$ . Энергия протонов  $T_p = 5$  МэВ. Для эксперимента необходимы нейтроны с энергией  $T_n = 1.75$  МэВ. Под каким углом  $\theta_n$  относительно направления протонного пучка будут вылетать нейтроны с такой энергией?

### Билет № 4

1. Течение идеальной жидкости. Уравнение Эйлера.
2. Колебания атомов в кристаллической решетке. Температура Дебая. Акустические и оптические фононы.
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).

### Билет № 5

1. Течение вязкой жидкости. Уравнение Навье-Стокса. Число Рейнольдса.
2. Формирование зонного спектра. Эффективная масса. Энергия Ферми и поверхность Ферми.
3. Дифференциальное сечение ядерной реакции  $d\sigma/d\Omega$  под углом  $90^\circ$  составляет 10 мб/ср. Рассчитать величину интегрального сечения, если угловая зависимость дифференциального сечения имеет вид  $1+2\sin\theta$ .

### Билет № 6

1. Механизмы ядерных реакций. Модель составного ядра. Прямые процессы.
2. Методы исследования структуры твердых тел. Рентгеновская дифракция. Дифракция нейтронов.
3. Для измерения магнитных полей  $B \approx 0.1$  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.

### Билет № 7

1. Борновское приближение. Парциальное разложение амплитуды рассеяния.
2. Ядерный магнитный резонанс и ядерный квадрупольный резонанс.
3. Структура гидрида ванадия  $VH_2$  имеет гранецентрированную решетку с периодом  $a=4.24 \text{ \AA}$ . Определить брэгговские углы  $\theta$  для отражений (100), (200) и (300) при дифракции нейтронов с длиной волны  $\lambda=1.542 \text{ \AA}$ . Значения когерентного рассеяния нейтронов для ванадия (0.01838 бн) и водорода (1.7568 бн).

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

### Билет № 9

1. Реальные газы. Уравнение Ван-дер-Ваальса.
2. Эффект Мессбауэра. Мессбауэровская спектроскопия твердых тел. Влияние локального окружения на мессбауэровские спектры.
3. Рассчитать энергии и пороги следующих реакций:
  1.  $d(d, {}^3\text{He})n$ ;
  2.  ${}^7\text{Li}(p, n){}^7\text{Be}$Избытки масс приближенно равны (МэВ):  $p - 7.29$ ;  $n - 8.07$ ;  $d - 13.14$ ;  ${}^3\text{He} - 14.93$ ;  ${}^7\text{Li} - 14.91$  и  ${}^7\text{Be} - 15.77$ .

### 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. Рассеяние медленных ( $T_n = 1 \text{ кэВ}$ ) нейтронов на ядре  ${}^{238}\text{U}$  изотропно. Как можно объяснить этот факт?

### 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. 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:

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

### 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. 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  $\omega$ .

### Билет № 13

1. Прохождение частиц через потенциальный барьер. Туннельный эффект.
2. Магнитные свойства веществ. Диамагнетизм и парамагнетизм. Гиромагнитное отношение. Закон Кюри и закон Кюри-Вейсса.
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:

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

### Билет № 14

1. Основы физики молекул. Адиабатическое приближение. Термы двухатомной молекулы. Типы химической связи.
2. Простейшие модели ядра: модель жидкой капли, модель ферми-газа, оболочечная модель, обобщенная модель.
3. Для линейного ионного кристалл 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  $U(R_0)$

### Билет №15.

1. Дисперсия и поглощение света. Отражение и преломление на границах двух сред. Рассеяние света. Формула Рэлея.
2. Основные свойства ядер. Квантовые характеристики ядерных состояний
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.

### Билет №16.

1. Циклотронное и синхротронное излучение. Рассеяние электромагнитных волн на свободных электронах.
2. Деление тяжелых ядер нейтронами. Цепная реакция деления. Ядерные реакторы как источники нейтронов. Другие источники нейтронов.
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  $d\omega$ .

### Билет №17.

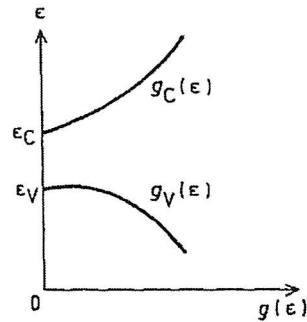
1. Многоэлектронный атом. Приближение самосогласованного поля.
2. Основные свойства нуклонов. Основные свойства ядерного взаимодействия между нуклонами.
3. В двумерной квадратной решетке с периодом  $a$  кинетическая энергия свободного электрона в узле первой зоны Бриллюэна больше, чем у электрона на середине грани зоны на коэффициент  $b$ . Определить  $b$ .

### Билет №18.

1. Основные постулаты квантовой механики. Волновая функция, операторы физических величин. Принцип неопределенности.
2. Э
3. Ядерные реакции и их основные характеристики. (Законы сохранения, энергия и порог реакции, сечения.)
4. 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.

**Билет №19.**

1. Уравнения Гейзенберга и Шредингера. Стационарные состояния.
2. Детектирование заряженных и нейтральных частиц и гамма-квантов. Основные типы детекторов.
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  $\varepsilon_F(T)$ .

**Билет №20.**

1. Стандартная модель: фундаментальные частицы и фундаментальные взаимодействия.
2. Понятие об обменном взаимодействии. Обменный интеграл. Ферромагнетизм. Магнитные домены. Антиферромагнетизм.
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  $C = \frac{V}{2\pi^2} \left( \frac{2m}{\hbar^2} \right)^{3/2}$ ,  $V$  – объем металла.