где λ_m – длина волны, на которую приходится максимум энергии излучения; b – постоянная Вина ($b = 2{,}9 \cdot 10^{-3}\, м \cdot К$).

3. Энергия фотона

$$\varepsilon = h \cdot \nu$$

или

$$\varepsilon = \hbar \cdot \omega,$$

где h – постоянная Планка; $\hbar$ – постоянная Планка, деленная на $2\cdot\pi$; ν – частота фотона; ω – циклическая частота.

4. Масса фотона

$$m = \varepsilon / c^2 = h / (c \cdot \lambda),$$

где c – скорость света в вакууме; λ – длина волны фотона.

5. Импульс фотона

$$p = m \cdot c = h/\lambda.$$

6. Формула Эйнштейна для фотоэффекта

$$h \cdot \nu = A + T_{\max} = A + m \cdot \upsilon_{\max}^2 / 2,$$

где $h\cdot\nu$ – энергия фотона, падающего на поверхность металла; A – работа выхода электрона; T_{max} – максимальная кинетическая энергия фотоэлектрона.

7. Красная граница фотоэффекта

$$\nu_0 = A / h$$

или

$$\lambda_0 = h \cdot c / A,$$

где ν_0 – минимальная частота света, при которой еще возможен фотоэффект; λ_0 – максимальная длина волны света при которой еще возможен фотоэффект; h – постоянная Планка; c – скорость света в вакууме.

8. Формула Комптона

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \frac{h}{m_0 \cdot c} \cdot (1 - \cos\theta)$$

или

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = 2 \cdot \frac{h}{m_0 \cdot c} \sin^2 \frac{\theta}{2},$$

где λ – длина волны фотона, встретившегося со свободным или слабосвязанным электроном; λ' – длина волны фотона, рассеянного на угол θ после столкновения с электроном; m_0 – масса покоящегося электрона.

9. Комптоновская длина волны

$$\Lambda = h/(m_0 \cdot c) \quad (\Lambda = 2{,}436 \text{ пм}).$$

10. Давление света при нормальном падении на поверхность

$$p = E_e \cdot (1+\rho)/c = \omega \cdot (1+\rho),$$

где E_e – энергетическая освещенность (облученность); ω – объемная плотность энергии излучения; ρ – коэффициент отражения.

11. Не только фотоны, но и электроны, и любые другие частицы материи наряду с корпускулярными обладают также и волновыми свойствами.

Согласно де Бройлю, с каждым микрообъектом связаны, с одной стороны, корпускулярные характеристики – энергия E и импульс p, а с другой стороны, волновые характеристики – частота ν и длина волны λ.

Корпускулярные и волновые характеристики микрообъектов связаны такими же количественными соотношениями, как и у фотона:

$$E = h \cdot \nu; \quad p = \frac{h \cdot \nu}{c} = \frac{h}{\lambda}.$$

Любой частице, обладающей импульсом, сопоставляется волновой процесс с длиной волны $\lambda = h / p$.

Для частиц, имеющих массу

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h \cdot \sqrt{1 - \upsilon^2 / c^2}}{m}.$$

В нерелятивистском приближении ($\upsilon << c$)

$$\lambda = \frac{h}{m \cdot \upsilon}.$$

12. Длина волны де Бройля:

$$\lambda = 2 \cdot \pi \cdot \hbar / p$$

где p – импульс частицы.

13. Импульс частицы и его связь с кинетической энергией T:

а) $p = m_0 \cdot \upsilon; \quad p = \sqrt{2 \cdot m_0 \cdot T}$

б) $p = m \cdot \upsilon = \dfrac{m_0 \cdot \upsilon}{\sqrt{1 - (\upsilon / c)^2}}; \quad p = \dfrac{1}{c}\sqrt{(2 \cdot E_0 + T) \cdot T}$

где m_0 – масса покоя частицы; m – релятивистская масса; υ — скорость частицы; c — скорость света в вакууме; E_0 – энергия покоя частицы ($E_0 = m_0 \cdot c^2$).

14. Соотношение неопределенностей:

а) $\Delta p_x \cdot \Delta x \geq \hbar$ (для координаты и импульса),

где Δp_x – неопределенность проекции импульса на ось x; Δx: – неопределенность координаты;

б) $\Delta E \cdot \Delta t \geq \hbar$ (для энергии и времени),

где ΔE – неопределенность энергии; Δt – время жизни квантовой системы в данном энергетическом состоянии.

15. Одномерное уравнение Шредингера для стационарных состояний:

$$\frac{d^2\psi}{dx^2} + \frac{2 \cdot m}{\hbar^2} \cdot (E - U) \cdot \psi(x) = 0$$

где $\psi(x)$ – волновая функция, описывающая состояние частицы; m – масса частицы; E – полная энергия; $U = U(x)$ – потенциальная энергия частицы.

16. Плотность вероятности

$$\frac{d\omega(x)}{dx} = |\psi(x)|^2,$$

где $d\omega(x)$ – вероятность того, что частица может быть обнаружена вблизи точки с координатой x на участке dx. Вероятность обнаружения частицы в интервале от x_1 до x_2:

$$\omega = \int_{x_2}^{x_1} |\psi(x)|^2 \, dx .$$

17. Решение уравнения Шредингера для одномерного, бесконечно глубокого, прямоугольного потенциального ящика:

а) $\psi_n(x) = \sqrt{\frac{2}{l}} \cdot \sin\frac{\pi \cdot n}{l} \cdot x$ (собственная нормированная волновая функция);

б) $E_n = \frac{\pi^2 \cdot \hbar^2 \cdot n^2}{2 \cdot m \cdot l^2}$ (собственное значение энергии),

где n – квантовое число (n =1, 2, 3, ...); l – ширина ящика. В области $0 \le x \le l$ $U=\infty$ и $\psi(x) = 0$.

18. Момент импульса электрона (второй постулат Бора):

$$L_n = \hbar \cdot n,$$

или

$$m \cdot \upsilon_n \cdot r_n = \hbar \cdot n,$$

где m – масса электрона; υ_n – скорость электрона на n-й орбите; r_n – радиус n-й стационарной орбиты; $\hbar$ – постоянная Планка; n – главное квантовое число (n = 1,2,3,...).

19. Радиус *n-й* стационарной орбиты:

$$r_n = a_0 \cdot n^2,$$

где a_0 – первый боровский радиус.

20. Энергия электрона в атоме водорода:

$$E_n = E_i / n^2 ,$$

где E_I – энергия ионизации атома водорода.

21. Энергия, излучаемая или поглощаемая атомом водорода,

$$\varepsilon = \hbar \cdot \omega = E_{n2} - E_{n1}$$

или

$$\varepsilon = E_i \cdot \left(1/n_1^2 - 1/n_2^2\right)$$

где n_1 и n_2 – квантовые числа, соответствующие энергетическим уровням, между которыми совершается переход электрона в атоме.

22. Обобщённая формула Бальмера (для частоты)

$$\nu = R \cdot \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2}\right),$$

где R – постоянная Ридберга. В каждой данной серии m имеет постоянное значение, m = 1, 2, 3,… (определяет серию); n принимает целочисленные значения начиная с числа m+1 (определяет отдельные линии данной серии).

23. Обобщённая формула Бальмера (для длины волны)

$$\frac{1}{\lambda} = R' \cdot \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2}\right),$$

где $R^{/} = R/c$. Спектральную линию с наибольшей длиной волны из всех линий серии называют головной линией серии. Линия, соответствующая $n = \infty$, – коротковолновая граница; к ней примыкает непрерывный спектр.

24. Массовое число ядра (число нуклонов в ядре)

$$A = Z + N,$$

где Z – зарядовое число (число протонов); N – число нейтронов.

25. Ядра химических элементов обозначают символом ${}^{A}_{Z}X$, где X – химический символ элемента (таблица 9).

Таблица 9

Описание атомного ядра

Характеристика	Обозначение	Определение
Символическая запись ядер	${}^{A}_{Z}X$	**Пример:** ${}^{16}_{8}O$ Массовое число (16 нуклонов); Зарядовое число (8 протонов). Число нейтронов $N = A - Z$. В ядре 8 нейтронов

26. Дефект массы ядра

$$\Delta m = Z \cdot m_p + (A - Z) \cdot m_n - m_я,$$

где Z – зарядовое число (число протонов в ядре); A – массовое число (число нуклонов в ядре); $(A$ - $Z)$ – число нейтронов в ядре; m_p – масса протона; m_n – масса нейтрона; $m_я$ – масса ядра.

27. Энергия связи ядра

$$E_{св} = \Delta m \cdot c^2,$$

где Δm – дефект массы ядра; c – скорость света в вакууме.

Во внесистемных единицах энергия связи ядра равна $E_{св}=931\Delta m$, где дефект массы Δm — в а. е. м.; 931 — коэффициент пропорциональности (1 а. е. м. ~931 МэВ). 1 а. е. м. = $1{,}66057 \cdot 10^{-27}$ кг.

28. Ядерными реакциями называются искусственные превращения атомных ядер, вызванные их взаимодействиями с различными частицами или друг с другом.

Символическая запись ядерной реакции:

$$X + a \to Y + b$$

или

$$X(a, b)\ Y,$$

где X и Y – исходное и конечное ядра; a и b – исходная и конечная частицы в реакции. Для обозначения частиц a и b приняты следующие символы: p – протон; n – нейтрон; d – дейтрон; α – альфа-частица; γ – гамма-фотон.

29. При α-распаде массовое число дочернего ядра уменьшается на 4, а зарядовое число на 2

$${}_{Z}^{A}X \rightarrow {}_{Z-2}^{A-4}Y + {}_{2}^{4}He.$$

30. При β-распаде зарядовое число Z увеличивается на единицу, а массовое число A остается неизменным

$${}_{Z}^{A}X \rightarrow {}_{Z+1}^{A}Y + {}_{-1}^{0}e.$$

31. Для позитронного β^{+}-распада

$${}_{Z}^{A}X \rightarrow {}_{Z-1}^{A}Y + {}_{+1}^{0}e.$$

32. Энергия ядерной реакции (тепловой эффект)

$$Q = c^2 \cdot \left[(m_1 + m_2) - (m_3 + m_4) \right],$$

где m_1 и m_2 – массы покоя ядра – мишени и бомбардирующей частицы; $(m_3 + m_4)$ – сумма масс покоя ядер продуктов реакции.

33. Закон радиоактивного распада

$$N(t) = N_o \cdot e^{-\lambda \cdot t}$$

где N_o – начальное число радиоактивных ядер при $t = 0$. Коэффициент пропорциональности λ – это вероятность распада ядра за время $\Delta t = 1$ с. За время $\tau = 1 / \lambda$ количество нераспавшихся ядер уменьшится в $e \approx 2{,}7$ раза. Величину τ называют средним временем жизни радиоактивного ядра.

Для практического использования закон радиоактивного распада удобно записать в другом виде, используя в качестве основания число 2, а не e

$$N(t) = N_o \cdot 2^{-t/T},$$

где T – период полураспада.

34. Число ядер, распавшихся за время t

$$\Delta N = N_0 - N = N_0 \cdot (1 - e^{-\lambda \cdot t}).$$

В случае если интервал времени Δt, за который определяется число распавшихся ядер, много меньше периода полураспада T, то число распавшихся ядер можно определить по формуле

$$\Delta N = \lambda \cdot N \cdot \Delta t\ .$$

35. Зависимость периода полураспада от постоянной радиоактивного распада

$$T = \frac{1}{\lambda} \cdot \ln 2 = \tau \cdot \ln 2 = 0{,}693 \cdot \tau.$$

36. Число N атомов, содержащихся в радиоактивном изотопе,

$$N = m \cdot N_A / M,$$

где m – масса изотопа; M – молярная масса; N_A – постоянная Авогадро.

37. Активность A радиоактивного изотопа:

$$A = -dN / dt = \lambda \cdot N$$

или

$$A = \lambda \cdot N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t} = A_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t},$$

где dN – число ядер, распадающихся за интервал времени dt; A_0 – активность изотопа в начальный момент времени.

38. Удельная активность изотопа

$$a = A/m.$$

39. Средняя энергия квантового одномерного осциллятора

$$\langle \varepsilon \rangle = \varepsilon_0 + \frac{\hbar \cdot \omega}{e^{\hbar \cdot \omega / (k \cdot T)} - 1},$$

где ε_0 – нулевая энергия ($\varepsilon_0 = \frac{1}{2} \cdot \hbar \cdot \omega$); $\hbar$ – постоянная Планка; ω – круговая частота колебаний осциллятора; k – постоянная Больцмана; T – термодинамическая температура.

40. Молярная внутренняя энергия системы, состоящей из невзаимодействующих квантовых осцилляторов

$$U_m = U_{0m} + 3 \cdot R \cdot \Theta_E / (e^{\Theta_E / T} - 1),$$

где R – молярная газовая постоянная; $\Theta_E = \hbar \cdot \omega / k$ – характеристическая температура Эйнштейна; $U_{0m} = \frac{2}{3} \cdot R \cdot \Theta_E$ – молярная нулевая энергия (по Эйнштейну).

41. Молярная теплоёмкость кристаллического твердого тела в области низких температур (предельный закон Дебая)

$$C_m = \frac{12 \cdot \pi^4}{5} \cdot R \cdot \left(\frac{T}{\Theta_D} \right)^3 = 234 \cdot R \cdot \left(\frac{T}{\Theta_D} \right)^3 \qquad (T << \Theta_D).$$

42. Теплота, необходимая для нагревания тела,

$$Q = \frac{m}{M} \cdot \int_{T_1}^{T_2} C_m \, dT,$$

где m – масса тела; M – молярная масса; T_1 и T_2 – начальная и конечная температуры тела.

43. Распределение свободных электронов в металле по энергиям при 0°К

$$dn(\varepsilon) = \frac{1}{2 \cdot \pi^2} \cdot \left(\frac{2 \cdot m}{h^2} \right)^{3/2} \cdot \varepsilon^{1/2} d\varepsilon,$$

где $dn(\varepsilon)$ – концентрация электронов, энергия которых заключена в пределах от ε до $\varepsilon + d\varepsilon$; m – масса электрона. Это выражение справедливо при $\varepsilon < \varepsilon_F$ (где ε_F – энергия или уровень Ферми).

44. Энергия Ферми в металле при $T=0$ К

$$\varepsilon_F = \frac{\hbar^2}{2 \cdot m} \cdot \left(3 \cdot \pi^2 \cdot n \right)^{2/3},$$

где n – концентрация электронов в металле.

45. Удельная проводимость собственных полупроводников

$$\gamma = \gamma_0 \cdot \exp\left(-\Delta E / 2 \cdot k \cdot T \right),$$

где ΔE – ширина запрещенной зоны; γ_0 – константа.

46. Сила тока в *p-n*-переходе

$$I = I_0 \cdot \left[\exp\left(e \cdot U / k \cdot T \right) - 1 \right],$$

где I_0 – предельное значение силы обратного тока; U – внешнее напряжение, приложенное к *p-n*-переходу.

47. Внутренняя контактная разность потенциалов

$$U_{12} = (\varepsilon_{F1} - \varepsilon_{F2}) / e$$

где ε_{F1} и ε_{F2} – энергия Ферми соответственно для первого и второго металлов; e – заряд электрона.