Кінематика.

Середня та миттєва швидкості:

$$<\vec{v}> = \frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t}; \quad \vec{v} = \frac{\mathrm{d}\vec{r}}{\mathrm{d}t}.$$

Середнє та миттєве прискорення:

$$<\vec{a}> = \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}; \quad \vec{a} = \frac{\mathrm{d}\vec{v}}{\mathrm{d}t}.$$

Миттєва швидкість і радіус-вектор точки при довільному русі:

$$\vec{v}(t) = \vec{v}_0 + \int_0^t \vec{a}(t)\mathrm{d}t; \quad \vec{r} = \vec{r}_0 + \int_0^t \vec{v}\mathrm{d}t.$$

Переміщення точки за проміжок часу $[t_1, t_2]$ та пройдений нею шлях:

$$\Delta\vec{r} = \int_{t_1}^{t_2} \vec{v}(t)\mathrm{d}t; \quad s = \int_{t_1}^{t_2} v(t)\mathrm{d}t.$$

Нормальне, тангенціальне та повне прискорення:

$$\vec{a}_n = \frac{v^2}{R}\vec{n}; \quad \vec{a}_\tau = \frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}\vec{\tau}; \quad \vec{a} = \vec{a}_n + \vec{a}_\tau,$$

R – радіус кривизни траєкторії.
Кутові швидкість та прискорення:

$$\vec{\omega} = \frac{\mathrm{d}\vec{\varphi}}{\mathrm{d}t}; \quad \vec{\beta} = \frac{\mathrm{d}\vec{\omega}}{\mathrm{d}t}.$$

Зв'язок між лінійними та кутовими кінематичними величинами при обертанні навколо фіксованої осі:

$$s = \varphi R; \quad v = \omega R;$$

$$a_\tau = \beta R; \quad a_n = \omega^2 R; \quad a = \sqrt{a_n^2 + a_\tau^2} = R\sqrt{\beta^2 + \omega^4}$$

R – відстань від осі обертання.

Динаміка матеріальної точки.

Основне рівняння динаміки:

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = \vec{F}.$$

2 закон Ньютона (основне рівняння динаміки для тіла незмінної маси):

$$m\frac{\mathrm{d}^2\vec{r}}{\mathrm{d}t^2} = \vec{F}.$$

Рівняння руху матеріальної точки в неінерціальній системі відліку:

$$m\vec{a} = \vec{F} + \vec{F}_{ін} + \vec{F}_{відц} + \vec{F}_{кор}.$$

Сили інерції:

$$\vec{F}_{ін} = -m\vec{a}_0; \quad \vec{F}_{відц} = m\omega^2\vec{r}; \quad \vec{F}_{кор} = 2m\ \vec{v}\vec{\omega}.$$

Положення та рівняння руху центра мас системи:

$$\vec{r}_c = \frac{\sum_i m_i\vec{r}_i}{\sum_i m_i}; \quad m\vec{a}_c = \vec{F}_{çî â}.$$

Зміна імпульсу системи:

$$\frac{\mathrm{d}\vec{p}}{\mathrm{d}t} = \vec{F}_{зовн}; \quad \Delta\vec{p} = \int_{t_1}^{t_2} \vec{F}_{зовн}\mathrm{d}t.$$

Робота та потужність сили:

$$A=\int \vec{F}\mathrm{d}\vec{r};\quad P=\frac{\delta A}{\mathrm{d}t}=\vec{F}\vec{v}\,.$$

Зміна повної механічної енергії системи:

$$\Delta E=\Delta K+\Delta U=A_{дис}+A_{зовн}$$

Зв'язок між консервативною силою та потенціальною енергією:

$$\vec{F}=-\mathrm{grad}U;\quad \Delta U=U_2-U_1=-\int_1^2\vec{F}\mathrm{d}\vec{r}$$

<u>Динаміка твердого тіла.</u>

Рівняння моментів відносно осі:

$$\frac{\mathrm{d}L_z}{\mathrm{d}t}=M_z\,.$$

Рівняння динаміки твердого тіла, що обертається навколо нерухомої осі:

$$I\beta_z=M_z$$

Момент інерції протяжного тіла:

$$I=\int r^2\mathrm{d}m=\int_V r^2\rho\mathrm{d}V\,.$$

Теорема Гюйгенса – Штайнера:

$$I=I_c+ma^2$$

Моменти інерції I_c деяких однорідних тіл:

Тіло	Вісь	Момент інерції I_0
Тонкий стрижень довжини l	Перпендикулярна до стрижня	$ml^2/12$
Суцільний циліндр (диск) радіуса R	Співпадає з віссю циліндра (диска)	$mR^2/2$
Суцільна куля радіуса R	Проходить через центр кулі	$2mR^2/5$

<u>СТВ</u>

Перетворення Лоренца:

$$x'=\frac{x-Vt}{\sqrt{1-(V/c)^2}};\quad y'=y;\quad z'=z;\quad t'=\frac{t-Vx/c^2}{\sqrt{1-(V/c)^2}}\,.$$

Скорочення довжин й уповільнення часу:

$$l=l_0\sqrt{1-(v/c)^2};\quad \Delta t=\frac{\Delta t_0}{\sqrt{1-(v/c)^2}}\,.$$

Релятивістський закон перетворення швидкостей:

$$v'_x=\frac{v_x-V}{1-Vv_x/c^2};\quad v'_y=\frac{v_y\sqrt{1-(V/c)^2}}{1-Vv_x/c^2}\,.$$

Імпульс релятивістської частинки з масою спокою m_0:

$$\vec{p}=\frac{m_0\vec{v}}{\sqrt{1-(v/c)^2}}=mv,\quad m=\frac{m_0}{\sqrt{1-(v/c)^2}}\,.$$

Рівняння динаміки релятивістської частинки:

Рівняння динаміки релятивістської частинки:

$$\frac{d\vec{p}}{dt}=\vec{F}$$

Повна енергія та енергія спокою релятивістської частинки:

$$E = mc^2 = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1-(v/c)^2}}; \quad E_0 = m_0 c^2.$$

Кінетична енергія релятивістської частинки:

$$K = E - E_0 = m_0 c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1-(v/c)^2}} - 1 \right).$$

Зв'язок між енергією та імпульсом релятивістської частинки:

$$E^2 - p^2c^2 = E_0^2; \quad p^2c^2 = K(K + 2E_0).$$

Механічні коливання.

Зв'язок між параметрами гармонічних коливань:

$$\omega = 2\pi\nu = \frac{2\pi}{T}.$$

Частота коливань матеріальної точки маси m під дією сили $F = -kx$:

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}.$$

Період гармонічних коливань і власна частота фізичного маятника:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{I}{mgl}}; \quad \omega_0 = \sqrt{\frac{mgl}{I}}.$$

Зведена довжина фізичного маятника:

$$l_{зведена} = \frac{I}{ml}.$$

Частота вільних загасаючих коливань за наявності гальмівної сили $F = -rv$:

$$\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}, \quad \beta = \frac{r}{2m} - \text{коефіцієнт загасання.}$$

Амплітуда загасаючих коливань:

$$A(t) = A_0\, e^{-\beta t}.$$

Характеристики загасання:

час релаксації $\tau = \dfrac{1}{\beta}$;

логарифмічний декремент загасання $\lambda = \ln\dfrac{A(t)}{A(t+T)} = \beta T$;

добротність коливальної системи $Q = \dfrac{\pi}{\lambda}$.

Енергія загасаючих коливань при слабкому загасанні ($\beta << \omega_0$) :

$$W = W_0\, e^{-2\beta t}.$$

Відносна втрата енергії коливань за один період при слабкому загасанні:

$$\frac{\delta W}{W} = \frac{2\pi}{Q}.$$

Електродинаміка.

1. напруженість електричного поля точкового заряду $\vec{E} = k_0 \dfrac{q}{r^2}\vec{e}_r$
2. потенціал точкового заряду $\varphi = k_0 \dfrac{q}{r}$
3. принцип суперпозиції для електричного поля $\vec{E} = \sum \vec{E}_i;\ \varphi = \sum \varphi_i$
4. напруженість електричного поля зарядженої сфери
$$\vec{E} = k_o \frac{q}{r^2}\vec{e}_r,\ \ r > R\ \ ;\ \vec{E} = 0,(r < R);$$
5. напруженість електричного поля зарядженої кулі (ρ = const)
$$\vec{E} = k_o \frac{q}{r^2}\vec{e}_r,\ \ r > R\ \ ;\ \vec{E} = \frac{\rho\vec{r}}{3\varepsilon\varepsilon_0}\vec{e}_r,(r < R);$$
6. напруженість електричного поля нескінченої рівномірно зарядженої площини $\vec{E} = \dfrac{\sigma}{2\varepsilon\varepsilon_0}\vec{n}$
7. напруженість електричного поля нескінченої рівномірно зарядженої нитки $\vec{E} = \dfrac{\lambda}{2\pi\varepsilon\varepsilon_0 r}\vec{e}_r$
8. потенціальна енергія заряду $W = q\varphi$
9. густина заряду $\rho = \dfrac{dq}{dV};\sigma = \dfrac{dq}{dS};\lambda = \dfrac{dq}{dl};$
10. визначення сили електричного струму $I = \dfrac{dq}{dt}$
11. густина струму $\vec{j} = \dfrac{dI}{dS_\perp}\vec{e}_v;\ I = \iint\limits_s \vec{j}d\vec{S}$
12. заряд провідника $q = C\varphi$
13. заряд конденсатора $q = CU$
14. енергія конденсатора $W = \dfrac{CU^2}{2}$
15. потенціальна енергія взаємодії системи N зарядів $W = \dfrac{1}{2}\sum\limits_{i=1}^{N} q_i\varphi_i$
16. ємність при паралельному з’єднанні конденсаторів $C = \sum C_i$
17. ємність при послідовному з’єднанні конденсаторів $\dfrac{1}{C} = \sum \dfrac{1}{C_i}$
18. ємність плоского конденсатора (ε=const) $C = \dfrac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{d}$
19. ємність сферичного конденсатора (ε=const) $C = 4\pi\varepsilon\varepsilon_0 \dfrac{ab}{b-a}$
20. ємність циліндричного конденсатора (ε=const) $C = \dfrac{2\pi\varepsilon\varepsilon_0 l}{\ln(b/a)}$
21. зв’язок між напруженістю і потенціалом електростатичного поля
$$\vec{E} = -grad\varphi;\ \ \varphi(\vec{r}_2) - \varphi(\vec{r}_1) = -\int\limits_{\vec{r}_1}^{\vec{r}_2} \vec{E}d\vec{l}$$

22. сила Лоренца $\vec{F} = q\vec{E} + q \cdot \vec{v} \times \vec{B}$
23. сила Ампера, що діє на
    - лінійний струм $\vec{F} = \int_{\ell} I \cdot d\vec{\ell} \times \vec{B}$
    - об'ємний струм $\vec{F} = \int_{V} \vec{j} \times \vec{B} \cdot dV$
24. принцип суперпозиції для магнітного поля $\vec{B} = \sum \vec{B}_i;$
25. магнітне поле точкового заряду ($V << c$) $\vec{B} = \frac{\mu_0 q}{4\pi} \cdot \frac{\vec{V} \times \vec{r}}{r^3}$
26. закон Біо – Савара – Лапласа для
    - лінійних струмів $\vec{B} = \int_{\ell} \frac{\mu_0 I}{4\pi} \cdot \frac{d\vec{\ell} \times \vec{r}}{r^3}$
    - об'ємних струмів $\vec{B} = \int_{V} \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{\vec{j} \times \vec{r}}{r^3} \cdot dV$
27. магнітне поле в центрі колового струму $B = \frac{\mu_0 I}{2R}$
28. магнітне поле прямого провідника $B = \frac{\mu_0 I}{4\pi r}(Cos\alpha - Cos\beta)$
29. магнітне поле прямого соленоїда $B = \mu\mu_0 nI;$
30. магнітне поле тороїдального соленоїда $B = \frac{\mu\mu_0 NI}{2\pi r}$
31. рівняння неперервності струмів $div\vec{j} + \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0$
32. струм зміщення $\vec{j}_{зм} = \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$

<u>Рівняння Максвела</u>:

33. електростатична теорема Гауса
    - $\oint_{s} \vec{D} d\vec{S} = \int_{V} \rho dV$
    - $div\vec{D} = \rho$
34. теорема про циркуляцію магнітного поля або закон повного струму
    - $\oint_{\ell} \vec{H} d\vec{l} = I_{полн};\ I_{полн} = \sum I_i = \int_{s} (\vec{j} + \vec{j}_{зм}) d\vec{S}$
    - $rot\vec{H} = \vec{j}$
35. умова соленоїдальності магнітного поля
    - $\oint_{s} \vec{B} d\vec{S} = 0$
    - $div\vec{B} = 0$
36. закон електромагнітної індукції Фарадея
    - $\oint_{\ell} \vec{E} d\vec{\ell} = -\int_{s} \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} d\vec{S}$
    - $rot\vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$

37. матеріальні рівняння

- $\vec{D} = \varepsilon\varepsilon_0\vec{E}$
- $\vec{B} = \mu\mu_0\vec{H}$

38. електричний дипольний момент $\vec{p} = q\vec{\ell}$

39. магнітній дипольний момент $\vec{p}_m = I\vec{S}$

40. момент сил, які діють на диполь у зовнішньому полі $\vec{M} = \vec{p}\times\vec{E}$

41. потенціальна енергія диполя у зовнішньому полі $W = -\vec{p}\vec{E}$

42. сила, що діє на диполь в неоднорідному полі $\vec{F} = p\dfrac{\partial\vec{E}}{\partial\ell}$

43. закон Ома для ділянки кола $I = \dfrac{U}{R}$

44. визначення електрорушійної сили $\mathcal{E} = \oint\limits_{\ell}\vec{E}_{стор}d\vec{\ell}$

45. закон Ома для замкнутого кола $I = \dfrac{\sum\mathcal{E}_i}{R+r}$

46. правила Кірхгофа для розгалужених кіл

- $\sum\limits_{i=1}^{N} I_i = 0$
- $\sum\limits_{i}\mathcal{E}_i = \sum\limits_{i} I_i R_i$

47. закон Ома в диференційній формі $\vec{j} = \sigma\vec{E};\ \sigma = \dfrac{1}{\rho}$

48. густина струму $\vec{j} = en\vec{V}$

49. опір при з’єднанні N резисторів

- послідовному $R_{посл} = \sum\limits_{i=1}^{N} R_i$
- паралельному $\dfrac{1}{R_{пар}} = \sum\limits_{i=1}^{N}\dfrac{1}{R_i}$

50. опір провідника $R = \rho\dfrac{l_{\parallel}}{S_{\perp}}$

51. теплова потужність струму - закон Джоуля $P = \dfrac{dQ}{dt} = I^2R;\ p = \dfrac{dP}{dV} = j^2\rho$

52. потужність електричного струму $P = \dfrac{dA}{dt} = UI;\ p = \dfrac{dP}{dV} = \vec{j}\vec{E}$

53. визначення коефіцієнта самоіндукції (потокозчеплення) $\Psi = LI$

54. визначення коефіцієнта взаємоіндукції $\Psi_2 = L_{12}I_1$

55. енергія магнітного поля провідника зі струмом $W = \dfrac{LI^2}{2}$

56. взаємна енергія двох струмів $W = L_{12}I_1I_2$

57. е.р.с. самоіндукції $\mathcal{E}_{si} = -L\dfrac{dI}{dt}$

58. робота по переміщенню провідника зі струмом у зовнішньому полі

$$A = I\Delta\Phi;\ (I = const)$$

59. закон Ома для змінного (квазістаціонарного) струму

$$I = \frac{U}{Z};\ I_m = \frac{U_m}{|Z|}$$

60. імпеданс (повний опір) $Z = R + i(\omega L - \frac{1}{\omega C})$

$$|Z| = \sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2}$$

61. потужність, що виділяється в колі змінного струму

$$P = U_д I_д Cos\varphi;\ tg\varphi = \frac{\omega L - 1/\omega C}{R}$$

62. енергія електромагнітного поля $W = \int\limits_V w dV;$

63. об'ємна густина енергії електромагнітного поля

$$w = w_E + w_B = \frac{1}{2}\vec{E}\vec{D} + \frac{1}{2}\vec{B}\vec{H};$$

64. вектор Пойтнтінга – поверхнева густина потоку енергії електромагнітного поля

$$\vec{S} = \vec{E} \times \vec{H}$$

65. фазова швидкість електромагнітної хвилі

$$V = \frac{c}{n};\ n = \sqrt{\varepsilon\mu};\ c = 1/\sqrt{\varepsilon_0\mu_0}$$

66. зв'язок між електричним і магнітним полем $\sqrt{\varepsilon\varepsilon_0}E = \sqrt{\mu\mu_0}H$

67. закон збереження енергії електромагнітного поля

$$\frac{dW}{dt} = -\int\limits_V j^2 \rho dV - \oint\limits_S \vec{E} \times \vec{H} d\vec{S}$$

68. частота власних коливань контуру $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$

69. частота згасаючих коливань контуру $\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}$

70. декремент (коефіцієнт) згасання $\beta = \frac{R}{2L}$

71. діючи значення напруги і сили струму (при гармонічному струмі)

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}};\ I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$$

Деякі математичні вирази, які необхідно знати.

72. $dS_{сф} = r^2 Sin\theta \cdot d\theta \cdot d\varphi$

73. $dV_{сф} = r^2 Sin\theta \cdot dr \cdot d\theta \cdot d\varphi$

74. $dV_{цил} = r \cdot dr \cdot d\varphi \cdot dz$

75. формули приблизного обчислення при *x«1*:

- $Sin x \approx x - \frac{x^3}{6}$

- $Cosx \approx 1 - \frac{x^2}{2}$
- $e^x \approx 1 + x$
- $\ln(1+x) \approx x$
- $(1 \pm x)^n \approx 1 \pm nx$

76. розкладання функції в степеневий ряд в точці $x=a$ (Тейлора)

$$f(x) = \sum_{i=0}^{n} C_n \cdot (x-a)^n,\ C_n = \frac{f^{(n)}(a)}{n!}$$

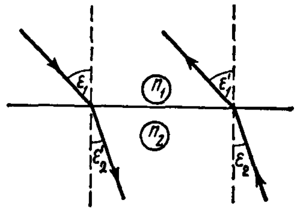
77. градієнт у різних системах координат:

- декартова: $grad\varphi = \vec{\nabla}\varphi = \frac{\partial\varphi}{\partial x}\vec{e}_x + \frac{\partial\varphi}{\partial y}\vec{e}_y + \frac{\partial\varphi}{\partial z}\vec{e}_z$
- циліндрична: $grad\varphi = \vec{\nabla}\varphi = \frac{\partial\varphi}{\partial r}\vec{e}_r + \frac{1}{r}\frac{\partial\varphi}{\partial\phi}\vec{e}_\phi + \frac{\partial\varphi}{\partial z}\vec{e}_z$
- сферична: $grad\varphi = \vec{\nabla}\varphi = \frac{\partial\varphi}{\partial r}\vec{e}_r + \frac{1}{r}\frac{\partial\varphi}{\partial\theta}\vec{e}_\theta + \frac{1}{r \cdot Sin\theta}\frac{\partial\varphi}{\partial\phi}\vec{e}_\phi$

78. дивергенція векторного поля $\vec{A}$ у різних системах координат:

- декартова: $div\vec{A} = \vec{\nabla} \cdot \vec{A} = \frac{\partial A_x}{\partial x} + \frac{\partial A_y}{\partial y} + \frac{\partial A_z}{\partial z}$
- циліндрична: $div\vec{A} = \vec{\nabla} \cdot \vec{A} = \frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}(rA_r) + \frac{1}{r}\frac{\partial A_\varphi}{\partial\varphi} + \frac{\partial A_z}{\partial z}$
- сферична: $div\vec{A} = \vec{\nabla} \cdot \vec{A} = \frac{1}{r^2}\frac{\partial}{\partial r}[A_r r^2] + \frac{1}{r \cdot Sin\theta}\frac{\partial}{\partial\theta}[A_\theta Sin\theta] + \frac{1}{r \cdot Sin\theta}\frac{\partial A_\varphi}{\partial\varphi}$

ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИКА



• Закон преломления света

$$\frac{\sin\varepsilon_1}{\sin\varepsilon_2'} = n_{21},$$

где ε_1 — угол падения; ε_2' — угол преломления; $n_{21}=n_2/n_1$ — относительный показатель преломления второй среды относительно первой; n_1 и n_2 — абсолютные показатели преломления соответственно первой и второй сред.

Нижние индексы в обозначениях углов указывают, в какой среде (первой или второй) идет луч. Если луч переходит из второй среды в первую, падая на поверхность раздела под углом $\varepsilon_2=\varepsilon_2'$, то по принципу обратимости световых лучей угол преломления ε_1' будет равен углу ε_1 (рис. 28.1).

• Предельный угол полного отражения при переходе света из среды более оптически плотной в среду менее оптически плотную

$$\varepsilon_{пр}= \arcsin(n_2/n_1)\ (n_2<n_1)$$

• Оптическая сила двух тонких сложенных вплотную линз

$$\Phi=\Phi_1+\Phi_2.$$

• Формула тонкой линзы

$$\frac{1}{f}=\frac{1}{a}+\frac{1}{b},$$

где a — расстояние от оптического центра линзы до предмета; b —расстояние от оптического центра линзы до изображения.

Если фокус мнимый (линза рассеивающая), то величина f отрицательна.

Если изображение мнимое, то величина b отрицательна.

ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ СВЕТА

• Скорость света в среде

$$v=c/n,$$

где c — скорость света в вакууме; n — абсолютный показатель преломления среды.

• Оптическая длина пути световой волны

$$L=nl,$$

где l — геометрическая длина пути световой волны в среде с показателем преломления n.

3. Оптическая разность хода двух световых волн

$$\Delta=L_1—L_2.$$

• Оптическая разность хода световых волн, отраженных от верхней и нижней поверхностей тонкой плоскопараллельной пластинки или пленки, находящейся в воздухе (рис. 30.1, *а),*

$$\Delta=2d\sqrt{n^2-\sin^2\varepsilon_1}+\lambda/2, \text{ или}$$

$$\Delta=2dn\cos\varepsilon_2' + \lambda/2, \text{ где}$$

d — толщина пластинки (пленки); ε_1 — угол падения; ε_2' — угол преломления.

Второе слагаемое в этих формулах учитывает изменение оптической длины пути световой волны на $\lambda/2$ при отражении ее от среды оптически более плотной.

В проходящем свете (рис. 30.1*)* отражение световой волны происходит от среды оптически менее плотной и дополнительной разности хода световых лучей не возникает.

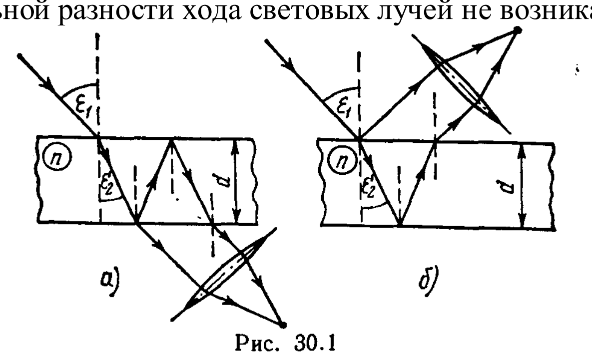


Рис. 30.1

• Связь разности фаз Δφ колебаний с оптической разностью хода волн

$$\Delta\varphi=2\pi\Delta/\lambda..$$

• Условие максимумов интенсивности света при интерференции

$$\Delta=\pm k\lambda\ (k=0,l,2,3,\ \ldots).$$

• Условие минимумов интенсивности света при интерференции

$$\Delta=\pm(2k+1)\ (\lambda/2).$$

• Радиусы светлых колец Ньютона в отраженном свете (или темных в проходящем)

$$r_k=\sqrt{(2k-1)R(\lambda/2)}\ .$$

где k — номер кольца (k=1, 2, 3, …); R — радиус кривизны поверхности линзы, соприкасающейся с плоскопараллельной стеклянной пластинкой.

Радиусы темных колец в отраженном свете (или светлых в проходящем)

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

ДИФРАКЦИЯ СВЕТА

• Дифракция света на одной щели при нормальном падении лучей. Условие минимумов интенсивности света

$$a\sin\varphi=\pm 2k\frac{\lambda}{2}=\pm k\lambda,\ k=1,2,3,\ldots,$$

где a — ширина щели; φ— угол дифракции; k — номер минимума;

λ — длина волны.

Условие максимумов интенсивности света

$$a\sin\varphi'=(2k+1)\frac{\lambda}{2},\ k=1,\ 2,\ 3,\ldots,$$

где φ' — приближенное значение угла дифракции.

• Дифракция света на дифракционной решетке при нормальном падении лучей. Условие главных максимумов интенсивности

$$d\ \sin\varphi=\pm k\lambda,\ k=0,1,2,3,\ldots,$$

где d — период (постоянная) решетки; k — номер главного максимума; φ —угол между нормалью к поверхности решетки и направлением дифрагированных волн.

• Разрешающая сила дифракционной решетки

$$R=\frac{\lambda}{\Delta\lambda}=kN,$$

где Δλ — наименьшая разность длин волн двух соседних спектральных линий (λ и λ+Δλ), при которой эти линии могут быть видны раздельно в спектре, полученном посредством данной решетки; N — число штрихов решетки; k — порядковый номер дифракционного максимума.

• Угловая дисперсия дифракционной решетки

$$D_\varphi=\frac{\delta\varphi}{\delta\lambda}=\frac{k}{d\cos\varphi},$$

линейная дисперсия дифракционной решетки

$$D_l=\frac{\delta l}{\delta\lambda}\cdot$$

Для малых углов дифракции

$$D_l\approx fD_\varphi\approx f\frac{k}{d},$$

где f — главное фокусное расстояние линзы, собирающей на экране дифрагирующие волны.

• формула Вульфа — Брэгга

$$2d\sin\vartheta=k\lambda,$$

где d — расстояние между атомными плоскостями кристалла; ϑ — угол скольжения (угол между направлением пучка параллельных лучей, падающих на кристалл, и гранью кристалла), определяющий направление, в котором имеет место зеркальное отражение лучей (дифракционный максимум).

ПОЛЯРИЗАЦИЯ СВЕТА

• Закон Брюстера

$$tg\ \varepsilon_B=n_{21},$$

где ε_B — угол падения, при котором отраженная световая волна полностью поляризована; n_{21} — относительный показатель преломления.

• Закон Малюса

$$I=I_0\cos^2\alpha,$$

где I — интенсивность плоскополяризованного света, прошедшего через анализатор; I_0 — интенсивность плоскополяризованного света, падающего на анализатор; α — угол между направлением колебаний светового вектора волны, падающей на анализатор, и плоскостью пропускания анализатора.

• Степень поляризации света

$$P=\frac{I_{\max}-I_{\min}}{I_{\max}+I_{\min}},$$

где I_{max} и I_{min} — максимальная и минимальная интенсивности частично поляризованного света, пропускаемого анализатором.

• Угол поворота φ плоскости поляризации оптически активными веществами определяется соотношениями:

а) в твердых телах

$$\varphi=\alpha d,$$

где α — постоянная вращения; d — длина пути, пройденного светом в оптически активном веществе;

б) в чистых жидкостях

$$\varphi=[\alpha]\rho d,$$

где [α] — удельное вращение; ρ — плотность жидкости;

в) в растворах

$$\varphi=[\alpha]Cd,$$

где C — массовая концентрация оптически активного вещества в растворе.

АТОМ ВОДОРОДА ПО ТЕОРИИ БОРА.

• Момент импульса электрона на стационарных орбитах $L=mvr = n\hbar$ $(n=1,2,3,\ldots)$, где m — масса электрона; r — радиус орбиты; v — скорость

$$E_n = -\frac{me^4}{32\pi^2\varepsilon_0^2 h'^2 n^2}$$

электрона на орбите; n — главное квантовое число; $\hbar$ — постоянная Планка.

• Сериальная формула, определяющая длину волны λ или частоту υ света, излучаемого или поглощаемого атомом водорода при переходе из одного стационарного состояния в другое,

$$\frac{1}{\lambda} = R'\left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right) \qquad v = R\left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right)$$

где R' и R — постоянная Ридберга; n_1 и n_2 — целые числа; n_1— номер серии спектральных линий ($n_1=1$ — серия Лаймана, $n_2=2$ — серия Бальмера, $n_1=3$ — серия Пашена и т.д.).

• Энергия фотона, испускаемого водородоподобным атомом при переходе из одного стационарного состояния в другое,

$$E_{ij} = \hbar R Z^2\left(\frac{1}{n_i^2} - \frac{1}{n_j^2}\right)$$

где $\hbar R=13{,}6$ *эВ*.

РАДИОАКТИВНОСТЬ.

Основной закон радиоактивного распада

$$N=N_0e^{-\lambda t}$$

где N — число не распавшихся атомов в момент времени t; N_0— число не распавшихся атомов в момент, принятый за начальный (при $t=0$); λ — постоянная радиоактивного распада.

Период полураспада $T_{1/2}$ — промежуток времени, за который число не распавшихся атомов уменьшается в два раза. Период полураспада связан с постоянной распада соотношением

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

Число атомов, распавшихся за время t,

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

Среднее время жизни т радиоактивного ядра — промежуток времени, за который число нераспавшихся ядер уменьшается в е раз:

$$\tau = 1/\lambda$$

Число атомов, содержащихся в радиоактивном изотопе,

$$N = (m/M)\cdot N_A$$

где m — масса изотопа; M — его молярная масса; N_A — постоянная Авогадро.

Активность A нуклида в радиоактивном источнике (активность изотопа) есть величина, равная отношению числа dN ядер, распавшихся в изотопе, к промежутку времени dt, за которое произошел распад. Активность определяется по формуле

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

или после замены N по основному закону радиоактивного распада

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

Активность изотопа в начальный момент времени $(t=0)$

$$A_0 = \lambda N_0\ .$$

Активность изотопа изменяется со временем по тому же закону, что и число нераспавшихся ядер:

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

ДЕФЕКТ МАССЫ И ЭНЕРГИЯ СВЯЗИ АТОМНЫХ ЯДЕР

Согласно релятивистской механике, масса покоя m устойчивой системы взаимосвязанных частиц меньше суммы масс покоя $m_1+ m_2+\ldots+m_k$ тех же частиц, взятых в свободном состоянии.

Разность

$$\Delta m=(m_1+ m_2+...+ m_k)—m$$

называется дефектом массы системы частиц.

• Энергия связи прямо пропорциональна дефекту массы системы частиц:

$$E_{св}=c^2\Delta m,$$

где c—скорость света в вакууме

Если энергия выражена в мегаэлектрон-вольтах, а масса в атомных единицах, то

$$c^2=931{,}5\ МэВ/а.\ е.\ м.$$

• Дефект массы Δm атомного ядра есть разность между суммой масс свободных протонов и нейтронов и массой образовавшегося из них ядра:

$$\Delta m = (Zm_p + Nm_n)-m_я,$$

где Z—зарядовое число (число протонов в ядре); m_p и m_n—массы протона и нейтрона соответственно; $m_я$ — масса ядра.

Если учесть, что

$$m_я = m_a - Z\, m_e; \qquad m_p+ m_e= m_{{}^1_1H}; \qquad N = (A-Z),$$

то формулу дефекта массы ядра можно представить в виде

$$\Delta m=Zm_{{}^1_1H} + (A—Z)m_n - m_a,$$

где A—массовое число (число нуклонов в ядре).

• Удельная энергия связи (энергия связи на нуклон)

$$E_{уд} = E_{св} / A.$$

<u>ЯДЕРНЫЕ РЕАКЦИИ.</u>

• Символическая запись ядерной реакции может быть дана или в развернутом виде, например

$${}^9_4Be + {}^1_1H \to {}^4_2He + {}^6_3Li$$

или сокращенно

$${}^9Be(p,\alpha){}^6Li.$$

При сокращенной записи порядковый номер атома не пишут, так как он определяется химическим символом атома. В скобках на первом месте ставят обозначение бомбардирующей частицы, на втором — частицы, вылетающей из составного ядра, и за скобками — химической символ ядра-продукта.

Для обозначения частиц приняты следующие символы: p — протон, n — нейтрон, d — дейтерий, t — тритерий, α — альфа-частица, γ — *гамма-фотон.*

• Законы сохранения:

а) числа нуклонов $A_1+A_2=A_3+A_4$;

б) заряда $Z_1+Z_2=Z_3+Z_4$

в) релятивистской полной энергии $E_1+E_2=E_3+E_4$

г) импульса $\mathbf{p_1+p_2=p_3+p_4}$.

Если общее число ядер и частиц, образовавшихся в результате реакции, больше двух, то запись соответственно дополняется.

• Энергия ядерной реакции

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

где m_1и m_2— массы покоя ядра-мишени и бомбардирующей частицы; m_3+m_4— сумма масс покоя ядер продуктов реакции.

Если $m_1+m_2>m_3+m_4$, то энергия освобождается, энергетический эффект положителен, реакция экзотермическая.

Если $m_1+m_2<m_3+m_4$ то энергия поглощается, энергетический эффект отрицателен, реакция эндотермическая.

Энергия ядерной реакции может быть записана также в виде

$$Q = (T_1+T_2) – (T_3+T_4),$$

где T_1 и T_2 — кинетические энергии соответственно ядра-мишени и бомбардирующей частицы; T_3 и T_4 — кинетические энергии вылетающей частицы и ядра — продукта реакции.

При экзотермической реакции $T_3+T_4>T_1+T_2$ при эндотермической реакции $T_3+T_4<T_1+T_2$.