II. МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА. ТЕРМОДИНАМИКА

1. Количество вещества однородного газа (в молях):

$$\nu = \frac{N}{N_A}, \nu = \frac{m}{\mu},$$

где N - число молекул газа; N_A - число Авогадро; m - масса газа; μ - молярная масса газа.
Если система представляет смесь нескольких газов, то количество вещества системы

$$\nu = \nu_1 + \nu_2 + ... + \nu_n = \frac{N_1}{N_A} + \frac{N_2}{N_A} + ... + \frac{N_n}{N_A}$$

или

$$\nu = \frac{m_1}{\mu_1} + \frac{m_2}{\mu_2} + ... + \frac{m_n}{\mu_n},$$

где ν_i, N_i, m_i, μ_i - соответственно количество вещества, число молекул, масса, молярная масса i-й компоненты смеси.

2. Уравнение Клапейрона-Менделеева (уравнение состояния идеального газа):

$$pV = \frac{m}{\mu}RT = \nu RT,$$

где m - масса газа; μ - молярная масса газа; R - универсальная газовая постоянная; $\nu = m/\mu$ - количество вещества; T - термодинамическая температура Кельвина.

3. Опытные газовые законы, являющиеся частными случаями уравнения Клапейрона-Менделеева для изопроцессов:

- закон Бойля-Мариотта (изотермический процесс $T = \mathrm{const}; \mathrm{m} = \mathrm{const}$):

$$pV = \mathrm{const}.$$

- закон Гей-Люссака (изобарический процесс $p = \mathrm{const}; \mathrm{m} = \mathrm{const}$):

$$V/T = \mathrm{const}.$$

- закон Шарля (изохорический процесс $V = \mathrm{const}; \mathrm{m} = \mathrm{const}$):

$$p/T = \mathrm{const}.$$

- объединенный газовый закон ($m = \mathrm{const}$):

$$pV/T = \mathrm{const}.$$

4. Закон Дальтона, определяющий давление смеси газов:

$$p = p_1 + p_2 + ... + p_n,$$

где p_i - парциальные давления компонент смеси; n - число компонентов смеси.

5. Молярная масса смеси газов:

$$\mu = \frac{m_1 + m_2 + ... + m_n}{\nu_1 + \nu_2 + ... + \nu_n},$$

где m_i - масса i-го компонента смеси; $\nu_i = m_i/\mu_i$ - количество вещества i-го компонента смеси; n - число компонентов смеси.

6. Концентрация молекул (число молекул в единице объема:

$$n = \frac{N}{V} = \frac{N_A}{\mu}\rho,$$

где N - число молекул, содержащихся в данной системе; ρ Ч плотность вещества. Формула справедлива не только для газов, но и для любого агрегатного состояния вещества.

7. Основное уравнение кинетической теории газов:

$$p = \frac{2}{3}n < w_n >,$$

где w_n - средняя кинетическая энергия поступательного движения молекулы.

8. Средняя кинетическая энергия поступательного движения молекулы:

$$< w_n >= \frac{3}{2}kT,$$

где k - постоянная Больцмана.

9. Средняя полная кинетическая энергия молекулы:

$$< w_i >= \frac{i}{2}kT,$$

где i - число степеней свободы.

10. Зависимость давления газа от концентрации молекул и температуры:

$$p = nkT.$$

11. Скорости молекул:

- средняя квадратичная $< v >= \sqrt{\frac{3kT}{m_1}} = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}}$;
- средняя арифметическая $< v >= \sqrt{\frac{8kT}{\pi m_1}} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi\mu}}$;
- наиболее вероятная $v = \sqrt{\frac{2kT}{m_1}} = \sqrt{\frac{2RT}{\mu}}$;

где m_1 - масса одной молекулы.

12. Удельные теплоемкости газа при постоянном объеме (c_V) при постоянном давлении (c_p):
$$c_V = \frac{i}{2}\frac{R}{\mu}; \qquad c_p = \frac{i+2}{2}\frac{R}{\mu}.$$

13. Связь между удельной (c) и молярной (C) теплоемкостями:
$$c = C/\mu; \qquad C = c\mu.$$

14. Уравнение Роберта-Майера:
$$C_p - C_v = R.$$

15. Внутренняя энергия идеального газа:
$$U = \frac{m}{\mu}\frac{i}{2}RT = \frac{m}{\mu}C_V T.$$

16. Первое начало термодинамики:
$$Q = \Delta U + A,$$
где Q - теплота, сообщенная системе (газу); ΔU - изменение внутренней энергии системы; A - работа, совершенная системой против внешних сил.

17. Работа расширения газа:
в общем случае
$$A = \int\limits_{V_1}^{V_2} p dV;$$
при изобарическом процессе
$$A = p(V_2 - V_1);$$
при изотермическом процессе
$$A = \frac{m}{\mu}RT \ln\frac{V_2}{V_1};$$
при адиабатическом процессе
$$A = -\Delta U = -\frac{m}{\mu}C_V \Delta T = \frac{RT_1}{\gamma - 1}\frac{m}{\mu}\left[1 - \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma-1}\right],$$
где $\gamma = c_p/c_V$ - показатель адиабаты.

18. Уравнения Пуассона, связывающие параметры идеального газа при адиабатическом процессе:
$$pV^{\gamma} = \mathrm{const}; \qquad \mathrm{TV}^{\gamma-1} = \mathrm{const}; \qquad \frac{\mathrm{T}^{\gamma}}{\mathrm{p}^{\gamma-1}} = \mathrm{const}.$$

19. Термический к.п.д. цикла:
$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1},$$
где Q_1 - теплота, полученная рабочим телом от нагревателя; Q_2 - теплота, переданная рабочим телом охладителю.

20. Термический к.п.д. цикла Карно:
$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1},$$
где T_1 и T_2 - термодинамические температуры нагревателя и охладителя.

21. Коэффициент поверхностного натяжения:
$$\alpha = F/l, \qquad \alpha = \Delta E/\Delta S,$$
где F - сила поверхностного натяжения, действующая на контур l, охватывающий поверхность жидкости; ΔE - изменение свободной энергии поверхностной пленки жидкости, связанное с изменением площади ΔS поверхности этой пленки.

22. Формула Лапласа, выражающая давление p, создаваемое сферической поверхностью жидкости:
$$p = 2\alpha/R,$$
где R - радиус сферической поверхности.

23. Высота подъема жидкости в капиллярной трубке:
$$h = \frac{2\alpha\cos\theta}{\rho g R},$$
где θ - угол смачивания, R - радиус трубки, ρ - плотность жидкости.

24. Высота подъема жидкости между двумя близкими и параллельными друг другу плоскостями:
$$h = \frac{2\alpha\cos\theta}{\rho g d},$$
где d - расстояние между плоскостями.

III. ЭЛЕКТРОСТАТИКА. ПОСТОЯННЫЙ ТОК

Электростатика

1. Закон Кулона:
$$F = \frac{Q_1 Q_2}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon r^2},$$
где F - сила взаимодействия точечных зарядов Q_1 и Q_2, r Ч расстояние между зарядами; ε - диэлектрическая проницаемость; $\varepsilon_0 = 8,85 - 10^{-12}$ Ф/м - электрическая постоянная.

2. Напряженность электрического поля и потенциал:

$$\vec{E} = \vec{F}/Q; \qquad \varphi = \Pi/Q,$$

где Π - потенциальная энергия точечного положительного заряда находящегося в данной точке поля (при условии, что потенциальная энергия заряда, удаленного в бесконечность, равна нулю).

3. Сила, действующая на точечный заряд, находящийся в электрическом поле, и потенциальная энергия этого заряда:

$$\vec{F} = Q\vec{E}; \qquad \Pi = Q\varphi.$$

4. Напряженность и потенциал поля, создаваемого системой точечных зарядов (принцип суперпозиции электрических полей):

$$\vec{E} = \sum_{i=1}^{N} \vec{E}_i; \qquad \varphi = \sum_{i=1}^{N} \varphi_i,$$

где $\vec{E}_i$, φ_i - напряженность и потенциал в данной точке поля, создаваемого i-ым зарядом.

5. Напряженность и потенциал поля, создаваемого точечным зарядом:

$$E = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon r^2}; \qquad \varphi = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon r},$$

где r - расстояние от заряда Q до точки, в которой определяются напряженность и потенциал.

6. Напряженность и потенциал поля, создаваемого проводящей заряженной сферой радиуса R на расстоянии r от центра сферы:

   - если $r < R$, то $E = 0$, $\varphi = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon R}$;
   - если $r = R$, то $E == \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon R^2}$, $\varphi = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon R}$;
   - если $r > R$, то $E == \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon r^2}$, $\varphi = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon r}$,

   где Q - заряд сферы.

7. Линейная плотность заряда:

$$\tau = Q/l.$$

8. Поверхностная плотность заряда:

$$\sigma = Q/S.$$

9. Напряженность поля, создаваемого бесконечной прямой равномерно заряженной линией:
$$E = \frac{\tau}{2\pi\varepsilon_0\varepsilon r}.$$

10. Напряженность поля, создаваемого бесконечной равномерно заряженной плоскостью:
$$E = \frac{\sigma}{2\pi\varepsilon_0\varepsilon}.$$

11. Связь потенциала с напряженностью:
$$\vec{E} = -\mathrm{grad}\varphi.$$

12. Электрический момент диполя:
$$\vec{p} = |Q|\vec{l},$$
где Q - заряд, $\vec{l}$ Ч плечо диполя (величина векторная, направленная от отрицательного заряда к положительному и численно равная расстоянию между зарядами).

13. Работа сил поля по перемещению заряда Q из точки с потенциалом φ_1 в точку с потенциалом φ_2:
$$A_{12} = Q(\varphi_1 - \varphi_2).$$

14. Электроемкость:
$$C = Q/\varphi, \qquad C = Q/U,$$
где φ - потенциал проводника (при условии, что в бесконечности потенциал проводника принимается равным нулю); U - разность потенциалов пластин конденсатора.

15. Электроемкость уединенной проводящей сферы радиуса R:
$$C = 4\pi\varepsilon_0\varepsilon R.$$

16. Электроемкость плоского конденсатора:
$$C = \varepsilon_0\varepsilon\frac{S}{d},$$
где S - площадь пластины (одной) конденсатора; d - расстояние между пластинами.

17. Электроемкость батареи конденсаторов:
    - при последовательном соединении:
    $$\frac{1}{C} = \sum_{i=1}^{N}\frac{1}{C_i};$$
    - при параллельном соединении:
    $$C = \sum_{i=1}^{N} C_i,$$

где N - число конденсаторов в батарее.

18. Энергия заряженного конденсатора:

$$W = \frac{QU}{2}; \qquad W = \frac{CU^2}{2}; \qquad W = \frac{Q^2}{2C}.$$

Постоянный ток

19. Сила тока:

$$I = Q/t,$$

где Q - заряд, прошедший через поперечное сечение проводника за время t.

20. Плотность тока:

$$j = I/S,$$

где S - площадь поперечного сечения проводника.

21. Связь плотности тока со средней скоростью $< v >$ направленного движения заряженных частиц:

$$j = en < v >,$$

где e - заряд частицы; n - концентрация заряженных частиц.

22. Закон Ома:

- для участка цепи, не содержащего э.д.с.:

$$I = \frac{U}{R},$$

где U - разность потенциалов (напряжение) на концах участка цепи, R - сопротивление участка;

- для участка цепи, содержащего э.д.с.:

$$I = \frac{U \pm \mathcal{E}}{R},$$

где $\mathcal{E}$ - э.д.с. источника тока, R - полное сопротивление участка;

- для замкнутой цепи:

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R + r},$$

где R - внешнее сопротивление участка; r - внутреннее сопротивление источника тока.

23. Законы Кирхгофа:

- первый закон:

$$\sum I_i = 0,$$

где $\sum I_i$ - алгебраическая сумма сил токов, сходящихся в узле;

- второй закон:

$$\sum I_i r_i = \sum \mathcal{E}_i,$$

  где $\sum I_i r_i$ - алгебраическая сумма произведений сил токов на сопротивления участков, $\sum \mathcal{E}_i$ - алгебраическая сумма э.д.с.

24. Сопротивление r и проводимость G проводника:

$$r = \rho \frac{l}{S}; \qquad G = \sigma \frac{S}{l},$$

где ρ - удельное сопротивление; σ - удельная проводимость; l - длина проводника; S - площадь поперечного сечения проводника.

25. Сопротивление системы проводников:

- при последовательном соединении:

$$r = \sum r_i;$$

- при параллельном соединении:

$$\frac{1}{r} = \sum \frac{1}{r_i},$$

где r_i - сопротивление i-го проводника.

26. Работа тока:

$$A = IUt; \qquad A = I^2 rt; \qquad A = \frac{U^2}{r} t.$$

Первая формула справедлива для любого участка цепи, на концах которого поддерживается напряжение U, последние две - для участка, не содержащего э.д.с.

27. Мощность тока:

$$P = IU; \qquad P = I^2 r; \qquad P = \frac{U^2}{r}.$$

28. Закон Джоуля-Ленца:

$$Q = I^2 rt.$$

29. Закон Ома в дифференциальной форме:

$$\vec{j} = \sigma \vec{E}.$$

30. Связь удельной проводимости с подвижностью b заряженных частиц (ионов):

$$\sigma = Qn(b^+ + b^-),$$

где Q - заряд иона; n - концентрация ионов; b^+ и b^- - подвижности положительных и отрицательных ионов.

IV. ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ

1. Связь магнитной индукции $\vec{B}$ с напряженностью $\vec{H}$ магнитного поля:

$$\vec{B} = \mu\mu_0\vec{H},$$

где μ - магнитная проницаемость изотропной среды; μ_0 - магнитная постоянная ($\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м).

2. Закон Био-Савара-Лапласа:

$$d\vec{B} = \frac{\mu\mu_0}{4\pi}[d\vec{l}, \vec{r}]\frac{I}{r^3}, \qquad dB = \frac{\mu\mu_0}{4\pi}\frac{I\sin\alpha}{r^2}dl,$$

где dB - магнитная индукция поля, создаваемого элементом проводника длиной dl с током I; $\vec{r}$ - радиус-вектор, направленный от элемента проводника к точке, в которой магнитная индукция вычисляется; α - угол между радиусом-вектором и направлением тока в элементе проводника.

3. Магнитная индукция в центре кругового тока:

$$B = \frac{\mu\mu_0 I}{2R},$$

где R - радиус кругового витка.

4. Магнитная индукция на оси кругового тока:

$$B = \frac{\mu\mu_0}{4\pi}\frac{2\pi R^2 I}{(R^2 + h^2)^{3/2}},$$

где h - расстояние от центра витка до точки, в которой вычисляется магнитная индукция.

5. Магнитная индукция поля прямого тока:

$$B = \frac{\mu\mu_0 I}{2\pi r_0},$$

где r_0 - расстояние от оси проводника до точки, в которой вычисляется магнитная индукция.

6. Магнитная индукция поля, создаваемого отрезком провода с током:

$$B = \frac{\mu\mu_0}{4\pi}\frac{I}{r_0}(\cos\alpha_1 - \cos\alpha_2).$$

При симметричном расположении концов провода относительно точки, в которой определяется магнитная индукция, $\cos\alpha_1 = -\cos\alpha_2 = \cos\alpha$, тогда

$$B = \frac{\mu\mu_0}{2\pi}\frac{I}{r_0}\cos\alpha.$$

7. Магнитная индукция поля соленоида:

$$B = \mu\mu_0 nI,$$

где n - число витков соленоида приходящееся на единицу длины.

8. Сила, действующая на проводник с током в магнитном поле, закон Ампера:

$$\vec{F} = I[\vec{l}, \vec{B}], \qquad F = IBl\sin\alpha,$$

где l - длина проводника; α - угол между направлением тока в проводнике и вектором магнитной индукции $\vec{B}$. Это выражение справедливо для однородного магнитного поля и прямого отрезка проводника. Если поле неоднородно и проводник не является прямым, то закон Ампера можно применять к каждому элементу проводника в отдельности:

$$d\vec{F} = I[d\vec{l}, \vec{B}].$$

9. Сила взаимодействия параллельных проводов с током:

$$F = \frac{\mu\mu_0 I_1 I_2}{2\pi d} l,$$

где d - расстояние между проводами.

10. Магнитный момент контора с током:

$$\vec{p}_m = I\vec{S},$$

где I - сила тока, протекающего по контуру; S - площадь контура, вектор S численно равен площади S контура и совпадает по направлению с вектором нормали к плоскости контура.

11. Механический (вращательный) момент, действующий на контур с током, помещенный в однородное магнитное поле:

$$\vec{M} = [\vec{p}_m, \vec{B}].$$

12. Потенциальная энергия контура с током в магнитном поле:

$$\Pi = -(\vec{p}_m, \vec{B}).$$

13. Отношение магнитного момента p_m к механическому L (моменту импульса) заряженной частицы, движущейся по круговой орбите:

$$\frac{p_m}{L} = \frac{1}{2}\frac{Q}{m},$$

где Q - заряд частицы; m - масса частицы.

14. Сила Лоренца[1]:
$$\vec{F} = Q[\vec{v}, \vec{B}],$$
где $\vec{v}$ - скорость заряженной частицы.

15. Магнитный поток:
   - в случае однородного магнитного поля и плоской поверхности:
   $$\Phi = BS\sin\alpha,$$
   где S - площадь контура; α - угол между нормалью к плоскости контура и вектором магнитной индукции;
   - в случае неоднородного поля и произвольной поверхности:
   $$\Phi = \int\limits_S B_n dS,$$
   интегрирование ведется по всей поверхности.

16. Потокосцепление (полный поток):
$$\Psi = N\Phi.$$
Эта формула верна для соленоида и тороида с равномерной намоткой плотно прилегающих друг к другу N витков.

17. Работа по перемещению замкнутого контура в магнитном поле:
$$A = I\Delta\Phi.$$

18. Э.д.с. индукции:
$$\mathcal{E} = -\frac{d\Psi}{dt}.$$

19. Разность потенциалов на концах проводника, движущегося со скоростью $vecv$ в магнитном поле:
$$U = Blv\sin\alpha,$$
где l - длина проводника; α угол между векторами $vecv$ и $\vec{B}$.

20. Заряд, протекающий по замкнутому контуру при изменении магнитного потока, пронизывающего этот контур:
$$Q = \frac{\Delta\Phi}{r}, \qquad Q = \frac{N\Delta\Phi}{r} = \frac{\Delta\Psi}{r},$$
где r - сопротивление контура.

[1]Если частица находится одновременно в электрическом магнитном полях, то под силой Лоренца понимают выражение
$$\vec{F} = Q\vec{E} + Q[\vec{v}, \vec{B}].$$

21. Индуктивность контура:
$$L = \frac{\Psi}{I}.$$

22. Э.д.с. самоиндукции:
$$\mathcal{E}_S = -L\frac{dI}{dt}.$$

23. Индуктивность соленоида:
$$L = \mu\mu_0 n^2 V,$$
где n - число витков, приходящееся на единицу длины соленоида; V - объем соленоида.

24. Мгновенное значение силы тока в цепи, обладающей сопротивлением r и индуктивностью L:

    - при замыкании цепи:
    $$I = \frac{\mathcal{E}}{r}\left(1 - e^{-\frac{r}{L}t}\right);$$
    - при размыкании цепи:
    $$I = I_0 e^{-\frac{r}{L}t}.$$

25. Энергия магнитного поля:
$$W = \frac{LI^2}{2}.$$

26. Объемная плотность энергии магнитного поля:
$$w = \frac{1}{2}BH = \frac{1}{2}\frac{B^2}{\mu\mu_0} = \frac{1}{2}\mu\mu_0 H^2.$$

V. ОПТИКА

1. Скорость света в среде:
$$v = c/n,$$
где c - скорость света в вакууме; n - показатель преломления среды.

2. Оптическая длина пути луча света:
$$L = nl,$$
где l - геометрическая длина пути луча в среде с показателем преломления n.

3. Оптическая разность хода двух лучей:
$$\Delta L = L_1 - L_2.$$

4. Зависимость оптической разности фаз с оптической разностью хода:

$$\Delta\varphi = 2\pi\frac{\Delta}{\lambda},$$

где λ - длина световой волны.

5. Условие максимального усиления света при интерференции:

$$\Delta = \pm k\lambda \ \ (k = 0, 1, 2, ...).$$

Условие максимального ослабления света:

$$\Delta = \pm(2k+1)\frac{\lambda}{2}.$$

6. Оптическая разность хода лучей, возникающая при отражении монохроматического света от тонкой пленки:

$$\Delta = 2d\sqrt{n^2 - \sin^2 i_1} + \frac{\lambda}{2},$$

или

$$\Delta = 2dn\cos i_2 + \frac{\lambda}{2},$$

где d - толщина пленки; n - показатель преломления пленки; i_1 - угол падения; i_2 - угол преломления света в пленке.

7. Радиус светлых колец Ньютона в отраженном свете:

$$r_k = \sqrt{(2k-1)R\frac{\lambda}{2}},$$

где k - номер кольца $(k = 1, 2, 3, ...)$; R - радиус кривизны линзы.
Радиус темных колец Ньютона в отраженном свете:

$$r_k = \sqrt{kR\lambda}.$$

8. Угол φ отклонения лучей, соответствующий максимуму (светлая полоса) при дифракции на одной щели, определяется из условия

$$a\sin\varphi = (2k+1)\frac{\lambda}{2} \ \ (k = 0, 1, 2, ...),$$

где a - ширина щели; k - порядковый номер максимума.

9. Угол φ отклонения лучей, соответствующий максимуму (светлая полоса) при дифракции света на дифракционной решетке, определяется из условия

$$a\sin\varphi = \pm k\lambda \ \ (k = 0, 1, 2, ...),$$

где d - период дифракционной решетки.

10. Разрешающая способность дифракционной решетки:
$$R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} = kN,$$
где $\Delta\lambda$ - наименьшая разность длин волн двух соседних спектральных линий (λ, и $\lambda + \Delta\lambda$), при которой эти линии могут быть видны раздельно в спектре, полученном посредством данной решетки; N - полное число щелей решетки.

11. Формула Брэгга-Вульфа:
$$2d \sin\theta = k\lambda,$$
где θ - угол скольжения (угол между направлением пучка параллельных рентгеновских лучей, падающих на кристалл, и гранью кристалла; d - расстояние между атомными плоскостями кристалла.
Формула Брэгга-Вульфа определяет направление лучей, при которых возникает дифракционный максимум.

12. Закон Брюстера:
$$\operatorname{tg} i_1 = n_{21},$$
где i_1 - угол падения, при котором отразившийся от диэлектрика луч полностью поляризован; n_{21} - относительный показатель преломления второй среды относительно первой.

13. Закон Малюса:
$$I = I_0 \cos^2 \alpha,$$
где I_0 - интенсивность плоскополяризованного света, падающего на анализатор; I - интенсивность этого света после анализатора; α - угол между направлением колебаний света, падающего на анализатор, и плоскостью пропускания анализатора (если колебания падающего света совпадают с этой плоскостью, то анализатор пропускает свет без ослабления).

14. Угол поворота плоскости поляризации монохроматического света при прохождении через оптически активное вещество:
    - в твердых телах
    $$\varphi = \alpha d,$$
    где α - постоянная вращения; d - длина пути, пройденного светом в оптически активном веществе;
    - в растворах
    $$\varphi = [\alpha]\rho d,$$
    где $[\alpha]$ - удельное вращение; ρ - массовая концентрация оптически активного вещества в растворе.

15. Релятивистская масса:
$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} = \frac{m_0}{\sqrt{1-\beta^2}},$$
где m_0 - масса покоя частицы; v - ее скорость.

16. Взаимосвязь массы и энергии релятивистской частицы:

$$E = mc^2.$$

17. Полная энергия свободной частицы:

$$E = E_0 + T,$$

где $E_0 = m_0c^2$ - энергия покоя частицы, T - кинетическая энергия релятивистской частицы.

18. Кинетическая энергия релятивистской частицы:

$$T = (m - m_0)c^2.$$

19. Импульс релятивистской частицы:

$$p = \frac{m_0 v}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}.$$

20. Связь между полной энергией и импульсом релятивистской частицы:

$$E^2 = E_0^2 + (pc)^2.$$

21. Закон Стефана-Больцмана:

$$R_e = \sigma T^4,$$

где R_e - излучательность (энергетическая светимость) абсолютно черного тела; σ - постоянная Стефана-Больцмана; T - термодинамическая температура Кельвина.

22. Закон смещения Вина:

$$\lambda_0 = b/T,$$

где λ_0 - длина волны, на которую приходится максимум энергии излучения; b - постоянная Вина ($b = 2,90 \cdot 10^{-3}$ м·К).

23. Энергия фотона:

$$\varepsilon = h\nu = \hbar\omega,$$

где h - постоянная Планка; $\hbar$ - постоянная Планка, деленная на π; ν - частота фотона; ω - циклическая частота.

24. Масса фотона:

$$m = \frac{\varepsilon}{c^2} = \frac{h}{c\lambda}.$$

25. Импульс фотона:

$$p = mc = h/\lambda.$$

26. Формула Эйнштейна для фотоэффекта:

$$h\nu = A + T = A + \frac{mv^2}{2},$$

где $h\nu$ - энергия фотона, падающего на поверхность металла; A - работа выхода электрона; T - кинетическая энергия фотоэлектрона.

27. Красная граница фотоэффекта:

$$\nu_0 = A/h, \qquad \lambda_0 = hc/A,$$

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.

28. Формула Комптона:

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \frac{h}{m_0 c}(1 - \cos\theta) = 2\frac{h}{m_0 c}\sin^2\frac{\theta}{2},$$

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

29. Комптоновская длина волны:

$$\Lambda = \frac{h}{m_0 c}.$$

30. Давление света при нормальном падении на поверхность:

$$p = \frac{E}{c}(1 + \rho) = w(1 + \rho),$$

где E - облученность поверхности; w - объемная плотность лучистой энергии; ρ - коэффициент отражения света поверхностью.

VI. ФИЗИКА АТОМОВ И АТОМНОГО ЯДРА. ЭЛЕМЕНТАРНЫЕ ЧАСТИЦЫ. ОСНОВЫ КВАНТОВОЙ МЕХАНИКИ. ФИЗИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА

Элементарная боровская теория атома водорода

1. Момент импульса электрона (второй постулат Бора):

$$L_n = \hbar n,$$

где $\hbar$ - постоянная Планка ($\hbar = 1,05 \cdot 10^{-34}$ Дж·с); n - главное квантовое число ($n = 0, 1, 2, ...$, в квантовой теории значение $n = 0$ не реализуется).

2. Радиус боровской орбиты:
$$r_n = a_0 n^2,$$
где $a_0 = 52,9$ пм - радиус первой боровской орбиты.

3. Энергия электрона в атоме водорода:
$$E_n = -E_i/n^2,$$
где $E_i = 13,6$ эВ - энергия ионизации водорода.

4. Энергия, излучаемая или поглощаемая атомом водорода:
$$\varepsilon = h\omega = E_{n_2} - E_{n_1},$$
где n_1 и n_2 - квантовые числа, соответствующие энергетическим уровням, между которыми совершается переход электрона в атоме.

5. Спектроскопическое волновое число:
$$\tilde{\nu} = \frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right),$$
где λ - длина волны излучения или поглощения атомом; $R = 1,097 \cdot 10^{-7}$ м - постоянная Ридберга.

Волновые свойства частиц

6. Длина волны де Бройля:
$$\lambda = 2\pi\hbar/p,$$
где p - импульс частицы.

7. Импульс частицы:
   - в нерелятивистском случае
   $$p = m_0 v;$$
   - в релятивистском случае
   $$p = mv = \frac{m_0 v}{\sqrt{1-(v/c)^2}};$$

   где m_0 - масса покоя частицы; m - релятивистская масса: v - скорость частицы; c - скорость распространения электромагнитного излучения в вакууме.

8. Связь импульса частицы с кинетической энергией T:
   - в нерелятивистском случае
   $$p = \sqrt{2mT};$$

- в релятивистском случае

$$p = \frac{1}{c}\sqrt{(2E_0 + T)T},$$

где E_0 - энергия покоя частицы.

9. Соотношение неопределенностей:

   - для координаты и импульса:

     $$\Delta p_x \Delta x \geq \hbar,$$

     где Δp_x - неопределенность проекции импульса на ось ; Δx - неопределенность координаты;

   - для энергии и времени:

     $$\Delta E \Delta t \geq \hbar,$$

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

10. Одномерное уравнение Шредингера для стационарных состояний:

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

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

11. Плотность вероятности:

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

    где $dw(x)$ - вероятность того, что частица может быть обнаружена вблизи точки с координатой x на участке dx.

12. Вероятность обнаружения частицы в интервале значений от x_1 до x_2:

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

13. Решение уравнения Шредингера для одномерной, бесконечно глубокой, прямоугольной потенциальной ямы:

    - собственная нормированная волновая функция:

      $$\psi_n(x) = \sqrt{\frac{2}{l}} \sin\frac{\pi n}{l}x;$$

    - собственное значение энергии:

      $$E_n = \frac{\pi^2\hbar^2}{2ml^2}n^2,$$

где n - квантовое число ($n = 1, 2, 3, ...$); l - ширина ямы.

Пространственная решетка кристалла

14. Молярный объем кристалла:

$$V_\mu = \mu/\rho,$$

где μ - молярная масса; ρ - плотность кристалла.

15. Объем элементарной ячейки в случае решетки кубической сингонии:

$$V_0 = a^3,$$

где a - параметр решетки.

16. Число элементарных ячеек в единице объема кристалла, если кристалл состоит из одинаковых атомов:

$$Z = \frac{\rho}{n}\frac{N_A}{\mu},$$

где n - число одинаковых атомов, приходящихся на элементарную ячейку.

17. Параметр кубической решетки, состоящей из одинаковых атомов:

$$a = \sqrt[3]{\frac{n\mu}{\rho N_A}}.$$

18. Расстояние между соседними атомами в кубической решетке:

- в гранецентрированной

$$d = a/\sqrt{2};$$

- в объемноцентрированной

$$d = \frac{\sqrt{3}}{2}a.$$

Теплоемкость кристалла

19. Среднее значение энергии квантового одномерного осциллятора:

$$< \varepsilon >= \varepsilon_0 + \frac{\hbar\omega}{e^{\hbar\omega/kT} - 1},$$

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

20. Молярная внутренняя энергия системы, состоящей из невзаимодействующих квантовых осцилляторов:

$$U = U_0 + 3R\frac{\Theta_E}{e^{\Theta_E/T} - 1},$$

где R - универсальная газовая постоянная; Θ_E - характеристическая температура Эйнштейна ($\Theta_E = \hbar\omega/k$); U_0 - молярная нулевая энергия (по Эйнштейну) $\left(U_0 = \frac{2}{3}R\Theta_E\right)$.

21. Молярная теплоемкость кристаллического твердого тела по Дебаю:

$$C_\mu = 3R\left[12\left(\frac{T}{\Theta_D}\right)^3 \int\limits_0^{\Theta_D/T} \frac{x^3dx}{e^x - 1} - \frac{3\left(\frac{\Theta_D}{T}\right)}{e^{\Theta_D/T} - 1}\right],$$

где Θ_D - характеристическая температура Дебая $\left(\Theta_D = \frac{\hbar\omega_{max}}{k}\right)$.

22. Молярная теплоемкость кристаллического твердого тела в области низких температур (предельный закон Дебая):

$$C_\mu = \frac{12\pi^4}{5}R\left(\frac{T}{\Theta_D}\right)^3 = 234R\left(\frac{T}{\Theta_D}\right)^3.$$

Эта формула справедлива при условии $T \ll \Theta_D$.

23. Теплота, необходимая для нагревания тела:

$$Q = \frac{m}{\mu}\int\limits_{T_1}^{T_2} C_\mu dT,$$

где m - масса тела; μ - молярная масса; T_1 и T_2 - начальная и конечная температуры тела.

Элементы квантовой статистики

24. Распределение свободных электронов в металле по энергиям при абсолютном нуле:

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

где $dn(\varepsilon)$ - концентрация электронов, энергии которых заключены 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).

25. Энергия Ферми в металле при $T = 0$:

$$\varepsilon_f = \frac{\hbar^2}{m}(3\pi^2 n)^{2/3},$$

где n - концентрация электронов в металле.

Полупроводники

26. Удельная проводимость собственных полупроводников:

$$\sigma = en(b_n + b_p),$$

где e - элементарный заряд; n - концентрация носителей тока электронов и дырок; b_n и b_p - подвижности электронов и дырок.

27. Напряжение на гранях прямоугольного образца при эффекте Холла, холловская разность потенциалов:

$$U_H = R_H Bja,$$

где R_H - постоянная Холла; B - магнитная индукция; j - плотность тока; a - ширина пластины (образца).

28. Постоянная Холла для полупроводников типа алмаз, германий, кремний и др., обладающими носителями тока одного вида (n или):

$$R_H = \frac{3\pi}{8}\frac{1}{en},$$

где n - концентрация носителей тока.

Магнетики

29. Связь магнитной индукции $\vec{B}$ с напряженностью $\vec{H}$ магнитного поля в изотропном магнетике:

$$\vec{B} = \mu\mu_0\vec{H},$$

где μ - магнитная проницаемость среды; $\mu_0 = 4\pi 10^{-7}$ Гн/м Ч магнитная постоянная.

30. Намагниченность однородного изотропного магнетика:

- рассчитанная на единицу объема:

$$\vec{J} = \frac{1}{V}\sum_{i=1}^{N}\vec{p}_{mi};$$

- молярная:

$$\vec{J}_\mu = \frac{M}{m}\sum_{i=1}^{N}\vec{p}_{mi} = \frac{M}{\rho}\vec{J};$$

- удельная:

$$\vec{J}_{sp} = \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{N}\vec{p}_{mi} = \frac{1}{\rho}\vec{J},$$

где $\vec{p}_{mi}$ - магнитный момент i-й молекулы (атома); N - число молекул в объеме V; m - масса магнетика; M - молярная масса; ρ - плотность магнетика.

31. Магнитная восприимчивость однородного изотропного магнетика:

   - рассчитанная на единицу объема:
   $$\chi = J/H;$$
   - молярная:
   $$\chi_\mu = J_\mu/H = \frac{M}{\rho}\chi;$$
   - удельная:
   $$\chi_{sp} = J_{sp}/H = \frac{1}{\rho}\chi,$$

   где H - напряженность магнитного поля.

32. Связь магнитной восприимчивости с магнитной проницаемостью:
   $$\mu = 1 + \chi.$$

33. Намагниченность при насыщении в случае однородного изотропного магнетика:
   $$J = n\vec{p}_m,$$
   где n - концентрация молекул атомов с магнитным моментом $\vec{p}_m$.

34. Магнитная восприимчивость парамагнитного однородного изотропного магнетика при условии $p_m B \ll kT$:
   $$\chi = \mu_0 \frac{np_m^2}{3kT}.$$

35. Магнетон Бора:
   $$\mu_B = \frac{|e|\hbar}{2m_e},$$
   где m_e - масса электрона; $\mu_B = 0,927 \cdot 10^{-23}$ Дж/Т.

36. Частота ларморовой прецессии:
   $$\omega_L = \frac{1}{2}\frac{|e|}{m_e}B,$$
   где B - магнитная индукция.

Атомное ядро. Радиоактивность

37. Массовое число ядра (число нуклонов в ядре):
   $$A = Z + N,$$
   где Z - зарядовое число (число протонов); N - число нейтронов.

38. Основной закон радиоактивного распада:

$$N = N_0 e^{-\lambda t},$$

где N - число ядер, не распавшихся к моменту времени t; N_0 - число ядер в начальный момент ($t = 0$); λ - постоянная радиоактивного распада.

39. Зависимость периода полураспада от постоянной радиоактивного распада:

$$T_{1/2} = \ln 2/\lambda = 0,693/\lambda.$$

40. Среднее время жизни τ радиоактивного ядра, т.е. промежуток времени, за который число нераспавшихся ядер уменьшается в e раз:

$$\tau = 1/\lambda.$$

41. Число N атомов, содержащихся в радиоактивном изотопе:

$$N = \frac{m}{\mu} N_A,$$

где m - масса изотопа; μ - молярная масса; N_A - число Авогадро.

42. Активность A радиоактивного изотопа:

$$A = -\frac{dN}{dt} = \lambda N = \lambda N_0 e^{-\lambda t} = A_0 e^{-\lambda t}.$$

43. Удельная активность изотопа:

$$a = A/m.$$

44. Дефект массы ядра:

$$\Delta m = Z M_H + (A - Z) m_n - M,$$

где Z - зарядовое число (число протонов в ядре); A - массовое число (число нуклонов в ядре); (AZ) - число нейтронов в ядре; M_H - масса атома водорода; m_n - масса нейтрона; M - масса атома.

45. Энергия связи ядра:

$$E = \Delta m c^2,$$

где Δm - дефект массы ядра; c - скорость света в вакууме.
Во внесистемных единицах энергия связи ядра равна:

$$E = 931 \Delta m,$$

где Δm - дефект массы в а.е.м.; 931 - коэффициент пропорциональности (1 а.е.м. $\sim$ 931 МэВ).