

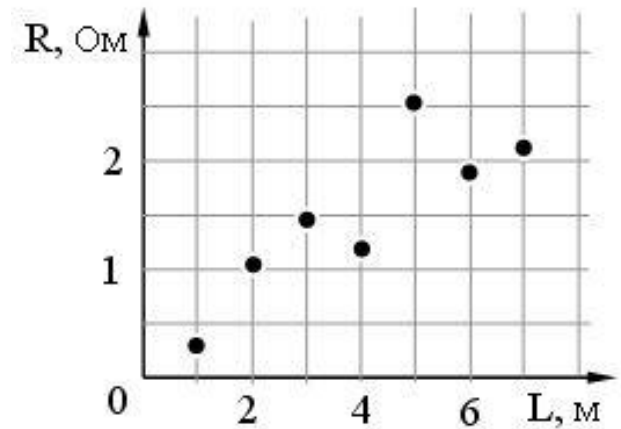
ЕГЭ по Физике

Консультация по
электромагнетизму, оптике,
атомной и ядерной физике

21 апреля 2010 года

Законы постоянного тока. Методика эксперимента

Ученик предположил, что электрическое сопротивление отрезка металлического провода прямо пропорционально его длине. Для проверки этой гипотезы он взял отрезки проводов из алюминия и меди. Результаты измерения длины отрезков и их сопротивления ученик отметил точками на графике зависимости сопротивления от длины проводника (см. рисунок). Погрешности измерения длины и сопротивления равны соответственно 5 см и 0,1 Ом. Какой вывод следует из результатов эксперимента?



- 1) С учетом погрешности измерений эксперимент подтвердил правильность гипотезы.
- 2) Порядок постановки эксперимента не соответствовал выдвинутой гипотезе.
- 3) Погрешности измерений настолько велики, что не позволили проверить гипотезу.
- 4) Большинство результатов измерений подтверждает гипотезу, но при измерении сопротивления отрезка провода длиной 5 м допущена грубая ошибка.

Ученик не учел, что сопротивление проводника может зависеть и от других факторов, в частности от удельного сопротивления материала проводника.

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

Чтобы проверить выдвинутую гипотезу ученику следует взять проводники разной длины, но одинаковой площади сечения, сделанные из одного и того же материала, при одной и той же температуре.

Электростатическое поле в веществе

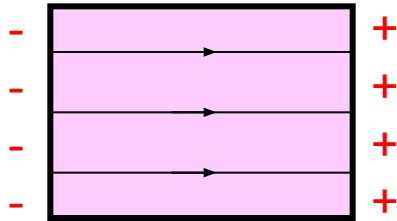
Три различных диэлектрика помещены в однородное электростатическое поле. На рис. показаны картины линий напряженности внутри этих диэлектриков. Сравните диэлектрические проницаемости этих диэлектриков

1) $\epsilon_3 > \epsilon_2 > \epsilon_1$

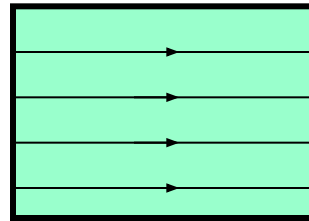
2) $\epsilon_3 < \epsilon_2 < \epsilon_1$

3) $\epsilon_3 = \epsilon_2 = \epsilon_1$

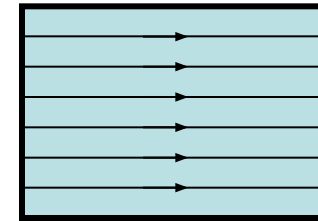
4) нельзя определить



1



2



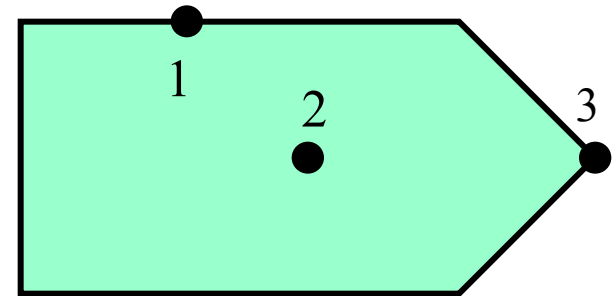
3

Во внешнем электрическом поле диэлектрик поляризуется – на противоположных поверхностях диэлектрика образуются связанные заряды, которые создают свое поле, напряженность которого направлена противоположно напряженности внешнего поля. Это приводит к уменьшению напряженности электрического поля внутри диэлектрика.

Диэлектрическая проницаемость ϵ показывает, во сколько раз уменьшается напряженность поля в диэлектрике \rightarrow чем меньше густота силовых линий, тем меньше напряженность поля и, следовательно, больше диэлектрическая проницаемость.

Электростатическое поле в веществе

Проводнику, изображенному на рисунке сообщили положительный заряд. Сравните электрический потенциал (ϕ) в различных точках проводника.



- 1) $\phi_3 = \phi_2 = \phi_1 = 0$ 2) $\phi_1 = \phi_3 > \phi_2$ 3) $\phi_3 = \phi_2 = \phi_1 > 0$ 4) $\phi_3 > \phi_1 > \phi_2$

Если проводнику сообщен электрический заряд, то:

- Заряд распределяется в тонком слое на поверхности проводника, так что **напряженность электрического поля внутри проводника равна нулю.**
- **Потенциал всех точек внутри проводника и на его поверхности одинаков.** →

$$\phi_3 = \phi_2 = \phi_1$$

Так как проводник заряжен положительно, то $\phi > 0$.

- Наибольшая плотность заряда будет в наиболее удаленных точках проводника с максимальным радиусом кривизны (т.е. на остриях).

$$\sigma_3 > \sigma_1$$

Конденсаторы

Какое максимальное напряжение можно приложить к показанной на рис. батарее из одинаковых конденсаторов, если каждый конденсатор выдерживает напряжение 500 В?

- 1) 1500 В 2) 1000 В 3) 750 В 4) 500 В

Конденсаторы 2 и 3 соединены параллельно, поэтому их общая емкость:

$$C_{23} = C_2 + C_3 = 2 \longrightarrow C_{23} = 2C$$

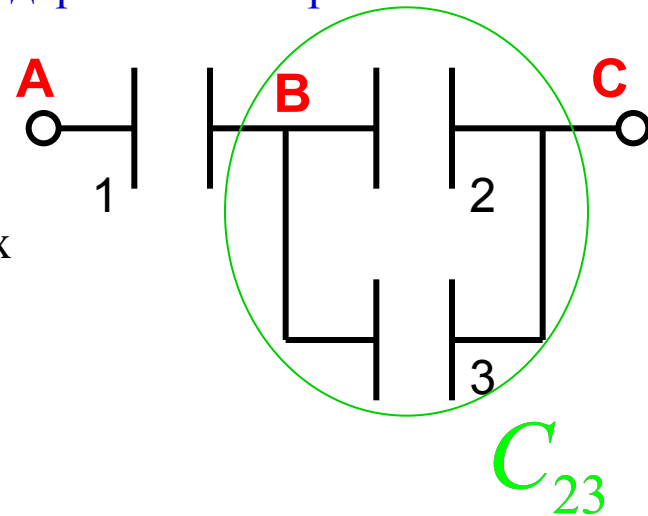
(C – емкость каждого из конденсаторов)

Участки АВ и ВС соединены последовательно, поэтому

$$q_1 = q_{23} \longrightarrow CU_1 = C_{23}U_{23} \longrightarrow$$

$$CU_1 = 2C_{23} \longrightarrow U_1 = 2U_{23}$$

$$\text{Если } U_1 = 500, \text{ то } U_{23} = 250 \longrightarrow U = U_1 + U_{23} = 750 \text{ В}$$



Силовое действие магнитного поля

Стержень расположен перпендикулярно рельсам, расстояние между которыми 50 см. Рельсы составляют с горизонтом угол 30° . Какой должна быть минимальная индукция однородного магнитного поля, направленного вертикально вниз, чтобы стержень начал двигаться вверх, если по нему пропустить ток 40 А? Коэффициент трения стержня о рельсы 0,3, масса стержня 1 кг.

$l = 50 \text{ см}$
 $\alpha = 30^\circ$
 $I = 40 \text{ А}$
 $l = 50 \text{ см}$
 $\mu = 0,3$
 $m = 1 \text{ кг}$

Укажем силы, действующие на проводник (нижний рис.). Обратите внимание, что сила Ампера \vec{F}_a должна быть $\perp \vec{B}$ и проводнику с током. Из двух возможных направлений выберем такое, чтобы \vec{F}_a способствовала движению проводника вверх.

$\vec{F}_{mp} + \vec{F}_a + m\vec{g} + \vec{N} = 0$ (для равномерн. движения)

В проекции на координатные оси:

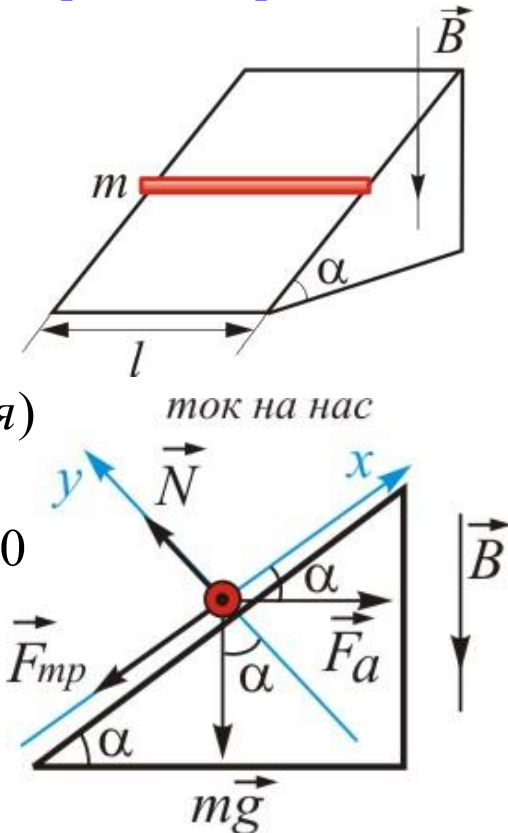
$$0x: F_{mp} \cos \alpha - F_a - mg \sin \alpha = 0, \rightarrow F_a \cos \alpha - \mu N - mg \sin \alpha = 0$$

$$0y: N - F_a \sin \alpha - mg \cos \alpha = 0 \rightarrow N = F_a \sin \alpha + mg \cos \alpha$$

$$F_a \cos \alpha - \mu(F_a \sin \alpha + mg \cos \alpha) - mg \sin \alpha = 0 \rightarrow$$

$$F_a (\cos \alpha - \mu \sin \alpha) = mg (\sin \alpha + \mu \cos \alpha)$$

$$F_a = IBl \rightarrow B = \frac{mg(\sin \alpha + \mu \cos \alpha)}{Il(\cos \alpha - \mu \sin \alpha)} = \frac{10(0,5 + 0,3 \frac{\sqrt{3}}{2})}{40 \cdot 0,5(\frac{\sqrt{3}}{2} - 0,3 \cdot 0,5)} = 0,53$$



Движение заряда в магнитном поле

Частица массой m , несущая заряд q , движется в однородном магнитном поле с индукцией B по окружности радиуса R со скоростью v . Что произойдет с радиусом орбиты, периодом обращения и кинетической энергией частицы при увеличении скорости движения? К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ ИХ ИЗМЕНЕНИЯ

- | | | |
|-------------------------|-----------------|--|
| А) радиус орбиты | 1) увеличится | |
| Б) период обращения | 2) уменьшится | |
| В) кинетическая энергия | 3) не изменится | |

А	Б	В
1	3	1

Если заряд влетает в однородное магнитное поле и $\vec{v} \perp \vec{B}$ на заряд действует сила Лоренца: $F = qvB$ ($\sin(\vec{v}, \vec{B}) = 1$)

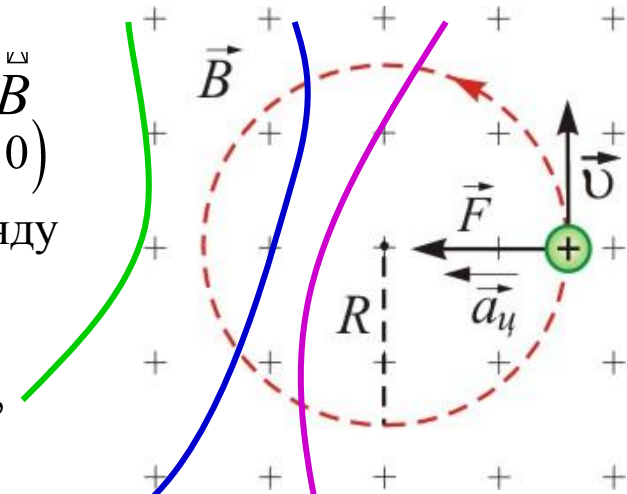
Согласно второму закону Ньютона эта сила сообщает заряду ускорение $\vec{a} \uparrow \uparrow \vec{F}$

$$a = \frac{F}{m} \rightarrow \frac{v^2}{R} = \frac{F}{m} \rightarrow R = \frac{mv}{qB}$$

R – радиус окружности, по которой будет вращаться заряд

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi R}{v} = \frac{2\pi m}{qB}$$

$$E_k = \frac{mv^2}{2}$$



Электромагнитная индукция

Рамка из проволоки, в которую вмонтирован конденсатор, пронизывается перпендикулярно ее плоскости однородным магнитным полем. Скорость изменения индукции этого поля $0,02 \text{ Тл/с}$. Определите энергию заряженного конденсатора, если его емкость 4 мкФ , площадь рамки 50 см^2 .

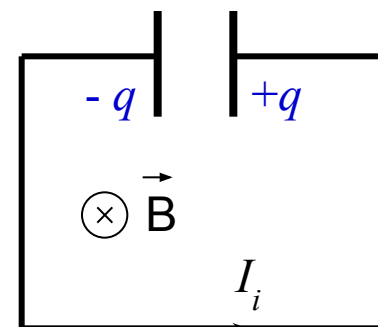
1) $2 \cdot 10^{-14} \text{ Дж}$

2) $2 \cdot 10^{-12} \text{ Дж}$

3) $2 \cdot 10^{-10} \text{ Дж}$

4) $2 \cdot 10^{-16} \text{ Дж}$

Рамку пронизывает магнитный поток $\Phi = BS \cos \alpha$, где $\alpha = 0^\circ$ – угол между нормалью к рамке и вектором магнитной индукции.



При изменении магнитного потока, пронизывающего рамку в ней возникает индукционный ток, за счет которого конденсатор начинает заряжаться.

При изменении магнитного потока, пронизывающего рамку в ней возникает индукционный ток.

$$\varepsilon_i = \left| \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \right| = \left| \frac{\Delta B}{\Delta t} \right| S \text{ - ЭДС индукции, возникающей в контуре.}$$

Конденсатор заряжается до тех пор, пока напряжение между его обкладками не сравняется с ε_i .

$$W = \frac{CU^2}{2} = \frac{C\varepsilon_i^2}{2} = \frac{CS^2}{2} \left| \frac{\Delta B}{\Delta t} \right|^2 = \frac{4 \cdot 10^{-6} \cdot (50 \cdot 10^{-4})^2}{2} \cdot 0,02^2 = 2 \cdot 10^{-14}$$

Колебательный контур

В таблице показано, как изменялся заряд конденсатора в идеальном колебательном контуре с течением времени при свободных колебаниях. Вычислите индуктивность катушки, если емкость конденсатора равна 100 пФ. Ответ выразите в миллигенри (мГн), округлив его до целых.

$t, 10^{-6} \text{ с}$	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18
$q, 10^{-6} \text{ Кл}$	0	2,13	3	2,13	0	-2,13	-3	-2,13	0	2,13



Необходимо из таблицы правильно определить период электромагнитных колебаний в контуре. В случае незатухающих колебаний зависимость $q(t)$ имеет вид синусоиды. В момент $t = 0$: $q = 0$. За один период конденсатор заряжается и разряжается дважды. Таким образом $q = 0$ в моменты времени соответствующие половине периода ($t = 8$ мкс) и периоду ($t = 16$ мкс). $\longrightarrow T = 16$ мкс.

$$T = 2\pi\sqrt{LC} \longrightarrow L_{\#} = \frac{T^2}{4\pi^2 C} = \frac{(16 \cdot 10^{-6})^2}{4 \cdot 3,14^2 \cdot 10^{-10}} = 6,49 \cdot 10^{-2} = 65$$

Колебательный контур

Колебательный контур с периодом колебаний 1 мкс имеет индуктивность 0,2 мГн и активное сопротивление 2 Ом. На сколько процентов уменьшается энергия этого контура за время одного колебания? В течение этого времени ток можно считать синусоидальным, потерями энергии на излучение пренебречь.

$$T = 1 \text{ мкс}$$

$$L = 0,2 \text{ мГн}$$

$$R = 2 \text{ Ом}$$

$$\frac{W_{\text{ном}}}{W} = ?$$

Рассмотрим один период колебаний. За время равное периоду T на активном сопротивлении R по закону Джоуля-Ленца выделится тепло (равное потери электромагнитной энергии колебательного контура):

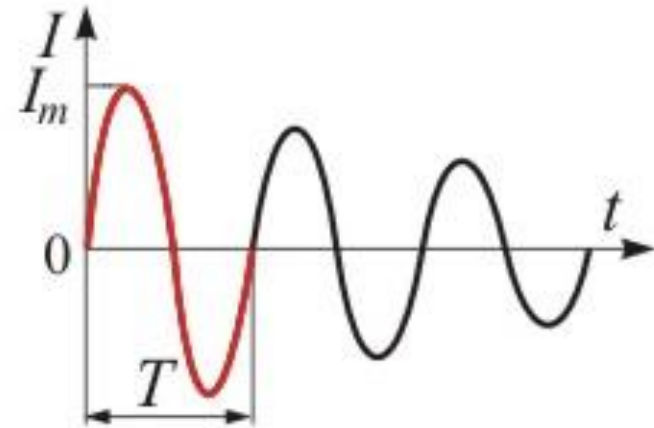
$$Q = W_{\text{ном}} = I_{\text{cp}}^2 RT = \frac{I_m^2}{2} RT$$

В процессе колебаний происходит превращение электрической энергии конденсатора в магнитную энергию катушки. Когда ток достигает максимума вся электромагнитная энергия контура сосредоточена в магнитном поле катушки:

$$W = \frac{LI_m^2}{2}$$

Найдем долю электромагнитной энергии, переходящую в тепло за один период :

$$\frac{W_{\text{ном}}}{W} = \frac{2I_m^2 RT}{LI_m^2} = \frac{RT}{L} = \frac{2 \cdot 10^{-6}}{0,2 \cdot 10^{-3}} = 10^{-2} \longrightarrow \text{Ответ: } 1\%$$



Интерференция

На стеклянную пластинку нанесен тонкий слой прозрачного покрытия, показатель преломления которого $n = 1,41$ меньше показателя преломления стекла. На пластинку под углом 30° падает пучок белого света. Какова минимальная толщина покрытия d_{\min} , при которой в отраженном свете оно окажется зеленым? Длина волны зеленого света $0,53$ мкм.

В каждой точке на поверхности пленки (например, в т. А) падающая световая волна делится на две части: отраженную (луч 1) и преломленную (луч 2). Результат их интерференции определяется оптической разностью хода лучей, которую можно найти как разность оптических путей:

$$\Delta_{12} = L_2 - L_1 = (AB + BC)n - ADn_1 = 2dn \cos \beta$$

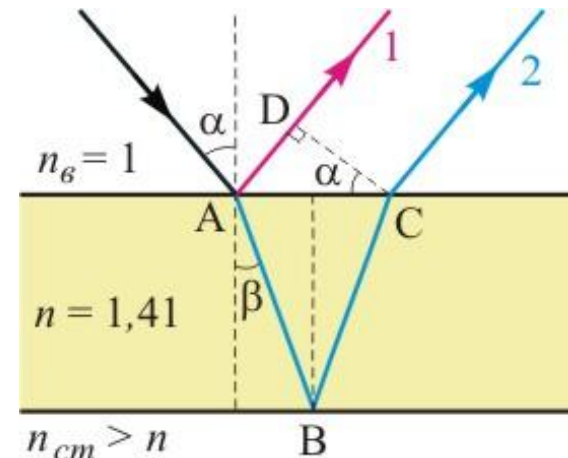
Условие минимумов: $\Delta_{12} = (m + \frac{1}{2})\lambda, m = 0, 1, 2, \dots$

Условие максимумов: $\Delta_{12} = m\lambda, m = 0, 1, 2, \dots$

В нашем случае должен наблюдаться максимум для волны с длиной, соответствующей зеленому свету:

$$2dn \cos \beta = m\lambda_3$$

Закон преломления света $\rightarrow \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n}{n_g} = n \rightarrow \cos \beta = \sqrt{1 - \sin^2 \beta} = \frac{\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}}{n}$



Минимальная толщина пленки соответствует $m = 1$:

$$d = \frac{m\lambda_3}{2\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}}$$

$$d_{\min} = \frac{\lambda_3}{2\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}} = \frac{0,53 \cdot 10^{-6}}{2\sqrt{1,41^2 - 0,5^2}} = 0,2 \cdot 10^{-6} \text{ мкм}$$

Интерференция

Собирающая линза с фокусным расстоянием 10 см разрезана пополам по диаметру, и половинки раздвинуты на расстояние 0,5 мм. Перед линзой на расстоянии 15 см находится точечный источник монохроматического света с длиной волны 500 нм. Оцените число светлых интерференционных полос на экране, расположенном за линзой на расстоянии 60 см. Промежуток между половинками линзы закрыт непрозрачным экраном.

$$d = 0,5$$

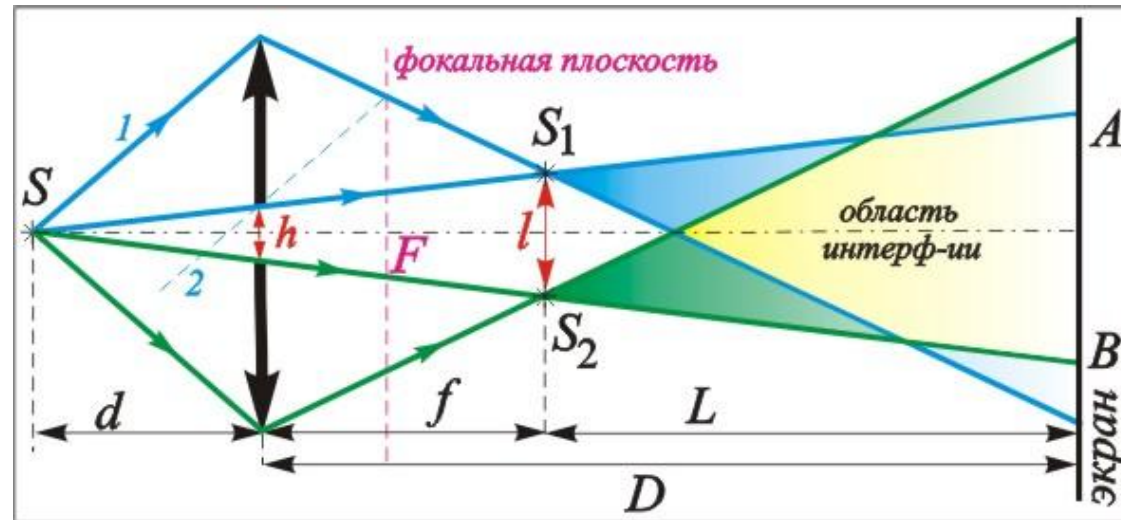
$$F = 10$$

$$h = 15$$

$$\lambda = 500$$

$$L = 60$$

$$N = ?$$



Если бы линза не была разрезана, то изображением S являлась бы точка на оптической оси. В нашем случае формируется два действительных изображения S_1 и S_2 , возникающие при пересечении преломленных лучей на двух половинках линзы.

Найдем ход лучей проходящих через крайние точки половинок линзы. Ход луча 1 находим методом вспомогательного луча: параллельные лучи 1 и 2 после преломления пересекаются в одной точке фокальной плоскости.

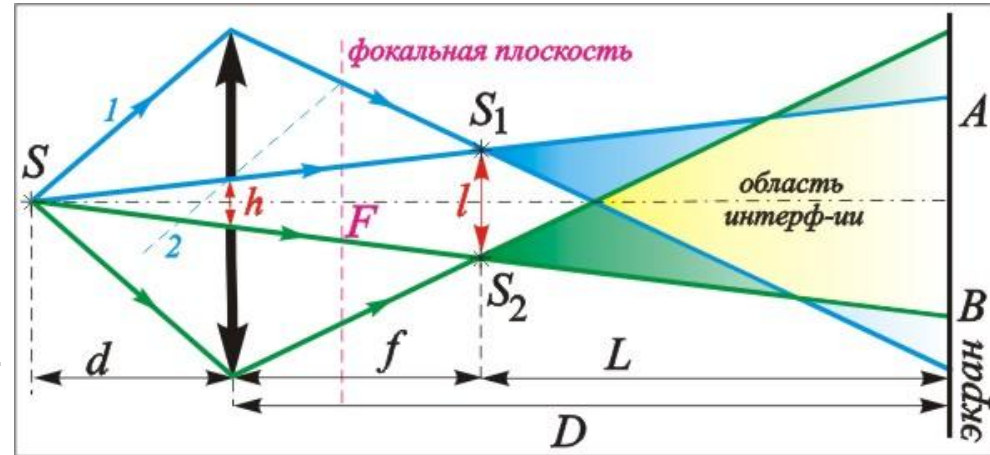
Источники S_1 и S_2 являются когерентными и дают на экране устойчивую интерференционную картину в виде череды темных и светлых полос. Она наблюдается только в области перекрытия волн (выделено желтым), пришедших от источников (отрезок АВ).

Интерференция

Так же как и в опыте Юнга, расстояние между светлыми (темными) соседними полосами на экране определяется формулой:

$$\Delta x = \frac{L}{l} \lambda,$$

где L – расстояние от источников до экрана, l – расстояние между источниками.



Вспользуемся формулой тонкой линзы для нахождения положения источников S_1 и S_2 :

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F} \rightarrow f = \frac{Fd}{d - F} = 30$$

Для нахождения l и AB воспользуемся подобием треугольников:

$$\frac{h}{l} = \frac{d}{d + f} \rightarrow l = \frac{h(d + f)}{d} = \frac{0,5 \cdot 10^{-3} \cdot 45}{15} = 1,5 \text{ мкм}$$

$$\frac{h}{AB} = \frac{d}{D + d} \rightarrow AB = \frac{h(D + d)}{d} = \frac{0,5 \cdot 10^{-3} \cdot 75}{15} = 2,5 \text{ мкм}$$

$$\Delta x = \frac{D - f}{l} \lambda = \frac{300}{1,5} \cdot 10^{-7} \cdot 10^{-4} = \dots \rightarrow N = \frac{AB}{\Delta x} = \frac{2,5}{0,1} = 25$$

Дифракционная решетка

На дифракционную решетку с периодом 4 мкм падает нормально свет, пропущенный через светофильтр. Полоса пропускания светофильтра – от 500 нм до 550 нм. Будут ли спектры разных порядков перекрываться с друг другом?

$$d = 4 \text{ мкм}$$

$$\lambda_1 = 500$$

$$\lambda_2 = 550$$

перекрываются – ?

Если на дифракционную решетку падает монохроматический пучок лучей, свет от каждой щели начинает распространяться по различным направлениям.

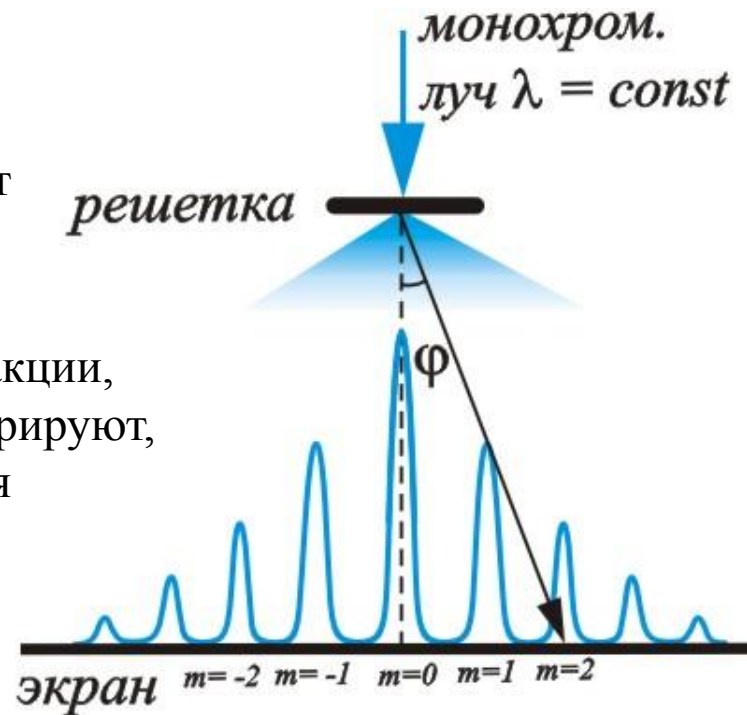
Лучи идущие под одним углом дифракции, накладываясь друг на друга, интерферируют, и на экране возникает дифракционная картина.

Дифракционные максимумы образуют те лучи, для которых выполняется условие:

$$d \sin \varphi = m \lambda, \quad (m = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots)$$

$$\text{На рис. видно, что } \varphi_{\max} = 90^\circ \longrightarrow m_{\max} = \frac{\lambda}{d} = \frac{4 \cdot 10^{-6}}{500 \cdot 10^{-9}} = 8 \longrightarrow$$

В данном опыте можно наблюдать только 8 порядков дифракционных максимумов



Дифракционная решетка

На дифракционную решетку с периодом 4 мкм падает нормально свет, пропущенный через светофильтр. Полоса пропускания светофильтра – от 500 нм до 550 нм. Будут ли спектры разных порядков перекрываться с друг другом?

$$d = 4 \text{ мкм}$$

$$\lambda_1 = 500$$

$$\lambda_2 = 550$$

перекрываются – ?

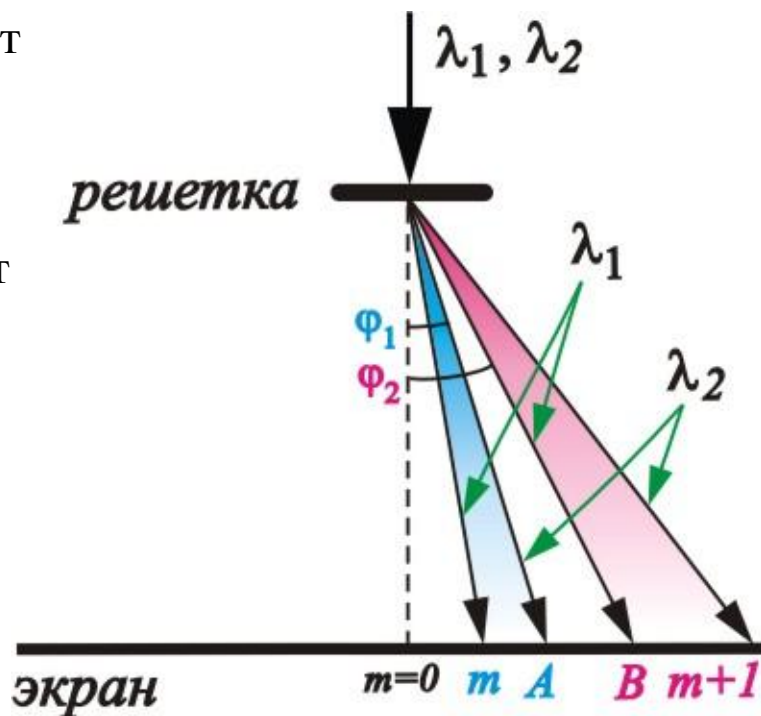
В данной задаче на экран падает свет в диапазоне (λ_1, λ_2) . Для различных длин волн дифракционные максимумы будут возникать в различных точках экрана. Возникает разложение света в спектр.

На рис. указаны лучи дающие максимумы m и $(m+1)$ порядка. Спектры начнут перекрываться, если точки А и В совпадут.

$$\left. \begin{aligned} d \sin \varphi_2 &= m \lambda_2 \\ d \sin \varphi_1 &= (m+1) \lambda_1 \end{aligned} \right\}$$

Приравнивая φ_1 и φ_2 получим, что $m \lambda_2 = (m+1) \lambda_1 \longrightarrow m = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} = \frac{500}{50} = 10$

→ Перекрытие спектров наблюдалось бы при $m > 10$. Учитывая, что $m_{\max} = 8$, делаем вывод, что спектры не пересекаются.



Квантовая оптика

Космический корабль, находящийся в состоянии покоя, обстреливает неприятеля из лазерной пушки, которая в течение одного залпа испускает $n = 10$ коротких световых импульсов с энергией 3 кДж каждый. Какую скорость приобретет корабль после залпа пушки, если масса корабля 10 тонн? Влиянием всех небесных тел пренебречь.

1) $2 \cdot 10^{-6}$ м/с

2) $3 \cdot 10^{-12}$ м/с

3) $2 \cdot 10^{-8}$ м/с

4) 10^{-8} м/с

$n = 10$
$E = 3 \text{ кДж}$
$M = 10$
$v = ?$

Импульс одного фотона равен $p = \frac{E_1}{c} = \frac{h\nu}{c}$,

где E_1 – импульс одного фотона.

Импульс фотонов, испущенных за время залпа в одном направлении равен

$$p = \frac{nE}{c}$$

По закону сохранения импульса в системе «корабль + испущенные фотоны», импульс, приобретаемый кораблем равен импульсу поглощенных фотонов:

$$Mv = \frac{nE}{c} \longrightarrow v = \frac{nE}{cM} = \frac{10 \cdot 3 \cdot 10^3}{3 \cdot 10^8 \cdot 10^4} = 10^{-8} \text{ м/с}$$

Фотоэффект

Уровни энергии электрона в атоме водорода задаются формулой $E_n = -\frac{13,6}{n^2}$ эВ, где $n = 1, 2, 3, \dots$. При переходе атома из состояния E_2 в состояние E_1 атом испускает фотон. Попав на поверхность фотокатода, фотон выбивает фотоэлектрон. Длина волны света, соответствующая красной границе фотоэффекта для материала поверхности фотокатода, $\lambda_{кр} = 300$ нм. Чему равна возможная максимальная скорость фотоэлектрона?

$$E_n = -\frac{13,6}{n^2}$$

$$n_1 = 1$$

$$n_2 = 2$$

$$\lambda_{кр} = 300$$

$$v_{max} = ?$$

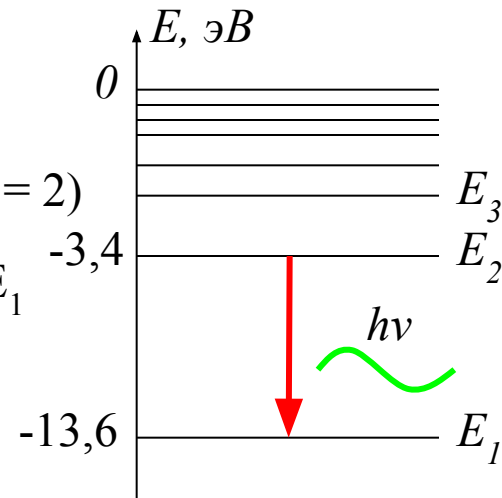
Энергетический спектр атома состоит из ряда дискретных уровней (рис.).

$$E_2 = -\frac{13,6}{2^2} = -3,4 \text{ эВ} \quad - \text{ энергия второго уровня } (n = 2)$$

При переходе атома из состояния E_2 в состояние E_1 излучается фотон с энергией

$$E_\phi = E_2 - E_1 = -3,4 - (-13,6) = 10,2$$

$$h\nu = 10,2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} = 16,32 \cdot 10^{-19}$$



При падении на катод энергия фотона при его поглощении электроном идет на совершение работы выхода с поверхности металла и запас кинетической энергии:

$$E_\phi = \frac{mv_{max}^2}{2} + A_{вых} = \frac{mv_{max}^2}{2} + \frac{hc}{\lambda_{кр}} \longrightarrow v_{max} = \sqrt{\frac{2}{m} \left(E_\phi - \frac{hc}{\lambda_{кр}} \right)}$$

$$= \sqrt{\frac{2}{9,1 \cdot 10^{-31}} \left(16,32 \cdot 10^{-19} - \frac{6,6 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{3 \cdot 10^{-7}} \right)} = 1,46 \cdot 10^6$$

Ядерная физика

Протон после упругого лобового соударения с неподвижным ядром отлетел назад со скоростью, составляющей 60% от начальной. С каким ядром он столкнулся?

1) 2_1H

2) 4_2He

3) 6_3Li

4) 3_2He

Так как система сталкивающихся частиц замкнута (отсутствуют внешние силы) применим закон сохранения импульса:

$$m_p \vec{v}_p = m_p \vec{v}'_p + m \vec{v},$$

где m – масса ядра, v - его скорость после соударения.

В проекции на ось x :

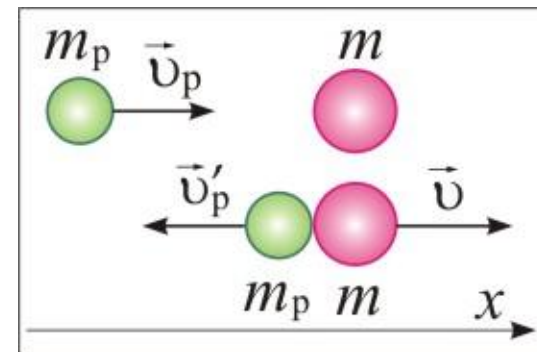
$$m_p v_p = -m_p v'_p + m v \longrightarrow m_p v_p = -0,6 m_p v_p + m v \longrightarrow 1,6 m_p v_p = m v$$

Так как столкновение микрочастиц можно считать абсолютно упругими, то их механическая энергия при соударении сохраняется:

$$\frac{m_p v_p^2}{2} = \frac{m_p v_p'^2}{2} + \frac{m v^2}{2} \longrightarrow m_p v_p^2 = m_p (0,6 v_p)^2 + m v^2 \longrightarrow 0,64 m_p v_p^2 = m v^2$$

$$\frac{(1,6 m_p v_p)^2}{0,64 m_p v_p^2} = \frac{m^2 v^2}{m v^2} \longrightarrow m = \frac{1,6^2 m_p}{0,64} = 4 m_p$$

Среди ответов только одна частица с массовым числом 4 – это 4_2He



Радиоактивность

Период полураспада радиоактивного изотопа равен 4 часа. Какая часть атомов распадётся за 12 часов?

1) $1/8$

2) $1/4$

3) $3/4$

4) $7/8$

Закон радиоактивного распада $N = N_0 2^{-\frac{t}{T_{1/2}}}$

N_0 – число радиоактивных ядер в начальный момент времени;

N – число нераспавшихся ядер в момент времени t .

$$\frac{N}{N_0} = 2^{-\frac{t}{T_{1/2}}} = 2^{-\frac{12}{4}} = 2^{-3} = \frac{1}{8} \quad \text{- доля нераспавшихся ядер}$$

$$\text{доля распавшихся ядер: } 1 - \frac{1}{8} = \frac{7}{8}$$