



Структура и содержание механики

ОСНОВАНИЕ

Понятия: механическое движение; макроскопическое тело; механическое состояние; материальная точка; системы отсчета (инерциальные и неинерциальные); взаимодействие; виды движения; основные механические величины

ЯДРО

Принципы: дальности; суперпозиции; относительности; симметрии; сохранения

Законы Ньютона

Законы для сил: всемирного тяготения; упругости; сухого и жидкого трения

Законы сохранения: энергии; импульса; момента импульса

СЛЕДСТВИЕ

Основные характеристики:

- поступательного движения;
- вращательного движения;
- колебательного движения

Объяснение явлений природы и техники:

равновесия тел, невесомости, подъемной силы крыла самолета, реактивного движения и др.

Использование колебательного и вращательного движения в технике

Структура и содержание кинематики

КИНЕМАТИКА

Что изучает?

Средства описания

Виды движения

Прямолинейное

Равномерное

Неравномерное

Равноускоренное

С переменным ускорением

Криволинейное

Равномерное движение по окружности

Ускоренное движение по окружности

Вращательное

Равномерное вращение

Вращение с ускорением

Колебательное

Гармонические колебания

Негармонические колебания

Основные понятия: материальная точка; механическое движение; системы отсчета; координата, перемещение; скорость, ускорение; период, частота; амплитуда, фаза; угловая скорость; угловое ускорение; циклическая частота

Законы движения:

$$\vec{v} = \text{const}, x = x_0 + v_x t$$

$$\vec{a} = \text{const}$$

$$v_x = v_{0x} + a_x t$$

$$x = x_0 + v_{0x} t + \frac{a_x t^2}{2}$$

Численные методы расчета

$$a_{\text{ис}} = \frac{v^2}{R} = 4\pi^2 v^2 R = \frac{4\pi^2 R}{T^2}$$

$$a = \sqrt{a_{\text{ис}}^2 + a_{\text{к}}^2}$$

$$\begin{cases} \omega = \phi' \\ v = \omega R \end{cases}$$

$$\begin{cases} \varepsilon = \omega' = \phi'' \\ a = \varepsilon R \end{cases}$$

$$\begin{cases} a_x = -\omega^2 x \\ x = x_m \cos(\omega t + \phi) \end{cases}$$

Численные методы расчета

Силы в механике

Название силы	Природа взаимодействия	Формула для расчета силы	Зависимость силы от расстояния или относительной скорости	Зависит ли сила от массы взаимодействующих тел	Как направлена сила	Сохраняет ли сила свое значение при переходе из одной инерциальной системы в другую	Каковы условия применимости формулы
Сила тяготения	Гравитационная	$F_T = G \frac{mM}{R^2}$	Является функцией расстояния между взаимодействующими телами	Прямо пропорциональна массам взаимодействующих тел	Вдоль прямой, соединяющей взаимодействующие тела	Сохраняет, так как расстояние R не изменяется	Материальные точки или сферически симметричные шары
Сила упругости	Электромагнитная	$F_X = -kx$	Является функцией расстояния (зависит от деформации)	Не зависит	Противоположно направлению перемещения частиц при деформации	Сохраняет, так как деформация x не изменяется	Достаточно малая величина деформации x
Сила трения а) сухого б) жидкого	Электромагнитная	$F_{\text{тр}} = \mu N$ $F_{\text{сопр}} = \alpha v_{\text{отн}}$ $F_{\text{сопр}} = \beta v_{\text{отн}}^2$	Является функцией скорости относительного движения $\vec{v}_{\text{отн}}$	Не зависит	Противоположно направлению вектора скорости $\vec{v}_{\text{отн}}$	Сохраняет, так как модуль относительной скорости $\vec{v}_{\text{отн}}$ не изменяется	Формула $F_{\text{тр}} = \mu N$ выполняется приближенно, так как сила сухого трения зависит от скорости. При жидком трении до определенной скорости выполняется формула $F_{\text{сопр}} = \alpha v_{\text{отн}}$ и затем $F_{\text{сопр}} = \beta v_{\text{отн}}^2$

Графики движений

	Равномерное движение		Равноускоренное движение	
	Формула	График	Формула	График
Скорость	$\vec{v} = \frac{\vec{s}}{t}$		$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a}t$	$\vec{a} \uparrow \uparrow \vec{v}_0$
				$\vec{a} \downarrow \downarrow \vec{v}_0$
Ускорение	$\vec{a} = \vec{0}$		$\vec{a} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{t}$	$\vec{a} \uparrow \uparrow \vec{v}_0$
				$\vec{a} \downarrow \downarrow \vec{v}_0$
Перемещение	$\vec{s} = \vec{v}t$		$\vec{s} = \vec{v}_0 t + \frac{\vec{a}t^2}{2}$	$\vec{a} \uparrow \uparrow \vec{v}_0$
				$\vec{a} \downarrow \downarrow \vec{v}_0$
Координата	$x = x_0 + v_x t$		$x = x_0 + v_0 t + \frac{a_x t^2}{2}$	$\vec{a} \uparrow \uparrow \vec{v}_0$
				$\vec{a} \downarrow \downarrow \vec{v}_0$

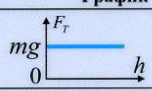
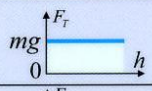
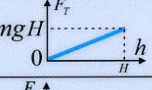
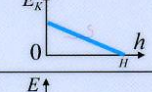
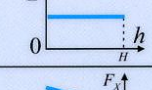
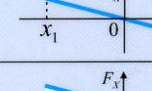
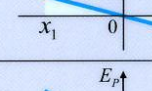
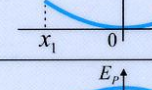
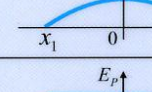
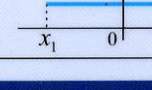
Движение с ускорением

Вид движения	Равноускоренное прямолинейное движение	Равномерное движение по окружности
Взаимное направление скорости и ускорения	По одной прямой (в одну или противоположные стороны)	Под прямым углом друг к другу
Постоянно ли ускорение: а) по модулю б) по направлению	а) постоянно б) постоянно	а) постоянно б) изменяется
Формула скорости	$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a}t$	$v = \frac{2\pi R}{T}$
Формула ускорения	$\vec{a} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{t}$	$a = \frac{v^2}{R} = \frac{4\pi^2}{T^2} R = 4\pi^2 v^2 R$
Формула координаты	$x = x_0 + v_0 t + \frac{a_x t^2}{2}$	$x = R \sin \frac{2\pi}{T} t$ $y = R \cos \frac{2\pi}{T} t$

Законы Ньютона

	Первый закон	Второй закон	Третий закон
Физическая система	Макроскопическое тело		Система двух тел
Модель	Материальная точка		Система двух материальных точек
Описываемое явление	Состояние покоя или равномерного прямолинейного движения	Движение с ускорением	Взаимодействие тел
Суть закона	Постулирует существование инерциальной системы отсчета (если $\sum \vec{F} = \vec{0}$, то $\vec{v} = \text{const}$)	Взаимодействие определяет изменение скорости, т.е. ускорение $\vec{a} = \frac{\sum \vec{F}}{m}$	Силы действия и противодействия равны по модулю. Противоположны по направлению, приложены к разным телам, одной природы $\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$
Примеры проявления	Движение космического корабля вдали от притягивающих тел	Движение планет, падение тел на Землю, торможение и разгон автомобиля	Взаимодействие тел: Солнца и Земли, Земли и Луны, автомобиля и поверхности Земли, бильярдных шаров
Границы применимости	Инерциальные системы отсчета Макро- и мегамир Движение со скоростями, много меньшими скорости света		

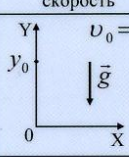
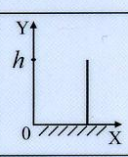
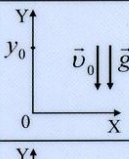
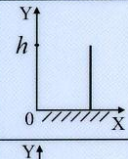
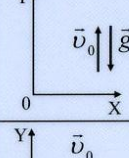
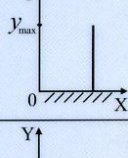
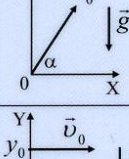
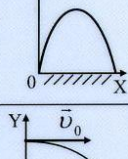
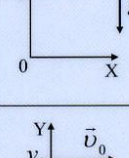
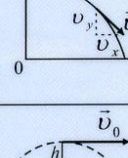
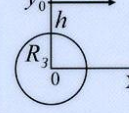
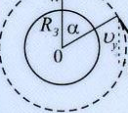
Сила, работа, энергия

	Формула	График
Тело брошено вертикально вверх	Сила тяжести $F_T = mg$	
	Работа силы тяжести $A = FS \cos \alpha$; $F = mg$; $S = h$ $\alpha = 0$; $A = mgh$	
	Потенциальная энергия $E_P = mgh$	
	Кинетическая энергия $E_K = \frac{mv^2}{2} = mg(H - h)$	
	Полная энергия $E = mgh + \frac{mv^2}{2} = mgH$	
Тело колеблется под действием силы упругости	Сила упругости $F_X = -kx$	
	Работа силы упругости $A = \frac{kx_1}{2}x_1 - \frac{kx_2}{2}x_2$	
	Потенциальная энергия $E_P = \frac{kx^2}{2}$	
	Кинетическая энергия $E_K = \frac{mv^2}{2} = \frac{k}{2}(x_1^2 - x_2^2)$	
	Полная энергия $E = \frac{kx^2}{2} + \frac{mv^2}{2} = \frac{kx_1^2}{2}$	

Законы сохранения в механике

Закон сохранения	Какова математическая запись закона	В каких системах выполняется закон	Требования к внешним силам, действующим на систему	Внутренние силы, действующие в системе тел	Известны ли случаи нарушения законов сохранения
Закон сохранения импульса	$\sum m\vec{v} = \text{const}$ $\begin{cases} \sum mv_x = \text{const} \\ \sum mv_y = \text{const} \\ \sum mv_z = \text{const} \end{cases}$	В инерциальных	$\sum \vec{F} = 0$	Любые	Нет
Закон сохранения энергии	$E_K + E_P = \text{const}$ $\begin{cases} \frac{mv^2}{2} + mgh = \text{const} \\ \frac{mv^2}{2} + \frac{kx^2}{2} = \text{const} \end{cases}$	В инерциальных	$\sum A = 0$	Консервативные (потенциальные) силы тяготения силы упругости	Нет
Закон сохранения момента импульса	$\vec{L} = \text{const}$ $I\omega = \text{const}$ $mvr = \text{const}$	В инерциальных	$\sum M = 0$	Любыми	Нет

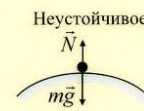
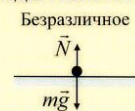
Движение тел под действием силы тяжести

Начальные условия		Описание движения	
начальная координата	начальная скорость	формулы	траектория
$y_0 = h$		$v = -gt$ $y = h - \frac{gt^2}{2}$	
$y_0 = h$		$v = -v_0 - gt$ $y = h - v_0t - \frac{gt^2}{2}$	
$y_0 = 0$		$v = v_0 - gt$ $y = v_0t - \frac{gt^2}{2}$	
$y_0 = 0$		$v_x = v_0 \cos \alpha$ $v_y = v_0 \sin \alpha - gt$ $x = v_0t \cos \alpha$ $y = v_0t \sin \alpha - \frac{gt^2}{2}$	
$y_0 = h$		$v_x = v_0$ $v_y = -gt$ $x = v_0t$ $y = h - \frac{gt^2}{2}$	
$y_0 = R_3 + h$ $x_0 = 0$ $v_0 = 8 \text{ км/с}$		$v_x = v_0 \cos \alpha$ $v_y = v_0 \sin \alpha$ $x = (R_3 + h) \sin \frac{2\pi}{T}t$ $y = (R_3 + h) \cos \frac{2\pi}{T}t$	

Статика

Изучает условия равновесия твердых тел

ВИДЫ РАВНОВЕСИЯ

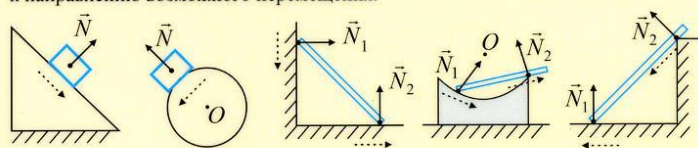


СРЕДСТВА ОПИСАНИЯ

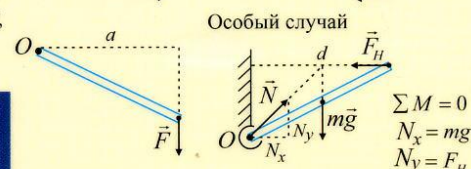
Модель тела в статике – абсолютно твердое тело.

Связь – препятствие движению тела: поверхность, веревка и т.д.

Реакции связи – сила, действующая на тело со стороны связи, по нормали к направлению возможного перемещения.



Момент силы – $M = \pm Fd$, где d – плечо силы



$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \dots = \vec{0}$ – первое условие равновесия тела
 $\vec{M}_1 + \vec{M}_2 + \vec{M}_3 + \dots = 0$ – второе условие равновесия тела

Принцип минимума потенциальной энергии

Устойчиво то положение тела, в котором его потенциальная энергия имеет наименьшее значение из всех возможных

Информационно-таблица
тел.: (095) 230-
факс: (095) 230-
E-mail: mail@infoplast.ru
Http://www.infoplast.ru





Структура и содержание молекулярно-кинетической теории



Структура и содержание термодинамики



Изопроцессы

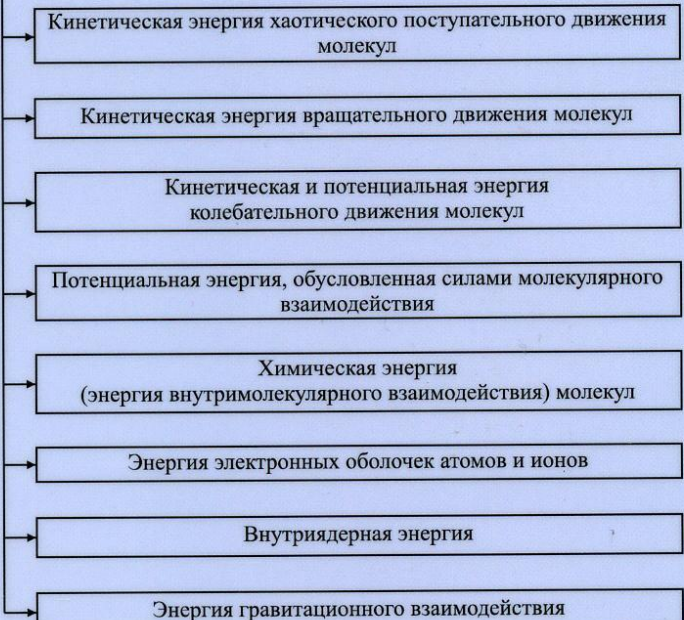
Процессы	Система координат		
	$p - V$	$p - T$	$V - T$
Изотермический $T = \text{const}$			
Изобарный $p = \text{const}$			
Изохорный $V = \text{const}$			
Цикл 1			
Цикл 2			

Термический коэффициент полезного действия (КПД) для кругового процесса (цикла)

$$\eta = \frac{A}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$$

Внутренняя энергия тел

Внутренняя энергия тел



Способы изменения внутренней энергии тела



Применение первого начала термодинамики к различным газовым процессам

Название процесса	Математическое выражение процесса	Изменение объема (ΔV)	Получение количества теплоты (Q)	Совершение работы (A)	Изменение внутренней энергии (ΔU)	Изменение температуры (ΔT)	Молярная теплоемкость ($\frac{\Delta U}{\Delta T}$)	Выражение первого начала термодинамики	Графики зависимости $p(V)$
Адиабатный	$pV^\gamma = \text{const}$	>0	0	>0	<0	<0	0	$A' = \Delta U$	
		<0	0	<0	>0	>0			
Изохорный	$\frac{p}{T} = \text{const}$	0	>0	0	>0	>0	$\frac{3}{2}R$	$Q = \Delta U$	
		0	<0	0	<0	<0			
Изотермический	$pV = \text{const}$	>0	>0	>0	0	0	∞	$Q = -A'$	
		<0	<0	<0	0	0			
Изобарный	$\frac{V}{T} = \text{const}$	>0	>0	>0	>0	>0	$\frac{5}{2}R$	$Q = \Delta U + A'$	
		<0	<0	<0	<0	<0			

Идеальный газ

Статистический метод

Газ – система микрочастиц Модель – идеальный газ

Основные величины

Масса молекулы m
 Концентрация молекул n
 Средняя квадратичная скорость $\bar{v}$
 Средняя кинетическая энергия молекул E
 Число молей ν
 Молярная масса M
 Постоянная Больцмана k

Термодинамический метод

Газ – макроскопическая система Модель – термодинамическая система

Основные величины

Масса газа m
 Давление p
 Объем V
 Температура T
 Плотность ρ
 Внутренняя энергия U
 Молярная теплоемкость C
 Универсальная газовая постоянная R

Связь между основными величинами статистической механики и термодинамики

$$p = \frac{1}{3}nm\bar{v}^2 = \frac{1}{3}\rho\bar{v}^2 = \frac{2}{3}nE = nkT$$

$$\sqrt{\bar{v}^2} = \sqrt{3k\frac{T}{m}} = \sqrt{3R\frac{T}{M}}$$

$$pV = \nu RT = \frac{m}{M}RT$$

$$U = \frac{3}{2}\nu RT$$

$$\Delta U = \frac{3}{2}\nu R\Delta T = \frac{3}{2}\Delta(pV)$$

$$C_V = \frac{3}{2}R, C_p = \frac{5}{2}R, C_p - C_V = R$$

Симметрия при типизации кристаллических твердых тел

Тип кристалла	Центры симметрии (частицы, образующие решетку)	Силы взаимодействия в кристалле	Основные свойства	Примеры кристаллов
Молекулярный	Молекулы	Ван-дер-Ваальса, диполь-дипольные, водородные связи	Низкая температура плавления Низкая твердость	Нафталин
Металлический	Положительные ионы	Электромагнитные (между электронным газом и положительными ионами)	Высокая электро- и теплопроводность	Металлы
Ковалентный	Атомы или группы атомов	Ковалентные связи	Очень высокая температура плавления. Очень большая твердость	Алмаз, кремний
Ионный	Ионы (положительные и отрицательные)	Электромагнитные (между ионами)	Высокая температура плавления. Хрупкость	Поваренная соль

Относительная влажность воздуха

$$\varphi = \frac{p}{p_n} 100\%$$

Точка росы – температура, при которой пар переходит в состояние насыщения.

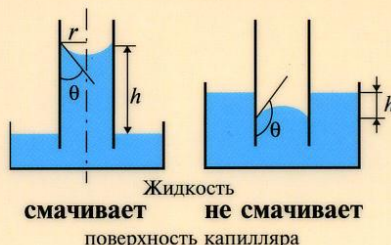
Поверхностное натяжение

$$\sigma = \frac{F}{l}$$

Капиллярность

Высота подъема жидкости в капиллярной трубке

$$h = \frac{2\sigma \cos \theta}{\rho g r}$$



Информационно-справочная таблица

© ООО «ИнфоПласт», 2004
 г. Москва, Каширское шоссе, 21

E-mail: mail@infoplast.ru
 Http://www.infoplast.ru

Тел.: (095) 320-94-89
 Факс: (095) 320-94-88





Структура и содержание классической электродинамики

ОСНОВАНИЕ

ЯДРО

СЛЕДСТВИЕ

ЭМПИРИЧЕСКИЙ БАЗИС

Опыты Кулона, Эрстеда, Ампера, Ома, Фарадея, Милликена – Иоффе, Мандельштама – Папалекси

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ БАЗИС

Идеализированные объекты: электрический заряд, электрическое поле, магнитное поле, вещество – система заряженных частиц, взаимодействие посредством полей

Основные понятия: $q, E, B, C, L, R, \varepsilon, \mu, c$

Основные идеи: взаимодействия, сохранения, относительности, близкодействия

Уравнения Максвелла. Электронная теория

Константы: $\varepsilon_0, \mu_0, c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}}$

Законы электростатического поля

Законы стационарного электрического поля (постоянный ток)

Законы магнитного поля

Законы электромагнитного поля

(закон электромагнитной индукции, переменный ток)

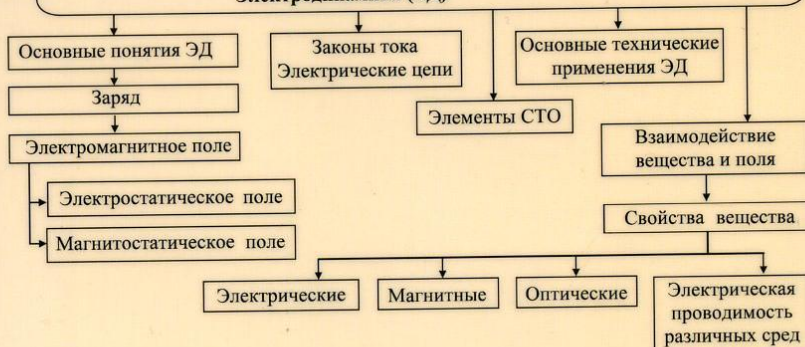
Электрические и магнитные свойства вещества

Теория электромагнитного поля

ПРИМЕНЕНИЯ

Электротехника. Радиотехника. Электроника. Энергетика

Электродинамика (ЭД)



Сравнительные свойства гравитационного и электростатического полей

Основные характеристики	Виды полей	
	гравитационное	электростатическое
Объекты взаимодействия	Все тела и частицы	Заряженные тела и частицы
Формулы силы	$F = G \frac{m_1 m_2}{R^2}$	$F = k \frac{ q_1 q_2 }{r^2}$
Напряженность	$\vec{g} = \frac{\vec{F}}{m}$	$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$
Разность потенциалов	$\varphi_2 - \varphi_1 = g(h_1 - h_2)$	$\varphi_2 - \varphi_1 = E(d_2 - d_1)$
Работа по перемещению тела или заряда	$A = mg(h_1 - h_2)$ $A = mgh$	$A = q(\varphi_1 - \varphi_2)$ $A = qEd$
Работа по замкнутой траектории	$A=0$	$A=0$

Соединение элементов электрической цепи постоянного тока

№№	Схема электрической цепи	Закон Ома
1		$I = \frac{U_{ab}}{R}$
2		$I = \frac{U_{ab}}{R_1 + R_2}$
3		$I = \frac{U_{ab}}{\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}}$
4		$I = \frac{\varepsilon}{R + r}$
5		$I = \frac{n\varepsilon}{R + nr}$
6		$I = \frac{\varepsilon}{R + \frac{r}{n}}$
7		$I = \frac{\varepsilon - U_{ab}}{r}$

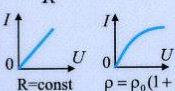
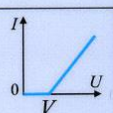
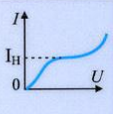
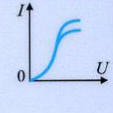
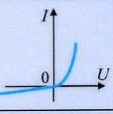
Соединение элементов электрической цепи переменного тока

№№	Схема электрической цепи	Зависимость силы тока от частоты
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		

Электромеханическая аналогия

Поступательное движение	Вращательное движение	Электромагнитные величины
Смещение x	Угловое смещение α	Заряд q
Скорость x'	Угловая скорость α'	Сила тока q'
Ускорение x''	Угловое ускорение α''	Скорость изменения тока q''
Масса m	Момент инерции I	Индуктивность L
Жесткость при растяжении k	Жесткость при кручении k	Величина, обратная электроемкости $\frac{1}{C}$
Сила F	Момент силы M	Напряжение U
Коэффициент жидкого трения r	Коэффициент жидкого трения r	Сопротивление R
Импульс mv	Момент импульса $I\omega$	Поток магнитной индукции Li
Работа $dA = Fx' dt$	Работа $dA = M\alpha' dt$	Работа $dA = Uq' dt$
Мощность $P = Fx'$	Мощность $P = M\alpha'$	Мощность $P = Uq'$
Кинетическая энергия $\frac{m x'^2}{2}$	Кинетическая энергия $\frac{I \alpha'^2}{2}$	Энергия магнитного поля $\frac{L q'^2}{2}$
Потенциальная энергия $\frac{k x^2}{2}$	Потенциальная энергия $\frac{k \alpha^2}{2}$	Энергия электрического поля $\frac{q^2}{2C}$
Период свободных колебаний $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$	Период свободных колебаний $T = 2\pi\sqrt{\frac{I}{k}}$	Период свободных колебаний $T = 2\pi\sqrt{LC}$
Волновое сопротивление $\rho = \sqrt{km}$	Волновое сопротивление $\rho = \sqrt{kI}$	Волновое сопротивление $\rho = \sqrt{\frac{L}{C}}$

Электрический ток в средах

Среда	Носители зарядов	Основные законы Вольт-амперные характеристики	Технические применения
Металлы	Свободные электроны	$I = \frac{U}{R}, I = nevS$ $R = \rho \frac{l}{S}, \rho = \rho_0(1 + \alpha t)$ 	Электротехника
Электролиты	Положительные и отрицательные ионы	$m = kIt = \frac{1}{N_A e} \frac{M}{n} It$ $I = \frac{U - V}{r}$, где V – потенциал поляризации электрода 	Гальванопластика, рафинирование металлов, электрометаллургия, полировка, травление
Газы	Электроны, положительные и отрицательные ионы	$qEI = \frac{mv^2}{2} \geq W_K$ I_H – зависит от интенсивности ионизатора 	Тлеющий разряд: рекламные трубки, люминесцентные лампы. Искра: искровая обработка материалов. Дуга: сварка, резка, плавка. Коронный разряд: очистка газов от примесей
Вакуум	Любые заряженные частицы, индуцируемые в вакуум (чаще электроны)	$\frac{mv^2}{2} \geq A_{вых}$ 	Выпрямители, усилители, генераторы, электронно-лучевые трубки (осциллографы, телевизоры)
Полупроводники	Свободные электроны, связанные электроны (дырки)	$I = I_C + I_D$ 	Электроника

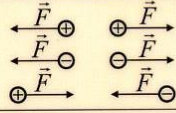
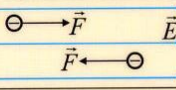
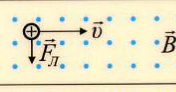
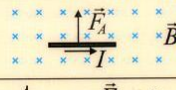
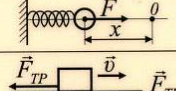
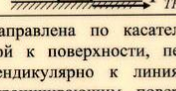
Электроэнергетика



Сопоставление электрических и магнитных полей

Электрические поля		Магнитные поля	
наименование	формулы	наименование	формулы
Точечный заряд	q	Сила тока, элемент тока	$I, I\Delta L$
Взаимодействие зарядов	$ F = k \frac{ q_1 q_2 }{r^2}$	Взаимодействие токов	$F = k' \frac{I_1 I_2 \Delta L}{r}$
Закон Кулона	$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$	Закон Ампера	$k' = \frac{\mu}{2\pi}$
Электрическая постоянная	ϵ_0	Магнитная постоянная	μ_0
Силовая характеристика электрического поля – напряженность	$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$	Силовая характеристика магнитного поля – индукция	$B = \frac{F}{I\Delta L}$
Суперпозиция электрических полей	$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots + \vec{E}_n$	Суперпозиция магнитных полей	$\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 + \dots + \vec{B}_n$
Линии напряженности		Линии магнитной индукции	
Поле точечного заряда, заряженной плоскости, плоского конденсатора	$E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2}$ $E = \frac{q}{2\epsilon_0 S}$ $E = \frac{q}{\epsilon_0 S}$	Поле прямого тока, кольцевого тока, соленоида	$B = \mu_0 \frac{I}{2\pi R}$ $B = \mu_0 \frac{I}{2R}$ $B = \mu_0 nI$
Однородное электрическое поле	$\vec{E} = \text{const}$	Однородное магнитное поле	$\vec{B} = \text{const}$
Сила, действующая на точечный заряд	$\vec{F} = \vec{E}q$	Сила, действующая на элемент тока, сила, действующая на движущийся заряд	$F = BI\Delta L \sin \alpha$ $F = q vB \sin \alpha$
Электроемкость конденсатора	$C = \frac{q}{U}$	Индуктивность катушки	$L = \frac{\Phi}{I}$
Энергия заряженного конденсатора	$W = \frac{CU^2}{2}$	Энергия катушки с током	$W = \frac{LI^2}{2}$
Диэлектрическая проницаемость	$\epsilon = \frac{E_0}{E}$	Магнитная проницаемость	$\mu = \frac{B}{B_0}$

Силы электромагнитной природы

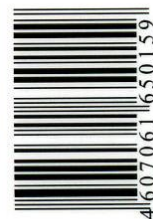
	Название силы	Что описывает сила	Математическое выражение	Направление силы
Фундаментальные силы	Сила Кулона (электростатическая)	Электростатическое взаимодействие электрических зарядов	$ F = \frac{ q_1 q_2 }{4\pi\epsilon_0 \epsilon r^2}$	
	Электрическая сила	Действие электрического поля на точечный электрический заряд	$\vec{F} = q\vec{E}$	
	Сила Лоренца	Действие магнитного поля на движущийся электрический заряд	$F_L = q Bv \sin \alpha$	
	Сила Ампера	Действие магнитного поля на проводник с током	$F_A = BIl \sin \alpha$	
Молекулярные силы	Сила упругости	Взаимодействие деформированных тел	$F_x = -kx$	
	Сила трения	Взаимодействие трущихся тел	$F_{тр} = \mu N$	
	Сила поверхностного натяжения	Взаимодействие молекул на границе среды	$F = \sigma l$	Направлена по касательной к поверхности, перпендикулярно к линиям, ограничивающим поверхность



Информационная

E-mail: mail@info.
http://www.info.

Тел.: (095) 320-94-89
Факс: (095) 320-94-88





ОПТИКА — раздел физики, изучающий свойства и физическую природу света, а также его взаимодействие с веществом.

ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ ИЛИ ЛУЧЕВАЯ ОПТИКА, в основе лежит представление о световых лучах.

ВОЛНОВАЯ ОПТИКА, изучает явления, в которых проявляются волновые свойства света.

КВАНТОВАЯ ОПТИКА, изучает взаимодействие света с веществом, при котором проявляются корпускулярные свойства света.

1.1. Основные законы геометрической оптики

Закон прямолинейного распространения света: в оптически однородной среде свет распространяется прямолинейно.

Закон отражения света: падающий и отраженный лучи, а также перпендикуляр к границе раздела двух сред, восстановленный в точке падения луча, лежат в одной плоскости (**плоскость падения**). Угол отражения γ равен углу падения α .

Закон преломления света: падающий и преломленный лучи, а также перпендикуляр к границе раздела двух сред, восстановленный в точке падения луча, лежат в одной плоскости. Отношение синуса угла падения α к синусу угла преломления β есть величина, постоянная для двух данных сред:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n$$

Постоянную величину n называют **относительным показателем преломления** второй среды относительно первой. Показатель преломления среды относительно вакуума называют **абсолютным показателем преломления**.

Относительный показатель преломления двух сред равен отношению их абсолютных показателей преломления:

$$n = \frac{n_2}{n_1}$$

Преломление является следствием изменения скорости распространения волн при переходе из одной среды в другую. Физический смысл показателя преломления — это отношение скорости распространения волн в первой среде v_1 к скорости их распространения во второй среде v_2 :

$$n = \frac{v_1}{v_2}$$

Абсолютный показатель преломления равен отношению скорости света c в вакууме к скорости света v в среде:

$$n = \frac{c}{v}$$

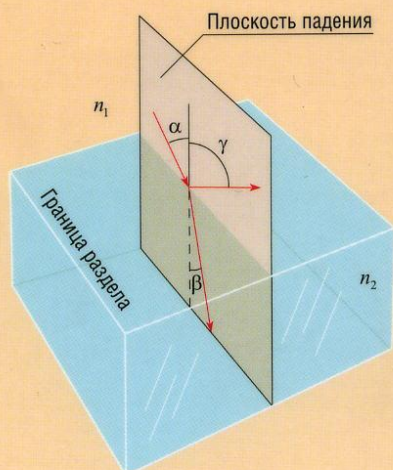


Рисунок 1.1. Законы отражения и преломления: $\gamma = \alpha$; $n_1 \sin \alpha = n_2 \sin \beta$.

Среду с меньшим абсолютным показателем преломления называют оптически менее плотной.

При переходе света из оптически более плотной среды в оптически менее плотную $n_2 < n_1$ (например, из стекла в воздух) можно наблюдать явление **полного отражения**, то есть исчезновение преломленного луча. Это явление наблюдается при углах падения, превышающих некоторый критический угол $\alpha_{\text{кр}}$, который называется **предельным углом полного внутреннего отражения** (см. рис. 1.2).

Для угла падения $\alpha = \alpha_{\text{кр}}$ $\sin \beta = 1$ значение $\sin \alpha_{\text{кр}} = n_2/n_1 < 1$.

Если второй средой является воздух ($n_2 \approx 1$), то формулу удобно переписать в виде

$$\sin \alpha_{\text{кр}} = \frac{1}{n}, \text{ где } n = n_1 > 1 - \text{абсолютный показатель преломления первой среды.}$$

Для границы раздела стекло-воздух ($n = 1,5$) критический угол равен $\alpha_{\text{кр}} = 42^\circ$, для границы вода-воздух ($n = 1,33$) — $\alpha_{\text{кр}} = 48,7^\circ$.

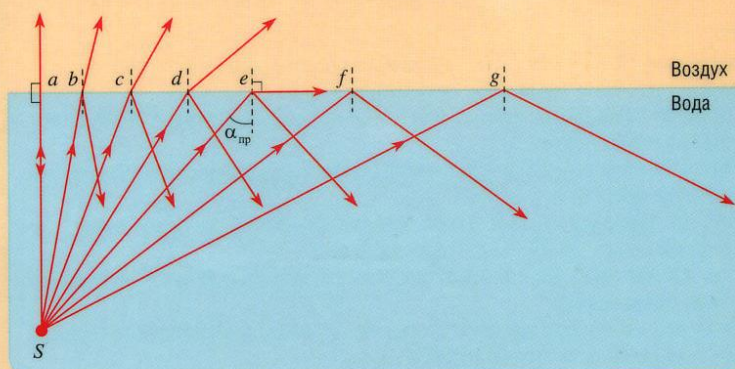


Рисунок 1.2.

Полное внутреннее отражение света на границе вода-воздух; S — точечный источник света.

Пример полного внутреннего отражения в **волоконных световодах**.

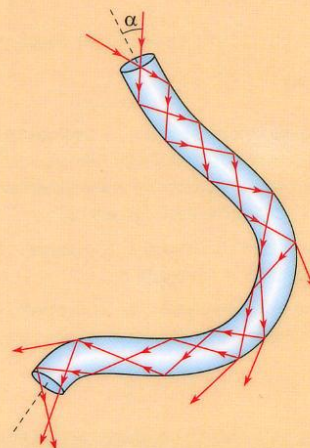


Рисунок 3.1.3.

Распространение света в волоконном световоде.

При сильном изгибе волокна закон полного внутреннего отражения нарушается, и свет частично выходит из волокна через боковую поверхность.

1.2. Зеркала

Простейшим оптическим устройством, способным создавать изображение предмета, является **плоское зеркало**.

Рисунок 1.2.1.

Ход лучей при отражении от плоского зеркала. Точка S' является мнимым изображением точки S .

Сферическим зеркалом называют зеркально отражающую поверхность, имеющую форму сферического сегмента. Сферические зеркала бывают **вогнутыми** и **выпуклыми**.

Рисунок 1.2.2.

Отражение параллельного пучка лучей от вогнутого сферического зеркала.

Точки O – оптический центр, P – полюс, F – главный фокус зеркала; OP – главная оптическая ось, R – радиус кривизны зеркала.

Рисунок 1.2.3.

Отражение параллельного пучка лучей от выпуклого зеркала. F – мнимый фокус зеркала, O – оптический центр; OP – главная оптическая ось.

Фокусным расстояниям сферических зеркал приписывается определенный знак: для вогнутого зеркала – $F = \frac{R}{2}$, для выпуклого – $F = -\frac{R}{2}$, где R – радиус кривизны зеркала.

Изображение какой-либо точки A предмета в сферическом зеркале можно построить с помощью любой пары стандартных лучей:

- луч AOC , проходящий через оптический центр зеркала; отраженный луч COA идет по той же прямой;
- луч AFD , идущий через фокус зеркала; отраженный луч идет параллельно главной оптической оси;
- луч AP , падающий на зеркало в его полюсе; отраженный луч симметричен с падающим относительно главной оптической оси.
- луч AE , параллельный главной оптической оси; отраженный луч EFA проходит через фокус зеркала.

Ход лучей, при котором **все** лучи, вышедшие из одной точки, собираются в другой точке, называется **стигматическим**.

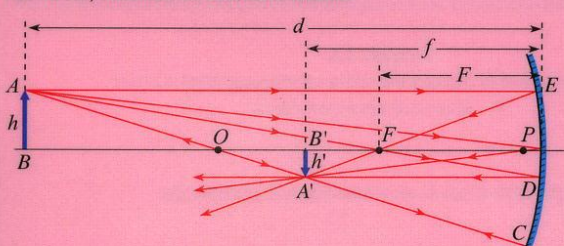


Рисунок 1.2.4. Построение изображения в вогнутом сферическом зеркале.

Положение изображения и его размер можно также определить с помощью **формулы сферического зеркала**: $\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F}$.

Здесь d – расстояние от предмета до зеркала, f – расстояние от зеркала до изображения. Величины d и f подчиняются определенному правилу знаков: $d > 0$ и $f > 0$ – для действительных предметов и изображений; $d < 0$ и $f < 0$ – для мнимых предметов и изображений.

Линейное увеличение сферического зеркала Γ определяется как отношение линейных размеров изображения h' и предмета h .

Величине h' приписывается определенный знак: изображение прямое ($h' > 0$) или перевернутое ($h' < 0$). Величина h всегда считается положительной.

$$\Gamma = \frac{h'}{h} = -\frac{f}{d}$$

1.3. Тонкие линзы

Линзой называется прозрачное тело, ограниченное двумя сферическими поверхностями. Если толщина самой линзы мала по сравнению с радиусами кривизны сферических поверхностей, то линзу называют **тонкой**.

Линзы бывают **собирающими** и **рассеивающими**.

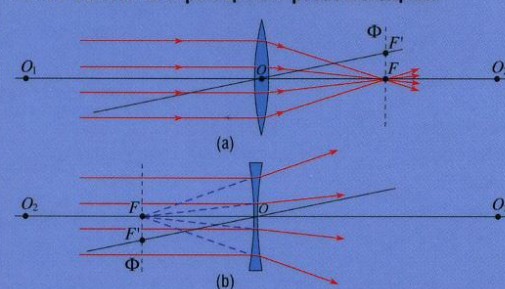


Рисунок 1.3.2.

Преломление параллельного пучка лучей в собирающей (a) и рассеивающей (b) линзах. Точки O_1 и O_2 – центры сферических поверхностей, O_1O_2 – главная оптическая ось, O – оптический центр, F – главный фокус, F' – побочный фокус, OF – побочная оптическая ось, Φ – фокальная плоскость.

Основное свойство линз – способность давать **изображения предметов**. Изображения бывают **прямыми** и **перевернутыми**, **действительными** и **мнимыми**, **увеличенными** и **уменьшенными**.

Рисунок 1.3.3.

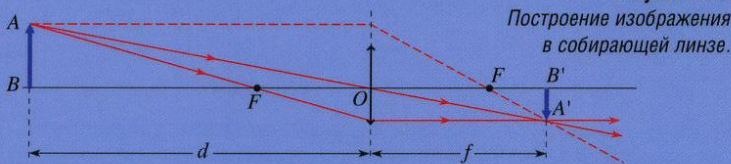
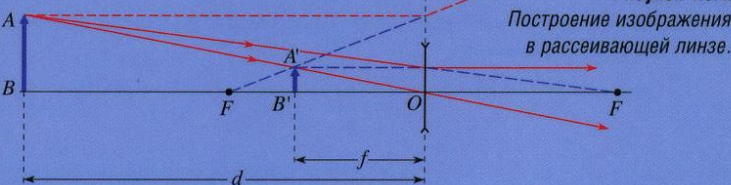


Рисунок 1.3.4.



Формулы тонкой линзы.

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F} = D, \text{ где:}$$

d – расстояние от предмета до линзы; f – расстояние от линзы до изображения; D – величина обратная фокусному расстоянию **оптической силой** линзы. Единица измерения оптической силы является **1 диоптрия** (дптр). Диоптрия – оптическая сила линзы с фокусным расстоянием 1 м:

$$1 \text{ дптр} = \text{м}^{-1}$$

Формула тонкой линзы аналогична формуле сферического зеркала. Фокусным расстояниям линз принято приписывать определенные знаки: для собирающей линзы – $F > 0$, для рассеивающей – $F < 0$.

Величины d и f также подчиняются определенному правилу знаков: $d > 0$ и $f > 0$ – для действительных предметов (то есть реальных источников света, а не продолжений лучей, сходящихся за линзой) и изображений; $d < 0$ и $f < 0$ – для мнимых источников и изображений.

Линейным увеличением линзы Γ называют отношение линейных размеров изображения h' и предмета h . Величине h' ($h' > 0$) изображение является прямым или ($h' < 0$) перевернутым. Величина h всегда считается положительной. Для прямых изображений $\Gamma > 0$, для перевернутых $\Gamma < 0$.

Формулу для линейного увеличения тонкой линзы: $\Gamma = \frac{h'}{h} = -\frac{f}{d}$,

Формула оптической силы D линзы: $D = \frac{1}{F} = (n-1) \cdot \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$,

где: R_1 и R_2 – радиусы кривизны ее сферических поверхностей; n – показатель преломления материала, из которого изготовлена линза.

Радиус кривизны выпуклой поверхности считается положительным, вогнутой – отрицательным.

Расчет оптической системы из двух тонких линз сводится к двукратному применению формулы линзы. Общее линейное увеличение Γ системы из двух линз равно произведению линейных увеличений обеих линз: $\Gamma = \Gamma_1 \cdot \Gamma_2$. Если предмет или его изображение находятся в бесконечности, то линейное увеличение утрачивает смысл.



Информационно-справочная таблица

© ООО «Инфопласт», 2006

г. Москва, Каширское шоссе, 21

E-mail: mail@infoplast.ru, http://www.infoplast.ru

Тел.: (095) 320-94-89/88



1.4. Оптические приборы для визуальных наблюдений

Отношение угла зрения φ при наблюдении предмета через оптический прибор к углу зрения ψ при наблюдении невооруженным глазом называется

угловым увеличением: $\gamma = \frac{\varphi}{\psi}$.

Лупа. Лупой называют собирающую линзу с малым фокусным расстоянием ($F \approx 10$ см). Лупу располагают близко к глазу, а рассматриваемый предмет – в ее фокальной плоскости. Предмет виден через лупу под углом $\varphi = \frac{h}{F}$, где h – размер предмета. При рассматривании этого же предмета невооруженным глазом его следует расположить на расстоянии $d_0 = 25$ см наилучшего зрения нормального глаза.

Предмет будет виден под углом $\psi = \frac{h}{d_0}$, **угловое увеличение лупы** равно $\gamma = \frac{\varphi}{\psi} = \frac{d_0}{F}$.

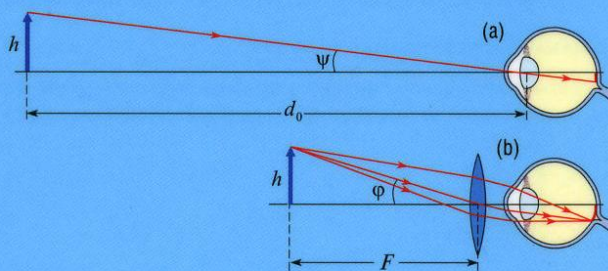


Рисунок 1.4.1. Действие лупы:

(а) – предмет рассматривается невооруженным глазом с расстояния наилучшего зрения $d_0 = 25$ см; (б) – предмет рассматривается через лупу с фокусным расстоянием F .

Микроскоп. Микроскоп применяют для получения больших увеличений при наблюдении мелких предметов.

Как следует из рис. 1.4.2, угол зрения φ предмета, рассматриваемого через окуляр

в приближении малых углов, $\varphi = \frac{h'}{F_2} = \frac{f \cdot h}{d \cdot F_2}$.

Приближенно можно положить $d \approx F_1$ и $f \approx l$, где l – расстояние между объективом и окуляром микроскопа («длина тубуса»). При рассматривании того же предмета

невооруженным глазом: $\psi = \frac{h}{d_0}$.

Формула для углового увеличения γ микроскопа: $\gamma = \frac{\varphi}{\psi} = \frac{l \cdot d_0}{F_1 \cdot F_2}$.

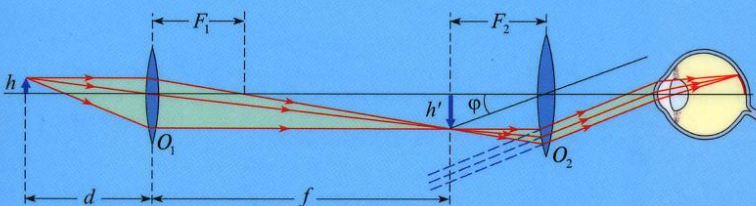


Рисунок 1.4.2. Ход лучей в микроскопе.

Телескоп. Телескопы (зрительные трубы) предназначены для наблюдения удаленных объектов. Они состоят из двух линз – обращенной к предмету собирающей линзы с большим фокусным расстоянием (объектив) и линзы с малым фокусным расстоянием (окуляр), обращенной к наблюдателю.

Угловое увеличение зрительных труб выражается через фокусные расстояния:

$$\gamma = -\frac{F_1}{F_2}.$$

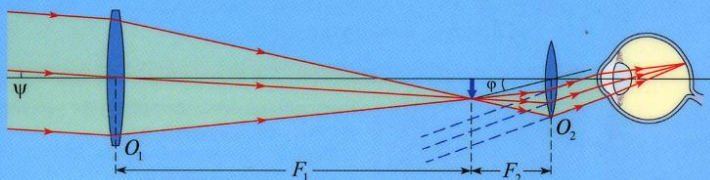


Рисунок 1.4.3. Телескопический ход лучей.

1.6. Интерференция световых волн

Интерференция – ослабление или усиление интенсивности света в зависимости от соотношения фаз складываемых волн в результате наложения когерентных линейно поляризованных волн. Две волны **когерентны**, если разность их фаз постоянна. Две волны **некогерентны**, если разность их фаз не является постоянной величиной.

Результат интерференции, наблюдаемый на экране, фотопластинке и т.д. называется **интерференционной картиной**.

Интерференционная картина: вид концентрических колец, получивших название **колец Ньютона** (рис. 1.6.1).

Утверждение о том, что волны от источников S_1 и S_2 распространяются независимо друг от друга, а в точке наблюдения они просто складываются, является опытным фактом и носит название **принципа суперпозиции**.

Монохроматическая волна, распространяющаяся в направлении радиус-вектора $\vec{r}$, записывается в виде $E = a \cdot \cos(\omega t - kr)$, где a – амплитуда волны, $k = 2\pi/\lambda$ – волновое число, λ – длина волны, $\omega = 2\pi\nu$ – круговая частота. В оптических задачах под E следует понимать модуль вектора напряженности электрического поля волны. При сложении двух волн в точке P результирующее колебание также происходит на частоте ω и имеет некоторую амплитуду A и фазу φ :

$$E = a_1 \cdot \cos(\omega t - kr_1) + a_2 \cdot \cos(\omega t - kr_2) = A \cdot \cos(\omega t - \varphi).$$

Физическую величину, равную квадрату амплитуды электрического поля волны, принято называть **интенсивностью**: $I = A^2$.

Выражению для интенсивности результирующего колебания в точке P :

$$I = A^2 = a_1^2 + a_2^2 + 2 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot \cos k\Delta = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 \cdot I_2} \cdot \cos k\Delta, \text{ где } \Delta = r_2 - r_1 \text{ – так называемая разность хода.}$$

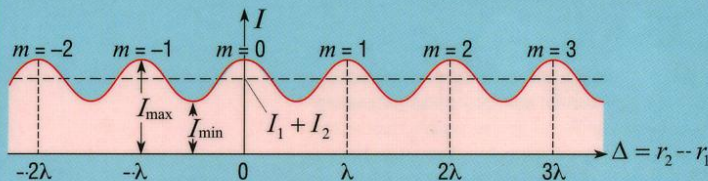
Интерференционный максимум (светлая полоса) достигается в тех точках пространства, в которых $\Delta = m\lambda$ ($m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$).

При этом $I_{\max} = (a_1 + a_2)^2 > I_1 + I_2$. Интерференционный минимум

(темная полоса) достигается при $\Delta = m\lambda + \lambda/2$.

Минимальное значение интенсивности $I_{\min} = (a_1 - a_2)^2 < I_1 + I_2$.

На рис. 1.6.2. показано распределение интенсивности света в интерференционной картине в зависимости от разности хода Δ .

Рисунок 1.6.2. Распределение интенсивности в интерференционной картине. Целое число m – порядок интерференционного максимума.

Радиусы темных и светлых интерференционных колец:

$$r_m = \sqrt{m\lambda R} \text{ для темных колец;}$$

$$r_m = \sqrt{(2m+1)\frac{\lambda}{2}R} \text{ для светлых колец, } \lambda \text{ – длина волны, } m = 0, 1, 2, 3, \dots$$

Интерференция может возникнуть только при сложении когерентных колебаний.

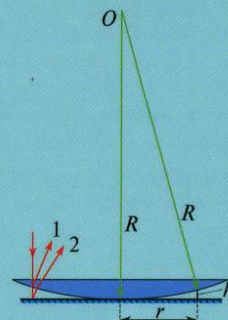


Рисунок 1.6.1.

Наблюдение колец Ньютона. Интерференция возникает при сложении волн, отразившихся от двух сторон воздушной прослойки. «Лучи» 1 и 2 – направления распространения волн; h – толщина воздушного зазора.

1.5. Развитие представлений о природе света

Принцип Гюйгенса: каждая точка, до которой доходит волна, становится центром вторичных волн, а огибающая этих волн дает положение *волнового фронта* в следующий момент времени. Для случая преломления света на границе вакуум-среда волновая теория приводит к следующему выводу: $\frac{\sin \psi}{\sin \varphi} = \frac{c}{v} = n$.

В 60-е годы XIX века Максвеллом были установлены общие законы электромагнитного поля, которые привели его к заключению, что свет – это **электромагнитные волны**.

$$c = 299792458 \pm 1,2 \text{ м/с}$$

В оптике как разделе физике под светом понимают не только **видимый свет**, но и примыкающие к нему широкие диапазоны спектра электромагнитного излучения – **инфракрасный (ИК)** и **ультрафиолетовый (УФ)**. По своим физическим свойствам свет принципиально неотличим от электромагнитного излучения других диапазонов – различные участки спектра отличаются друг от друга только **длиной волны λ** и **частотой ν** . Рис. 2.6.2. дает представление о шкале электромагнитных волн.

Для измерения длин волн в оптическом диапазоне используются единицы длины **1 нанометр (нм)** и **1 микрометр (мкм)**: $1 \text{ нм} = 10^{-9} \text{ м} = 10^{-7} \text{ см} = 10^{-3} \text{ мкм}$. Видимый свет занимает диапазон приблизительно от 400 нм до 780 нм или от 0,40 мкм до 0,78 мкм.

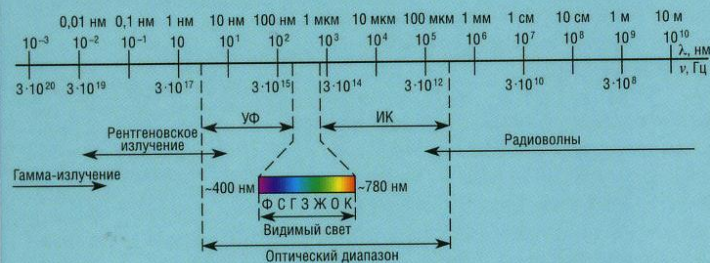


Рисунок 2.6.2. Шкала электромагнитных волн. Границы между различными диапазонами условны.

Свет в одних опытах обнаруживает волновые свойства, а в других – корпускулярные, означает, что свет имеет сложную двойственную природу, которую принято характеризовать термином **корпускулярно-волновой дуализм**.

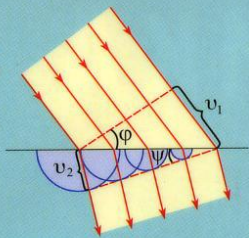


Рисунок 1.5.1. Построения Гюйгенса для определения направления преломленной волны.

1.7 Дифракция света

Дифракцией света называется явление отклонения света от прямолинейного направления распространения при прохождении вблизи препятствий.

Радиусы ρ_m зон Френеля:

$$\rho_m = \sqrt{\rho_m^2 - L^2} = \sqrt{m\lambda L + m^2 \frac{\lambda^2}{4}} \approx \sqrt{m\lambda L}$$

Так в оптике $\lambda \ll L$, вторым членом под корнем можно пренебречь. Количество зон Френеля, укладывающихся на отверстии, определяется его радиусом R : $m = \frac{R^2}{\lambda L}$.

Здесь m – не обязательно целое число. Результат интерференции вторичных волн в точке P зависит от числа m открытых зон Френеля. Все зоны имеют одинаковую площадь: $S_m = \pi \rho_m^2 - \pi \rho_{m-1}^2 = \pi \lambda L = S_1$.

$A_1 > A_2 > A_3 > \dots > A_m$, где A_m – амплитуда колебаний, вызванных m -й зоной.

Дифракционные явления проявляются наиболее отчетливо, когда на препятствии укладывается лишь небольшое число зон: $m = \frac{R^2}{\lambda L} \geq 1$ или $R^2 \geq \lambda L$.

Это соотношение можно рассматривать как **критерий наблюдения дифракции**.

Если число зон Френеля, укладывающихся на препятствии, становится очень большим, дифракционные явления практически незаметны: $m = \frac{R^2}{\lambda L} \gg 1$ или $R^2 \gg \lambda L$.

Это сильное неравенство определяет **границу применимости геометрической оптики**. Таким образом, **геометрическая оптика является предельным случаем волновой оптики**.

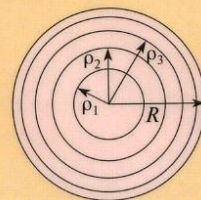


Рисунок 1.7.1. Границы зон Френеля в плоскости отверстия.

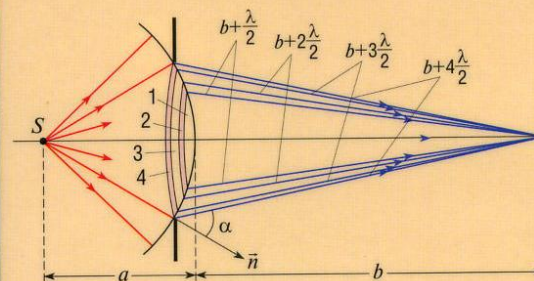


Рисунок 1.7.2. Зоны Френеля на сферическом фронте волны.

Расчет для радиусов ρ_m зон Френеля на сферическом фронте волны: $\rho_m = \sqrt{m \frac{a \cdot b}{a+b}} \cdot L$.

1.8. Спектральные приборы. Дифракционная решетка

Излучение когда длины волн непрерывно заполняют весь диапазон видимого света называется **белым светом**. Совокупность монохроматических компонент в излучении называется **спектром**. Белый свет имеет **непрерывный спектр**, излучение источников, в которых свет испускается атомами вещества, имеет **дискретный спектр**. Приборы, с помощью которых исследуются спектры излучения источников, называются **спектральными приборами**.

Для того, чтобы в точке P наблюдался интерференционный максимум, разность хода Δ между волнами, испущенными соседними щелями, должна быть равна целому числу длин волн:

$$\Delta = d \sin \Theta_m = m\lambda \quad (m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots)$$

Здесь d – период решетки, m – целое число, которое называется **порядком дифракционного максимума**. В тех точках экрана, для которых это условие выполнено, располагаются так называемые **главные максимумы** дифракционной картины.

В фокальной плоскости линзы расстояние y_m от максимума нулевого порядка ($m = 0$) до максимума m -го порядка при малых углах дифракции равно $y_m = m \frac{\lambda}{\alpha} F$, где F – фокусное расстояние.

Угловая полуширина $\delta\Theta$ главных максимумов: $\delta\Delta = \delta(d \sin \Theta) = d \cos \Theta \delta\Theta \approx d \cdot \delta\Theta = \frac{\lambda}{N}$.

Предельное разрешение дифракционной решетки зависит только от порядка спектра m и от числа периодов решетки N .

$$R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} = m \cdot N$$

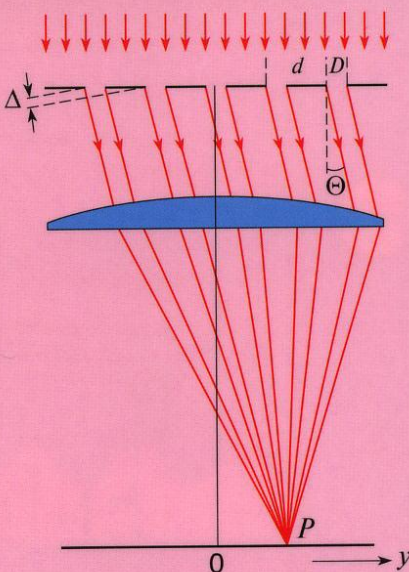


Рисунок 1.8.1. Дифракция света на решетке.

1.9. Поляризация света

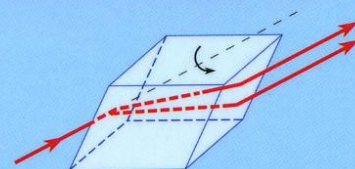


Рисунок 1.9.1. Прохождение света через кристалл исландского шпата (двойное лучепреломление). Если кристалл поворачивать относительно направления первоначального луча, что поворачиваются оба луча, прошедшие через кристалл.

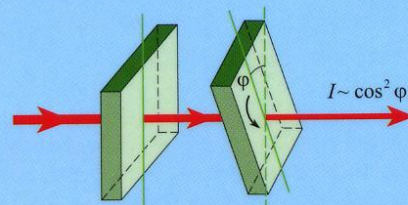


Рисунок 1.9.2. Иллюстрация к закону Малюса.

Закон Малюса. Интенсивность прошедшего света прямо пропорциональна $\cos^2 \varphi$: $I \sim \cos^2 \varphi$.

В середине 60-х годов XIX века **Максвелл** сделал вывод о том, что свет – это **электромагнитные волны**.



Информационно-справочная таблица
© ООО «ИнфоПласт», 2006
г. Москва, Каширское шоссе, 21
E-mail: mail@infoplast.ru,
http://www.infoplast.ru
Тел.: (095) 320-94-89/88

4 607061 652