

Часть I

Семинар 1 (4.09.15) “Интерференция”

Преподаватель: Давыдов Василий Алексеевич

Информация о семестре

1. Темы:

- (a) Оптика
- (b) Квантовая физика

Волны

- 1. Волна - распространение возмущений в пространстве.
- 2. $\xi = f(x - vt)$ - уравнение волны, где $f(x)$ - любая функция.

Монохроматические волны

- 1. $\xi = A \cos kx$ - уравнение синусоидальной волны в момент t_0
 - (a) k - волновое число
- 2. Длина волны λ - расстояние между точками, находящимися в одной фазе.
 - (a) $k(x + \lambda) = kx + 2\pi$
 - (b) $k\lambda = 2\pi$
 - (c) $\lambda = \frac{2\pi}{k}$
- 3. $\xi = A \cos(k(x - vt))$ - уравнение синусоидальной волны
 - (a) $\xi = A \cos(kx - kvt + \varphi_0)$; $- частота$
- 4. $T = \frac{2\pi}{\omega}$ - период
 - (a) $\frac{2\pi}{\lambda} V = \frac{2\pi}{T}$
 - (b) $\lambda = vT$

Интерференция

- 1. n - показатель преломления среды
 - (a) $v = \frac{c}{n}$ - скорость света в среде
- 2. $E_1 = E_0 \cos(\omega_1 t - k_1 d_1)$
 $E_2 = E_0 \cos(\omega_2 t - k_2 d_2)$
 - (a) $E = E_1 + E_2 = 2E_0 \cos(\frac{\omega_2 - \omega_1}{2} t - \frac{k_2 d_2 - k_1 d_1}{2}) \cos(\frac{\omega_1 + \omega_2}{2} t - \frac{k_2 d_2 + k_1 d_1}{2})$
 - (b) Пусть: $\omega_1 = \omega_2 = \omega$
Тогда: $E = 2E_0 \cos(\frac{k_2 d_2 - k_1 d_1}{2}) \cos(\omega t - \frac{k_2 d_2 + k_1 d_1}{2})$
 - i. $A = 2E_0 \cos(\frac{k_2 d_2 - k_1 d_1}{2})$ - амплитуда колебаний
- 3. Условие максимума:
 - (a) $\frac{k_2 d_2 - k_1 d_1}{2} = m\pi$
 - i. $m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ - порядок интерференции
 - (b) $k = \frac{2\pi}{\lambda}$; $\frac{1}{2} 2\pi(\frac{d_2}{\lambda_2} - \frac{d_1}{\lambda_1}) = m\pi$

- (с) $\lambda = vt = \frac{cT}{n} = \frac{\lambda_0}{n}$
 i. λ_0 - длина волны в вакууме
- (d) $d_2 n_2 = d_1 n_1 = m \lambda_0$
 i. d_1, d_2 - длина пути
 ii. nd - оптическая длина пути
 iii. $\Delta = d_2 n_2 - d_1 n_1$ - оптическая разность хода
- (е) $\Delta = m \lambda_0$ - **условие максимума**
4. Условие минимума: $\Delta = (2n + 1) \frac{\lambda_0}{2}$
5. Схема Юнга
- (а) Δx - ширина полосы
 (b) b - расстояние между щелями
 (с) l - расстояние до экрана
 (d) $\Delta x = \frac{l \lambda}{b}$
6. Длины волн:
- (а) Зеленый: $5 \cdot 10^{-7} \text{ м}$
 (b) Красный: $6.5 \cdot 10^{-7} \text{ м}$
7. $\lambda = 5 \cdot 10^{-7} \text{ м}$
 $l = 1 \text{ м}$
 $b = 10^{-3} \text{ м}$
- (а) $\Delta x = \frac{5 \cdot 10^{-7}}{10^{-3}} = 5 \cdot 10^{-4} \text{ м}$

Часть II

Лекция 1 (11.09.15) “Волновая оптика”

1 Волны

- Волна** - распространение каких-либо возмущений в пространстве.
- $y = f(x - vt)$ - уравнение перемещения волны в пространстве.
- Монохроматическая** волна - волна, создающая ощущение определенного цвета. $f(x) = A \cdot \cos kx$
 (а) k - волновое число
 (b) $y = A \cos(\omega t - kx + \varphi_0)$ - каноническое уравнение монохроматической волны (по Савельеву).
- Длина волны** λ - кратчайшее расстояние между двумя точками волны, колеблющимися в одной фазе.
- $k(x + \lambda) = kx + 2\pi$
 $k\lambda = 2\pi$
 $\lambda = \frac{2\pi}{k}$ - связь длины волны и волнового числа
- Уравнение монохроматической волны $y = A \cos k(x - vt) = A \cos(kx - \omega t)$
 (а) $\omega = kv$ - **частота** колебаний
 i. $\frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{\lambda}$
 $\lambda = vT$
 (b) $T = \frac{2\pi}{\omega}$ - **период** колебаний
- $\sqrt{\varepsilon \varepsilon_0} E = \sqrt{\mu \mu_0} H$
 $v = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon \mu \sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}}}$
 $c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}} = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$ - скорость света

8. $v = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon\mu}} = \frac{c}{n}$ - скорость света в преломляющей среде

(a) n - показатель преломления

(b) $n = \sqrt{\varepsilon\mu}$

1.1 Интерференция

1. **Интерференция** - результат сложения двух или более волн.

2. $E_1 = E_0 \cos(\omega_1 t - k_1 d_1)$

$E_2 = E_0 \cos(\omega_2 t - k_2 d_2)$

(a) d - световой путь от источника до точки

(b) $E = E_1 + E_2 = 2E_0 \cos\left(\frac{\omega_2 - \omega_1}{2} t - \frac{k_2 d_2 - k_1 d_1}{2}\right) \cos\left(\frac{\omega_1 + \omega_2}{2} t - \frac{k_2 d_2 + k_1 d_1}{2}\right)$

(c) $\omega_1 = \omega_2 = \omega$ - необходимое условие когерентности

(d) $E = 2E_0 \cos\left(\frac{k_2 d_2 - k_1 d_1}{2}\right) \cos(\omega t - \frac{k_2 d_2 + k_1 d_1}{2})$

i. $2E_0 \cos\left(\frac{k_2 d_2 - k_1 d_1}{2}\right) = A$ - амплитуда

3. Условие максимумов: $\frac{k_2 d_2 - k_1 d_1}{2} = m\pi$

(a) $m = 0; \pm 1; \pm 2; \dots$ - порядок интерференции

(b) $\frac{d_2}{\lambda_2} - \frac{d_1}{\lambda_1} = m$

(c) $\lambda = vT = \frac{cT}{n} = \frac{\lambda_0}{n}$

(d) $\lambda_2 = \frac{\lambda_0}{n_2}; \lambda_1 = \frac{\lambda_0}{n_1}$

(e) $d_2 n_2 - d_1 n_1 = m\lambda_0$

i. dn - оптическая **длина пути**

ii. $\Delta = d_2 n_2 - d_1 n_1$ - оптическая **разность хода**

(f) $\Delta = m\lambda_0$

4. Условие минимумов (из условия максимумов): $\Delta = (2m + 1) \frac{\lambda_0}{2}$

5. **Схема Юнга** (деление волнового фронта)

(a) $d_1^2 = l^2 + (x - \frac{b}{2})^2$

$d_2^2 = l^2 + (x + \frac{b}{2})^2$

(b) $d_1^2 = l^2 + x^2 - bx + \frac{b^2}{4}$

$d_2^2 = l^2 + x^2 + bx + \frac{b^2}{4}$

(c) $d_2^2 - d_1^2 = 2bx$

(d) $(d_2 - d_1)(d_2 + d_1) = 2bx$

(e) $d_1 \approx d_2 \approx l$

(f) $\Delta \cdot 2l = 2bx$

(g) $\Delta = \frac{bx}{l}$

i. l - расстояние до экрана

ii. b - расстояние между щелями

iii. x - смещение от центра экрана

(h) $x_m = \frac{\lambda l}{b} \cdot m$

(i) $\Delta x = \frac{\lambda l}{b}$ - ширина полосы

6. Интерференция в тонких пленках

(a) b - толщина пленки

n - показатель преломления

(b) $\Delta = \frac{2bn}{\cos \theta_2} - 2b \operatorname{tg} \theta_2 \sin \theta_1 = \frac{2b}{\cos \theta_2} (n - \sin \theta_2 \sin \theta_1) = \frac{2b(n^2 - n \sin \theta_2 \sin \theta_1)}{n \cos \theta_2}$

(c) $\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = n$

- (d) $n \cos \theta_2 = \sqrt{n^2 - n^2 \sin^2 \theta_2} = \sqrt{n^2 - \sin^2 \theta_1}$
- (e) $n^2 - n \sin \theta_2 \sin \theta_1 = n^2 - 2 \sin^2 \theta_1$
- (f) $\Delta = 2b \sqrt{n^2 - \sin^2 \theta_1}$ - оптическая разность хода
- (g) Условие максимума: $2b \sqrt{n^2 - \sin^2 \theta_1} = (2m + 1) \frac{\lambda_0}{2}$
- (h) Условие минимума: $2b \sqrt{n^2 - \sin^2 \theta_1} = m \lambda_0$

7. Кольца Ньютона

- (a) $\Delta = 2h$
 - i. h - расстояние от отражающей поверхности до линзы
- (b) Условие минимумов: $\Delta = 2h = m \lambda$
 - i. $R^2 = r^2 + (R - h)^2$
 - ii. $R^2 = r^2 + R^2 - 2hR + h^2$
 - iii. $r = \sqrt{2h \cdot R} = \sqrt{m \lambda R}$ - радиус темного кольца Ньютона

Часть III

Семинар 2 (18.09.15)

1. $l_{\text{когерентности}} = \frac{\lambda^2}{\Delta \lambda}$

Дифракция

1. Дифракция - отклонение света от законов прямолинейного распространения
2. $dA_P = \frac{A_0}{r} k(\alpha) \cos(\omega t - (\vec{k}\vec{r})) dS$
3. $A_P = \int \frac{A_0}{r} k(\alpha) \cos(\omega t - (\vec{k}\vec{r})) dS$ - интеграл Френеля
4. Дифракция Фраунгофера - дифракция в параллельных пучках

Дифракция на одной щели

1. $b \sin \Theta = m \lambda$ - условие главных минимумов

Метод зон Френеля

1. Виды дифракции:
 - (a) $\frac{b^2}{\lambda l} \ll 1 \implies$ дифракция Фраунгофера
 - (b) $\frac{b^2}{\lambda l} \approx 1 \implies$ геометрическая оптика
 - (c) $\frac{b^2}{\lambda l} \gg 1 \implies$ дифракция Френеля
2. $r_m = \sqrt{\frac{ab}{a+b}} m \lambda$
3. $\Delta S_m = \frac{\pi ab \lambda}{a+b}$
4. $A_P = A_1 - A_2 + A_3 - A_4 + \dots = \frac{A_1}{2}$ - амплитуда в точке наблюдения P .
 - (a) $A_1 > A_2 > A_3 > \dots$
5. Если отверстие открывает нечетное число зон Френеля, то в центре дифракционной картины будет всегда максимум, иначе - минимум.
6. При дифракции Френеля на диске, в центре дифракционной картины всегда будет максимум

Дифракция Фраунгофера

1. $b \sin \varphi = m\lambda$ - направление на минимум
 - (a) b - ширина щели
 - (b) φ - угол дифракции
2. Основная формула дифракционной решетки: $d \sin \varphi = m\lambda$ - направление на максимум
 - (a) d - расстояние между серединами соседних щелей

Дифракционная решетка

1. Угловая дисперсия решетки $D_\varphi = \frac{\Delta \varphi}{\Delta \lambda}$
2. Линейная дисперсия решетки $D_l = \frac{\Delta l}{\Delta \lambda} = F \frac{\Delta S}{\Delta \lambda} = F D_\varphi$
3. Разрешающая способность решетки $R = \frac{\lambda}{\Delta \lambda} = mN$
 - (a) N - общее число штрихов решетки
4. Разрешающая способность оптического прибора $R = \frac{1}{\Delta \varphi} = \frac{D}{1,22\lambda}$

Часть IV

Семинар 5 (9.10.15)

Поляризация

Закон Брюстера

1. $\operatorname{tg} \Theta_{\text{бр}} = n$
 - (a) n — показатель преломления среды
 - (b) $\Theta_{\text{бр}}$ — угол Брюстера, при котором отраженный свет оказывается полностью поляризованным

Оптическая активность (вращение плоскости поляризации)

1. Оптическая активность — способность некоторых веществ поворачивать плоскость поляризации.
2. $\varphi = \alpha \cdot l$
 - (a) α — постоянная вращения
 - (b) l — длина пути света
3. Для раствора: $\varphi = \alpha_0 n l$
 - (a) n — концентрация раствора
 - (b) α_0 — удельная постоянная вращения
4. Эффект Фарадея — увеличение оптической активности вещества под действием магнитного поля.
 - (a) $\varphi = V H l$
 - i. V — постоянная Верде
 - ii. H — напряженность магнитного поля

Часть V

Лекция 4 (9.10.15)

2 Поляризация

1. Плоскость поляризации — плоскость, параллельная вектору $\vec{E}$ и перпендикулярная вектору $\vec{H}$.
2. Типы световых пучков:
 - (a) Плоская волна — отдельная волна с определенной поляризацией
 - (b) Естественный свет — свет из волн всех поляризаций
 - (c) Частично поляризованный свет — свет, в котором одна из поляризаций преобладает над другими
 - (d) Эллиптическая поляризация (частный случай: циркулярная поляризация)
 - i. $E_1 \sim \cos \omega t$
 $E_2 \sim \sin \omega t$
 - ii. $E_1 = E_{10} \cos \omega t$
 $E_2 = E_{20} \sin \omega t$
 - iii. $E_x = E_{10} \cos \omega t$
 $E_y = E_{20} \sin \omega t$
 - iv. $(\frac{E_x}{E_{10}})^2 + (\frac{E_y}{E_{20}})^2 = 1$ — уравнение эллипса
3. Приборы для получения поляризованного света:
 - (a) Поляризатор (поляроид): полимерная пленка, обладающая осью поляроида и пропускающая только свет с плоскостью поляризации, параллельной этой оси.
 - i. $I = \frac{1}{2} I_e$ — результирующая интенсивность после прохождения естественного света через поляроид.
 - ii. Закон Малюса: $E = E_0 \cos \Theta$; $I = I_0 \cos^2 \Theta$ — результирующая интенсивность света; $I \sim E^2$
А. Θ — угол между осью поляроида и вектором поляризации света
 - iii. Степень поляризации: $P = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}}$
А. Для естественного света $P_e = 0$
В. Для полностью поляризованного света $P_p = 1$
 - (b) Поляризации при отражении от границы раздела двух сред (явление Брюстера)
 - i. Угол Брюстера ($\Theta_{бр}$) — угол, при котором отраженный свет оказывается полностью поляризованным.
 - ii. $\tan \Theta_{бр} = n$
4. Одноосные кристаллы (анизотропные среды)
 - (a) $V_o = \frac{c}{n_o}$ — скорость распространения обыкновенной волны
 - (b) $V_e = \frac{c}{n_e}$ — скорость распространения необыкновенной волны
 - (c) Двойное лучепреломление — углы преломления обыкновенной и необыкновенной волн отличаются
 - i. $\frac{\sin \Theta_1}{\sin \Theta_{o,e}} = n_{o,e}$
 - (d) Четверть волновая и полуволновая пластинки
 - i. $\Delta \varphi = (k_o - k_e)l$
 - ii. $k = \frac{2\pi}{\lambda_0} n$
 - iii. $\Delta \varphi = \frac{2\pi}{\lambda_0} (n_o - n_e)l$
 - iv. $\Delta \varphi = \frac{\pi}{2} + 2m\pi$
А. $\frac{2\pi}{\lambda_0} (n_o - n_e)l = \frac{\pi}{2} + 2m\pi$
В. $l = \frac{1}{n_o - n_e} \cdot (\frac{\lambda_0}{4} + m\lambda_0)$ — четверть волновая пластинка, которая преобразует циркулярно поляризованный свет в плоскополяризованный и наоборот.

v. $\Delta\varphi = \pi + 2m\pi$

A. $l = \frac{1}{n_o - n_e} \cdot \left(\frac{\lambda_0}{2} + m\lambda_0\right)$ — полуволновая пластинка

(e) Искусственная анизотропия

i. Анизотропия при давлении — если взять обычно изотропное вещество и положить под пресс давлением P , то оно станет анизотропным с осью, параллельной вектору давления.
 $n_o - n_e = \kappa P$

ii. Анизотропия в электрическом поле (эффект Керра) — если взять обычное изотропное вещество и поместить его в электрическое поле, то оно станет анизотропным с осью, параллельной вектору напряженности. $n_o - n_e = kE^2$, k — постоянная Керра.

5. Оптическая активность — это свойство некоторых веществ поворачивать плоскость поляризации света.

(a) Примеры: кварц (SiO_2), раствор сахара в воде

(b) $\varphi = \alpha l$

i. α — постоянная вращения

ii. l — длина пути света

(c) Для растворов: $\varphi = \alpha_0 n l$

i. n — концентрация раствора

ii. α_0 — удельная постоянная вращения

(d) Искусственная оптическая активность

i. Эффект Фарадея — если взять любое оптически неактивное вещество и поместить его в магнитное поле, то оно станет оптически активным. $\varphi = V H l$

A. V — постоянная Верде

B. H — напряженность магнитного поля

Часть VI

Семинар 6 (30.10.15)

Тепловое излучение

1. Энергетическая светимость — мощность, излучаемая с единицы площади поверхности

(a) $M_\Sigma = \frac{dP_{\text{изл}}}{dS}$

2. Закон Стефана-Больцана: $M_\Sigma = \sigma T^4$

3. Испускательная способность: $dM_\Sigma = r(\omega, T) d\omega$

(a) $d\omega$ — интервал частот

(b) $r(\omega, T)$ — энергетическая светимость

4. Поглощательная способность: $a(\omega, T) = \frac{d\Phi_{\text{поглощенного}}}{d\Phi_{\text{падающего}}}$

(a) $a = 1$ — абсолютно черное тело

5. Закон Кирхгофа: $\frac{r(\omega, T)}{a(\omega, T)} = f(\omega, T)$

6. $\lambda = \frac{2\pi c}{\omega}$

7. Закон смещения: $\lambda_{\text{max}} T = b$, $b = \text{const}$

Часть VII

Семинар 7 (06.11.15)

Квантовые свойства света

1. Энергия фотона: $\varepsilon = h\nu$
2. Импульс световой волны: $P = \frac{\varepsilon}{c} = h\frac{\omega}{c} = \hbar k$
(а) $\vec{P} = \hbar \vec{k}$

Давление света

1. Падение света на абсолютно черное тело
(а) $P_{\text{пер}} = P$
2. Падение света на идеальное зеркало
(а) $P_{\text{пер}} = P - (-P) = 2P$
3. ρ — коэффициент отражения
(а) $P_{\text{пер}} = 2\rho\frac{\varepsilon}{c} + (1 - \rho)\frac{\varepsilon}{c} = (1 + \rho)\frac{\varepsilon}{c}$
4. $F = \frac{dP}{dt}$

Фотоэффект

1. $h\nu = A_{\text{вых}} + \frac{mv^2}{2}$
2. $\frac{mv^2}{2} = eU_3$
3. $h\nu = A_{\text{вых}} + eU_3$
4. $\omega = \frac{2\pi c}{\lambda}$
(а) $\frac{2\pi\hbar c}{\lambda} = A_{\text{вых}} + eU_3$
(б) $\frac{2\pi\hbar c}{\lambda_{\text{гр}}} = A_{\text{вых}}; \lambda_{\text{гр}} = \frac{2\pi\hbar c}{A_{\text{вых}}}$

Часть VIII

Лекция 5 (6.11.15)

3 Формула Планка

1. $\varepsilon = n\hbar\omega = n\hbar\nu$
(а) n — количество квантов
(б) $\hbar$ — постоянная Планка
(с) ω — частота излучения
2. $\hbar = \frac{h}{2\pi}$
3. Вероятность частицы иметь энергию n : $P_n = Ae^{-\frac{n\hbar\omega}{kT}}$
(а) $\sum_{n=0}^{\infty} P_n = 1$
(б) $A \sum_{n=0}^{\infty} e^{-\frac{n\hbar\omega}{kT}} = 1$

$$(c) A = \frac{1}{\sum_{n=0}^{\infty} e^{-\frac{n\hbar\omega}{kT}}}$$

$$4. \langle \varepsilon \rangle = \sum n\hbar\omega P_n = \frac{\sum n\hbar\omega e^{-\frac{n\hbar\omega}{kT}}}{\sum e^{-\frac{n\hbar\omega}{kT}}}$$

$$(a) \frac{\hbar\omega}{kT} = x$$

$$(b) \langle \varepsilon \rangle = \hbar\omega \frac{\sum n e^{-nx}}{\sum e^{-nx}} = -\hbar\omega \frac{d \ln(\sum e^{-nx})}{dx} = -\hbar\omega \frac{d \ln(\frac{1}{1-e^{-x}})}{dx} =$$

$$= \hbar\omega \frac{d \ln(1-e^{-x})}{dx} = \hbar\omega \frac{e^{-x}}{1-e^{-x}} = \frac{\hbar\omega}{e^x - 1} \text{ — средняя энергия}$$

$$(c) \langle \varepsilon \rangle = \frac{\hbar\omega}{e^{\frac{\hbar\omega}{kT}} - 1}$$

$$5. f(\omega, T) \sim u(\omega, T) \sim \langle \varepsilon \rangle$$

$$(a) f(\omega, T) = \frac{B\hbar\omega}{e^{\frac{\hbar\omega}{kT}} - 1}$$

$$(b) e^x = 1 + x$$

$$(c) f(\omega, T) = \frac{B\hbar\omega}{\frac{\hbar\omega}{kT}} = BkT$$

$$(d) BkT = \frac{\omega^2 kT}{4\pi^2 c^2}$$

$$(e) B = \frac{\omega^2}{4\pi^2 c^2}$$

$$(f) f(\omega, T) = \frac{\hbar\omega^3}{4\pi^2 c^2} \cdot \frac{1}{e^{\frac{\hbar\omega}{kT}} - 1}$$

4 Квантовые свойства света

1. $\varepsilon = \hbar\omega$
2. $P = \hbar\frac{\omega}{c} = \hbar k$ — импульс фотона
3. $\vec{P} = \hbar\vec{k}$

4.1 Давление света

1. $F = \frac{dP}{dt}$
2. ρ — коэффициент отражения
3. $P_{\text{пер}} = 2\rho\frac{\varepsilon}{c} + (1 - \rho)\frac{\varepsilon}{c} = (1 + \rho)\frac{\varepsilon}{c}$

4.2 Коротковолновая граница сплошного рентгеновского спектра

1. $U \sim 10^4 \text{В}$
2. Тормозное рентгеновское излучение
3. $e_K = eU$ — кинетическая энергия электрона
4. $\hbar\omega_c = eU$
 - (a) $\omega = \frac{2\pi c}{\lambda}$
 - (b) $\frac{2\pi\hbar c}{\lambda_c} = eU$
 - (c) $\lambda_c = \frac{2\pi\hbar c}{eU}$ — коротковолновая граница

4.3 Фотоэффект

1. Установка Столетова
2. $\hbar\omega = A_{\text{вых}} + \frac{mv^2}{2}$
3. $\frac{mv^2}{2} = eU_3$
4. $\hbar\omega = A_{\text{вых}} + eU_3$
5. $\frac{2\pi\hbar c}{\lambda} = A_{\text{вых}} + eU_3$
6. Условие красной границы: $\frac{2\pi\hbar c}{\lambda_c} = A_{\text{вых}}$
 - (a) $\lambda_c = \frac{2\pi\hbar c}{A_{\text{вых}}}$ — красная граница фотоэффекта

4.4 Эффект Комптона

1. Длина волны рассеянного рентгеновского излучения больше, чем падающего
2. $\Delta\lambda = \lambda - \lambda_0$
3. $\Delta\lambda = \lambda_c(1 - \cos\Theta)$
4. $\lambda_c = \frac{2\pi\hbar}{mc} \approx 2 \cdot 10^{-12} \text{ м}$ — комптоновская длина волны

Часть IX

Семинар 8 (20.11.15)

Волновые свойства частиц

1. Гипотеза де Бройля:
 - (a) $\varepsilon = \hbar\omega$ — энергия кванта
 - (b) $P = \hbar k = \frac{2\pi\hbar}{\lambda}$ — импульс
 - (c) $\lambda = \frac{2\pi\hbar}{mv}$
 - (d) Для электрона:
 - i. $U = 1 \text{ В}$
 - ii. $eU = \frac{mv^2}{2}$
 - iii. $v = \sqrt{\frac{2eU}{m}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 1}{9 \cdot 10^{-31}}} = \sqrt{3,2 \cdot 10^{11}} \approx 6 \cdot 10^5 \text{ м/с}$
 - iv. $\lambda = \frac{2\pi\hbar}{mv} = \frac{6,6 \cdot 10^{-34}}{9 \cdot 10^{-31} \cdot 6 \cdot 10^5} = 10^{-9} \text{ м}$

Часть X

Лекция 6 (20.11.15)

5 Атом Бора

5.1 Сериальные формулы

1. Все частоты спектра, излучаемого водородом в видимом спектре, ложатся на последовательность $\omega_n = R(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2})$ — серия Бальмера
 - (a) $n = 3, 4, 5, \dots$
 - (b) R — постоянная Ридберга
2. УФ: $\omega_n = R(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{n^2})$, $n = 2, 3, 4, \dots$ — серия Лаймана
3. ИК: $\omega_n = R(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{n^2})$, $n = 4, 5, \dots$ — серия Пашене
4. $\omega = R(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2})$, $n_2 > n_1$ — обобщенная формула Бальмера

5.2 Опыты Резерфорда

5.3 Теория Бора

1. $\hbar = \frac{\varepsilon}{\omega}$
2. Правило квантования Бора: $mV_n r_n = n\hbar$
3.
$$\begin{cases} mV_n r_n = n\hbar \\ \frac{mV_n^2}{r_n} = k \frac{Ze^2}{r_n^2} \end{cases}$$
 - (a) $m^2 V_n^2 r_n^2 = n^2 \hbar^2$
 - (b) $\frac{m^2 V_n^2 r_n^2}{m V_n^2} = \frac{n^2 \hbar^2 r_n}{k Z e^2}$
 - (c) $r_n = \frac{\hbar^2}{k Z e^2 m} n^2$
4. Энергия электрона: $\varepsilon_n = \frac{mV_n^2}{2} - \frac{kZe^2}{r_n} = \frac{kZe^2}{r_n} \left(\frac{1}{2} - 1 \right) = -\frac{kZe^2}{2r_n}$
 - (a) $\varepsilon_n = -\frac{kZe^2 + kZe^2 m}{2\hbar^2 n^2} = -\frac{(kZe^2)^2 m}{2\hbar^2} \cdot \frac{1}{n^2}$ — энергия на n-ой орбите
5. $\hbar\omega = \varepsilon_{n_2} - \varepsilon_{n_1}$
 - (a) $\omega = \frac{(kZe^2)^2 m}{2\hbar^3} \cdot \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$
 - (b) $\omega = \frac{(kZe^2)^2 m}{2\hbar^3} \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$

Часть XI

Семинар 9 (27.11.15)

1. $\omega = R \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right); n_2 > n_1$
2. Правило квантования Бора:
$$\begin{cases} mV_n r_n = n\hbar \\ m \frac{V_n^2}{r_n} = k \frac{Ze^2}{r_n^2} \end{cases}$$
 - (a) $\frac{m^2 V_n^2 r_n^2}{m V_n^2} = \frac{n^2 \hbar^2}{k Z e^2} r_n$
 - (b) $r_n = \frac{\hbar^2}{k Z e^2 m} \cdot n^2$
 - (c) $\varepsilon_n = \frac{mV_n^2}{2} - k \frac{Ze^2}{r_n} = \frac{kZe^2}{2r_n} - \frac{kZe^2}{r_n} = -\frac{kZe^2}{2r_n}$
 - (d) $\varepsilon_n = -\frac{(kZe^2)^2 m}{2\hbar^2} \cdot \frac{1}{n^2}$
 - (e) $\hbar\omega = \frac{(kZe^2)^2 m}{2\hbar^2} \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$

Часть XII

Семинар 10 (04.12.15)

Соотношение неопределенностей

1. $P_x = P \sin \Theta_1; P_x = P \frac{\lambda}{b} = P \frac{2\pi\hbar}{Pb}$
2. $P_x b = 2\pi\hbar$
 - (a) $b = \Delta x$ — точность измерения положения
 - (b) $P_x = \Delta P_x$ — точность измерения проекции импульса
 - (c) $\Delta P_x \Delta x = 2\pi\hbar$
3. $\Delta x \Delta P_x \geq \hbar$

4. $\varepsilon = \frac{P^2}{2m} + \frac{\kappa x^2}{2}$

(a) $P \sim \frac{\hbar}{x}$

(b) $\varepsilon = \frac{\hbar^2}{2mx^2} + \frac{\kappa x^2}{2}$

(c) $\frac{d\varepsilon}{dx} = -\frac{\hbar^2}{mx^3} + \kappa x = 0$

(d) $x_m = \sqrt[4]{\frac{\hbar^2}{\kappa m}}$

(e) $\varepsilon_m = \frac{\hbar^2 \sqrt{\kappa m}}{2m\hbar} + \frac{\kappa \hbar}{2\sqrt{\kappa m}} = \hbar \sqrt{\frac{\kappa}{m}} = \hbar \omega$

Часть XIII

Семинар 11 (18.12.15)

1. Дополнительные баллы:

(a) Вторник, В-326, 3 пара

(b) Пятница, А-8, 9:45