

Формулы

1. Закон Стефана-Больцмана: $R(T) = \sigma T^4$, где $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ К}^4)$.

2. Формула Планка: $\varepsilon(\lambda, T) = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{hc/(\lambda kT)} - 1}$, $\varepsilon(\nu, T) = \frac{2\pi h\nu^3}{c^2} \frac{1}{e^{h\nu/(kT)} - 1}$

$[\varepsilon(\lambda, T)]_{\text{max}} \equiv \varepsilon(\lambda_m, T) = c_1 T^5$, где $c_1 = 1.30 \times 10^{-5} \text{ Вт}/(\text{м}^3 \text{ К}^5)$.

$[\varepsilon(\nu, T)]_{\text{max}} \equiv \varepsilon(\nu_m, T) = c_2 T^3$, где $c_2 = 5.8 \times 10^{-19} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ Гц К}^3)$

3. Законы Вина. $\lambda_m = b_1/T$, $b_1 = 2.90 \times 10^{-3} \text{ м К}$. $\nu_m = b_2 T$, $b_2 = 5.87 \times 10^{10} \text{ Гц/К}$.

4. Давление света, $P = \frac{E_e}{c} (\alpha + 2\rho)$, где α - коэффициент поглощения, ρ - коэффициент отражения.

5. Энергия фотона $\varepsilon = h\nu = hc/\lambda$, Импульс фотона $p = \varepsilon/c = h\nu/c = h/\lambda$.

6. Плотность потока фотонов $n(\nu, T)$, $n(\lambda, T)$: $n(\nu, T) = \varepsilon(\nu, T)/h\nu$; $n(\lambda, T) = \varepsilon(\lambda, T)\lambda/hc$:

$$n(\lambda, T) = \frac{2\pi c}{\lambda^4} \frac{1}{e^{hc/(\lambda kT)} - 1}, \quad n(\nu, T) = \frac{2\pi \nu^2}{c^2} \frac{1}{e^{h\nu/(kT)} - 1}$$

7. Фотоэффект: $h\nu = A + eV_k - eV + T$. $h\nu = A + eV_0$; $h\nu_0 = A$ или $\lambda_0 = hc/A$

8. Эффект Комптона $\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \frac{h}{mc}(1 - \cos\theta)$; $\lambda_c = h/(mc) = 2.426 \times 10^{-12} \text{ м}$.

9. Модель атома водорода по Бору

$$\frac{1}{\lambda} = Z^2 R \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right); \quad E_n = -\frac{hcZ^2 R}{n^2}; \quad h\nu = E_{n'} - E_n; \quad m\nu_n a_n = \hbar n; \quad a_n = \frac{n^2 \hbar^2}{Zme^2} \quad ; \quad R = 10973730.3 \text{ м}^{-1};$$

$a = 5.29 \times 10^{-11} \text{ м}$

10. Глубокая потенциальная яма: $E_n = \frac{\hbar^2 \pi^2 n^2}{2ma^2}$; $\Psi_n(x) = \sqrt{\frac{2}{a}} \sin\left(\frac{n\pi}{a} x\right)$

11. Туннелирование: $|D|^2 = C \exp\left[-\frac{2}{\hbar} \int_{x_1}^{x_2} \sqrt{2m[V(x) - E]} dx\right]$

12. Рассеяние на низкой потенциальной ступеньке.

$$R = \left| \frac{k_1 - k_2}{k_1 + k_2} \right|^2; \quad T = \frac{4k_1 k_2}{(k_1 + k_2)^2}; \quad k_1 = \sqrt{\frac{2mE}{\hbar^2}}; \quad k_2 = \sqrt{\frac{2m(E - V)}{\hbar^2}}$$

13. Фактор Ланде, механические моменты атома; $g = \frac{3}{2} + \frac{S(S+1) - L(L+1)}{2J(J+1)}$;

$$M_L = \hbar\sqrt{L(L+1)}; \quad M_S = \hbar\sqrt{S(S+1)}; \quad M_J = \hbar\sqrt{J(J+1)};$$

14. Магнитный момент атома и зеемановское расщепление $\mu_B = 9.27 \times 10^{-24} \text{ Дж/Тл}$,

$$\mu_J = g\mu_B\sqrt{J(J+1)}, \quad \mu_{J_z} = g\mu_B m_J; \quad \Delta\omega = (m_1 g_1 - m_2 g_2)\mu_B B/\hbar$$

15. Энергия атома в магнитном поле: $U = -\mu_{J_z} B$

16. Правила отбора при атомных переходах: $\Delta S=0$; $\Delta m_S=0$; $\Delta L=\pm 1$; $\Delta m_L=0, \pm 1$; $\Delta J=0, \pm 1$; $\Delta m_J=0, \pm 1$.

17. Соотношение неопределенностей Гейзенберга: $\Delta p \Delta x \geq \hbar/4\pi$

18. Уравнение Шредингера: $\frac{d^2\Psi}{dx^2} + \frac{2m}{\hbar^2}(E - U)\Psi = 0$

19. Застройка электронных оболочек: 1s 2s 2p 3s 3p 4s 3d 4p 5s 4d 5p 6s 4f 5d 6p 7s 5f 6d.

20. Длина волны де Бройля $\lambda = h/p$, $2d \sin\theta = m\lambda$

21. Угол θ , на который заряженная частица рассеивается кулоновским полем неподвижного ядра $\text{tg} \frac{\theta}{2} = \frac{q_2 q_1}{8\pi\epsilon_0 b K}$

22. Гармонический осциллятор $U(x) = \frac{m\omega^2 x^2}{2}$; $E_n = \hbar\omega\left(n + \frac{1}{2}\right)$; $\alpha^2 = \frac{m\omega}{\hbar}$

$$\Psi_0(x) = A_0 \exp\left(-\frac{\alpha^2 x^2}{2}\right); \quad \Psi_1(x) = A_1 x \exp\left(-\frac{\alpha^2 x^2}{2}\right); \quad \Psi_2(x) = A_2 (2\alpha^2 x^2 - 1) \exp\left(-\frac{\alpha^2 x^2}{2}\right)$$

23. Волновые функции атома водорода

$$\Psi_{100}(r) = \frac{1}{\sqrt{\pi a^3}} e^{-r/a}; \quad \Psi_{200}(r) = \frac{1}{4\sqrt{2\pi a^3}} \left(2 - \frac{r}{a}\right) e^{-r/(2a)}$$

$$\Psi_{210}(r) = \frac{1}{4\sqrt{2\pi a^3}} \frac{r}{a} e^{-r/(2a)} \cos\theta; \quad \Psi_{21\pm 1}(r) = \frac{1}{8\sqrt{\pi a^3}} \frac{r}{a} e^{-r/(2a)} \sin\theta e^{\pm i\varphi}$$

24. Операторы и коммутационные соотношения: $\hat{p}_x = -i\hbar \frac{\partial}{\partial x}$; $[\hat{x}, \hat{p}] = i\hbar$; $L_Z = -i\hbar \frac{\partial}{\partial \varphi}$; $\frac{d\hat{A}}{dt} = \frac{\partial \hat{A}}{\partial t} - i\hbar[\hat{H}, \hat{A}]$;

$$\langle \hat{A} \rangle = \int \Psi(x) \hat{A} \Psi^*(x) dx; \quad \hat{H} = \frac{\hat{p}^2}{2m} + U; \quad L^2 = \hbar^2 l(l+1); \quad i\hbar \frac{\partial \Psi}{\partial t} = \hat{H} \Psi$$

25. Ур. Шредингера для радиальной части волновой ф-ции в центрально симметричном поле:

$$\frac{\partial^2 R}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial R}{\partial r} + \frac{2m}{\hbar^2} \left(E - U - \frac{L^2}{2mr^2} \right) R = 0$$

26. Распределение Больцмана: $\frac{N_2}{N_1} = \frac{g_2}{g_1} \exp\left(-\frac{E_2 - E_1}{k_B T}\right)$; $N_n = g_n \exp\left(-\frac{E_n}{k_B T}\right) \left[\sum_m g_m \exp\left(-\frac{E_m}{k_B T}\right) \right]^{-1}$

27. Связь между коэффициентами Эйнштейна: $B_{21} = \frac{g_1}{g_2} B_{12} = \frac{\pi^2 c^3}{\hbar \omega^3} A_{21}$

28. Распределение Ферми: $f(\varepsilon) = \left(1 + \exp\left(\frac{E - E_F}{k_B T}\right)\right)^{-1}$; $E_{F0} = \frac{\hbar^2}{2m} \left(3\pi^2 \frac{N}{V}\right)^{2/3}$; $g(\varepsilon) = \frac{3}{2} \frac{N}{E_F^{3/2}} \sqrt{\varepsilon}$

29. Теплоемкость твердых тел: $E = 9R\Theta \left[\frac{1}{8} + \left(\frac{T}{\Theta}\right)^4 \int_0^{\Theta/T} \frac{x^3 dx}{e^x - 1} \right]$; $\Theta = \frac{\hbar \omega_D}{k_B}$; $C = \left(\frac{12\pi^4}{5}\right) R \left(\frac{T}{\Theta}\right)^3$; $\omega_D = (6\pi^2 v^3 n)^{1/3}$;

$$g(\omega) = \frac{V}{\pi^2 v^3} \omega^2 = 9N \frac{\omega^2}{\omega_D^3}$$

30. Полупроводники: $\sigma = en_e \mu_e + ep_p \mu_p$; $j = en_e v_e + ep_p v_p$; $v_e = \mu_e E$; $v_p = \mu_p E$

Плотность уровней: $g_e(\varepsilon) = \frac{\sqrt{2m_e^3}}{\hbar^3 \pi^2} \sqrt{\varepsilon - \varepsilon_c}$; $g_p(\varepsilon) = \frac{\sqrt{2m_p^3}}{\hbar^3 \pi^2} \sqrt{\varepsilon_p - \varepsilon}$

$$n_e(T) = \frac{(2m_e k_B T)^{3/2}}{4\pi^{3/2} \hbar^3} \exp\left(-\frac{\varepsilon_c - \mu}{k_B T}\right); \quad n_p(T) = \frac{(2m_p k_B T)^{3/2}}{4\pi^{3/2} \hbar^3} \exp\left(-\frac{\mu - \varepsilon_v}{k_B T}\right)$$

Закон действующих масс $n_e(T) n_p(T) = n_i^2 = \frac{(2k_B T)^3 (m_p m_e)^{3/2}}{16\pi^3 \hbar^6} e^{-\frac{\varepsilon_c - \varepsilon_v}{k_B T}}$

Постоянная Холла: $R_H = \frac{E_{\perp}}{jB}$; $R_H = \frac{n_e \mu_e^2 - n_p \mu_p^2}{e(n_e \mu_e + n_p \mu_p)^2}$

31. Радиоактивный распад $N = N_0 e^{-\lambda t}$; $t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$; $\tau = \frac{1}{\lambda}$

$$A = A_0 e^{-\lambda t}; \quad \frac{dN}{dt} = -\lambda N; \quad \frac{dA}{dt} = -\lambda A; \quad A = \lambda N$$

32. Ядро

Энергия связи $E_b = Zm_H + Nm_n - M = Z\Delta_H + N\Delta_n - \Delta$

Дефект массы $\Delta = M - A$

Энергия ядерной реакции $A+B \rightarrow C+D$ (ядро B покоится)

$$Q = K_D + K_C - K_A \quad Q = (m_A + m_B - m_D - m_C) c^2$$

Порог ядерной реакции $K_A = \left(1 + \frac{m_A}{m_B}\right) |Q|$

1 а. е. м. = 1.66×10^{-27} кг = 931.5 МэВ