

1. Тепловое излучение, его принципиальное отличие от других видов излучения. Испускательная способность как спектральная плотность излучения, поглощательная способность тел.

Энергетическая светимость. Абсолютно черное тело и его моделирование в эксперименте. Закон Кирхгофа.

Излучение, которое происходит при разных температурах тел за счёт их внутренней энергии, называют температурным или тепловым излучением. Если тело получает от окружающих тел путём поглощения излучения или теплоты, количество энергии, которое точно компенсирует потери этой энергии за счет собственного излучения, то такой процесс называется равновесным. В этом случае температура тела - постоянная. Опыт показывает, что единственным видом излучения, которое может находиться в равновесии с излучающими телами, является тепловое излучение. Все остальные виды излучения являются неравновесными.

$R = \frac{\Phi}{S}$, $\Omega = 4\pi$, $0 < \lambda < \infty$; $[R] = \text{Вт/м}^2$. Энергетическая светимость определяет поток энергии, испускаемый телом с единицы поверхности по всем направлениям во всём диапазоне длин волн. В свою очередь, поток энергии Φ – это количество энергии, испускаемая в единицу времени. В общем случае, энергетическая светимость – функция температуры $R(T)$. Величина, которая определяет поток энергии излучения в определенном диапазоне длин волн $(\lambda, \lambda + d\lambda)$ называется испускательной способностью тела ($r(\lambda, T)$ или $r(\omega, T)$).

Если на некоторое тело падает поток излучения $d\Phi_0$, то часть его отражается, часть поглощается и часть проходит, если тело прозрачное.

$1 = \frac{d\Phi_{\text{отр}}}{d\Phi_0} + \frac{d\Phi_{\text{погл}}}{d\Phi_0} + \frac{d\Phi_{\text{пр}}}{d\Phi_0} = \rho + \alpha + \beta$; ρ – спектральный коэф отражения, характеризует отражающую способность тела; α – спектральный коэф поглощения, характеризует поглощательную способность тела; β – спектральный коэф прохождения (та часть энергии, которая проходит или излучается этим телом).

Рассмотрим систему двух тел, которые могут обмениваться энергией и находятся в равновесии. Энергия излучения: $dR \sim d\Phi_{\text{изл}}$; $d\Phi_{\text{изл}} = r_{\omega, T} d\omega$;

Энергия поглощения: $d\Phi_{\text{погл}} = \alpha_{\omega, T} d\Phi_0$; При равновесии: $d\Phi_{\text{изл}} = d\Phi_{\text{погл}}$;

$r_{\omega, T} d\omega = \alpha_{\omega, T} d\Phi_0 \Rightarrow \frac{r_{\omega, T}}{\alpha_{\omega, T}} = \frac{d\Phi_0}{d\omega} = f(\omega, T)$ – функция Кирхгофа. Тела для

которых $\alpha(\omega, T) = 1$ называются абсолютно чёрными. Тела для которых $\alpha(\omega, T) < 1$ называются серыми.

Закон Кирхгофа: отношение испускательной способности любого тела

и его поглотительной способности не зависит от природы тела, то есть является для всех тел одной и той же универсальной функцией частоты и температуры. Для абсолютно черных тел $f(\omega, T)$ функция Кирхгофа это излучательная способность абсолютно черного тела. Абсолютно черных тел в природе не существует (могут приравнять сажу, чёрный бархат).

Модель абсолютно черного тела может представлять собой небольшое отверстие в непрозрачной стенке замкнутой полости.

2. Правило Прева. Закон Кирхгофа как количественное отображение правила Прева. Энергетическая светимость и закон Стефана – Больцмана.

Закон Кирхгофа: отношение испускательной способности любого тела и его поглотительной способности не зависит от природы тела, то есть является для всех тел одной и той же универсальной функцией частоты и температуры. Для абсолютно черных тел $f(\omega, T)$ функция Кирхгофа это испускательной способности абсолютно черного тела. Абсолютно черных тел в природе не существует (могут приравнять сажу, чёрный бархат). Модель абсолютно черного тела может представлять собой небольшое отверстие в непрозрачной стенке замкнутой полости.

Правила Прева: если два тела, находящиеся и одной температуре, поглощают разное количество энергией, то их тепловое излучение должно быть различным.

Следствия из закона Кирхгофа:

1. Тело, обладающее большей испускательной способностью, обладает большей поглотительной способности (второй вид правила Прева) $r_{\omega, T} \sim \alpha_{\omega, T}$
2. Наибольшую испускательную способность обладают абсолютно черные тела. $r_{\omega, T} = \alpha_{\omega, T} f(\omega, T) = r_{0 \omega, T}$
3. Спектр излучения соответствует спектру поглощения. $\tau_{\text{изл}} \sim T = 10^{-15} \text{ с}$, где T – период собственных колебаний молекул.

Закон Кирхгофа только сравнивает излучающие и поглощающие способности тела и не определяет количество энергии, которое излучает тело. Количество излучаемой энергии определяется

энергетической светимостью: $dR_{\omega, T} = r_{\omega, T} d\omega \Rightarrow R_T = \int_0^\infty r_{\omega, T} d\omega$. Для абсолютно чёрных тел: $R_{0T} = \int_0^\infty r_{\omega, T} d\omega = \int_0^\infty \varphi(\omega, T) d\omega$.

Таким образом, задачи сводятся к определению функции Кирхгофа $\varphi(\omega, T)$. В 1879 году австрийский физик Стефан на основе экспериментальных данных и законов классической физики показал, что $\varphi(\omega, T) \sim T^4$ для всех тел. В 1884 году Больцман подтвердил выводы Стефана, но только для абсолютно черных тел и получил формулу: $R_{0T} = \int_0^\infty \varphi(\omega, T) d\omega = \sigma T^4$;

$R_{0T} = \sigma T^4$ – закон Стефана-Больцмана. σ – постоянная Стефана-Больцмана.

$$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{К}^4}.$$

3. Распределение энергии в спектре излучения абсолютно черного тела. Классические представления в соответствии с положениями Релея-Джинса. Спектральная плотность излучения на основании гипотезы Планка.

Закон Кирхгофа и Стефана-Больцмана определяет тепловые характеристики абсолютно черных тел, связанные с общей энергией, которая излучают эти тела, но не один из них не показывает как распределение. Эта энергия в спектре излучения по частотам.

Пусть получили 3 спектра излучения тела при разных температурах. Определить функцию Кирхгофа в явном виде для этих излучения. Классическая физика на основе термодинамического закона, говорит, что чем выше частота излучения тем энергия больше.

$\lambda_{\text{max}} = b/T$ - закон смещения Вина

Длина волны, соответствует λ_{max} излучающей способности абсолютно черного тела обратно пропорционально абсолютной температуры тела. ($b = 2,9 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}$ – постоянная Вина)

Формула Релея-Джинса

Реле и Джинс изучали проблемы для равновесия излучения в замкнутой полости применили равномерной распределении энергии по степеням свободы, ответственности за излучение энергии в веществе является колеблющиеся заряженные частицы электроны и ионы (осцилляторы).

Для функции Кирхгофа

$f(\lambda, T) = (2\pi c / \lambda^4) kT$ – формула Релея-Джинса

Данная формула соответствует эксперименту только для больших длин волн

$$R = \int_0^{\infty} \frac{2\pi c}{\lambda^4} kT d\lambda = 2\pi c kT \int_0^{\infty} \frac{d\lambda}{\lambda^4} \rightarrow \infty - \text{“ультрафиолетовая катастрофа”}$$

Формула Планка

Планк не только высказал гипотезу о дискретности излучения и поглощения, но и предложил рассмотреть атомы вещества, как гармонические осцилляторы находящиеся в дискретных состояниях. И при переходе происходит поглощения или излучения энергии. Средняя значение осциллятора: $E = \frac{h\nu}{e^{h\nu/kT} - 1} = \frac{hc/\lambda}{e^{hc/\lambda kT} - 1}$ – средняя энергия

Формула Релея-Джинса

$$f(\lambda, T) = \frac{2\pi c}{\lambda^4} kT, \quad kT - \text{средняя энергия тепловое хаотическое движение}$$

$$E \cong kT$$

$$f(\lambda, T) = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{hc/\lambda kT} - 1} - \text{формула Планка}$$

4. Применение законов теплового излучения в оптической пирометрии. Закон Стефана – Больцмана и радиационная температура для черного и серого тела.

Закон Стефана-Больцмана: энергетическая светимость абсолютно чёрного тела пропорциональна четвертой степени его термодинамической температуры.

$$R = \sigma T^4 \rightarrow \sigma = \frac{2\pi^5 k^4}{15h^3 c^2} \approx 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{К}^4}$$

Оптическая пирометрия – это один из методов определения температуры тел, значение которой превышает 2000°C. Этот метод позволяет определять температуру тела без контакта с ним.

Устройства, используемые для этой цели, называются пирометрами.

Яркостной пирометр или пирометр с исчезающей нитью. S - источник света, F - светофильтр (660 нм), L - нагревательная лампа, Ак - окуляр.

Сначала убедитесь, что яркость ламповой нити = яркость источника.

Эта температура называется яркостной температурой тела ($T_{\text{я}} = T_{\text{истинная}}$).

Радиационный пирометр: Регистрирует общее излучение тела.

Температура нагрева пластины зависит от энергии излучения тела.

Гальванометр проградуирован в температурной шкале абсолютно

черного тела. С помощью пирометра измеряется радиационная

температура: T_p - такая температура абсолютно черного тела, при которой его интегральная испускательная способность $R_T^0(T_p)$ равна

интегральной испускательной способности тела $R_T(T)$; где T - истинная

температура тела. $T_{\text{истинная}} \sim T_p$, $T_{\text{истинная}} = \frac{T_p}{\sqrt[4]{\beta_T}}$, где β_T - полный

коэффициент поглощения тела, который всегда <1 , поэтому $T_p < T_{\text{истинная}}$.

Пирометр для измерения цветной температуры: Он используется для тел, которые не имеют селективности излучения по спектру.

Исследуют распределение энергии излучения в спектрах абсолютно черного тела, определяют его температуру по закону Вина $T = \frac{b}{\lambda_{\text{max}}}$.

Температура абсолютно черного тела, при которой излучение

абсолютно черного тела по цвету близко к излучению серых тел,

называется цветовой температурой. Чтобы найти истинную цветовую температуру, находят монохроматическую испускательную

способность для разных длин волн, то есть соотношение испускательной способности исследуемого тела и абсолютно черного тела для данной длины волны λ и температуры T . Обычно оно определяется в синей и красной областях спектра.

$$\beta_{\lambda_1, T} = \frac{r_{\lambda_1} T}{r_{\lambda_1} T_k}; \quad \beta_{\lambda_2, T} = \frac{r_{0\lambda_2} T_k}{r_{0\lambda_2} T_k}$$

5. Закон смещения Вина, понятие яркостной и термодинамической температуры черного и серого тела.

В 1893 г. используя кроме законов термодинамики и электромагнитную теорию, Вин даёт вид функции Кирхгофа (спектрального распределения), которая имеет вид: $f(\omega, T) = \omega^3 \psi^* \left(\frac{\omega}{T} \right)$, где $\psi^* \left(\frac{\omega}{T} \right)$ некоторая функция отношения ω к T .

В длинах волн функции Кирхгофа: $f(\lambda, T) = \frac{1}{\lambda^5} \psi(\lambda \cdot T)$, где $\psi(\lambda \cdot T)$ – некоторая функция отношения $(\lambda \cdot T)$; $df(\lambda, T)/d\lambda = 0$; $\lambda_{\max} \cdot T = \text{const.}$

Вин получил важный вывод: $\lambda_{\max} = \frac{b}{T}$ – **закон смещения Вина**: длина волны, соответствующая максимуму излучающей способности абсолютно чёрного тела, обратно пропорциональна абсолютной температуре тела.

Постоянная Вина: $b = 2,9 \cdot 10^{-3}$

С ростом температуры длина волны, которая учитывает максимальное излучение, смещается в сторону коротких длин волн (поэтому закон называется законом смещения).

Оптическая пирометрия – это один из методов определения температуры тел, значение которой превышает 2000°C. Этот метод позволяет определять температуру тела без контакта с ним.

Устройства, используемые для этой цели, называются пирометрами.

Яркостной пирометр или пирометр с исчезающей нитью. S - источник света, F - светофильтр (660 нм), L - нагревательная лампа, Ак - окуляр. Сначала убедитесь, что яркость ламповой нити = яркость источника.

Эта температура называется яркостной температурой тела ($T_{\text{я}} = T_{\text{истинная}}$). Под яркостной температурой понимают температуру абсолютно черного тела, при которой его спектральная излучательная способность равна спектральной излучательной способности исследуемого тела при той же длине волны.

Термодинамическая температура, или абсолютная температура является единственной функцией состояния термодинамической системы, которая характеризует направление самопроизвольного теплообмена между телами.

6. Фотоны. Формула Планка и ее предельные случаи (формула Вина, закон смещения Вина, формула Релея-Джинса, закон Стефана-Больцмана).

В 1900 году М. Планк высказал идею о том, что он предложил рассматривать процессы излучения и поглощения энергии как дискретные. Энергия излучается в виде отдельных порций – квантов.

Кванты света называются фотонами (не обладают массой покоя). Фотон – элементарная частица, которая является носителем электромагнитного взаимодействия.

1. $m_{\phi}^0 = 0$

2. В вакууме $V_{\phi} = c$; в среде $V_{\phi} = \frac{c}{n}$, n –

показатель преломления в среде.

Формула Планка: Планк не только выдвинул гипотезу о дискретности излучения и поглощения, но и предложил рассматривать атомы вещества как гармонические осцилляторы, которые находятся в дискретных состояниях, а при переходе из первого состояния во второй атом либо излучают, либо поглощают энергию. Средняя энергия гармонического осциллятора Планка: $\bar{\epsilon} = \frac{Hh\nu}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1} = \frac{Hhc/\lambda}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1}$.

Формула Вина: $f(\lambda, T) = \left(\frac{\alpha}{\lambda^5}\right)e^{-\left(\frac{\beta}{\lambda T}\right)}$. Рассмотрим короткие длины волн (λ - мало). То есть $\frac{hc}{\lambda} \gg kT$ и $e^{\frac{hc}{\lambda kT}} \gg 1$. Получим: $f(\lambda, T) = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \cdot e^{-hc/\lambda kT}$. Если сравнить с Вином, то: $\alpha = 2\pi hc^2$; $\beta = hc/k$.

Закон смещения Вина: длина волны, соответствующая максимальному значению спектральной плотности энергетической светимости абсолютно черного тела, обратно пропорциональна его температуре.

$$\frac{\beta}{\lambda_{max}T} = 4,965 \rightarrow \lambda_{max}T = \frac{\beta}{4,965} \rightarrow \lambda_{max} = \frac{b}{T}.$$

Формула Релея-Джинса: описывает тепловое излучение абсолютно черного тела на длинах волн, удовлетворяющих условию $\frac{hc}{\lambda} \ll kT \rightarrow$

$e^{\frac{hc}{\lambda kT}} \approx 1 + \frac{hc}{\lambda kT} \rightarrow f(\lambda, T) = \frac{2\pi c}{\lambda^4} kT$. Верна для длинных длин волн и совершенно не применима для коротких.

Закон Стефана-Больцмана: энергетическая светимость абсолютно чёрного тела пропорциональна четвертой степени его термодинамической температуры.

$$R = \sigma T^4 \rightarrow \sigma = \frac{2\pi^5 k^4}{15h^3 c^2} \approx 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{К}^4}$$

7. Закон Кирхгофа для теплового излучения. Проявление закона Кирхгофа при нагревании различных тел. Законы Стефана-Больцмана и Вина.

Закон Кирхгофа: отношение испускательной способности любого тела и его поглотительной способности не зависит от природы тела, то есть является для всех тел одной и той же универсальной функцией частоты и температуры. Для абсолютно черных тел $f(\omega, T)$ функция Кирхгофа это испускательная способность абсолютно черного тела. Абсолютно черных тел в природе не существует (могут приравнять сажу, чёрный бархат). Модель абсолютно черного тела может представлять собой небольшое отверстие в непрозрачной стенке замкнутой полости.

Правила Прева: если два тела, находящиеся в одной температуре, поглощают разное количество энергией, то их тепловое излучение должно быть различным.

Следствия из закона Кирхгофа:

1. Тело, обладающее большей испускательной способностью, обладает большей поглотительной способности (второй вид правила Прева) $r_{\omega, T} \sim \alpha_{\omega, T}$
2. Наибольшей испускательной способностью обладают абсолютно черные тела. $r_{\omega, T} = \alpha_{\omega, T} f(\omega, T) = r_{0 \omega, T}$
3. Спектр излучения соответствует спектру поглощения. $\tau_{\text{изл}} \sim T = 10^{-15} \text{ с}$, где T – период собственных колебаний молекул.

Закон Стефана-Больцмана: энергетическая светимость абсолютно чёрного тела пропорциональна четвертой степени его термодинамической температуры.

$$R = \sigma T^4 \rightarrow \sigma = \frac{2\pi^5 k^4}{15h^3 c^2} \approx 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{К}^4}$$

Закон смещения Вина: длина волны, соответствующая максимальному значению спектральной плотности энергетической светимости абсолютно черного тела, обратно пропорциональна его температуре.

$$\frac{\beta}{\lambda_{\text{max}} T} = 4,965 \rightarrow \lambda_{\text{max}} T = \frac{\beta}{4,965} \rightarrow \lambda_{\text{max}} = \frac{b}{T}.$$

С ростом температуры длина волны, которая учитывает максимальное излучение, смещается в сторону коротких длин волн (поэтому закон называется законом смещения).

8. Внешний фотоэлектрический эффект, суть опытов Герца с освещением искрового промежутка. Опыты Столетова. Уравнение Эйнштейна.

Физические явления, возникающие при облучении вещества электромагнитным излучением, называются фотоэлектрическими или фотоэффектом. При внешнем фотоэффекте облучаемое вещество излучает электроны, которые называются фотоэлектронами. При внутреннем фотоэффекте повышается электропроводность облучаемого вещества.

В 1887 г Герц занимался проблемой электрических разрядов в разных средах. Он заметил, что если катод искрового промежутка облучать потоком электромагнитного излучения (особенно в ультрафиолетовой области спектра), то разряд происходит при меньших напряжениях.

В 1889 г Столетов провел эксперимент с воздушным плоским конденсатором, который состоял из двух пластин – сплошной и сетчатой. При освещении этих пластин, в цепи возникал электрический ток, фототок. Столетов брал излучение разных длин волн, различной интенсивности и менял полярность пластин. Итоги: 1) наибольший эффект возникновения фототока вызывает излучение с меньшей длиной волны – ультрафиолетовое, 2) величина фототока (сила фототока) \propto освещенности поверхности тела (интенсивности), 3) под действием света освобождаются отрицательно заряженные частицы. Таким образом, световой поток проходит через сеть, которая падает на сплошную пластину и вырывает из нее электроны, которые под воздействием поля образуют фототок.

В 1905 г Эйнштейн предложил рассматривать явление фотоэффекта как процесс взаимодействия фотона с электроном (неупругое столкновение). При этом фотон полностью отдает энергию электрону, а сам исчезает. Этот процесс на основании закона сохранения энергии описывается уравнением Эйнштейна для внешнего фотоэффекта. $h\nu = A_{\text{вых}} + \frac{1}{2} m v_{\text{max}}^2$ – формула Эйнштейна или $h\nu = A_{\text{вых}} + eU_3$. 3-н показывает, как энергия излучения превращается в механическую и кинетическую энергию.

9. Корпускулярные свойства электромагнитного излучения в фотоэлектрическом эффекте, законы фотоэффекта относительно тока насыщения, максимальной скорости эмиссируемых электронов, гипотеза Эйнштейна, уравнение Эйнштейна.

Вольт-амперная характеристика – зависимость фототока от напряжения, приложенного к электродам при постоянном световом потоке. I_0 -создается, если нет источника напряжения. Когда увеличивается напряжение, то фототок увеличивается и при каком-то напряжении $U=U_H$ ток остается постоянным. Наступает насыщение фототока I_H

Если приложить $U \geq U_H$, то при постоянной освещенности ($\Phi = \text{const}$) катода I_H зависит от длины волны подающего света. Эта зависимость $I(\lambda)$ называется **спектральной характеристикой фотоэффекта**.

Для некоторых металлов в определенной спектральной области имеет место резко выраженный **тах**. Это явление получило название **селективного фотоэффекта**, которая напоминает явление резонанса, когда частота падающего света приближается к собственной частоте колебаний электрона, и колебания электрона усиливаются. В этом случае электрону легче преодолеть работу выхода. В 1905 году Эйнштейн показал, что все закономерности фотоэффекта легко объясняются, если предположить, что свет поглощается такими же порциями $h\nu$ (квантами), какими он испускается. Он предложил рассматривать явление фотоэффекта как процесс взаимодействия фотона с электроном, причем это неупругое столкновение. При этом фотон полностью отдает энергию электрону, а сам исчезает. Этот процесс на основании (с использованием) закона сохранения энергии описывается уравнением Эйнштейна для внешнего фотоэффекта.

$h\nu = A_{\text{вых}} + 1/2 m v_{\text{тах}}^2$ – формула Эйнштейна

Экспериментальные исследования и теория Эйнштейна сделали возможным сформулировать **три основных закона внешнего фотоэффекта**:

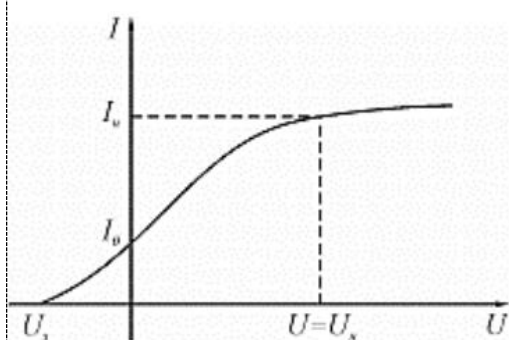
1. $I_H = \gamma \Phi$, где γ - коэффициент пропорциональности, который называется чувствительностью вещества. Ток насыщения пропорционален величине светового потока, который падает на поверхность вещества. $\Phi \sim$ количество падающего квантового света в единицу времени. γ зависит от свойств вещества и качества обработки поверхности. **2.** $v_{\text{тах}} \sim \nu$. Максимальная скорость фотоэлектрона пропорциональна частоте излучение, которое вызывает фотоэффект и не зависит от его интенсивности. **3.** Если $E_k = 0$, $h\nu = A \Rightarrow \nu_{\text{кр}} = A/h$. Для каждого вещества сущ. мин. Частота света, при которой еще возможен внешний фотоэффект. Эта частота называется красной границей фотоэффекта. Это зависит от химической природы вещества и состояния его поверхности.

10. Волновые свойства электромагнитного излучения в фотоэлектрическом эффекте. Основные характеристики – вольтамперная, световая. Задерживающий потенциал, красная граница фотоэффекта. Применение внешнего фотоэффекта (фотоэлемент, фотоэлектронный умножитель, электронно-оптический преобразователь).

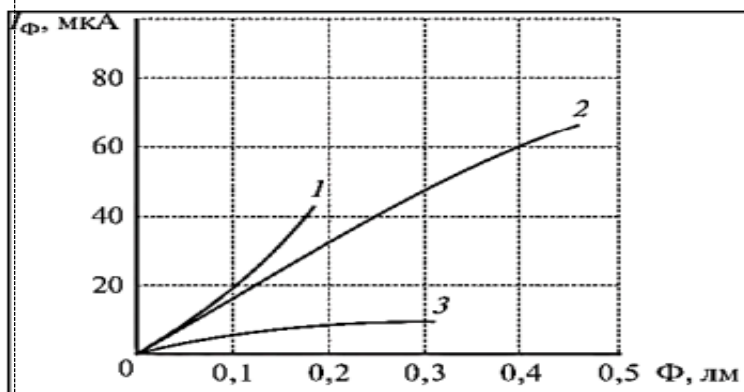
В начале 20-го века стало ясно, что свет обладает двойственной природой – корпускулярно-волновой дуализм. При распространении света проявляются его волновые свойства (интерференция, дифракция,

поляризация), а при взаимодействии с веществом – корпускулярные (фотоэффект, эффект Комптона).

Вольтамперная характеристика: зависимость фототока от напряжения, приложенного к электродам при постоянном световом потоке. Если увеличивать световой поток, то



кол-во электронов увеличивается, а значит и фототок насыщения увеличивается. Чтобы остановить фотоэффект, задержать электроны, нужно поменять полярность между катодом и анодом, при каком-то напряжении $U=U_3$ фототок $I=0$. Это напряжение называется задерживающим. Если приложить $U \geq U_H$, то при постоянной освещенности ($\Phi = \text{const}$) катода I_H зависит от длины волны падающего света. Эта зависимость $I(\lambda)$ называется спектральной характеристикой фотоэффекта. λ_0 – красная граница фотоэффекта, это та λ_{max} , с которой начинается фотоэффект при заданном $U \geq U_H$.



Световая характеристика:

зависимость силы фототока (при определенном напряжении на электродах фотоэлемента) от светового потока, $I(\Phi) = k\Phi$, где k – интегральная чувствительность.

1. фотоэлемент: стеклянный пузырь, который имеет два электрода, катод и анод, внутри вакуум или газ. Основной характеристикой фотоэлемента является его чувствительность $\gamma = I/\Phi$. Для вакуума

$\square = 20-100$ мкА/лм, для газа $\square = 1000$ мкА/лм. Основным недостатком вакуумного фотоэлемента является его небольшая чувствительность.

2. фотоэлектрические умножители: для изучения слабых световых потоков. Напряжение на каждом диоде относительно катода на 50-100 В выше, чем на предыдущем. Благодаря вторичной эмиссии, на динамометре кол-во электронов увеличивается. Коэффициент усиления электронного тока $K = \square^n$, где \square - коэф вторичной электрической эмиссии, n – кол-во диодов. Коэффициент K может достигать 10^9-10^{11} . Основной недостаток: наличие красной границы ограничивает использование ФЭП в инфракрасной области спектра.

3. электронно-оптический преобразователь: вакуумный фотоэлектронный прибор для преобразования невидимого глазом изображения (в ближнем инфракрасном, ультрафиолетовом или рентгеновском спектре) в видимое либо для усиления яркости видимого изображения. Высокая светочувствительность ЭОП позволяет получить различимое изображение даже при очень низких уровнях освещённости. Применяется в приборах ночного видения.

11. Энергия, масса, импульс фотона. Давление света с точки зрения волновых и корпускулярных представлений. Опыты Лебедева.

Энергия фотона определяется его частотой: $E = \hbar\omega$. Электромагнитная волна обладает импульсом \rightarrow фотон обладает импульсом: $p = \frac{E}{c} = \frac{\hbar\omega}{c}$.

Такое соотношение между импульсом и энергией возможно только для частиц с нулевой массой покоя, движущихся со скоростью c . Таким образом, масса покоя фотона равна 0. Инертная масса: $m = \frac{\hbar\omega}{c^2}$.

В 1873 году Максвелл обосновал гипотезу о том, что свет, падающий на поверхность вещества, должен оказывать давление на эту поверхность. Если свет попадает на вещ-во происходит их механическое взаимодействие. То есть световые частицы должны передать поверхности часть своего импульса, значит производить давление. Согласно расчетам Максвелла, давление света: $P = \frac{I}{c}(1 + \rho)$,

где I – энергия, падающая на единицу площади освещаемой поверхности в единицу времени, т.е. освещенность: $I = \frac{W}{dSdt}$; $\frac{W}{dt} = \Phi \rightarrow$

$I = \frac{\Phi}{dS} = E$. Для абсолютно чёрных тел $\rho=0$, для идеального зеркала $\rho=1$.

В 1899 г Лебедев провел исследование по измерению давления света с помощью крутильных весов. Причины, повлиявшие на исследование:

1) из-за того, что давление света очень мало ($\sim 10^5$ Н/см²), то любая частица среды может оказывать куда большее влияние на давление, чем на свет, поэтому нужен вакуум. 2) радиометрический эффект – $T_1 > T_2$ для остальных молекул газа различные скорости отражения стенок; $V_1 > V_2$ разные скорости, изменение импульса будет отличаться и возникает результирующая сила, которая сильнее света. 3) наличие потоков возле крыльев.

$$P = nh\nu(1 + \rho) = \frac{W}{h\nu dS dt} h\nu(1 + \rho) = \frac{W}{dS dt} (1 + \rho) = \frac{\Phi}{cdS} (1 + \rho) = \frac{I}{c} (1 + \rho)$$

Исследование Лебедева выявило наличие давления света и это явление подтвердило справедливость квантовой теории.

12. Волновые и корпускулярные свойства электромагнитного излучения на примере поглощения и рассеяния рентгеновских лучей на свободных электронах. Эффект Комптона и необходимые законы сохранения для его описания.

Комптон исследовал упругое рассеяние коротковолнового рентгеновского излучения на свободных электронах вещества. Открытый им эффект увеличения длины волны рассеянного излучения не укладывался в рамки волновой теории, в соответствие с которой длина волны излучения не должна изменяться при рассеянии. Согласно волновой теории электрон под действием периодического поля световой волны совершает вынужденные колебания на частоте волны и поэтому излучает рассеянные волны той же частоты.

Монохроматическое рентгеновское излучение с длиной волны λ_0 , исходящее из рентгеновской трубки R, проходит через свинцовые диафрагмы и в виде узкого пучка направляется на рассеивающее вещество-мишень P (графит, алюминий). Излучение, рассеянное под некоторым углом Θ , анализируется с помощью спектрографа рентгеновских лучей S, в котором роль дифракционной решетки играет кристалл K, закрепленный на поворотном столике.

Опыт показал, что в рассеянном излучении наряду с λ_0 наблюдается и большая длина волны $\lambda = \lambda_0 + \Delta\lambda$. Наблюдаемое изменение длины волны $\Delta\lambda$ зависит только от угла рассеяния Θ : $\Delta\lambda = \lambda - \lambda_0 = 2\lambda_k \sin^2 \Theta / 2$, где $\lambda_k = 2,43 \cdot 10^{-3}$ нм — так называемая комптоновская длина волны, не зависящая от свойств рассеивающего вещества. В рассеянном излучении наряду со спектральной линией с длиной волны λ наблюдается несмещенная линия с длиной волны λ_0 . Комптоновская длина волны: $\lambda_k = \frac{h}{m_0 c} = 2,43 \cdot 10^{-12}$ м.

Таким образом, теоретический расчет, выполненный на основе квантовых представлений, дал исчерпывающее объяснение эффекту Комптона и позволил выразить комптоновскую длину волны λ_k через фундаментальные константы h , c и m_0 . Как показывает опыт, в рассеянном излучении наряду со смещенной линией с длиной волны λ наблюдается и несмещенная линия с первоначальной длиной волны λ_0 . Это объясняется взаимодействием части фотонов с электронами, сильно связанными с атомами. В этом случае фотон обменивается энергией и импульсом с атомом в целом. Из-за большой массы атома по сравнению с массой электрона атому передается лишь ничтожная часть энергии фотона, поэтому длина волны λ рассеянного излучения практически не отличается от длины волны λ_0 падающего излучения.

13. Волновые и корпускулярные свойства электромагнитного излучения. Опыт Боте как подтверждение корпускулярности свойств рентгеновского излучения. Рентгеновские лучи.

Применение рентгеновских лучей.

В начале 20-го века стало ясно, что свет обладает двойственной природой – корпускулярно-волновой дуализм. При распространении света проявляются его волновые свойства (интерференция, дифракция, поляризация), а при взаимодействии с веществом – корпускулярные (фотоэффект, эффект Комптона). В 1926 году Бот также подтвердил квантовую природу света. Эйнштейн выдвинул гипотезу, что свет и распространяется в виде дискретных частиц, названных первоначально световыми квантами, а позже фотонами

Наиболее непосредственное подтверждение гипотезы Эйнштейна дал опыт Боте. Тонкая металлическая фольга Ф помещалась между двумя газоразрядными счетчиками Сч. Фольга освещалась слабым пучком, рентгеновских лучей, под действием которых она сама становилась источником рентгеновских лучей (это явление называется рентгеновской флуоресценцией). Вследствие малой интенсивности первичного пучка количество квантов, испускаемых фольгой, было невелико. При попадании в него рентгеновских лучей счетчик срабатывал и приводил в действие особый механизм М, делавший отметку на движущейся ленте Л. Если бы излучаемая энергия распространялась равномерно во все стороны, как это следует из волновых представлений, оба счетчика должны были бы срабатывать одновременно и отметки на ленте приходились бы одна против другой. В действительности же наблюдалось совершенно беспорядочное расположение отметок. Это можно объяснить лишь тем, что в отдельных актах испускания возникают световые частицы, летящие то в одном, то в другом направлении. Итак, было экспериментально доказано существование особых световых частиц — фотонов.

В 1895 году немецкий ученый В.Рентген открыл лучи, названные впоследствии его именем. Рентгеновское излучение – электромагнитные волны, энергия фотонов которых лежит на энергетической шкале между ультрафиолетовым излучением и гамма-излучением. Рентгеновские лучи возникают при сильном ускорении заряженных частиц (тормозное излучение), либо при

высокоэнергетических переходах в электронных оболочках атомов или молекул.

Применение рентгеновских лучей: медицинская диагностика, лечение раковых заболеваний, досмотр багажа и грузов, рентгеноструктурный анализ (исследование внутренней структуры кристаллов и сложных молекул), рентгеновская астрономия (исследование космических объектов) и др.

14. Корпускулярно-волновой дуализм в природе и волновые свойства микроскопических частиц на примере опытов по дифракции электронов. Волны де Бройля. Соотношение неопределенностей Гейзенберга.

Пример давления света показал, что свет обладает корпускулярно-волновым дуализмом, что его частицы (фотоны) обладают свойствами как волн, так и частиц, характеристики волны и частицы взаимосвязаны. Частицу характеризуют: импульс и энергия $\rightarrow p = \frac{h}{\lambda}, p \sim \frac{1}{\lambda}$.

В 1924 году Луи де-Бройль высказал гипотезу, что корпускулярно-волновой дуализм характерен не только для света, но и для частиц.

Если некоторая частица с массой m движется с v , $\rightarrow p = \frac{h}{\lambda}, mv = \frac{h}{\lambda} \rightarrow \lambda = \frac{h}{mv}$ – волна де-Бройля (определяет длину волны, которая должна соответствовать частице, движущейся со скоростью v).

В 1927 году Дэвиссон и Джермер впервые наблюдали отражение электронного пучка от поверхности кристалла. Два независимых метода дают примерно одинаковый результат. $\lambda = \frac{h}{\sqrt{2emU}} \approx 1,67 \text{ \AA}$. Это говорит о том, что электрон как частица материи обладает свойствами как частицы, так и волны, что подтверждает гипотезу де Бройля.

В 1928 году Томсон и Тартаковский получили дифракционную картину при прохождении электронного пучка через металлическую фольгу. Фольга - поликристаллическое тело. И это говорит о том, что электронный пучок на кристаллах фольги дифрагирует и всегда среди множества кристаллов фольги были те, которые соответствуют уравнению Вольфа-Брэгга и образуют дифракционные кольца радиуса r . $\lambda = \frac{2a \sin \theta}{n}$, n – порядок дифракции.

В 1949 г Биберман, Сушкин и Фарикант провели эксперимент с малоинтенсивными электронными пучками. В таких пучках электроны движутся практически один за другим и не взаимодействуют.

Оказалось, что также наблюдается явление дифракции, которое указывает на то, что волновые качества присущи отдельному электрону, это значит, что отдельные частицы обладают корпускулярно-волновым дуализмом.

Принцип неопределенности Гейзенберга: Нахождение неопределенности координаты частицы Δx на неопределенность проекции импульса на заданное направление ΔP_x не может быть на порядок меньше постоянной Планка \hbar .

$\Delta x \cdot \Delta P_x \geq \frac{\hbar}{2}$ — чем точнее определяется координата частицы (Δx — мала), тем более неточно определяется ΔP_x (большая) и наоборот.

$\Delta y \Delta P_y \geq \frac{\hbar}{2}$; $\Delta z \Delta P_z \geq \frac{\hbar}{2}$. Зная связь между импульсом и энергией \rightarrow

$$\Delta E \Delta t \geq \frac{\hbar}{2}; \Delta E \sim \frac{\hbar}{2\Delta t}.$$

15. Волновые свойства микрочастиц на примере дифракции потока частиц на узкой щели. Обоснование соотношения неопределенностей Гейзенберга.

В квантовой механике невозможно определить координату частицы и ее импульс одновременно. Это можно сделать только с некоторой неточностью, потому что местоположение частицы и ее скорость в данный момент носят вероятный характер. На этой основе был сформулирован основной принцип квантовой механики - **принцип неопределенности Гейзенберга**. Нахождение неопределенности координаты частицы Δx на неопределенность проекции импульса на заданное направление ΔP_x не может быть на порядок меньше постоянной Планка \hbar .

В 1926-1927 г Гейзенберг и Шредингер разработали теорию и создали новый раздел физики – квантовая физика.

Основные положения квантовой физики:

Квантовая частица рассматривается как неделимое целое.

Она обладает свойствами как волны так и частицы $P = h/\lambda$

Для квантовой частицы невозможно определить точно координаты и импульс, время и энергию.

Для квант. Частицы применимо понятия траектории ограничено.

Квантовая механика не имеет наглядности, ее механические модели являются неточными и нереальными.

Поведение квант. частиц описывается так называемый **волновой функцией**.

Законы квантовой механики носят вероятностный характер.

Принцип: Произведение неопределенности координаты частицы на неопределенность проекции импульса на данное направление, не может быть по порядку величины меньше постоянной Планка.

эксперимент – дифракцию электронного пучка на двух щелях:

электрон пролетает через обе щели. Мы интуитивно представляем себе поток микрочастиц как направленное движение маленьких шариков и применяем для описания этого движения законы классической физики.

Но электрон (и любая другая микрочастица) обладает не только корпускулярными, но и волновыми свойствами. Легко представить, как электромагнитная световая волна проходит через две щели в оптическом опыте Юнга, т. к. волна не локализована в пространстве.

Мы должны признать, что каждый фотон тоже не локализован.

Поэтому в квантовой физике делается вывод: фотон интерферирует сам с собой.

Все вышесказанное относится и к опыту по дифракции электронов на двух щелях. Вся совокупность известных экспериментальных фактов может найти объяснение, если принять, что дебройлевская волна каждого отдельного электрона проходит одновременно через оба отверстия, в результате чего и возникает интерференция. Поштучный поток электронов тоже дает интерференцию при длительной экспозиции, то есть электрон, как и фотон, интерферирует сам с собой.

16. Волновая функция микрочастицы, ее физический смысл для описания состояния микросистемы. Принцип суперпозиции в волновой механике, квантовой механике. Уравнение Шредингера.

Новая механика получила название квантовой механики. Ее основы были заложены Шредингером, Гейзенбергом, Дираком и др.

Необходимость вероятностного подхода к описанию микрообъектов является важнейшей особенностью квантовой теории. В квантовой механике для характеристики состояний объектов в микромире вводится понятие волновой функции ψ (пси-функции). Она является функцией координат и времени. $\psi(x, y, z, t)$

Физический смысл волновой функции сформулировал Борн в 1926 году. Согласно Борну: квадрат модуля волновой функции $|\psi|^2$ определяет вероятность dP нахождения микрочастицы в пределах объема dV пространства: $dP = A|\psi|^2 dV = A\psi^*\psi dV$, где A – коэффициент пропорциональности, ψ^* – функция, комплексно сопряженная с ψ , $|\psi|^2$ – интенсивность волн де Бройля. Пребывание частицы где-либо в пространстве есть достоверное событие и его вероятность должна быть равна единице.

Свойства волновой функции: 1) ψ – функцию можно умножить на произвольное комплексное число C , тогда функции ψ и $C\psi$ определяют одно и то же состояние квантовой частицы. 2) волновая функция подчиняется принципу суперпозиции.

$\sum_n |C_n|^2 = 1$, волновая функция является одной из основных величин, описывающей поведение квантовой частицы, которое имеет

вероятностный характер. Волновая функция Ψ является решением основного уравнения квантовой механики – уравнения Шредингера.

Основное уравнение нерелятивистской ($v \ll c$) квантовой механики

было получено Шредингером в 1926 году: $-\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 \psi + U\psi = i\hbar \frac{d\psi}{dt}$ –

временное уравнение Шредингера. $\nabla^2 \psi + \frac{2m}{\hbar^2} (E - U)\psi = 0$ –

уравнение Шредингера для стационарных состояний.

Уравнение Шредингера дополняется важными условиями, которые

накладываются на волновую функцию: 1) Функция ψ должна быть непрерывной, конечной и однозначной; 2) Производные ψ – функции по координатам и времени должны быть непрерывны Производные ψ –

функции по координатам и времени должны быть непрерывны; 3)

Функция $|\psi|^2$ должна быть интегрируема.

Каждому значению главного квантового числа n , определяющему энергетическое состояние атома, соответствует целый ряд комбинаций квантовых чисел l и m . $r_1 = 5,29 \cdot 10^{-11}$ м – радиус первой боровской орбиты.

17. Движение частицы в потенциальной яме с бесконечно высокими стенками. Волновая функция частицы, граничные условия, квантование энергии, момента импульса и проекции момента импульса электрона в атоме.

Физический смысл волновой функции сформулировал Борн в 1926 году. Согласно Борну: квадрат модуля волновой функции $|\psi|^2$ определяет вероятность dP нахождения микрочастицы в пределах объема dV пространства: $dP = A|\psi|^2 dV = A\psi^*\psi dV$, где A – коэффициент пропорциональности, ψ^* – функция, комплексно сопряженная с ψ , $|\psi|^2$ – интенсивность волн де Бройля.

Собственные значения энергии и соответствующие им собственные функции для частицы, находящейся в бесконечно глубокой потенциальной яме. Пусть частица движется вдоль оси x , ее движение ограничено непроницаемыми стенками $x = 0$, $x = l$. Частица не может выйти из границы ямы, поэтому $\psi = 0$. При $0 \leq x \leq l$ потенциальная энергия $U = 0$ (и обращается в бесконечность при $x < 0$ и $x > l$) и ур.

Шредингера: $\nabla^2 \psi + \frac{2m}{\hbar^2} E \psi = 0$. Яма одномерная: $\nabla^2 \psi = \frac{\delta^2 \psi}{\delta^2 x^2}$. $E =$

$\frac{\pi^2 \hbar^2}{2ml^2} n^2$ – выражение для собственной энергии свободной частицы, находящейся в одномерной глубокой потенциальной яме. Вероятность нахождения частицы в определенной точке ямы будет определяться по квадрату функции $\psi_n(x)$: $\psi_n^2(x) = \frac{2}{l} \sin^2(\frac{n\pi x}{l})$. $n = 1$ – вероятность обнаружения частицы наибольшая в середине ямы; $n = 2$ – частица не может быть обнаружена в середине ямы, она одинаково распространена в левой и правой половине ямы.

Отметим, что из правил квантования момента вытекает, что постоянную Планка \hbar можно рассматривать как естественную единицу момента импульса. Момент импульса системы, состоящей из нескольких микрочастиц, равен сумме моментов отдельных частиц. Суммарный момент, как и всякий момент вообще, определяется выражением $M = \hbar \sqrt{L(L+1)}$, где L — азимутальное квантовое число результирующего момента.

18. Микрочастица в поле квазиупругой силы. Закономерности квантования энергии линейного гармонического осциллятора. Волновая функция и энергия основного состояния.

Частица, движущаяся в одной плоскости в определенном направлении под действием квазиупругой силы $F = -kx$, называется линейным гармоническим осциллятором. Квантовая механика показывает, что при понижении температуры $T \rightarrow 0$ К вещество не прекращает свое движение, движение только замедляется, а энергия частиц вещества не становится $=0$, а стремится к $E = \frac{1}{2} \hbar \omega$

Об этом свидетельствуют исследования рассеивания света на кристаллах при низких температурах. На гармонический осциллятор накладывается условие его действия (правило отбора), согласно которому $\Delta n = \pm 1$, что означает, что переходы частиц между уровнями могут происходить только между соседними. $E_1 - E_0 = \hbar \omega$; $E_2 - E_1 = \hbar \omega$. Когда частица переходит с уровня на уровень, энергия выделяется или поглощается в виде отдельного кванта $\hbar \omega$. Если частица находится в стационарном состоянии, то, используя принцип неопределенности, можно точно определить радиус орбиты и энергию основного состояния.

Принцип неопределенности Гейзенберга: $\Delta x \cdot \Delta P_x \geq \frac{\hbar}{2}$; $\Delta y \cdot \Delta P_y \geq \frac{\hbar}{2}$; $\Delta z \cdot \Delta P_z \geq \frac{\hbar}{2}$

В квантовой механике для характеристики состояний объектов в микромире вводится понятие волновой функции ψ (пси-функции). Она является функцией координат и времени. $\psi(x, y, z, t)$

Физический смысл волновой функции сформулировал Борн в 1926 году. Согласно Борну: квадрат модуля волновой функции $|\psi|^2$ определяет вероятность dP нахождения микрочастицы в пределах объема dV пространства: $dP = A|\psi|^2 dV = A\psi^* \psi dV$, где A – коэффициент пропорциональности, ψ^* – функция, комплексно сопряженная с ψ , $|\psi|^2$ – интенсивность волн де Бройля.

Если U не зависит от времени, т.е. $U = U(x, y, z)$ – стационарное поле, то волновая функция представлена в виде: $\psi(x, y, z, t) = \psi(x, y, z, e^{-i\frac{E}{\hbar}t})$

19. Движение частицы в центрально-симметричном поле. Условия прохождения частицы через потенциальный барьер (туннельный эффект).

Рассмотрим некоторый одномерный потенциальный барьер высотой U_0 . Частица А летит относительно барьера. Ширина барьера – l .

Согласно классическим явлениям:

- 1) $E > U_0$ – энергия частицы, $E > U_0$, оно пролетает над барьером и только в момент пролета скорость уменьшается, $E = E' + U_0$, затем снова с той же скоростью;
- 2) $E < U_0$ частица отражается от барьера. Она не сможет пересечь барьер;

Квантовая физика говорит о том, что законы носят вероятностный характер:

- 1) $E > U_0$, частица не только пролетит над барьером, но и существует вероятность ее отражения от барьера;
- 2) $E < U_0$, частица не только отражается от барьера, но существует вероятность того, что она пройдет через барьер в 3 области.

Чтобы определить природу движения микрочастицы в разных областях необходимо решить ур. Шредингера в соотв областях: (1 и 3) $\rightarrow U=0$; 2 $\rightarrow U=U_0$.

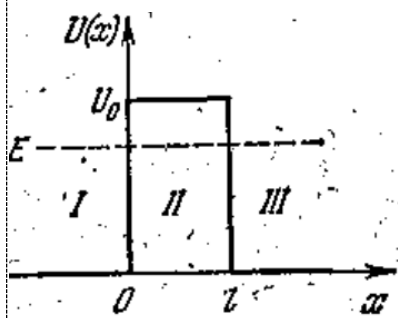
Волновые функции для соотв областей: $\psi_1(x) = A_1 e^{iax} + B_1 e^{-iax}$; $\psi_2(x) = A_2 e^{\beta x} + B_2 e^{-\beta x}$; $\psi_3(x) = A_3 e^{iax} + B_3 e^{-iax}$.
 e^{iax} и $e^{\beta x}$ – распространение волны в «+» направлении оси,
 e^{-iax} и $e^{-\beta x}$ – в «-».

$R = \frac{|B_1|^2}{|A_1|^2}$ – коэф. отражения, вероятность отражения частицы от потенц. барьера.

$D = \frac{|A_3|^2}{|A_1|^2}$ – коэф. прохождения через потенциальный барьер, коэф. прозрачности.

$D \approx e^{-\frac{2l}{\hbar} \sqrt{2m(U_0 - E)}}$ – с увеличением m частицы, ширины барьера l , коэф. прозрачности уменьшается. Его величина зависит от того, как далеко $E < U_0$.

Согласно законам квантовой физики, которые носят вероятностный характер, частица, которая обладает энергией меньшей, чем высота потенциального барьера, может при определенных условиях просочиться сквозь него и вероятность прохождения зависит от m , U_0 , E , l .



При преодолении потенциального барьера частица как бы проходит через «туннель» в этом барьере, в связи с чем явление называют туннельным эффектом. Полная энергия частицы E имеет определенное значение, она может быть представлена в виде суммы точно определенных энергий T и U . В случае заключения об отрицательности T «внутри» туннеля становится беспочвенным.

20. Постулаты Бора. Модель атома водорода по Бору. Квантомеханическая интерпретация постулатов Бора.

В 1891 году Н. Бор создал новую модель атома и в её основу ставит два постулата:

- 1) Правило квантования орбиты или стационарных состояний: при движении на стационарных орбитах электрон не излучает и не поглощает энергию, его полная энергия остается постоянной $E = E_{\text{кин}} + E_{\text{пот}} = \text{const}$. Существуют некоторые стационарные состояния атома, в которых он не излучает энергию. Это стационарные состояния соответствуют определенным устойчивым орбитам, по которым движутся электроны. $mvr_n = n \frac{h}{2\pi} \rightarrow n = \frac{mvr_n 2\pi}{h} = \frac{2\pi r_n}{\lambda}$, n – целое число = числу длин волн де Бройля, λ – волна де Бройля.
- 2) При переходе электронов в атоме с одной стационарной орбиты на другую испускается или поглощается квант энергии. $h\nu = E_2 - E_1$, $\nu = \frac{E_2}{h} - \frac{E_1}{h} = T_2 - T_1$; $T = \frac{E}{h}$, T – спектральный терм, ν – частота излучения.

Модель атома водорода по Бору: состоит из ядра, вокруг которого движется только один электрон или водородоподобный ион. Ядро атома водорода – это протон. Теория Бора предполагала, что электрон движется по круговой орбите радиусом r : $mvr_n = n\hbar$. $r_n = \frac{4\pi\epsilon_0\hbar^2}{mze^2} n^2$ – радиус стационарных орбит электрона в атоме водорода. В связи с тем, что $n=1,2,3,\dots$, то значения r носят дискретный характер. При $n=1$: $r_0 = \frac{4\pi\epsilon_0\hbar^2}{mze^2} \approx 0,53 \text{ \AA}$ – боровский радиус. $v = \frac{ze^2}{2\pi\epsilon_0\hbar n}$ – скорость электрона на орбите.

Полная энергия электронов в атоме: $E = -\frac{mz^2e^4}{32\pi^2\epsilon_0^2\hbar^2n^2}$.

Т.о., согласно теории Бора, основные характеристики атома носят дискретный характер (квантуются). И это подтверждает идею Планка о квантовании основных физических величин.

Квантово-механическая интерпретация постулатов Бора: касается первого постулата Бора и правила квантования круговых орбит, полученное Бором на основе постулатов Планка $mvr_n = n\hbar$ о том, что возможны только такие состояния гармонического осциллятора, энергия которых $E = (n + \frac{1}{2})\hbar\omega$.

$$\frac{x^2}{\frac{2n\hbar\omega}{m\omega^2}} + \frac{p^2}{2m\hbar\omega} = 1 - \text{уравнение эллипса; } P, x - \text{фазовая плоскость.}$$

Фазовая траектория является гармоническим осциллятором – это эллипс. $\oint p dx = 2\pi n\hbar$ Это показывает, что полный момент импульса гармонического осциллятора кратен постоянной Планка (правило квантования).

21. Опыты Франка и Герца. Правила отбора для переходов, постоянная Ридберга и методы ее определения.

В 1914 году Франк и Герц экспериментально показали, что у атомов существуют стационарные энергетические состояния. Идея метода: Если электрон сталкивается с атомами, то можно наблюдать 2 типа столкновений упругое и неупругое.

При неупругом столкновении энергия электрона, которая может быть различной передается атому и атом переходит в возбужденное состояние. Если эти состояния не являются дискретными, то атом получает от электрона любые порции энергии.

Если состояния атома являются дискретными, то не любая энергия электрона переходит к атому. При некоторых его значениях возникают упругие столкновения, а при строго определенных - неупругий и при этом атом переходит от одного энергетического состояния в другое.

Трубка была заполнена парами ртути (Hg) при давлении ≈ 1 мм.рт.сл. Электроны, которые вылетели с катода в результате термоэлектронной эмиссии (ϵ_n) ускорялись электрическим полем (ϵ_n) между катодом и сеткой, разность потенциалов между которыми изменяется с помощью потенциометра. $e\Delta\phi = \frac{mv^2}{2}$, $\Delta\phi = U_c$ Электроны встречают атомы ртути и между ними возникают упругое или неупругое удары. Они пролетали через сетку и попадали в поле удерживающего потенциала $\approx 0,5$ В созданного батареей ϵ_3 . В результате зависимость тока анода I_a от сеточного напряжения $U_n = U_c$.

Эксперименты показали, что энергетическое состояние в атомах дискретное. Правило отбора ограничивают число возможных переходов электронов в атоме:

- 1) Изменение Δl орбитального квантового числа l должно удовлетворять: $\Delta l = \pm 1$;
- 2) Изменение Δm магнитного квантового числа m должно удовлетворять: $\Delta m = \pm 0, 1$.

Впервые наличие ряда в спектре атомарного водорода установил швейцарский физик Бальмер в 1885 году. Это группа линий, которая теперь называется серией Бальмера, излучается в видимой и близкой ультрафиолетовой части спектра. Длины волн этих линий: $\frac{1}{\lambda} =$

$R \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right)$, $n = 3, 4, 5 \dots$; где R – постоянная Ридберга ($1,09 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}$).

В спектроскопии спектральные линии характеризуются волновым

числом: $N = \frac{1}{\lambda} = \frac{\omega}{2\pi c}; N = R \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right); N = Rc \left(\frac{1}{k^2} - \frac{1}{n^2} \right); R = \frac{mz^2e^4}{64\pi^3\varepsilon_0^2\hbar^3c}.$

22. Свободные и связанные состояния для микросистем.

Квантование энергии, момента импульса и проекции момента импульса. Полный набор квантовых чисел электрона в атоме.

Электрон в атоме может иметь только определенные дискретные (квантованные) значения энергии, которые совпадают с выражением:

$$E = -\frac{m_e z^2 e^4}{8\pi^2 \varepsilon_0^2 \hbar^2 n^2}.$$

Орбитальный момент импульса L электрона в атоме также может принимать лишь ряд дискретных значений: $L = \frac{\hbar}{2\pi} \sqrt{l(l+1)}$, l – орбитальное квантовое число.

Проекция орбитального момента импульса L_z на выбранное направление OZ тоже квантуется: $L_z = \frac{\hbar}{2\pi} m$, m – магнитное квантовое число.

Дальнейшие исследования показали, что помимо указанных орбитальных характеристик электрон обладает также собственным моментом импульса L_s .

Набор квантовых чисел электрона в атоме: Состояние электрона в атоме определяется набором четырех квантовых чисел, каждое из которых может принимать определенные значения:

- 1) Главное квантовое число: $n = 1, 2, 3, \dots$
- 2) Орбитальное квантовое число: $l = 0, 1, 2, \dots, (n-1)$.
- 3) Магнитное квантовое число: $m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm l$.
- 4) Спиновое квантовое число: $m_s = \pm 1/2$

Физический смысл полного набора квантовых чисел электронов в атоме – порядковый номер электронного уровня, определение состояния электрона в атоме, описание электронных оболочек атомов. Каждый электрон в атоме имеет свой собственный «адрес», записанный набором четырех квантовых чисел.

23. Принцип Паули в формировании электронных оболочек химических элементов периодической таблицы Менделеева.

Различия между электронными слоями и оболочками.

Для обозначения квантовых состояний с заданным значением орбитального квантового числа l используют следующие спектроскопические символы: 0 1 2 3. Обозначение s p q f – подоболочки.

Для обозначения квантовых состояний с заданным значением главного квантового числа n используют следующие спектроскопические символы: 1 2 3 4. Обозначение K L M N – оболочки.

Энергетический уровень квантовой системы называется вырожденным, если содержит более одного состояния. Говоря математически, соответствующее значение энергии является кратным собственным значением оператора гамильтониана.

Количество независимых таких состояний (т.е. кратность собственного значения) называется кратностью вырождения.

Для многоэлектронных атомов выполняется принцип запрета Паули: в одном и том же атоме не может быть двух электронов, обладающих одинаковым набором четырех квантовых чисел.

Периодический закон Менделеева: В 1869 г. Менделеев открыл закон изменения химических и физических свойств элементов в зависимости их атомных масс. На основе этого закона была составлена периодическая система химических элементов, в которой элементы располагаются в порядке увеличения их порядкового номера Z .

Порядковый номер хим. элемента равен общему количеству электронов. В атоме данного элемента, оказалось, что химические свойства элементов и ряд их физических свойств объясняется поведением внешних валентных электронов в атоме. Периодическая система элементов составлена на принципе Паули и минимума энергии. Правила:

- 1) При увеличении Z хим. элементов, заполнение от орбитали до орбитали идет в порядке увеличения суммы $n+l$: $3d(n+l=3+2=5)$ $4s(n+l=4+0=4)$
- 2) При одинаковой сумме $n+l$ заполнение идет от орбитали с меньшей n до орбитали с большей n :
 $3d(n+l=3+2=5)$ $4p(n+l=4+1=5)$ $5s(n+l=5+0=5)$

Таким образом, выполняя правила можно записать электронную конфигурацию \forall элемента таблицы Менделеева.

Анализируя таблицу Менделеева видно, что электронная

конфигурация от элемента до элемента повторяется и наблюдается, как периодичность, а химические элементы, которые определяются данной конфигурацией относятся к одной группе. Таких групп 8. Каждой электронной оболочке соответствует период таблицы – их 7.

24. Линейчатые спектры атомов, комбинационные принципы для описания частот, неприемлемость классических положений для описания спектральных линий. Суть постулатов Бора.

Исследование состава электромагнитного излучения разреженных газов показали, что каждому из них присущ определенный дискретный набор излучаемых частот (длин волн) – линейчатый спектр – свойственны отдельным атомам вещества. Группа спектральных линий в атомном спектре, частоты которых подчиняются определенной закономерности, называется спектральной серией.

Впервые наличие ряда в спектре атомарного водорода основана швейцарским физиком Бальмером в 1885 году. Это группа строк, которая теперь называется серией Бальмера, излучается в видимую и ближнюю ультрафиолетовые части спектра. В настоящее время в

спектрах атомарного водорода различают 6 серий: $N = R \left(\frac{1}{k^2} - \frac{1}{n^2} \right)$

1. Серия Лимана $k=1$; $n=2,3, 4\ldots$ (ультрафиол. участок спектра)
2. Серия Бальмера $k = 2$; $n = 3, 4, 5\ldots$ (ближайшая ультрафиолетовая, видимая часть спектра)
3. Серия Пашена $k = 3$; $n = 4,5\ldots$ - инфракрасная частота спектра
4. Серия Кронштейна $k = 4$; $n = 5, 6\ldots$ - инфракрасная частота спектра
5. Серия Пфунда $k = 5$; $n = 6, 7\ldots$ - инфракрасная частота спектра
6. Серия Хамфри $k = 6$; $n = 7,8\ldots$ - инфракрасная частота спектра

Суть постулатов Бора: атом может находиться только в особенных стационарных или квантовых состояниях, каждому из которых отвечает определенная энергия. В стационарном состоянии атом не излучает электромагнитных волн.

Постулаты:

- 1) Правило квантования орбиты или стационарных состояний: при движении на стационарных орбитах электрон не излучает и не поглощает энергию, его полная энергия остается постоянной $E=E_{\text{кин}}+E_{\text{пот}}=\text{const}$. Существуют некоторые стационарные состояния атома, в которых он не излучает энергию. Это стационарные состояния соответствуют определенным устойчивым орбитам, по которым движутся электроны. $mvr_n = n \frac{h}{2\pi} \rightarrow n = \frac{mvr_n}{\frac{h}{2\pi}} = \frac{2\pi r_n}{\lambda}$, n – целое число = числу длин волн де Бройля, λ – волна де Бройля.
- 2) При переходе электронов в атоме с одной стационарной орбиты

на другую испускается или поглощается квант энергии. $h\nu = E_2 - E_1$, $\nu = \frac{E_2}{h} - \frac{E_1}{h} = T_2 - T_1$; $T = \frac{E}{h}$, T – спектральный терм, ν - частота излучения.

25. Спектральные серии излучения атомарного водорода.

Квантовомеханическая интерпретация постулатов Бора.

Квантование уровней энергии атомных систем на примере опытов Франка и Герца.

В настоящее время в спектрах атомарного водорода различают 6 серий:

1. Серия Лимана $k=1$; $n=2,3, 4\ldots$ (ультрафиол. участок спектра)
2. Серия Бальмера $k = 2$; $n = 3, 4, 5\ldots$ (ближайшая ультрафиолетовая, видимая часть спектра)
3. Серия Пашена $k = 3$; $n = 4,5\ldots$ - инфракрасная частота спектра
4. Серия Кронштейна $k = 4$; $n = 5, 6\ldots$ - инфракрасная частота спектра
5. Серия Пфунда $k = 5$; $n = 6, 7\ldots$ - инфракрасная частота спектра
6. Серия Хамфри $k = 6$; $n = 7,8\ldots$ - инфракрасная частота спектра

В 1914 году Франк и Герц экспериментально показали, что у атомов существуют стационарные энергетические состояния. Идея метода: Если электрон сталкивается с атомами, то можно наблюдать 2 типа столкновений упругое и неупругое.

При неупругом столкновении энергия электрона, которая может быть различной передается атому и атом переходит в возбужденное состояние. Если эти состояния не являются дискретными, то атом получает от электрона любые порции энергии.

Если состояния атома являются дискретными, то не любая энергия электрона переходит к атому. При некоторых его значениях возникают упругие столкновения, а при строго определенных - неупругий и при этом атом переходит от одного энергетического состояния в другое.

Трубка была заполнена парами ртути (Hg) при давлении ≈ 1 мм.рт.сл.

Электроны, которые вылетели с катода в результате термоэлектронной эмиссии (ϵ_n) ускорялись электрическим полем (ϵ_n) между катодом и сеткой, разность потенциалов между которыми изменяется с помощью

потенциометра. $e\Delta\varphi = \frac{mv^2}{2}$, $\Delta\varphi = U_c$ Электроны встречают атомы ртути и между ними возникают упругое или неупругое удары. Они пролетали через сетку и попадали в поле удерживающего потенциала $\approx 0,5$ В созданного батареей ϵ_3 . В результате зависимость тока анода I_a от сеточного напряжения $U_n = U_c$.

Эксперименты показали, что энергетическое состояние в атомах дискретное.

Квантово-механическая интерпретация постулатов Бора: касается первого постулата Бора и правила квантования круговых орбит,

полученное Бром на основе постулатов Планка $mvr_n = n\hbar$ о том, что возможны только такие состояния гармонического осциллятора, энергия которых $E = (n + \frac{1}{2})\hbar\omega$.

$\frac{x^2}{\frac{2n\hbar\omega}{m\omega^2}} + \frac{p^2}{2m\hbar\omega} = 1$ – уравнение эллипса; P, x – фазовая плоскость.

Фазовая траектория является гармоническим осциллятором – это эллипс. $\oint p dx = 2\pi n\hbar$ Это показывает, что полный момент импульса гармонического осциллятора кратен постоянной Планка (правило квантования).

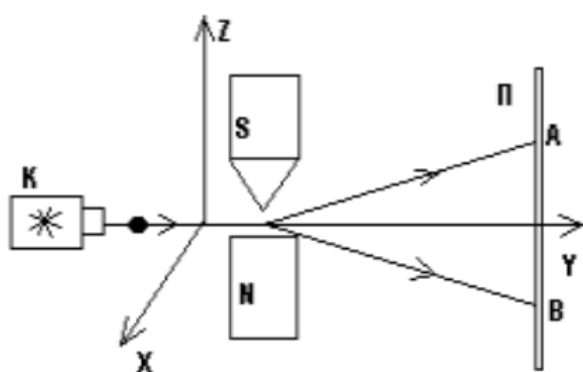
26. Спин, как новая степень свободы для состояния микроскопической частицы. Механический и магнитный спиновые моменты электрона. Проекция спинового квантового числа на выделенное направление по результатам опытов Штерна и Герлаха в неоднородном магнитном поле.

В 1896 году Зееман экспериментально установил явление, что атомные системы в свободном состоянии также дают нормальный линейный спектр, если поместить во внешнее магнитное поле, то спектральные линии также расщепляются и это может быть связано с тем, что атом обладает магнитными свойствами, которые характеризуются физической величиной - магнитным моментом. Это явление называется эффектом Зеемана. Электрон, движущийся в атоме по стационарной орбите, создает магнитный момент, который является дискретным относительно μ_B . $|\mu_l| = |\mu_B| \sqrt{l(l+1)}$; $|\mu_{lz}| = \mu_B m_l$.

Спин и магнитный момент электрона: Спектральная линия, состоящая из нескольких близко расположенных, компонент называется мультиплетом. В 1925 году для объяснения множественности спектров была предложена гипотеза, что у электрона есть свой момент импульса L_s и связанный с ним магнитный момент μ_s . $L_s = \frac{1}{2} h \sqrt{3}$; $\mu_s = -\mu_B \sqrt{3}$; $\mu_B = \gamma h$ – магнетон Бора; $\mu_{sz} = \pm \mu_B$.

Отношение магнитного и механического моментов для собственных моментов электрона получено с экспериментальных данных и равно:

$$\frac{\mu_s}{L_s} = -\frac{e}{2m_e} \cdot 2 = -\frac{e}{m_e} = -2\gamma; \gamma = \frac{e}{2m}$$



Эксперименты Штерна и Герлаха: в 1921-1922 гг. доказали наличие в атомах магнитного момента. Орбитальные магнитные и механические моменты электрона в атоме связаны $\mu_l^{\rightarrow} = -\frac{e}{2m} \mu_l^{\rightarrow}$. Для электрона $\mu_B = \frac{eh}{2m} = 9,27 \cdot 10^{-24} \text{ А} \cdot \text{м}^2$ – магнетрон Бора. $\mu_l^{\rightarrow} = -\mu_B \frac{M_l^{\rightarrow}}{h}$

Штерн и Герлах провели эксперименты с атомами серебра. Пучок атомов из источника К направился в щель между полюсами магнита, форма которых создавала неоднородность поля $\frac{\partial V}{\partial Z}$. На холодной пластине П атомы обосновались только в точках А и В. Это говорит о том, что ориентация магнитных моментов атомов относительно внешнего магнитного поля изменяется дискретно.

27. Спин и магнитный момент электрона. Принцип Паули.

Основы теории Периодической таблицы элементов Менделеева.

Понятие о химической связи и валентности.

Спин и магнитный момент электрона: Спектральная линия, состоящая из нескольких близко расположенных, компонент называется мультиплетом. В 1925 году для объяснения множественности спектров была предложена гипотеза, что у электрона есть свой момент импульса L_s и связанный с ним магнитный момент μ_s . $L_s = \frac{1}{2}h\sqrt{3}$; $\mu_s = -\mu_B\sqrt{3}$; $\mu_B = \gamma h$ – магнетон Бора; $\mu_{sz} = \pm\mu_B$.

Отношение магнитного и механического моментов для собственных моментов электрона получено с экспериментальных данных и равно:

$$\frac{\mu_s}{L_s} = -\frac{e}{2m_e} \cdot 2 = -\frac{e}{m_e} = -2\gamma; \gamma = \frac{e}{2m}.$$

Принцип Паули: Энергетическое состояние электрона характеризуется четырьмя квантовыми числами n, ℓ, m_ℓ, m_s , следовательно, волновая функция $\psi = \psi_{n,\ell,m_\ell,m_s}$. Таким образом, 4 квантовых числа определяют местоположение электрона.

1. в атоме не может быть два электрона с одинаковым набором 4-х квантовых чисел. Даже если n, m_ℓ, ℓ – одинаковы, то $m_s = \pm 1/2$.
2. Принцип минимальной энергии: учитывая общее количество электронов в атоме сводят состояние к минимальной энергии, т.е. каждый следующий электрон в атоме стремится занять состояние с наименьшей энергией. При поглощении или излучении энергии существуют правила отбора по квантовым числам. $\Delta\ell = \pm 1$; $\Delta m_\ell = 0, \pm 1$; $\Delta j = 0, \pm 1$.

Химические связи: 1) ионная (гетерополярная) связь – возникает, когда один атом отдает электрон другому. Возникают ионы, между которыми действуют кулоновские силы притяжения, благодаря которым образуется молекула; 2) ковалентная связь (гомеополярная) – возникает между похожими атомами, два внешних электрона атомов становятся общими, электронные оболочки обмениваются электронами. В этом случае, при создании молекулы действует квантово-механический принцип взаимодействия или спиновое взаимодействие.

Валентность: 1) валентность по водороду, которая является положительной и определяется количеством электронов на внешней оболочке или подоболочке ($Mg \rightarrow 2, Al \rightarrow 3$); 2) валентность по Cl (или фтору) (отрицательная) – определяется разностью между числом 8 и

числом внешних электронов ($F \rightarrow 8 - 7 = 1$). Валентность можно рассматривать как способность атома давать или получать определенное количество электронов от внешних электронных оболочек.

Периодический закон Менделеева: В 1869 г. Менделеев открыл закон изменение химических и физических свойств элементов в зависимости их атомных масс. На основе этого закона была составлена периодическая система химических элементов, в которой элементы располагаются в порядке увеличения их порядкового номера z . Порядковый номер хим. элемента равен общему количеству электронов. В атоме данного элемента, оказалось, что химические свойства элементов и ряд их физических свойств объясняется поведением внешних валентных электронов в атоме. Периодическая система элементов составлена на принципе Паули и минимума энергии.

Правила:

- 1) При увеличении Z хим. элементов, заполнение от орбитали до орбитали идет в порядке увеличения суммы $n+l$: $3d(n+l=3+2=5)$ $4s(n+l=4+0=4)$
- 2) При одинаковой сумме $n+l$ заполнение идет от орбитали с меньшей n до орбитали с большей n :
 $3d(n+l=3+2=5)$ $4p(n+l=4+1=5)$ $5s(n+l=5+0=5)$

Таким образом, выполняя правила можно записать электронную конфигурацию \forall элемента таблицы Менделеева.

Анализируя таблицу Менделеева видно, что электронная конфигурация от элемента до элемента повторяется и наблюдается, как периодичность, а химические элементы, которые определяются данной конфигурацией относятся к одной группе. Таких групп 8. Каждой электронной оболочке соответствует период таблицы – их 7.

28. Получение рентгеновских лучей, тормозное и характеристическое излучение, их спектры.

В 1895 г Рентген обнаружил, что испускаемые лучи, способны проникать сквозь тела, непрозрачные для обычного света. Он назвал эти лучи X-лучами, а потом они получили название рентгеновских. Для получения рентгеновских лучей используются электровакуумные рентгеновские трубки. Рентгеновские лучи возникают в результате превращения кинетической энергии быстрых электронов в электромагнитную энергию излучения и представляют собой электромагнитные волны с длиной от 0,001 до 10 нм. Анод является источником рентгеновского излучения, и называется тормозным излучением. Спектр тормозного излучения непрерывен. Мощность излучения $P \sim e^2 \omega^2$, где e - заряд электрона, ω - ускорение электрона.

$\lambda_{min} = \frac{hc}{eU}$, чем меньше U , тем больше λ .

При низких напряжениях наблюдается тормозное излучение с непрерывным спектром. Если U на трубе увеличивают, то на фоне сплошного спектра являются отдельные спектральные линии, длина волны которого зависит от вида материала, из которого сделан анод рентгеновской трубки, и называется характерным рентгеновским излучением.

Т.о. рентгеновское излучение:

- 1) коротковолновое 0,001-10 нм;
- 2) не подвергается воздействию электрического и магнитного полей;
- 3) имеет большую проникающую способность (особенно жесткий).

29. Природа характеристических рентгеновских спектров.

Электронные слои и переходы между ними, спектральные серии рентгеновских линий. Закон Мозли.

При низких напряжениях наблюдается тормозное излучение с непрерывным спектром. Если U на трубе увеличивают, то на фоне сплошного спектра являются отдельные спектральные линии, длина волны которого зависит от вида материала, из которого сделан анод рентгеновской трубки, и называется характерным рентгеновским излучением.

Линии характерных рентгеновских лучей аналогично спектральным линиям атома водорода также сгруппированы в серии, которые обозначаются K, L, M, N в порядке убывания частоты и в каждой серии строк обозначаются α , β , γ в порядке возрастания частоты.

Закон Мозли: Квадратный корень частоты соответствующей линии спектра пропорционален порядковому номеру элемента, из которого сделан анод рентгеновской трубки.
$$C = Rc\left(\frac{1}{k^2} - \frac{1}{n^2}\right).$$

30. Движение электрона в поле центральных сил водородоподобного атома. Модель атома водорода по Бору, основное уравнение движения, определение радиусов орбит, скоростей движения электронов по орбитам и полной энергии электронов в атоме. Условия квантования, кратность вырождения.

Модель атома водорода по Бору: состоит из ядра, вокруг которого движется только один электрон или водородоподобный ион. Ядро атома водорода – это протон. Теория Бора предполагала, что электрон движется по круговой орбите радиусом r : $mvr_n = n\hbar$. $r_n = \frac{4\pi\epsilon_0\hbar^2}{mze^2} n^2$ – радиус стационарных орбит электрона в атоме водорода. В связи с тем, что $n=1,2,3,\dots$, то значения r носят дискретный характер. При $n = 1$: $r_0 = \frac{4\pi\epsilon_0\hbar^2}{mzl^2} \approx \sim 0,53 \text{ \AA}$ - боровский радиус.

$v = \frac{ze^2}{2\pi\epsilon_0\hbar n}$ – скорость электрона на орбите.

Полная энергия электронов в атоме: $E = -\frac{mz^2e^4}{32\pi^2\epsilon_0^2\hbar^2n^2}$.

Т.о., согласно теории Бора, основные характеристики атома носят дискретный характер (квантуются). И это подтверждает идею Планка о квантовании основных физических величин.

Состояния с одинаковой энергией называются вырожденными, а их количество - кратностью вырождения $m_\ell = 2\ell + 1$. Если $n = 1$, то $\ell = 0$; $m_\ell = 0$; $m_s = \pm 1/2$.

31. Заполнение электронных энергетических уровней в водородоподобном атоме, ход формирования электронных слоев и электронных оболочек в реальных химических элементах. Квантование энергии, момента импульса, проекции момента импульса электрона в атоме, векторная модель сложения угловых моментов. Энергетические термы многоэлектронного атома.

Энергетический уровень (электронный слой) – совокупность электронов с близкими значениями энергии. Энергетические уровни нумеруются, начиная с самого близкого к ядру. Максимальное число электронов на энергетическом уровне равно $2n^2$, 1 уровень – не более 2 электронов, 2 уровень – не более 8, 3 уровень – не более 18. В атоме водорода – 1 электрон, это первый энергетический уровень.

Согласно теории Бора для атома водорода, либо водородоподобный ион, где электрон движется по круговых орбитах, его состояние характеризуется главным квантовым числом n , которое определяет энергию атома в этом состоянии. Квантуется не только энергия, но и момент импульса.

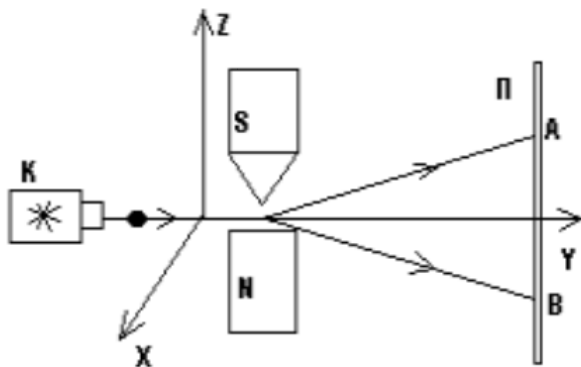
Момент импульса: $|L_l| = \hbar\sqrt{l(l+1)}$

Проекция момента импульса: $|L_l| = \hbar\sqrt{l(l+1)}$, ($l = 0, 1, 2, \dots, n-1$); $L_{lz} = \hbar m_l$, ($m_l = 0, +1, +2, \dots, +l$).

Векторная модель сложения угловых моментов: суммарный момент $|L_L| = \hbar\sqrt{L(L+1)}$;

Результирующий (последний) момент системы квантуется, результат сложения неоднозначен: $L = |l_1 - l_2|_{\min}, |l_1 - l_2|_{\min} + 1 \dots l_1 + l_2$.

32. Орбитальный магнитный момент атомной системы, гиромангнитное отношение, магнетон Бора. Пространственное квантование ориентации вектора магнитного момента во внешнем магнитном поле. Пространственное квантование. Опыты Штерна и Герлаха.



Эксперименты Штерна и Герлаха: в 1921-1922 гг. доказали наличие в атомах магнитного момента. Орбитальные магнитные и механические моменты электрона в атоме связаны $\vec{\mu}_l = -\frac{e}{2m} \vec{M}_l$. Для электрона $\mu_B = \frac{eh}{2m} = 9,27 \cdot 10^{-24} \text{ А} \cdot \text{м}^2$ – магнетрон Бора. $\vec{\mu}_l = -\mu_B \frac{\vec{M}_l}{h}$

Штерн и Герлах провели эксперименты с атомами серебра. Пучок атомов из источника К направился в щель между полюсами магнита, форма которых создавала неоднородность поля $\frac{\partial V}{\partial Z}$. На холодной пластине П атомы обосновались только в точках А и В. Это говорит о том, что ориентация магнитных моментов атомов относительно внешнего магнитного поля изменяется дискретно.

$\mu_B = \frac{e\hbar}{2m} = 9,27 \cdot 10^{-24} \text{ А} \cdot \text{м}^2$ – магнетон Бора для электрона.

$\mu_s = -\frac{e}{m} L_s = -\frac{e}{m} \frac{1}{2} \hbar \sqrt{3} = -\mu_B \sqrt{3}$; $\mu_B = \gamma h$ – магнетон Бора.

$\frac{\mu_s}{L_s} = -\frac{e}{2m_e} \cdot 2 = -\frac{e}{m_e} = -2\gamma$; $\gamma = \frac{e}{2m}$ – гиромангнитное отношение.

Орбитальные магнитные (механические) моменты во внешнем магнитном поле расположены под строго определенными углами.

Количество этих позиций определяется магнитным квантовым числом $m_l = 0, \pm 1, \pm 2 \dots \pm l$ всего таких позиций $2l + 1$.

Во внешнем магнитном поле система с магнитным моментом μ_l имеет дополнительную энергию: $\Delta E_{\text{магн}} = -\mu_B B m_l$.

Пространственное квантование – дискретность возможных пространственных ориентаций момента количества движения атома относительно любой произвольно выбранной оси.

Энергия, полученная в магнитном поле, квантуется.

33. Молекулярные спектры. Комбинационное рассеяние света. Спонтанные и вынужденные переходы между уровнями энергии. Условия, требуемые для получения вынужденного излучения. Основные требования для получения вынужденного электромагнитного излучения. Лазеры. Явление люминесценции. Правило Стокса.

Молекулярные спектры: совокупность широких **полос**, образованных тесно расположенными спектральными линиями. Внутри каждой полосы линии у одного из ее краев располагаются столь тесно, что они сливаются, и край полосы имеет размытый характер. Молекулярные спектры за их характерный вид называют **полосатыми спектрами**. Типа преобразования в молекулярных спектрах: переходы между уровнями вращения; между колебательно-вращательными уровнями; электронно-колебательными уровнями.

Комбинационное рассеяние света: Если на любую молекулярную систему направить поток излучения частотой ν_0 , то после рассеяния в спектре появляются спутники основной линии спектра. Фотон исходного излучения встречается с невозбужденной молекулой рассеивающей системы и часть энергии передает молекуле, т.е. возбуждает её. В связи с чем энергия рассеянного фотона становится меньше энергии исходного фотона – возникает красный спутник. Если фотон встречает возбужденную молекулу, то он часть энергии от молекулы может забрать, тогда рассеянный фотон обладает большей энергией, чем падающий – возникает фиолетовый спутник.

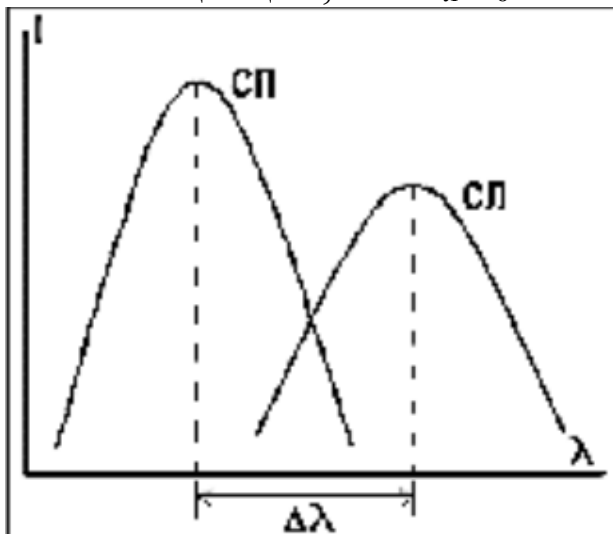
Спонтанные переходы: Спонтанное излучение является вероятностным. Разные переходы имеют разные вероятности. Если вероятность перехода большая, то и большая интенсивность спектральной линии. Спонтанное излучение не когерентно, т.е. отдельные атомы излучаются независимо друг от друга. Отдельные акты излучения не взаимосвязаны, поэтому фаза, поляризация и направление излучения могут быть произвольным.

Вынужденные переходы: излучение когерентно. Оно по частоте, фазе и ориентации плоскости поляризации совпадают с излучением, которое его вызывает. Вынужденное излучение может быть выполнено для усиления интенсивности излучения. Эта идея была высказана в 1949 году Фабрикантом. В каждом кванте внешнего воздействия происходит соответствующий переход, в результате которого новый квант, идентичный тому, который его вызвал. Такое излучение называется вынужденным (индуцированным) излучением.

Лазеры: Принцип действия лазера основывается на вынужденном излучении фотонов света при воздействии внешнего электромагнитного поля. В 1953 г. был создан лазер, который работал в радиодиапазоне. В следующем моменте диапазон длин волн лазеров охватывает: инфракрасное, видимое, ультрафиолетовое. В зависимости от среды, которая используется в лазерах и называется рабочим телом, лазеры делятся на: жидкие, твердые, п / п, газовые. В зависимости от типа работы: неотделимые, импульсные Первый твердотельный лазер был создан в 1960 году Мейманом (США), рабочим телом был рубин, активированный хромом.

Явление люминесценции: Под люминесценцией (холодное свечение) понимается э/м излучение, которое представляет собой избыточное излучение по сравнению с тепловым и которое происходит с течением времени, что значительно превышает период световых колебаний. Люминесценция происходит под воздействием внешних факторов и может происходить при любой температуре тела. Виды: фотолюминесценция, радиолум-ция, - рентгеновское свечение и др. Спектр люминесценции является электронно-колебательным (колеблющимся), т.е. определяется переходами электронов между уровнями. Основная характеристика люминесценции – энергетический выход $A = \frac{E_{\text{люмин}}}{E_{\text{падающ света}}}$ и квантовый выход $K = \frac{N_{\text{кол-во фотонов люмин}}}{N_{\text{кол-во фотонов падающ}}}$.

Правило Стокса: длина волны фотолюминесценции больше, чем длина волны возбуждающего света. $\lambda_{\text{л}} > \lambda_0$ – правило Стокса. с.п. - спектр поглощения, вызывающий люминесценцию; с.л. - спектр люминесценции; $\Delta\lambda = \lambda_{\text{л}} - \lambda_0$ - стоксов сдвиг.



34. Энергетические зоны в кристаллах. Металлы, полупроводники, диэлектрики. Понятие о квантовых статистиках. Уровень и энергия Ферми. Теплоемкость электронного газа.

Атомная структура твердого тела имеет периодичность, атомы в нем расположены в определенных местах пространства и образуют кристаллическую решетку, а тело называется кристаллом. Каждому допустимому уровню энергии атома в кристалле соответствует целая зона значений энергии - разрешенная зона, между которыми находятся зоны запрещенных уровней.

При образовании кристалла сильному расщеплению подвергаются уровни, которые соответствуют валентным электронам. Валентные - внешние слабо связанные с ядром атома. Зона, образованная расщеплением валентных электронных уровней, называется валентной зоной. Следующая разрешенная зона называется свободной зоной, а между ними находится запрещенная зона, ширина которой определяется значением ΔE . ΔE несколько \sim эВ. Ширина зон зависит от свойств кристалла и не зависит от его размера.

В металлах валентная зона, которая по принципу Паули заполнена электронами попарно с самых низких энергетических уровней, заполнена не полностью. Верхние уровни остаются свободными.

Ширина запрещенной зоны мала, и часто в металлах свободная зона перекрывается с валентной зоной и образуется гибридная зона.

У полупроводников валентная зона полностью заполнена и переходов не будет. В валентной зоне остаются вакантные (свободные) места, они называются дырки, которые ведут себя как положительно заряженные частицы. Переход электрона из валентной зоны в зону проводимости является генерацией пары электрон-дырка. Обратный процесс - рекомбинация. Потерянная при этом энергия либо передается решетке, либо излучается в виде квантов света.

В диэлектриках валентная зона полностью заполнена, ширина запрещенной зоны > 3 эВ, и для ее преодоления требуется много энергии. Поэтому диэлектрики являются изоляторами, и только в сильных электрических полях происходит пробой диэлектрика, что означает, что электроны переходят из валентной зоны в свободную зону.

Статистика Бозе-Эйнштейна: частицы идентичны; энергия носит дискретный характер; спин частиц целый или нулевой; частицы не подчиняются принципу Паули, т.е. в каждом квантовом состоянии может быть любое количество частиц (микрочастиц). Функция

распределения: $f(E) = \frac{1}{e^{\frac{E_i - \mu}{kT}} - 1}$ Частицы, которые подчиняются

распределению Бозе-Эйнштейна, называются бозонами. Бозоны «любят» накапливаться в одном состоянии – они являются «коллективистами». Бозоны включают в себя: фотоны, фононы, мезоны.

Статистика Ферми-Дирака: частицы идентичны; энергия носит дискретный характер; спин частиц наполовину целый; частицы подчиняются принципу Паули. Функция распределения: $f(E) = \frac{1}{e^{\frac{E_i - \mu}{kT}} + 1}$. Частицы, которые подчиняются этой статистике, называются фермионами (электроны, нуклоны, позитроны).

Система свободных электронов называется электронным газом или идеальным газом Ферми. В валентной зоне существует уровень, который отделяет нижние заполненные уровни от верхних свободных – уровень Ферми.

Физический смысл уровня Ферми состоит в том, что при $T = 0$ К энергия Ферми имеет значение наиболее вероятной или средней энергии электронов проводимости. Причем эти же электроны несут ответственность не только за создание электропроводности, но и определяют электронную теплоемкость и теплопроводность кристалла.

35. Теплоемкость твердых тел в приближении классических и квантовых представлений. Теория теплоёмкости Эйнштейна. Теория теплоёмкости Дебая.

Все кристаллические тела состоят из кристаллической решетки, в узлах которой находятся ионы и электронный газ.

Ионы в узлах кристаллической решетки колеблются хаотически, и амплитуда этих колебаний зависит от температуры.

В зависимости от температуры колебательная энергия ионов, которая меняется дискретно, будет разной, а это означает, что теплоемкость имеет не только электронный газ, но и сама решетка.

Эйнштейн разработал теорию теплоемкости (квантовую теорию) кристаллической решетки твердых тел в 1907 году и усовершенствовал Дебай в 1912 году.

Теория Эйнштейна: атомы рассматривались как независимые гармонические осцилляторы с тремя степенями свободы и, если этих атомов N , то осцилляторов $3N$; все осцилляторы колеблются с одной частотой $\omega = \text{const}$; нулевая энергия колебаний не учитывалась. $C_\mu = 3R \left(\frac{Q_E}{T} \right)^2 e^{\frac{Q_E}{T}}$ – выражение при низких температурах. Теория Эйнштейна при низких температурах имеет недостатки.

Теория Дебая: Атомы рассматриваются как гармонические, но взаимодействующие осцилляторы. Если атомов N , то осцилляторов $3N$; Атомы твердого тела совершают колебания с разными частотами от 0 до ω_{\max} , $\omega_{\max} \neq \infty$; Учитывается энергия нулевых колебаний (при $T = 0$) - $E_0 = \frac{1}{2} h\omega$.

$$C_\mu = 9R \left(\frac{T}{Q_D} \right)^3 \int_0^{x_{\max}} \frac{e^x x^4}{e^x - 1} dx, \quad x = \frac{h\omega}{kT}, \quad Q_D - \text{температура Дебая.}$$

$$Q_D = \frac{h\omega_{\max}}{k}.$$

Температура Дебая указывает на тот температурный предел, ниже которого квантование энергии колебаний атомов твердого тела становится значительным.

$$C_\mu = 3R 12 \left(\frac{T}{Q_D} \right)^3 \frac{\pi^4}{15} = \frac{12\pi^4 R}{5Q_D^3} T^3 = \alpha T^3 - \text{закон кубов Дебая.}$$

Теория Дебая хорошо соответствует эксперименту только для тел с простыми кристаллическими решетками, для сложных химических соединений эта теория не используется.

36. Теплоемкость металлов. Фононы. Теплопроводность диэлектрических кристаллов.

Металл как кристаллическая структура состоит из кристаллической решетки и электронного газа, поэтому общая теплоемкость металла равна $C = C_{\mu} + C_{\mu e}$ - молярная теплоемкость металлов. Теплоемкость металлов определяется теплоемкостью самой кристаллической

решетки и теплоемкостью электронного газа. $\frac{C^{kv}}{T} = \alpha T^3 + \beta T$

При низких температурах движение атомов в узлах кристаллической решетки замедляется, амплитуда колебаний уменьшается, что приводит к уменьшению теплоемкости решетки.

Тепловое движение атомов представляет собой колебательное движение вблизи некоторых равновесных состояний, даже если $T = 0$, колебания решетки называются нулевыми и соответствуют энергии

$$E_0 = \frac{1}{2} \sum_k \hbar \omega_k.$$

При $T = 0$ энергия теплового движения атомов кристаллической решетки определяется: $E = \sum_k \hbar \omega_k$.

В квантовой физике квант энергии нормального колебания называется фононом, который обладает энергией и квазиимпульсом.

Фонон - это квазичастица, которая может существовать только в упругой среде. Фонон не может существовать вне кристалла. $p = \frac{\hbar \omega}{v}$, v - скорость фонона.

Фононы имеют полный спин ($S = 1$) и подчиняются статистике Бозе-Эйнштейна.

Фононы являются бозонами.

Теплопроводность диэлектрических кристаллов на 2-3 порядка больше, чем теплопроводность газов, и на столько же порядков ниже, чем теплопроводность металлов.

37. Приближение электронного газа в поле периодического потенциала кристаллической решетки. Понятие зоны Бриллюэна. Области разрешенных и запрещенных значений энергии электрона в кристаллической структуре. Классификация материалов по типу проводимости исходя из зонной теории электронных спектров – металлы, полупроводники, диэлектрики.

Атомная структура твердого тела имеет периодичность, атомы в нем расположены в определенных местах пространства и образуют кристаллическую решетку, а тело называется кристаллом. Каждому допустимому уровню энергии атома в кристалле соответствует целая зона значений энергии - разрешенная зона, между которыми находятся зоны запрещенных уровней.

Для свободного электрона квазинепрерывная последовательность дискретных точек. Область k-пространства, внутри которой энергия электрона в кристалле изменяется квазинепрерывно, называется зоной Бриллюэна. На границах зон энергия терпит разрыв.

В металлах валентная зона, которая по принципу Паули заполнена электронами попарно с самых низких энергетических уровней, заполнена не полностью. Верхние уровни остаются свободными.

Ширина запрещенной зоны мала, и часто в металлах свободная зона перекрывается с валентной зоной и образуется гибридная зона.

У полупроводников валентная зона полностью заполнена и переходов не будет. В валентной зоне остаются вакантные (свободные) места, они называются дырки, которые ведут себя как положительно заряженные частицы. Переход электрона из валентной зоны в зону проводимости является генерацией пары электрон-дырка. Обратный процесс - рекомбинация. Потерянная при этом энергия либо передается решетке, либо излучается в виде квантов света.

В диэлектриках валентная зона полностью заполнена, ширина запрещенной зоны > 3 эВ, и для ее преодоления требуется много энергии. Поэтому диэлектрики являются изоляторами, и только в сильных электрических полях происходит пробой диэлектрика, что означает, что электроны переходят из валентной зоны в свободную зону.

38. Термодинамические свойства электронного газа в металле, статистика Ферми-Дирака, химический потенциал, его связь с энергией Ферми, теплоемкость электронного газа, сопоставление с теплоемкостью в приближении классической статистики.

Металл как кристаллическая структура состоит из кристаллической решетки и электронного газа, поэтому общая теплоемкость металла равна $C = C_{\mu} + C_{\mu e}$ - молярная теплоемкость металлов. Теплоемкость металлов определяется теплоемкостью самой кристаллической

решетки и теплоемкостью электронного газа. $\frac{C^{kv}}{T} = \alpha T^3 + \beta T$

Статистика Ферми-Дирака: частицы идентичны; энергия носит дискретный характер; спин частиц наполовину целый; частицы подчиняются принципу Паули. Функция распределения: $f(E) =$

$\frac{1}{e^{\frac{E_i - \mu}{kT}} + 1}$. Частицы, которые подчиняются этой статистике, называются

фермионами (электроны, нуклоны, позитроны).

Химический потенциал μ выражает некоторую энергию. Частицы, которые подчиняются этой статистике, называются фермионами (электроны, нуклоны, позитроны).

Система свободных электронов называется электронным газом или идеальным газом Ферми. В валентной зоне существует уровень, который отделяет нижние заполненные уровни от верхних свободных – уровень Ферми.

Физический смысл уровня Ферми состоит в том, что при $T = 0$ К энергия Ферми имеет значение наиболее вероятной или средней энергии электронов проводимости. Причем эти же электроны несут ответственность не только за создание электропроводности, но и определяют электронную теплоемкость и теплопроводность кристалла.

39. Фермионы. Диэлектрики, полупроводники, металлы.

Статистика Ферми-Дирака.

Фермионы - элементарные частицы, атомные ядра, атомы, обладающие полуцелым спином ($1/2\hbar$, $3/2\hbar$, $5/2\hbar$, ...). Фермионы подчиняются статистике Ферми-Дирака, согласно которой в квантовой системе в определенном квантовом состоянии может находиться только один фермион данного типа. Этот принцип носит название принципа Паули. К фермионам относится электрон и другие лептоны, кварки, барионы (в том числе протон и нейтрон), атомные ядра с нечётным числом нуклонов, атомы с нечётной суммой числа нуклонов и электронов.

Статистика Ферми-Дирака: частицы идентичны; энергия носит дискретный характер; спин частиц наполовину целый; частицы подчиняются принципу Паули. Функция распределения: $f(E) = \frac{1}{e^{\frac{E_i - \mu}{kT}} + 1}$. Частицы, которые подчиняются этой статистике, называются фермионами (электроны, нуклоны, позитроны).

Химический потенциал μ выражает некоторую энергию. Частицы, которые подчиняются этой статистике, называются фермионами (электроны, нуклоны, позитроны). К их числу относятся все частицы с полуцелым спином. Для фермионов характерно то, что они никогда не занимают состояния, в котором уже находится одна частица.

В металлах валентная зона, которая по принципу Паули заполнена электронами попарно с самых низких энергетических уровней, заполнена не полностью. Верхние уровни остаются свободными.

Ширина запрещенной зоны мала, и часто в металлах свободная зона перекрывается с валентной зоной и образуется гибридная зона.

У полупроводников валентная зона полностью заполнена и переходов не будет. В валентной зоне остаются вакантные (свободные) места, они называются дырки, которые ведут себя как положительно заряженные частицы. Переход электрона из валентной зоны в зону проводимости является генерацией пары электрон-дырка. Обратный процесс - рекомбинация. Потерянная при этом энергия либо передается решетке, либо излучается в виде квантов света.

В диэлектриках валентная зона полностью заполнена, ширина запрещенной зоны > 3 эВ, и для ее преодоления требуется много энергии. Поэтому диэлектрики являются изоляторами, и только в сильных электрических полях происходит пробой диэлектрика, что означает, что электроны переходят из валентной зоны в свободную зону.

40. Проводимость полупроводников, р-п-переход, полупроводниковые приборы. Электропроводимость металлов. Квантовые явления при низких температурах.

Различают два типа проводимости у полупроводников: собственная и примесная.

Собственная проводимость п/п: эл-ты 4 группы таблицы Менделеева (Ge, Si). Каждый из 4-х валентных электронов образует ковалентные связи с соседними 4-мя атомами, каждый из которых отдает свой 1 электрон для образования ковалентной связи с этим атомом. Т. о., образуются попарно ковалентные связи. Собственная проводимость наблюдается только в чистом п/п-ке. в результате теплового движения в п/п-ках наблюдаются 2 процесса: - процесс рождения пар электрических дырок; - процесс рекомбинации. В чистом п/п электропроводимость является электронно-дырочной.

Примесная проводимость: если к чистому п/п добавить примесь, то появляется примесная проводимость. Эта проводимость возникает, когда валентность примеси на 1 больше или меньше валентности основного п/п. 1) решетка германия Ge - 4 валент.; примесь фосфора P - 5 валент. 4 внешних электрона P из пяти образуют ковалентную связь, а 5-й является свободным и может образовывать ток под воздействием внеш. электрического поля. Возникает электронная проводимость. Такие примеси называются донорными. Это п/п - n-типа. 2) решетка Si (кремний) - 4 валентный; примесь В (бор) - 3 валентный. Появляется дырка. Под воздействием внешнего электрического поля движение дырки будет направлено и возникает ток. Такие п/п имеют дырочную проводимость. Примеси назыв. акцепторными, а п/п - p-типа.

р-п-р переход: Если соединить два п/п-ка разного типа, то на границе их соединения возникает область, которая образует так называемый р-п-переход. Электроны из n-области в результате теплового движения переходят в р-область и рекомбинируют там с дырками, а дырки из р-области переходят в n-область и рекомбинируют с электронами. Т.о. в области контакта у п п/п наблюдается избыток некомпенсированных добавленных ионов, а в р-области - отрицательных ионов и в Это поле предотвращает дальнейший переход электронов из n в р-область и дырок из р в n-область.

Электропроводность металлов: Металлы имеют не полностью заполненную электронами валентную зону или гибридную зону (это когда уровни валентной зоны и свободной зоны перекрываются). Если валентная зона не полностью заполнена электронами, то электроны

могут перемещаться с нижнего уровня на более высокие. \Rightarrow если металл находится во внеш. электрическом поле, то эти переходы будут направлены и будет генерироваться электрический ток. Поскольку электрический ток создается за счет направленного движения электронов, то электропроводность металлов является электронной. В абсолютно чистом кристалле движению электронов ничто не должно оказывать сопротивление и электропроводность металлов должна быть бесконечно большой. Но решетка кристалла имеет дефекты и примеси, которые составляют поле решетки и вызывают изменения в движении электронов. При $T \neq 0$ атомы в узлах решетки участвуют в тепловом движении, а также мешают движению электронов. Таким образом, дефекты с примесями и колебания атомов оказывают сопротивление движению электронов в металлах и снижают их электропроводность.

Квантовые явления при низких температурах: При $T = 4,2 \text{ K}$ сопротивление ртути резко падает до нуля. Это явление называется сверхпроводимостью, а температура - критической температурой. Однако при $T < T_k$ проводимость может быть нарушена внешним магнитным полем. Значение магнитной индукции, при которой это происходит, называется критическим полем и обозначается B_k . При T_k : $B_k=0$, при уменьшении T : B_k стремится до B_{k0} . Ток, протекающий через проводник в сверхпроводящем состоянии, создает магнитное поле. Когда его индукция достигает критического значения, сверхпроводимость исчезает. Такой ток называется критическим током I_k , и его зависимость от T также имеет параболическую форму.

41. Зависимость химического потенциала и концентрации носителей от температуры. Собственная и примесная проводимость полупроводников. Уровень Ферми и его расположение.

Собственная проводимость п/п: эл-ты 4 группы таблицы Менделеева (Ge, Si). Каждый из 4-х валентных электронов образует ковалентные связи с соседними 4-мя атомами, каждый из которых отдает свой 1 электрон для образования ковалентной связи с этим атомом. Т. о., образуются попарно ковалентные связи. Собственная проводимость наблюдается только в чистом п/п-ке. в результате теплового движения в п/п-ках наблюдаются 2 процесса: - процесс рождения пар электрических дырок; - процесс рекомбинации. В чистом п/п электропроводимость является электронно-дырочной.

Примесная проводимость: если к чистому п/п добавить примесь, то появляется примесная проводимость. Эта проводимость возникает, когда валентность примеси на 1 больше или меньше валентности основного п/п. 1) решетка германия Ge - 4 валент.; примесь фосфора P - 5 валент. 4 внешних электрона P из пяти образуют ковалентную связь, а 5-й является свободным и может образовывать ток под воздействием внеш. электрического поля. Возникает электронная проводимость. Такие примеси называются донорными. Это п/п - n-типа. 2) решетка Si (кремний) - 4 валентный; примесь B (бор) - 3 валентный. Появляется дырка. Под воздействием внешнего электрического поля движение дырки будет направлено и возникает ток. Такие п/п имеют дырочную проводимость. Примеси назыв. акцепторными, а п/п - p-типа.

Система свободных электронов называется электронным газом или идеальным газом Ферми. В валентной зоне при $T = 0$ электроны попарно, по принципу Паули, заполняют нижние уровни, а часть верхних уровней остается свободной. Таким образом, в валентной зоне существует уровень, который отделяет нижние заполненные уровни от верхних свободных - уровень уровнем Ферми.

Физический смысл уровня Ферми состоит в том, что при $T = 0$ К энергия Ферми имеет значение наиболее вероятной или средней энергии электронов проводимости. Причем эти же электроны несут ответственность не только за создание электропроводности, но и определяют электронную теплоемкость и теплопроводность кристалла.

42. Примесный полупроводник донорного и акцепторного типа. Энергия ионизации примесей. Зависимость концентрации носителей от температуры для примесных уровней. Понятие фотопроводимости полупроводника.

Примесная проводимость: если к чистому п/п добавить примесь, то появляется примесная проводимость. Эта проводимость возникает, когда валентность примеси на 1 больше или меньше валентности основного п/п. 1) решетка германия Ge - 4 валент.; примесь фосфора P - 5 валент. 4 внешних электрона P из пяти образуют ковалентную связь, а 5-й является свободным и может образовывать ток под воздействием внеш. электрического поля. Возникает электронная проводимость. Такие примеси называются донорными. Это п/п - n-типа. 2) решетка Si (кремний) - 4 валентный; примесь В (бор) - 3 валентный. Появляется дырка. Под воздействием внешнего электрического поля движение дырки будет направлено и возникает ток. Такие п/п имеют дырочную проводимость. Примеси назыв. акцепторными, а п/п - p-типа.

При высоких температурах проводимость полупроводника будет складываться из примесной и собственной проводимостей. При низких температурах преобладает примесная, а при высоких — собственная проводимость.

Электрическая проводимость полупроводников, возбужденная излучением, называется *фотопроводимостью*. Обусловлена внутренним фотоэффектом, когда в полупроводнике под влиянием света образуются дополнительные неравновесные носители заряда.

Энергия ионизации примеси. Это энергия, которая необходима для освобождения примесного электрона или дырки из примесного уровня. Для донорного полупроводника она отсчитывается от дна зоны проводимости до примесного уровня, а для акцепторного - от потолка валентной зоны до примесного уровня. По значению энергии ионизации примесь делится на мелкую и глубокую. Если энергия ионизации примеси близка к половине ширины запрещенной зоны, то такую примесь называют глубокой. Если энергия ионизации примеси близка к уровню разрешенной зоны (реально меньше 0,1-0,05 eV), то такую примесь называют мелкой. Чем больше энергия ионизации примеси, тем при той же температуре меньше концентрация свободных носителей заряда.

43. Модели атома. Модель Томсона. Опыты Резерфорда по рассеянию α – частиц веществом. Планетарная модель атома.

Атом - квантовая система, состоящая из ядра и электронов.

В 1903 году Томсон создал первую модель атома. По его словам модель атома - это сфера, в которой положительное распределение равномерно заряд с определенной плотностью.

Внутри такого шара плавают отрицательно заряженные частицы - электроны. Атом похож на каплю жидкости, внутри которой плавают отрицательно заряженные электроны, равномерно распределенные по всему объему, как отрицательные, так и положительные заряды получили разные распределение. $\sum q^- = \sum q^+$. Поэтому атом нейтральный.

В 1909-1911 годах Резерфорд (Гейгер, Мареден) с сотрудниками поставили эксперименты по рассеянию α -частиц тонкими слоями вещества (фольги). α -частицы - ядро атома гелия ($q = + 2e$): К - свинцовый контейнер с радиоактивным веществом; Ф - Золотая фольга; Е - сцинтилляционный экран; М - микроскоп, который может вращаться относительно центра. Весь прибор находится в вакуум.

Оказалось, что для большинства α -частиц завеса рассеяния θ маленькая ($\sim 10^\circ$) и согласно модели Томсона ($m_\alpha \gg m_e$) эти отклонения должно быть маленькими. Но ряд α -частиц рассеиваются под очень большими углами $\varphi > 90^\circ$, это может быть только в случае, когда $m_\alpha \sim m_{ат}$ и эта $m_{ат}$ сосредоточена в очень небольшом объеме и имеет заряд «+».

В результате была создана ядерная или планетарная модель атома. В соответствии с этим атом состоит из ядра, в котором он сосредоточен 99,95% от общей массы и весь положительный заряд. Размер сердечника ~ 10 -15 м (диаметр). И вокруг ядра по эллиптическому отрицательно заряженные электроны движутся по орбите.

Резерфорд получил выражение, согласно которому можно определить

долю α -частицы рассеиваются под углом θ :
$$\frac{dN_\theta}{N} = na \left(\frac{ze^2}{4\pi\epsilon_0 m_\alpha v_\alpha^2} \right)^2 \frac{d\Omega}{\sin^4 \frac{\theta}{2}}$$

44. Корпускулярно-волновой дуализм электромагнитного излучения, основные характеристики фотона. Опыты Вавилова Природа α -, β -, γ – распада.

Энергия выделяется в той точке поверхности, в которую попадает фотон.

Энергия фотона: $E = \hbar\omega$. Импульс: $p = \frac{E}{c} = \frac{\hbar\omega}{c}$. Масса покоя фотона равна 0. Инертная масса: $m = \frac{\hbar\omega}{c^2}$.

Опыты Вавилова: Флуктуации слабых световых потоков были обнаружены С. И. Вавиловым и его сотрудниками. Они установили, что в области наибольшей чувствительности глаз начинает реагировать на свет при попадании на зрачок примерно 200 фотонов в секунду. При такой интенсивности Вавилов наблюдал флуктуации светового потока, носившие отчетливо выраженный статистический характер. Правда, наблюдавшиеся в опытах Вавилова колебания светового восприятия были обусловлены не только флуктуациями светового потока, но также и флуктуациями, связанными с физиологическими процессами, протекающими в глазу.

Природа α –распада: ${}^A_ZX \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}Y + {}^4_2He$, где 4_2He – альфа-частица, X – материнское ядро, Y – дочернее ядро. α -частица, возникающая при распаде, движется со скоростью $\sim 10^7$ м/с и вызывает ионизацию атомов среды, через которую он проходит. Путь, по которому проходит α -частица до момента ее превращения в атом гелия, называется пробегом. α -частица в готовом виде не существует внутри ядра и возникает только во время его распада. При выходе из ядра α – частицы наблюдается туннельный эффект.

Природа β -распад: β^- -распад (электронный распад) ${}^A_ZX \rightarrow {}^A_{Z+1}Y + {}^0_{-1}e + \nu$; $n \rightarrow p + {}^0_{-1}e + \nu$; ν – антинейтрино. β^+ -распад (распад позитрона) ${}^A_ZX \rightarrow {}^A_{Z-1}Y + {}^0_{+1}e + \nu$; $p \rightarrow n + {}^0_{+1}e + \nu$. Электронный захват ${}^A_ZX + {}^0_{-1}e \rightarrow {}^A_{Z-1}Y + \nu$; $p + {}^0_{-1}e \rightarrow n + \nu$. При электронном захвате электрон захватывается ядром, формируется новое ядро и появляется характерное рентгеновское излучение, потому что захват электрона с К-оболочки вызывает эл-ные переходы с более высоких уровней. С L и М - оболочками электрон редко захватывается. Для защиты от β - лучей используются металлические и пластические экраны.

Природа γ -излучение: Гамма-излучение происходит в процессе α или β -распадах в случае, если дочернее ядро находится в возбужденном состоянии.

${}^A_ZX^* \rightarrow {}^A_ZX + \gamma^*$. Если до распада ядро находится в возбужденном состоянии, то оно сначала переходит в устойчивое состояние с γ -квантовым излучением, а затем происходит процесс распада. В случаях, когда дочернее ядро не возбужденно, распад не сопровождается γ -излучением. γ -лучи имеют высокую проникающую способность (жесткое), не отклоняется ни электрическим, ни магнитным полем. Имеют энергию ~ 1 МэВ и $\lambda \sim 10^{-12}$ м.

45. Правила смещения. Радиоактивные ряды.

Масса при превращениях связана с числом нуклонов, которое не меняется и определяется по массовому числу A . На основании закона сохранения массы (количества нуклонов) и электрического заряда устанавливаются правила смещения. С ними формулировка учитывает:

- А) что массовое число продуктов распада равно массовому числу исходного ядра;
- В) число зарядов продуктов распада равно числу зарядов исходного ядра.
- 1) В результате α -распада возникает дочернее ядро, которое стоит в двух местах ближе к началу периодической таблицы Менделеева, чем исходный элемент ${}_Z^AX \rightarrow {}_{Z-2}^{A-4}Y + {}_2^4He$;
- 2) При электронном β^- -распаде возникает новый элемент, который на одно место стоит ближе к концу периодической таблицы Менделеева, чем исходный элемент ${}_Z^AX \rightarrow {}_{Z+1}^AY + {}_{-1}^0e + \nu$;
- 3) При позитронном β^+ -распаде и электронном захвате присутствует дочернее ядро, которое на одно место ближе к началу периодической таблицы Менделеева, чем исходный элемент ${}_Z^AX \rightarrow {}_{Z-1}^AY + {}_{-1}^0e + \nu$;
- 4) Электронный захват - ${}_Z^AX + {}_{-1}^0e \rightarrow {}_{Z-1}^AY + \nu$.

Если само ядро распадается, это означает, что оно находится в возбужденном состоянии, и оно должно перейти в более стабильное состояние с меньшими затратами энергии, а это означает, что масса исходного ядра должна быть больше, чем масса продуктов его распада. Это состояние природной радиоактивности.

Причиной распада - перенасыщенность нейтронами, т.е. увеличение относительного числа нейтронов в ядре с увеличением массового числа A .

Процесс радиоактивного распада происходит в форме цепочки. При этом образуется радиоактивная семья, в которой есть родоначальник (первоначальный изотоп) и конечный изотоп, на котором заканчивается распад. Т.е. совокупность всех изотопов серого элементов, которые возникают с последовательными радиоактивными превращениями из одного материнского ядра, называется радиоактивным семейством.

1-я семья: ${}^{238}_{92}\text{U} \rightarrow {}^{206}_{82}\text{Pb}$; 2-я семья: ${}^{232}_{90}\text{Th} \rightarrow {}^{207}_{82}\text{Pb}$; 3-я семья: ${}^{235}_{92}\text{U} \rightarrow {}^{208}_{82}\text{Pb}$;

4-я семья: ${}^{237}_{93}\text{Np} \rightarrow {}^{209}_{83}\text{Bi}$.

46. Устойчивые и неустойчивые изотопы химических элементов. Естественная радиоактивность химических элементов. Закон радиоактивного распада.

Изотопы - это атомные ядра, которые имеют один и тот же Z , но разные A .

Устойчивые изотопы не подвергаются радиоактивному распаду. Поэтому они сохраняются в природных условиях. Примерами устойчивых изотопов являются кислород-16 и углерод-12.

Неустойчивые изотопы радиоактивны. Их принято называть радиоактивными изотопами, радиоизотопами или радионуклидами. Радиоизотопы подразделяются на естественные и искусственные. Распад продолжается до образования устойчивого изотопа.

Процесс преобразования некоторых атомных ядер в другие с помощью излучения частиц вещества (элементарных частиц) и высокочастотного э/м излучения называется радиоактивностью.

Процесс самопроизвольного распада и превращения атомных ядер называется естественная радиоактивность.

Процесс трансформации ядер под внешним воздействием называется искусственная радиоактивность.

Естественная радиоактивность была открыта в 1896 году Беккерелем, а искусственная - в 1934 году Жолио-Кюри. При изучении свойств урановых солей Беккерель обнаружил, что они испускают невидимые лучи, которые могут вызвать свечение, ионизируют газы, вызывают почернение фотопластинки и тем самым обладают отличной проникаемостью.

Закон радиоактивного распада: число радиоактивных ядер, распадающихся в единицу времени, пропорционально полному числу ядер, оставшихся к данному моменту.
$$N = N_0 2^{-\frac{t}{T}}$$

47. Волновая функция микросистемы как образ, позволяющий описать вероятность нахождения системы в том или другом состоянии. Состав ядра атома. Нуклоны и их характеристики. Законы сохранения при ядерных превращениях.

Атомное ядро состоит из нуклонов — положительно заряженных протонов и нейтральных нейтронов, которые связаны между собой при помощи сильного взаимодействия.

Нуклонами являются протон (p) и нейтрон (n).

Массы нейтрона и протона почти идентичны: $m_p = 1,672 \cdot 10^{-27}$ кг; $m_n = 1,675 \cdot 10^{-27}$ кг.

Т.е. $m_n > m_p$ нейтрон в свободном состоянии неустойчив и произволен распадается. Протон в свободном состоянии является стабильной частицей, но внутри ядро может подвергаться преобразованиям. $m_{\text{нукл}}/m_e \approx 1836$ раз. Заряд протона $+e$. Протон имеет спин $S_p = 1/2$ и собственный магнитный момент $\mu_p = +2,79 \mu_y$, где $\mu_y = e\hbar/2m_p$ — единицей магнитного момента нуклона является ядерный магнетон $\mu_B/\mu_y = 1836$ раз.

Законы сохранения эл заряда и числа нуклонов: суммарный эл заряд и полное число нуклонов, вступающих во взаимодействие, должно сохраняться в результате ядерных реакций.

Законы сохранения энергии и импульса: $E_a + E_A = E_b + E_B$; $p_a + p_A = p_b + p_B$

Закон сохранения момента кол-ва движения: сохраняется полный момент кол-ва движения замкнутой системы.

48. Ядро атома, соотношение между массой ядра и суммарной массами нуклонов. Энергия связи нуклонов в ядре, модели атомного ядра. Дефект массы и энергия связи ядра.

Атомное ядро состоит из нуклонов — положительно заряженных протонов и нейтральных нейтронов, которые связаны между собой при помощи сильного взаимодействия.

Нуклонами являются протон (p) и нейтрон (n).

Массы нейтрона и протона почти идентичны: $m_p = 1,672 \cdot 10^{-27}$ кг; $m_n = 1,675 \cdot 10^{-27}$ кг.

Массовое число показывает, сколько протонов и нейтронов в атоме ядра, число нейтронов $N_n = A - Z$. Атомное ядро в ядерной физике называется нуклидом.

Согласно теории относительности, высвобождается энергия $E = \Delta m c^2$, где Δm - дефект массы атомного ядра. $\Delta m = Z m_p + A - Z m_n - m_{\text{я}}$.

$$\varepsilon_{\text{св}} = [Z m_p + A - Z m_n - m_{\text{я}}] c^2$$

Энергия связи на 1 нуклон называется удельной энергией. $\varepsilon_{\text{уд}} = \varepsilon_{\text{св}} / A$

Удельная энергия связи характеризует устойчивость атомных ядер: чем больше $\varepsilon_{\text{уд}}$, тем стабильнее ядро.

Одной из основных характеристик атомного ядра является его заряд.

Протоны, составляющие ядро, имеют дополнительный заряд, который равен сумме: $Q_{\text{я}} = \sum_{i=1}^n q_n$, а если атом нейтральный, то суммарный заряд протонов = заряд электронной оболочки. $\sum_{i=1}^n q_n = \sum_{i=1}^n -q_e$

Кол-во протонов в ядре определяется зарядным числом Z , т.е. $Z = N_p$, где Z - порядковый номер хим. элемента в периодической таблице Менделеева. Поэтому $Q_{\text{я}} = +Z_e$

Модели атомного ядра: В 1936 году Фрэнкель и Бор разработали и создали капельную модель атомного ядра, согласно которой ядро напоминает заряженную каплю жидкости (силы в ядре недолговечны, нестабильность ядра и капель определяются кол-вом частиц, несжимаемость ядра и капель). Недостаток: очень приблизительное сходство ядерной материи и жидкости. Если падение составляет около $\sim 10^9$ атомов, то в ядре нуклонов не более 300.

В настоящее время существует обобщенная модель атомного ядра, которая допускает существование в ядре устойчивого центра, который создается полностью заполненными оболочками. Движение центра – капельная модель. Внешние нуклоны, несферические ядра – оболочная модель. Для нестабильных (сильно возбужденных) ядер существует статистическая модель, которая для каждого ядра своя и подтверждается многими экспериментами и опытам.

49. Первые ядерные реакции. Искусственная радиоактивность. Закон радиоактивного распада. Альфа-распад. Бета-распад.

В 1919 г. Э. Резерфорд подвергает облучению α -частицами азот и обнаруживает его превращение в изотоп кислорода с массой 17 и атом водорода (т.е. протон, ион атома водорода): первое было осуществлено искусственное превращение элементов.

Процесс преобразования некоторых атомных ядер в другие с помощью излучения частиц вещества (элементарных частиц) и высокочастотного э/м излучения называется радиоактивностью.

Процесс трансформации ядер под внешним воздействием называется искусственная радиоактивность. Обнаружена в 1934 г. И. Жолио-Кюри и Ф. Жолио-Кюри для радия и плония.

Закон радиоактивного распада: число радиоактивных ядер, распадающихся в единицу времени, пропорционально полному числу

ядер, оставшихся к данному моменту. $N = N_0 2^{-\frac{t}{T}}$

α -распад: ${}_Z^AX \rightarrow {}_{Z-2}^{A-4}Y + {}_2^4He$, где ${}_2^4He$ – альфа-частица, X – материнское ядро, Y – дочернее ядро. α -частица, возникающая при распаде, движется со скоростью $\sim 10^7$ м/с и вызывает ионизацию атомов среды, через которую он проходит. Путь, по которому проходит α -частица до момента ее превращения в атом гелия, называется пробегом. α -частица в готовом виде не существует внутри ядра и возникает только во время его распада. При выходе из ядра α -частицы наблюдается туннельный эффект.

β -распад: β^- -распад (электронный распад) ${}_Z^AX \rightarrow {}_{Z+1}^AY + {}_{-1}^0e + \nu$; $n \rightarrow p + {}_{+1}^0e + \nu$; ν – антинейтрино. β^+ -распад (распад позитрона) ${}_Z^AX \rightarrow {}_{Z-1}^AY + {}_{-1}^0e + \nu$; $p \rightarrow n + {}_{+1}^0e + \nu$. Электронный захват - ${}_Z^AX + {}_{-1}^0e \rightarrow {}_{Z-1}^AY + \nu$; $p + {}_{-1}^0e \rightarrow n + \nu$. При электронном захвате электрон захватывается ядром, формируется новое ядро и появляется характерное рентгеновское излучение, потому что захват электрона с К-оболочки вызывает эл-ные переходы с более высоких уровней. С L и M-оболочками электрон редко захватывается. Для защиты от β -лучей используются металлические и пластические экраны.

50. Ядерные реакции деления для тяжелых элементов периодической таблицы Менделеева. Направленность реакции, энергетический выход.

Деление ядер. Цепная ядерная реакция.

Тяжелые ядра, которые имеют относительно большое количество нейтронов являются нестабильными и делятся на более легкие. В результате он излучает определенное количество энергии. Однако это не означает абсолютной нестабильности ядра. Чтобы разделить ядро нужна первоначальная минимальная энергия - энергия активации, которая позволяет нуклону преодолеть действие ядерных сил. Когда ядро делится, оно излучает ~ 200 МэВ энергии, $\sim 80\%$ ее составляет кинетическая энергия осколков деления и 20% - кинетическая энергия нейтронов и энергия радиоактивного излучения осколков.

Делиться могут: $^{238}_{92}\text{U}$, $^{235}_{92}\text{U}$, $^{233}_{92}\text{U}$, $^{239}_{94}\text{Pu}$, $^{230}_{90}\text{Th}$.

Пример деления: $^{235}_{92}\text{U} + {}^1_0\text{n} \rightarrow {}^{140}_{55}\text{Cs} + {}^{94}_{37}\text{Rb} + 2{}^1_0\text{n}$

Испускание нескольких нейтронов при делении ядер U_{235} , Pu_{239} , U_{233} дает возможность осуществить цепную ядерную реакцию.

Испущенные при делении одного ядра два нейтрона могут вызвать деление двух других ядер, в результате чего будет испущено 4 нейтрона, которые вызовут деление 4 ядер и т. д. Таким образом, количество делящихся ядер нарастает в геометрической прогрессии. Развитие цепной реакции деления характеризуется коэффициентом распространения нейтронов K : $K = \frac{N_i}{N_{i-1}}$.

K определяется соотношением числа нейтронов, вызывающих деление ядер на одном из этапов реакции до количества нейтронов, вызывающих деление ядер на предварительной стадии этой реакции. В зависимости от величины K могут иметь место различные процессы деления.

При $K < 1$ ядерная реакция не развивается (затухают);

При $K = 1$ реакция протекает с постоянной скоростью (стабильной);

При $K > 1$ реакция неуправляема (взрыв).

K зависит от типа ядерного вещества, его массы и размеров (формы). Масса радиоактивного вещества, соответствующая $K=1$, называется критической массой ($m_{\text{кр}}$). При $m \geq m_{\text{кр}}$ - реакция идет. При $m < m_{\text{кр}}$ - не идет.

Энергетический выход – разность энергий покоя ядер и частиц до реакции и после реакции, а также разность кинетических энергий и частиц, участвующих в реакциях.

51. Понятие о силах, удерживающих нуклоны в составе ядра. Модели атомного ядра.

Современная физика считает, что между нуклонами в ядре существует тип взаимодействия, которое называется сильным взаимодействием, а силы, которые обеспечивают это взаимодействие, называются ядерными силами.

Свойства ядерных сил:

- 1) Недолговечны. Они проявляются на расстоянии 10^{-15} м. На расстоянии менее $\approx 10^{-15}$ м под действием силы тяжести заменяются силами отталкивания между нуклонами.
- 2) Зарядовая независимость $n \leftrightarrow n$; $p \leftrightarrow p$; $n \leftrightarrow p$ – силы одинаковые
- 3) Самые мощные из всех сил
- 4) Спиновая независимость
- 5) Носят обменный характер. Переносчики ядерного взаимодействия – виртуальные частицы π -мезоны или пионы.
- 6) Силы не центральные

Есть 3 типа π -мезонов: π^0 , π^- , π^+ . Каждый нуклон создает поле вокруг себя и непрерывно выпускает и поглощает пионы. Т.е. одинаковый нуклон окружен мезонным "мехом" (облаком). Поэтому, когда два нуклона приближаются, столкновение их мезонных мехов подразумевает собой обмен пионами.

Модели атомного ядра: В 1936 году Фрэнкель и Бор разработали и создали капельную модель атомного ядра, согласно которой ядро напоминает заряженную каплю жидкости (силы в ядре недолговечны, нестабильность ядра и капель определяются кол-вом частиц, несжимаемость ядра и капель). Недостаток: очень приблизительное сходство ядерной материи и жидкости. Если падение составляет около $\sim 10^9$ атомов, то в ядре нуклонов не более 300.

В настоящее время существует обобщенная модель атомного ядра, которая допускает существование в ядре устойчивого центра, который создается полностью заполненными оболочками. Движение центра – капельная модель. Внешние нуклоны, несферические ядра – оболочная модель. Для нестабильных (сильно возбужденных) ядер существует статистическая модель, которая для каждого ядра своя и подтверждается многими экспериментами и опытам.

52. Энергетический выход реакции, цепные реакции деления и их применение. Ядерные реакторы.

Энергетический выход – разность энергий покоя ядер и частиц до реакции и после реакции, а также разность кинетических энергий и частиц, участвующих в реакциях.

Испускание нескольких нейтронов при делении ядер U_{235} , Pu_{239} , U_{233} дает возможность осуществить цепную ядерную реакцию.

Испущенные при делении одного ядра два нейтрона могут вызвать деление двух других ядер, в результате чего будет испущено 4 нейтрона, которые вызовут деление 4 ядер и т. д. Таким образом, количество делящихся ядер нарастает в геометрической прогрессии. Развитие цепной реакции деления характеризуется коэффициентом.

распространения нейтронов K : $K = \frac{N_i}{N_{i-1}}$. При $K < 1$ ядерная реакция не развивается (затухают); При $K = 1$ реакция протекает с постоянной скоростью (стабильной); При $K > 1$ реакция неуправляема (взрыв).

Применение: ядерная энергия, химия

Ядерные реакторы: Для производства большого количества ядерной энергии выполняются установки промышленного типа. В них есть цепная реакция деления с коэффициентом размножения нейтронов автоматического поддерживается равным единице.

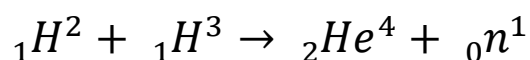
Типы: реактор на тепловых (медленных) нейтронах, реактор на быстрых нейтронах, реактор на промежуточных нейтронах, реактор со смешанным спектром.

На тепловых нейтронах: Реакторы на тепловых нейтронах вырабатывают энергию за счет процесса деления изотопа урана ^{235}U . од действием нейтронов ^{235}U делится на осколки с испусканием вторичных нейтронов. При этом за один акт деления выделяется энергия около 200 МэВ. Вторичные нейтроны от реакции деления могут, в свою очередь, вызвать деление других ядер ^{235}U . Таким образом может быть осуществлена самоподдерживающаяся цепная реакция. Энергия реакции деления в основном преобразуется в кинетическую энергию осколков, из-за чего ядерное топливо начинает нагреваться. Тепловая энергия снимается теплоносителем, обычно водой, которая превращается в пар. Пар вращает турбины, которые производят электричество.

53. Ядерные реакции синтеза для легких элементов периодической системы Менделеева. Условия реакции синтеза и ее энергетический выход.

Ядерный синтез, то есть слияние двух легких ядер в одно, также сопровождается выделением огромного количества энергии.

Поскольку для синтеза ядер необходимы очень высокие температуры (для сближения ядер на расстояния, при которых осуществляется синтез более тяжелой ядра), этот процесс называется термоядерным (температура порядка сотен миллионов градусов). Особенно благоприятны условия для синтеза ядер дейтерия (тяжелый водород) и трития (сверхтяжелый водород). Именно эти вещества образуют заряд водородной (термоядерной) бомбы. Запалом в такой бомбе служит атомная бомба, при взрыве которой возникает температура $\sim 10^7$ К, достаточная для осуществления реакции синтеза:



В этой реакции выделяется энергия $\sim 3,5$ МэВ на нуклон (для сравнения - при делении ядра урана выделяется энергия $\sim 0,85$ МэВ на нуклон).

$$E = \frac{Z_1 Z_2 e^2}{r_j}$$

Первый термоядерный взрыв 1956 г, чуть позже Сахаров предложил оригинальную схему для создания управления термоядерного синтеза. При этом решались задачи:

1. Нагревание смеси до 10^9 температуры;
2. Обеспечить теплоизоляцию этой плазмы от стенок реактора, для этого используется магнитное поле и большие токи. Установка называется такамак. На установке Т⁻¹⁰ достигнет температуры $5 \cdot 10^7$ К и время удержания = 0.1 с

54. Требования по реализации реакции синтеза, проблемы управляемого термоядерного синтеза. Элементы дозиметрии.

Все тела радиоактивного излучения при прохождении через вещество взаимодействуют с электрической оболочкой атомов или приводит к появлению новых изотопов. Разные излучения обладают неодинаковой проникающей способностью. Наиболее проникающей способностью в гамма лучах меньше Альфа и Бетта лучей, однако при попадании в организм с едой или водой они могут доставлять большие проблемы.

Уровни действия излучения на организм 1) Уровень молекул и клеток.

При разрушении клетки она теряет свою способность к делению. 2)

Уровень отдельных органов или всего организма в общем, что приводит к заболеванию. Поглощающая доза - энергия ионизации излучения, поглощенная веществом, и рассчитанная на единицу его массы.

$\Delta\varepsilon/\Delta m = D$, где $\Delta\varepsilon$ - поглощающая энергия; Δm - масса вещества Единица измерения - Грей. Это поглощающая доза, при которой облучается вещество массой в 1 кг. перед энергией в 1 Дж. 1 Грей = 1 Дж/кг.

Внесистемная единица - рад (1 рад = 10^{-2} Гр.) Экспозиционная доза - это мера ионизации действия рентгеновского ил гамма излучения в воздухе.

Определяется как отношение суммарного заряда всех ионов в объеме массой Δm $D_x = \sum Q/\Delta m$ Единица измерения 1 Кл/кг. Внесистемная единица измерения: (1р = $2,58 \cdot 10^{-4}$ Кл/кг.)

Эквивалентная доза - поглощенная доза, которая не зависит от типа излучения и определяет биологический эффект. $H = KD$, D - поглощающая доза; K - коэффициент качества излучения, чем выше K , тем лучше. Измеряется в Зильверт(Зв). Эквивалентная доза любого излучения, которая поглощает 1 кг. биологической ткани и создаёт тот же биологический эффект, как и доза в 1 Гр.

Внесистемная единица - Бер. (1 Бер = 10^{-2} Зв, т.е. 1Зв = 100 Бер)

Мощность дозы - приращение доз в единицу времени. $P = \Delta D/\Delta t$, Если

скорость разная, то $D = \int_0^{t_0} P(t)dt$, где $P(t)$ - значение мощности.

Для измерения всего этого используют специальные приборы - дозиметры. Принцип действия этих приборов основан на эффект ионизации.

Основные узлы:

- детектор излучения;
- схема преобразования импульсов
- регистр или измерительное устройство

К ним относят: индикаторы, рентгенометры, радиометры, дозиметры.

55. Зарядовые и массовые числа, понятие изотопа, изобары. Законы сохранения при атомных и ядерных превращениях.

Количество протонов в ядре определяется зарядным числом Z , т.е. $Z=N_p$, где Z - порядковый номер химического элемента в периодической таблице элементов Менделеева. Поэтому $Q_{\text{я}}=+Z_e$. Например, в углероде $Z=6$, т.е. $Q_{\text{я}}=+6e$.

Массовое число показывает, сколько протонов и нейтронов в атоме ядра. Следовательно, число нейтронов $N_n = A - Z$. Т.е. атомное ядро обозначается ${}_Z^AX$, ${}_2^4\text{He}$.

Изотопы - это атомные ядра, которые имеют один и тот же Z , но разные A . Например: ${}_1^1\text{H}$ - протий (легкий водород); ${}_1^2\text{H}$ - дейтерий (тяжелый водород); ${}_1^3\text{H}$ (сверхтяжелый водород). Атомы химического элемента с ядрами-изотопами имеют одинаковую структуру электронных оболочек, поэтому такие атомы имеют одинаковые (практически) хим. и физические свойства, что обусловлено электронной конфигурацией атомных оболочек. И только в изотопах водорода свойства атомов заметно различаются.

Изобары - это ядра, для которых один и тот же A , но разные Z , ${}_{18}^{40}\text{Ar}$, ${}_{20}^{40}\text{Ca}$. Изотопы - в которых N_n ($N_n = A - Z$) одинаковое (такое же количество нейтронов) ${}_{7}^{14}\text{N}$, ${}_{6}^{13}\text{C}$. Изобары – это ядра с одинаковыми Z и A , но с разными периодами полураспада T .

В особом случае: ${}_{35}^{80}\text{Br}$ - имеет два изомера $T = 18$ минут $T = 4,4$ часа.

Законы сохранения эл заряда и числа нуклонов: суммарный эл заряд и полное число нуклонов, вступающих во взаимодействие, должно сохраняться в результате ядерных реакций.

Законы сохранения энергии и импульса: $E_a + E_A = E_b + E_B$; $p_a + p_A = p_b + p_B$

Закон сохранения момента кол-ва движения: сохраняется полный момент кол-ва движения замкнутой системы.

56. Элементарные частицы, виды взаимодействий между элементарными частицами.

С введением квантово-механического понятия о дискретности материи возник вопрос, до какой степени ее можно дробить. Что представляют собой наименьшие порции материи, которые не имеют внутренней структуры, но в различных комбинациях обеспечивают разнообразие материального мира. В настоящее время эти небольшие порции вещества называют элементарными частицами. Однако это понятие является условным, поскольку многие элементарные частицы уже обладают внутренней структурой (например, нуклоны и -мезоны). Поэтому под понятием «элементарная частица» понимаем такую наименьшую часть вещества, которая обладает определенными свойствами и подчиняется законам сохранения.

Как и любые материальные тела, элементарные частицы взаимодействуют друг с другом. В настоящее время эти взаимодействия делятся на 4 вида фундаментальных взаимодействий: - сильное - электромагнитное - слабое – гравитационное.

Тип взаимодействия	Константа взаимодействия	Радиус действия сил, м	Характерное время, с
Сильное	1	10^{-15}	10^{-23}
Электромагнитное	10^{-2}	∞	10^{-28}
Слабое	10^{-14}	10^{-15}	10^{-16}
Гравитационное	10^{-38}	∞	-

Каждый тип взаимодействия характеризуется константой взаимодействия α и определяет интенсивность взаимодействия, радиусом действия сил r и характерным временем τ (время, необходимое для прохождения процесса с данным типом взаимодействия). Гравитационное взаимодействие в 10^{39} раз меньше сильного, поэтому его можно не учитывать и физика элементарных частиц - физика без гравитации.

57. Основные классы элементарных частиц и виды взаимодействий, описываемых ими.

В зависимости от типа взаимодействия и других свойств (например, принадлежность к группе фермионов или бозонов), все элементарные частицы делятся на три класса:

1. Фотоны: фотон $h\nu$ (γ -квантум), спин = 1, относятся к бозонам и подвергаются электромагнитному взаимодействию.

2. Лептоны: 3 семейства - электронная, мюонная и тауонная и соответствующее нейтрино

- электрон e^- электронное нейтрино ν_e ; - позитрон e^+ ; - мюон μ^- , μ^+ мюонное нейтрино ν_μ ; - тау-лептон τ^- , τ^+ тау-нейтрино ν_τ .

Участвуют в электромагнитных и слабых взаимодействиях. Все имеют спин = $1/2 \hbar$, и являются фермионами.

3. Адроны: делятся на 2 семейства мезонов и барионов. - мезоны (π^+ , π^- , π^0 , k^+ , k^0 , $\eta^0 \dots$) спин = 0; - барионы (нейтрон, протон, гипероны (λ , σ , ψ , Ω)) спин = $1/2$. Частицы с нулевым спином - бозоны, со спином = $1/2$ - фермионы. Эти частицы участвуют во всех видах взаимодействий.

Взаимодействия:

1) Сильное взаимодействие $p \leftrightarrow n + \pi^+$

2) Электромагнитное взаимодействие осуществляется через электромагнитное поле. Наличие заряда не обязательно.

Например, нейтрон, который не имеет электрического заряда, но имеет магнитный момент, участвует в этом типе взаимодействия.

3) Слабое $n = p + e^- + \tilde{\nu}$ -распад; преобразование нуклонов.

4) Гравитационное взаимодействие. Это универсальное взаимодействие, но оно не учитывается в физике элементарных частиц.

58. Понятие о кварках. Структура нуклонов. Частицы и античастицы.

В 1964 году Гель-Манн и Цвейг предложили кварковую теорию адронов, согласно которой адроны состоят из элементарных частиц, называемых кварками.

Кварки являются действительно элементарными частицами, как и лептоны. Согласно этой теории кварков, как и лептонов, должно быть шесть.

u - вверх $\rightarrow \bar{u}$ d - вниз $\rightarrow \bar{d}$ s - странный $\rightarrow \bar{s}$ c - очарованный (очарование, очарование) $\rightarrow \bar{c}$ b - красивый (прелестный) $\rightarrow \bar{b}$ t - правдивый (истинный) $\rightarrow \bar{t}$.

Нуклон имеет сложную внутреннюю структуру. Он состоит из кварков, взаимодействующих посредством обмена квантами сильного взаимодействия – глюонами.

Глюоны - кванты кваркового поля, которые являются переносчиками цвета от одного кварка к другому, не меняя при этом их типа (аромат-аромат).

Теория цветности кварка. Кварк может существовать в трех цветовых формах: желтой, синей и красной, смесь которых бесцветна.

Антикварки: фиолетовый, оранжевый, зеленый, поэтому пара кварк-антикварк также бесцветна.

Античастицы – двойники обычных элементарных частиц, которые отличаются от последних знаком электрического заряда и знаками некоторых других характеристик. У частицы и античастицы совпадают массы, спины, времена жизни.

59. Счетчики элементарных частиц. Трековые приборы.

Масс-спектрометры. Ускорители заряженных частиц.

Приборы, используемые для регистрации элементарных частиц, делятся на 2 группы:

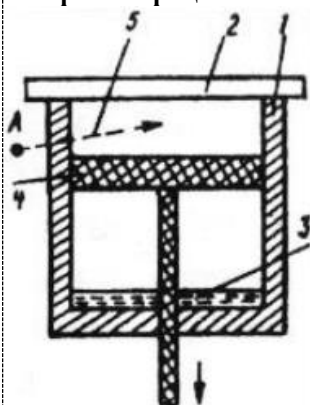
- 1) приборы, которые регистрируют факт присутствия частицы, а в некоторых случаях позволяют оценить ее энергию (газоразрядный счетчик, ионизационная камера, счетчик Черенкова, сцинтилляционный счетчик, полупроводниковый счетчик);
- 2) приборы, которые фиксируют частицу, дают ее след, определяют энергию и скорость.

Сцинтилляционный счетчик основан на эффекте сцинтилляции.

Частица пролетает сквозь прозрачный кристалл из антрацена йодистого натрия или другой, который флуоресцирует и создает в нем слабую вспышку, которая усиливается ФЭП и регистрируется ЛИ.

Счетчик позволяет регистрировать количество частиц и распределять их по энергии.

Трековые приборы: камера Вильсона, эмульсионная камера, диффузионная камера, искровая камера, пузырьковая камера, пропорциональная камера.



Камера Вильсона (1912) сконструирована английским физиком Вильсоном. Состоит из: воздухонепроницаемый сосуд 1, накрытый сверху стеклянной крышкой 2. Дно камеры покрыто черной тканью 3. В камере образуется пересыщенный пар. При резком опускании поршня 4 происходит адиабатическое расширение пара, что вызывает его резкое охлаждение (перенасыщение). Заряженная частица, пролетая, создает на своем пути цепочки

ионов, которые становятся центрами конденсации. Видимый след частицы 5 можно сфотографировать. По характеру следа мы можем судить о природе элементарной частицы. Так, тяжелые - частицы дают цельный жирный след, быстрые β -частицы - тонкий, а медленные - извилистый след. Если камеру поместить в сильное магнитное поле, дорожки оказываются изогнутыми, и по их радиусу кривизны можно определить массу, заряд и скорость частицы.

Масс-спектрометр: Прибор, в котором пучок частиц разделяется по массам. В 1919 году английский физик Астон построил первый прибор. В зависимости от массы ионы изотопов движутся по разным окружностям и попадают в разные места пластины Р, в т.о. формируя спектрограмму. С помощью масс-спектрометра можно по плотности линий спектрограммы определить проценты составов отдельных изотопов в данном элементе.

Ускорители заряженных частиц: устройства, предназначенные для получения заряженных частиц с очень большой кинетической энергией

(до 10 ГэВ). В зависимости от формы траекторий частиц ускорители бывают линейные и циклические. По способу ускорения ускорители делятся на: линейные, индуктивные и резонансные. Линейные: электростатический ускоритель Ван-де-Граафа и линейный каскадный ускоритель (ускорение сильным электрическим полем). Можно ускорить протоны до $E \sim 5-7$ МэВ.

В 1932 году Лоуренс построил первый циклический ускоритель-циклотрон (это простейший резонансный ускоритель). Идея состоит в том, чтобы с помощью магнитного поля превратить траекторию ускоряющейся частицы в спираль.

1. Тепловое излучение, его принципиальное отличие от других видов излучения. Испускательная способность как спектральная плотность излучения, поглощательная способность тел. Энергетическая светимость. Абсолютно черное тело и его моделирование в эксперименте. Закон Кирхгофа.
2. Правило Прево. Закон Кирхгофа как количественное отображение правила Прево. Энергетическая светимость и закон Стефана – Больцмана.
3. Распределение энергии в спектре излучения абсолютно черного тела. Классические представления в соответствии с положениями Релея-Джинса. Спектральная плотность излучения на основании гипотезы Планка.
4. Применение законов теплового излучения в оптической пирометрии. Закон Стефана – Больцмана и радиационная температура для черного и серого тела.
5. Закон смещения Вина, понятие яркостной и термодинамической температуры черного и серого тела.
6. Фотоны. Формула Планка и ее предельные случаи (формула Вина, закон смещения Вина, формула Релея-Джинса, закон Стефана-Больцмана).
7. Закон Кирхгофа для теплового излучения. Проявление закона Кирхгофа при нагревании различных тел. Законы Стефана - Больцмана и Вина.
8. Внешний фотоэлектрический эффект, суть опытов Герца с освещением искрового промежутка. Опыты Столетова. Уравнение Эйнштейна.
9. Корпускулярные свойства электромагнитного излучения в фотоэлектрическом эффекте, законы фотоэффекта относительно тока насыщения, максимальной скорости эмиссируемых электронов, гипотеза Эйнштейна, уравнение Эйнштейна.
10. Волновые свойства электромагнитного излучения в фотоэлектрическом эффекте. Основные характеристики – вольтамперная, световая. Задерживающий потенциал, красная граница фотоэффекта. Применение внешнего фотоэффекта (фотоэлемент, фотоэлектронный умножитель, электронно-оптический преобразователь).
11. Энергия, масса, импульс фотона. Давление света с точки зрения волновых и корпускулярных представлений. Опыты Лебедева.
12. Волновые и корпускулярные свойства электромагнитного излучения на примере поглощения и рассеяния рентгеновских лучей на свободных электронах. Эффект Комптона и необходимые законы сохранения для его описания.
13. Волновые и корпускулярные свойства электромагнитного излучения. Опыт Боте как подтверждение корпускулярности свойств рентгеновского излучения. Рентгеновские лучи. Применение рентгеновских лучей.
14. Корпускулярно-волновой дуализм в природе и волновые свойства микроскопических частиц на примере опытов по дифракции электронов. Волны де Бройля. Соотношение неопределенностей Гейзенберга.
15. Волновые свойства микрочастиц на примере дифракции потока частиц на узкой щели. Обоснование соотношения неопределенностей Гейзенберга.

16. Волновая функция микрочастицы, ее физический смысл для описания состояния микросистемы. Принцип суперпозиции в волновой механике, квантовой механике. Уравнение Шредингера.

17. Движение частицы в потенциальной яме с бесконечно высокими стенками. Волновая функция частицы, граничные условия, квантование энергии, момента импульса и проекции момента импульса электрона в атоме.

18. Микрочастица в поле квазиупругой силы. Закономерности квантования энергии линейного гармонического осциллятора. Волновая функция и энергия основного состояния.

19. Движение частицы в центрально-симметричном поле. Условия прохождения частицы через потенциальный барьер (туннельный эффект).

20. Постулаты Бора. Модель атома водорода по Бору.

Квантомеханическая интерпретация постулатов Бора.

21. Опыты Франка и Герца. Правила отбора для переходов, постоянная Ридберга и методы ее определения.

22. Свободные и связанные состояния для микросистем. Квантование энергии, момента импульса и проекции момента импульса. Полный набор квантовых чисел электрона в атоме.

23. Принцип Паули в формировании электронных оболочек химических элементов периодической таблицы Менделеева. Различия между электронными слоями и оболочками.

24. Линейчатые спектры атомов, комбинационные принципы для описания частот, неприемлемость классических положений для описания спектральных линий. Суть постулатов Бора.

25. Спектральные серии излучения атомарного водорода.

Квантомеханическая интерпретация постулатов Бора. Квантование уровней энергии атомных систем на примере опытов Франка и Герца.

26. Спин, как новая степень свободы для состояния микроскопической частицы. Механический и магнитный спиновые моменты электрона.

Проекция спинового квантового числа на выделенное направление по результатам опытов Штерна и Герлаха в неоднородном магнитном поле.

27. Спин и магнитный момент электрона. Принцип Паули. Основы теории Периодической таблицы элементов Менделеева. Понятие о химической связи и валентности.

28. Получение рентгеновских лучей, тормозное и характеристическое излучение, их спектры.

29. Природа характеристических рентгеновских спектров. Электронные слои и переходы между ними, спектральные серии рентгеновских линий. Закон Мозли.

30. Движение электрона в поле центральных сил водородоподобного атома. Модель атома водорода по Бору, основное уравнение движения, определение радиусов орбит, скоростей движения электронов по орбитам и полной энергии электронов в атоме. Условия квантования, кратность

вырождения.

31. Заполнение электронных энергетических уровней в водородоподобном атоме, ход формирования электронных слоев и электронных оболочек в реальных химических элементах. Квантование энергии, момента импульса, проекции момента импульса электрона в атоме, векторная модель сложения угловых моментов. Энергетические термы многоэлектронного атома.

32. Орбитальный магнитный момент атомной системы, гироманнитное отношение, магнетон Бора. Пространственное квантование ориентации вектора магнитного момента во внешнем магнитном поле.

Пространственное квантование. Опыты Штерна и Герлаха.

33. Молекулярные спектры. Комбинационное рассеяние света. Спонтанные и вынужденные переходы между уровнями энергии. Условия, требуемые для получения вынужденного излучения. Основные требования для получения вынужденного электромагнитного излучения. Лазеры. Явление люминесценции. Правило Стокса.

34. Энергетические зоны в кристаллах. Металлы, полупроводники, диэлектрики. Понятие о квантовых статистиках. Уровень и энергия Ферми. Теплоемкость электронного газа.

35. Теплоемкость твердых тел в приближении классических и квантовых представлений. Теория теплоемкости Эйнштейна. Теория теплоемкости Дебая.

36. Теплоемкость металлов. Фононы. Теплопроводность диэлектрических кристаллов.

37. Приближение электронного газа в поле периодического потенциала кристаллической решетки. Понятие зоны Бриллюэна. Области разрешенных и запрещенных значений энергии электрона в кристаллической структуре. Классификация материалов по типу проводимости исходя из зонной теории электронных спектров – металлы, полупроводники, диэлектрики.

38. Термодинамические свойства электронного газа в металле, статистика Ферми-Дирака, химический потенциал, его связь с энергией Ферми, теплоемкость электронного газа, сопоставление с теплоемкостью в приближении классической статистики.

39. Фермионы. Диэлектрики, полупроводники, металлы. Статистика Ферми-Дирака.

40. Проводимость полупроводников, p-n-переход, полупроводниковые приборы. Электропроводимость металлов. Квантовые явления при низких температурах.

41. Зависимость химического потенциала и концентрации носителей от температуры. Собственная и примесная проводимость полупроводников. Уровень Ферми и его расположение.

42. Примесный полупроводник донорного и акцепторного типа. Энергия ионизации примесей. Зависимость концентрации носителей от температуры для примесных уровней. Понятие фотопроводимости полупроводника.

43. Модели атома. Модель Томсона. Опыты Резерфорда по рассеянию α – частиц веществом. Планетарная модель атома.
44. Корпускулярно-волновой дуализм электромагнитного излучения, основные характеристики фотона. Опыты Вавилова Природа α -, β -, γ – распада.
45. Правила смещения. Радиоактивные ряды.
46. Устойчивые и неустойчивые изотопы химических элементов. Естественная радиоактивность химических элементов. Закон радиоактивного распада.
47. Волновая функция микросистемы как образ, позволяющий описать вероятность нахождения системы в том или другом состоянии. Состав ядра атома. Нуклоны и их характеристики. Законы сохранения при ядерных превращениях.
48. Ядро атома, соотношение между массой ядра и суммарной массами нуклонов. Энергия связи нуклонов в ядре, модели атомного ядра. Дефект массы и энергия связи ядра.
49. Первые ядерные реакции. Искусственная радиоактивность. Закон радиоактивного распада. Альфа-распад. Бета-распад.
50. Ядерные реакции деления для тяжелых элементов периодической таблицы Менделеева. Направленность реакции, энергетический выход.
51. Понятие о силах, удерживающих нуклоны в составе ядра. Модели атомного ядра.
52. Энергетический выход реакции, цепные реакции деления и их применение. Ядерные реакторы.
53. Ядерные реакции синтеза для легких элементов периодической системы Менделеева. Условия реакции синтеза и ее энергетический выход.
54. Требования по реализации реакции синтеза, проблемы управляемого термоядерного синтеза. Элементы дозиметрии.
55. Зарядовые и массовые числа, понятие изотопа, изобары. Законы сохранения при атомных и ядерных превращениях.
56. Элементарные частицы, виды взаимодействий между элементарными частицами.
57. Основные классы элементарных частиц и виды взаимодействий описываемых ими.
58. Понятие о кварках. Структура нуклонов. Частицы и античастицы.
59. Счетчики элементарных частиц. Трековые приборы. Масс-спектрометры. Ускорители заряженных частиц.