Семинар по школьной олимпиадной физике

ОЛИМПИАДНАЯ ФИЗИКА 11 КЛАСС

- Пойми, для того, чтобы проходить сквозь стены, нужны три условия: видеть цель, верить в себя, и не замечать препятствий!

Цитата из фильма «Чародеи»

Организатор: Анатолий Найдин

г. Томск, ТФТЛ

2024

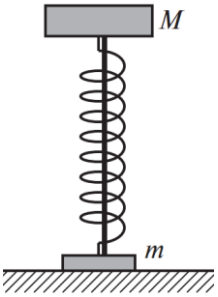
Занятие 1. Электромагнитная индукция.

I. *Вопросы:*

1. Частица, вылетев из источника, проходит с постоянной скоростью расстояние ℓ = 2 м, а затем тормозится с ускорением $a = 5 \cdot 10^3 м/с^2$. Найти минимально возможное время движения частицы от вылета до остановки, если значение постоянной скорости можно изменять. $t_{мин} = 2\sqrt{\frac{\ell}{a}}$
2. Тело массой m, находящееся на горизонтальной поверхности, испытывает действие постоянной по модулю силы F. Угол α между вектором силы и горизонтом можно изменять. Определить максимально возможное ускорение тела. Коэффициент трения между телом и поверхностью равен μ. Из условия минимума: $tg\alpha = \mu$. Синус и косинус угла выражаем через тангенс. $a_{мах} = \frac{F}{m}\sqrt{1+\mu^2} - \mu g$
3. Какую наименьшую начальную скорость должен получить при ударе футбольный мяч, чтобы перелететь через стенку из игроков высотой H, находящуюся на расстоянии s? Рассматриваем траектории, почти качающиеся вершины стенки. $\upsilon_{\min} = \sqrt{g(H + \sqrt{H^2 + s^2}}$
4. Прямолинейное движение тела вдоль оси x описывается уравнением: x = 5 – 6t + $5t^2$ +$3t^3$. Найдите среднюю скорость тела (путевую и перемещения и среднее ускорение за первые 4 секунды движения. 65,2 м/с. 62 м/с. 46 м/$с^2$

II. *Задачи (блиц):*

1. **Две** шайбы массами m = 0,01 кг и M = 0,05 кг связаны пружиной жесткости k = 30 Н/м и длиной ℓ_0 = 18 см. Пружина сжата в начальный момент на величину Δ. Шайба массой m находится на горизонтальной поверхности. Нить пережигают.
   - При какой максимальной длине ℓ нити она не провисает при начальном сжатии?
   - При каком минимальном начальном сжатии пружины $\Delta_{отр}$ после пережигания нити произойдет отрыв нижней шайбы от поверхности? Ответ:16,33 см; 3,67 см



2. Два тела движутся с одинаковыми скоростями вдоль одной прямой, находясь на некотором расстоянии друг от друга. Тела одновременно начинают ускоряться: переднее - с постоянным ускорением a_1, заднее – с постоянным ускорением a_2 ($a_2 > a_1$). В момент встречи тел их скорости равны υ и 2υ. Найти скорость тел и расстояние между ними до начала ускорения.

$$l = \frac{(a_2 - a_1)t^2}{2} = \frac{v^2}{2(a_2 - a_1)}$$

III. В замкнутом проводящем контуре возникает электрический ток при всяком изменении числа линий магнитной индукции, пронизывающих поверхность, ограниченную этим контуром (электромагнитная индукция). **Магнитный поток:**

$$\Phi = B \cdot S \cdot \cos\alpha$$

Зависимость силы индукционного тока от скорости изменения магнитного потока, числа витков в контуре и его сопротивления (демонстрация).

$$I_i = -\frac{\Delta\Phi}{R \cdot \Delta t}; \qquad I_i = \frac{\varepsilon_i}{R}; \qquad \varepsilon_i = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \to e_i = -\Phi'.$$

Три способа изменения магнитного потока (изменение B, S и α) и три способа получения индукционного тока. А есть ли четвертый (движение проводника в магнитном поле)? **Правило Ленца.** Каков физический смысл знака "-" в формуле для ЭДС индукции?

IV. *Задачи (блиц):*

1. Из двух одинаковых проводников изготовили два контура – квадратный и круговой. Оба контура помещены в одной плоскости в изменяющееся со временем магнитное поле. В круговом контуре индуцируется постоянный ток I_1 = 0,4 А. Найти силу тока в квадратном контуре. 0,51 А
2. Какой ток идет через амперметр, присоединенный к железнодорожным рельсам, когда к нему со скоростью 72 км/ч приближается поезд? Вертикальная составляющая индукции магнитного поля Земли 50 мкТл. Сопротивление амперметра равно 100 Ом. Расстояние между рельсами 1,2 м. Рельсы считать изолированными друг от друга и от земли. 12 мкА
3. Главный реактор Республиканского крейсера передает энергию всем остальным системам через длинный прямой провод, по которому течет ток 1000 А. Рядом с проводом находится прямоугольная крышка со сторонами 50 и 70 см. Крыша повернута так, что провод находится в ее плоскости. Определите магнитный поток, пронизывающий крышку. Расстояние от ближней точки крышки до провода 20 см, дальней – 90 см. Зависит ли магнитный поток от ориентации крышки? $0{,}337\cdot10^{-4}$ Вб, $0{,}47\cdot10^{-4}$ Вб.

V. Олимпиада.

1. Ток в катушке нарастает линейно от нуля до 5 А за 9 с. За это время в проводящем кольце, расположенном вблизи катушки, выделяется 0,5 Дж теплоты. Какое количество теплоты выделится в кольце, если ток в катушке будет возрастать линейно от нуля до 10 А за 3 с? 12 Дж
2. Рамка с 300 числом витков и площадью 200 см^2 может вращаться на оси, проходящей через средину рамки. Рамка располагается в однородном магнитном поле с индукцией 0,8 Тл так, что плоскость рамки перпендикулярна направлению магнитного поля. За время 0,15 с рамку поворачивает механизм с КПД = 65% на угол 60^0 градусов. Рамка замкнута накоротко, её сопротивление 13 Ом. Определите:
   1) величину изменения потока за время поворота, и величину образующейся ЭДС; - 8 мВб, 16 В
   2) заряд, который протечет через рамку при повороте, и величину образующегося тока; 0,185 Кл, 1,23 А
   3) величину рассеиваемой энергии, и работу, которую произвел механизм поворота. A' = 2,95 Дж, A = 4,54 Дж, Q = 1,59 Дж
3. Проволочное кольцо радиуса r, обладающее электрическим сопротивлением R, находится в однородном магнитном поле. Линии индукции перпендикулярны плоскости кольца, а модуль изменяется по гармоническому закону $B = B_0 \cos(\omega t)$. Индуктивность кольца пренебрежимо мала. Определите максимальное значение силы натяжения кольца. $T_{max} = B_0^2\pi r^3\omega/2R$.
4. При размыкании контактов прерывателя индукция в сердечнике катушки зажигания изменяется по закону $B = B_0e^{\beta t}$, где B_0 = 2,7 Тл, β = 1600 с$^{-1}$.

Вторичная обмотка катушки имеет 43000 витков, диаметр сердечника 1,2 см. Чему равна максимальная ЭДС во вторичной обмотке? Максимальное значение ЭДС $\varepsilon_{max} = 0{,}25N\pi d^2B_0\beta$. e^x при $x \to 0$ равно 1. Подставляя данные, получим $\varepsilon = 21{,}1$ кВ.

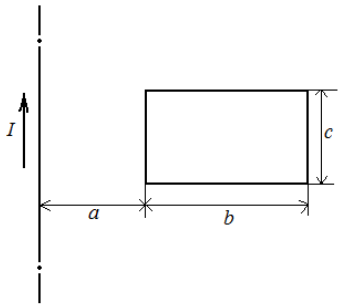
Вопросы (блиц):

1. Как следует ориентировать проволочную рамку в однородном магнитном поле, чтобы магнитный поток через ограниченную ею поверхность был: а) равен нулю; б) максимален по модулю и отрицателен; в) максимален; г) равен половине максимального значения?
2. Замкнутый проводящий контур помещен в однородное магнитное поле, которое изменяется с течением времени. Во сколько раз изменится сила тока, который течет по контуру, если все его линейные размеры увеличить в два раза? Считайте, что в обоих случаях магнитное поле перпендикулярно плоскости контура и равномерно заполняет его сечению. Оба контура выполнены из одного и того же материала. 8
3. При повороте катушки на 180^0 в магнитном поле Земли, гальванометр регистрирует ток. Почему?
4. Сформулируйте правило, с помощью которого можно определить направление индукционного тока в прямом проводнике при его перемещении перпендикулярно магнитному полю.
5. Рама автомобиля составляет замкнутый контур. Будет ли в ней возникать индукционный ток при движении автомобиля? Нет
6. Какими тремя способами можно изменить магнитный поток, пронизывающий замкнутый контур?
7. Какой физический смысл имеет производная функции Ф(t) – магнитного потока, пронизывающего контур?
8. Рамка площадью 0,5 $м^2$ расположена перпендикулярно силовым линиям магнитного поля с индукцией 0,02 Тл. Найти изменение магнитного потока при повороте рамки на 60º. Ответ. $-5 \cdot 10^{-3}$ Вб.
9. Изолированное сверхпроводящее кольцо, по которому течёт ток, изгибается в две окружности в виде восьмерки и затем складывается вдвое. Как меняется ток в кольце? Магнитный поток не изменится, ток в кольце останется прежним.
10. Одинаковое ли время потратит магнит на падение внутри узкой медной трубы и рядом с ней? В обоих случаях магнит не касается трубы. В трубе магнит будет падать дольше.
11. Кольцо из сверхпроводника находится вблизи постоянного магнита и пронизывается магнитным потоком Ф. Тока в кольце нет. Каким будет магнитный поток через это кольцо, если убрать магнит? не изменится
12. Чему был равен поток, пронизывающий замкнутый контур, в конце пятой секунды, если при его линейном изменении вольтметр в контуре показывал +7 В в течение двух секунд, начиная с третьей, когда значение потока было 15 Вб? 1 Вб
13. Для уничтожения кораблей применялись мины с индукционным взрывателем, основным элементом которого являлась катушка, намотанная на постоянный магнит. Объясните принцип его действия.

14. Проволочный контур в виде квадрата со стороной 10 см расположен в магнитном поле так, что плоскость контура перпендикулярна линиям однородного магнитного поля с индукцией 2 Тл. На какой угол надо повернуть плоскость контура, чтобы изменение магнитного потока составило 10 мВб?
15. Почему во время солнечной бури могут повреждаться энергосистемы и возникать помехи при телефонной связи?

Разное

1. Катушка, имеющая форму равностороннего треугольника, помещена в однородное магнитное поле с индукцией 0,06 Тл, направление линий которой составляет угол 30^0 с перпендикуляром к плоскости катушки. Если при равномерном уменьшении магнитной индукции до нуля за время 0,03 с в рамке индуцируется ЭДС 30 мВ, то чему равна длина одной стороны рамки?
2. Длинный прямой проводник и прямоугольная рамка расположены в одной плоскости так, что две стороны рамки параллельны проводнику. Ближайшая к проводу сторона рамки расположена на расстоянии a = 4 см от него. Зависимость силы тока I, текущего по прямому проводу, от времени I = 3 А(1-0,5 c^{-1}t), размеры прямоугольной рамки b = 6 см и c = 5 см.



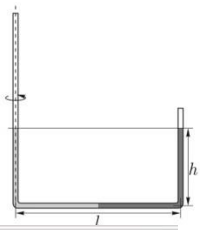
1) определите зависимость от времени магнитного потока через прямоугольную рамку; $0{,}275\cdot10^{-7}(1-0{,}5t)$ Вб
2) определите ЭДС электромагнитной индукции, возникающей в прямоугольной рамке; $0{,}14\cdot10^{-7}$ В
3) определите сопротивление рамки (диаметр проволоки рамки d = 1 мм и материал никель); $2{,}0\cdot10^{-2}$ Ом
4) определите зависимость от времени индукционного тока I_i, текущего в прямоугольной рамке; 0,7 мкА
5) определите, какой по величине электрический заряд пройдет по прямоугольной рамке за первые t_1 = 1 с. 0,7 мкКл

Олимпиада.

1. Муравей стартует с начальной скоростью v_0 = 2 см/с и движется по некоторой траектории. За какое время τ муравей пройдет первый метр своего пути (S = 1 м), если в процессе движения модуль его скорости v зависит от пройденного пути x по закону: $v(x) = v_0/(1+kx)$, где k = 1 $м^{-1}$? 75 с.
2. Координаты материальной точки, движущейся на плоскости, изменяются по закону: x = $3t^2$, y = 4t. Определите: уравнение траектории y(x); скорость υ и ускорение a в момент времени t_0 = 1 с, касательное a_τ и нормальное $a_н$ ускорение точки в этот же момент времени, а также радиус кривизны траектории R. $y = 4\cdot\sqrt{\frac{x}{3}}$, 7,21 м/с, 6 м/$с^2$, a_τ = 4,99 м/$с^2$, $a_н$ = 3,33 м/с2, R = 15,62 м.
3. Камень бросают с башни высотой h_0 с начальной скоростью v_0. Найдите время τ полета камня до момента падения на горизонтальную поверхность земли. Под

каким углом α к горизонту надо бросить камень, чтобы дальность его полета была максимальной? Чему равна эта максимальная дальность полета камня?

4. Камень брошен с вертикальной башни так, что дальность его полета максимальна. Найдите время полета камня, если точка падения камня на горизонтальную поверхность земли отстоит от точки бросания на расстоянии S = 80 м. Ответ: $t = \sqrt{2S/g} = 4$ с.



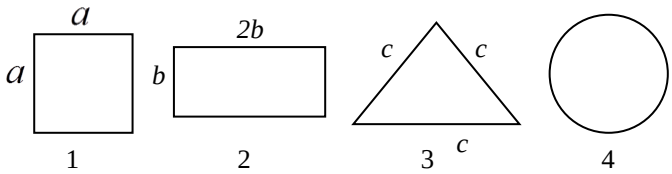
5. Длинный тонкий рулон обоев раскатан в лист и лежит на ровном горизонтальном полу. Длина рулона x, ширина ℓ, толщина h, плотность ρ. К концу рулона приклеили трубку массы M. Трубку резко толкнули, в результате чего она покатилась, весь рулон плотно намотался на трубку и в этот момент движение прекратилось. Чему равна начальная кинетическая энергия трубки? Внешний диаметр трубки ничтожен по сравнению с диаметром намотавшегося на нее рулона, а сам рулон нерастяжим, но изгибается без усилия. $E_к = (M + \rho x h \ell) g \sqrt{(xh/\pi)}$

6. В тонкой U–образной трубке постоянного сечения находится вода и ртуть одинаковых объемов. Длина горизонтальной части трубки ℓ = 40 см. Трубку раскрутили вокруг колена с водой, и оказалось, что уровни жидкостей в трубках одинаковы и равны h = 25 см. Пренебрегая эффектом смачивания, определите период T вращения трубки. T = 1с

Занятие 2. Вихревое электрическое поле

I. *Вопросы (блиц):*

1. Объясните качественно, как правило Ленца связано с законом сохранения энергии.
2. Определите направление индукционного тока в кольце, к которому приближается южный полюс магнита.



3. На рисунке изображены проводники одинаковой длины, но разной формы, помешенные в магнитное поле перпендикулярно силовым линиям. Через какой замкнутый контур магнитный поток максимален? 3
4. Почему кольцо из сверхпроводника парит над магнитом?
5. По П-образному проводнику перемещается с постоянной скоростью υ под действием силы F замыкающая провод перемычка. Контур находится в перпендикулярном его плоскости однородном магнитном поле с индукцией B. Чему равна сила F, если в контуре выделяется каждую секунду количество теплоты Q. F = Q/υ
6. По прямолинейному рельсовому пути, изолированному от земли, равномерно идет поезд. В каком-то месте оба рельса замкнуты на гальванометр. Будут ли изменяться показания гальванометра в зависимости от того, приближается поезд к гальванометру или удаляется от него?
7. Какие превращения энергии происходят при введении магнита в замкнутое проводящее кольцо?

8. В накоротко замкнутую катушку вдвигают магнит: один раз быстро, а другой – медленно. В каком случае через катушку протечет больший заряд? В каком случае в катушке выделится больше тепла?
9. Горизонтальная круглая рамка находится в магнитном поле, направленном вертикально вверх. Каким будет направление индукционного тока при наблюдении рамки сверху, если поле уменьшается со временем?
10. Определить направление индукционного тока в следующем опыте. Ось прямого постоянного магнита расположена вдоль магнитного меридиана. Над магнитом, параллельно ему подвешен прямолинейный провод. Магнит быстро поворачивают на 90^0 северным полюсом на восток.

II. *Задачи (блиц):*

1. Катушка, имеющая форму равностороннего треугольника, помещена в однородное магнитное поле с индукцией 0,06 Тл, направление линий которой составляет угол 30^0 с перпендикуляром к плоскости катушки. Если при равномерном уменьшении магнитной индукции до нуля за время 0,03 с в рамке индуцируется ЭДС 30 мВ, то чему равна длина одной стороны рамки? 0,2 м
2. Медное кольцо из провода диаметром 2 мм расположено в однородном магнитном поле, индукция которого меняется со скоростью 1,09 Тл/с. Плоскость кольца перпендикулярна вектору магнитной индукции. Чему равен диаметр кольца, если в нем возникает ток 10 А? 0,2 м

III. Какое поле может вызвать движение свободных заряженных частиц в проводнике, если он неподвижен? Батарейка?! Электрическое поле! $\vec{F}_э = q\vec{E}$. А магнитное?! Нет! $F_M = q\upsilon B\sin\alpha$. Если $\upsilon = 0$, то $F_м$ = 0. Электрический ток в неподвижном контуре может вызвать только **электрическое поле**, которое в данном случае создается переменным магнитным полем. Изменяющееся сквозь данный контур (в данной области пространства) с течением времени магнитное поле порождает в окружающем пространстве вихревое **электрическое поле.**

Особенности поля:

- Силовые линии замкнуты (вихревое поле).
- Направление вихревого электрического поля образует левый винт с нарастающим вектором $\vec{B}$.
- Замкнутый проводящий контур, магнитный поток сквозь который изменяется, является источником электрического тока.
- Энергетическая характеристика источника тока - ЭДС. ЭДС индукции обусловлена работой вихревого электрического поля, поэтому для любого контура:

$$A = qEl = q|\varepsilon_i| = q\left|\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}\right| = qS\left|\frac{\Delta\vec{B}}{\Delta t}\right|.$$ Энергия, сообщаемая заряду, черпается от источника, который обеспечивает изменение магнитного поля.

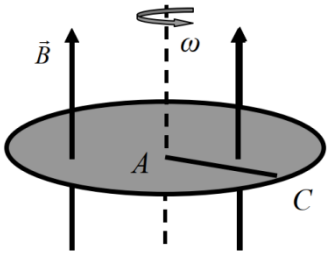
IV. *Задачи:*

1. Квадратная проволочная рамка со стороной 40 см лежит на столе. Линии индукции однородного магнитного поля перпендикулярны плоскости рамки. Модуль индукции этого поля за время τ = 10 с равномерно убывает от В = 1 Тл до нуля. Сопротивление витка г = 0,5 кОм. Определите работу, которую совершает вихревое электрическое поле в рамке за это время. 5,12 мкДж

2. Индукция магнитного поля внутри цилиндра радиуса 8 см возрастает со временем по закону $B = \alpha \cdot t^2$ (коэффициент $\alpha = 10^{-4}$ Тл/с^2). Магнитное поле направлено вдоль оси цилиндра. Чему равна напряженность вихревого электрического поля на расстоянии 0,1 м от оси цилиндра в момент времени $t_1 = 1$ с; $t_2 = 4$ с? 0,8 мкВ/м, 3,2 мкВ/м

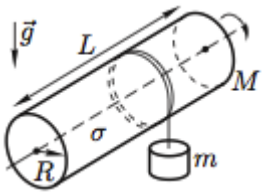
V. Олимпиада.

1. Заряд Q равномерно распределён по тонкому диэлектрическому кольцу массой M, лежащему на гладкой горизонтальной плоскости. Кольцо находится в однородном магнитном поле с индукцией B, магнитные линии направлены вертикально. Определите угловую скорость, которую приобретёт кольцо после выключения магнитного поля. $\omega = \dfrac{QB}{2m}$



2. Изолированный металлический диск помещен в однородное магнитное поле. Ось диска совпадает с направлением силовых линий индукции магнитного поля. Поток вектора индукции через плоскость диска составляет 0,02 Вб. Определить ЭДС индукции между центром и краем диска, возникающую при его вращении с частотой 50 Гц. 1В

3. На длинном тонкостенном диэлектрическом цилиндре радиуса R, длины L ≫ R и массы M размещён электрический заряд одинаковой поверхностной плотностью σ. Цилиндр может свободно (без трения) вращаться вокруг своей оси под действием груза массы m, подвешенного на невесомой нити, намотанной на цилиндр. Определите ускорение груза.



$$a = \frac{mg}{M + m + \mu_0 \pi \sigma^2 R^2 L}$$

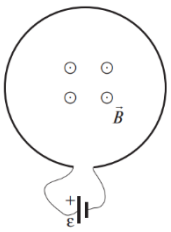
4. Из резинового шнура длины ℓ и массы m с коэффициентом жесткости k изготовили кольцо, которое вращается с угловой скоростью ω вокруг своего центра. Найдите радиус кольца. Второй закон Ньютона для участка кольца. Силы натяжения $T = 2\pi k(R - r)$. $R = \dfrac{4\pi^2 r}{4\pi^2 k - m\omega^2}$

Вопросы (блиц):

1. Что произойдет в кольце, когда в него введут магнит, если кольцо сделано из: а) диэлектрика; б) проводника; в) сверхпроводника?
2. Какие электромагнитные явления могут происходить при движении спутника в земном магнитном поле?
3. Металлический шарик, подвешенный на нити к штативу, совершает колебания. Как, не прикасаясь к шарику, ускорить затухание колебаний?
4. Одинаковое ли время потратит магнит на падение внутри узкой медной трубы и рядом с ней? (В обоих случаях магнит не касается трубы.)
5. Индукционный нагреватель состоит из металлических труб, в которые уложены изолированные провода. По проводам пропускается переменный ток. Почему при этом нагреваются трубы?
6. Древесина, помещённая в переменное электромагнитное поле высокой частоты, нагревается и высыхает. Каковы преимущества такого метода сушки перед обычной сушкой?

7. Применяя токи высокой частоты, можно закалить металлические детали так, что поверхностный слой будет твёрдым, а сердцевина мягкой. Как это достигается? Чем выгодна такая закалка деталей (например, коленчатых валов автомобилей)?
8. Какими способами можно снизить потери от вихревых токов? Уменьшение массы прибора, шихтованные сердечники с большим сопротивлением.
9. Спутники на геостационарной орбите все же теряют скорость из-за взаимодействия с магнитным полем Земли. Почему?
10. Почему магнитное поле внутри сверхпроводника всегда равно нулю?
11. Как перемещается по рельсам поезд на магнитной подушке?
12. В чем отличие вихревого электрического поля от электростатического?
13. На вертикально расположенной катушке лежит металлическая монета. Почему она нагревается, когда по катушке течет переменный ток, и остается холодной — при постоянном токе?
14. Найти условие равновесия шарика радиусом r из сверхпроводника в магнитном поле горизонтального кругового витка с током I и радиусом R. Сохранение магнитного потока: $I_C = I\dfrac{r}{R}$
15. Почему изменения магнитного поля Земли во время солнечных вспышек генерируют электрические токи в соленой воде, литосфере Земли, линиях электропередачи и других проводниках?
16. Перечислите реальные способы левитации.

Разное



1. Термопара с ЭДС 12 мВ подключена к медному кольцу диаметром 30 см. В начальный момент времени включается однородное магнитное поле с вектором индукции $\vec{B}$ перпендикулярным плоскости кольца, направленным на нас, как показано на рисунке. Индукция поля нарастает со скоростью 0,2 Тл/с. Во сколько раз изменится количество теплоты, выделяющееся в кольце в единицу времени? 4,7
2. Плоский проволочный виток, имеющий площадь S и сопротивление R, находится в однородном магнитном поле с индукцией B, причем вектор магнитной индукции перпендикулярен плоскости витка. Магнитное поле исчезает с постоянной скоростью за время t. Какое количество теплоты выделится при этом процессе? Что является причиной возникновения индукционного тока в катушке? $Q = \dfrac{(BS)^2}{Rt}$
3. На двух горизонтальных рельсах, расстояние между которыми ℓ = 1,0 м, лежит проводник сопротивлением R = 1,0 Ом, массой m = 0,5 кг. Коэффициент трения между проводником и рельсами μ = 0,1. Вся система находится в однородном магнитном поле с вертикальным направлением линий магнитной индукции. Значение магнитной индукции B = 0,1 Тл. Рельсы подключают к источнику тока с ЭДС ε = 10 В. Пренебрегая внутренним сопротивлением источника и сопротивлением рельсов, определите установившуюся скорость движения проводника. 50 м/с

Олимпиада.

1. В постоянном магнитном поле заряженная частица движется по окружности.

Когда индукцию магнитного поля стали увеличивать, обнаружилось, что скорость частицы изменяется так, что поток вектора магнитной индукции через площадь, ограниченную орбитой, остаётся постоянным. Найдите кинетическую энергию частицы E в поле с индукцией B, если в поле с индукцией B_0 её кинетическая энергия равна E_0. Отв. $E = (B/B_0)\,E_0$

2. Заряженная частица, двигаясь в плоскости, перпендикулярно длинному заряженному проводу, пролетает мимо этого провода, отклонившись от первоначального направления на небольшой угол α. Найдите этот угол, если кинетическая энергия частицы при влете ее в поле провода равна W, ее заряд e, линейная плотность заряда λ. Напряженность поля на расстоянии r от длинного провода $E = \dfrac{\lambda}{2\pi\varepsilon_0 r}$. Выражаем проекцию силы на ось y: $F_y dt = m d\upsilon_y$. $F_y = eE\cos\varphi$. $dx = \dfrac{r d\varphi}{\cos\varphi}$. $dt = \dfrac{dx}{\upsilon_x}$ $\alpha = \dfrac{\upsilon_y}{\upsilon_ч} = \dfrac{e\lambda}{4\pi W}$
3. Муравей Гоша торопился успеть в родной муравейник до заката солнца. Он двигался так, что модуль его ускорения a был обратно пропорционален модулю его скорости v в каждый момент времени: $a = k/v$, где k – известная постоянная величина. За какое время t Гоша увеличит свою скорость от v_1 до v_2? Интеграл Ответ: $t = v_2^2 - v_1^2/2k$

Занятие 3. Явление самоиндукции

I. *Вопросы (блиц):*

1. В переменное магнитное поле помещена катушка и виток. Почему ЭДС в катушке больше, чем в одном витке?
2. Полосовой магнит поочередно вводится в кольцевые проводники различного радиуса. Что вы можете сказать об ЭДС индукции, возникающей в проводниках; напряженности вихревого электрического поля; силе тока?
3. Определите ЭДС индукции в контуре, если магнитный поток через контур за каждые 2 с увеличивается на 10 Вб. 5 В.
4. Спутники на геостационарной орбите все же теряют скорость из-за взаимодействия с магнитным полем Земли. Почему?
5. Как перемещается по рельсам поезд на магнитной подушке?
6. Почему при транспортировке клеммы электроизмерительных приборов замыкают проводом?
7. Каким образом можно экранировать некоторую область пространства от влияния быстроизменяющихся магнитных полей?
8. Вихревое электрическое поле имеет совершенно другие свойства в отличии от электростатического поля. Какие?
9. Если вращать магнит под горизонтальным алюминиевым диском, закрепленным на вертикальной оси вращения, то он тоже начнет вращаться. Следует ли из этого, что алюминий притягивается магнитом?

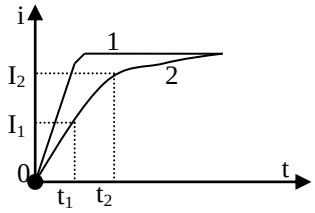
II. *Задачи (блиц):*

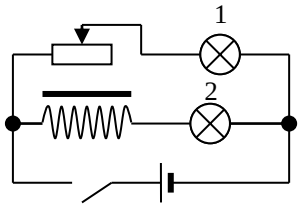
1. Из провода длиной 2 м, имеющего сопротивление 5 Ом, изготовлен квадратный контур. В одну из сторон включен источник с ЭДС 10 В и сопротивлением 2

Ом. Контур помещен в однородное магнитное поле, силовые линии которого перпендикулярны плоскости контура. Модуль индукции магнитного поля возрастает по закону B = kt, где k = 10 Тл/с. Найти силу тока в контуре при обоих возможных направлениях поля. Внутренним сопротивлением источника тока пренебречь. 1,79 А, 1,07 А.

2. Под действием постоянной силы по П-образному проводу перемещается перемычка со скоростью 0,5 м/с. Контур, состоящий из провода и перемычки, находится в магнитном поле, силовые линии которого перпендикулярны его плоскости. Вычислить модуль действующей силы, если в контуре выделяется в секунду 2 Дж теплоты? 4 Н

III. На доске изображена схема электрической цепи, собранной на демонстрационном столе (накал слабый). Замыкание ключа и наблюдение за лампами. Примерные графики нарастания силы тока в лампах. Нарастание тока и изменение магнитного потока сквозь контур катушки. Возникновение ЭДС самоиндукции и индукционного тока в катушке, его направление.





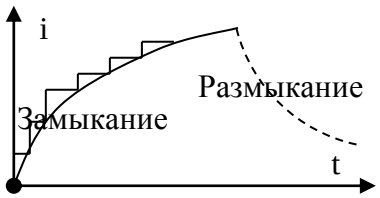
$\Phi \sim B \sim I\ ;\ N \cdot \Phi = L \cdot I\ ;\ N \cdot \Delta\Phi = L \cdot \Delta I.$

$\varepsilon_c = -L\dfrac{\Delta I}{\Delta t} \qquad \to e_c = -L \cdot i'.$

Объяснение графика силы тока в катушке от времени.

Индуктивность (L) – свойство электрической цепи (проводника или катушки) противодействовать изменению в ней силы электрического тока, измеряемое отношением ЭДС самоиндукции, возникающей в этой цепи, к скорости изменения тока в ней. Единица индуктивности в СИ: [L] = [Гн]. Индуктивность катушки: $L = \mu\mu_0 \dfrac{N^2 S}{\ell}$.

Установление тока при замыкании цепи с катушкой происходит тем быстрее, чем меньше L цепи и больше её сопротивление R.



Возникновение ЭДС самоиндукции при размыкании электрической цепи. Направление индукционного тока (демонстрация). При размыкании электрической цепи ток продолжает течь (индукционный ток), а поэтому между разомкнутыми клеммами ключа появляется разность потенциалов (напряжение). Если L = 1,1 Гн, I = 1 А, а $\Delta t = 10^{-3}$ с. то ε_c = 1000 В.

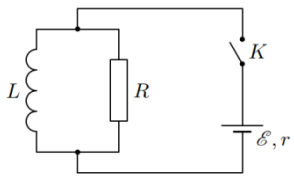
IV. *Задачи:*

3. Через катушку, индуктивность которой 200 мГн протекает ток, изменяющийся по закону I = 2cos3t. Определить максимальное значение ЭДС самоиндукции. Ответ: ε_{max} = 1,2 В.
4. В цепи индуктивность катушки 0,1 Гн, ее сопротивление пренебрежимо мало. ЭДС источника тока 12 В, его внутреннее сопротивление 0,3 Ом, сопротивление резистора, включенного последовательно с катушкой, 2,7 Ом. Ключ замыкают. 1) Найти скорость возрастания тока сразу после замыкания ключа. 2) Найти скорость возрастания тока в момент, когда ток достигнет 1 А. 3) Найти установившийся ток в цепи. 120 А/с, 90 А/с. 4 А.

5. По соленоиду, индуктивность которого L течет ток силой I0. При замыкании концов соленоида накоротко через поперечное сечение проводника соленоида прошел заряд q . Найти сопротивление обмотки соленоида. Ответ: $R = \frac{I_0 L}{q}$.

V. Олимпиада.

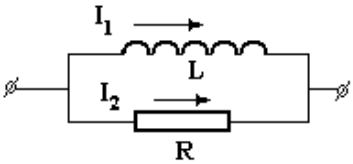
1. Обмотка соленоида состоит из одного слоя плотно прилегающих друг к другу витков провода диаметром d = 0,24 мм. Диаметр D соленоида равен 6,8 см. По соленоиду течет ток I = 6 А. Определить количество электричества Q в мкКл, протекающее через обмотку, если концы ее замкнуть накоротко. Толщиной изоляции пренебречь. Удельное сопротивление провода $\rho = 2 \cdot 10^{-8}$ Ом·м. 1207 мкКл
2. Вблизи длинного прямого провода с током расположена квадратная рамка из тонкого провода сопротивлением 4,4 Ом. Провод лежит в плоскости рамки и параллелен двум ее сторонам, расстояние которых от провода соответственно равно 14,8 см и 31,4 см. Найти силу тока в проводе, если при его выключении через рамку протек заряд 507,2 мкКл. Сделайте рисунок. 90 кА
3. Параллельно соединённые катушка индуктивностью L и резистор сопротивлением R подключены через ключ K к батарее с ЭДС ε и внутренним сопротивлением r. В начальный момент времени ключ K разомкнут, и тока в цепи нет. Какой заряд протечёт через резистор после замыкания ключа? Через какой промежуток времени установится ток в цепи? Сопротивлением катушки пренебречь. $q = \frac{L\varepsilon}{Rr}$. У меня $t = \frac{L(R+r)}{Rr}$.



Вопросы (блиц):

1. Как определить индуктивность достаточно длинной катушки, пропуская через нее постоянный ток?
2. Если электрическую лампу подключить параллельно катушке индуктивности, то при размыкании ключа лампа ярко вспыхивает. Почему?
3. По катушке индуктивностью L = 1 Гн течет ток 10 А. Чему будет равно напряжение на разрыве, если цепь катушки разомкнуть, за $1 \cdot 10^{-3}$ с?
4. Как с помощью линейки измерить индуктивность однослойной катушки без сердечника?
5. Катушку индуктивностью L = 0,3 Гн подключают к источнику с ЭДС ε = 1,5 В. Через какой промежуток времени Δt сила тока в цепи будет равна I = 5 А? Омическим сопротивлением катушки и внутренним сопротивлением источника пренебречь. 1 с
6. Ротор работающего электрического генератора при вращении в магнитном поле статора испытывает (кроме сил трения) действие тормозящих сил. Какова природа этих сил? возникает индукционный ток и сила Ампера.
7. Если два генератора постоянного тока соединить последовательно и ротор одного из них внешней силой привести во вращение, то будет вращаться и другой. Почему?
8. Все размеры катушки увеличили в 2 раза. Во сколько раз изменилась ее индуктивность?

9. Если сопротивление замкнутого контура равно нулю (сверхпроводник). То при введении в него магнита возникал бы бесконечно большой ток. Почему этого не происходит? Магнитное поле в проводнике, который находится в сверхпроводящем состоянии, возбудить невозможно. Почему?
10. Можно ли считать индуктивность соленоида с железным сердечником постоянной величиной?
11. В некоторой цепи имеется участок, показанный на рисунке. Зная, что R = 2 Ом, L = 0,001 Гн и ток I_1 возрастает от нуля со скоростью 2 А/с, найдите ток I_2. 1 мА



12. В проводнике индуктивностью 50 мГн сила тока в течение 0,1 с равномерно возрастает с 5 А до некоторого конечного значения. При этом в проводнике возбуждается ЭДС самоиндукции, равная 5 мВ. Определить конечное значение силы тока в проводнике. 5,01 А

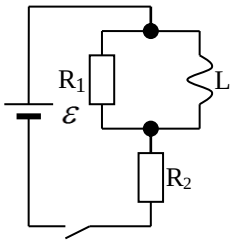
Разное

1. При равномерном изменении силы тока через однослойную катушку за время 0,05 с в ней возникает ЭДС самоиндукции 0,1 В. Катушка содержит 1000 витков. Какой заряд пройдет за это время через замкнутый виток сопротивлением 2 Ом, плотно надетый на катушку? 2,5 мкКл
2. В длинном соленоиде на единицу длины приходится N витков. Ток в соленоиде изменяется по закону $I = I_0 \sin \omega t$. Круглое поперечное сечение соленоида имеет радиус R. Определите значение напряженности индуцируемого электрического поля E на расстоянии r от оси соленоида: а) r < R; б) r > R.

   а) $E = \frac{1}{2}\mu_0 N r I_0 \cos \omega t$; б) $E = \frac{1}{2}\mu_0 N \frac{R^2}{r} I_0 \cos \omega t$
3. Катушка из 50 витков радиусом 10 см находится на расстоянии 1 м от другой такой же катушки. Они имеют общую ось. Чему равна э. д. с. индукции во второй катушке, когда первая, несущая ток 10 А, выключается за 0,01 с? на взаимную индукцию 0,01 В
4. Электрический мотор, рассчитанный на напряжение U = 117 В, в момент пуска потребляет ток I_0 = 37,5 А. При нормальной скорости вращения якоря мотора потребляется ток I = 4,1 А. Определите: а) сопротивление обмоток мотора R; б) ЭДС самоиндукции мотора ε при нормальной скорости вращения; в) ток I_1, потребляемый мотором при скорости вращения в три раза меньшей нормальной скорости. а) $R = U/I_0 = 3{,}12$ Ом; б) $\varepsilon = U(1 - I/I_0) \approx 104$ В; в) $I_1 = (2I_0 + I)/3 \approx 26{,}4$ А.

Олимпиада.

1. В схеме, изображенной на рисунке, в начальный момент ключ разомкнут. Определите ток в ветвях цепи сразу после замыкания ключа. Найдите установившиеся токи в цепи после окончания переходного процесса. Параметры схемы указаны на рисунке. Внутренним сопротивлением батареи пренебречь.



2. Небольшое непроводящее немагнитное кольцо покоится на гладкой горизонтальной поверхности, помещенной между полюсами электромагнита, создающего в области расположения кольца вертикальное однородное магнитное поле с индукцией B_0. По кольцу равномерно

распределен заряд q, масса кольца равна m. Ток в обмотках электромагнита выключают. До какой максимальной угловой скорости может раскрутиться кольцо после этого?

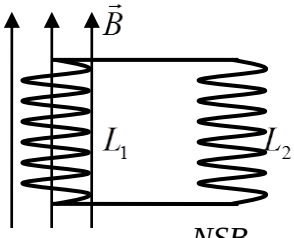
Занятие 4. Энергия магнитного поля.

I. *Вопросы (блиц):*

1. При электросварке применяется стабилизатор - катушка со стальным сердечником, включенная последовательно с дугой. Почему стабилизатор обеспечивает устойчивое горение дуги?
2. Индуктивность катушки, измеренная в лаборатории, оказалась 80 мГн. Точность измерения 4%. Какова абсолютная погрешность измерения? Каков результат измерения?
3. Кольцо из сверхпроводника находится вблизи постоянного магнита и пронизывается магнитным потоком величиной Ф. Как изменится поток, если магнит убрать. Не изменится
4. В какой момент искрит рубильник: при замыкании или размыкании? Если параллельно рубильнику включить конденсатор, то искрение прекращается. Объясните явление.
5. При замыкании и размыкании цепи в катушке возникает индукционный ток. В каком случае его значение будет больше? При размыкании сопротивление цепи резко увеличивается, ток резко уменьшается, возникает ЭДС самоиндукция, которая превышает ЭДС источника тока.
6. Как изменится индуктивность контура при увеличении числа витков в 4 раза? Увеличится в 16 раз.
7. Чему равна индуктивность контура, в котором при изменении силы тока на 6 А за 3 с возникает ЭДС самоиндукции 1 мВ? L = 500 мкГн.
8. Почему при отрыве бугеля трамвая от воздушного провода искрение незначительно, если работает только освещение вагона, а двигатель отключен?
9. Имеются два провода равной длины, но разного сечения. Какой из них нужно навивать (однослойной намоткой) на железный сердечник, чтобы получить большую индуктивность?
10. При подключении катушки индуктивности к источнику постоянного тока, ток в цепи изменяется по закону: $I = 3(1-e^{-20t})$. Определите время, через которое ток примет свое конечное значение. Ток достигнет $I=0{,}99I_0$ через 0,25 с..

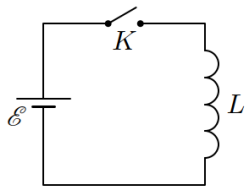
II. *Задачи (блиц):*

1. Однослойный соленоид без сердечника длиной ℓ = 20 см и диаметром D = 4 см имеет плотную намотку медным проводом диаметром d = 0,1 мм. За время Δt = 0,1 с сила тока в соленоиде убывает от I_1 = 5 А до 0. Определите ЭДС самоиндукции в соленоиде. 1,6 В
2. Катушка с числом витков N и площадью основания S помещена в однородное магнитное поле с индукцией B, направленное вдоль её оси. Какой ток возникнет в катушках, если магнитное поле выключить? Индуктивности катушек L_1 и L_2, сопротивлением цепи пренебречь. Решить: $e_i + e_{c_1} + e_{c_2} = 0$ или через закон сохранения магнитного потока.



$$I = \frac{NSB}{L_1 + L_2}$$

3. Катушка индуктивностью L подключена к источнику постоянного тока, ЭДС которого равна ε. Ключ К вначале разомкнут, и в момент времени t = 0 его замыкают. Найдите зависимость силы тока в цепи от времени. Омическим сопротивлением катушки, внутренним сопротивлением источника и сопротивлением проводов пренебречь. I =ε·t/L



III. Аналогия между самоиндукцией и инерцией. Замкнутый контур, обладая определенной индуктивностью, приобретает электрическую инертность, заключающуюся в том, что любое противодействие изменению тока тем сильнее, чем больше индуктивность контура. Аналогия с разгоном автомобиля.

Формула для определения **энергии магнитного поля тока**:

Катушка индуктивности может запасать электрическую энергию! $W_L = \frac{LI^2}{2} = \frac{\Phi \cdot I}{2}$

Где сосредоточена эта энергия? Плотность энергии магнитного поля:

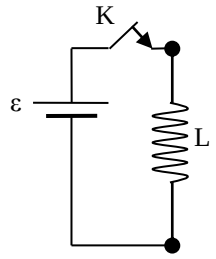
$$W_L = \frac{LI^2}{2} = \frac{1}{2}\left[\frac{\mu_0 N^2 S}{l}\right]\cdot\left[\frac{Bl}{\mu_0 N}\right]^2 = \frac{1}{2}\frac{B^2}{\mu_0}Sl \to u_L = \frac{1}{2}\frac{B^2}{\mu_0}$$

Соединение катушек индуктивности:

1. **Последовательное**: $L = L_1 + L_2$; 2. **Параллельное:** $\frac{1}{L} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2}$.

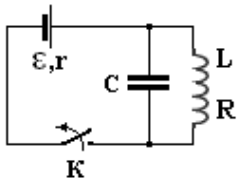
IV. *Задачи:*

1. На рисунке показана идеальная цепь, состоящая из источника ЭДС ε и катушки индуктивности L. Пусть полное сопротивление цепи равно нулю. Какой ток будет в цепи спустя 1 с после замыкания ключа, если L = 0,1 Гн, а ε = 1,5 В? Ответ: I = 15 А.



2. В однородном магнитном поле с магнитной индукцией B = 0,2 Тл находится квадратный проводящий контур со стороной a = 20 см и током I = 10 А. Плоскость квадрата составляет с направлением поля угол в 30°. Определите работу удаления контура за пределы поля. 0,07 Дж

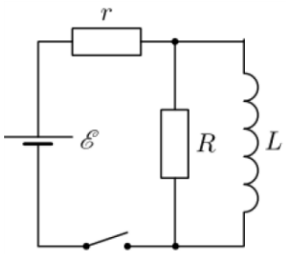
3. В схеме, показанной на рисунке, ключ К долгое время был замкнут. Найдите максимальное количество теплоты, которое может выделиться в катушке после размыкания ключа. $Q = \frac{(L + cR^2)\varepsilon^2}{2(R+r)^2}$



4. В неподвижной катушке энергия магнитного поля уменьшается в 32 раза за 0,17 с. Какова величина средней ЭДС самоиндукции, возникающей в этой катушке, если ее индуктивность 0,31 Гн, а первоначальный ток 15,2 А? 22,8 В

V. Олимпиада.

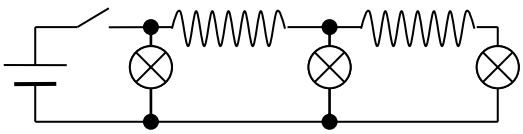
1. В схеме, изображённой на рисунке, ε = 7 В, R = 6r. После замыкания ключа происходит процесс установления режима постоянного тока. Найдите напряжение на катушке в момент, когда скорость изменения её энергии была максимальна. $U = \frac{\varepsilon R}{2(R+r)}$. 3 В. По графику найти ток, когда скорость максимальна.



2. Для защиты отсека космического корабля от потоков заряженных частиц изготовили соленоид длиной ℓ = 5 м и внутренним диаметром D = 1,5 м. Сколько энергии должны затратить солнечные батареи для получения в соленоиде поля индукции B = 1 Тл? Ответ: 0,7 МДж
3. Как изменится ответ, если в соленоид вставить соосный с ним сверхпроводящий свинцовый цилиндр той же длины диаметром d = 1 м, а силу тока в соленоиде поддерживать прежней? Затратами энергии на нагрев провода в обмотке соленоида можно пренебречь, поле в соленоиде считать однородным. Ответ: 0,39 МДж.

Вопросы (блиц):

1. Одним и тем же магнитом можно намагнитить большое количество стальных гвоздей. Благодаря какой энергии происходит их намагничивание?
2. При нагревании выше точки Кюри магнит размагничивается. Куда исчезает энергия магнитного поля?
3. При внесении внутрь соленоида железного сердечника энергия его магнитного поля возрастает в тысячи раз. За счет чего это происходит?
4. В короткозамкнутой катушке с витками из сверхпроводящего металла течет ток I = 100 А. Индуктивность катушки L = 1 Гн. При повышении температуры сверхпроводник перешел в нормальное состояние. Какое количество теплоты Q выделилось в катушке?
5. При сближении двух магнитов одноименными полюсами приходится совершать работу по преодолению силы отталкивания. На что тратится энергия?
6. Как изменяется энергия магнитного поля при приближении магнита к металлическому кольцу?
7. Какие явления нельзя объяснить электромагнитной индукцией?
   - Парение кольца из сверхпроводника над магнитом.
   - Искрение рубильника при размыкании электрической цепи.
   - Отклонение магнитной стрелки вблизи проводника с током.
   - Повреждение энергосистем во время солнечной бури.
   - Торможение радиальных пил магнитом.
8. Какую работу необходимо совершить, чтобы из сверхпроводящей катушки индуктивностью L с силой тока I удалить ферромагнитный сердечник с магнитной проницаемостью μ?
9. Цепь состоит из трех одинаковых ламп и двух идеальных катушек. При замкнутом ключе все лампы горят одинаково. Как будут гореть лампы сразу после размыкания ключа?



10. Если вложить один в другой два соленоида с одинаковым модулем магнитной индукции, то полная запасенная ими энергия возрастет в два раза или станет равной нулю? Так ли это и почему?
11. Зачем при хранении дугообразного магнита его концы соединяют железным бруском (якорем)?

Разное

1. Индукция магнитного поля равна B = 12 Тл. Какова напряженность электрического поля E, в единице объема которого сосредоточена такая же энергия, что и у магнитного поля? $E = 3{,}6 \cdot 10^9$ Н/Кл.
2. В обмотке электромагнита, находящейся под постоянным напряжением, за время 5 мс выделилось количество теплоты, равное энергии магнитного поля в сердечнике. Определите индуктивность обмотки, если ее сопротивление 10 Ом. 0,1 Гн

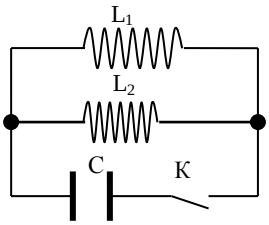
Занятие 5. Механические колебания.

I. *Вопросы (блиц):*

1. Как ослабить силу индукционного тока, возникающего при размыкании цепи с большой индуктивностью?
2. Определите энегию магнитного поля соленоида, индуктивность которого 0,02 Гн, а магнитный поток через него составляет 0,4 Вб. 4 Дж
3. В цепь батареи аккумуляторов последовательно включены обмотка электромагнита и лампа накаливания. В то время, когда электромагнит притягивает к себе груз, накал нити лампы уменьшается. Объясните явление.
4. Идеальную катушку и резистор последовательно соединили с батареей через ключ. Ключ замыкают. Чему будет равна сила тока, когда магнитная энергия в катушке достигнет максимума? Когда будет наибольшей скорость нагревания резистора?
5. В короткозамкнутой катушке с витками из сверхпроводящего металла течет ток I = 100 А. Индуктивность катушки L = 1 Гн. При повышении температуры сверхпроводник перешел в нормальное состояние. Какое количество теплоты Q выделилось в катушке? Ответ: 5 кДж
6. Нарисуйте схему с электромагнитным реле, которая бы предотвращала взрыв сверхпроводящего соленоида вследствие того, что какой-либо участок его обмотки утратил сверхпроводящие свойства.
7. При увеличении силы тока, проходящего через катушку индуктивности 0,5 Гн, в два раза, энергия магнитного поля возросла на 3 Дж. Найти начальные значения силы электрического тока и энергии магнитного поля.
8. Почему невозможно возбудить магнитное поле в веществе, которое находится в сверхпроводящем состоянии?

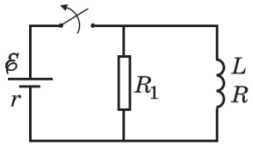
II. *Задачи (блиц):*

1. В цепи индуктивности катушек равны L_1 и L_2, а конденсатор емкостью C заряжен до напряжения U_0. Определите максимальные значения силы тока в катушках после замыкания ключа K. Сопротивлением катушек и соединительных проводов пренебречь. $I_{m2} = U_0\sqrt{\dfrac{L_1 C}{L_2(L_1+L_2)}}$



2. Соленоид имеет длину 60 см и сечение 10 см^2. При некоторой силе тока, протекающего по обмотке, в соленоиде создается магнитный поток 100 мкВб. Вычислить энергию магнитного поля соленоида. 12,73 Дж (через плотность энергии).

3. Катушка индуктивностью L = 0,4 Гн с сопротивлением обмотки R = 2 Ом подключена параллельно с резистором сопротивлением R_1 = 8 Ом к источнику с ЭДС ε = 6 В и внутренним сопротивлением r = 0,2 Ом. Какое количество теплоты Q выделится в резисторе R_1 после отключения источника? О т в е т. Q = 1,14 Дж.



III. Пружинный маятник. Уравнение движения пружинного маятника: $a_x = -\frac{k}{m}x = -\omega_{0n}^2 \cdot x.$ **Математический маятник** – материальная точка, подвешенная на невесомой и нерастяжимой нити. Уравнение движения математического маятника: $a_x = -\frac{g}{l}x = -\omega_{0м}^2 \cdot x.$ Функция, удовлетворяющая уравнению движения, имеет вид: $x = A\cos(\omega t + \varphi_0).$

Амплитуда (А) - наибольшее отклонение от среднего значения величины, изменяющейся при колебаниях по гармоническому закону.

Период колебаний (Т) - свойство гармонически колеблющегося объекта повторять свое движение через определенный промежуток времени, измеряемое часами в секундах**.**

Циклическая частота (ω) – отношение изменения фазы колебаний к промежутку времени, за который это изменение произошло**:** $\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu$**.**

$$\omega_{on} = \sqrt{\frac{k}{m}}; \qquad T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}.$$

$$\omega_{0m} = \sqrt{\frac{g}{l}}; \qquad T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}.$$

Построение на доске графика смещения гармонически колеблющегося тела от времени (начальная фаза равна нулю), проекции скорости и проекции ускорения. $\upsilon_{мах} = A\omega; a_{мах} = A\omega^2.$

Свободные колебания пружинного и нитяного маятников являются гармоническими.

Сложение колебаний: $A^2 = A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2\cos(\varphi_{01} - \varphi_{02})$

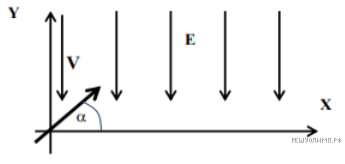
$tg\varphi_0 = (A_1 sin\ \varphi_{01} + A_2 sin\ \varphi_{02})/(A_1 cos\ \varphi_{01} + A_2 cos\ \varphi_{02})$

IV. *Задачи (блиц):*

1. Материальная точка, совершающая гармонические колебания с периодом T = 0,5 с, в начальный момент времени t = 0 с имела смещение, равное x_0 = 0,01 м, и начальную скорость υ_0 = 2 м/с. Определить амплитуду и начальную фазу колебаний. Ответ: A = 0,16 м; $\varphi_0 = -86^0$.
2. **По**средине легкого горизонтального шнура длиной 2L закреплен маленький груз массой m. Считая натяжение шнура постоянным и равным F, найдите период колебаний груза. Силу тяжести не учитывать. $T = 2\pi\sqrt{\frac{m\ell}{2F}}$
3. Платформа совершает гармонические колебания в горизонтальном направлении с частотой 0,25 Гц. На платформе лежит груз, коэффициент трения которого о платформу равен 0,1. Какова может быть максимальная амплитуда колебаний платформы, чтобы груз не скользил по ней? 0,4 м

V. Олимпиада.

1. Частица, покинув источник, пролетает с постоянной скоростью расстояние L, а затем тормозится с ускорением a. При какой скорости частицы время движения от ее вылета до остановки будет наименьшим? $\upsilon = (\ell \cdot a)^{1/2}$
2. В области пространства с плоской границей создано



электрическое поле, векторы напряженности которого направлены перпендикулярно к границе, а их величина прямо пропорциональна расстоянию до границы. В эту область под некоторым углом α к границе влетает положительно заряженная микрочастица. Определите тангенс этого угла, если известно, что частица вылетела из области на расстоянии в 2 раза большем, чем максимальное расстояние, на которое частица углубилась в область поля. Излучением и влиянием силы тяжести пренебречь. Колебания у. $\operatorname{tg}\alpha = \frac{V \cdot \sin\alpha}{V \cdot \cos\alpha} = \frac{\omega \cdot L_1}{\left(\frac{\omega L_2}{\pi}\right)} = \pi \frac{L_1}{L_2}$.

3. Фонарь, находящийся на расстоянии R_0 = 3 м от вертикальной стены, равномерно вращается вокруг вертикальной оси с частотой n = 0,5 c^{-1} и бросает на стену световой зайчик. Какова скорость зайчика через t = 0,1 с после того, как луч света оказывается перпендикулярен стене? Находим перемещение зайчика, а потом производную от него (скорость). 10,4 м/с
4. Оцените время столкновения футбольного мяча массой m и радиусом R со стенкой, если давление воздуха внутри мяча p, а атмосферное давление p_0. $\tau = T/2 = \pi m/k \approx \pi m/2\pi R(p - p_0)$.

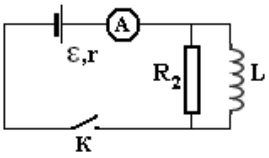
Вопросы (блиц):

1. Что можно определить по графику движения при гармонических колебаниях?
2. Изменится ли период колебаний нитяного маятника от того, что его поместили в жидкость, вязкостью которой можно пренебречь?
3. Массивный шарик висит на пружине. Все размеры пружины и шарика увеличили в 3 раза. Во сколько раз увеличится растяжение пружины? Во сколько раз изменится период колебаний системы? Растяжения увеличится в 3 раза, период в $\sqrt{3}$
4. Два нитяных маятника, длины которых ℓ_1 и ℓ_2 соответственно, причём, $\ell_1 < \ell_2$ начинают движение в одинаковой фазе. Через какое время колебания этих маятников снова совпадут по фазе? $t = \frac{2\pi}{\omega_1 - \omega_2}$
5. Космический корабль при включении двигателей движется с некоторым ускорением. Каким образом, используя математический маятник, подвешенный в кабине корабля, можно определить ускорение корабля?
6. В каком положении тангенциальное ускорение колеблющегося математического маятника равно нулю?
7. В каком положении нормальное ускорение колеблющегося математического маятника максимально?
8. Материальная точка массой 0,2 кг начинает двигаться под действием переменной силы $F=3t^2$, где F — сила, Н; t — время, с. Какова скорость точки в конце второй секунды движения? 40 м/с
9. Найдите приближенно относительное изменение периода колебаний математического маятника при увеличении длины нити со 100 см до 101 см? С каким ускорением надо двигать в вертикальном направлении точку прикрепления маятника, чтобы скомпенсировать найденное изменение периода колебаний?

10. Если поворачивать стул, на котором укреплен колеблющийся нитяной маятник, то он не изменяет плоскости своих колебаний. Как это объяснить?
11. Шарик подвешен на длинной нити. Первый раз его поднимают до точки подвеса и отпускают, второй раз его отклоняют на небольшой угол и тоже отпускают. В каком случае и во сколько раз быстрее шарик возвратится в начальное состояние?
12. Покажите, что конический и математический маятники одинаковой длины имеют равные периоды колебаний.
13. Пусть мембрана в трубке домашнего телефона совершает гармонические колебания с частотой 1 кГц и амплитудой $1{,}0\cdot10^{-4}$ м. Чему равна амплитуда ускорения мембраны?
14. Груз массой m, подвешенный на пружине, совершает вертикальные гармонические колебания с амплитудой A и периодом T. Определите силу натяжения пружины F в тот момент, когда груз достигает нижней точки. $T = m(g + \frac{4\pi^2}{T^2}A)$.

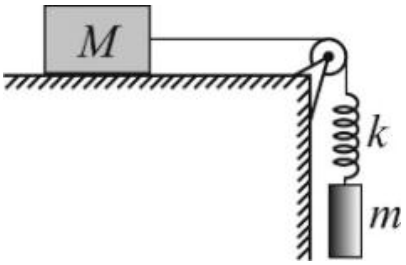
Разное

1. Электрическая цепь содержит источник тока, амперметр с сопротивлением R_1 = 2,5 Ом, резистор R_2 = 7,5 Ом и катушку индуктивности L = 2,5 мГн с пренебрежимо малым сопротивлением. Сила тока через амперметр сразу после замыкания ключа I_1 = 0,2 А, а когда ток перестает изменяться, амперметр показывает силу тока I_2 = 0,4 А. Найти внутреннее сопротивление и ЭДС источника тока. 3 В. 5 Ом



2. Скорость прямолинейного движения тела вдоль оси X задана уравнением $\upsilon_x = 4 - t^2$, где υ_x— проекция скорости на ось X, м/с; t — время, с. Определить пройденный путь и перемещение тела за промежуток времени от $t_1 = 0$ до $t_2 = 3$ с. Тело переместилось на 3 м, пройдя путь 7,7 м
3. Движение тела задано уравнением $x = 4{,}0t - 0{,}050t^2$, где x - координата центра масс тела, м; t - время, с. Определить момент времени, когда скорость тела равна нулю. Найти координату x и ускорение *a* в этот момент. Построить графики скорости и ускорения.[40 с; 80 м; -0,10 м/с^2]
4. Найти уравнение результирующего колебания x(t) при сложении двух синфазных гармонических колебаний в направлении оси X с амплитудами A_1 = 2 см; A_2 = 4 см, с одинаковым периодом T = 2 с. Начальные условия: t = 0; x_1 = 0; x_2 = 0
5. Определить полное ускорение a в момент времени t = 3 с точки, находящейся на ободе колеса радиусом R = 0, 5 м, вращающегося согласно уравнению $\varphi = A\cdot t + B\cdot t^3$, где A = 2 рад/с; B = 0,2 рад/с^3. 27,44 м/с^2

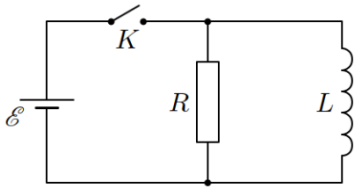
Олимпиада.



1. На шероховатом горизонтальном столе находится брусок массой M = 500 г с прикрепленной к нему легкой нерастяжимой нитью, перекинутой через невесомый неподвижный блок, причем отрезок нити от бруска до блока горизонтален. Ко второму концу нити привязана легкая пружина жесткостью k = 10 Н/м с подвешенным на ней грузом массой m

= 100 г. В начальном состоянии груз удерживают в таком положении, что нить слегка натянута, а пружина не деформирована, причем правый конец нити и пружина занимают вертикальное положение. В некоторый момент груз отпускают из состояния покоя. Спустя время $\tau = \pi/30$ с $\approx 0{,}105$ с после этого брусок сдвигается с места. Найдите коэффициент трения μ между бруском и столом. **Ответ:** $\mu = \frac{m}{M}\left[1-\cos\left(\sqrt{\frac{k}{m}}\tau\right)\right] = 0{,}1$.

2. Футбольный мяч падает с высоты 3 м. Оцените характерную силу, действующую на мяч со стороны земли в момент удара. Считайте удар мяча упругим. Сравните ее с весом мяча. Мяч сожмется, остановится и «оттолкнется» от стенки за время τ, равное половине периода колебаний. Его импульс изменится на $2m\upsilon$.
3. В схеме, показанной на рисунке, все элементы можно считать идеальными. Параметры элементов указаны на рисунке. До замыкания ключа К ток в цепи отсутствовал. Ключ замыкают на некоторое время, а затем размыкают. Оказалось, что после размыкания ключа через катушку протёк заряд q_0. 1) Найдите ток через катушку сразу после размыкания ключа. 1) $I_0 = \frac{q_0 R}{L}$. 2) Какой заряд протёк через источник за время, пока ключ был замкнут? $q = q_0 + \frac{q_0^2 R^2}{2L\varepsilon}$.



Занятие 6. Превращения энергии.

I. *Вопросы (блиц):*

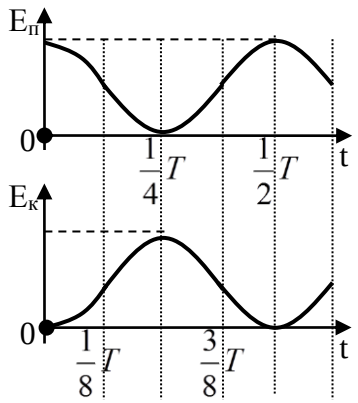
1. Какова связь между максимальными значениями ускорения и скорости колеблющегося тела?
2. Во сколько раз изменится частота колебаний автомобиля на рессорах после принятия груза, равного массе порожнего автомобиля?
3. В какие моменты времени проходит положение равновесия точка, совершающая колебания по закону синуса с периодом T = 1 с и начальной фазой $\varphi_0 = \pi/2$? $t_n = T/4\,(2n-1)$, где n = (1,2,3…n)
4. Как изменится период вертикальных колебаний груза, висящего на двух одинаковых пружинах, если их последовательное соединение заменить параллельным?
5. Найти длину волны и частоту колебаний из уравнения стоячей волны, где x — смещение частиц, мм; r — координата, м; t — время, с. $x = 20\sin\frac{\pi\cdot r}{0{,}08}\cdot\cos(2{,}4\cdot 10^3\pi\cdot t)$
6. Как изменяется угол между ускорением и скоростью тела при гармонических колебаниях математического маятника?
7. Лодка, имеющая скорость v_0, спускает парус в момент времени t = 0, но продолжает двигаться с гиперболической зависимостью скорости от времени $v \sim 1/t$. Как ускорение лодки будет зависеть от ее скорости?
8. Как изменится период колебаний нитяного маятника, если штатив с маятником установить на наклонную плоскость с углом наклона 30^0?

9. Ускорение свободного падения на поверхности Марса 3,7 м/с^2. Как и во сколько раз изменится период колебаний математического и пружинного маятника на Марсе по сравнению с Землей?

II. *Задачи (блиц):*

1. Период колебаний математического маятника на экваторе сферической планеты в n = 1,5 раза больше, чем на ее полюсе. Найти период обращения планеты вокруг ее оси, если плотность вещества планеты ρ = 3 г/см^3. 2,5 ч
2. Качаясь, маятник проходит расстояние 4 см от одного крайнего положения до другого и достигает скорости 10 см/с в средней точке. Считая колебания малыми, найдите их период в секундах. 1,256 с
3. Материальная точка движется вдоль оси X. Зависимость координаты от времени имеет вид x = 3 + 6t- 2t^3 где x — координата, м; t — время, с. В какой момент времени скорость точки будет равна нулю?

III. Демонстрация колебаний горизонтального пружинного маятника. Как будет изменяться потенциальная энергия пружины, если отпустить груз? А кинетическая энергия груза? Графики на доске.



$$E = E_К + E_П = \frac{m\upsilon^2}{2} + \frac{kx^2}{2};$$

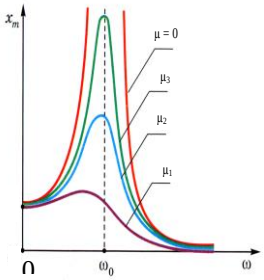
$E_П = \frac{E}{2}(1+\cos\frac{4\pi}{T}t)$; $E_К = \frac{E}{2}(1-\cos\frac{4\pi}{T}t)$ - без вывода. Кинетическая и потенциальная энергии изменяются с частотой 2ω, в два раза превышающей частоту колебаний! Поскольку полная энергия неизменна, то можно приравнять максимальные значения кинетической и потенциальной энергии. $\frac{k\cdot A^2}{2} = \frac{m\cdot\upsilon_{max}^2}{2} \to \upsilon_{max} = \omega\cdot A.$

Динамический подход: $ma_x = F_x = -kx$, $\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$.

Энергетический подход: $\frac{m\upsilon^2}{2} + \frac{kx^2}{2} = E = \text{const}$, $\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$.

Свободные колебания в системе при наличии трения являются затухающими.

Вынужденные колебания: Горизонтальный пружинный маятник, на который действует внешняя периодическая сила: $ma_x = -kx + F\cos\omega t \to$ $x'' + \omega_0^2 x = \frac{F}{m}\cos\omega t.$ Решение в виде $x = A\cos\omega t.$ **Вынужденные колебания происходят с частотой внешней периодической силы!**



$$-A\omega^2\cos\omega t + \omega_0^2 A\cos\omega t = \frac{F}{m}\cos\omega t \to A(\omega^2 - \omega_0^2) = \frac{F}{m} \to A = \frac{F}{m(\omega^2-\omega_0^2)};$$

$\omega \to \omega_0, A \to \infty.$ При наличии трения амплитуда колебаний конечна!

IV. *Задачи (блиц):*

1. Точка массы m = 10 г совершает гармоническое колебание. Написать уравнение гармонического колебательного движения, если максимальное ускорение точки a_{max} = 49,3 см/с^2, период колебаний T = 2 с и смещение точки от положения равновесия в начальный момент времени x_o = 25 мм. Написать уравнение для зависимости потенциальной энергии от времени.
2. В какой момент времени после прохождения через положение равновесия кинетическая энергия маятника станет равной его потенциальной энергии? T/8
3. Материальная точка массой m = 20 г совершает гармонические колебания по закону x = 2·cos(2πt + π/3) м. Определить проекцию силы, действующей на точку в момент времени t = 10 с после начала колебаний, и полную энергию точки. Ответ: F_x = 0,79 Н; W = 1,58 Дж.

V. Олимпиада.

1. Тонкий прямой стержень L = 1 м прикреплен к горизонтальной оси, проходящей через его конец. Стержень отклонили на угол φ = 60^0 от положения равновесия и отпустили. Определите линейную скорость нижнего конца стержня υ в момент прохождения через положение равновесия. 3,8 м/с
2. Небольшой станок массой 200 кг вибрирует при работе из-за неоднородности тяжелого маховика, имеющего частоту обращения 600 об/с. Чтобы снизить вибрацию перекрытия в цехе, в котором установлен станок, под станину положили упругую прокладку толщиной 10 см из материала с модулем упругости 3,1·10^8 Н/м^2. Площадь основания станины 2 м^2. Приведет ли установка прокладки к уменьшению вибраций перекрытия? A_1 = 1,85 A_0
3. Не лучше ли свинцово-резиновая опора - опорная конструкция, расположенная под основанием и выполненная из резины с центральным стержнем из мягкого металла (свинца)? A_2 = 0,02 A_0
4. Легковая машина и грузовик связаны упругим легким шнуром. В некоторый момент времени грузовик начинает двигаться с постоянной скоростью υ от машины, растягивая шнур. Через какое время после начала движения грузовика машина с ним столкнется? Какую скорость будет иметь легковая машина в этот момент? Масса машины m, жесткость шнура k, длина недеформированного шнура ℓ_0. Закон Гука справедлив для любых растяжений шнура. При «сминании» шнур никакого воздействия не оказывает. Трения нет. Перейдем в систему отсчета, связанную с грузовиком. Пока шнур растянут, машина совершает гармоническое колебание. Всего $t = \pi\sqrt{\frac{m}{k}} + \frac{\ell_0}{\upsilon}$
5. Определите период колебаний T груза массой m, подвешенного на пружине жесткостью k и массой M. Для некоторого смещения записываем закон сохранения энергии с учетом кинетической энергии пружины в данный момент времени. Сначала находим кинетическую энергию участка пружины, потом всю. Производная от полной энергии по времени равна нулю. $T = 2\pi\sqrt{\frac{m + M/3}{k}}$
6. Математический маятник длиной 50 см, выведенный из положения равновесия, отклонился при первом колебании на 5 см, при втором (в ту же сторону) – на 4 см. Найти коэффициент затухания маятника. 0,15 с$^{-1}$

VI. *Вопросы (блиц):*

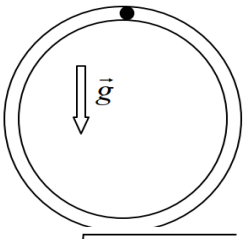
1. Маятник совершает гармонические колебания. Каково соотношение между кинетической и потенциальной энергиями маятника через 1/8 периода?
2. За один период амплитуда колебаний стрелки измерительного прибора уменьшилась в 1,93 раза. Через сколько периодов амплитуда составит 1% от первоначальной? 7
3. Какой физический смысл имеет производная функции A(t) – совершенной работы?
4. При отличающихся в 3 раза частотах вынужденных колебаний маятника их амплитуда одинакова. Во сколько раз отличаются их максимальные кинетические энергии в этих состояниях?
5. Груз колеблется вдоль оси x по закону: $x = 5\sin(3t - 0{,}1)$, где t в секундах, x в сантиметрах. Найти амплитудное значение скорости и ускорения груза.
6. На старых разъезженных грунтовых дорогах автомобиль может сильно раскачиваться. Почему это происходит?
7. Если к вертикальной пружине подвесить легкое ведерко и равномерно капать в него с высоты воду из капельницы, то стаканчик вначале неподвижен, спустя некоторое время заметно раскачивается, а затем – успокаивается. Почему?
8. Почему при некоторой скорости автомобиля изображение в зеркале заднего вида «размывается»?

Разное

1. Математический маятник длиной L = 0,5 м, выведенный из положения равновесия, отклонился при первом колебании на A_1 = 5 с, а при втором (в ту же сторону) - A_2 = 4 см. найдите время релаксации τ. т.е. время, в течение которого амплитуда колебаний уменьшается в е раз. 6,36 с
2. Написать уравнение косинусоидального гармонического колебательного движения с амплитудой 1 см, если за 2 мин колебательная система совершает 200 полных колебаний (начальную фазу колебаний взять равной 30^0). Ответ: x = 0,01cos(10πt + π/6) м.
3. При каких скоростях поезда можно ожидать особенно сильное раскачивание шарика, подвешенного на нити длиной 80 см? Расстояние между стыками рельсов 20 м.

Олимпиада.

1. На столе стоит колесо в виде узкого полого однородного обруча прямоугольного (для устойчивости) сечения. Масса обруча M, его радиус R. С верхней точки внутри обруча начинает скатываться без трения небольшой, но массивный шарик массой m. Какую скорость приобретёт верхняя точка колеса к моменту, когда шарик окажется в нижней точке колеса? Движение колеса происходит без проскальзывания, сопротивления воздуха внутри обруча нет.



Ответ: $2\sqrt{\dfrac{2mgR}{M(1+\frac{M}{2m})}}$

2. Колебания точки происходят по закону $x = A_0 e^{-\beta t} \sin \omega t$. Найдите два момента времени, когда точка достигает крайних положений. Частота колебаний равна

1 Гц, коэффициент затухания β равен 0,628 $с^{-1}$. Ответ: $t_n = (\mathrm{arctg}\ \omega/\beta + n\pi)/\omega$; 0,23 с и 0,73 с

3. Однажды барон прокопал шахту от северного полюса до самого центра Земли. На всякий случай прихватил с собой пушку и ядро. Достигнув центра Земли, барон решил вернуться назад таким способом. Поджёг запал, вскочил на ядро и вылетел на поверхность.Какова была скорость ядра с бароном в момент старта, если Мюнхгаузен смог теперь поведать эту историю? Примечание. Землю считайте однородным шаром, радиус Земли примите равным 6400 км, ускорение свободного падения у поверхности Земли — 9,8 м/$с^2$, силами сопротивления пренебрегите. 7,9 км/с

Занятие 7. Свободные электромагнитные колебания.

I. *Вопросы (блиц):*

1. Чем больше холестерина откладывается в сосуде, тем артерия становится жестче и тем быстрее по ней распространяется пульсовая волна. Так ли это?
2. Потенциальная энергия жидкости, вначале находящейся в одном из колен сообщающихся сосудов, вдвое больше, чем в положении равновесия. Докажите это. Куда же подевалась половина запасенной энергии?
3. Какую форму должна иметь чашка, чтобы шарик, катящийся вверх-вниз по ее стенкам, в идеале мог бы совершать гармонические колебания?
4. При увеличении массы груза, подвешенного к упругой пружине, на Δm = 800 г период колебаний груза увеличивается в три раза. Определите массу первоначального груза, подвешенного к пружине. 100
5. На каких качелях проще раскачиваться: с верёвками или с металлическими штангами?
6. Если длину математического маятника уменьшать, когда он проходит положение равновесия, и увеличивать в те моменты, когда его отклонение максимально, то амплитуда колебаний маятника начнет возрастать. Почему?
7. Почему два нитяных маятника приблизительно одинаковой длины, подвешенные на горизонтально закрепленной нити, при колебаниях обмениваются энергией?
8. Чтобы отвести качели с сидящим на них человеком на большой угол, необходимо приложить большую силу. Почему же раскачать качели до такого же угла можно с помощью меньшего усилия?
9. Если к пружине придерживая подвесить груз и отпустить его, то в крайнем верхнем положении потенциальная энергия груза mgA, а пружины с грузом в положении равновесия $\frac{kA^2}{2}$. Почему?

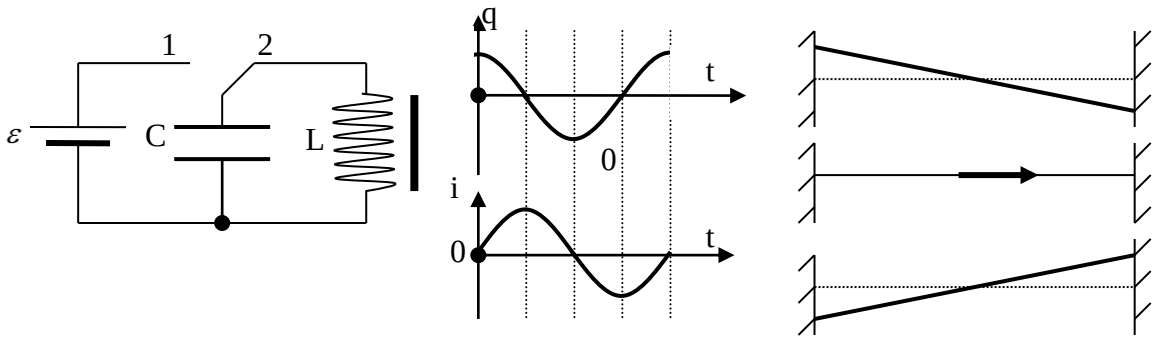
II. *Задачи (блиц):*

1. Тело совершает гармонические колебания по закону $x(t) = x_m \cdot \cos\omega t$ с периодом T = 20 с и амплитудой x_m = 50 см. Какой путь прошло тело за первую секунду, за первые 5 с, за 40 с? 2,4 см. 50 см. 4 м.
2. На рабочий стол вибростенда, колеблющийся с частотой ν = 5 Гц, поставлен для испытания системный блок персонального компьютера. При какой

амплитуде колебаний блок не будет отрываться от поверхности рабочего стола? 1см

III. Способы его зарядки. Как зависит величина заряда конденсатора от времени его зарядки; от его электроемкости; от ЭДС источника тока?

$$u = \varepsilon(1 - e^{-\frac{t}{RC}}) \to U_{\max} = \varepsilon \to q_{\max} = CU_{\max} \to W_C = \frac{q_{\max}^2}{2C}.$$



Разряд конденсатора через проволочную катушку. В момент, когда конденсатор полностью разрядится, ток в катушке и энергия магнитного поля $W_L = \frac{LI_{\max}^2}{2}$. достигают максимального значения. В произвольный момент времени: $W = \frac{q^2}{2c} + \frac{Li^2}{2}$. По какому примерно закону изменяется заряд конденсатора с течением времени; сила электрического тока в катушке (примерные графики на доске $q = q_{мах}\cos\omega t \quad \to i \quad = -\frac{dq}{dt}; \quad i = I_m \sin\omega t); I_m = q_m\omega$. Разряд конденсатора через катушку носит колебательный характер. Вывести уравнение, описывающее процессы в колебательном контуре. $-L\frac{di}{dt} = \frac{q}{C} \to q'' = -\frac{1}{LC}q \to q'' = -\omega^2 q$. **Формула Томсона:** $T = 2\pi\sqrt{LC}$.

Задачи (блиц):

1. Заряд на обкладках конденсатора идеального открытого колебательного контура изменяется по закону $Q = 25\cdot10^{-9}\cdot\sin(2\cdot10^8 t + 0{,}9)$ Кл. Индуктивность контура 2 мГн. Определите:
   1) закон изменения тока в контуре и значение тока в момент времени $t = 10^{-9}$с. –2,27 А
   2) определите емкость контура и закон изменения напряжений на индуктивности и емкости. $0{,}125\cdot10^{-13}$ Ф
   3) максимальный запас энергии в контуре и закон изменения энергии конденсатора и индуктивности. 25 мДж
   4) длину волны, излучаемой контуром, на несущей частоте. 9,86 м
2. Имеются два колебательных контура с конденсаторами одинаковой емкости. Максимальная величина напряжения на конденсаторе второго контура во время свободных колебаний U_{m2} = 120 В. Максимальное значение силы тока I_{m1} в первом контуре в 3 раза меньше, а частота колебаний ω_1 в 2 раза больше, чем соответствующие величины I_{m2} и ω_2 во втором контуре. Найти максимальное значение напряжения U_{m1} на конденсаторе первого контура. Ответ: 20 В

Олимпиада.

1. Конденсатор емкости C, заряженный до напряжения U, через ключ К подключен к двум катушкам с индуктивностями L_1 и L_2 (Рис. 1). Если замкнуть ключ К, то через некоторое время конденсатор полностью перезарядится. Какие заряды протекут через катушки за это время? $q_1 = \frac{2CUL_2}{L_1 + L_2}$

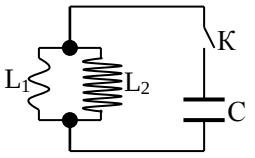


Рис. 1

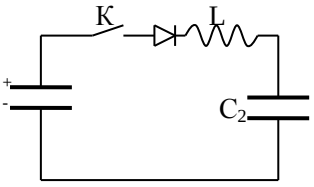
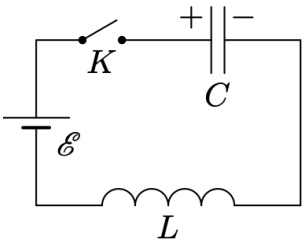


Рис. 2

2. Определить, во сколько раз отличаются амплитуды колебания через период. Колебательный контур состоит из катушки индуктивностью L = 40 мГн, конденсатора емкостью C = 0,25 мкФ. Сопротивление контура R = 4,0 Ом. 1,03
3. Конденсатор емкостью C_1= 1 мкФ заряжен до разности потенциалов 300 В. К нему через диод и большую индуктивность L подключен незаряженный конденсатор емкостью C_2 = 2 мкФ (Рис. 2). До какой разности потенциалов он зарядится после замыкания ключа К? 200 В
4. В схеме, изображённой на рисунке, при разомкнутом ключе К напряжение на конденсаторе ёмкостью C равно 5ε, где ε — ЭДС батареи. Какой максимальный ток будет течь через катушку индуктивностью L после замыкания ключа? Внутренним сопротивлением батареи и сопротивлением катушки пренебречь. $I_{max} = 4\varepsilon\sqrt{\frac{C}{L}}$



IV. *Вопросы (блиц):*

1. Пластины плоского конденсатора, включенного в колебательный контур, сближают. Как будет меняться при этом частота колебаний контура?
2. Некто имел 6 сыновей, каждый старше следующего на 4 года, а самый старший сын в 3 раза старше самого младшего. Сколько лет самому старшему сыну? 30 лет
3. Сила тока в колебательном контуре изменяется по закону i = 3sinωt. Чему равна частота колебаний в контуре?
4. Конденсатор емкости 0,1 мкФ разряжается через резистор сопротивлением $1 \cdot 10^6$ Ом. Если начальное напряжение на конденсаторе равно 10 В, сколько примерно времени нужно, чтобы оно упало до 1 В?
5. Конденсатор подключили к источнику тока с известными параметрами.
   - Чему равна сила тока в начальный момент времени?
   - Чему равно напряжение на конденсаторе в начальный момент времени?
   - Чему равно напряжение на конденсаторе после его зарядки?
   - Какая энергия запасена конденсатором в процессе его зарядки?
   - Какую работу совершил источник тока в процессе зарядки?
3. Конденсаторы в схемах включения люминесцентных ламп со временем высыхают от нагрева, и это изменяет частота пульсаций тока. Как?
4. Колебательный контур состоит из катушки индуктивности и двух одинаковых конденсаторов, включенных параллельно. Период собственных колебаний в контуре T_1. Каков будет период T_2 колебаний в контуре, если конденсаторы включить последовательно? $T_2 = T_1/2$

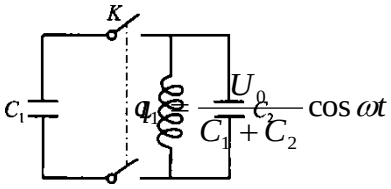
5. Индуктивность колебательного контура миноискателя образована проволочным кольцом. Когда это кольцо приближается к металлу, в телефонных наушниках высокий тон сменяется на низкий тон. Чем это объяснить?
6. Что произойдет с периодом собственных колебаний в колебательном контуре, если его ёмкость увеличить в 3 раза, а индуктивность уменьшить в 3 раза?
7. Заряженный конденсатор подключают к соленоиду в сверхпроводящем состоянии.
   - Чему равна сила тока в начальный момент времени?
   - Чему равна скорость изменения тока в начальный момент времени и как она изменяется со временем?
   - Когда сила тока в цепи достигает максимального значения?

Разное

1. В некоторый момент сверхпроводящий соленоид объемом 40 см^3 подключают к высоковольтному конденсатору емкостью 100 мкФ, заряженному до напряжения 1 кВ. Известно, что при индукции магнитного поля в соленоиде 1,6 Тл разрушается состояние сверхпроводимости материала, из которого выполнена обмотка соленоида. Определите, произойдет ли разрушение сверхпроводимости в описанном эксперименте. 1,77 Тл (разрушится)
2. Заряд конденсатора электроемкостью 20 нФ в идеальном колебательном контуре изменяется по закону q(t) = 10 cosωt (нКл). Определите силу тока, текущего через катушку контура индуктивностью 0,08 Гн, в тот момент, когда напряжение на конденсаторе будет составлять четверть амплитудного значения. Какой будет в этот момент энергия магнитного поля катушки?

2,37 нДж, 24,3 нА.

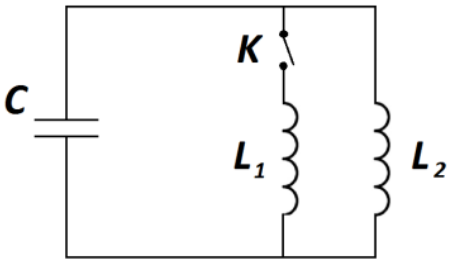
3. В процессе колебаний в идеальном колебательном контуре в момент времени t заряд конденсатора q = 4 нКл, а сила тока в катушке i = 3 мА. Период колебаний T = 6,3 мкс. Найдите амплитуду заряда. 5 нКл
4. Конденсатор ёмкостью 5 мкФ зарядили до напряжения 120 В и подключили к катушке индуктивностью 0,5 Гн. Какое количество теплоты выделится на катушке, когда сила тока в цепи станет равной 0,25 А, а напряжение на конденсаторе уменьшится в два раза? Ответ: 11 мДж.
5. Конденсатор ёмкостью C_1 зарядили до напряжения U_0, а затем подключили, замкнув ключ К, к колебательному контуру, состоящему из катушки индуктивности L и конденсатора ёмкостью C_2. Определите изменение заряда во времени на каждом из конденсаторов.



Олимпиада.

1. Оценить время t_C, за которое после замыкания ключа зарядится конденсатор емкостью C = 10 мкФ, включенный последовательно с резистором сопротивлением R = 1 МОм. Установившееся значение разделить на скорость нарастания тока в начальный момент (можно среднею) Ответ: 10 с
2. Оценить время t_L, за которое установится ток в цепи с катушкой индуктивности L и сопротивлением R после замыкания ключа. Установившееся значение разделить на скорость нарастания тока в начальный момент (можно среднею) Ответ: t_L = L/R

3. В идеальном контуре, состоящем из конденсатора ёмкостью C = 2 мкФ и катушки индуктивностью L_2 = 1 мГн, происходят незатухающие свободные гармонические колебания тока с амплитудой I_{max} = 5 мА. В тот момент времени, когда ток через катушку L_2 максимален, замыкают ключ K. Определите максимальное напряжение на конденсаторе после этого. Индуктивность катушки L_1=2 мГн. 90 мВ.



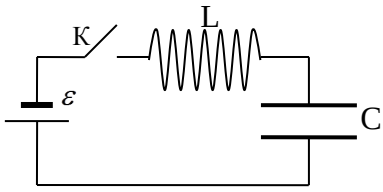
4. На вход Y осциллографа подано напряжение $u_y = 8\sin(10^3\pi t)$, а на вход X— $u_x = 12\cos(10^3\pi t)$. Величины заданы в СИ. Смещения луча пропорциональны напряжениям: $x = 0{,}5\ u_x$; $y = 0{,}5\ u_y$, где x и y — смещения, см. Найти уравнение траектории y(x) луча и зарисовать картину, наблюдаемую на экране осциллографа. $\frac{x^2}{16}+\frac{y^2}{36}=1$

Занятие 8. Переменный ток.

I. *Вопросы (блиц):*

1. **В** колебательном контуре изменили начальную величину заряда на конденсаторе. Какие величины изменились от этого, а какие нет?
2. **Ко**нденсатор, заряженный от источника тока с ЭДС ε, первый раз подключают к катушке с индуктивностью L, а второй раз – катушке с индуктивностью 4L. Как при этом изменяется максимальная энергия магнитного поля катушки?
3. Как изменится период колебаний в колебательном контуре, состоящем из плоского воздушного конденсатора и катушки индуктивности, если между обкладками конденсатора поместить металлическую пластину? Увел.
4. Почему в колебательном контуре колебания не прекращаются в тот момент, когда конденсатор полностью разрядится?
5. **Н**айти отношение энергии магнитного поля к энергии электрического поля для момента времени t=T/8, считая, что процессы происходят в идеальном колебательном контуре.
6. Колебания в электрическом контуре затухают. Значит, максимальная величина заряда на любой из пластин его конденсатора становится все меньше. Не противоречит ли это закону сохранения заряда?
7. Как изменяется период колебаний при их затухании (аналогия с шариком, который уронили на горизонтальную плиту)?
8. Входящий в колебательный контур плоский конденсатор таков, что его обкладки могут перемещаться одна относительно другой. Можно ли увеличить энергию колебаний в контуре посредством перемещения обкладок?
9. Что и как необходимо сделать, чтобы при неизменной индуктивности идеального колебательного контура уменьшить амплитуду колебаний напряжения на электрической емкости вдвое?

II. *Задачи (блиц):*

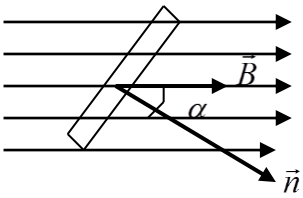


1. В схеме, изображенной на рисунке, ключ K замыкают. Найдите максимальный ток в цепи и максимальное

напряжение на конденсаторе. Параметры схемы считать известными. Заряд конденсатора максимален, когда ток равен нулю! А ток? $U_{мmax} = 2\varepsilon$. $I_0 = \varepsilon\sqrt{\frac{C}{L}}$

2. В колебательном контуре, состоящем из катушки с индуктивностью 1 мГн и активным сопротивлением 5 Ом и конденсатора емкостью 40 мкФ, происходят затухающие колебания. В некоторый момент времени амплитуда тока в контуре 0,1 А. Какое количество теплоты выделится в катушке от этого момента до полного затухания колебаний в контуре? 5 мкДж
3. Идеальный колебательный контур состоит из конденсатора емкостью 5 мкФ и катушки индуктивностью 0,2 Гн. Определить максимальную силу тока в контуре, если в начальный момент времени на обкладках конденсатора была максимальная разность потенциалов, равная 90 В. Написать закон изменения с течением времени силы тока в контуре и энергии электрического поля. 0,45 А; i = 0,45 А sin(1000t); $W_E = 0{,}02\cdot\cos^2(1000t)$ Дж.

III. Демонстрация действующей модели **генератора переменного тока**. Принцип работы генератора.



$\Phi = B\cdot S\cos\alpha$; $\Phi_m = B\cdot S$; $\alpha = \omega t$; $\Phi = \Phi_m\cos\omega t$.

Мгновенное значение ЭДС индукции: $e = -N\Phi' = NBS\omega\cdot\sin\omega t = \varepsilon_{max}\sin\omega t$. $\varepsilon_{max} = N\cdot B\cdot S\cdot\omega = \Phi_{max}\cdot\omega$ - амплитудное значение ЭДС. При разомкнутой внешней цепи $e = u = U_{max}\sin\omega t$ - где U_{max} - амплитудное значение напряжения. Внешняя электрическая цепь. Переменный электрический ток. Фазовый сдвиг между силой тока и напряжением в цепи переменного тока (общий случай): $i = I_{max}\sin(\omega t + \varphi_0)$.

Активное сопротивление (R). Фазовые соотношения между силой тока и напряжением на активном сопротивлении. На активном сопротивлении сила тока и напряжение совпадают по фазе.

IV. *Задачи (блиц):*

1. Сила тока в проводнике сопротивлением 100 Ом за 50 с равномерно нарастает от 5 А до 10 А. Определить заряд, прошедший через поперечное сечение проводника за это время, а также количество теплоты, которое выделится за это время на резисторе. 375 Кл. 292 кДж.
2. Неоновая лампа включена в цепь переменного тока промышленной частоты напряжением 127 В, а напряжение зажигания лампы равно 84 В. Определите продолжительность вспышек неоновой лампы и время между ними. Считать напряжение зажигания лампы равным напряжению гашения. 6,9 мс. 3,1 мс.
3. Генератор электрического тока включен в цепь, общее сопротивление которой равно R (включая сопротивление самого генератора). Механическая мощность, развиваемая для вращения генератора, равна N. Определите ЭДС генератора. $\varepsilon = \sqrt{\frac{NR}{2}}$
4. Рамка из железной проволокисечением 4,00 мм^2, помещена в магнитное поле, величина индукции которого изменяется по закону $B = B_0\cdot\sin(2\pi\nu)t$, где B_0 = 40,0 мТл и ν = 25 Гц. Плоскость рамки площадью 36,0 см^2 расположена перпендикулярно к направлению магнитного поля. Какой максимальный ток индуцируется в рамке? 3,77 А

5. Сила тока в цепи имеет вид прямоугольных импульсов длительностью t = 2 мкс и амплитудой $I_{мах}$ = 100 мА. Частота следования импульсов n = 200 кГц. Найти действующее значение I силы тока. Ответ: 63 мА

V. Олимпиада.

1. Сила тока в проводнике сопротивлением R = 20 Ом нарастает в течение времени t = 2 с по линейному закону от I_0 = 0 до I_{max} = 6 А. Определите количество теплоты Q_1, выделившееся в этом проводнике за первую секунду, и Q_2 – за вторую, а также найдите отношение этих количеств теплоты Q_2/Q_1.
   Q_1 = 60 Дж, Q_2 = 420 Дж, Q_2/Q_1 = 7.
2. Тонкое кольцо радиусом R = 10 см несет равномерно распределенный заряд Q = 0,1 мкКл. На перпендикуляре к плоскости кольца, восстановленном из его середины, находится точечный заряд q = 10 нКл. Расстояние от заряда до центра кольца L = 20 см. Определить силу взаимодействия заряда и кольца. Определите так же значение параметра L, при котором эта сила максимальна. 0,16 мН, 7,1 см.

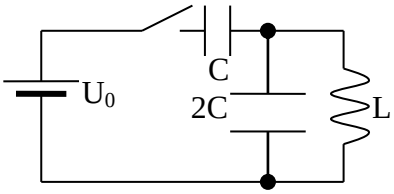
3. Человек медленно поднимает за один конец лежащий на полу стержень, прикладывая к нему силу, перпендикулярную стержню (см. рисунок). При каком минимальном коэффициенте трения между стержнем и полом человек сможет поставить стержень вертикально? Правило ментов относительно центра тяжести и нахождение максимума функции. $\mu_{min} = \sqrt{2}/4$

VI. *Вопросы (блиц):*

1. Почему в розетке нет плюса и минуса?
2. На резистор сопротивлением 100 Ом поступает периодическая последовательность прямоугольных импульсов напряжения частотой 2 кГц, амплитудой 50 В, длительностью 5 мкс. На какую мощность рассеивания должен быть рассчитан резистор? 0,125 Вт
3. Почему при измерении сопротивления растворов не рекомендуется использовать постоянный ток?
4. Может ли генератор переменного тока питать индуктор своим током? Нет
5. Имеются две лампы накаливания с амперметрами, регистрирующими ток в них. Одна из ламп подключена к источнику переменного, а другая - к источнику постоянного тока; показания амперметров одинаковы. Какая лампа горит ярче?
6. Для измерения магнитного поля Земли используется магнитометр, который состоит из проволочной рамки, приводимой в равномерное вращение с помощью электродвигателя. Объясните принцип его действия.
7. С какой частотой будет вспыхивать неоновая лампочка, включённая в сеть переменного тока частотой 50 Гц?
8. Магнитный поток через замкнутый контур изменяется по закону синуса. По какому закону изменяется возникающая в этом контуре переменная ЭДС?
9. Проводник размещен между полюсами сильного дугообразного магнита. Что будет происходить с проводником, если пропустить через него переменный ток промышленной частоты?

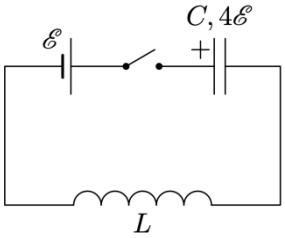
10. Будет ли проходить ток через электролитическую ванну с медным купоросом, если ее подключить к источнику переменного напряжения? Станет ли выделяться на электродах медь?

Разное



1. Найдите максимальное напряжение на верхнем конденсаторе и максимальный ток через катушку. Сопротивление батарейки и проводов считать небольшим. C = 1 мкФ, L = 1 Гн, U_0 = 10 В.

Олимпиада.



1. В схеме, показанной на рисунке, все элементы можно считать идеальными, параметры элементов указаны на рисунке. До замыкания ключа конденсатор был заряжен до напряжения 4ε. Ключ замыкают.

   1) Найдите максимальный ток в цепи. $I_{max} = 3\varepsilon\sqrt{\frac{C}{L}}$

   2) Найдите ток в момент, когда заряд на конденсаторе равен нулю. $I_{max} = 2\varepsilon\sqrt{\frac{2C}{L}}$

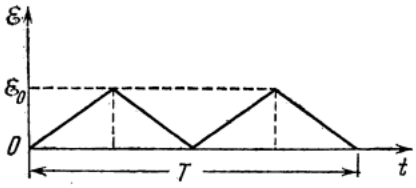
Занятие 9. Закон Ома для цепи переменного тока.

I. *Вопросы (блиц):*

1. На какое напряжение надо рассчитывать изоляторы линии электропередачи, если действующее значение напряжения 430 кВ?
2. Циклическая частота переменного тока 100π рад/с. Определить период и частоту переменного тока.
3. Сколько витков в рамке площадью 500 см^2, если при вращении её с частотой 20 об/с в однородном магнитном поле индукцией 0,1 Тл, амплитудное значение ЭДС индукции равно 63 В?
4. Тепловой вольтметр, включённый в цепь переменного тока, показывает 220 В. Найти максимальное напряжение в цепи.
5. Что вы теперь знаете о действующем, амплитудном и мгновенном значении переменного тока?
6. Как понимать выражение «течет ток» в случае постоянного и переменного тока?
7. Каковы, по вашему мнению, недостатки люминесцентных ламп дневного света?
8. Почему для резистора не имеет значения, как меняется напряжение?

II. *Задачи (блиц):*

1. Переменная ЭДС изменяется по закону, график которого изображен на рисунке. Найдите действующее значение ЭДС. $\varepsilon = \varepsilon_0/\sqrt{3}$



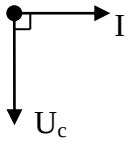
2. Квадратная рамка со стороной 2,00 см, состоящая из 100 витков, расположена в магнитном поле так, что нормаль в рамке образует угол 60^0 с направлением поля. Величина магнитной индукции поля изменяется с течением времени по закону: $B = B_0\cos(\omega t)$, где B_0 = 0,20 Тл, ω = 314 мин$^{-1}$.

Определить значение ЭДС индукции в рамке в момент времени 4,00 с. 18 мВ

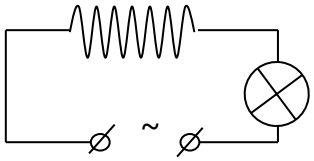
3. Магистр Шаак Ти вращает круглый диэлектрический люк от шагохода диаметром 0,5 м с проводящим поясом, идущем по окружности люка, вокруг одного из его диаметров в магнитном поле с индукцией 0,3 Тл, направленном перпендикулярно оси вращения. Определить максимальную ЭДС, возникающую в проводящем поясе, и силу тока в нем, если сопротивление пояса 2,5 Ом, а раскрутила люк Шаак Ти до частоты вращения 150 оборотов в минуту. 0,92 В; 0,37 А

III. Конденсатор в цепи постоянного тока. Замкнем обкладки конденсатора накоротко. Оказывает ли конденсатор сопротивление переменному току? Да! Емкостное сопротивление. Демонстрация зависимости емкостного сопротивления от электроемкости конденсатора и от частоты переменного тока: $x_c = \frac{1}{\omega C}$

Векторная диаграмма электрической цепи с чисто емкостным сопротивлением. **Применения конденсатора.**

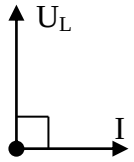


Демонстрация зависимости индуктивного сопротивления катушки от индуктивности катушки и от частоты переменного тока $\mathbf{X_L} = \omega \cdot L$



$U = U_m \sin \omega t$

Закон Ома для участка цепи переменного тока с индуктивным сопротивлением (в качестве индикатора использовать лампочку).



$$I = \frac{U_L}{X_L} \qquad I_{\max} = \frac{U_{\max L}}{X_L}$$

Электрическая цепь переменного тока, содержащая последовательно соединенные активное сопротивление, конденсатор и катушку индуктивности. Векторная диаграмма электрической цепи (рисунок на доске). $U = \sqrt{U_R^2 + (U_L - U_C)^2}$ - экспериментальная проверка формулы.

Закон Ома для данной цепи **переменного тока**: $I = \frac{U}{z} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}}$.

Фазовый сдвиг между силой тока и напряжением:

Резонанс в электрической цепи переменного тока.

Резонансная частота: $\nu_{рез} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$. Демонстрация резонанса.

Резонанс в электрической цепи наблюдается при совпадении частоты внешней переменной ЭДС с собственной частотой колебательного контура**.**

IV. *Задачи (блиц):*

1. Лампочка от карманного фонаря (3,5 В, 0,28 А) включается в городскую осветительную сеть. Какова должна быть емкость конденсатора, чтобы лампочка горела нормальным накалом? 4 мкФ
2. Какая индуктивность должна быть соединена последовательно с электрической лампочкой (110 В, 60 Вт), если она должна нормально гореть, когда вся цепь будет присоединена к сети 220 В, 50 Гц? 1,1 Гн
3. Катушка индуктивностью L = 75 мГн включена последовательно с конденсатором переменной емкости в сеть переменного тока с напряжением U_m = 310 В и с частотой n = 50 Гц. Чему равна емкость С конденсатора, при которой амплитуда тока I_m в полученной цепи максимальная? Ответ: 135 мкФ

4. Конденсатор ёмкостью C = 5 мкФ и проводник сопротивлением R = 150 Ом включены последовательно в цепь переменного тока с напряжением u = 120 В и частотой ν = 50 Гц. Определить амплитудное и действующее значение силы тока, сдвиг фаз между током и напряжением, а так же выделяющуюся в цепи мощность. I_m = 0,258 А,I = 0,183 А, φ = 76,8^0, P = 5,1 Вт.

V. Олимпиада.

1. Сила тока в проводнике изменяется со временем по закону: $i = 10A\sin 50\pi \cdot t$. Найти заряд, прошедший через поперечное сечение проводника за время, равное половине периода. Количество теплоты, которое выделит данный ток на резисторе сопротивлением 20 Ом за период. 0,127 Кл; 20 Дж
2. Если конденсатор залит диэлектрической жидкостью, обладающей некоторой проводимостью, то такой конденсатор эквивалентен некоторой емкости C, зашунтированной некоторым сопротивлением R. Какой сдвиг фазы между силой тока и напряжением вызывает включение такого конденсатора в цепь переменного тока частоты ν? tgφ =2πνCR
3. Ракета начальной массой m_0 = 500 г выбрасывает непрерывную струю газов с постоянной относительно нее скоростью u = 400 м/с. Расход газа μ = 150 г/с. Пренебрегая сопротивлением воздуха и внешним силовым полем, определите, какую скорость относительно Земли приобретет ракета через время 2 с после начала движения, если ее начальная скорость равна нулю. 366 м/с $\mathrm{d}v = \frac{\mu u}{m_0 - \mu t}\mathrm{d}t.$

Вопросы (блиц):

1. Конденсатор переменной емкости включен в цепь переменного тока последовательно с лампочкой от карманного фонаря. Как изменяется накал лампочки, если: а) не меняя емкости конденсатора, увеличивать частоту переменного тока; б) не меняя частоту, увеличивать емкость конденсатора?
2. Резистор с сопротивлением R и катушка с индуктивностью L величины последовательно в цепь переменного напряжения с циклической частотой ω. Во сколько раз отличаются амплитуды колебаний напряжения на резисторе и катушке? U_{Rmax}/U_{Lmax}= R/ωL
3. Емкость конденсатора, измеренная в лаборатории, оказалось 3,4 мкФ. Точность измерения 2%. Какова абсолютная погрешность измерения? Каков результат измерения?
4. Конденсатор переменной емкости включен в цепь переменного тока последовательно с лампочкой от карманного фонаря. Как изменяется накал лампочки, если: а) не меняя емкости конденсатора, увеличивать частоту переменного тока; б) не меняя частоту, увеличивать емкость конденсатора?
5. Изолированный провод намотан на железный стержень. Изменилось ли его сопротивление постоянному току? Переменному току?
6. В цепь батареи последовательно включены обмотка электромагнита и лампа накаливания. Изменится ли накал лампы, когда электромагнит притягивает к себе груз?
7. Почему конденсатор нагревается в цепи переменного тока, особенно на больших частотах?
8. Почему у катушек с ферритовыми сердечниками большая магнитная проницаемость и малые потери на больших частотах?

9. Для регулирования силы тока в цепях постоянного тока часто применяют реостаты, а для регулирования силы тока в цепях переменного тока - дроссели. Почему это делается?
10. Допустимо ли в цепь переменного тока напряжением 220 В включить конденсатор, напряжение пробоя для которого равно 250 В?
11. Почему фазовый сдвиг периодического сигнала при его передаче по кабелю зависит от его частоты, а также от сопротивления, индуктивности и емкости кабеля? Любой периодический сигнал можно разложить в ряд Фурье, то есть представить, как сумму синусоид с различными частотами и амплитудами.

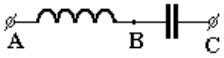
Разное

1. Рассчитайте допустимую для вашей квартиры потребляемую мощность, если действующее значение переменного напряжения в сети 220 В, потери напряжения на подводящих проводах не должны превышать 5 В, а общее сопротивление пары подводящих проводов в стандартных жилых домах 0,5 Ом. Все нагрузки считать активными.
2. Переменное напряжение $u = U_0 \cdot \cos \omega t$ подают на катушку индуктивности, обладающую индуктивностью L и активным сопротивлением R. Найти выделяющуюся в катушке мощность. $P = I^2R$, $I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}}, U = \frac{U_0}{\sqrt{2}}$.
3. Ведро с водой при нормальном атмосферном давлении закипает за время $t_1 = 8$ мин, если в него опустить кипятильник в форме спирали с индуктивностью L = 0,01 Гн и активным сопротивлением R = 10 Ом, включенным в сеть переменного синусоидального напряжения с частотой $\nu = 50$ Гц. За какое время закипит и наполовину выкипит вода в ведре, если два таких кипятильника соединить последовательно и подключить к источнику постоянного напряжения, величина которого равна амплитудному значению переменного напряжения? Начальная температура в обоих случаях одинакова и равна 15^0С. Удельная теплоёмкость воды $c \approx 4{,}2$ Дж/г, удельная теплота парообразования $r \approx 2352$ Дж/г. 31 мин 16 с

Занятие 10. Трансформатор.

I. *Вопросы (блиц):*

1. Электрическая лампа подключена последовательно с конденсатором к сети переменного тока. Как изменится накал лампы, если конденсатор будет пробит и цепь в этом месте замкнется?
2. В цепь переменного тока последовательно включены электрическая лампочка, конденсатор и катушка индуктивности без сердечника. При постепенном введении в катушку сердечника лампочка сначала стала гореть ярче, а затем накал ее нити уменьшился. Почему?
3. По участку ABC протекает синусоидальный ток. На участке AB эффективное напряжение равно 100 В, а на участке BC равно 20 В. Найти эффективное напряжение на участке AC. 80 В



4. Конденсатор и идеальная катушка индуктивности соединены последовательно и подключены к источнику регулируемого переменного напряжения. В каком случае сила тока в цепи не зависит от величины напряжения?

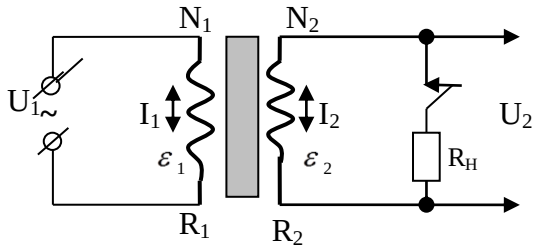
5. Лампа включена последовательно с конденсатором в сеть переменного тока. Как изменится накал лампы, если в сеть включить еще один такой же конденсатор параллельно первому?
6. Миноискатель представляет собой генератор незатухающих электромагнитных волн звуковой частоты. Индуктивность контура выполнена в нем в виде проволочного кольца. Когда кольцо, перемещаемое по поверхности земли, приближается к мине или другому металлическому предмету, в телефонных наушниках высокий тон сменяется низким тоном. Как это объяснить?

II. *Задачи (блиц):*

1. Последовательно с электроплиткой в городскую сеть подключили катушку индуктивности, при этом мощность плитки упала в два раза. Найдите индуктивность катушки, если активное сопротивление плитки 50 Ом. 0,16 Гн
2. В цепь переменного тока частотой 50 Гц включены последовательно реостат, активное сопротивление которого 250 Ом и конденсатор емкостью 15 мкФ. Какую часть от напряжения сети составляет напряжение на реостате? 0,762
3. Для уменьшения мощности 10-киловаттного промышленного нагревателя, рассчитанного на эксплуатацию в сети 220 В переменного тока, последовательно со спиралью включили дроссель индуктивностью 0,1 Гн и собственным активным сопротивлением 2 Ом. Какова теперь мощность нагревателя, если он в своей конструкции не содержит других реактивных элементов? 2 кВт

III. Как его получить? **Генератор постоянного тока. Однополупериодная и мостиковая схема выпрямления.**

Трансформатор – устройство, предназначенное для преобразования переменного тока одного напряжения в переменный ток другого напряжения той же частоты.



Если магнитный поток изменяется сквозь замкнутый контур по гармоническому закону $\phi = \Phi_{max}\cos\omega t$, то в контуре возникает переменная ЭДС $e = \varepsilon_{max}\sin\omega t$, где $\varepsilon_{max} = NBS\omega$, а $\varepsilon = \frac{NBS\omega}{\sqrt{2}}$. Поскольку обмотки трансформатора расположены на одном сердечнике, то: $\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = \frac{N_1}{N_2} = k.$

Основные формулы: $U_1 = I_1R_1 + \varepsilon_1$; $\varepsilon_2 = I_2R_2 + I_2R_H$; $U_2 = I_2R_H$.

Основные режимы работы трансформатора:

1. Холостой ход. Измерение коэффициента трансформации: $k = \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{U_1}{U_2}$.

2. Режим нагрузки (вторичная обмотка замкнута через нагрузку). Основные формулы: $P_1 \approx P_2 \to \varepsilon_1 I_1 = \varepsilon_2 I_2$; $\eta = \frac{P_H}{P_1}100\% = \frac{I_2U_2}{I_1\varepsilon_1}100\% = \frac{U_2}{\varepsilon_2}100\%.$

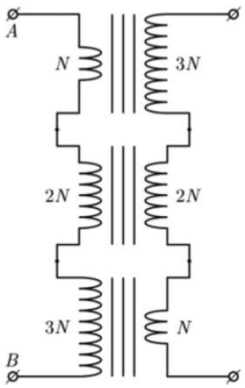
IV. *Задачи (блиц):*

1. Понижающий трансформатор включен в сеть напряжением 1 кВ и потребляет от сети мощность 400 Вт. Каков КПД трансформатора в %, если сила тока во вторичной обмотке 3,8 А, коэффициент трансформации равен 10? 95%

2. Вторичная обмотка трансформатора, имеющая 95 витков, пронизывается магнитным потоком, изменяющимся со временем через один виток по закону $\Phi = 0{,}01$ Вб·sin(100 πt). Напишите формулу, выражающую зависимость ЭДС во вторичной обмотке от времени. $\varepsilon_2 = 298$ В·cos(100 πt)
3. Трансформатор для игрушечной железной дороги превращает 120 В в 6 В. Если сопротивление цепи поезда равно 10 Ом, чему равно эффективное сопротивление в первичной обмотке трансформатора? 4 кОм
4. Школьник Владислав проводит опыты с трансформатором и источником питания, который выдаёт переменное напряжение $U(t) = U_0 \cos \omega t$, где $U_0 = 12$ В. Трансформатор имеет две обмотки с двумя выводами у каждой. Число витков первой обмотки равно N, второй обмотки — 3N. Переменные напряжения с какими амплитудами может получить Владислав с помощью данного оборудования? Для каждого значения амплитуды напряжения нарисуйте соответствующую схему соединений. 0, U_0, $3U_0$, $4U_0$, $U_0/3$, $4U_0/3$, $U_0/4$, $3U_0/4$, $2U_0$, $2U_0/3$, $U_0/2$, $3U_0/2$

V. Олимпиада.

1. Напряжение на первичной обмотке трансформатора $U_1 = 120$ В и сила тока в ней $I_1 = 0{,}5$ А. Ко вторичной обмотке подсоединена лампа, сила тока в которой $I_2 = 3$ А, а напряжение на ней $U_2 = 10$ В. КПД трансформатора $\eta = 0{,}7$. Найти сдвиг фазы между силой тока и напряжением в первичной обмотке.
2. В лаборатории решили изготовить три трансформатора с одинаковыми сердечниками. На каждый из сердечников намотали по 4N витков провода, по-разному распределив их между первичными и вторичными обмотками трансформаторов. Три полученных трансформатора соединили в цепь, схема которой показана на рисунке. На вход цепи (контакты A и B) подали гармоническое напряжение, а к выходу цепи никакой нагрузки не подключили. Каким может быть для этой цепи отношение амплитуды выходного напряжения к амплитуде входного напряжения? Влиянием обмоток соседних трансформаторов друг на друга можно пренебречь. 1 : 7, 2 : 7 или 5 : 7



VI. *Вопросы (блиц):*

1. Изменяется ли мощность тока при преобразовании его в трансформаторе?
2. Почему сердечники трансформаторов должны легко перемагничиваться и не должны проводить электрический ток?
3. Имеется два одинаковых трансформатора с 220 В на 12 В. Можно ли их соединить так, чтобы получить 6 В?
4. У трансформатора для электрического звонка число витков первичной обмотки 660. Напряжение сети 220 В. Вторичная обмотка имеет три вывода на три напряжения: 3, 5, 8 В. Определить число витков вторичной обмотки и, где в ней сделаны ответвления на зажимы?
5. Первичная катушка трансформатора присоединена к источнику тока, вторичная же разомкнута. Потребляется ли трансформатором электроэнергия?
6. Где используются трансформаторы?

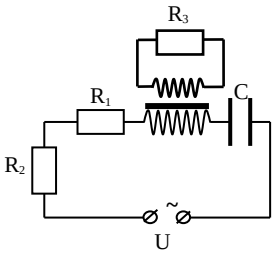
7. Почему при разомкнутой вторичной обмотке потребляемая трансформатором энергия минимальна? Чем она определяется?
8. Зависит ли ЭДС в первичной и вторичной обмотке трансформатора от того, в каком режиме он работает?
9. Какие бывают трансформаторы?
10. Как будет изменяться накал сигнальной лампочки, включенной последовательно (параллельно) первичной обмотке трансформатора при увеличении тока во вторичной обмотке?
11. Почему при геомагнитных бурях наиболее уязвимы понижающие трансформаторы?

Разное

1. Понижающий трансформатор с коэффициентом трансформации 5 включен в сеть с напряжением 220 В. Определить КПД трансформатора, если потерь энергии в первичной обмотке не происходит, а напряжение на вторичной обмотке 42 В. (95%)
2. В первичной обмотке трансформатора содержится N_1 - ? витков и включенной в сеть с напряжением U_1 - ? течет ток I_1 = 7,4 А. Коэффициент трансформации k = 0,6. В цепь вторичной обмотки из N_2 = 220 витков с сопротивлением R_2 = 3 Ом включена нагрузка R = 7 Ом. ЭДС индукции во вторичной обмотке ε_2 = 60 В, сила тока I_2 - ?. КПД трансформатора η - ?. Определите неизвестные величины. 132. 36 В. 6 А. 94,6 %.
3. Электрический паяльник мощностью 50 Вт рассчитан на включение в сеть переменного тока с напряжением 220 В. Найти мощность, которая будет выделяться в паяльнике, если включить его в сеть переменного тока с напряжением 127 В последовательно с идеальным диодом. 8,33 Вт
4. Электрический звонок рассчитан на силу тока I = 0,4 А при напряжении U = 6 В. Для его питания используется трансформатор, первичная обмотка которого содержит N_1 = 2000 витков и подключается к источнику питания с напряжением U_1 =120 В. Чему равно число витков N_2 во вторичной обмотке и какой ток I_1 будет протекать по первичной обмотке? Сопротивлением вторичной обмотки пренебречь. $N_2 = (U/U_1)N_1 = 100$; $I_1 = UI/U_1 = 0{,}02$ А.
5. Первичная обмотка трансформатора имеет 2400 витков. Сколько витков должна иметь вторичная обмотка, чтобы при напряжении на ее зажимах 11 В передавать нагрузке мощность 22 Вт? Сопротивление вторичной обмотки 0,2 Ом. Напряжение в сети 380 В. Сопротивлением первичной обмотки пренебречь. 71
6. Мощность, потребляемая трансформатором, P = 100 Вт, а напряжение на зажимах вторичной обмотки U_2 = 50 В. Определите силу тока I_2 во вторичной обмотке, если КПД трансформатора η = 0,8. 1,6 А

Олимпиада.

1. Определите силу тока в цепи первичной обмотки трансформатора. Коэффициент трансформации равен k, КПД трансформатора η считать равным 100%, циклическая частота переменного тока ω.



Занятие 11. Волны.

I. *Вопросы (блиц):*

1. Почему во всех странах мира используют именно переменный ток?
2. В каком случае с вторичной обмотки трансформатора можно снимать постоянное напряжение?
3. Подводимая к трансформатору активная мощность равна 50 кВт, отдаваемая мощность 45 кВт. Каковы КПД трансформатора и потери мощности в трансформаторе? 90%, 5 кВт.
4. При ремонте понижающего трансформатора размотали его первичную обмотку и включили ее концы в сетевую розетку. В результате перегорели предохранители, хотя трансформатор был рассчитан на сетевое напряжение. Как это объяснить?
5. Трансформатор рассчитан преобразовывать напряжение 220 В в напряжении 11 В. Какое напряжение выдаст трансформатор, если перепутать контакты и подключить напряжение 220 В к выходу, на котором должно быть 11 В? 4,4 кВ
6. Почему с увеличением нагрузки во вторичной цепи автоматически увеличивается потребляемая трансформатором мощность?
7. Отчего наличие очень высокого напряжения во вторичной обмотке повышающего трансформатора не приводит к большим потерям энергии на выделение тепла в самой обмотке?
8. Как и почему будет изменяться напряжение и ток в первичной и во вторичной обмотке трансформатора при увеличении активной нагрузки?
9. Разборный школьный трансформатор включен в сеть, а к его вторичной обмотке подключена нагрузка. Опыт показывает, что при удалении верхней части сердечника, ток в первичной обмотке увеличивается, а во вторичной — уменьшается. Дайте объяснение этому явлению. $I_1 = \frac{U_1 - \varepsilon_{c1}}{R_1}, \varepsilon_{c1} = \frac{N_1 BS\omega}{\sqrt{2}}$.
10. Почему опасно замыкание хотя бы одного витка вторичной обмотки трансформатора?

II. *Задачи (блиц):*

1. Сила тока холостого хода в первичной обмотке трансформатора, питаемой от городской сети переменного тока, равна 0,2 А. Электрическое сопротивление первичной обмотки трансформатора R = 100 Ом. Определите индуктивность первичной обмотки трансформатора. 3,5 Гн
2. При холостом ходе трансформатора он потребляет из сети мощность 2,5 Вт. При номинальной выходной мощности 600 Вт его КПД равен 96%. Найдите потери на нагревание обмоток в рабочем режиме. 2,5. 22,5 Вт
3. Понижающий трансформатор дает ток 20 А при напряжении 120 В. Первичное напряжение 22 кВ. Найти ток в первичной обмотке, входную и выходную мощности, если КПД 90%. 0,12 А. 2,67 кВт. 2,4 кВт.

III. Длина волны (λ) - свойство гармонической волны повторять свою форму в пространстве, измеряемое длиной отрезка между двумя ближайшими точками волны, колеблющимися в одинаковых фазах. Скорость распространения волны:

$\upsilon = \frac{\lambda}{T} = \lambda \cdot \nu$. Скорость поперечной волны по шнуру $\upsilon = \sqrt{\frac{F_н}{\mu}}$, где μ - линейная плотность шнура. Скорость продольной волны в длинном сплошном стержне дается выражение $\upsilon = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$, где E - модуль упругости вещества, а ρ - его плотность.

Уравнение бегущей волны: x = $A\sin(\frac{2\pi}{\lambda}r - \frac{2\pi}{T}t) = A \cdot \sin(kr - \omega t)$.

Интенсивность волны (I): $I = \frac{E}{S \cdot t}$. $I = \rho\upsilon \cdot \nu^2 2\pi^2 A^2$. В силу сохранения энергии $S_1 \cdot A_1^2 = S_2 \cdot A_2^2$, поэтому: 1) если $S_1 = S_2$ (плоская волна), то $A_1 = A_2$; 2) если волна сферическая, то $r_1 \cdot A_1 = r_2 \cdot A_2$, откуда: $A \sim \frac{1}{r}$.

Уравнение бегущей волны: x = $A\sin(\frac{2\pi}{\lambda}r - \frac{2\pi}{T}t) = A \cdot \sin(kr - \omega t)$.

Свойства волн.

1. **Интерференция** - явление наложения волн друг на друга, в результате которого вдоль одних направлений происходят колебания удвоенной амплитуды, а вдоль других она равна нулю. Результирующая интенсивность волн в точке от двух когерентных источников: $I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 \cdot I_2}\cos\Delta\varphi$

Стоячие волны. Уравнение стоячей волны: $x = 2A \cdot \sin\frac{2\pi}{\lambda}r \cdot \cos\frac{2\pi}{T}t$.

2. **Отражение и преломление волн**. Закон преломления волн: $\frac{\sin\alpha}{\sin\gamma} = \frac{\upsilon_1}{\upsilon_2} = \frac{\lambda_1\nu}{\lambda_2\nu} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = n_{21}$
3. **Дисперсия волн** - явление разбрасывания волн на границе раздела двух сред, показатель преломления которой зависит от частоты.
4. **Дифракция** - явление огибания волнами препятствий.

IV. *Задачи (блиц):*

1. Плоская незатухающая волна задана уравнением x = 0,005sin800 π(t - r/340), где x в метрах. Определить амплитуду, частоту колебаний, длину волны. Ответ: A = 0,005 м; 9 = 800π рад/с; λ= 0,85 м.
2. Амплитуда колебаний частиц упругой среды в бегущей волне A = 2,0 мм. Период колебаний T = 10 мс. Расстояние между частицами, колеблющимися с разностью фаз Δφ = л/4 рад составляет Δr = 5,0 см. Определить фазовую скорость волны и максимальную скорость частиц среды. 40 м/с. 1,3 м/с.

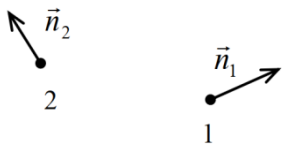
V. Олимпиада.

1. На краях открытой сцены на расстоянии 6 м установлены две акустические системы. Из-за ошибки звукооператора они «загудели». Зритель, находившийся напротив центра сцены на расстоянии 20 м от неё, обнаружил, что если он смещается из своего начального положения влево или вправо на 2 м, то громкость звука оказывается наименьшей. На какой частоте «гудели» акустические системы? Скорость звука в воздухе была равна 345 м/с. 292 Гц.

2. Источник звуковых волн (камертон) помещен рядом с ухом наблюдателя, другой - на расстоянии 47,5 см. При этом наблюдатель нс слышит звука. Определить частоту колебаний камертона. Температура воздуха 273 К. 348 Гц
3. В центре астероида Паллада (радиус R = 290 км, ускорение свободного падения на поверхности g_0 = 0,17 м/с^2) обнаружены залежи ценных ископаемых. Бурильщики затребовали ровно 290 км труб из вольфрамового сплава. Считая, что после завершения работ вся система труб свободно висит в канале, не касаясь его стенок, определите, какая часть труб будет сэкономлена вследствие растяжения конструкции под действием силы тяжести. Считайте астероид однородным не вращающимся шаром. Плотность вольфрама ρ = 19,3·10^3 кг/м^3, модуль Юнга E = 4,0·10^{11} Па. Выделим на трубе малый участок Δx, его масса $dm = \rho S dx$, жесткость $k = E\dfrac{S}{x}$, ускорение $g = g_0\dfrac{x}{R}$. Тогда $dmg = kd\ell$, откуда $\Delta\ell = \dfrac{\rho g_0 R^2}{3E}$ = 230 м.

Вопросы (блиц):

1. Натягивая струну сильнее, мы изменяем частоту колебаний. Как вы думайте, увеличивается частота или уменьшается?
2. В окрестностях точек 1 и 2 известны направления распространения сферической волны. Найти графическим построением положение источника излучения.



3. Уравнение незатухающих колебаний дано в виде x = 10sin0,5πt см. Написать уравнение волны, если скорость распространения колебаний 300 м/с.
4. Каким образом передается энергия при обработке материала зубилом?
5. Почему волны на море тем выше, чем больше для них простора, чем сильнее ветер и чем дольше он дует?
6. Плоская волна задана уравнением x(r,t) = 60·cos(1800t -31,4r) , где смещение частиц среды x задано в мкм, t в секундах, r в метрах. Найти отношение амплитуды смещения частиц среды к длине волны. 3·10^{-4}
7. Почему интенсивность гравитационных волн очень мала?
8. Автомобиль движется с постоянной по величине скоростью υ по дороге, представляющую собой синусоиду с амплитудой A и периодом T: y = Asin(2πx/T). В каких точках дороги центростремительное ускорение автомобиля максимально? 3/4T, 7/4T и т.д.
9. Почему цунами несет очень большую энергию? Скорость цунами примерно 720 км/ч, вовлекается в движение вся толща воды от дна до поверхности (глубина примерно 4 км, длина разлома от 100 до 400 км).

Разное

1. По поверхности озера бегут волны со скоростью 2 м/с. Моторная лодка движется навстречу волнам со скоростью 5 м/с. С какой частотой бьются волны о нос лодки, если поплавок на поверхности воды колеблется с частотой 0,5 Гц? 1,75 Гц
2. Слинька (спиральная пружина с витками большого диаметра, имеющая очень малую длину в нерастянутом состоянии) массой 0,5 кг растянута до длины 8 м под действием силы 5 Н. Чему равна скорость поперечных волн? 9 м/с

3. Волны с частотой 1 Гц и амплитудой колебаний 2 см распространяются со скоростью 30 м/с. Чему равно смещение точки, находящейся на расстоянии 30 м от источника волн, в тот момент, когда от начала колебаний источника прошло 4 с?
4. Уравнение бегущей волны имеет вид: x = 0,2 sin (20r – 30t), где x в метрах. Какова скорость волны? 1,5 м/с

Олимпиада.

1. Камень свободно падает на Землю с высоты h, равной ее радиусу R. Сколько времени t будет происходить падение камня, и с какой скоростью v он достигнет поверхности Земли? Радиус Земли R = 6400 км, ускорение свободного падения у ее поверхности g = 10 м/с^2 .: $t \approx 34$ мин; $v = \sqrt{gR} \approx 8$ км/с.
2. Возвращаясь домой по синусоиде, пьяница удлиняет свой путь. Во сколько раз он его удлиняет? Примерно на 20%. Рассмотреть пилообразный путь, потом оценить.

Занятие 12. Звук.

I. *Вопросы (блиц):*

1. Почему волна «лижет» берег?
2. При интерференции волны могут гасить друг друга. Не противоречит ли этот факт закону сохранения энергии?
3. Почему одинокая свая, вбитая в дно, не ослабляет волн на воде?
4. Если две волны интерферируют друг с другом, то влияет ли одна волна на распространение другой?
5. Почему от прямоугольного кирпича на поверхности воды распространяется кольцевая волна?
6. Почему короткие волны на поверхности воды теряют больше энергии, чем длинные волны?
7. Определите разность фаз колебаний, возбуждаемых двумя интерферирующими волнами в некоторой точке, если их оптическая разность хода составляет 0,5λ. π
8. Волны из открытого океана в том месте, где они достигают берега, они всегда ему параллельны. Почему?
9. Почему излучаемые точками волнового фронта вторичные волны образуют только бегущую вперед волну?
10. Принцип Гюйгенса-Френеля дает возможность объяснить такие явления, как рефракцию, дифракцию, интерференцию. Поясните!

II. *Задачи (блиц):*

1. Какую мощность можно передавать, посылая синусоидальные волны по натянутой веревке? Веревка имеет линейную плотность 0,3 кг/м и находится под натяжением силой 100 Н. Конец веревки трясут с частотой 2 Гц и амплитудой 15 см. 9,7 Вт
2. Определить мощность точечного изотропного источника акустических волн N, если на расстоянии r = 25 м интенсивность составляет I = 20 мВт/м^2. 15,6 Вт
3. Простая поперечная гармоническая волна с амплитудой A = 1,2 см и длиной волны λ = 85 см распространяется струне, натянутой силой в F = 21 Н и имеющей линейную плотность ρ = 15 г/м. Определите скорость волны и

максимальную скорость смещения точек струны. $V = \sqrt{\frac{F}{\rho}} \approx 37$ м/с; $\upsilon = \frac{2\pi A}{\lambda}\sqrt{\frac{F}{\rho}} \approx 3{,}3$ м/с.

III. Звуковая волна - колебательное движение частиц упругой среды, которое переносит энергию, удаляясь от места своего возникновения.

Звук - ощущение, возникающее при воздействии звуковой волны на рецепторы внутреннего уха. **Источники звука -** любые колеблющиеся объекты, вызывающие местное изменение давления или механического напряжения. Примеры источников звука: камертон, струна, динамик, свисток, сирена, голосовые связки. **Приемники звука:** микрофон, ухо. **Музыкальный звук** – гармоническое колебание определенной частоты и амплитуды. Его характеризуют три физических параметра: высота, громкость, тембр. Зависимость высоты тона от частоты колебаний источника звука. Скорость звука $\upsilon = \lambda \cdot \nu$. **Громкость звука.** Интенсивность – измеряемое свойство звуковой волны, а громкость – ощущение, вызванное звуковой волной. Зависимость громкости звука от амплитуды звуковой волны (демонстрация). Единица громкости звука - децибел (дБ): $\beta = 10 \cdot \lg \frac{I}{I_o}$, где $I_0 = 1 \cdot 10^{-12}$ Вт/м^2 - порог звукового ощущения.

Свойства звуковых волн:

1. **Отражение звуковых волн**.
2. **Преломление звуковых волн.** Как будут распространяться звуковые волны, если воздух у земли более прохладный, чем воздух над землей? Такое искривление (преломление) волн называется рефракцией.
3. **Интерференция звуковых волн**.
4. **Дифракция звуковых волн**.
5. **Независимость распространения звуковых волн.**
6. **Эффект Доплера**. $T_0=\lambda_0/c$ - период колебаний при неподвижном источнике звука, $\lambda = \lambda_0 - VT_0$ - длина волны, воспринимаемая неподвижным наблюдателем, если источник звука движется навстречу приемнику со скоростью $\vec{V}$:

$$\nu = \frac{c}{\lambda} = \frac{c}{\lambda_0 - VT_0} = \frac{c}{\lambda_0 - \frac{V}{c}\lambda_0} \rightarrow \nu = \frac{\nu_0}{1 - \frac{V}{c}}.$$

IV. *Задачи (блиц):*

1. Два одинаковых динамика, подключенных к одному звуковому генератору с частотой $\nu = 3$ кГц, стоят на краю стола на расстоянии $d = 1$ м друг от друга. Наблюдатель, медленно идущий параллельно краю стола на расстоянии $L = 10$ м от него, периодически перестает слышать звук динамиков. Когда наблюдатель находится напротив динамиков, расстояние между соседними точками, в которых не слышен звук, равно $\Delta x = 1{,}1$ м. По этим результатам найти скорость звука в воздухе. 330 м/с
2. Модуль объемного сжатия стали равен $1{,}6 \cdot 10^{11}$ Па, а ее плотность 7800 кг/м^3. Чему равна скорость звука в железнодорожном рельсе? Если кто-нибудь ударит по рельсу на таком расстоянии, что звук дойдет до вас по воздуху за 1 с, сколько времени потребуется звуку, распространяющемуся по рельсу? 75 мс

3. Пуля пролетела со скоростью, в два раза большей скорости звука на расстоянии 5 м от человека. На каком расстоянии от человека была пуля, когда он услышал ее свист? 10 м

V. Олимпиада.

1. С авианосца, движущегося со скоростью υ_a = 60 км/ч навстречу эсминцу, посылается по воде ультразвуковой сигнал частотой ν_0 = 60 кГц. Отраженный от эсминца сигнал принимается на авианосце с частотой ν = 63 кГц. Определить скорость $\upsilon_э$ эсминца. Скорость ультразвука в воде с = 1,5 км/с.
2. На материальную точку массой m, движущуюся вдоль оси x, действует сила, проекция которой на ось x изменяется по закону: $F_x = -\beta\upsilon_x$, где β – постоянная величина. Найти путь, который необходимо пройти точке, чтобы ее скорость уменьшилась в два раза. $S = m\cdot\ln 2/\beta$.
3. Для определения скорости звука в воздухе методом акустического резонанса используется труба с поршнем и звуковой мембраной, закрывающей один из его торцов. Найти скорость звука, если расстояние между соседними положениями поршня, при которых наблюдается резонанс на частоте 2000 Гц, составляет 8,5 см. Какой длины должна быть открытая с обоих концов органная труба, чтобы основная частота её звучания при температуре воздуха 20°С была равной 264 Гц? 650 мм

Вопросы (блиц):

2. Почему басовые струны музыкальных инструментов оплетают спиралью из проволочки?
3. Бегущая волна имеет вид $y = A_{max}\cdot\cos(Cx + Bt)$. Какова скорость волны?
4. Как зависит частота звука, издаваемого при ударе металлическим предметом по баллону колеса автомашины, от давления воздуха в баллоне? С ростом давления в баллоне частота звука повышается.
5. Почему длина звуковой волны в воздухе, производимой гитарной струной на основной ее частоте, не равна удвоенной длине струны? Длина одинакова, а частоты разные (сечения струн разные).
6. Отчего эхо от высокого звука, например крика, обычно громче и отчетливее, чем от низкого?
7. На какой частоте слышен гул из трансформаторной будки? 100 Гц
8. Поглощаемость звука стеклом значительно меньше поглощаемости звука воздухом, однако, закрывая окно, мы значительно ослабляем слышимость уличного шума. Чем это можно объяснить?
9. Почему днем на пляже голоса звучат приглушенно, а вечером наоборот звучат громко?
10. Почему в туман звуки слышны на более далеком расстоянии, чем в солнечную погоду? Изменение плотности воздуха и отсутствие конвекционных потоков.
11. Почему после вдыхания тяжелого газа фторида серы, который впятеро плотнее воздуха, даже женщины начинают говорить басом?
12. Мощные ветра циклона порождают инфразвук, который можно зафиксировать на расстоянии нескольких тысяч километров. Почему?
13. Какое выражение является правильным: «всякое звучащее тело колеблется» или «всякое колеблющееся тело звучит»?

14. Амплитуда звуковой волны увеличилась в два раза. а) во сколько раз возросла ее интенсивность? 4 б) на сколько децибел увеличился уровень громкости? 6 дБ
15. В соревнованиях «Формула – 1» проезжающий автомобиль издает шум громкостью примерно 110 дБ. Какой громкости шум будут издавать 20 одновременно проезжающих мимо наблюдателя автомобилей?
16. Определите предел радиуса слышимости разговора на открытом воздухе. Например, громкость разговора 60 дБ на расстоянии 1 м, а на каком расстоянии порог слышимости? 1 км?
17. Почему звуковые волны при землетрясениях проходят через все более глубокие слои с всевозрастающей скоростью?
18. Почему у мальчиков «ломается голос»?
19. Голос слышен на большом расстоянии, но слов иногда разобрать нельзя. Чем это объяснить?
20. Вращая звучащий камертон около уха, можно заметить усиление и ослабление звука.
21. Почему шум от движущегося поезда резко возрастает, когда поезд въезжает в туннель?
22. Зажимая струну гитары пальцем, мы как бы уменьшаем ее длину, почти не меняя натяжения. Как вы думайте, что происходит с высотой звука?
23. Как вы думаете, почему скорость звука в воде увеличивается как с увеличением температуры, так и с увеличением давления?
24. Утверждается, что на улице струнные инструменты звучат выше, чем в теплом помещении, а духовые наоборот. Так ли это?
25. Почему на воздушном шаре пассажиры хорошо слышат звуки, порожденные на земле?
26. Точно посередине между наблюдателем и скалой в дерево ударила молния. Наблюдатель услышал первый раскат грома через 1 с после вспышки молнии. Через какое время после вспышки молнии наблюдатель услышит отраженный от скалы звук? 3 с

Разное

1. Модуль упругости бетона определяют ультразвуковым методом. Для этого через бетонный кубик с ребром 100,0 мм и массой 2,21 кг пропускают ультразвук. Среднее время прохождения продольных ультразвуковых волн оказалось равным 26 мкс. Какое значение модуля Юнга получено в эксперименте? 33 ГПа

Олимпиада.

Занятие 13. Электромагнитные волны.

I. *Вопросы (блиц):*

1. Скорость звука в воздухе, измеренная в лаборатории, оказалось 334 Ом. Точность измерения 4%. Какова абсолютная погрешность измерения? Каков результат измерения?
2. От носа лодки, идущей по спокойной воде в озере со скоростью V = 10 м/с, бежит волна, образующая угол $\varphi = 20^0$ с направлением движения лодки. С

какой скоростью u распространяется эта волна? $u = V \cdot \sin\varphi \approx 3{,}42$ м/с.

3. В трубе, закрытой с одной стороны, распространяется звук частотой 100 Гц. Температура воздуха t = 20 °С. Можно ли добиться резонанса, изменяя длину ℓ трубы от 0,50 до 1,00 м? Можно. $\ell=\lambda/4$
4. Почему звуковые волны, испускаемые китами, распространяются на очень большие расстояния, а дельфинов – только на несколько десятков метров?
5. Как изменится звук струны, если удар будет сильнее?
6. Почему во время снегопада так тихо (воздух в снежинках).
7. По мере погружения в глубину голос водолаза становится визгливым, а речь неразборчива («утиная» речь). Почему?
8. Амплитуда звуковой волны возросла вдвое. Чему это соответствует в децибелах?
9. Открытая с двух сторон труба имеет первую резонансную частоту $\nu_1 = 440$ Гц. Какой станет первая резонансная частота этой трубы, если закрыть один из ее концов? 220 Гц
10. Интенсивность звука от громкоговорителя прямо пропорциональна квадрату приложенного напряжения. Если напряжение увеличивается в 10 раз, то на сколько децибел возрастает громкость звука?
11. Эффект Доплера при распространении звука сильнее, когда движется источник, чем, когда движется наблюдатель. Так ли это?
12. Два когерентных источника излучают звуковые волны в одинаковых фазах с периодом 10^{-3} с. Каков результат интерференции волн, для которых разность хода равна 29 м, скорость волн 1450 м/с?

II. *Задачи (блиц):*

1. Смещение от положения равновесия точки, находящейся на расстоянии 4 см от источника колебаний, в момент времени t=T/6 равно половине амплитуды. Найти длину волны. 0,48 м
2. Уровень громкости звука реактивного самолета на расстоянии 30 м от него равен 140 дБ. Каков уровень громкости от самолета на расстоянии 300 м? Отражением от земли пренебречь. 120 дБ
3. Прижимая струну, скрипачи задают частоту колебаний, а клапаны духовых инструментов задают длину волны издаваемого звука. Из-за открытого в зале баллона с гелием скорость звука увеличилась на 10%. На сколько герц теперь стали отличаться частоты инструментов, изначально настроенных на 300 Гц?
4. Работающая в помещении животноводческого комплекса электродойка создает уровень шума в 75 дБ. Определить уровень шума, когда в помещении будут включены сразу три таких установки. 84,5 дБ

III. Синусоидальная электромагнитная волна. Частота колебаний. Длина электромагнитной волны по рисунку. Связь между длиной волны, частотой и скоростью распространения волны: $\upsilon = \lambda\nu$.

Формулы электродинамики: $c = \dfrac{1}{\sqrt{\varepsilon_0\mu_0}}$ (скорость света); B = E/c; $\upsilon = \dfrac{c}{\sqrt{\mu\varepsilon}}$.

Закон изменения электрического и магнитного векторов в электромагнитной волне: $E_z = E_{\max}\sin(kr-\omega t)$; $B_y = B_{\max}\sin(kr-\omega t)$.

Выводы:

- Электромагнитная волна поперечна.
- Переменные электромагнитные поля отрываются от проводника с током и переносят энергию в пространстве.

Наличие ускорения - главное условие излучения электромагнитных волн. Плотность энергии и плотность потока электромагнитного излучения (интенсивность): $u = \frac{1}{2}\varepsilon_0 \cdot E^2 + \frac{1}{2}\frac{B^2}{\mu_0} = \varepsilon_0 \cdot E^2 = \frac{B^2}{\mu_o}$; $I = \frac{u}{S}\frac{dV}{dt} = u \cdot c = \varepsilon_0 c E^2 = \frac{cB^2}{\mu_0}$.

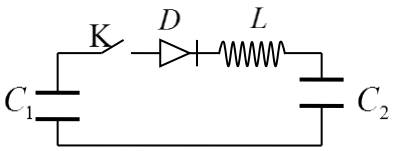
В формуле B и E - действующие значения. Плотности энергии электрического и магнитного полей в электромагнитной волне равны друг другу. $\mathbf{I \sim E^2 \sim B^2 \sim \omega^4 \sim \nu^4 \rightarrow I \sim \nu^4}$. Интенсивность излучаемой электромагнитной волны пропорциональна частоте в четвертой степени.

IV. *Задачи (блиц):*

1. Электрическая составляющая электромагнитного поля изменяется по закону: $E_z(t,x) = 2\cdot\sin(3\cdot10^{15}t - 2\cdot10^7 r)$ В/м. Найдите показатель преломления среды, в которой электромагнитная волна распространяется. 2
2. Плоская электромагнитная волна с напряженностью электрического поля $E_z = 200\cdot\sin(6{,}28\cdot10^8 t + 4{,}55x)$ распространяется в среде с относительной магнитной проницаемостью $\mu = 1$. Какова скорость волны и показатель преломления вещества среды? $1{,}38\cdot10^8$ м/с. 2,17
3. Какова интенсивность электромагнитной волны в вакууме, если амплитуда напряженности ее электрического поля составляет 27,5 В/м. 1 Вт/м^2
4. Луч лазера мощностью 5 мВт имеет диаметр 2 мм. Чему равны средне-квадратичные значения E и B в луче лазера? 774 В/м; 0,258 мТл

V. Олимпиада.

1. Камень выпускают из рогатки с некоторой высоты над горизонтальной поверхностью земли так, чтобы достичь максимальной дальности полета. Начальная скорость камня v_0 = 30м⁄с, а его скорость непосредственно перед падением на землю v = 40м⁄с. Найдите время полета камня. $t = \sqrt{v0\ 2 + v\ 2/g} = 5$ с.
2. К конденсатору ёмкостью C_1 = 0,5 мкФ через диод D и катушку индуктивности L подключен конденсатор ёмкостью C_2 = 2 мкФ. До замыкания ключа К конденсатор C_1 был заряжен до напряжения U = 50 В, а конденсатор C_2 – не заряжен. После замыкания ключа система перешла в новое состояние равновесия, в котором напряжение на конденсаторе C_2 оказалось равным некоторому значению U_2. Определите напряжение U_2. (Активное сопротивление мало.) 20 В.

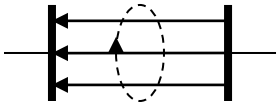


3. Зависимость потенциальной энергии $E_П$ тела в центральном силовом полеот расстояния r задается функцией $E_П = \frac{A}{r^2} - \frac{B}{r}$, где A и B — положительные постоянные. Определите значение r, при котором сила, действующая на тело, максимальна. r = 3A/B

Вопросы (блиц):

1. Почему вода очень сильно поглощает электромагнитные волны?

2. Длина линии электропередачи переменного тока частоты 50 Гц составляет 600 км. Оценить разность фаз напряжения в сети на этом расстоянии.
3. Вектор напряженности E электромагнитной волны изменяется по гармоническому закону с периодом T = 2,10 мкс. Найти длины волн в вакууме и в стекле (n = 1,50).
4. В современных технологических импульсных лазерных установках напряженность электрического поля достигает E_{max} ~ 10^9 В/м. Оцените плотность энергии, а также интенсивность лазерного излучения.
5. Внутри конденсатора на рисунке существуют электрические и магнитные поля. Изменяется ли и как заряд на обкладках конденсатора?



6. Каким будет уравнение плоской электромагнитной волны, распространяющейся в среде с показателем преломления n?
7. Заряженный шарик укрепили на краю диска, который привели во вращение. Будет ли вращение сопровождаться излучением электромагнитных волн?
8. Почему неподвитжные электрические заряды не взаимодействуют с магнитными полями, а подвижные – взаимодействуют?
9. Мгновенное значение магнитной индукции в распространяющейся вправо электромагнитной волне изображается в некоторой точке вектором, идущим от нас. В какую сторону направлено ускорение электрона, оказавшегося в этой точке?
10. Чем вихревое поле отличается от потенциального поля?
11. Если две электромагнитные волны одинаковой частоты приходят в одну точку, то чему равна разность фаз между ними?
12. Почему все материалы, температура которых выше абсолютного нуля, являются источниками электромагнитных волн (электромагнитный шум)?
13. В каком случае вкладчик получит больше денег: если банк начисляет доход 12% один раз в год или если он начисляет по 1% каждый месяц? Начисленный доход сразу добавляется к имеющейся на счету сумме. Во втором случае $A_2 = (1{,}01)^{12} = 1{,}127A$

Разное.

1. Уравнение волны имеет вид $x = 0{,}04\cos(10^3\pi(t - r/300))$, где x — смещение точки среды, см; t — время, с; r — координата точки, м, в которой определяется смещение. Определить амплитуду A, угловую частоту ω, частоту ν и длину волны λ.

Занятие 14. Электромагнитные волны.

I. *Вопросы (блиц):*

1. Можно ли использовать в качестве излучающей антенны резистор; конденсатор; катушку индуктивности?
2. От чего зависит скорость электромагнитной волны?
3. Какую величину можно найти по этой формуле: $\frac{1}{\mu_0 c^2}$? Электрическую постоянную
4. Обкладки заряженного конденсатора замыкают сверхпроводником. Куда девается запасенная в конденсаторе энергия?

5. Во сколько раз надо увеличить частоту колебаний электромагнитной волны, чтобы при удалении от источника на расстояние, вдвое большее первоначального, интенсивность волны не изменилась?
6. В среде распространяется плоская электромагнитная волна. Получите выражение для периода колебаний через диэлектрическую и магнитную проницаемость среды, длину волны и фундаментальные константы ε_0 и μ_0.
7. Как изменяется интенсивность волны, если ее частота увеличивается в два раза при 1) неизменной скорости волны; 2) неизменной длине волны?
   1) возрастет в 4 раза; 2) возрастет в 2 раза.
8. Почему кусок сырого мяса, завернутый в металлическую фольгу, даже не нагревается в микроволновой печи?
9. Почему одинаковы объемные плотности энергии электрического и магнитного полей в электромагнитной волне?
10. Генератор УВЧ излучает электромагнитную волну частотой 500 МГц, которая падает нормально на плоский металлический лист и отражается от него. На какое минимальное расстояние нужно отодвинуть этот лист, чтобы максимум интенсивности в некоторой точке сменился минимумом?
11. Почему для ускорения электронов в циклотроне необходимо затратить большую энергию, чем в линейном ускорителе?
12. Почему инфракрасное излучение нагревает предметы, а радиоволны — нет?
13. Почему электрическая дуга является источником электромагнитных волн различной длины и создает помехи в радиоприемнике?
14. Почему не всякая электромагнитная волна, например, свет от карманного фонарика, способна зажарить отбивную?

II. *Задачи (блиц):*

1. Электромагнитные волны от двух когерентных источников падают в некоторую точку экрана. Интенсивность от первого источника в этой точке I_1, а от второго $I_2=4I_1$. Суммарная интенсивность от обоих источников $I_0=I_1$. Какова разность фаз между векторами напряженности электрического поля волн в этой точке? π
2. Стандартная частота микроволновой печи 2450 МГц. Какой длине волны это соответствует? Каково расстояние между излучателем и отражателем? 12 см
3. На расстоянии 300 м от Останкинской телевизионной башни плотность потока излучения максимальна и равна 40 мВт/м^2. Какова плотность потока излучения на расстоянии уверенного приема, равном 120 км? 0,25 мкВт/м^2
4. Предположим, что электрон проводимости находится в переменном электрическом поле $E_x = E_0 \cos\omega t$, где E_0 = 100 В/м и ν = 10 МГц. Какова амплитуда его колебаний и максимальная скорость? 0,45 см. $2{,}8\cdot10^5$ м/с

III. Принцип современной радиосвязи (объяснение по плакату). Блок-схемы передающего и приемного устройств. Звуковые колебания: ν = {20 - 20000 Гц}.

Радиосвязь — передача и приём информации с помощью электромагнитных волн радиодиапазона. **Радиовещание** — передача и приём речи и музыки с помощью электромагнитных волн радиодиапазона.

В основе радиосвязи лежат три принципа:

- Использование электромагнитной волны высокой частоты в качестве несущей низкочастотную информацию;

- Применение в передатчике и в приемнике колебательных контуров, настроенных на несущую частоту;
- Модуляция высокочастотного сигнала в передатчике сигналом низкой частоты и демодуляция в приемнике.
- **Микрофон** преобразует механические звуковые колебания в электрические той же частоты.
- **Модулирующее устройство** изменяет (модулирует) по амплитуде высокочастотные колебания с помощью электрических колебаний низкой частоты НЧ.
- **Передающая анте**нна излучает модулированные электромагнитные волны.
- **Приёмная антенна** принимает электромагнитные волны. Электромагнитная волна, достигшая приёмной антенны, индуцирует в ней переменный ток той же частоты, на которой работает передатчик.
- **Детектор** выделяет из модулированных высокочастотных колебаний низкочастотные колебания.
- **Динамик** преобразует электромагнитные колебания в механические звуковые колебания.

IV. *Задачи (блиц):*

1. Антенна длиной 1,8 м ориентирована параллельно вектору напряженности электрического поля электромагнитной волны. Какова интенсивность волны, если она возбуждает в антенне ЭДС 1 мВ? $8{,}2\cdot10^{-10}$ Вт/м^2
2. Чему равно действующее значение ЭДС, возбуждаемой в антенне, которая представляет собой катушку диаметром 0,5 см, содержащую 600 витков, если электромагнитная волна имеет частоту 1 МГц и плотность потока энергии в области антенны равна $2\cdot10^{-4}$ Вт/м^2? Как необходимо расположить катушечную антенну, чтобы наводимая в ней ЭДС была максимальна? 0,27 мВ

V. Олимпиада.

1. Камень выпускают из рогатки с некоторой высоты над горизонтальной поверхностью земли так, чтобы достичь максимальной дальности полета. Начальная скорость камня v_0 = 30м⁄с, а его скорость непосредственно перед падением на землю v = 40м⁄с. Найдите время полета камня. $t = \sqrt{v0\ 2 + v\ 2/g} = 5$ с.
2. Расстояние L между опорами линии электропередач равно 50 м. Гибкие, но нерастяжимые провода натянуты так, что вблизи опор они составляют с горизонтом одинаковые малые углы $\alpha = 10°$. Какова самая низкая частота поперечных колебаний таких проводов при ветре? А продольных? 0,38 Гц. 32 Гц
3. Две когерентные световые волны одинаковой амплитуды E_m = 0,1 В/м, линейно поляризованные в одном направлении, приходят в одну точку с разностью хода Δ = 2,4 мкм. Длина волны света λ = 733 нм. Определить амплитуду колебаний в этой точке. Ответ: 0,13 В/м

Вопросы (блиц):

1. Почему молния является источником радиоволн (радиоприемники трещат в грозу)?
2. Разряд молнии представляет собой колебания некоторой частоты. Почему?
3. Почему грозовые разряды часто игнорируют медные громоотводы и выбирают альтернативные пути к земле?
4. Назовите приемники электромагнитных волн.
5. В двух идеальных одинаковой длины и с одинаковым числом витков катушках, но разной площади, протекают одинаковые токи. От какой из катушек при выключении тока помеха будет больше? Почему?
6. Почему все радиостанции не работают на одной несущей частоте?

7. Каким образом в радиоприемнике выделяются из большого числа высокочастотных колебаний, индуцируемых в антенне, только колебания нужной радиостанции?
8. Два землекопа роют канаву. Один из них за час может прокопать в 2 раза больше, чем другой, а платят им за каждый час работы одинаково. Что обойдется дешевле: одновременная работа землекопов с двух сторон «до встречи», или рытье половины канавы каждым из них? Первый вариант деш. в 2р

Разное.

1. Во сколько раз нужно увеличить емкость контура радиоприемника, настроенного на частоту 6 МГц, чтобы можно было слушать радиостанцию, работающую на длине волны 100 м?

Занятие 15. Радиолокация.

I. *Вопросы (блиц):*

1. Можно ли использовать в качестве излучающей антенны резистор; конденсатор; катушку индуктивности?
2. Две электромагнитные волны, излученные когерентными источниками с одинаковой начальной фазой, дошли до точки наложения с разностью фаз 2π, π, $2\pi/3$. Интенсивность каждой волны равна I. Чему равна интенсивность в этой точке вследствие интерференции. 4I, 0, 2I
3. Обкладки заряженного конденсатора замыкают сверхпроводником. Куда девается запасенная в конденсаторе энергия?
4. Во сколько раз надо увеличить частоту колебаний электромагнитной волны, чтобы при удалении от источника на расстояние, вдвое большее первоначального, интенсивность волны не изменилась?
5. Каково происхождение «тресков», котрые мешают приему радиопередачи приемником?
6. Почему кусок сырого мяса, завернутый в металлическую фольгу, даже не нагревается в микроволновой печи?
7. Электроемкость колебательного контура 50 пФ. Зная, что контур настроен на длину волны 20 м, а запасенная в нем энергия равна 10^{-8} Дж, найдите максимальный ток в цепи контура. Скорость света 3·108 м/с. Ответ. 94 мА.
8. Почему одинаковы объемные плотности энергии электрического и магнитного полей в электромагнитной волне?
9. Почему для ускорения электронов в циклотроне необходимо затратить большую энергию, чем в линейном ускорителе?
10. Назовите источники электромагнитных волн.
11. Почему инфракрасное излучение нагревает предметы, а радиоволны — нет?
12. Почему не всякая электромагнитная волна, например, свет от карманного фонарика, способна зажарить отбивную?

II. *Задачи (блиц):*

1. Параметры импульса рубинового лазера следующие: время импульса $\tau = 0{,}1$ мс, средняя энергия импульса W=0,3 Дж, диаметр пучка d = 5 мм. Каковы напряженность электрического поля и интенсивность излучения лазера? $2{,}4\cdot10^5$ В/м. 51 МВт/м^2.

2. Генератор излучает импульсы сверхвысокой частоты с энергией в каждом импульсе 6 Дж. Частота повторения импульсов 700 Гц. КПД генератора 60%. Сколько литров воды в час надо пропускать через охлаждающую систему генератора, чтобы вода нагрелась не выше, чем на 10 К? $6 \cdot 10^5$ л/ч

III. Дифракция радиоволн. Поверхностная и пространственная волна. Предположительные свойства и особенности распространения: 1) длинных волн (**10^4 - 10^3 м**), 2) сверхдлинных волн (**10^5 - 10^4 м**, проникают в толщу океанов и Земли), 3) средних волн (**10^3 – 10^2 м**), 4) коротких волн (**10^2 – 10 м**), 5) ультракоротких волн (**меньше 10 м**). Для радиоволн с частотой выше 30 МГц ионосфера прозрачна.

Локация с помощью звуковых волн. Для этого необходимо:

- Создать направленный звуковой сигнал.
- Принять отраженный звуковой сигнал.
- Измерить время прохождения сигнала до цели и обратно, определить дальность.

Сигнал необходимо посылать в виде отдельных импульсов, с некоторой паузой между ними. Длительность паузы определяет глубину разведки.

Примеры: эхолот , летучие мыши, ультразвуковая дефектоскопия**.**

Радиолокация – это определение и обнаружение местоположения различных объектов при помощи радиоволн. Радиолокация осуществляется при помощи прибора – радиолокатора (радара). В радарах антенны передающая и приемная соединены вместе, радиолокатор – это комбинация приемника и передающего устройства. Работает радиолокатор в импульсном режиме. Импульсный режим составляет одну миллионную секунды. Посылается сигнал – и радар автоматически переключается на прием этого сигнала. Свойства работы радара основаны на том, что электромагнитная волна способна отражаться от поверхности. Вот этот отраженный сигнал радар и принимает в тот момент времени, когда он работает на прием. Расстояние до цели при помощи радара определяются по формуле, которую используют при расчетах: $l = \frac{ct}{2}$.

IV. *Задачи (блиц):*

1. Какой минимальной высоты должны быть две телевизионные антенны-ретранслятора, для обеспечения устойчивой передачи сигнала, если расстояние между ними 200 км? 780 м
2. Радиолокатор работает в импульсном режиме. Частота повторения импульсов ν = 1500 Гц. Длительность импульсов τ = 1,2 мкс. Чему равны максимальная и минимальная дальности обнаружения цели? 100 км. 180 м.
3. На экране электроннолучевой тубки радиолокатора расстояние между пиками отправленного и отраженного сигнала d = 10 мм. Скорость движения по экрану луча, производящего горизонтальную развертку, υ = 1 м/с. Чему равно расстояние оит локатора до объекта? 1500 км
4. Определите скорость автомобиля, если частота излучения радара $1{,}0 \cdot 10^{10}$ Гц, а разность между частотами излучения, испущенного радаром и отраженного движущимся транспортным средством (зафиксированного радаром), равна 1000 Гц. 30 м/с

V. Олимпиада.

1. На материальную точку массой m действует сила, проекция которой на ось y изменяется по закону: $F_y = \alpha\upsilon_y$, где α – постоянная величина. Найти зависимость модуля скорости точки от времени, если в начальный момент времени проекции ее скорости υ_{0x} и υ_{0y}. $\upsilon = \sqrt{\upsilon_{ox}^2 + \upsilon_{0y}^2 e^{2\alpha t/m}}$
2. На какой высоте над Землей следует расположить три спутника, чтобы с их помощью можно было обеспечить телевидение в любой точке Земли? Каков должен быть период обращения этих спутников вокруг Земли? 6400 км. 3,9 ч
3. В камеру напускают аргон, который ионизируют, и ионы плазмы под действием переменного электрического поля начинают совершать колебательные движения. Поле меняется по закону $E(t) = E_0 cos(\omega t)$, E_0 = 0.05 В/м. При какой частоте ω однозарядный ион аргона, который находился строго посередине камеры и не имел начальной скорости, коснется подложки? Расстояние от середины камеры до подложки ℓ = 50 см. Считайте, что ионы не взаимодействуют друг с другом. 490 $с^{-1}$

Вопросы (блиц):

1. Почему нельзя осуществить радиосвязь с подводной лодкой, когда она находится под водой?
2. Почему антенны автомобильных радиоприемников устанавливают, как правило, вертикально?
3. Почему не используют радиоволны для передачи энергии на расстояние?
4. Почему дальность действия УКВ - телефона ограничена?
5. Почему при радиосвязи на коротких волнах образуются зоны молчания?
6. Почему после продолжительного проливного дождя (над обширными водными поверхностями) дальность радиопередачи увеличивается?
7. Почему в радиодипазоне можно регистрировать излучение от очень далеких космических объектов?
8. Почему пропадает сигнал спутникового телевидения при сильном дожде?
9. Судовая радиолокационная станция излучает радиоволны длиной 0,8 см. Какого размера должен быть предмет, чтобы его можно было обнаружить с помощью судового радиолокатора?
10. После солнечной вспышки радиосвязь для пилотов, летающих в полярных широтах, становится невозможной. Почему?
11. Почему увеличение дальности радиолокации в два раза требует увеличение мощности радиопередатчика как минимум в 16 раз?
12. Почему для обнаружения летающих объектов выгоднее использовать электромагнитные волны, а не звуковые?
13. Излучаемая радаром электромагнитная волна отразилась от космического объекта и вернулась на Землю через несколько лет. Может ли быть такое?
14. Почему с помощью радиолокатора можно определить размеры радиоактивного облака и его скорость?
15. Почему для загоризонтных РЛС необходимы сверхмощные и сверхбольшие приемопередающие антенны?
16. Как «помешать» работе радара?

Занятие 16. Законы геометрической оптики.

I. *Вопросы (блиц):*

1. Каков принцип действия СВЧ-печи?
2. Каким образом эффект Доплера облегчает обнаружение движущихся объектов при радиолокации?
3. Почему птицы, попадающие в зону действия сверхмощного радара, падают замертво уже сварившимися птицами?
4. Какую ошибку в определении расстояния до объекта мы допускаем, используя при радиолокации зондирующие импульсы микросекундной (наносекундной) длительности?
5. Почему в микроволновой печи еда помещается на вращающемся столе, а в обычной печи – нет?
6. Почему на экране радиолокатора человек будет неотличим от мешка с грязным бельём?
7. Почему увеличение дальности радиосвязи с космическими кораблями в 2 раза требует увеличение мощности передатчика в 4 раза, а увеличение дальности радиолокатора в 2 раза требует увеличение мощности передатчика в 16 раз?
8. Можно ли видеть дальше линии горизонта?
9. Можно ли с помощью СВЧ-печи сварить яйцо?
10. Многие считают, что гудение высоковольтных проводов связано с ветром, другие – с коронным разрядом, третьи – с магнитным полем Земли, четвертые – с магнитным взаимодействием проводов. А как считаете вы?

II. *Задачи (блиц):*

1. Радиостанция передает звуковой сигнал, частота которого 440 Гц. Определите число колебаний высокой частоты, переносящих одно колебание звуковой частоты, если передатчик работает на волне длиной 50 м? 13636
2. С какой максимальной силой взаимодействуют между собой провода ЛЭП на расстоянии 1 м при амплитуде силы тока в проводах 50 А, если расстояние между опорами 50 м. С какой максимальной силой взаимодействуют эти провода с магнитным полем Земли? Почему ЛЭП гудят на частоте 100 Гц? 15 мН. 0,125 Н

III. Световой луч - линия, вдоль которой распространяется световая энергия. Геометрическая оптика – наука о световых лучах!

1. **Световые лучи распространяются независимо друг от друга**.

Луч света распространяется между двумя точками по пути, на прохождение которого он затрачивает минимальное время.

2. **Закон отражения света:** $\alpha = \beta$.

3. **Закон преломления света:** $\frac{\sin\alpha}{\upsilon_1} = \frac{\sin\gamma}{\upsilon_2} \rightarrow \frac{\sin\alpha}{\sin\gamma} = \frac{\upsilon_1}{\upsilon_2} = n_{21} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$ **(закон Снеллиуса)**.

4. **Закон прямолинейного распространения света.**

5. **Принцип обратимости световых лучей.**

Применение законов геометрической оптики.

Плоское зеркало.

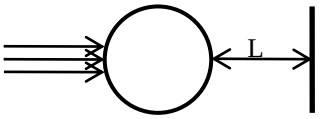
Сферическое зеркало.

IV. *Задачи (блиц):*

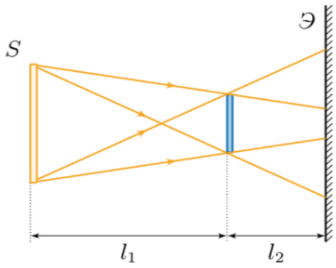
1. Палка, стоящая вертикально на горизонтальной площадке, освещаемой солнечным светом, имеет высоту 1,2 м и отбрасывает тень длиной 0,9 м. Палку начинают медленно наклонять в направлении отбрасываемой ею тени так, что ее нижний конец не сдвигается с места. Длина тени при этом до определенного момента увеличивается, а потом начинает уменьшаться. Чему была равна максимальная длина тени от палки? 1,5 м
2. Требуется осветить дно колодца, направив на него солнечные лучи. Как надо расположить плоское зеркало по отношению к земле, если лучи Солнца падают под углом 60° к горизонту? 75^0 к горизонту
3. Взрыв Тунгусского метеорита наблюдался на горизонте в городе Киренске в 350 км от места взрыва. Определите, на какой высоте произошел взрыв. 9,6 км
4. На дне ручья лежит камешек. Мальчик хочет попасть в него палкой. Прицеливаясь, мальчик держит палку в воздухе под углом 45^0. На каком расстоянии от камешка, воткнется палка в дно ручья, если его глубина 12 см?
5. Круглый бассейн радиусом R = 5 м залит до краев водой. Над центром бассейна на высоте h_1 = 3 м от поверхности воды висит лампа. На какое расстояние от края бассейна может отойти человек, рост которого h_2 = 1,8 м, чтобы все ещё видеть отражение лампы в воде. 3 м
6. Скорость света в веществе А в $\sqrt{3}$ раз больше, чем в веществе В. Некоторый луч света прошел через вещество А к границе раздела веществ и, преломившись, попал в вещество В. Угол падения этого луча в 2 раза больше угла преломления. Найдите угол падения данного луча. 60^0

Олимпиада.

1. Человек идёт ночью по улице, освещённой фонарями. В некоторый момент он обратил внимание на то, что тень, которую он отбрасывает перед собой, в два раза короче тени за его спиной. Пройдя 5 метров, он заметил, что ситуация изменилась: теперь тень за спиной в два раза короче тени перед ним. На каком расстоянии друг от друга стоят на этой улице фонарные столбы, если все они одинаковой высоты? 15 м
2. Параллельный пучок световых лучей радиуса r = 0,5 см падает на прозрачный шар радиуса R = 10 см. Показатель преломления вещества шара n = 2. За шаром на расстоянии L = 20 см от него расположен экран, перпендикулярный лучу. Найти радиус светлого пятна на экране. 1 см



3. Между экраном и источником света в форме диска радиусом R = 30 см поместили соосный ему круг из картона радиусом r = 20 см. Найдите расстояние ℓ_1 между источником и кругом, если площадь полутени на экране в три раза больше площади тени, а расстояние от круга до экрана равно ℓ_2 = 4 м. 18,4 м



4. В фокусе сферического зеркала прожектора помещен источник света в виде светящегося диска радиусом r = 1 см. Найти диаметр D освещенного пятна на стене, расположенной на расстоянии L = 50 м от

прожектора перпендикулярно главной оптической оси, если фокусное расстояние сферического зеркала $F = 40$ см, а диаметр зеркала $d = 10$ см.

Луч из фокуса идет параллельно, а от края диска расходится на малый угол. 3,5 м

Вопросы (блиц):

1. Почему тень от ног человека на земле резко очерчена, а тень от головы расплывчата?
2. Можно ли в воде глубокого колодца увидеть отражение Солнца?
3. Почему неровности дороги днем видны хуже, чем ночью при освещении дороги фарами автомобиля?
4. Что за зеркало и для чего носят его на лбу врачи-отоларингологи? Для чего у него в середине отверстие? Через отверстие в зеркале врач наблюдает горло.
5. Человек, стоящий на берегу озера, видит на гладкой поверхности воды изображение Солнца. Как будет перемещаться это изображение при удалении человека от озера?
6. Два точечных источника света находятся на одном и том же расстоянии 20 см от поверхности плоского зеркала. Расстояние от одного из источников до изображения другого равно 50 см. Каково расстояние между источниками. 30 см.
7. Глядя вечером сквозь окно трамвая или автобуса на яркие источники света, например на уличные фонари, можно заметить вертикальный освещенный шлейф на оконном стекле. Объясните причину его возникновения. Множество отражений от граней горизонтальных царапин.
8. На поверхности плоского экрана находится точечный источник света. Параллельно экрану расположено зеркало в форме равностороннего треугольника со стороной 20 см. Центр зеркала находится напротив источника. Определите площадь светового пятна, образованного на экране отражёнными от зеркала лучами. Ответ: $S_п = \sqrt{3}a^2 \approx 692 см^2$.
9. Заходящее Солнце освещает решетчатую ограду. Почему в тени, отбрасываемой решеткой на стену, отсутствуют тени вертикальных прутьев, тогда как тени горизонтальных отчетливо видны? Толщина прутьев одна и та же.
10. Если на лист белой бумаги попадает растительное масло, то она становится прозрачной, так что через нее можно даже прочесть текст, напечатанный с другой стороны листа. Как это объяснить?
11. Почему параллельные лучи света остаются параллельными, пройдя огромные расстояния, что позволяет нам видеть отдельные звезды?
12. Какова должна быть наименьшая высота вертикального зеркала, чтобы человек в нем мог видеть свое изображение во весь рост, не изменяя положения головы?
13. При сильной облачности можно увидеть светлые и темные лучи, выходящие из облаков вблизи Солнца. Как они возникают?
14. Можно ли при помощи плоского зеркала (системы плоских зеркал) получить действительное изображение точечного источника света?
15. Почему иногда ночью зимой над уличными фонарями видны вертикальные световые столбы?

16. Сколько изображений свечи можно увидеть между двумя параллельными зеркалами? Почему они возникают? Чем дальше от вас изображение свечи, тем оно более тусклое. Почему?
17. Человек разглядывает свое изображение, создаваемое зеркальным шаром. Где находится его изображение относительно центра шара?

Олимпиада.

1. Мяч радиуса r освещается источником света в форме шара с радиусом $2r$. Расстояние между центром источника и центром мяча равно $5r$. Определите радиус полутени, которую мяч отбрасывает на плоский экран, если тень от мяча является точкой. Прямая линия, проходящая через центры источника и мяча, перпендикулярна экрану. 4r
2. Как велик центральный угол шарового сегмента земной поверхности, освещаемого Луной в полнолунии? Принять радиус Земли r, радиус Луны равным 0,273 r, а взаимное расстояние L Земли и Луны равным 60 r. $1{,}4^0$ или $4{,}6\cdot10^{-4}$ стер
3. Насколько кастрюля с водой, стоящая на столе, кажется смотрящему на неё сверху зрителю менее глубокой, чем её истинная глубина? h = 3H/4
4. Декарту утверждал, что свет распространяется в воде на 30% быстрее, чем в воздухе. Какой бы ему показалась глубина кастрюли?

Занятие 17. Полное отражение света.

I. *Вопросы (блиц):*

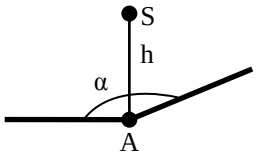
1. Радиоволны отражаются от металлической крыши зеркально, а свет при отражении от этой же крыши сильно рассеивается. Почему?
2. Почему ночью лужа на дороге кажется водителю темным пятном на светлом фоне?
3. Почему Солнце и Луна у горизонта кажутся овальными?
4. Почему, заглянув через отверстие внутрь раскаленной печи, мы не увидим четких контуров находящихся там предметов?
5. Однажды, пролетая над зеркально ровной поверхностью пруда, Карлсон обратил внимание на то, что его скорость относительно пруда в точности равна его скорости удаления от своего изображения в воде. Под каким углом к поверхности пруда летел Карлсон?
6. Луч света падает на систему из двух взаимно перпендикулярных зеркал. Угол падения на плоскость первого зеркала составляет 15^0. Каков угол отражения луча от второго зеркала?
7. Почему цвет облаков может изменяться от белого до чёрного цвета?
8. На плоское зеркало, лежащее на столе, поставлена шахматная фигура. Если на фигуру полого направить пучок света, то на стене (экране) появится двойная тень фигуры – прямая и перевернутая. Построением покажите, почему образуется такая тень.
9. При каком размере зеркала солнечный зайчик будет иметь форму зеркала, а при каком – форму диска Солнца?

II. *Задачи (блиц):*

1. Луч света падает на плоскопараллельную стеклянную пластину толщиной d = 2

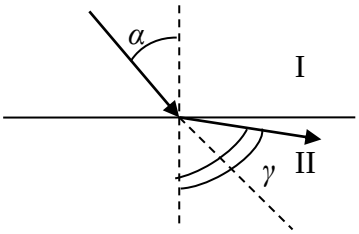
см под углом α = 30°. Каково расстояние а между лучом А, прошедшим пластину без отражения, и лучом Б, претерпевшим двукратное отражение от ее граней? Показатель преломления стекла n = 1,5. О т в е т. а ≈ 1,22 см.

2. Интенсивность света маяка на расстоянии ℓ умещается из-за тумана на 10%. Оцените концентрацию капель воды в тумане, если радиус одной капли равен r. $n = \frac{0{,}1}{\pi r^2 \ell}$
3. Два плоских зеркала образуют двугранный угол α = 150°. Точечный источник света *S* расположен на перпендикуляре к одному из зеркал, восстановленном в точке *A* на расстоянии *h* = 10 см от зеркала. Каково расстояние *l* между изображениями источника в зеркалах? 10 см



4. Фотографировать тигра с расстояния менее 20 метров опасно. Какой размер должна иметь камера-обскура с отверстием диаметром 1 мм, чтобы тигр на фотографии был полосатым? Расстояние между полосами на шкуре тигра равно 20 см. 10 см

III. Прохождение светового луча из оптически менее плотной среды, в оптически более плотную среду: $n_2 > n_1$, $\sin\alpha > \sin\gamma$, $\alpha > \gamma$. Падение на границу раздела рассеянного света.



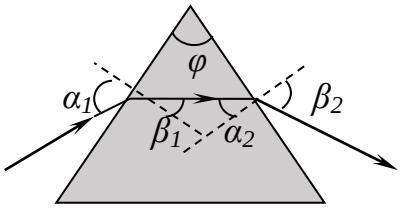
Прохождение светового луча из оптически более плотной среды в оптически менее плотную среду: $n_1 > n_2$, $\sin\alpha < \sin\gamma$, $\gamma > \alpha$. Если световой луч переходит из оптически более плотной среды в оптически менее плотную среду, то он отклоняется от перпендикуляра к границе раздела двух сред, восстановленного из точки падения луча. При некотором угле падения, называемом предельным, свет во вторую среду не проходит: $\sin\alpha_{пред} = n_{21}$.

Полное внутреннее отражение. Предельный угол полного внутреннего отражения при переходе света из стекла в воздух.

Примеры полного внутреннего отражения: фонарь на дне реки, кристаллы, оборотная призма (демонстрация), оптическое волокно (демонстрация).

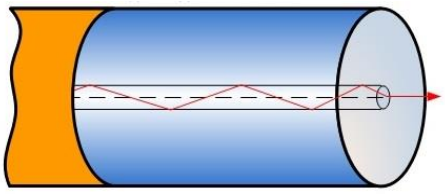
Ход лучей в треугольной призме: $\frac{\sin\alpha_1}{\sin\beta_1} = n$; $\frac{\sin\alpha_2}{\sin\beta_2} = \frac{1}{n}$;

$$\beta_1 + \alpha_2 = \varphi.$$



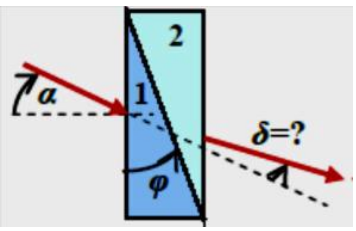
IV. *Задачи (блиц):*

1. Точечный источник света расположен на дне водоема глубиной h = 0,6 м. Преломленный луч, вышедший в воздух в некоторой точке поверхности воды, оказался перпендикулярным лучу, отраженному от поверхности воды обратно в воду. На каком расстоянии L от источника на дне водоема достигнет дна отраженный луч? Показатель преломления воды принять равным n = 4/3. 0,9 м.
2. Световод (длинная тонкая нить) изготовлен из прозрачного материала с показателем преломления 1,2. Один из торцов световода прижат к источнику рассеянного света, другой торец размещен на расстоянии 5 см от экрана. Найти диаметр светового пятна на экране. 8,9 см



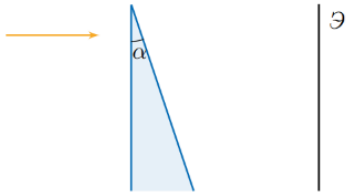
3. Луч света падает перпендикулярно к грани призмы, у которой преломляющий угол φ = 30°. Угол отклонения луча, вышедшего из призмы, от

первоначального направления θ = 27°. Определить показатель преломления n стекла призмы. 1,68



Олимпиада.

1. Узкий пучок света падает под углом $\alpha = 4^0$ на поверхность плоскопараллельной пластины, склеенной из двух плотно прижатых клиньев с углом при вершине $\varphi = 3^0$. Разность показателей преломления материалов клиньев $\Delta n = n_2 - n_1 = 0{,}5$. Под каким углом к первоначальному направлению выйдет пучок из пластины? $1{,}5^0$



2. На стеклянный клин перпендикулярно Э его грани падает тонкий луч света. Показатель преломления стекла $n = 1{,}41$, угол при вершине $\alpha = 10°$. Сколько светлых пятен будет видно на экране, поставленном за клином? 2
3. Тонкий пучок света, падающий на полушарие из стекла с показателем преломления n перпендикулярно его плоской грани, собирается в точку на расстоянии S от выпуклой поверхности полушария. На каком расстоянии S_1 от плоской поверхности полушария соберутся лучи, если пустить пучок света с обратной стороны? Ответ: $S_1 = S/n$.

Вопросы (блиц):

1. Человек стоит по пояс в воде на горизонтальном дне бассейна. Почему ему кажется, что он стоит в углублении?
2. Синус предельного угла полного внутреннего отражения на границе вода — воздух равен 0,75. Чему равна скорость света в воде? 225 000.
3. Чем отличается отражение света от явления полного внутреннего отражения?
4. Почему обнаружение подводных лодок или больших косяков рыбы удобно производить с самолёта?
5. Если в тонкий стакан налить примерно до половины воды и посмотреть на нее снизу, то вода вам покажется блестящей, похожей на ртуть. Почему?
6. Зачем стёкла автомобильных фар делают не гладкими, а рифлеными, состоящими как бы из маленьких трёхгранных призм? Система призм отклоняет свет вниз на дорогу.
7. В утренние и предвечерние часы отражение Солнца в спокойной воде слепит глаза, а в полдень его можно рассмотреть, не жмурясь. Почему?
8. Воздух прозрачен для света, вода также. А пена - пузыри воды, наполненные воздухом, - непрозрачна. Почему?
9. В плоском зеркале видно изображение свечи. Что произойдёт с этим изображением, если между зеркалом и свечой поставить плоскопараллельную пластинку? Ответ: изображение свечи приблизится к зеркалу.
10. Почему в замерзшей луже те области, где подо льдом образовалась прослойка воздуха, кажутся серебристыми?
11. Высокий показатель, а значит и малый предельный угол полного отражения, придаёт огранённому алмазу сильный блеск и игру света. Объясните.
12. Между светящейся точкой и глазом помещается плоскопараллельная стеклянная пластинка. Найдите построением кажущееся положение точки.
13. В жаркую безветренную погоду над морем-океаном можно увидеть парящие

танкеры. Возможно ли такое?

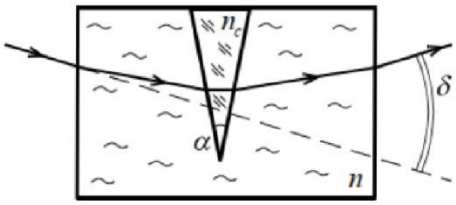
Разное

1. Комната имеет длину 4 м и высоту 3 м. На одной стене комнаты вертикально висит зеркало. Человек стоит на расстоянии 1 м от зеркала лицом к зеркалу. Какой должна быть минимальная высота зеркала, чтобы человек мог видеть находящуюся за его спиной стену в полную высоту (от пола до потолка)? 0,6 м

Олимпиада.

1. На какой угол φ отклонится луч, попавший на сферическую каплю воды радиуса r на расстоянии x от проходящего через центр капли параллельного ему луча, после полного отражения в капле? $\varphi = 4\arcsin\frac{3x}{4r} - 2\arcsin\frac{x}{r}$

   Какой из падающих на сферическую каплю воды лучей отклонится при возвращении на наибольший угол φ_{max} (и на какой именно угол)? 42^0
2. В аквариум в форме прямоугольного параллелепипеда, заполненный жидкостью с показателем преломления n = 1,2, поместили тонкий стеклянный клин с показателем преломления n_c = 1,7, и углом при вершине α = 0,2 рад. Снаружи в аквариум пустили луч лазера, который прошел сквозь клин и вышел с противоположной стороны аквариума. Найдите угол отклонения δ световых лучей, прошедших через аквариум. $\delta = (n_{21}-1)\alpha + 2\alpha(\frac{n_{21}-1}{n_{21}})$ Вроде 0,2



Занятие 18. Полное отражение света.

I. *Вопросы (блиц):*

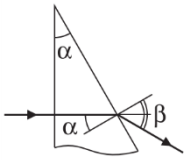
1. На дне водоема находится точечный источник света. Во сколько раз максимальное время, необходимое лучу света, для того, чтобы выйти из воды, больше минимального?
2. Почему разогретая дорога представляется вам как бы зеркалом, отражающим голубое небо?
3. Известно, что шерсть белого медведя состоит из прозрачных полых волос, заполненных воздухом. Почему же медведь белый?
4. На дне водоема находится точечный источник света. Во сколько раз максимальное время, необходимое лучу света для того, чтобы выйти из воды, больше минимального. 1,52
5. Почему пена непрозрачная, хотя получается из прозрачной воды?
6. Зачем стёкла автомобильных фар делают рифлёными, а не гладкими?
7. Почему пена на лимонаде белая, а не янтарная и не темная, как напиток в кружке?
8. Какая картина откроется пловцу, который нырнул без маски под воду и смотрит вверх через спокойную поверхность пруда?
9. Почему зимой во время тумана видимость заметно улучшается, когда начинает идти снег? При каких условиях возможно наблюдение полного внутреннего отражения?
10. С погруженной подводной лодки наблюдают за пролетающим над ней

самолетом. Во сколько раз кажущаяся высота самолета больше истинной? А кажущаяся скорость?

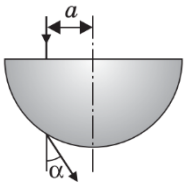
11. Почему мокрый асфальт темнее сухого?
12. Почему град, образовавшийся в нижней части облака, темный, а образовавшийся в верхней части – светлый?

II. *Задачи (блиц):*

1. На поверхности воды плавает непрозрачный шар радиусом R = 1 м, наполовину погруженный в воду. На какой максимальной глубине H_{max} нужно поместить под центром шара точечный источник света, чтобы ни один световой луч не прошел в воздух? Показатель преломления воды n = 1,33. Ответ. H_{max} = 1,33 м.
2. На поверхности озера, имеющего глубину H = 2 м, находится круглый плот радиусом R = 8 м. Найдите радиус полной тени от плота на дне озера при освещении рассеянным светом. 5,7 м
3. Луч света падает нормально на переднюю грань призмы, как показано на рисунке. Преломляющий угол призмы составляет α = 30°. Каким должен быть показатель преломления материала призмы n, для того чтобы угол отклонения луча призмой был равен α? n ≈ 1,73.

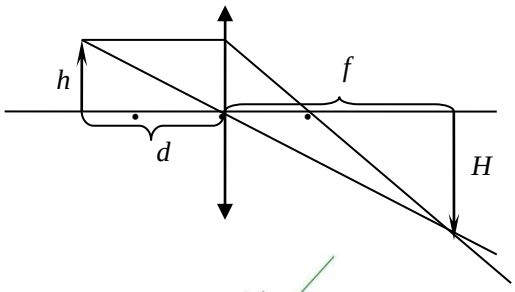


4. Кажущаяся глубина водоема три метра. Какова его истинная глубина?
5. Луч света падает на стеклянный полушар радиусом R на расстоянии a от его оси симметрии и параллельно ей. На какой угол α отклонится вышедший после преломления в полушаре луч, если a = 0,5R, n = 1,414? α = 15°.

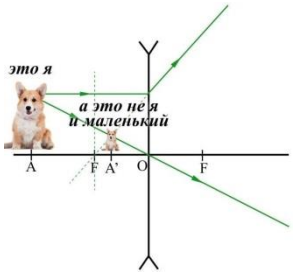


III. Линза – прозрачное тело, ограниченное двумя сферическими поверхностями. Демонстрация линз из набора. Рисунок линзы на доске. Основные точки и линии: центры и радиусы сферических поверхностей, оптический центр, главная оптическая ось, главный фокус собирающей линзы, фокусное расстояние и оптическая сила собирающей линзы.

$D = \frac{1}{F}$. [D] = [дптр]. $F = \frac{1}{(n_{21}-1)(\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2})}$



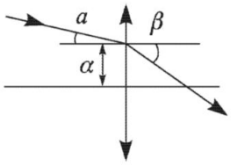
Собирающая линза: Схематическое изображение собирающей линзы *(F > 0).* Схематическое изображение рассеивающих линз (*F < 0*). Построение изображения предмета в рассеивающей линзе. Рассеивающая линза всегда дает мнимое, неперевернутое и уменьшенное изображение предмета! Построение изображения предмета в собирающей линзе. Формулы для увеличения линзы. Вывод формулы линзы:



$\Gamma = \frac{H}{h} = \frac{f-F}{F}$; $\Gamma = \frac{H}{h} = \frac{f}{d}$; $\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$.

IV. *Задачи (блиц):*

1. Тонкая стеклянная линза ($n_{ст}$ = 1,5) в воздухе имеет оптическую силу 5 дптр. Когда эту линзу погружают в жидкость, она



действует как рассеивающая с фокусным расстоянием 100 см. Определите показатель преломления жидкости. 1,67

2. На поверхность собирающей линзы с фокусным расстоянием F падает луч света на расстоянии a от главной оптической оси. Под каким углом β к главной оптической оси луч выйдет из линзы? $tg\beta = \frac{Ftg\alpha + a}{F}$
3. Тонкая линза создаёт прямое изображение предмета с увеличением 0,25. Во сколько раз расстояние между предметом и изображением больше фокусного расстояния линзы? 6,25

V. Олимпиада.

1. «Горе-экспериментаторы» решили изготовить линзу из подручных материалов для получения огня. Нашли два сферических тонких стекла разных радиусов, соединили их и залили пространство между ними водой. Проверили систему, она сработала. Воду из линзы вылили и опустили линзу в большую емкость с керосином, так, что внутрь линзы керосин не попал. Как и во сколько раз изменилась оптическая сила системы? Показатель преломления воды принять равным 1,33, воздуха 1, керосина 1,39. -1,18
2. Астроном хочет взять с собой в поход лупу для разведения огня. У одной линзы фокусное расстояние 20 см и диаметр 5 см, а у другой – фокусное расстояние 50 см, а диаметр 10 см. Какой из них будет легче поджечь тонкую деревянную палочку? Во сколько раз будет отличаться время поджога? Вторая линза собирает в 4 раза больше солнечной энергии, чем первая, но на большей в 6,25 площади, которая ~ F^2. Первая линза дает большую в 1,6 раза концентрацию энергии (светосилу).
3. Высота предмета 5 см. Линза дает на экране действительное изображение высотой 15 см. Предмет передвинули на 1,5 см от линзы и, передвинув экран на некоторое расстояние, снова получили изображение высотой 10 см. Найти фокусное расстояние линзы. 9 см

Вопросы (блиц):

1. Предложите наибольшее число способов измерения фокусного расстояния собирающей линзы. Какой из способов наиболее точный?
2. Может ли плоско-выпуклая линза рассеивать параллельные лучи света, а плоско-вогнутая собирать их?
3. Свеча перемещается с очень далекого расстояния d почти вплотную к собирающей линзе. Как при этом перемещается изображение свечи? Сравните скорости перемещения свечи и её изображения.
4. Во сколько раз отличаются фокусные расстояния двояковыпуклых линз, если у второй линзы показатель преломления и радиусы кривизны обеих поверхностей в 1,5 раза больше, чем у первой?
5. Как надо расположить две линзы, одна из которых собирающая, а другая рассеивающая, чтобы пучок параллельных лучей, пройдя через обе линзы, остался параллельным?
6. Половина у линзы закрывают непроницаемым экраном. Что произойдет при этом с изображением?
7. В чем разница между действительным и мнимым изображением предмета?

Разное

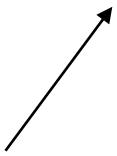
1. Светодиод расположен на главной оптической оси тонкой линзы. На экране за линзой наблюдается изображение «глазка» светодиода с увеличением Г = 1,5. Светодиод начали смещать вдоль оптической оси со скоростью v = 0,4 см/с. За время t = 1 с увеличение возросло на 2%. Найти оптическую силу линзы. 3,3 дптр
2. Небольшой предмет помещен на расстоянии 15 см от плоскопараллельной стеклянной пластинки. Наблюдатель рассматривает его через пластинку, причем луч зрения нормален к ней. Найти расстояние изображения предмета от ближайшей к наблюдателю поверхности пластинки. Толщина пластики 4,5 см, показатель преломления стекла 1,5.
3. Расстояние между предметом и его изображением 72 см. Линейное увеличение равно 3. Найдите фокусное расстояние линзы.
4. С помощью линзы с оптической силой D = - 5 дптр наблюдают изображение, находящееся от линзы на расстоянии 10 см. На каком расстоянии от линзы расположен предмет?
5. Показатель преломления стекла, для света данной длины волны равен 1,6. На каком расстоянии от линзы с фокусным расстоянием 12 см надо поставить предмет, чтобы его действительное изображение было втрое больше самого предмета?

Олимпиада.

Занятие 19. Применение линз.

I. *Вопросы (блиц):*

1. На каком расстоянии друг от друга следует расположить две линзы – рассеивающую с фокусным расстоянием – 4 см и собирающую с фокусным расстоянием 9 см, чтобы пучок лучей, параллельный главной оптической оси первой линзы, пройдя через обе линзы, остался бы параллельным? 5 см
2. Дан ход луча через собирающую (рассеивающую) линзу. Найти построением ее фокус.



3. В архивах Снеллиуса нашли рисунок: предмет и его изображение в тонкой линзе. Какая это линза и где находятся ее фокусы?

4. Пузырёк воздуха в воде — двояковыпуклая рассеивающая линза. Так ли это?
5. Диаметр Солнца в 400 раз больше диаметра Луны. Почему же их видимые размеры почти одинаковы?
6. Точечный источник находится на главной оптической оси собирающей линзы. В какую сторону сместится изображение этого источника, если линзу повернуть на некоторый угол относительно оси, лежащей в плоскости линзы и проходящей через ее оптический центр?
7. Можно ли собирающую линзу назвать "усилителем света"?
8. В плоском зеркале получено мнимое изображение Солнца. Можно ли этим "мнимым Солнцем" прожечь бумагу с помощью собирающей линзы? Можно
9. При каких условиях вогнутая линза будет: а) собирающей; б) рассеивающей?
10. Симметричную линзу с оптической силой D разрезали точно пополам по

плоскости симметрии так, что образовались две плоско-выпуклые линзы. Чему равна оптическая сила каждой из линз?

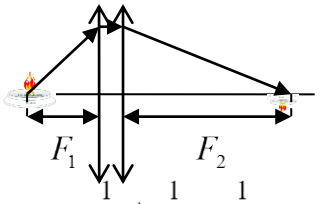
11. Как изменится фокусное расстояние линзы, если ее температура повысится?

II. *Задачи (блиц):*

1. Мнимое изображение предмета в собирающей линзе с фокусным расстоянием F = 48 см находится в фокусе линзы (f = - 48 см). Определить расстояние от линзы до предмета. 24 см
2. Тонкая линза создает прямое увеличенное изображение предмета, причем расстояние между предметом и изображением в два раза меньше фокусного расстояния линзы. Найдите увеличение. -2
3. Косметическое зеркало должно давать мнимое изображение лица, увеличенное в Г = 1,5 раза, при помещении его на расстоянии d = 20 см от лица. Каким должен быть радиус кривизны сферического зеркала R, предназначенного для этой цели? Должно оно быть выпуклым или вогнутым? R = 2Гd/(Г − 1) = 120 см.
4. Плоский тонкий предмет был расположен параллельно плоскости тонкой рассеивающей линзы с фокусным расстоянием 10 см. Линзу заменили на собирающую с таким же фокусным расстоянием. Куда нужно переместить предмет вдоль главной оптической оси так, чтобы размер его изображения не изменился? На какое расстояние нужно передвинуть предмет вдоль главной оптической оси так, чтобы размер его изображения не изменился? 20 см.

III. С помощью линзы можно получить:

- действительное и увеличенное изображение предмета, (диапроектор);
- уменьшенное изображение предмета (фотоаппарат), получать увеличенные и уменьшенные изображения предметов (телескоп, микроскоп), фокусировать солнечные лучи (ледяная линза, гелиостанция).



$$\frac{1}{F_1} + \frac{1}{F_2} = \frac{1}{F}$$

Системы линз. Для тонких контактирующих линз: $D = D_1 + D_2 + \ldots$. Глаз – как оптическая система. Информацию о мире нам дает мозг, а не глаза! **Аккомодация. Дефекты зрения. Очки.**

IV. *Задачи (блиц):*

1. Расстояние по оси между предметом и его мнимым изображением 1 см, высота предмета 2 см, изображение в два раза больше. Постройте схему и определите фокусное расстояние линзы. 2 см
2. Свет от удаленного точечного источника, находящегося на общей главной оптической оси двух линз, проходит через первую собирающую линзу и собирается в заднем фокусе второй рассеивающей линзы оптической силы D_2 = -5 дптр. Найти оптическую силу D_1 первой линзы, зная, что расстояние между линзами l = 30 см. Ответ: 0,4 м.
3. Алиса стоит в восьми шагах от кривого зеркала и видит другую Алису (своё изображение) в Зазеркалье. Когда она делает шаг вперёд, Алиса в Зазеркалье приближается к ней на 13,5 шагов. Найдите фокусное расстояние зеркала, если известно, что оно вогнутое, а шаг Алисы — 60 см. Ответ: фокусное расстояние кривого зеркала составляет 10,2 шага или 6,12 м.
4. Пучок параллельных световых лучей падает на линзу с оптической силой D_1 = −10 дптр. На каком расстоянии за ней нужно поставить соосно линзу с

оптической силой D_2 = +2,5 дптр, чтобы из второй линзы лучи пучка вышли параллельно? 0,3 м

5. Точечный источник света расположен на главной оптической оси тонкой собирающей линзы с фокусным расстоянием F = 20 см. По другую сторону линзы на расстоянии b = 80 см от нее находится экран, перпендикулярный ее главной оптической оси. Известно, что если переместить экран на расстояние d = 40 см в сторону линзы, то размер пятна света, создаваемого источником на экране, не изменится. Определить расстояние от источника света до линзы. 30 см

V. Олимпиада.

1. С помощью линзы получено изображение Солнца. Диаметр изображения d = 3 мм, а расположено оно на расстоянии ℓ = 32 см от линзы. Известно, что продолжительность земного года составляет T = 365 суток, а расстояние от Земли до Солнца есть $R = 1{,}5\cdot10^8$ км. Вычислить по этим данным ускорение свободного падения у поверхности Солнца. 270 м/с^2
2. Стеклянный шар радиусом R = 10 см с центром в начале координат освещается узким пучком света от точечного источника, находящегося на оси x. Найти расстояние d от источника до шара, зная, что изображение источника расположено на таком же расстоянии от шара, как и источник. Шар изготовлен из стекла с показателем преломления n = 1,5. Ответ: 20 см
3. Расстояние между двумя точечными источниками света ℓ = 24 см. Где между ними нужно поместить линзу с фокусным расстоянием F = 9 см, чтобы изображение обоих источников получилось в одной точке? Ответ: 18 см

Вопросы (блиц):

1. Почему при ярком освещении те, кто пользуется не очень сильными очками, могут читать и без очков?
2. Какой физический смысл имеет выражение: "Из глаз посыпались искры"?
3. Зачем световые сигналы часто делают мигающими (например, у маяков)?
4. Почему быстро движущийся светящийся предмет (например, тлеющая лучина) оставляет за собой след?
5. Если слегка нажать пальцем на глаз, можно увидеть удвоенное изображение предметов. Почему?
6. Зачем водители при встрече машин выключают фары, оставляя лишь подфарники?
7. Свеча перемещается с очень далекого расстояния d почти вплотную к собирающей линзе. Как при этом перемещается изображение свечи? Сравните скорости перемещения свечи и её изображения.
8. Объясните, почему в народе зайца называют "косым"? Чтобы разглядеть предметы, заяц должен повернуть голову - "скосить".
9. Глаза многих насекомых имеют ячеистую структуру. Объясните её значение. В глазах насекомых нет сетчатки.
10. Почему лошади при приближении к ним человека поднимают голову? Хрусталик глаза лошади не способен к аккомодации.
11. Определите увеличение лупы с фокусным расстоянием F . $\Gamma = 1 + \frac{d_0}{F}$
12. Почему в очках для плавания хорошо видно под водой, а без них – плохо?

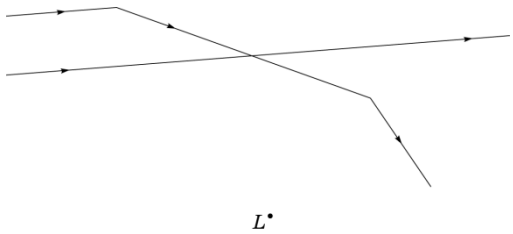
13. Чем больше фокусное расстояние объектива, тем более крупным и «приближенным» будет изображение объекта съемки. Так ли это?

Разное

1. На пути симметричного сходящегося пучка лучей поставили собирающую линзу с фокусным расстоянием 24 см. В результате лучи собрались на главной оптической оси в точке А на расстоянии 8 см от оптического центра линзы. На каком расстоянии от точки А сойдутся лучи, если линзу убрать? 12,5 см
2. Кинооператору требуется снять автомобиль, движущийся со скоростью υ = 20 м/с на расстоянии d = 26 м от оператора. Фокусное расстояние объектива кинокамеры F = 13 мм. Какова должна быть экспозиция Δt, чтобы размытость контуров изображения не превышала значения 0,05 мм?
3. Где надо поместить предмет перед собирающей линзой с фокусным расстоянием *F*, чтобы расстояние между предметом и его изображением было наименьшим? 2F

Олимпиада.

1. Говорят, что в архиве Снеллиуса нашли чертёж оптической системы (см. рисунок). От времени чернила выцвели, и на чертеже остались видны только ход параллельных лучей через две тонкие линзы и точка L, принадлежащая плоскостям обеих линз.
   1) Восстановите построением положения плоскостей обеих линз.
   2) По имеющимся данным определите тип каждой линзы (собирающая или рассеивающая).
   3) Найдите положения оптических центров и главных фокусов линз.



2. Свет от удаленного точечного источника, находящегося на общей главной оптической оси двух линз, проходит через первую собирающую линзу и собирается в заднем фокусе второй рассеивающей линзы оптической силы D_2=-5 дптр. Найти оптическую силу D_1 первой линзы, зная, что расстояние между линзами l = 30 см. Ответ: 0,4 м.
3. Собирающую линзу вертикально погрузили в воду так, что главная оптическая ось линзы лежит на поверхности воды. На главной оптической оси на расстоянии 40 см от оптического центра линзы расположили точечный источник света. При этом на поверхности воды с другой стороны от линзы появились два изображения этого источника на расстоянии 100 см друг от друга. Определите по этим данным фокусное расстояние линзы. Показатель преломления стекла 1,5, показатель преломления воды 4/3. 6, 42 см

Занятие 20. Интерференция света.

I. *Вопросы (блиц):*

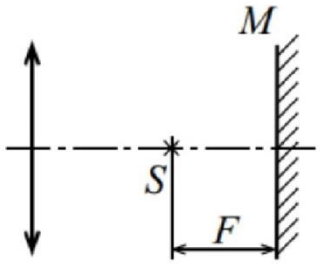
1. Каким образом с помощью мобильных телефонов получают качественные фотоснимки при жестко закрепленном объективе?
2. Может ли собирающая линза и плоское зеркало давать действительное изображение предмета?
3. Почему с наступлением темноты очертания предметов перестают быть

резкими?

4. Спичка расположена в фокальной плоскости рассеивающей линзы. Во сколько раз изображение спички меньше ее длины?
5. Изображение предмета, помещённого пред собирающей линзой на расстоянии d = 0,4 м, получено по другую сторону линзы в натуральную величину. Определить: линейное увеличение линзы; расстояние от плоскости линзы до изображения предмета; фокусное расстояние; оптическую силу линзы. Построить ход лучей от предмета до изображения.
6. Лента, имеющая при дневном свете светло-синий цвет, при свете свечей имеет другой цвет? Какой это цвет и почему? Зеленый
7. Близорукий человек резко видит предметы, расположенные не далее 10 м от него. Какие контактные линзы ему следует носить, чтобы хорошо видеть предметы, расположенные от него на большом расстоянии?

II. *Задачи (блиц):*

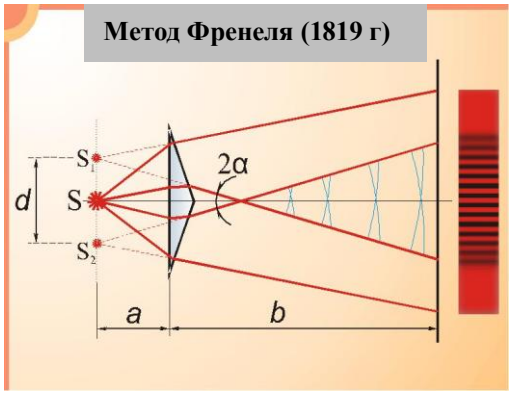
1. Объектив телевизионного передатчика создает изображение свободно падающего камня, находящегося перед ним на расстоянии d = 5 м. Определить фокусное расстояние F объектива, если известно, что изображение движется с ускорением a = 0,2 м/с^2. Ответ: 0,12 м
2. На главной оптической оси собирающей линзы с фокусным расстоянием F расположено плоское зеркало M (перпендикулярно оси) и точечный источник света S. Оптическая система формирует два действительных изображения источника, расположенных на расстоянии 2F/3 друг от друга. Найдите расстояние от линзы до зеркала, если расстояние от источника света до зеркала равно F. Ответ: d_1 + F = 3F.

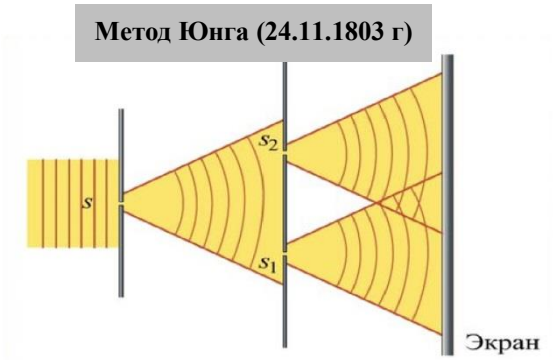


III. Дисперсия волн - зависимость показателя преломления среды (скорости волн в среде) от частоты. Белый свет - сложный. Скорость света в вакууме не зависит от частоты используемого света! Лучи, отличающиеся по цвету, отличаются и по степени преломляемости.

Интерференция света. Разность хода волн до некоторой точки наблюдения P. Как можно рассчитать разность хода? $\Delta_n = d \cdot \sin\varphi_n \rightarrow \Delta_n = \dfrac{d \cdot x_n}{L}$.

Методы получения когерентных источников света (схемы зарисовать). По





наблюдаемой интерференционной картине всегда, можно определить длину волны! **Интерференция света в тонких пленках.** Просветление оптики.

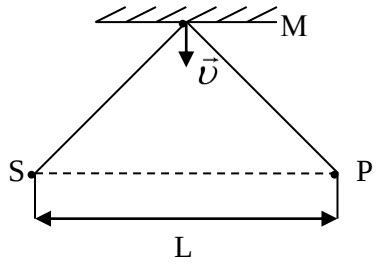
Кольца Ньютона.

IV. *Задачи (блиц):*

1. Монохроматический луч света с длиной волны $\lambda = 700$ нм падает под углом $\alpha = 40^0$ на боковую грань призмы с коэффициентом преломления в видимой области $n = 2{,}1 - 10^6\ \lambda$. Преломляющий угол призмы $\varphi = 55^0$. Определите угол отклонения луча θ. 40^0
2. Плоская световая волна падает на зеркала Френеля, угол между которыми 2'. Определить длину волны света, если ширина интерференционной полосы на экране 0,55 мм. 0,64 мкм (рисунок почти как с бипризмой).
3. Когерентные источники белого света, расстояние между которыми 0,32 мм, имеют вид узких щелей. Экран, на котором наблюдают интерференцию света от этих источников, находится на расстоянии 3,2 м от них. Найти расстояние между красной ($\lambda_к = 740$ *нм*) и фиолетовой ($\lambda_ф = 400$ *нм*) линиями второго интерференционного спектра на экране.
4. Объектив из стекла с показателем преломления $n = 1{,}50$ покрыт просветляющей пленкой, показатель преломления которой $n' = 1{,}22$. Какой должна быть минимальная толщина такой пленки для света с длиной волны $\lambda = 560$ нм? 115 нм.
5. Пучок света ($\lambda = 582$ нм) падает перпендикулярно к поверхности стеклянного клина. Угол клина $\alpha = 20''$. Какое число k_0 темных интерференционных полос приходится на единицу длины клина? Показатель преломления стекла $n = 1{,}5$. Построить чертеж и показать интерферирующие лучи. 500 $м^{-1}$

Олимпиада.

1. Интерференционная схема включает в себя точечный источник *S* монохроматического света с длиной волны 0,5 мкм, фотоприемник *P,* отстоящий от источника на расстоянии 2 м и плоское зеркало M, движущееся со скоростью 0,2 см/с по направлению к линии *SP*, соединяющей источник и фотоприемник. Определите частоту колебаний фототока приемника в тот момент, когда зеркало будет находиться на расстоянии 0,5 см от линии *SP*.



2. Собирающая линза оптической силы 5 дптр разрезана точно посередине и части линзы раздвинуты на расстояние $h = 0{,}50$ мм. Линза освещается источником монохроматического света на расстоянии $d = 15$ см с длиной волны $\lambda = 500$ нм. Оценить число N светлых интерференционных полос на экране, расположенном за линзой на расстоянии $L = 60$ см. Промежуток между частями линзы закрыт непрозрачной перегородкой.
3. Складываются два гармонических колебания одного направления с одинаковыми периодами $T_1 = T_2 = 1{,}5$ с и амплитудами $A_1 = A_2 = 2$ см. Начальные фазы колебаний $\varphi_1 = \pi/2$ и $\varphi_2 = \pi/3$. Определить амплитуду A и начальную фазу результирующего колебания. Найти его уравнение и построить с соблюдением масштаба векторную диаграмму сложения амплитуд. $A = 3{,}86$ см, $\varphi = 75^0$

Вопросы (блиц):

1. Пучок зеленого света переходит из воздуха в воду. Меняются ли при этом его частота, длина волны, цвет?

2. Почему свет, преломляясь в бриллианте, даёт более насыщенные цвета, чем при преломлении в стразе (стеклянной имитации бриллианта) той же формы?
3. Тонкая пленка окрашивается в красный свет (λ = 650 нм), если на нее смотреть вертикально вниз. Каков показатель преломления пленки n, если толщина пленки d = 300 нм? 1,08.
4. Каков цвет красного вина в зеленой бутылке?
5. Для чего при стирке белья в воду добавляют «синьку»?
6. Через какой светофильтр нельзя увидеть надпись, сделанную красной ручкой на белом листе бумаги?
7. Почему альпинисты пользуются зелеными солнцезащитными очками?
8. Лента, имеющая при дневном свете светло-синий цвет, при свете свечей имеет другой цвет? Какой это цвет и почему?
9. Почему жидкая пена белая? Объясните, почему белое тело кажется белым в белом свете, красным в красном и т.д.?
10. Как изменяется длина волны красного света при переходе из воздуха в воду?
11. Для каких лучей – красных или фиолетовых – будет больше главное фокусное расстояние рассеивающей линзы?
12. Почему изображения предметов, наблюдаемых в телескопе-рефракторе, оказываются окрашенными?
13. Если продолжительное время смотреть на одноцветный рисунок, а затем перевести взгляд на белую бумагу, то на бумаге вы увидите изображение рисунка в дополнительном цвете. Почему?
14. Если две волны интерферируют друг с другом, то влияет ли одна волна на распространение другой?
15. Разность фаз колебаний двух интерферирующих лучей монохроматического света с длиной волны 500 нм равна $\frac{3\pi}{2}$. Определить разность хода этих лучей.
16. Что общего и в чем различие методов наблюдения интерференции света Юнгом и Френелем?

Разное

1. Просветление стеклянной линзы производится нанесением на ее поверхность тонкой пленки ($n_{пл} < n_{ст}$). Если свет, падающий на линзу, имеет длину волны 0,65 мкм, то максимальный эффект достигается при толщине покрытия d = 0,12 мкм и угле падения α = 0 рад. Чему равен показатель преломления пленки? 1,35
2. Луч света с длиной волны в вакууме λ_0 = 0,5 мкм падает нормально на стеклянную пластину толщиной d = 0,2 мм с показателем преломления n = 1,5. Определите длину λ частоту ν и скорость этих волн в пластине. Сколько длин волн N укладывается на толщине пластины?
3. Определить толщину «просветляющей» пленки с показателем преломления n = 1,231, нанесенной на поверхность линзы n_1 = 1.516. Учесть, что при дневном видении глаз наиболее чувствителен к свету с длиной волны 555 нм. 112,7 нм.

Занятие 21. Дифракция света.

I. *Вопросы (блиц):*

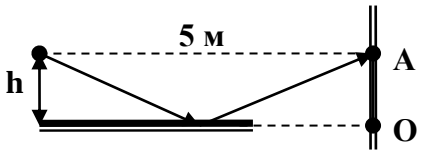
1. Какова приблизительно толщина пленки мыльного пузыря в местах, где он

кажется голубым?

2. Что изменяется: длина волны или частота при переходе монохроматического света из одной прозрачной среду в другую среду?
3. Определите длину отрезка, на котором укладывается столько же длин волн монохроматического света в вакууме, сколько их укладывается на отрезке 4,15 мм в алмазе. Показатель преломления алмаза равен 2,42. 10 мм
4. Почему белый свет, пройдя через оконное стекло, не разлагается на составные цвета?
5. Как с помощью свечи или зажигалки выяснить, из скольких слоев состоит оконный стеклопакет?
6. Пленка толщиной d ≈ 0,01 мкм напылена в вакууме на подложку с показателем преломления меньшим, чем у пленки. Отражает ли пленка падающий на нее свет?
7. Темной или светлой будет в отраженном свете мыльная пленка толщиной $d = 0{,}1\lambda$? Пленка находится в воздухе.
8. При каком условии очень тонкая пленка, установленная перпендикулярно монохроматическому световому пучку, в наименьшей степени ослабит его?
9. Почему на поверхности мыльного пузыря перед разрывом появляются черные пятна?
10. Почему толстый слой нефти не имеет радужной окраски?

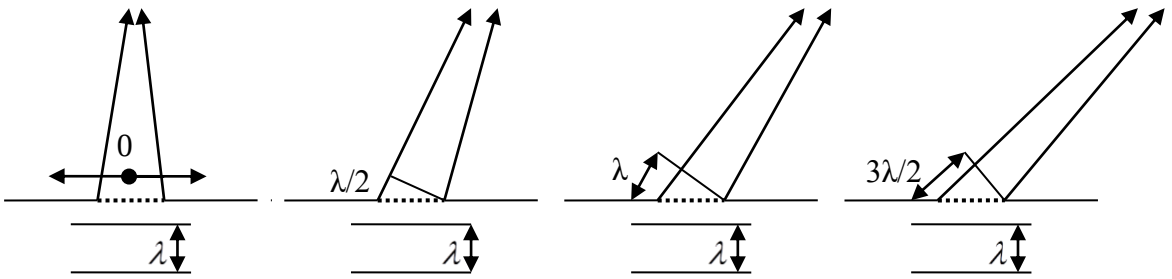
II. *Задачи (блиц):*

1. На рисунке представлена схема наблюдения интерференции света с помощью плоского зеркала. Центральный интерференционный максимум наблюдается в точке О экрана. Расстояние от источника S до зеркала равно h, длина волны света 600 нм. Луч 1 идет параллельно зеркалу и попадает в точку А экрана, где наблюдается второй интерференционный минимум. Чему равно расстояние h в этом опыте? 1,5 мм



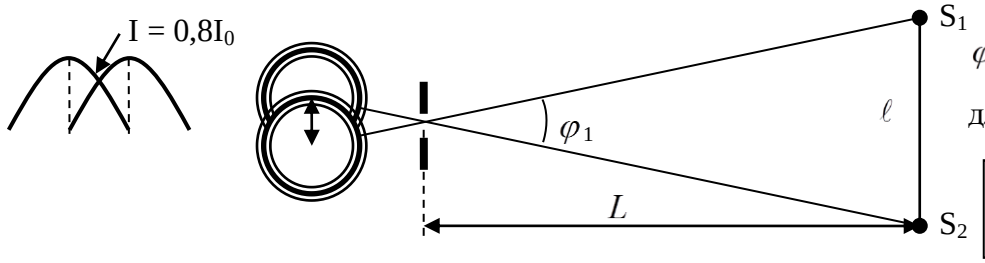
2. Интерференционная картина «кольца Ньютона» наблюдается в отраженном монохроматическом свете с длиной волны λ = 0,63 мкм. Интерференция возникает в заполненном бензолом тонком зазоре между выпуклой поверхностью плосковыпуклой линзы и плоской стеклянной пластинкой. Найти радиус первого (внутреннего) темного кольца, если радиус кривизны поверхности линзы R = 10 м, а показатели преломления линзы и пластинки одинаковы и превышают показатель преломления бензола, равный n = 1,5. Свет падает по нормали к пластинке. r ≈ 2 мм

III. Дифракция света. Принцип Френеля: Дифракционная картина – результат интерференции вторичных волн. Рассмотреть направления с разностью



хода **Δ = 0, λ/2, 1,5λ** (частичное усиление, **Δ_1 = 1,5λ**) и направления с разностью хода **Δ_n = λ, 2λ, 3λ** (полное гашение). Полуширина центрального максимума: $d \cdot \sin\varphi_1 = \lambda = \frac{d \cdot x_1}{L} \to x_1 = \frac{\lambda \cdot L}{d}$. Ширина центрального максимума: $y = d + \frac{2\lambda L}{d}$.

Угол, под которым виден предмет, называется **углом зрения.** Наименьший угол, начиная с которого изображения двух точек сливаются и перестают быть различимыми, называется **пределом разрешения глаза.** Диаметр зрачка изменяется в пределах 2 – 6 мм. Дифракция на круглом отверстии и образование венцов. Изображения двух точек можно видеть раздельно, если центр дифракционного пятна одной из них пересекается с краем первого темного кольца другой (условие Рэлея, 1879 г): $d \cdot \sin\varphi_1 \geq 1{,}22\lambda$.



$\varphi_1 \geq \frac{1{,}22\lambda}{d} = \frac{\ell}{L}$ - для круглого отверстия.

При дифракции на щели: $\varphi \geq \lambda/d$.

Дифракционная решетка. Условие максимума: $d \cdot \sin\varphi_m = m\lambda$, m = 0, ± 1, ± 2 ± и т.д.

IV. *Задачи (блиц):*

1. На узкую щель шириной d падает нормально плоская световая волна с длиной волны λ. Первый дифракционный минимум расположен по отношению к центральной линии под углом, синус которого равен 0,2. Если расстояние от щели до экрана составляет 0,5 м, то чему равна ширина центрального максимума? 20 см
2. Орел способен заметить кролика размером (длиной) 0,5 м на расстоянии 3,2 км. Найдите угловое разрешение глаза орла и минимальный диаметр зрачка глаза орла, если его спектральная чувствительность простирается и в область мягкого ультрафиолетового излучения (400 нм). 0.000156 радиан. 3,13 мм.
3. На дифракционную решетку, содержащую N = 400 штрихов на 1 мм, падает нормально монохроматический свет с длиной волны λ = 0,6 мкм. Сколько всего дифракционных максимумов дает эта решетка? 9

Олимпиада.

1. На дифракционную решетку нормально падает монохроматический свет. Угол между направлениями на первый и второй дифракционные максимумы равен 15°. Найдите общее число максимумов, которые наблюдаются в этой картине дифракции. $d\sin\varphi_2/\sin\varphi_1 = 2$, $\sin\varphi_2 = \sin(\varphi_1 + \Delta\varphi)$. Находим φ_1). n = 9
2. Сколько интерференционных полос содержится в центральном дифракционном пике картины, возникающей при дифракции от двух щелей, если *а) D = 2 d; в) D = 12 d?* 4. 24
3. Испускаемый лазером свет представляет собой параллельный пучок кругового сечения диаметром d = 5 см. Длина волны света равна λ = 6328 А. Если этот пучок направить на теневую сторону поверхности Луны, то каким будет размер светового пятна на этой поверхности? Расстояние до Луны $L = 3{,}84 \cdot 10^8$ м. 5,9 км

Вопросы (блиц):

1. Какое дополнение в принцип Гюйгенса ввел Френель?
2. Каким должно быть наименьшее угловое расстояние между двумя точечными объектами, чтобы их можно было различить невооруженным глазом с диаметром зрачка 5 мм? Длину волны света считать равной 600 нм. $1{,}46 \cdot 10^{-4}$ рад = 0,5'
3. Можно ли с помощью камеры-обскуры получить изображение предмета в ультрафиолетовых или инфракрасных лучах?
4. Какой наибольший порядок спектра можно получить с помощью дифракционной решетки с периодом 0,02 мм? ($\lambda_ф = 0{,}4$ *мкм*, $\lambda_к = 0{,}74$ *мкм*).
5. Какую максимальную длину волны можно наблюдать в спектре дифракционной решетки с периодом 0,01 мм?
6. На дифракционную решетку, содержащую 500 штрихов на на 1 мм, в направлении нормали к ее поверхности падает белый свет. Определите, под каким углом виден спектр первого порядка. $9{,}5^0$
7. Правда ли, что лилипуты обладают несравненно лучшим зрением, чем мы?
8. Как определить ширину щели оптическим методом?
9. При наблюдении дифракции света от двух щелей (метод Юнга) освещенность в области максимумов больше, чем от одной щели. Почему?
10. Как скажется в эксперименте с двумя щелями с учетом дифракции и интерференции увеличение: а) длины волны; б) расстояния между щелями; в) ширины щели?
11. Почему излучаемые точками волнового фронта вторичные волны образуют только бегущую вперед волну?
12. Действительные размеры атомов лежат приблизительно между 1/5000 и 1/2000 длины волны желтого света. О чем это говорит?
13. Почему радиоволны представляют собой очень плохой выбор для получения резких изображений обычных объектов?
14. Составьте обобщающую таблицу "Дифракция волн", используя рисунки, чертежи и текстовый материал.
15. Муромец и Алеша Попович одновременно вышли из Киева. Илья каждый день проходил по 12 верст, а Алеша в первый день прошел одну версту, во второй день – 2 версты, в третий день – 3 версты и так каждый день прибавлял по версте, пока не настиг Илью Муромца. Через сколько дней Алеша Попович догнал Илью Муромца? 23 сут (через арифметическую прогрессию).

Разное

1. Оцените, на каком наибольшем расстоянии инспектор ГАИ может отличить приближающуюся к нему ночью автомашину с включенными фарами, расстояние между которыми 1,2 м, от мотоцикла с одной фарой? $\lambda = 600$ нм.
2. На поверхность стекла с показателем преломления 1,45 нанесена пленка толщиной 250 нм с показателем преломления 1,25. Для какой длины волны видимого света коэффициент отражения будет максимальным?
3. Определить наименьший диаметр объектива, с помощью которого со спутника, летящего на высоте h = 100 км, можно различить окна зданий размером L~ 1 м. Принять длину волны света $\lambda = 0.5$ мкм. 6 см

4. Между двумя плоскопараллельными стеклянными пластинками заключен очень тонкий воздушный клин. На пластинку нормально падает монохроматический свет (λ = 0,5 мкм). Определить угол между пластинками, если в отраженном свете на протяжении 1 см наблюдается 20 интерференционных полос.

Олимпиада.

1. На дифракционную решетку с периодом d = 0,01 мм нормально падает параллельный пучок монохроматического света с длиной волны λ = 600 нм. За решеткой параллельно ее плоскости установлена тонкая собирающая линза с фокусным расстоянием F = 5 см. Чему равно расстояние между максимумами первого и второго порядков на экране, расположенном в фокальной плоскости линзы?

Занятие 22. Поляризация света.

I. *Вопросы (блиц):*

1. Почему одинокая свая, вбитая в дно, не ослабляет волн на воде?
2. Дифракционную решетку с периодом 0,004 мм падает по нормали плоская монохроматическая волна. При какой максимальной длине волны можно наблюдать на экране 19 дифракционных максимумов. 444 нм
3. Поему изображения звезд в телескоп имеют вид дифракционных кружков (венцов), имеющих радужную окраску?
4. На дифракционную решетку нормально падает монохроматический свет. От чего зависит число главных максимумов дифракционной картины на экране?
5. Что общего и в чём различие между эффектами интерференции и дифракции?
6. В чём преимущество дифракционной решётки как спектрального прибора по сравнению с отдельной щелью?
7. Почему в центральной части спектра, полученного на экране при освещении дифракционной решётки белым светом, всегда наблюдается белая полоса?
8. Как с помощью линейки определить период дифракционной решетки?
9. Почему при прохождении света через призму сильнее отклоняются фиолетовые лучи, а при наблюдении дифракции света на дифракционной решетке сильнее отклоняются красные лучи?
10. Если сквозь ресницы смотреть на свет уличного фонаря, то вокруг него появляются радужные блики. Почему?

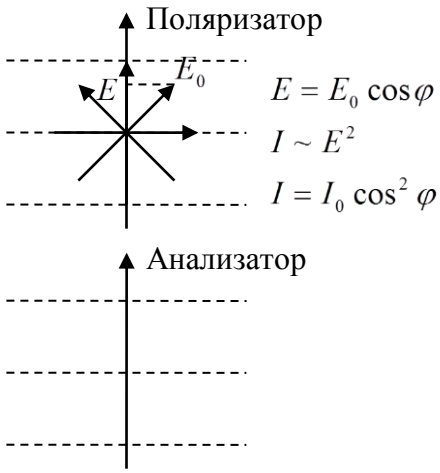
II. *Задачи (блиц):*

1. На щель шириной *a* = 0,05 мм падает нормально, монохроматический свет (λ=0,6мкм). Определить угол φ между первоначальным направлением пучка света и направлением на четвертую темную дифракционную полосу. $\varphi = 2^0 45'$.
2. Постоянная дифракционной решетки - 6 мкм. На нее нормально падает монохроматический свет. Угол между максимумами первого и второго порядка равен $4^0 36'$. Определите длину световой волны. 0,48 мкм
3. Параллельный пучок лазера диаметром 1 см фокусируется линзой с фокусным расстоянием 10 см. Каковы размеры пятна, если λ = 6400 А? r = 7,8 мкм.
4. На грань кристалла каменной соли падает параллельный пучок рентгеновских лучей с длиной волны 0,15 нм. Расстояние между атомными плоскостями

кристалла равно 0,28 нм. Под каким углом к плоскости грани наблюдается дифракционный максимум второго порядка? $32{,}4^0$

5. На дифракционную решетку, которая имеет N = 1000 щелей на ℓ = 1,5 мм, падает одновременно фиолетовое излучение с длиной волны λ_1 = 400 нм и оранжевое излучение с длиной волны λ_2 = 600 нм. Сколько всего максимумов образует дифракционная решетка? Под каким углом наблюдается последний минимум? 11. 69^0

III. Волна, в которой колебания происходят в одной плоскости, называется плоскополяризованной. Электромагнитная волна поперечна! Волна, в которой присутствуют колебания разных направлений, называется **естественной.** Поляризационная решетка. **Плоскость поляризации.** Степень поляризации. $P = I_{пол}/I_0$. $I_0 = I_{ест} + I_{пол}$. До падения света на поляроид: $I_{пол1} = P \cdot I_0$, $I_{ест1} = (1 - P) \cdot I_0$, $I_1 = I_{ест1} + I_{пол1}$. **Интенсивность света после прохождения поляроида:** $I_{пол2} = I_{пол1} \cdot \cos^2\varphi = PI_0\cos^2\varphi$, $I_{ест2} = I_{ест1}/2 = (1 - P) \cdot I_0/2$, $I_2 = I_{ест2} + I_{пол2}$.



В случае, когда потери света в поляроиде составляют некоторую величину η, то $I = \frac{1}{2}(1-\eta)I_0$

Если свет электромагнитные волны, то можно ли получить **поляризованный свет**? Практические применения поляризованного света:

1. Стереокино.
2. Поляризация при отражении. Угол полной поляризации: $tg\alpha = \frac{n_2}{n_1}$ (Брюстера).

IV. *Задачи (блиц):*

1. Степень поляризации частично поляризованного света P = 0,25. Найти отношение интенсивности поляризованной составляющей этого света к интенсивности естественной составляющей. 0,33. $P = \frac{I_{пол}}{I_{ест} + I_{пол}}$
2. Степень поляризации частично поляризованного света 0,2. Определите отношение максимальной интенсивности этого света, прошедшего через поляроид, к минимальной интенсивности, создаваемой при различных его положениях. $P = I_{max} - I_{min}/I_{max} + I_{min}$. 1,5
3. Под каким углом следует расположить оси двух поляроидов, чтобы интенсивность естественного света, прошедшего через них, уменьшилась: а) в три раза; б) в десять раз? $I_1 = \frac{1}{2}I_0; I_2 = I_1\cos^2\varphi$. 35°; 63°
4. Определить, во сколько раз уменьшится интенсивность естественного света, прошедшего через два поляризатора, расположенных так, что угол между их главными плоскостями равен 45^0, а в каждом из поляризаторов теряется 5% интенсивности падающего на него света. В 4,43 раза

V. Олимпиада.

1. На решетку с периодом 5 мкм подает перпендикулярно монохроматический свет с длиной волны 480 нм, интенсивностью 600 Вт/м^2. На экране,

расположенном на расстоянии 2 м, возникает интерференционная картина. Причем в экране, там, где расположены максимумы, прорезаны щели, в которые попадает свет той интенсивности, которая принадлежит максимуму. Этот частично поляризованный свет попадает на поляризатор. При повороте поляризатора на угол 50^0 из положения соответствующего максимальному пропусканию, интенсивность прошедшего света уменьшается в три раза.

1) Постройте рисунок и найдите интенсивность света, проходящего в щель второго максимума. 36 Вт
2) Определите расстояние на экране от второго максимума до центрального. Вычислите степень поляризации частично поляризованного света. 19%

Примечание. Распределение интенсивности света по максимумам (проценты):
1 – 9; 2 – 6; 3 – 3,8; 4 – 2,5; 5 – 1,4; 6 – 1.

2. Через один поляроид проходит 30 % естественного светового потока, а через два таких поляроида - 13,5 %. Определить угол между плоскостями поляризации. 30°
3. На какой высоте следует поместить лампу над центром круглого стола радиусом 1 м, чтобы на его краях получить максимальную освещенность? 1 м.

Берем производную от E по h: $E = \dfrac{Ih}{(R^2 + h^2)^{\frac{3}{2}}}$

Вопросы (блиц):

1. Во сколько раз изменится интенсивность естественного света при его прохождении через идеальный поляроид? Уменьшится в 2 раза
2. Показатель преломления воды равен 1,33. Под каким углом полностью исчезает отражение от поверхности воды, если использовать поляроид? Как направлена при этом ось поляроида – горизонтально или вертикально?
3. Свет, отраженный от поверхности, частично поляризован. Как убедиться в этом?
4. Естественный свет, пройдя скрещенные поляроиды, дал на экране темное пятно. Можно ли, поместив между ними третий поляроид, получить светлое пятно?
5. Почему поляризационные солнцезащитные очки позволяют блокировать отраженный от полотна дороги или от водной поверхности слепящий свет?
6. Почему антибликовые (поляризационные) очки избавляют нас от бликов – отражений света от различных поверхностей? Почему в таких очках возникают проблемы при работе с жидкокристаллическими дисплеями компьютеров и мобильных телефонов?
7. Почему поляризационные очки не полностью ослабляют свет и дают возможность видеть?
8. Если верить древним скандинавским сагам, штурманы викингов могли установить положение Солнца, закрытого облаками, с помощью "солнечного камня". Как это им удавалось (кристаллы кордерита)?
9. Почему поляризация света, падающего на поверхность под углом Брюстера, больше, чем при иных углах падения?
10. Можно ли разделить 7 полных, 7 пустых и 7 полупустых бочек с медом между

тремя купцами так, чтобы всем досталось поровну и бочек, и меда? Мед из бочки в бочку не переливать.

1 - 2 пол, 3 пп, 2 пус 2 - 2 пол, 3 пп, 2 пус 3 - 3 пол, 1 пп, 3 пус.

Олимпиада.

1. Две поляроидные пластинки расположены под прямым углом, а третья размещается между ними так, чтобы ее ось составляла угол 30^0 с осью первого поляроида. Какова интенсивность света, прошедшего через такое устройство, если все поляроиды идеальные (потерь нет)? 3/32. $I = \frac{I_0}{8}(\sin 2\varphi)^2$
2. Какой процент первоначальной интенсивности сохранится после прохождения света через два поляроида, если угол между плоскостями поляризации составляет 750 и каждый из поляроидов в отдельности поглощает 5% падающего на него света? 3%

Занятие 23. Закон Стефана-Больцмана.

I. *Вопросы (блиц):*

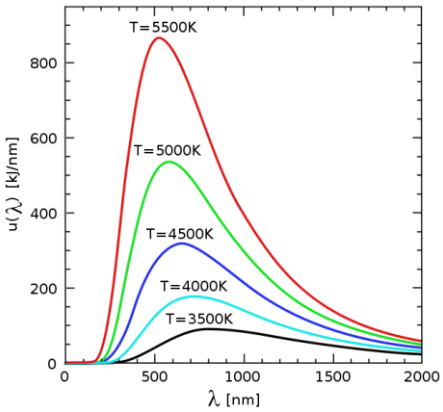
1. Почему свет от яркого источника, проходя через узкий зазор между щечками микрометра (15 – 20 мкм), поляризуется?
2. Чему равен угол Брюстера для стекла (n_1 = 1,56), погруженного в воду? Как изменится угол Брюстера, если стекло поместить в сероуглерод (n_2 = 1,63)? 49,6°
3. Угол между плоскостями поляризации поляризатора и анализатора составляет 45°. Во сколько раз изменится интенсивность проходящего света через них, если этот угол увеличить до 60°? 2
4. Поляризован ли рассеянный свет голубого неба? Как это можно установить на опыте?
5. Два поляроида ориентированы так, что пропускают максимум света. На какой угол следует повернуть один из них, чтобы интенсивность света уменьшилась на 25%. 30^0
6. Для чего в фотографии используют поляризационные светофильтры – поляроиды?
7. Почему рулон тонкой гладкой полимерной пленки выглядит блестящим (как будто это рулон фольги или металлизированной пленки)?
8. Какие очки вы посоветуйте рыболову, чтобы его глаза меньше утомлялись от сверкающих бликов водной ряби?
9. Определить показатель преломления лакокрасочного покрытия, для которого полная поляризация отраженного света наблюдается, когда угол падения равен 58°.
10. Плоско – поляризованный лазерный луч падает на лист белой бумаги. Почему же отраженный свет неполяризованный?

II. *Задачи (блиц):*

1. Анализатор в 2 раза ослабляет интенсивность падающего на него поляризованного света. Каков угол между главными плоскостями поляризатора и анализатора? Потерями света в анализаторе пренебречь. 45^0
2. Две когерентные световые волны одинаковой амплитуды E_m = 0,1 В/м, линейно

поляризованные в одном направлении, приходят в одну точку с разностью хода $\Delta = 2{,}4$ мкм. Длина волны света $\lambda = 733$ нм. Определить амплитуду колебаний в этой точке. Ответ: 0,13 В/м

3. Вертикально поляризованный свет с интенсивностью I_0 проходит девять идеальных поляроидов. Ось первого поляроида составляет 10° с вертикалью, ось второго повернута еще на 10° и т.д. Чему равна интенсивность света, прошедшего через поляроиды? $I_9=I_0\cdot(\cos^2\varphi)^9$. $I = 0{,}759\ I_0$



III. Излучение нагретого тела (тепловое излучение). Зависимость энергии, излучаемой с единицы поверхности нагретого тела, от температуры. Закон Стефана-Больцмана: **$W = \sigma\cdot T^4$. $\sigma = 5{,}67\cdot10^{-8}$ Вт/(м$^2\cdot$ К^4).**

Мощность излучения нагретого тела (P): $P = W\cdot S$; $E = P\cdot t$. Зависимость длины волны, на которую приходится максимум излучения в спектре нагретого тела, от температуры: $\lambda_m = \frac{b}{T}$, где $b = 0{,}0029$ К·м.

Инфракрасное излучение: (Джон Гершель в 1800 г). Диапазон частот (длин волн) инфракрасного излучения от 0,76 мкм до 1-2 мм.

Ультрафиолетовое излучение: (И. В. Риттер и У. Волластон в 1801 г.). Диапазон длин волн (частот) ультрафиолетового излучения от 400 до 10 нм.

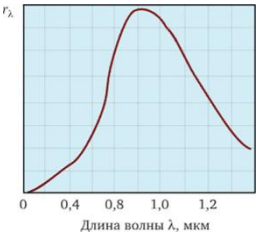
Получение рентгеновских лучей, названных Рентгеном X – лучами. **Рентгеновская трубка.** Свойства рентгеновских лучей.

IV. *Задачи (блиц):*

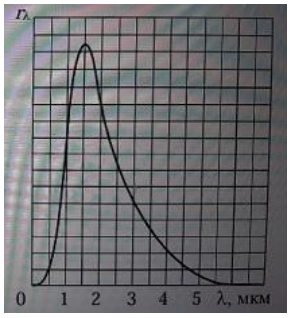
1. Во сколько раз отличаются энергетическая светимость сажи от энергетической светимости черного тела при той же температуре, если при температуре 400 К с каждого квадратного сантиметра поверхности сажи ежеминутно излучается 3,3 Дж энергии? 0,38
2. Эталон единицы силы света - кандела - представляет собой излучатель, поверхность которого площадью 0,5305 мм^2 имеет температуру затвердевания пластины, равную 1063°С. Определить мощность излучателя. 95,8 мВт
3. Поток тепловой энергии от лампы накаливания с вольфрамовой нитью составляет 25 Вт при температуре нити 2400 К. Найти площадь излучающей поверхности, зная, что лампа излучает в три раза меньше, чем черное тело при той же температуре. 0,4 см^2
4. Солнечный свет падает перпендикулярно на некоторую область, находящуюся в Экваториальной Африке. Если поверхность излучает как абсолютно черное тело, то какова, максимальная температура этой области? Солнечная постоянная у поверхности Земли 1000 Вт/м^2. Парниковый эффект. 364 К
5. Во сколько раз отличается длина пути луча света в атмосфере в двух ситуациях: когда мы смотрим на звезду в зените и на горизонте. Считайте высоту однородной атмосферы 10 км, радиус Земли в 640 раз больше. Ответ: 36.

V. Олимпиада.

1. На рисунке показано распределение энергии по спектру теплового излучения черного тела. Определить температуру тела и его энергетическую светимость. 3222 К. 6000 МВт/м^2



2. В черный тонкостенный металлический сосуд, имеющий форму куба, налита вода массой 1 кг при температуре 50^{0}С, целиком заполняющая сосуд. Определите время остывания сосуда до температуры 10^{0}С, если сосуд помещен в черную полость, температура стенок которой близка к абсолютному нулю. 39,7 ч. $mcdT = -\sigma T^4 Sdt$
3. Два белых карлика, первый из которых имеет радиус R и массу M, а второй – радиус 2·R и массу M/8, медленно остывают за счет теплового излучения. На момент наблюдения оба карлика имели одинаковую температуру и состав. Известно, что второй карлик остывает на 1^{0}С за 15000 тысяч лет. За какое время первый карлик остынет на 1^{0}С? 30000 лет
4. Определите, до какой температуры нагрета вольфрамовая лампочка накаливания, график энергетической светимости которой изображен на рисунке. Каков КПД этой лампы? 1933 К, 6%



Вопросы (блиц):

1. Температуры нитей накала двух одинаковых лампочек отличаются в два раза. Во сколько раз отличаются их мощности излучения?
2. Температура нити лампы накаливания автомобильной фары 2300°С. Во сколько раз возрастает освещенность дороги, если вместо нее использовать лампу с галогенным циклом при температуре 2800°С? 2,02
3. Лампа накаливания в 150 Вт ярче лампы в 75 Вт. Почему же электроплитка мощностью 600 Вт дает мало света?
4. Тепловой имитатор боевой машины излучает 0,8 кВт при температуре 400°С. Какую площадь двигательного отсека он имитирует? На какую длину волны излучения он ориентирует тепловые головки наведения ракет противника?
5. Чему равна энергия фотонов максимума теплового излучения звезды с температурой 5000 К?
6. Чему равна излучательная способность идеально отражающей поверхности? 0
7. Почему спираль электрической плитки нагревается сильнее в том месте, где она тоньше?
8. Как изменилась бы температура Земли, если бы на небе светили два Солнца?
9. Проводя опыты по разложению белого света, Гершель обнаружил, что термометр, оставшийся в темноте по соседству с красным концом спектра, показал более высокую температуру, чем любой из термометров, помещенных в радугу. Что могло означать?
10. При температуре 5^{0}С снег весной медленнее тает, чем при температуре 10^{0}С. Почему?
11. Почему температура всех тел в неотапливаемом закрытом помещении становится одной и той же?
12. В парниках температура заметно выше, чем у окружающего воздуха, даже в отсутствие отопления и удобрений. Как это объяснить?

13. Если вся приходящаяся на Землю от Солнца энергия, в конечном счете, излучается в космическое пространство, то почему существует жизнь на Земле?
14. При сухом воздухе и безоблачном небе (например, в пустыне) после захода Солнца земля быстро остывает, а влажный воздух и облака наоборот сглаживают суточные колебания температуры. Почему?
15. Почему глаз не реагирует на ультрафиолетовые лучи, хотя сетчатка чувствительна к ним?
16. Почему кусок мела выглядит темным среди раскаленных углей?
17. Правда ли, что чёрные солнцезащитные очки могут способствовать ожогу сетчатки глаза от УФ - излучения?
18. Почему на поверхности Венеры даже олово и свинец плавится, а на Меркурии прохладнее?

Разное

1. В фокусе сферического зеркала помещен сосуд, содержащий 100 г воды при температуре 20^0С. Каков должен быть диаметр зеркала, чтобы вода выкипела через 1 мин, если зеркало направить прямо на Солнце? Солнечная постоянная 1400 Вт/м^2. Потерями пренебречь.
2. При увеличении температуры абсолютно чёрного тела в два раза длина волны, на которую приходится максимум спектральной плотности излучательной способности, уменьшилась на 400 нм. Найти начальную и конечную температуру тела. 7250 К. 14500 К
3. При увеличении температуры Т черного тела в два раза длина волны λ_m, на которую приходится максимум спектральной плотности энергетической светимости, уменьшилась на $\Delta\lambda$ = 400 нм. Определить начальную и конечную температуры тела T_1 и T_2. Ответ: T_1 = 3.62 кК и T_2 = 7.24 кК.
4. Температура внутренней поверхности муфельной печи при открытом отверстии площадью 30 см^2 равна 1300 К. Считая, что отверстие печи излучает как абсолютно чёрное тело, определить, какая часть мощности излучения рассеивается стенками печи, если потребляемая ей мощность составляет 1,5 кВт. Ответ: n = 0,676
5. Принимая Солнце за черное тело и учитывая, что его максимальной плотности энергетической светимости соответствует длина волны 500 нм, определить температуру поверхности Солнца и энергию, излучаемую Солнцем в виде электромагнитных волн за время 10 мин. 5800 К, $2{,}37\cdot10^{29}$ Дж
6. Какова температура стального стержня диаметром 12 мм и длиной 100 мм, если со всей его поверхности излучается 12 Дж энергии в течение одной минуты? Поглощательную способность принять равной 0,16. Нагревается или охлаждается данное тело, если температура окружающей среды 300 К? 482 К. охлаждается

Олимпиада.

1. В межзвездном пространстве летит тело. Определите закон изменения температуры тела во времени. Начальная температура тела T_0, теплоемкость тела С, площадь поверхности S. Считайте, что остывание тела происходит за счет теплового излучения.

Занятие 24.

I. *Вопросы (блиц):*

1. Картофель собираются запечь в фольге, одна сторона которой матовая, а другая блестящая. Какая сторона должна быть снаружи?
2. Лампа мощностью 150 Вт горит ярче лампы в 75 Вт. Почему же электроплитка мощностью 600 Вт светится слабее?
3. Почему на снимках, сделанных в инфракрасных лучах, зеленая растительность кажется белой?
4. Во сколько раз надо увеличить термодинамическую температуру черного тела, чтобы его энергетическая светимость W возросла в два раза? ≈ 1,19 раз
5. При нагревании абсолютно черного тела длина волны, соответствующая максимуму излучательной способности тела, изменилась от 400 нм до 200 нм. Во сколько раз изменилась энергетическая светимость тела? Возросла в 16 раз
6. Как изменится температура Земли, если Солнце все покроется пятнами?
7. Почему за день хомяк съедает столько пищи, сколько сам весит, а слон съедает гораздо меньше 0,1 своей массы?
8. Чем отличается спичка от радиостанции?
9. В чем сходство и в чем различие между светом и звуком?
10. Почему цвет неба у горизонта кажется бледнее или даже кажется совсем белым?
11. Почему небо вокруг заходящего солнца может быть окрашено в красные и розовые цвета?
12. Почему пламя свечи в нижней части синее, а в верхней – желтое?
13. Почему в радиодиапозоне можно наблюдать излучение от очень далеких космических объектов?
14. Металлическая пластинка под действием рентгеновских лучей зарядилась. Каков знак ее заряда?
15. Почему звонок по мобильному телефону может вызвать местный разогрев тканей человеческого тела, но на очень незначительную величину?
16. Почему молния является ещё и радиоактивным источником - один удар по дозе излучения равен двум походам на флюорографию?

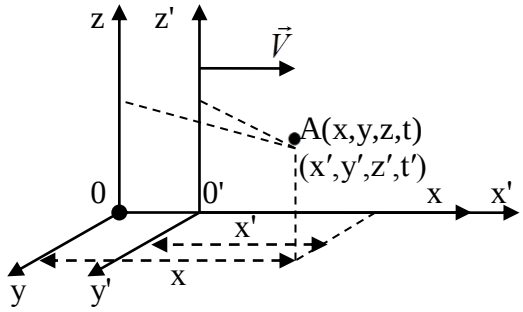
II. *Задачи (блиц):*

1. Температура внешней поверхности кирпичной стены здания 17^0С. Сколько тепла теряет стена за счет теплового излучения в течение суток при температуре окружающей среды -13^0С, если площадь излучающей поверхности 100 $м^2$? Интегральная поглощательная способность (степень черноты) красного кирпича 0,9. 11 МДж
2. Металлическая заготовка, нагретая до 1000 К, излучает с поверхности площадью 1 $см^2$ 4 Дж тепловой энергии за одну секунду. Определить степень черноты заготовки. 0,71
3. Во сколько раз следует повысить температуру черного тела, чтобы максимум излучения сместился с красной границы видимого спектра (780 нм) на фиолетовую границу (390 нм)? 2

III. Законы симметричны (инвариантны), если над ними можно произвести некоторые операции, в результате которых закон будет выглядеть точно так же, как и прежде.

Инвариантность физических законов относительно **сдвигов во времени, сдвигов и поворотов в пространстве, равномерного прямолинейного движения.**

Событие – это нечто, происходящее в определенной точке пространства и в определенный момент времени. Связь между координатами события (**преобразования Галилея**). Что они позволяют сделать?



Преобразования Галилея:

$x = x' + Vt'$ $\quad$ $x' = x - Vt$

$y = y'$ $\quad$ $y' = y$

$z = z'$ $\quad$ $z' = z$

$t = t'$ $\quad$ $t' = t$

Законы электродинамики верны, принцип относительности на них распространяется, но неверны преобразования Галилея (Эйнштейн).

Преобразования Лоренца (записать). Релятивистский закон сложения скоростей.

$$\frac{x}{t} = \frac{x' + Vt'}{t' + \frac{V}{c^2}x'} = \frac{\frac{x'}{t'} + V\frac{t'}{t'}}{\frac{t'}{t'} + \frac{V}{c^2}\cdot\frac{x'}{t'}} \to \upsilon_x = \frac{\upsilon'_x + V_x}{1 + \frac{V_x}{c^2}\cdot\upsilon'_x}$$

Относительность одновременности.

Относительность расстояний.

Относительность промежутков времени.

IV. *Задачи (блиц):*

1. Две частицы движутся навстречу друг другу со скоростью 0,75 с относительно неподвижного наблюдателя. Определить скорость их сближения по классической и релятивистской формулам сложения скоростей.
2. Ближайшая к Солнечной системе звезда α Центавра находится на расстоянии, равном примерно 4 световым годам. Каким будет это расстояние с точки зрения пассажиров космического корабля, покидающего Землю со скоростью υ, равной половине скорости света? Сколько времени займет путешествие на эту звезду по часам космонавтов? Сколько времени пройдет при этом по земным часам? 3,46 св. лет. 6,92 года. 8 лет.

V. Олимпиада.

1. Найти расстояние между двумя точками, в которых происходят два события в неподвижной инерциальной системе отсчета, если в движущейся инерциальной системе отсчета эти события произошли в одной точке с интервалом времени 3.9 нс. Относительная скорость движения систем отсчета $19{,}2\cdot10^7$ м/с. 0,975 м
2. Имеется треугольник, собственная длина каждой стороны которого равна a. Найти периметр этого треугольника в системе отсчета, движущейся относительно него с постоянной скоростью υ вдоль одной из его сторон. $P = a(\sqrt{1-\beta^2} + \sqrt{4-\beta^2})$

3. Два самолета, летящие на одной высоте с равной скоростью υ_0, одновременно вылетают из одной точки, расположенной на экваторе и облетают Землю по экватору в противоположных направлениях – с востока на запад и с запада на восток. На борту самолета установлены синхронизированные сверхточные атомные часы. Чему равна разность показаний часов к концу полета?

Вопросы (блиц):

1. Какие события называются одновременными пространственно разделенными?
2. Что имел в виду сержант, который приказ солдатам копать канаву «отсюда и до обеда»?
3. Рассмотрим две галактики, удаляющиеся от нас в противоположных направлениях со скоростями u = 0,5c. Какой кажется скорость v одной из этих галактик наблюдателям с другой галактики? ≈ 0,8c.
4. Электрон, движущийся со скоростью v = 0,992c, испытывает лобовое столкновение с позитроном, движущимся навстречу ему со скоростью u = 0,981c в лабораторной системе отсчета. С какой скоростью V они приближаются друг к другу? 0,99992c.
5. Зависит ли скорость света в вакууме от длины волны, от частоты, от интенсивности, от скорости источника или наблюдателя? Обоснуйте ответ.
6. Почему нельзя определить относительную скорость двух γ - квантов, движущихся в противоположные стороны?
4. Что, называется собственным временем? собственной длиной?
5. Человек улетает с Земли в ракете, движущейся с постоянной скоростью 0,8 с. Заметит ли человек какие-либо изменения в своем пульсе? Изменятся ли другие его параметры?
6. Почему при движении навстречу монохроматическому источнику света частота его излучения увеличивается?
7. В одной ИСО установили зависимость периода колебаний пружинного маятника от массы груза: $T \sim \sqrt{m}$. Каким будет результат опытов в ИСО, движущейся относительно данной со скоростью, близкой к скорости света?
8. Мюоны рождаются на высоте примерно 15 км над поверхностью Земли, движутся с около световой скоростью и успевают пролететь до распада около километра. Почему же многие из них достигают поверхности Земли?
9. Если применить формулы теории относительности для промежутков времени и для длины к фотонам, то получается, что для них время не течет и Вселенная не имеет длины. Так ли это?

Разное

1. Далекая звезда удаляется от нас со скоростью 0,8 с. По наблюдениям с Земли ее блеск меняется с периодом 5 суток. С какой периодичностью изменяется блеск в системе отсчета, связанной со звездой?
2. Чему равно отношение υ/c для мюона, которому земная атмосфера представляется сжавшейся в 50 раз?
3. Космический корабль стартует с Земли со скоростью 0,68c. Второй космический корабль стартует с первого со скоростью 0,86c относительно первого космического корабля. Какова скорость второго корабля относительно

Земли, если он стартует: а) в направлении движения первого (находящегося в полете) космического корабля; б) в направлении, противоположном скорости первого космического корабля (то есть назад, к Земле).

4. При какой температуре максимум плотности потока излучения будет приходиться на: 1) фиолетовое излучение λ_1 = 0,40 мкм; 2) красное излучение λ_2 = 0,72 мкм?
5. Космический аппарат питается от солнечной панели площадью 5 м^2 с коэффициентом полезного действия 0,15. Солнечные лучи падают на панель под углом 60° к её поверхности. За 8 часов работы панель собрала 3 кДж энергии. На каком расстоянии от Солнца сейчас находится аппарат?

Занятие 25. Релятивистская динамика.

I. *Вопросы (блиц):*

1. Будет ли кто-то из дуэлянтов иметь преимущество, если дуэль на пистолетах происходит в трюме движущегося корабля?
2. Какова относительная скорость фотонов, движущихся параллельно друг другу? Почему этот вопрос не имеет смысла?
3. Длина стержня, движущегося относительно наблюдателя, меньше его собственной длины. Означает ли это, что стержень деформирован? Нет
4. Прямоугольный брусок перемещается в направлении одного из своих ребер. Как сказывается быстрое движение на его объеме? А на его плотности?
5. Сколько лет пройдет на Земле, если в космическом корабле, движущемся со скоростью 0,8 с относительно Земли, пройдет 21 год?
6. Может ли скорость удаления далекой галактики от нас быть равной скорости света в вакууме? Если бы такое было возможно, то смогли бы мы увидеть эту галактику?
7. Стержень длиной 1 м пролетает с релятивистской скоростью через трубку длиной тоже 1 м. Как описывает происходящее в момент, когда стержень целиком находится внутри трубки, наблюдатель в движущейся и в неподвижной ИСО?
8. Во сколько раз уменьшается продольный размер тела при движении со скоростью 0,6 с, где с – скорость света в вакууме? Ответ. 1,25.
9. Если применить формулы теории относительности для промежутков времени и для длины к фотонам, то получается, что для них время не течет и Вселенная не имеет длины. Так ли это?
10. Если бы все процессы в вашем организме ускорились, например, в пять раз, то, как это можно было бы обнаружить?
11. С какой скоростью должен двигаться наблюдатель вдоль гипотенузы равнобедренного треугольника, чтобы он казался равносторонним?

II. *Задачи (блиц):*

4. Долетит ли до поверхности Земли возникшая на высоте h = 4 км нестабильная частица, обладающая собственным временем жизни τ_0 = 4,5 мкс и летящая со скоростью V = 0,95c по направлению к Земле? S > 4,11 км
5. Две ракеты сближаются относительно неподвижных звезд со скоростями 0,6c и 0,8c. Определите скорость их сближения. 0,946c

III. Выражение для **полного импульса**: $\vec{p} = \dfrac{m\vec{V}}{\sqrt{1-\dfrac{V^2}{c^2}}}$

Для того чтобы достигнуть скорости света, тело должно иметь бесконечный импульс! Энергия движущегося тела в СТО: $E = \dfrac{E_0}{\sqrt{1-\dfrac{V^2}{c^2}}}$. Чтобы ускорить тело до скорости света, необходима бесконечная энергия!

$E_0 = mc^2$ - **энергия покоящегося тела**. $E = E_0 + E_к$, где $E_к$ – кинетическая энергия тела, E_0 – **энергия покоящегося тела**, E – **полная энергия тела.**

Какая энергия запасена в ученике массой 60 кг?

Связь энергии и импульса. $E = c\sqrt{p^2 + m^2c^2}$

IV. *Задачи (блиц):*

1. В Большом адронном коллайдере (БАК) протоны разгоняются до энергий в 14 ТэВ. С какой скоростью они летят? $2{,}5\cdot10^{-9}$ от величины скорости света в вакууме.
2. Электрон ускоряется из состояния покоя до кинетической энергии, в три раза превышающей его начальную полную энергию. Найти работу по ускорению данной частицы и конечную скорость. 1,54 МэВ. 0,968 с.
3. Серпуховский ускоритель протонов ускоряет эти частицы до энергии 7,6 ГэВ. Ускоренные протоны движутся по окружности радиуса 236 м и удерживаются на ней магнитным полем, перпендикулярным к плоскости орбиты. Найти необходимое для этого макнитное поле. 1,07 Тл
4. Два электрона движутся навстречу друг к другу со скоростями $\upsilon_1 = \upsilon_2 = 0{,}80$ с в лабораторной системе отсчета. Определите скорость υ и кинетическую энергию E_K одной из частиц в системе отсчета, связанной с другой движущейся частицей. $\upsilon = 2{,}9 \cdot 10^8$ м/с. $E_K = 1{,}8$ МэВ.

V. Олимпиада.

1. Два электрона, испущенные одновременно радиоактивным веществом в противоположных направлениях с одинаковыми скоростями $\upsilon_1 = \upsilon_2 = 0{,}7$ с относительно наблюдателя в лаборатории. Чему равно расстояние между электронами в лабораторной системе отсчёта через 1 секунд после их испускания? 0,94ct
2. Частица массы покоя m_0, движущаяся со скоростью (4/5)c испытывает неупругое соударение с покоящейся частицей равной массы. Чему равна скорость образовавшейся составной частицы? Ответ: c/2
3. Покоящаяся частица массой m поглощает безмассовую частицу с энергией ε. Определите новую массу частицы. $M = m\sqrt{1+\dfrac{2\varepsilon}{mc^2}}$
4. На неподвижное тело с массой m_0 налетает тело с такой же массой, кинетическая энергия которого равна $E_к$, и слипается с ним. Определите массу образовавшегося тела M и скорость υ, с которой оно движется. $M = \dfrac{1}{c}\sqrt{2m_0(2m_0c^2 + E_K)}$. $\upsilon = c\sqrt{\dfrac{E_K}{2m_0c^2 + E_K}}$

5. Частица массой m_1 = 2 МэВ/c^2 и кинетической энергией $E_к$ = 3 МэВ сталкивается с неподвижной частицей массой m_2 = 4 МэВ/c^2. После столкновения частицы объединяются в одну. Определите:
   1) начальный импульс p системы; 4,58 МэВ/с.
   2) конечную скорость v образовавшейся частицы; Импульс сохраняется. 0,509с
   3) массу m образовавшейся частицы. 7,7 МэВ/c^2.
6. Пренебрегая вязкостью воды, определите объем V воды в цилиндрическом баке диаметром d = 1 м, если через отверстие диаметром d_0 = 2 см на дне бака вся вода вытекла за время t = 30 мин. 2 $м^3$ $V = \frac{\pi g d_1^4 t^2}{8d^2}$.

Вопросы (блиц):

1. Как преобразуется плотность вещества при переходе от одной инерциальной системы отсчета к другой? увеличивается
2. С какой скоростью передается гравитационное взаимодействие?
3. Полная энергия частицы вдвое больше ее энергии покоя. Каков импульс частицы *p*? $p = \sqrt{3}mc$
4. Из формулы теории относительности Эйнштейна для энергии движущегося тела $E = \frac{mc^2}{\sqrt{1-\frac{V^2}{c}}}$, получите обычную (физики говорят - нерелятивистскую) формулу для кинетической энергии.
5. Скорость электрона всегда меньше скорости света. Устанавливает ли это условие верхний предел для импульса электрона?
6. Какой наименьшей кинетической энергией должны обладать протоны в ускорителе на встречных пучках, чтобы была возможной реакция рождения антипротонов: p + p → 3p + p−. $E_к = 2mc^2$
7. С какой скоростью υ движется частица с энергией E, если ее энергия покоя равна E_0? $\upsilon = c\sqrt{1-\frac{E_0^2}{E^2}}$
8. Почему межзвездная пыль при релятивистских скоростях становится тормозом и опасным разрушителем (при скорости 0,1 с «стирается» 90 см титановой брони за световой год)?
9. Как скажется на самочувствии космонавта полет с ускорением 10 м/c^2 и скоростью 0,999999 от световой скорости?
10. В каких физических явлениях обнаруживает себя энергия покоя?
11. Взрыв атомной бомбы в миллионы раз мощнее любых взрывов химических боеприпасов? Почему это можно утверждать?
12. Почему нагревание образца приводит к увеличению его массы?
13. Насколько уменьшится масса 10 кг воды при замерзании?
14. В чем заключается преимущество использования встречных пучков в физике высоких энергий?
15. Продукты реакции при столкновении частиц в ускорителях имею массу в десятки тысяч раз большую, чем массы исходных частиц. Почему масса не сохраняется?
16. Два одинаковых шарика из пластилина движутся навстречу друг к другу с

одинаковыми скоростями. Чему равна масса образовавшегося шарика? Куда делась их кинетическая энергия?

17. Сохраняется ли масса вещества при химических превращениях?

Разное

1. Электрон движется со скорость 0,8с, где с — скорость света в вакууме. Найти: а) импульс частицы; б) отношение кинетической энергии к полной энергии. $21{,}8\cdot10^{-23}$ кг·м/с. 0,4
2. С какой скоростью должен лететь пион, чтобы пролететь до распада 20 м? Среднее время жизни пиона в покое $2{,}6\cdot10^{-8}$ с. $2{,}8\cdot10^{8}$ м/с
3. Собственное время жизни некоторой нестабильной частицы 10 нс. Найти путь, который пройдет эта частица до распада в лабораторной системе отсчета, где ее время жизни 20 нс. 5,2 м
4. Вычислить скорость, импульс и полную энергию протона, получившего в ускорителе кинетическую энергию 1,0 ГэВ. 0,88 с. $9\cdot10^{-19}$ кгм/с.1938 МэВ.
5. Кинетическая энергия нейтрона равна E = 500 МэВ. Найдите скорость нейтрона. Энергия покоя нейтрона E_0 = 939,57 МэВ.

Олимпиада.

1. Два протона, ускоренных до одной и той же энергии, в 10 раз превышающей энергию покоя (порядка 10 ГэВ), движутся навстречу друг другу и сталкиваются между собой. Определите энергию второй частицы в системе отсчета, связанной с первой частицей (ускоритель на встречных пучках).

Занятие 26. Фотоэффект.

I. *Вопросы (блиц):*

1. Какова кинетическая энергия протона, движущегося со скоростью 0,8 с? Каков ее импульс? Какова его масса?
2. Почему в ускорителях на встречных пучках относительная энергия частиц увеличивается не в 2 раза, а в несколько сотен раз?
3. Годовое потребление энергии всеми странами на Земле в 2010 г. достигло величины, эквивалентной сжиганию 10 Гт нефти. Какой массе, переводимой полностью в энергию, соответствует эта величина? 0,45 т
4. Релятивистский импульс электрона в 2 раза больше посчитанного по классической (нерелятивистской) формуле. Определить кинетическую энергию. 511 кэВ
5. Определить скорость частицы, если кинетическая энергия равна энергии покоя частицы. $\sqrt{3}\cdot c/2$
6. Каковы преимущества ускорителя протонов на встречных пучках с точки зрения закона сохранения импульса?
7. Почему невозможен процесс, единственным результатом которого будет рождение электронно-позитронной пары из одного фотона (как и обратный)? Всегда есть ИСО, в которой импульс пары нуль, а импульс фотона не равен нулю.
8. Если вы движетесь настолько быстро, что ваша полная энергия равна удвоенной энергии покоя, то время замедляется в два раза. Так ли это?
9. Правда ли, что падающее на черную дыру тело на её границе разгоняется до скорости света?

10. Как быстро движется протон относительно нас, если его масса вдвое превышает массу покоя?
11. Если формула $E = mc^2$ универсальная, то как ее применить к фотонам, которые обладая энергией и зачастую весьма немалой (гамма-кванты), массы всё же не имеют? Эта энергия не замораживается?
12. К нулю или к бесконечности должна стремиться температура тела, скорость которого приближается к скорости света в вакууме?

II. *Задачи (блиц):*

1. Определите время жизни μ - мезона с кинетической энергией 10^9 эВ. Время жизни покоящегося μ-мезона 2,2 мкс, масса в 206,7 больше массы электрона.
2. Вычислить скорость, импульс и полную энергию протона, получившего в ускорителе кинетическую энергию 1,0 ГэВ. 1,7 ГэВ/с. 1,938 ГэВ
3. Электрон прошел ускоряющую разность потенциалов 0,76 МВ. Какова его скорость? Энергия покоя электрона 0,51 МэВ. $2{,}74 \cdot 10^8$ м/с

III. График **распределения энергии** в спектре нагретого тела. График распределения энергии в спектре нагретого тела на больших частотах должен круто идти вверх (пунктирная линия на графике). Отсюда следует, что равновесие между излучением и веществом невозможно и эта ситуация в физике получила название **"ультрафиолетовая катастрофа".**

Гипотеза Планка (14 декабря 1900 года день рождения квантовой физики!). Планк пытался помочь электротехнической компании разработать экономичную лампу накаливания. Теории того, как светит накаленная нить лампы, не было!

Электромагнитные осцилляторы излучают энергию не непрерывно, а отдельными порциями-квантами. У осцилляторов, "работающих" на больших частотах, энергия отдельной порции велика, но излучают они эти порции очень редко.

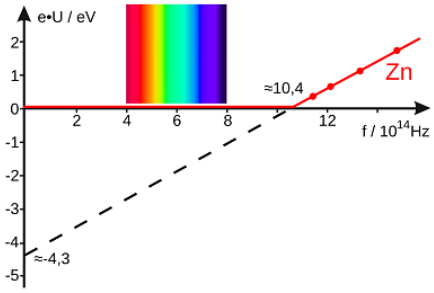
Не существует ни химии, ни биологии, а существует только квантовая физика!

Энергия кванта (от лат. quantum - количество)**: ε = hν**.

Постоянная Планка: h = $6{,}63 \cdot 10^{-34}$ Дж·с. Современное значение: **h = $6{,}62606896(33) \cdot 10^{-34}$ Дж·с.** Квантовая механика исследует мир очень малого! А специальная теория относительности? Энергия квантов видимого света: $\varepsilon_ф \approx 3{,}1$ эВ; $\varepsilon_к \approx 1{,}7$ эВ.

Фотоэффект - явление выбивания электронов электромагнитным излучением из вещества. **Законы фотоэффекта.**

- Число выбитых в единицу времени с поверхности металла фотоэлектронов прямо пропорционально его освещенности.
- Максимальная кинетическая энергия испускаемых фотоэлектронов линейно возрастает с частотой электромагнитного излучения и не зависит от освещенности металла (1906-1915 г. Милликен).
- Третий закон фотоэффекта. Для каждого вещества существует красная граница фотоэффекта - наименьшая частота света, при которой фотоэффект ещё возможен.



Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта приобретает вид: $h\nu = A_{выхода} + \frac{m\upsilon_{\max}^2}{2}$. Свет зернист по своей природе.

IV. *Задачи (блиц):*

1. Проводя облучение катода фотоэлемента пучком света мощностью P_1 с длиной волны λ_1, измерили величину тока насыщения. Затем катод фотоэлемента начали облучать светом с длиной волны λ_2. Какой должна быть мощность P_2 падающего на катод света, чтобы ток насыщения достиг той же величины, что и в первом случае? Квантовый выход фотоэффекта, т. е. отношение числа вырванных из катода электронов к числу падающих на его поверхность фотонов в первом случае равен η_1, а во втором случае равен η_2. Ответ. $N_2 = N_1 \frac{\lambda_1 \eta_1}{\lambda_2 \eta_2}$.
2. Красная граница фотоэффекта для данного металла равна 450 нм. Определите длину волны света, вызывающего фотоэффект из данного метала, если максимальная кинетическая энергия вырываемых электронов составляет 50% от работы выхода. 300 нм
3. Фотоны, имеющие энергию 6 эВ, выбывают электроны с поверхности платины. Какой импульс у электронов после вылета с поверхности платины? $4{,}6 \cdot 10^{-25}$ кг·м/с

V. Олимпиада.

1. Мощность точечного монохроматического источника света 10 Вт на длине волны 500 нм. На каком максимальном расстоянии этот источник будет замечен человеком, если глаз реагирует на световой поток не менее чем 60 фотонов в секунду? Диаметр зрачка 0,5 см. 1000 км
2. Ширина запрещенной зоны олова ΔW = 0,08 эВ. Работа выхода $A_{вых}$ = 4,5 эВ. Определить красную границу внутреннего фотоэффекта $\lambda_{гр1}$ и красную границу внешнего фотоэффекта $\lambda_{гр2}$. 15,5 мкм. 275 нм

Вопросы (блиц):

1. Чем отличаются гипотезы М. Планка и А. Эйнштейна об электромагнитном излучении?
2. Почему красный свет даже очень большой интенсивности вообще не выбивает из цинка электроны, а вот фиолетовый, даже слабый, вызывает появление пусть небольшого числа, но очень энергичных фотоэлектронов.
3. Поток фотонов с энергией 15 эВ выбивает из металла фотоэлектроны, максимальная кинетическая энергия которых в 2 раза меньше работы выхода. Какова максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов?
4. Что необходимо сделать, чтобы в опытах по фотоэффекту увеличился выход электронов, и уменьшилась их максимальная кинетическая энергия?
5. Способствует ли нагревание металла фотоэффекту?
6. Почему у разных металлов не одинакова работа выхода электронов?
7. Почему голубой фотон сильнее толкает электрон, чем красный?
8. Выход электронов при внешнем фотоэффекте составляет несколько процентов. Куда же деваются остальные кванты?
9. Почему частицы лунной пыли обладают электрическим зарядом.
10. Почему луч прожектора резко обрывается, а не ослабевает или не уходит «в бесконечность»?
11. Почему у диэлектриков поглощение света существенно слабее, чем у металлов?

12. Почему обычное стекло не пропускает ультрафиолетовые лучи, а кварцевое стекло пропускает?

Разное

1. В явлении фотоэффекта электроны, вырываемые с поверхности металла излучением частотой $2 \cdot 10^{15}$ Гц, полностью задерживаются тормозящим полем при напряжении 7 В, а вырываемые излучением частотой $4 \cdot 10^{15}$ Гц – при напряжении 15 В. Вычислить постоянную Планка.

Занятие 27. Фотон.

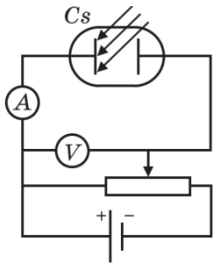
I. *Вопросы (блиц):*

1. Металлическая пластина фотокатода освещается светом, энергия фотонов которого 3 эВ. Если задерживающее напряжение 1 В, то чему равна работа выхода электронов из металла? 2 эВ
2. Как можно увеличить силу фототока насыщения?
3. Подчиняется ли фототок закону Ома?
4. Можно ли другими способами, кроме фотоэффекта, измерить работу выхода электрона из металла?
5. Постройте график задерживающего напряжения от частоты падающего света. Чему равен тангенс угла наклона прямой на этом графике?
6. Определите наибольшую длину световой волны, при которой еще может иметь место фотоэффект из платины. Работа выхода электронов из платины 10^{-18} Дж. 438 нм
7. Почему пыль на Луне периодически отрывается от ее поверхности, приобретает электрический заряд и начинает парить над поверхностью планеты? При падении монохроматического света на поверхность металла наблюдается фотоэффект. Как изменится длина волны падающего света, задерживающее напряжение, длина волны «красной границы» фотоэффекта, если частоту света увеличить?
8. Поток фотонов с энергией 15 эВ выбивает из металла фотоэлектроны, максимальная кинетическая энергия которых в 2 раза больше работы выхода. Какова максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов?
9. Почему приемник инфракрасных излучений на телевизоре плохо принимает эти сигналы с пульта дистанционного управления при ярком свете?
10. В опытах по фотоэффекту увеличили частоту света при неизменной мощности излучения, падающего на катод. Как изменятся результаты этого опыта?

II. *Задачи (блиц):*

1. Оценить число квантов видимого света, регистрируемых глазом человека за время 1 с на расстоянии 1 м от лампы накаливания мощностью 100 Вт. Доля излучения лампы, приходящаяся на видимую область, составляет около 1 %. Диаметр зрачка глаза d = 4 мм; средняя длина волны видимого света λ = 0,6 мкм. Лампу считать изотропным источником. $N_{вид} = 9 \cdot 10^{12}$.
2. Кристалл рубина облучается вспышкой света длительностью $\tau = 10^{-3}$ с и мощностью N = 200 кВт. Длина волны света λ = 0,7 мкм, кристалл поглощает η = 10% энергии излучения. Вычислить количество квантов света N, поглощенных кристаллом. $N \approx 7{,}1 \cdot 10^{19}$

3. Измерения зависимости задерживающего напряжения от длины волны света, падающего на цезиевую пластину Cs, производятся по схеме, изображенной на рисунке. При освещении светом с длиной волны λ_1 = 0,4 мкм напряжение отсечки составило U_1 = 1,19 В, при λ_2 = 0,5 мкм — U_2 = 0,57 В. Определить по результатам этого опыта длину волны λ_{max}, соответствующую красной границе фотоэффекта для цезия. $\lambda_{max} \approx 0{,}65$ мкм



III. Свет зернист по своей природе. Энергия кванта света $\varepsilon = h\nu$. Удобная единица энергии светового кванта 1 эВ = $1{,}6\cdot10^{-19}$ Дж. Квант света переносит действие на расстояние, поэтому обладает еще и импульсом $p = \frac{\varepsilon}{c} = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda}$. Масса кванта света равна нулю. **Фотон -** квант электромагнитного излучения, частица с нулевой массой. Любое поле состоит из квантов. Кванты электромагнитного поля – фотоны; звукового поля – фононы, гравитационного поля – гравитоны! Волновые свойства присущи каждому фотону в отдельности! Свет двуедин по своей природе и как частица – фотон обладает импульсом, а как волна - имеет длину волны! Более того, де Бройль выдвинул гипотезу о том, что все вещество (электроны, протоны и т.д.) обладает волновыми свойствами и уравнение распространяется на все частицы. Электрон также можно описать как частицу определенной энергии и импульса, или как волну определенной длины. Квадрат амплитуды этой волны определяет вероятность нахождения электрона в данной области пространства. **Соотношения неопределенности Гейзенберга: $\Delta p \cdot \Delta x \geq \hbar/2$: $\Delta E \cdot \Delta t \geq \hbar/2$.** Произведение неопределенностей составляет по крайней мере $\hbar/2 \approx 5\times10^{-35}$ кг·м^2/с. **Эффект Комптона.**

$$\boxed{\lambda = \frac{h}{p}}$$

IV. *Задачи (блиц):*

1. При облучении металла синим светом с длиной волны 400 нм половина энергии, переданной электрону фотоном, расходуется на работу выхода. Какова максимальная длина волны, при которой может наблюдаться фотоэффект?
2. Во сколько раз длина волны де-Бройля свободного нерелятивистского электрона меньше длины волны фотона 612 нм, если их энергии одинаковы? 710
3. Космический корабль, находящийся в состоянии покоя, обстреливает неприятеля из лазерной пушки, которая в течение одного залпа испускает N = 10 коротких световых импульсов с энергией ε = 3 кДж каждый. Какую скорость приобретет корабль после залпа пушки, если масса корабля M = 10 тонн? 10^{-8} м/с
4. На фотографии, полученной с помощью камеры Вильсона, ширина следа электрона составляет 1,0 мм, а протона 2,0 мм. Оценить неопределённости в определении скоростей электрона и протона. 58 мм/с; 0,016 мм/с
5. Заряженная частица, ускоренная разностью потенциалов 200 В, имеет длину волны де Бройля 2 пм. Чему равна масса этой частицы, если ее заряд равен одному элементарному заряду? $1{,}68\cdot10^{-27}$ кг

6. Электрон движется в электрическом поле с разностью потенциалов U. Во сколько раз изменится длина волны де Бройля этого электрона, если разность потенциалов уменьшить в 2 раза. √2

V. Олимпиада.

1. Определите максимальную скорость υ_{max} фотоэлектронов, вырываемых с поверхности металла с работой выхода $A_{вых}$ = 4,54 эВ излучением с длиной волны λ = 2,7 пм. 0,85 с = 255 Мм/с
2. Параллельный пучок атомов золота массой m = $3{,}271 \cdot 10^{-25}$ кг каждый направляется на круглое отверстие в экране радиусом r. Каким будет размер золотого пятна на втором экране, отстоящем от первого на расстояние ℓ = 1 м, если скорость атомов в пучке составляет υ = 450 м/с? При каком размере отверстия r_0 размер пятна будет минимальным? Каков его радиус R_0? $2{,}1 \cdot 10^{-3}$ мм. $4{,}2 \cdot 10^{-3}$ мм.
3. Спутник Земли массой m =10 кг обращается в верхних слоях атмосферы. Определить, насколько изменится скорость спутника за один оборот, если сила сопротивления его движению составляет $F_{сопр} = 5 \cdot 10^{-11}$ Н. 0,25 м/с
4. Если допустить, что неопределенность координаты движущейся частицы равна ½ длины волны де Бройля, то какова будет относительная ошибка измерения его скорости? 16%

Вопросы (блиц):

1. Как проще всего доказать, что фотоны не имеют электрического заряда?
2. Как объяснить закон прямолинейного распространения света на основе квантовых и на основе волновых представлений о свете?
3. От чего зависит длина волны рассеянного излучения в эффекте Комптона?
4. Почему формула $E=mc^2$ не применима к фотону?
5. Почему свет покидает область пространства, в которой он был создан?
6. Хорошее зеркало отражает около 80% падающего света. Как выяснить, происходит потеря в 20% вследствие того, что 20% фотонов не отражается, или из-за того, что у каждого отраженного фотона недостает 20% его начальной энергии?
7. Можно ли изменить энергию фотона без изменения его импульса?
8. При переходе света из вакуума в любую прозрачную среду, энергия фотонов не изменяется, а импульс уменьшается. Почему?
9. Как объяснить, что скорость света в любой прозрачной среде меньше чем в вакууме?
10. Игра цветов на мыльном пузыре - это результат интерференции каждого фотона с самим собой. Как это объяснить?
11. Как доказать, что фотон не имеет электрического заряда?
12. Можно ли воздействовать на свет электрическим полем?
13. Как поведет себя свет в магнитном поле (сам фотон никакое поле не создает)?
14. Формулу для частоты кванта можно записать в двух вариантах: $\nu = c/\lambda$ или $\nu = \varepsilon/h$. О чем это говорит?
15. Почему квантовая частица может преодолеть барьер, даже если его энергия недостаточна для этого (туннельный эффект)?

16. Когда свет падает на какой-либо предмет, часть света отражается. В этом случае фотон на очень короткое время контактирует с предметом. Становится ли на это очень короткое время скорость фотона равной нулю? Ускоряется ли фотон после этого?
17. Почему жидкий гелий не может стать твердым при любом охлаждении?
18. Будет ли интерферировать пучок электронов, если на его пути поставить металлическую пластину с тремя щелями? С N щелями?
19. Чем меньше ширина барьера, тем выше вероятность того, что квантовая частица его преодолеет (соотношение неопределенности). Почему?
20. Квантовая частица никогда не находится в покое. Так ли это?

Разное

1. Найти длину волны де Бройля для электронов, прошедших ускоряющую разность потенциалов 16 В. $3\cdot10^{-10}$ м
2. В однородном магнитном поле с индукцией 10 мТл по круговой траектории диаметром 10 мм движется электрон. Какова длина волны де Бройля для данной частицы?
3. Определите наименьшую коротковолновую длину волны рентгеновского излучения при ускоряющем напряжении на трубке 50 кВ. 24,8 пм
4. Фотоэффект происходит под действием изучения с λ = 0,09 мкм. Определить работу выхода электронов из металла, если фототок прекращается при задерживающей разности потенциалов $U_з$ = 3,8 В. Ответ: $A_{вых}$ =10 эВ.
4. Какое минимальное расстояние можно разрешить с помощью электронного микроскопа, в котором используется пучок электронов с кинетической энергией 1000 эВ?
5. Положение электрона измеряется с точностью 0,100 нм. Какова будет минимальная неопределенность координаты этого электрона спустя 2,00 с? $1{,}6\cdot10^{6}$ м. $\Delta x = \Delta\upsilon\cdot t$

Олимпиада

1. В результате эффекта Комптона длина волны фотона с энергией 0,7 МэВ увеличилась на 0,4. Определите кинетическую энергию электрона отдачи. 0,2 МэВ
2. Определите угол, под которым будет двигаться электрон после рассеяния на нем фотона под углом 90^0, если энергия рассеянного фотона 200 кэВ. $33{,}3^0$
3. Протон с энергией W = 1 МэВ изменил при прохождении низкого потенциального барьера длину волны на 1%. Определить высоту потенциального барьера. 0,02 МэВ

Занятие 28. Давление света.

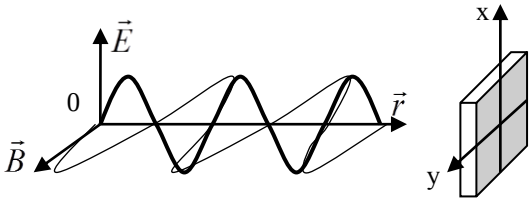
I. *Вопросы (блиц):*

1. Как изменяется энергия и импульс фотона при его переходе из вакуума в воду?
2. Применимо ли к фотону соотношение де Бройля $\lambda = h/p$?
3. В формуле Планка $\varepsilon = h\cdot\nu$ заложена идея корпускулярно-волнового дуализма. Прокомментируйте эту мысль.

4. Почему при отражении света от плоского зеркала «угол падения равен углу отражения»?
5. Почему фотоны в перекрещивающихся световых пусках не взаимодействуют друг с другом?
6. Может ли фотон при каких-либо условиях замедлить свое движение в вакууме или даже остановиться?
7. Почему невозможна аннигиляция электронно-позитронной пары с образованием одного фотона (рождение пары из одного фотона)?
8. В чем отличие дифракционных картин, создаваемых фотонами и электронами?
9. При комнатной температуре средняя кинетическая энергия электронного газа в меди порядка $6\cdot10^{-21}$ Дж, средний промежуток времени, в течение которого электрон движется без соударения, около $2\cdot10^{-14}$ с. Это квантовый газ?
10. Отражение от однородной пленки зависит от её толщины и показателя преломления. Почему?
11. В каком месте потенциальной ямы шириной d наибольшая вероятность обнаружить электрон, обладающий минимальной энергией?
12. В результате излучения масса Солнца постепенно уменьшается. Как влияет это обстоятельство на расстояние планет от Солнца?
13. Для объяснения принципа неопределенности часто приводят такой пример. Если выхватить одно муху из роя вокруг лампочки на даче, то мы будем знать её положение, но скорость, с которой она летала, узнать не получится. Где ошибка? Получится! Это не квантовая система.
14. Для чего продавец, выдавая покупателю хрустальную посуду, легко постукивает по ней стеклянной палочкой или карандашом?

II. *Задачи (блиц):*

1. Электрон находится с энергией E_n =150,4 эВ в одномерной прямоугольной бесконечной потенциальной яме шириной $\ell = 10^{-10}$ м. Найти главное квантовое число n. 2
2. Электрон с кинетической энергией 4,5 эВ находится в металлической пластине толщиной 2 мкм. Оценить в процентах относительную точность, с которой может быть определена скорость электрона. $2{,}3\cdot10^{-3}$%
3. Источник монохроматического γ-излучения располагается у поверхности Земли, а приемник — на высоте h = 22 м над источником. Определите сдвиг частоты излучения, регистрируемого приемником, относительно частоты источника. $\frac{\Delta\nu}{\nu} = -\frac{gh}{c^2}$



III. Объяснение давления света на основе волновых представлений: смещение электронов под действием электрического вектора волны → действие магнитного поля на движущуюся заряженную частицу (правило "левой руки") → сила давления света. Формула для давления света, полученная на основе волновых представлений: **p = u (1 +ρ)**, где u – объемная плотность энергии, а ρ –

коэффициент отражения света. Объяснение природы электромагнитного взаимодействия на основе волновых представлений о свете.

Объяснение давления света на основе квантовых представлений. Формула для давления света, полученная на основе квантовых представлений о свете: p = $nh\nu(1+\rho)$, где n – концентрация фотонов. $p = u(1+\rho)$ *или* $p = \frac{I}{c}(1+\rho)$.

IV. *Задачи (блиц):*

1. Монохроматическое излучение с длиной волны 0,5 мкм падает нормально на зеркальную поверхность и давит на нее силой 10^{-8} Н. Определить число фотонов, падающих ежесекундно на эту поверхность. $3{,}8\cdot10^{18}$
2. Кусочек металлической фольги массой 1 мг освещается лазерным импульсом мощностью 15 Вт и длительностью 0,5 с. Свет падает нормально к плоскости фольги и полностью отражается в обратном направлении. Определить скорость, приобретенную фольгой в результате действия света.
3. Параллельный пучок монохроматического света с длиной волны λ = 662 нм падает на зачерненную поверхность и производит на нее давление p = 0.3 мкПа. Определить концентрацию n фотонов в световом пучке. Ответ: n =10^{12} м$^{-3}$.
4. Монохроматический свет мощностью 0,9 Вт падает нормально на зеркальную поверхность. Определите силу давления, испытываемую этой поверхностью. 6 нН
5. На полупрозрачное зеркало площадью 100 см^2, находящееся на орбите искусственного спутника Земли, падают по нормали солнечные лучи. При этом зеркало отражает 30% и пропускает 20% энергии падающего света, а остальную энергию поглощает. Найти силу, действующую на зеркало со стороны света. Расстояние от Земли до Солнца $1{,}5\cdot10^{11}$ м, мощность излучения Солнца составляет $3{,}83\cdot10^{26}$ Вт.

V. Олимпиада.

3. Метеорит диаметром 1,2 мм находится на земной орбите. Во сколько раз сила его притяжения к Солнцу больше силы светового давления, если плотность вещества метеорита 7 г/см^3 и он поглощает все падающее на него излучение?
4. Солнечная постоянная $1{,}36\cdot10^3$ Вт/м^2. Вычислить максимальное давление солнечного излучения на Землю и Луну, если средний коэффициент отражения (альбедо) земной поверхности 0,4, а лунной - 0,09.
5. Определить давление света, излучаемого нитью накала 60-ваттной лампы, на внутреннюю стенку стеклянной колбы этой лампы. Колба имеет вид цилиндра диаметром 20 мм и длиной 100 мм, по оси которого расположена нить. Стенки лампы пропускают 90 % энергии, излучаемой нитью; 2 % света поглощается в стекле и 8 % — отражается. 5,7 мкПа.
6. С какой частотой должны бомбардировать цель фотоны химического лазера, излучающего на длине волны 308 нм, чтобы воздействие на нее было таким же, как очереди из автомата Калашникова? Масса и скорость пули 7,9 г и 715 м/с соответственно, скорострельность — 600 мин$^{-1}$. $2{,}63\cdot10^{28}$ 1/с
7. В результате комптоновского рассеяния кванта на покоившемся свободном электроне энергия фотона изменилась от 124 кэВ до 99,6 кэВ. Под каким углом друг относительно друга движутся фотон и электрон после рассеяния? 128^0

Вопросы (блиц):

1. Какие доводы у вас есть к тому, что электромагнитная волна обладает импульсом?
2. В эффекте Комптона энергия падающего фотона распределяется поровну между рассеянным фотоном и электроном отдачи. Чему равна энергия рассеянного фотона?
3. Лазерный луч красного света направляется поочередно на красное и зеленое стекла. Какое стекло будет испытывать большее давление?
4. Как изменится вид формулы для светового давления, если лучи будут падать под некоторым углом к поверхности?
5. Почему летним днем лучше носить белую одежду?
6. Как зависит сила давления, оказываемая солнечным светом на какое-либо тело, от расстояния между этим телом и Солнцем?
7. Как предметы отражают свет?
8. Фотон с частотой ν падает на зеркальную поверхность под углом α. Какой импульс получает поверхность при отражении от неё фотона?
9. В каких явлениях проявляются корпускулярные свойства света?
10. Монохроматический свет, какого цвета – красного или фиолетового – оказывает при одинаковой интенсивности потока фотонов большее давление на поверхность тела?
11. Предложите проект разгона межзвездного космического корабля с «солнечным парусом».
12. Свет создает давление (имеет вес), но не имеет массы. Так ли это?
13. Может ли какое-нибудь тело покоится в поле тяготения Земли?
14. Если поставить горящую свечу возле стены и включить освещение, то тень отбрасывает только тело свечи и фитиль, а тень от пламени практически не видна, хотя само пламя мы хорошо видим. Почему?

Разное

1. Время жизни электрона на втором энергетическом уровне атома водорода составляет около 10^{-9} с. Оценить ширину второго энергетического уровня (то есть неопределённость его энергии). Сравнить его со значением энергии второго энергетического уровня атома водорода.
2. Определите давление света на стенки электрической лампочки мощностью 150 Вт, если стенки лампочки отражают 15% падающего света. Считайте лампочку сферой радиуса 4 см.
3. Параллельный поток электронов падает нормально на диафрагму с узкой прямоугольной щелью шириной 1 мкм. Определите скорость этих электронов, если на экране, отстоящем от щели на расстояние 50 см, ширина центрального максимума равна 0,36 мм.

Олимпиада.

1. На закрепленный зеркальный шар радиусом R падает узкий параллельный пучок света мощностью P. Ось падающего пучка света проходит на расстоянии a от центра шара. Найдите силу F, с которой свет действует на шар?

Занятие 29. Строение атома.

I. *Вопросы (блиц):*

1. Почему большинство пластиковых пакетов хорошо выдерживают облучение светом бытовых электроламп, но разрушаются под действием солнечного света?
2. Какие превращения энергии происходят при фотосинтезе?
3. Почему мы видим разные цвета?
4. Почему присутствие в сосуде инертного газа уменьшает скорость протекания реакции образования хлороводорода?
5. В межзвездной среде обилие свободных радикалов. Почему?
6. Почему в стратосфере почти не содержится водяного пара, но имеется большое количество озона?
7. Роберт Вуд первым сделал снимки в инфракрасном и ультрафиолетовом свете. Как?
8. Почему лекарственные средства рекомендуют хранить в защищенном от света месте? Почему перекись водорода сохраняют в склянках из желтого стекла?
9. Скорость образования хлороводорода при фотохимической реакции пропорциональна интенсивности излучения. Почему?
10. Назовите перечисленные ниже явления:
    - почернение фотоэмульсии под действием света;
    - испускания электронов с поверхности вещества под действием света;
    - свечение некоторых веществ в темноте;
    - излучения нагретого твёрдого тела.
11. Почему и как размеры сосуда влияют на скорость протекания реакции образования хлороводорода (воды из гремучего газа $2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$)?
12. Объясните, почему растения хорошо развиваются при облучении светом видимого и ультрафиолетового диапазонов, но плохо растут при облучении светом инфракрасного диапазона?
13. Как выглядели бы растения на планете у голубой звезды; у красного гиганта?
14. Почему осенью листья деревьев начинают желтеть, вянут и опадают?
15. На Земле водород существует в молекулярном виде, в межзвезном пространстве – в основном в атомарном. Почему?

II. *Задачи (блиц):*

1. Параллельный пучок света, падающий под углом $\alpha_1 = 60°$ на плоское зеркало, оказывает на него давление $p_1 = 4 \cdot 10^{-6}$ Па. Какое давление p_2 будет оказывать на зеркало этот пучок, если угол падения пучка станет $\alpha_2 = 45°$? $8 \cdot 10^{-6}$ Па
2. Специальные активированные фотоплёнки характеризуются энергией диссоциации молекул около E = 1,3 эВ. Будет ли такая фотоплёнка работать в инфракрасном диапазоне излучений с длиной волны λ = 800 нм? Какова граница фотохимической реакции?

III. Идея опыта Резерфорда. Планетарная модель атома. 7 марта 1911 г. Манчестерское философское общество услышало доклад Резерфорда «Рассеяние α- и β-лучей и строение атома». **Размеры атомного ядра и атома:** $d_я = 10^{-13}$ см; $d_a = 10^{-8}$ см. Во сколько раз размеры ядра меньше размеров атома?

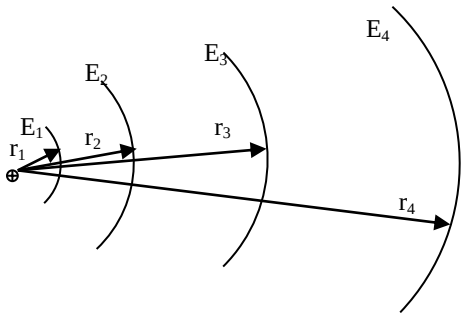
Заряд ядра (Z) в единицах элементарного заряда равен порядковому номеру элемента в периодической таблице.

Массовое число (A) - округленная до целого числа масса атома в атомных единицах массы (а.е.м). Масса ядра почти равна массе атома: $m_я = m_A - Zm_e$.

Трудности планетарной модели. Классическая физика не смогла объяснить устойчивость атома, явление излучения и поглощения света атомами, тождественность всех атомов одного и того же элемента.

Постулаты Бора:

1. Атомная система может находиться лишь в определенных энергетических состояниях, называемых стационарными. Каждому стационарному состоянию соответствует своя энергия и свой радиус орбиты электрона. Находясь в стационарном состоянии, атом не излучает.



$r_n = \frac{4\pi\varepsilon_0\hbar^2}{me^2}n^2$. $E_n = -\frac{13{,}6эВ}{n^2}$

2. Переход атомной системы из одного стационарного состояние в другое происходит при излучении или поглощении кванта с энергией hv.

Совокупность энергетических уровней образует энергетический спектр. Если электрон переходит с одного энергетического уровня на другой, то происходит либо выделение, либо поглощение энергии, причем это делается порциями – квантами. Основное и возбужденные состояния.

Атом поглощает кванты тех же частот, каких излучает.

$\boxed{E_m - E_n = h\nu_{mn}}$ $\nu_{mn} = \nu_{nm}$ $\boxed{E_n + h\nu_{nm} = E_m}$

IV.

Задачи (блиц):

1. Вычислите радиус 13 орбиты атома водорода. 9 нм
2. Чему равна скорость электрона в атоме водорода на пятой стационарной орбите? 0,44 Мм/с
3. До перехода в основное состояние с испусканием фотона атом находился в возбужденном состоянии в течение промежутка времени Δt = 12 нс. Средняя длина волны излучения λ = 120 нм. Найти минимальную неопределенность длины волны. $0{,}032\cdot10^{-14}$ м.

V. Олимпиада.

1. Если в атоме водорода заменить электрон отрицательным μ-мезоном, образуется система, которая называется мезоатомом. Пользуясь теорией Бора, найти радиус мезоатома в состоянии с наименьшей энергией. Заряд мезона равен заряду электрона. Масса μ-мезона $m_\mu = 1{,}88\cdot10^{-28}$ кг.
2. В модели атома Томсона предполагалось, что положительный заряд q, равный по модулю заряду электрона, равномерно распределен внутри шара радиусом R. Чему будет равен период колебаний (внутри шара, вдоль его диаметра) электрона, помещенного в такой шар? Масса электрона *m*.
3. Найти радиус позитрония в состоянии с наименьшей энергией. Малое время жизни системы затрудняет работу с позитронием, хотя она и возможна в

случае, если обе частицы имеют минимальную энергию. Чему она равна?

Вопросы (блиц):

1. В чем заключались противоречия между моделью атома Резерфорда и классической физикой?
2. Почему в опытах по рассеянию альфа-частиц атомами электроны, входящие в состав атома, не оказывали заметного влияния?
3. Сколько слоев атомов пролетела α - частица, если толщина фольги в экспериментах составляла 10^{-5} м?
4. Во сколько раз потенциальная энергия стационарного состояния электрона в Боровской модели атома по абсолютной величине больше кинетической энергии? 2
5. Атом железа ионизовали до такой степени, что вокруг ядра остался только один электрон. Определите энергию излучения этого атома при переходе электрона из первого возбужденного в основное состояние.
6. Как изменились бы результаты опыта Резерфорда, если: а) увеличить толщину фольги; б) использовать алюминиевую фольгу?
7. Почему модель атома Томсона не смогла объяснить опыты по рассеянию α-частиц?
8. Как изменилась бы картина рассеяния, полученная Резерфордом, если бы вместо α-частиц он использовал в качестве снарядов протоны, имеющие такую же скорость?
9. Почему электроны притягиваются к положительно заряженному ядру, но не падают на него?
10. Известно, что атомы одного и того же химического элемента тождественны. Как объясняет этот факт классическая физика; квантовая физика?
11. При каком условии электрон в атоме не излучает энергию, а при каком – излучает?
12. Почему один человек не может пройти сквозь другого человека?
13. Правда ли, что электроны не вращаются вокруг ядра, а находятся на стационарных орбитах?
14. Откуда электрон берет энергию, чтобы вечно вращаться вокруг ядра?
15. Почему все вещество не собирается в точку?
16. Почему орбиты электрона в атоме изначально квантуются?

Разное

1. Энергии двух последовательных (соседних) возбужденных состояний в водородоподобном атоме равны -64 эВ и -36 эВ. Найти энергию основного состояния электрона в этом атоме.

Олимпиада.

1. В неизвестном ионизованном атоме вокруг ядра обращается только один электрон. Радиус боровской орбиты с n = 3 составляет $r_n = 2{,}38 \cdot 10^{-10}$ м. Какая энергия E соответствует боровской орбите с $n_1 = 7$? −1,11 эВ.
2. Излучение с длиной волны λ = 2500 нм падает на газообразный водород. Каковы квантовые числа n состояний, из которых это излучение может ионизировать газ? ≈ 5,37. Поэтому n > 6.

Занятие 30. Спектроскопия.

I. *Вопросы (блиц):*

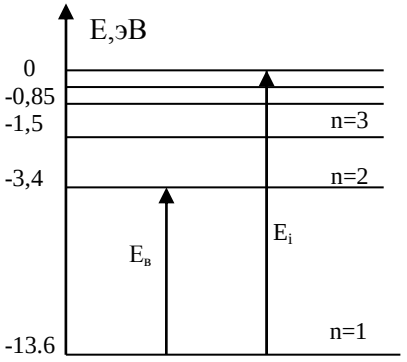
1. Как с помощью модели атома Резерфорда - Бора объяснить: устойчивость атома, тождественность атомов, излучение света?
2. Чем модель атома Бора отличается от модели атома Резерфорда?
3. Что находится между орбитами электронов в атоме?
4. Под воздействием электронов, имеющих кинетическую энергию 4,9 эВ, атомы ртути излучают в ультрафиолетовой области спектра. Найти длину волны излучения.
5. Почему орбита электрона на рисунках изображается в виде электронного облака?
6. Почему размеры тяжелых многоэлектронных атомов практически такие же, что и у атома водорода?
7. Во сколько раз изменилась сила электростатического притяжения электрона к ядру после того, как электрон перешел с четвертой боровской орбиты на вторую? Увеличилась в 16 раз
8. Упадут ли электроны на ядра атомов при приближении температуры тела к абсолютному нулю?
9. Почему топливо (уголь, нефть) не воспламеняется при комнатной температуре (температура воспламенения угля около 350^0С)?
10. Как решает электрон, с какого уровня и на какой он должен перейти?

II. *Задачи (блиц):*

1. α-частица, кинетическая энергия которой 10^{-12} Дж, рассеивается ядром золота. Чему равно наименьшее возможное расстояние между ними при их сближении? Как близко к ядру подойдет протон с той же энергией?
2. В момент наибольшего сближения частиц при упругом лобовом столкновении их скорости одинаковы и равны υ. Каковы скорости этих частиц после столкновения, если до него они двигались со скоростями υ_1 и υ_2? Каково отношение масс этих частиц? $\frac{m_1}{m_2} = \frac{\upsilon - \upsilon_2}{\upsilon_1 - \upsilon}$

III. Энергетические уровни атома водорода:

$$E_n = -\frac{me^4}{2(4\pi\varepsilon_0)^2 n^2 \hbar^2} = -\frac{13{,}6 эВ}{n^2}, n = 1,2,3,...$$



Энергия возбуждения атома ($E_в$) - минимальная энергия, необходимая для перевода атома из основного в первое возбужденное состояние. Энергия возбуждения атома водорода 10,2 эВ.

Энергия ионизации (E_i) равна минимальной работе, затрачиваемой на удаление внешнего электрона из атома, находящегося в основном состоянии. Энергия ионизации атома водорода 13,6 эВ!

Как можно перевести атом в возбужденное состояние? Определить **возможные частоты** излучаемого света при переходе атома водорода из одного возбужденного состояния в другое:

$$E_m - E_n = 13{,}6эВ(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2}) \to h\nu_{mn} = 13{,}6эВ\left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2}\right).\ \nu_{mn} = \frac{E_m - E_n}{h}.$$

Спектр атома водорода. Серия Бальмера: ν_{32} = 0,457·10^{15} Гц = 656 нм, это диапазон красного цвета (770-620 нм); ν_{42} = 0,617·10^{15} Гц = 486 нм, голубой цвет; ν_{52} = 0,695·10^{15} Гц = 434 нм, фиолетовый цвет; ν_{62} = 0,731·10^{15} Гц = 410 нм, фиолетовый цвет; ν_{72} = 0,755·10^{15} Гц = 397 нм - ультрафиолет.

Линейчатый спектр дают вещества, находящиеся в газообразном атомарном состоянии. Постоянная Ридберга: R = 10,968·10^6 $м^{-1}$. $\frac{1}{\lambda_{mn}} = R(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2})$. **Полосатые спектры** дают вещества, находящиеся в газообразном молекулярном состоянии. **Сплошной спектр** дают вещества, находящиеся в твердом, жидком и газообразном (при высоком давлении) состоянии. Каждое вещество в мире имеет три основных показателя, влияющих на цвет: это коэффициент отражения, коэффициент пропускания и коэффициент поглощения. Закон, по которому плотность потока фотонов в веществе убывает с координатой, имеет вид: $N(x) = N_0e^{-\alpha x}$, где α = α (ν) - коэффициент поглощения, который зависит от материала и частоты излучения (закон Бугера). Почему небо голубое? Фиолетовый свет рассеивается лучше, чем синий, но мы всё-таки не видим фиолетовое небо, потому что в солнечном спектре синего цвета всё-таки больше, а наши глаза менее чувствительны к фиолетовому свету. Непоглощённый же свет проходит дальше к поверхности Земли, образуя почти белый цвет.

IV. *Задачи (блиц):*

1. Каков номер возбужденного состояния, в которое переходит атом водорода из нормального состояния при поглощении фотона, энергия которого составляет 8/9 энергии ионизации атома водорода? 3
2. Найдите отношение минимальной частоты фотона в серии Бальмера к максимальной частоте фотона в серии Пашена. 1,25
3. Если энергия ионизации атома водорода равна 13,6 эВ, то чему равна энергия фотона, соответствующего первой линии Пашена? 0,66 эВ
4. Первоначально неподвижный атом водорода испустил фотон с длиной волны λ = 121,5 нм. Какую скорость приобрёл атом водорода?
5. Известны частоты, излучаемые при переходах атома из одного стационарного состояния в другое состояние: ν_{31} = 6·10^{14} Гц, ν_{42} = 5·10^{14} Гц, ν_{32} = 3·10^{14} Гц. Какова частота (энергия) фотона, излучаемого при переходе с четвертого на первый энергетический уровень? 8·10^{14} Гц. 3,3 эВ
6. Выразите энергию электрона в атоме водорода на любой орбите, радиус орбиты и скорость электрона с помощью постоянной Ридберга. $\upsilon_n = \frac{1}{n}\sqrt{\frac{2hcR}{m}}$; $\upsilon_n = \frac{h^2cR}{n\pi ke^2m}$
7. Энергия связи молекулы LiF равна ε = 4,3 эВ. Какова молярная теплота Q образования этого вещества? Q = εNA ≈ 4 · 10^5 Дж/моль.

V. Олимпиада.

1. Среднее время жизни атома в возбужденном состоянии составляет около 10^{-8} с. При переходе атома в нормальное состояние испускается фотон, средняя длина волны которого равна 400 нм. Оценить относительную ширину ΔE/E

излучаемой спектральной линии, если не происходит уширения линии за счет других процессов. Ответ: $\Delta E/E \sim 2\cdot10^{-8}$.

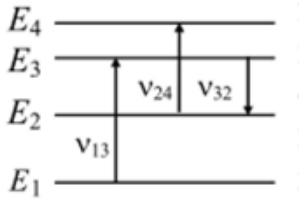
2. В устройстве «оптический пинцет» частицы микронного и меньшего масштаба перемещаются под действием силы, действующей на них со стороны излучения лазера. Пусть размер частицы d = 1 мкм, а ее плотность ρ = 1000 кг/м^3. Частица взвешена в жидкости и при попадании на нее света сдвигается за время t = 1 с на расстояние ℓ = 1 мм. Оценить мощность лазера, если известно, что он испускает фотоны каждый из которых несет импульс $p_ф=10^{-27}$ кг·м/с и энергию $\varepsilon_ф = 3 \cdot 10^{-19}$ Дж. Сечение луча лазера S =1 мм^2, фотон отдает весь импульс частице. Ответ: 0,3 мВт
3. Длина волны де Бройля для электрона в атоме водорода составляет 0,33 нм. Определить на какой боровской орбите находится электрон и его кинетическую энергию. 1. 13,6 эВ

Вопросы (блиц):

1. Как получить атомы размером с грейпфрут?
2. Чем отличается свет, создаваемый светлячком, лампой накаливания, лампой дневного света, неоновой лампой?
3. Можно ли сфотографировать атом, оснастив фотоаппарат сложным механизмом из нескольких микроскопов?
4. Во сколько раз отличаются длины волн спектральных линий ионов He^+ и Li^{2+} по сравнению с соответствующими линиями атомарного водорода? Движением ядра атома пренебречь. У иона He^+ короче в 4 раза, у иона Li^{2+} в 9 раз.
5. Почему стеклянная призма непригодна для получения спектров инфракрасного и ультрафиолетового излучений?
6. Опишите на словах, основываясь на нашей атомной модели, почему синий свет распространяется в стекле медленнее, чем красный.
7. Почему воздушные баллоны аквалангов и "чёрные ящики" окрашивают в жёлто-оранжевый цвет?
8. Почему обычно в открытом море цвет воды кажется голубым, а на мелководье зелёным?
9. От других источников света (ламп, солнца) лазер отличается тем, что испускаемый им свет обладает свойствами монохроматичности и когерентности. Как это понимать?
10. Одним из рабочих инструментов для исследования нашей галактики служит сильная спектральная линия водорода с длиной волны 21 см. Чему равно изменение энергии в атоме водорода, приводящее к такой длине волны?
11. Куда исчезают фотоны после выключения света в комнате?
12. Фотохромные стекла легированы галоидом серебра, молекулы которого возбуждаются под действием ультрафиолетовых лучей и начинают поглощать видимый свет. Почему?
13. Почему по мере подъема звезды над горизонтом она становится ярче?
14. Может ли атом поглотить порцию энергии, большую, чем разность энергий двух энергетических уровней?
15. Почему свойства различных веществ неодинаковы?

16. В каком случае атом (электрон) будет испытывать неупругое отражение от стенки?
17. Почему атом водорода не излучает рентгеновские лучи?
18. Почему нагревание увеличивает скорость протекания химических реакций?
19. Маркерные чернила выступают в качестве детектора ультрафиолетового света. Почему?
20. Какие спектральные линии появятся при возбуждении атомарного водорода электронами с энергией в 12,5 эВ? 121,6 нм, 102,6 нм, 656,3 нм.
21. К какому виду люминесценции следует отнести полярные сияния?
22. Чем биолюминесценция грибов-гнилушек отличается от свечения животных?

Разное



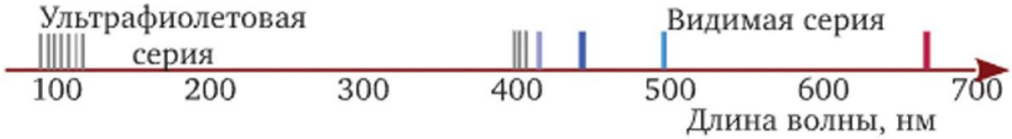
1. На рисунке изображены несколько энергетических уровней атома. Минимальная длина волны света, излучаемого при всех возможных переходах между уровнями E_1, E_2, E_3, E_4, равно 250 нм. Известно, что частоты переходов относятся друг к другу как ν_{13}: ν_{24}: ν_{32} = 9:7:4. Какова длина световой волны с частотой ν_{32}? 750 нм
2. Коэффициент поглощения графита для монохроматического света определенной длины волны α = 700 см$^{-1}$. Определите толщину слоя графита, вызывающего ослабление света в 100 раз. 65,8 мкм
3. Какой импульс должны иметь фотоны, чтобы при возбуждении атомов водорода в спектре этих атомов наблюдалось шесть спектральных линий? $6{,}8\cdot10^{-27}$ кг·м/с. ν_{41}, ν_{43}, ν_{31}, ν_{42}, ν_{21}, ν_{32}, 1,91 мкм
4. Оцените длину волны излучаемого фотона, если относительное уширение спектральной линии равно $3\cdot10^{-8}$. Время жизни атома в возбужденном состоянии 10^{-8} с. 1130 нм?
5. Атом водорода поглотил квант света с длиной волны $\lambda = 8\cdot10^{-8}$ м. При этом произошла ионизация атома. С какой скоростью двигался вдали от ядра вырванный электрон? Кинетической энергией иона водорода пренебречь.
6. Электрон, обладающий вдали от покоящегося протона скоростью $1{,}875\cdot10^{6}$ м/с, захватывается этим протоном, и образуется возбужденный атом водорода. Определите длину волны фотона, который испускается при переходе атома в стационарное состояние.
7. Определите длины волн четырех линий серии Бальмера, лежащих в видимой части спектра атомарного водорода.

Олимпиада.

1. Цилиндр диаметром 1 мм и высотой 0,09 мм с зеркально-отражающими торцами висит в воздухе под действием лазерного излучения, направленного вертикально снизу в торец цилиндра. Найдите необходимую мощность излучения. Плотность вещества, из которого сделали цилиндр, равна $1{,}2\cdot10^{3}$ кг/м^3.
2. Лазерный усилитель представляет собой кювету, заполненную усиливающей свет средой (среда обладает инверсной заселенностью). На вход лазерного усилителя падает лазерное излучение мощностью 1 кВт, Мощность лазерного излучения на выходе из усилителя оказывается равной 10 МВт. Найти силу,

которую нужно прикладывать к усилителю, чтобы удерживать его в неподвижном положении.

3. Какие линии в спектре иона Li^{++} можно обнаружить глазом?
4. В спектре иона He^{+} найдите линию с той же длиной волны, что и в спектре атома водорода. Чему равна эта длина волны?
5. На рисунке представлен спектр (за исключением инфракрасных серий) излучения одного из водородоподобных атомов: H, He+, Li^{2+}. Определить, какому веществу принадлежит спектр, и объяснить отсутствие в спектре линий в промежутке от 200 до 300 нм. Ион гелия



Занятие 31.

I. *Вопросы (блиц):*

1. Почему стекло прозрачно для видимого света и непрозрачно для ультрафиолетовых лучей?
2. Электрон в однократно ионизованном атоме гелия находится в основном состоянии. Какая наименьшая энергия потребуется для полного отрыва этого электрона от атома? 54,4 эВ
3. Фотон с энергией ε = 12,12 эВ, поглощенный атомом водорода, находящимся в основанном состоянии, переводит атом в возбужденное состояние. Определите главное квантовое число этого состояния. 3
4. Сколько всего спектральных линий в серии Бальмера?
5. При прохождении светом в веществе пути L его интенсивность уменьшилась в 3,4 раза. Во сколько раз она уменьшится при прохождении светом пути 6L? 1545
6. Атомы газообразного водорода находятся в состоянии с n = 5. Сколько всего линий будет в спектре излучения этого газа? 10
7. Какие спектральные линии появятся при возбуждении атомарного водорода электронами с энергией в 14 эВ? Все линии линейчатого спектра водорода.
8. Почему днем Луна белая, а ночью желтая?
9. Почему в момент полного солнечного затмения все темные линии в спектре Солнца вспыхивают ярким светом?
10. Почему дорожные знаки делают не на белом, а на жёлтом фоне?
11. Почему участки на фотографиях туманности Ориона, где много пыли, имеют явный голубой оттенок?
12. Почему нельзя увидеть дно кастрюли через слой молока?
13. Почему в мелких местах морская вода имеет зелёный цвет?
14. Существует ли тень от пламени? Почему?
15. Почему Солнце на закате (восходе) кажется красным?
16. Два источника света имеют идентичные спектры, только спектральные линии у первого ярче и шире, чем у второго. Почему?
17. Тернистый путь фотонов из центра Солнца к его поверхности, занимает почти миллион лет. Почему так долго?

18. В каких случаях свет, покидая источник, может изменить свою частоту?
19. Определить наименьшую длину волны спектральной линии атома водорода в видимой области спектра. 370 нм
20. Раскаленная нить накала электрической лампы имеет красный оттенок, если смотреть на нее через матовую поверхность плафона. Объясните это явление.
21. Что произойдет с солнечным спектром во время наблюдения полного солнечного затмения?

II. *Задачи (блиц):*

1. При переходе атома водорода со второго энергетического уровня на первый испускается фотон. Этот фотон попадает на поверхность фотокатода и выбивает фотоэлектрон. Определить максимально возможную скорость фотоэлектрона. Красной границе фотоэффекта для материала поверхности фотокатода соответствует частота света, $\nu_{кр} = 6 \cdot 10^{14}$ Гц.
2. Маленькое зеркало массой 0,2 г висит на невесомой и нерастяжимой нитке длиной 2 м. Перпендикулярно плоскости зеркала в его центр направлен луч лазера, работающего в импульсном режиме. Длительность импульса 8 мкс, средняя мощность импульса 0,2 МВт, а частота импульсов 6 кГц. Зеркало при этом отклонено от положения равновесия на некоторый угол. Найти амплитуду колебаний маятника после того, как лазер выключили.

III. Ядерная физика - раздел физики, посвященный изучению структуры атомного ядра, процессов радиоактивного распада и механизма ядерных реакций.

Протонно-нейтронная модель ядра. Состав ядра атома азота на основе этой модели: $^{6}_{3}Li$. **Зарядовое число (Z)** равно числу протонов, входящих в состав ядра **(**совпадает с порядковым номером элемента в периодической таблице). Все свойства атома определяет всего одна величина: количество протонов в ядре! Число нейтронов в ядре атома: N = A – Z. Состав атомного ядра на примере $^{7}_{3}Li$. Почему ядро устойчиво? Ядерные силы (сильное взаимодействие). π-мезоны – кванты ядерного поля. Обменный характер ядерных сил. **Свойства ядерных сил.**

Энергия связи ядра ($E_{св}$) - минимальная работа, необходимая для разделения системы (ядра) на составляющие ее частицы. Дефект массы: $\Delta m = m_л - m_п$. Энергия γ - квантов: $E = \Delta m \cdot c^2$. Какую энергию необходимо затратить для разделения ядра на нуклоны? Поскольку в справочниках дана атомная масса, то $\Delta m = Z\, m_p + N\, m_n - (m_a - Z\, m_e)$. Устойчивы только те ядра, у которых $\Delta m > 0$.

$$E_{св} = \Delta m \cdot c^2$$

Удельная энергия связи: $E_{уд} = E_{св}/A$.

Ядерные реакции. Расчет выделения энергии на примере ядерной реакции:

$^{2}_{1}H + ^{3}_{1}H \rightarrow ^{4}_{2}He + n + 17{,}59$ МэВ.

Такие ядерные реакции называются реакциями синтеза!

Ядерные реакции деления на примере реакции:

$n + ^{235}_{92}U \rightarrow ^{139}_{56}Ba + ^{95}_{36}Kr + 2n + 200$ МэВ.

Реакции распада на примере реакции: $^{8}_{4}Be \rightarrow 2 \cdot ^{4}_{2}He$. Ядро не стабильно.

IV. *Задачи (блиц):*

1. Определить, какой суммарной кинетической энергией должны обладать ядра дейтерия, чтобы сблизиться до расстояния г = 2 • 10^{-15} м, на котором ядерные силы преобладают над кулоновскими. 0,72 МэВ

2. Найти энергию связи ядер одного моля магния-24. $19{,}1\cdot10^{12}$ Дж.
3. Найдите энергию связи ядра, которое имеет одинаковое число протонов и нейтронов и радиус, который в 1,5 раза меньше радиуса ядра Aℓ -27. Be – 8,57 МэВ
4. Альфа-частица, вылетевшая из ядра радия со скоростью $15\cdot10^6$ м/с, пролетев в воздухе 3,3 см, остановилась. Найти кинетическую энергию частицы, время торможения и ускорение.
5. Сколько энергии надо затратить, чтобы разделить молекулу водорода H_2 на два свободных протона и два свободных электрона?
6. Ядро Li-6 захватывает медленный нейтрон с образованием изотопа водорода H-3. Определить второй продукт реакции и его энергию. Ядро гелия. 2,052 МэВ.

V. Олимпиада.

1. При захвате нейтрона ядром лития происходит ядерная реакция $n + {}^{6}_{3}Li \rightarrow {}^{3}_{1}H + {}^{4}_{2}He$, в которой выделяется 4,8 МэВ энергии. Найдите распределение энергии между продуктами реакции. Считайте кинетическую энергию исходных частиц пренебрежимо малой.
2. По деревянным сходням, образующим угол α с горизонтом, втаскивают за веревку ящик. Коэффициент трения ящика о сходни μ. Под каким углом к горизонту следует тянуть веревку, чтобы втащить ящик с наименьшим усилием? $F = \dfrac{mg(\sin\alpha + \mu\cos\alpha)}{\sqrt{1+\mu^2}}$.

Вопросы (блиц):

1. Каким образом открытие нейтрона позволило объяснить наличие изотопов?
2. Поясните смысл выражения: «Ядерные силы обладают зарядовой независимостью».
3. Поглощается или выделяется энергия при образовании ядра атома дейтерия ${}^{2}_{1}H$ из покоившихся протона и нейтрона?
4. Что вам известно о тяжелой воде?
5. Дефект массы ядра N - 15 равен 0,12396 а.е.м.. Найдите массу ядра (атома).
6. Почему не могут существовать ядра атомов, содержащие произвольное количество протонов и нейтронов, например, ${}^{7}_{2}He$?
7. Как установить, какой из изотопов стабильнее?
8. Что требует большей энергии: отрыв от атома нейтрона, электрона или протона?
9. Удельная энергия связи зависит от массового числа. Значит ли это, что у изобар энергии связи одинаковы?
10. Между нуклонами действуют ядерные силы, почему тогда все ядра не слились в одно большое ядро?
11. Как с помощью соотношения неопределенности оценить массу пиона, переносящего сильное взаимодействие?

Разное

1. Какую скорость могут приобрести электроны в электрическом поле лазерного пучка? Амплитуда напряженности поля равна 10^{11} В/м, частота $3\cdot10^{15}$ c^{-1} .

Олимпиада.

Занятие 32. Радиоактивность.

I. *Вопросы (блиц):*

1. Какова энергия связи ядра атома тория (использовать график зависимости удельной энергии связи от массового числа)?
2. На озере расцвела одна лилия. Каждый день число цветков удваивалось, и на 10 день все озеро покрылось цветами. В какой день покрылась цветами половина озера? 9
3. Сколько дедушке лет, столько месяцев внучке. Вместе им 91 гол. Сколько лет дедушке? 84
4. Почему выделение внутриядерной энергии возможно, как при реакциях деления тяжелых ядер, так и при синтезе легких ядер?
5. Ядро некоторого элемента при бомбардировке нейтронами поглощает нейтрон, после чего из него вылетает α - частица. Как рассчитать кинетическую энергию продуктов этой ядерной реакции?
6. Дефект массы ядра N - 15 равен 0,12396 а.е.м.. Найдите массу ядра (атома). 14,99628 а.е.м.
7. В чем различие атомной массы элемента и массового числа?
8. Почему в опытах Резерфорда (1903 г.) радиусы траектории α - частиц в сотни раз превышали радиусы траекторий β - частиц в опыте Беккереля (1899 г.)?
9. В ядро какого элемента превращается ядро изотопа тория $^{234}_{90}Th$, если оно претерпевает три последовательных α - распада?
10. Радиоактивность можно измерить по напряженности электрического поля, которое это вещество создает в окружающем пространстве. Почему?
11. Одним из методов урановой разведки стало измерение потоков гелия, восходящих из глубинных пластов Земли. Почему?
12. Почему при α - распаде одинаковых ядер энергии α - частиц одинаковы, а при β - распаде одинаковых ядер энергии β - частиц различны?
13. Возраст Земли – несколько миллиардов лет, а период полураспада радия – 1620 лет. Почему же на Земле ещё сохранился радий?

II. *Задачи (блиц):*

1. Одной из наиболее известных реакций термоядерного синтеза является реакция слияния дейтерия и трития: $^{2}_{1}H + ^{3}_{1}H \rightarrow ^{4}_{2}He + n$. Какая энергия выделяется в этой реакции? Энергия связи дейтерия 2,228 МэВ, трития - 8,483 МэВ, гелия 28,294 МэВ.
2. Определите энергию связи нейтрона в ядре изотопа ^{14}Ne, если энергии связи ядер изотопов ^{14}Ne и ^{13}Ne равны соответственно 104,66 МэВ и 94,10 МэВ.

III. Радиоактивность - самопроизвольное излучение солей урана. Опыт Резерфорда. Три компоненты (α β и γ) радиоактивного излучения; их свойства. Превращения ядер химических элементов в результате распада. Правило смещения.

Радиоактивный распад - самопроизвольная ядерная реакция.

$$^{238}_{92}U \xrightarrow{\alpha} ^{234}_{90}Th \xrightarrow{\beta^-} ^{234}_{91}Pa \xrightarrow{\beta^-} ^{234}_{92}U \xrightarrow{\alpha} ^{230}_{90}Th \xrightarrow{\alpha} ^{226}_{88}Ra \xrightarrow{\alpha} ^{222}_{86}Rn \xrightarrow{\alpha} ^{218}_{84}Po \rightarrow ... \rightarrow ^{206}_{82}Pb$$

Период полураспада (Т) - промежуток времени, в течение которого распадается половина из наличного числа атомов данного радиоактивного элемента. Примеры: $T_{^{238}_{92}U} = 4{,}5 \cdot 10^9$ лет, $T_{^{235}_{92}U} = 710 \cdot 10^6$ лет (доля в природном уране 0,72%), $T_{^{234}_{92}U} =$

$270 \cdot 10^3$ лет, $T_{^{226}_{88}Ra}$ = 1620 лет. Период полувыведения – это время необходимое для снижения концентрации лекарства в плазме крови в процессе элиминации на половину от исходной концентрации.

Основная $N = N_0 \cdot 2^{-\left(\frac{t}{T}\right)}$ и полезная формулы $\lg \frac{N}{N_0} = -\frac{t}{T} \lg 2.$

Понятие об активности радиоактивного элемента. Если в момент времени t образец содержит N(t) радиоактивных атомов, то в момент времени t + Δt их останется N(t+Δt). Активность препарата: $A = \lim \frac{N(t) - N(t+\Delta t)}{\Delta t} = -N', A = \lambda N$; $\frac{dN}{dt} = -\lambda N \to N = N_0 \cdot e^{-\lambda t}$. Число распадающихся в заданный промежуток времени ядер **радиоактивного элемента** пропорционально общему числу ядер соответствующего радиоактивного элемента. Сравнивая две формулы, где N - принимает только целые значения, получим λ = ℓn2/T.

IV. *Задачи (блиц):*

1. Какая доля радиоактивных ядер распадается через интервал времени, равный половине периода полураспада? 29%
2. Определить возраст древних деревянных предметов, если известно, что количество распавшихся атомов радиоактивного изотопа углерода в них составляет 80% количества атомов этого изотопа в свежесрубленном дереве. Период полураспада изотопа 5570 лет.
3. Образец руды содержит уран и свинец Pb-206. Считая, что образец содержит 0,85 г изотопа Pb-206 на каждый грамм изотопа U-238, определите возраст данного образца руды.
4. Сколько дней нужно выдержать сыр, прежде чем употреблять его в пищу, если он произведен из молока, загрязненного радиоактивным изотопом I-131? Начальная активность превышает допустимую в 1000 раз. 80 суток
5. Электрон образует след в камере Вильсона толщиной 10^{-6} м , если его энергия не менее 1 кВ. Чему равна относительная неопределенность скорости электрона?
6. Изотоп радия Ra-226, испускающий α-частицы с энергией 4,78 МэВ, помещен в закрытую капсулу. Продукты распада задерживаются стенками капсулы. Начальная масса радия составляет 0,18 мг. Какое количество теплоты нужно отвести от капсулы в первую минуту, чтобы она не разогрелась?

V. Олимпиада.

1. Вода одного из радиево-радоновых источников Мацесты имеет объёмную активность 2,2 ГБк/л. Активность обусловлена наличием в воде изотопов Ra-226 и Rn-222, испускающих α-частицы со средней энергией 5,2 МэВ. Какую дозу излучения получит человек массой 65 кг в течение часа, если выпьет один литр этой воды? 0,10 Гр
2. Известно, что радий массой 1 г за время 1 с дает $3{,}7 \cdot 10^{10}$ ядер гелия. Каково будет давление гелия, образующегося в герметичной ампуле вместимостью 1 $см^3$, в которой в течение года находилось 100 мг радия? Температура ампулы 15^0С.

3. Найти постоянную распада радона, если известно, что число атомов уменьшается за сутки на 18,2 %. Ответ: $\lambda = 2{,}3\cdot10^{-6}\ с^{-1}$.
4. При лечении онкологии используется йод-125, который после введения в организм распадается на теллур-125 и нейтрино. Теллур-125 после этого переходит в основное состояние с испусканием мягкого гамма-излучения. Напишите уравнение реакции распада изотопа и определите концентрацию йода-125 в растворе объемом 0,5 мл, если активность препарата 1,85 ГБк. $64\cdot10^{15}\ см^{-3}$

Вопросы (блиц):

1. В каких случаях активность радиоактивного препарата можно считать постоянной величиной?
2. За время t = 800 лет распалось Δm = 10 г радия. Сколько его было в начальный момент времени?
3. Чему равно зарядовое число изотопа, полученного из ксенона ${}^{140}_{54}Xe$ в результате четырех β^- – превращений?
4. Какой физический смысл имеет производная функции N(t) – количество радиоактивных атомов?
5. Определить, какая доля радиоактивного изотопа распадется в течение 6 суток, если период его полураспада 10 суток.
6. Отличается ли активность радиоактивных препаратов, если периоды полураспада радиоактивных ядер относятся как 2:1, а количество ядер как 1:2?
7. Нагретый атомарный углерод ${}^{11}_{6}C$ излучает свет. Этот изотоп испытывает β^+-распад с периодом полураспада 0,34 ч. Как изменится спектр излучения газа через 1 ч?
8. Как определить возраст породы, изучая образец урановой руды?
9. Как определяют возраст льда в Антарктиде (содержание Kr-81 с периодом полураспада около 230000 лет в пузырьках воздуха)?
10. Зачем в люминофор, которым покрывают стрелки и шкалы приборов, добавляют немного солей радия?
11. Активность радиоактивного препарата уменьшилась в 4 раза за 8 дней. Каков его период полураспада?
12. К 10 мг радиоактивного Ca-45 добавили 30 мг нерадиоактивного изотопа Ca-40. На сколько изменилась активность радиоактивного источника?
13. Если бы 1 г радия, который получили супруги Кюри, остался от того радия, который был на Земле в момент её возникновения, то какова была тогда масса радия?

Разное

1. Количество радиоактивного изотопа углерода ${}^{14}_{6}C$ в старом куске дерева составляет 0,312 массы этого изотопа в живых растениях. Определите возраст этого куска дерева, если период полураспада изотопа ${}^{14}_{6}C$ равен 5570 годам?
2. Найти количество полония ${}_{84}Po^{210}$, активность которого равна $A_0 = 3{,}7\cdot10^{10}$ Бк. Ответ: $m = 2{,}2\cdot10^{-7}$ кг.
3. Пациенту ввели внутривенно $V_o = 1\ см^3$ раствора, содержащего некоторый изотоп общей активностью $A_o = 2000$ распадов в секунду. Период полураспада

изотопа равен T = 15,3 ч. Какова активность такой же по объему пробы крови пациента через t = 3 ч 50 мин, если общий объем его крови V = 6 л? Переходом ядер изотопа из крови в другие ткани организма пренебречь.

4. За время t = 800 лет распалось Δm = 10 г радия. Сколько его было в начальный момент времени?
5. Сколько кубических миллиметров гелия выделяется в результате распада 1 г радия в течение года? Считать, что гелий находится при нормальных условиях.

Олимпиада.

Занятие 33. Атомная энергетика.

I. *Вопросы (блиц):*

1. Какие физические процессы используются для регистрации ядерных реакций?
2. Почему в камере Вильсона летящий протон оставляет видимый след, а летящий нейтрон не оставляет?
3. Можно ли с помощью камеры Вильсона регистрировать незаряженные частицы?
4. Ядро изотопа $^{215}_{83}Bi$ получилось из другого ядра после ряда последовательных распадов: α-распада, одноного β–распада и еще одного α–распада. Запишите последовательно реакции этих распадов. Перечислите вся ядра, участвующие в этих реакциях. $^{223}_{86}Rn \rightarrow ^{4}_{2}\alpha + ^{219}_{84}Po \rightarrow ^{0}_{-1}\beta + ^{219}_{85}At \rightarrow ^{4}_{2}\alpha + ^{215}_{83}Bi$
5. Сколько процентов составит доля распавшихся атомов радиоактивного изотопа за время, равное половине периода полураспада? 29,3 %
6. За какое время распадется 75% ядер радиоактивного вещества, если период его полураспада 20 с? 40 с
7. При каком виде радиоактивного распада из атомного ядра вылетают электрон и антинейтрино?
8. Во всей Вселенной лишь несколько частиц вечно стабильны. Какие?
9. Гелий — второе по распространённости вещество во Вселенной, но на Земле его практически нет. Почему так произошло? Почему в грунте Луны гелия больше, чем в грунте Земли? При каких условиях гелий можно найти в грунте Земли?
10. Почему радиация пахнет озоном?
11. Какие изменения могут произойти в работе счетчика Гейгера, если балластный резистор заменить другим, имеющим меньшее сопротивление?

II. *Задачи (блиц):*

1. Какова скорость электрона, влетающего в камеру Вильсона перпендикулярно индукции магнитного поля, если радиус трека равен 4 см, а индукция магнитного поля 8,5 мТл? $6 \cdot 10^{7}$ м/с
2. Покоящееся ядро урана испустило α-частицу. Кинетическая энергия α-частицы составила 6 МэВ. Зная массу α-частицы m = $6{,}645 \cdot 10^{-27}$ кг и массу образовавшегося ядра M = $2{,}3 \cdot 10^{-25}$ кг, найдите скорость образовавшегося ядра.
3. Если период полураспада изотопа составляет 10 часов, а период полувыведения лечебного фармацевтического препарата – 30 часов, то чему будет равен эффективный период полувыведения получившегося радиопрепарата? 7,5

4. Вычислить вероятность P того, что определенное ядро радиоактивного изотопа Po-218 с периодом полураспада T = 3 мин распадется в течение ближайшей минуты. 0,2
5. Электрон, кинетическая энергия которого 1,5 МэВ, движется по окружности в однородном магнитном поле с индукцией 0,02 Тл. Определите период обращения электрона. Энергия покоя электрона 0,5 МэВ. 7 нс
6. По современным представлениям возраст Земли составляет 4,6 млрд. лет. Какое количество изотопа свинца Pb-206 образовалось за время из 1,0 кг U-238? 0,87 кг.
7. Какая доля радиоактивных ядер распадется через 100 с, если период полураспада радиоактивного вещества 20 с? 97%

III. Возможные схемы деления ядра урана:

$^{235}_{92}U + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{144}_{56}Ba + ^{89}_{36}Kr + 3^{1}_{0}n + 200$ МэВ. $^{235}_{92}U + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{140}_{54}Xe + ^{94}_{38}Sr + 2^{1}_{0}n + 200$ МэВ.

Испускание нейтронов при делении ядра. Точное число нейтронов деления 2,42 оставалось государственной тайной вплоть до 1950 г.

Коэффициент размножения нейтронов (определение) - отношение количества выделенных нейтронов в момент деления ядер к количеству нейтронов, которые выделились в предыдущий момент распада ядер.

Атомная энергетика. Топливо в ядерных реакторах и управляемая реакция деления. Блок-схема реактора. Атомные электростанции.

Обосновать возможность термоядерного синтеза на основе анализа графика удельной энергии связи. Возможная схема термоядерного синтеза: $^{3}_{1}H + ^{2}_{1}H \rightarrow ^{4}_{2}He + n + 17{,}6$ МэВ.

IV. *Задачи (блиц):*

1. Мощность атомной силовой установки стратегического подводного ракетоносца P = 190 МВт. Ядерным топливом служит слабо обогащённая двуокись урана (25%, ^{235}U). Определить запас топлива, необходимого для автономного плавания АПЛ проекта «Акула» в течение 180 суток.
2. Атомная электростанция мощностью 500 МВт, работающая на уране-235, имеет КПД 20%. Тепловая электростанция той же мощности, работающая на каменном угле, имеет КПД 75%. Определите годовой расход горючего на станциях. 1927 кг.
3. Человек получает дозу облучения D = 0,18 мГр в год за счёт распада радиоактивных изотопов калия, содержащихся в мышцах. Сколько ядер данного изотопа распадается в теле человека массой 70 кг за сутки и какую эквивалентную дозу получает человек за это время? Начальную скорость β-частиц, испускаемых ядрами калия, принять равной $1{,}6 \cdot 10^{6}$ м/с. N= $2{,}3 \cdot 10^{9}$; H = 0,49 мкЗв (H=D/365).

V. Олимпиада.

1. Если природный дейтерий использовать в реакции ядерного синтеза, то, сколько энергии можно получить из 1 кг воды? Сравните полученную величину с энергией, извлекаемой при сгорании 1 кг бензина (около $5 \cdot 10^{7}$ Дж).

2. При взрыве водородной бомбы происходят реакции: 1) ${}^{6}_{3}Li + n \rightarrow {}^{3}_{1}H + {}^{4}_{2}He$; 2) ${}^{3}_{1}H + {}^{2}_{1}H \rightarrow {}^{4}_{2}He + n$. Рассчитать суммарный энергетический эффект этих реакций. 4,8 МэВ. 17,6 МэВ.
3. Сгорание водорода массой $m_в$ = 1,00 кг дает 120 МДж тепла в ходе химической реакции $2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$. В ядерной реакции синтеза дейтерия и трития, в которой образуются гелий-4 и один нейтрон, освобождается 17,6 МэВ энергии на каждые пять нуклонов. Во сколько раз энергетический выход на килограмм исходных веществ при превращении водорода в гелий больше, чем при превращении водорода в воду?
4. Биологическая ткань массой 0,2 кг получила эквивалентную дозу H_1 = 0,8 Зв от нейтронного облучения и такую же дозу - от γ-излучения ($H_2 = H_1$). Учитывая соответствующие коэффициенты биологической эффективности $ОБЭ_n$ = 10, $ОБЭ_p$= 1, определить общую поглощённую дозу D и поглощённую энергию W. 0,9 Гр; 0,2 Дж

Вопросы (блиц):

1. Почему вещества, занимающие места в середине и конце таблицы Менделеева, не применяют в качестве замедлителей нейтронов?
2. Можно ли разлить 50 литров бензина по трем канистрам так, чтобы в первой было на 10 литров больше, чем во второй, а после переливания 26 литров из первой канистры в третью в третьей стало столько бензина, как и во второй? $50 = m_1+m_2+m_3=2m_2+10+m_3$. $m_2=m_3+26$. нет
3. Сколько атомов урана-235 разделится за 2 ч в ядерном реакторе мощностью 0,5 ГВт, если при делении одного ядра выделяется энергия 200 МэВ? $1125 \cdot 10^{20}$
4. Бактерии имеют такой закон развития: каждая живет 1 час и каждые полчаса порождает одну новую (всего две за свою жизнь). Каково будет потомство одной бактерии через 6 часов после ее рождения?
5. Почему не начинается цепная реакция в куске урана массой 100 грамм?
6. Почему при центральном столкновении с протоном нейтрон передает ему всю энергию?
7. Почему в водо-водяных реакторах используют в качестве замедлителя тяжелую, а не обычную воду?
8. После ядерного взрыва возникает мощный электромагнитный импульс. Эффект воздействия очень зависит от высоты, на которой взорвана бомба, и от индукции магнитного поля Земли в этом месте. Почему?
9. Почему нейтронное облучение (нейтронная бомба) опасно для живых организмов?
10. Почему не строят компактные и не большие атомные электростанции, которые легко собираются, модернизируются и перевозятся?
11. Что вы теперь знаете об атомном ядре?
12. Почему с повышением температуры плазмы она перестает нагреваться электрическим током?
13. Почему выделение внутриядерной энергии возможно, как при реакциях деления тяжелых ядер, так и при синтезе легких ядер?
14. Чем обусловлены верхний и нижний пороги энергии, выделяющейся при взрыве атомной бомбы?

15. Почему светимость сверхновой звезды изменяется почти по экспоненциальному закону?

Разное

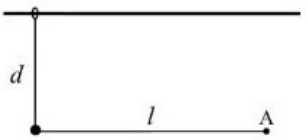
1. Альфа-частица, вылетевшая из ядра радия со скоростью $15 \cdot 10^6$ м/с, пролетев в воздухе 3,3 см, остановилась. Найти кинетическую энергию частицы, время торможения и ускорение.

Занятие 34. Олимпиада.

ВАРИАНТ 1

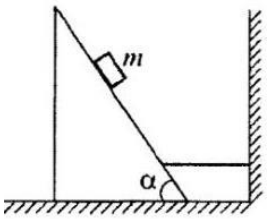
1. Склон горы составляет угол α с горизонтом. В момент времени t = 0 на поверхности склона взорвалась граната, и множество осколков полетели во все стороны, причем начальная скорость всех осколков одинаковая по модулю. Оказалось, что осколки падали на склон в течение промежутка времени Δt. На какое максимальное расстояние осколки удалялись от склона? Считайте склон очень длинным. Силой сопротивления воздуха можно пренебречь. $h = \frac{g \cos\alpha \Delta t^2}{8}$

2. К одному концу невесомой и нерастяжимой нити прикреплено невесомое колечко, которое может без трения скользить по горизонтальному стержню. Второй конец нити закреплен в некоторой точке А так, что стержень и нить лежат в одной плоскости. По нити может без трения скользить маленькая массивная бусинка. Вначале колечко и бусинку удерживают так, что участок нити от колечка до бусинки вертикален, и его длина равна d. Участок нити от бусинки до точки крепления второго конца нити горизонтален и его длина равна ℓ. Затем колечко и бусинку отпускают.

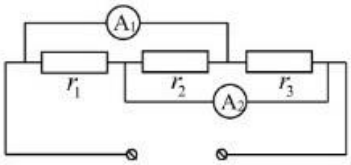


   1) Найти ускорение бусинки и силу натяжения нити сразу после этого.
   2) Найти тангенциальное ускорение бусинки в тот момент, когда ее горизонтальное перемещение составит ℓ/2.
   3) Найти силу натяжения нити в тот момент, когда бусинка окажется под точкой крепления второго конца нити. Масса бусинки m. 1) g, mg. 2) $a_\tau = g\frac{2-\sqrt{2}}{2+\sqrt{2}}$. 3) T = 3mg.

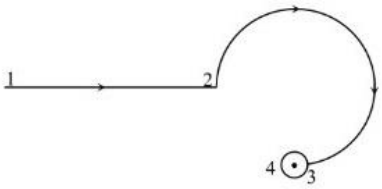
3. На гладкой горизонтальной плоскости стоит клин, привязанный к стене невесомой горизонтальной нерастяжимой нитью. На клин кладут брусок, который начинает соскальзывать с клина. Коэффициент трения бруска о клин равен $\mu = 1/\sqrt{3}$. При какой величине угла α сила натяжения нити будет максимальна? В ответе $\alpha = \pi/3$, а у меня $\alpha = \pi/6$



4. Из резисторов r_1, r_2, r_3, идеальных амперметров и проводов собрали электрическую цепь. Когда к цепи приложили некоторое электрическое напряжение, показания амперметров составили I_{A1} = I. I_{A2} = 2I/3. Найти r_3 и r_2, если известно, что: 1) r_1= r; 2) сопротивления двух резисторов равны другу, третьего – отличается от них. r_2 = r, r_3 = 0,5r. (r_2 = r_3 = r/3)



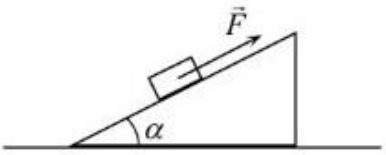
5. Бесконечный провод, по которому течет ток I, согнут следующим образом: провод 1-2 –полу бесконечный, прямой и расположен в плоскости рисунка; провод 2-3 представляет собой три четверти окружности радиуса R, провод 3-4 – полу бесконечный, прямой, расположен перпендикулярно плоскости рисунка, а ток по нему течет «на нас». Найти индукцию магнитного поля в центре кольца 2-3. Известно, что продолжение провода 1-2 проходит через центр окружности. $B = \frac{\mu_0 I}{8\pi R}\sqrt{9\pi^2 + 4}$



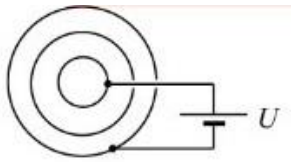
6. Материальная точка массой 0,2 кг начинает двигаться под действием переменной силы $F=3t^2$, где F — сила, Н; t — время, с. Какова скорость точки в конце второй секунды движения? 40 м/с
7. Точечный заряд q = 50 нКл находится на расстоянии ℓ = 10 см от конца заряженной нити на ее продолжении. Линейная плотность заряда на нити λ = 5,0 нКл/м. Ее длина L = 30 см. Определить силу кулоновского взаимодействия точечного заряда и нити. 27 мкН.
8. При распаде нейтрального π-мезона образуются два фотона, летящие под углами φ_1 и φ_2 к направлению движения мезона до распада. Найдите модуль скорости, с которой двигался мезон, считая, что все три направления движения (мезона и образовавшихся фотонов) лежат в одной плоскости. $\upsilon = c\frac{\sin(\varphi_1 + \varphi_2)}{\sin\varphi_1 + \sin\varphi_2)}$
9. С какой частотой должны бомбардировать цель фотоны химического лазера, излучающего на длине волны 308 нм, чтобы воздействие на нее было таким же, как очереди из автомата Калашникова? Масса и скорость пули 7,9 г и 715 м/с соответственно, скорострельность — 600 мин$^{-1}$. $2{,}63\cdot10^{28}$

ВАРИАНТ 2

1. Склон горы составляет угол α = 30^0 с горизонтом. 1) На какое максимальное расстояние вниз вдоль склона можно забросить камень, если его начальная скорость равна v_0 = 10 м/с? 2) Под каким углом к горизонту нужно делать бросок? Ось Ox по перемещению, через проекции выражаем перемещение и находим максимум.
2. При распаде нейтрального π-мезона образуются два фотона с энергиями E_1 и E_2, которые летят в противоположных направлениях. Определите скорость υ, с которой двигался распавшийся π-мезон. $\upsilon = c\frac{E_1 - E_2}{E_1 + E_2}$
3. Тело массы m положили на наклонную грань клина массой 2m с углом при основании α = 30^0. На тело действуют некоторой силой F, направленной параллельно наклонной грани клина. Какой должна быть эта сила, чтобы ускорение тела было направлено горизонтально? Трением между всеми поверхностями можно пренебречь. 3,25mg

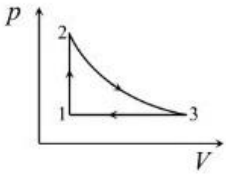


4. Имеются три концентрические металлические сферы с радиусами R, 2R и 3R. Среднюю сферу заряжают некоторым зарядом Q (Q > 0), а к внутренней и внешней сферам

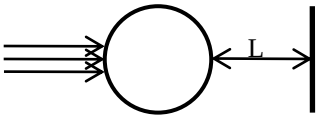


подключают источник электрического напряжения U. При каком заряде Q внутренняя и внешняя сферы останутся незаряженными? Q = 6Ur/k

5. Некоторое количество гелия участвует в следующем циклическом процессе – изохорическое нагревание 1-2, изотермическое расширение 2-3, изобарическое охлаждение 3-1. Известно, что в изобарическом охлаждении 3-1 над газом совершена работа A, а в изотермическом расширении 2-3 газу сообщили количество теплоты Q = 1,5 A. Найди КПД цикла. 20%



6. Параллельный пучок световых лучей радиуса r = 0,5 см падает на прозрачный шар радиуса R = 10 см. Показатель преломления вещества шара n = 2. За шаром на расстоянии L = 20 см от него расположен экран, перпендикулярный лучу. Найти радиус светлого пятна на экране. 1 см



7. Скорость прямолинейного движения тела вдоль оси X задана уравнением $\upsilon_x = 4 - t^2$, где υ_x— проекция скорости на ось X в м/с; t — время в секундах. Определить пройденный путь и перемещение тела за промежуток времени от t = 0 до t_2 = 3 с. (23/3) м. 3 м
8. Определить время истечения несжимаемой жидкости из открытого цилиндрического сосуда высотой h = 4,9 м, заполненного до краев. Диаметр отверстия в дне сосуда d в 60 раз меньше диаметра сосуда D. 1 ч
9. Какой должна быть энергия импульса химического лазера, чтобы прожечь броню танка толщиной 8 см за 0,1 с, если площадь светового пятна на броне 1 см^2, длительность импульсов 1 мкс, а частота их следования 100 Гц? Плотность брони $7{,}8\cdot10^3$ кг/м^3, а ее удельная теплота плавления 84 кДж/кг. Потери энергии на отражение луча от брони и ее рассеяние вне светового пятна составляют 30%.
10. На круглую однородную платформу радиуса R падает мелкий дождь. Скорость капель υ, их суммарная масса в единице объема ρ. Масса платформы вместе с водой M. Какую мощность должен иметь мотор, вращающий платформу, чтобы она вращалась с постоянной угловой скоростью ω? Трение капель о платформу большое, так что их радиальной скоростью при уходе с платформы можно пренебречь.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Основы методики преподавания физики в средней школе / В.Г. Разумовский и др.; Ред. А.В. Перышкин. – М.: Просвещение, 1984.
2. А.П. Рымкевич, П.А. Рымкевич. Сборник задач по физике для 8 – 10 классов средней школы. – М.: Просвещение, 1978
3. В.А. Касьянов. Физика. 10, 11 кл. − М.: Дрофа,2002.
4. М.Е. Тульчинский. Качественные задачи по физике в средней школе.- М.: Просвещение, 1972.
5. В.А. Буров, Б.С. Зворыкин, А.П. Кузьмин и др. Демонстрационный эксперимент по физике в старших классах средней школы. - М.: Просвещение, 1972.
6. Д. Джанколи. Физика.- М.: Мир,1989.

7. А.А. Найдин. Использование обобщающих таблиц при формировании понятий. Физика в школе, 3 (1989).
8. О.Я. Савченко. Задачи по физике. Новосибирский государственный университет, 1999.
9. Н.В. Любимов, С.М. Новиков. Знакомимся с электрическими цепями. – М.: Наука, 1972.
10. Дж. Орир. Физика: Пер. с англ.-М.: Мир, 1981.
11. В.И. Лукашик. Сборник вопросов и задач по физике. – М.: Просвещение, 1981.
12. А.М. Прохоров и др. Физический энциклопедический словарь – М.: Советская энциклопедия, 1983.
13. Е.И. Бутиков, А.С. Кондратьев. Физика: Учебное пособие: В 3 кн.– М; ФИЗМАТЛИТ, 2004.
14. Мякишев Г.Я., Синяков А. З., Слободсков Б. А. Физика: Электродинамика: Учебник для 10-11 классов с углубленным изучением физики. – М.: Дрофа, 2010 г.
15. Кондратьев А. С., Ларченкова Л. А, Ляпцев А. В. МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПО ФИЗИКЕ: – М.: Издательская фирма «Физико-математическая литература» МАИК «Наука/Интерпериодика», 2012 г.
16. А.А. Найдин. Система задач из одной задачи?! //ИД "Первое сентября", газета "Физика", № 8,2011 г.
17. А.А. Найдин. Как научить школьников открывать и применять законы? ж. «Физика в школе», №7, 2012 г.
18. Исаков А. Я. Физика. Решение задач ЕГЭ, часть 1 - 9. Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2012.
19. Славов А.В., Щеглова О.А., Абражевич Э.Б., Чудов В.Л., ФИЗИКА, ЗАДАЧИ, КАЧЕСТВЕННЫЕ ВОПРОСЫ, ТЕСТЫ. «Издательский дом МЭИ», 2016
20. Физика. 10—11 кл.: Сборник задач и заданий с ответами и решениями. Пособие для учащихся общеобразоват. учреждений / С.М. Козел, В. А. Коровин, В. А. Орлов. — М.: Мнемозина, 2001. — 254 с.: ил.
21. Кондратьев А.С., Прияткин Н.А. Современные технологии обучения физике: Учеб. пособие. — СПб.: С.-Петерб. ун-т, 2006.
22. Горлач В. В. Методы решения физических задач. – М.:ООО Юрайт, 2024.
23. К о н д р а т ь е в А. С., У з д и н В. М. Физика. Сборник задач. —М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. — 392 с. — ISBN 5-9221-0579-5.
24. Личный сайт Найдина Анатолия Анатольевича. https://naidin.ru