

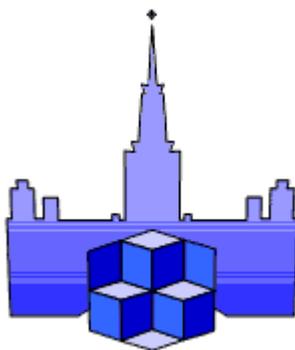
ФИЗИКА

СБОРНИК ЗАДАЧ ПО ФИЗИКЕ

Часть V
Электромагнитные
явления

Часть VI
Колебания и волны

Составитель **Т.П. Корнеева**



Школа имени А.Н. Колмогорова
2012

СБОРНИК ЗАДАЧ по ФИЗИКЕ

Часть V

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ

Часть VI

КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ

Составитель **Т.П.Корнеева**

Школа им. А.Н. Колмогорова
2012 г.

Корнеева Т.П.

Сборник задач по физике.

Часть V. Электромагнитные явления.

Часть VI. Колебания и волны.

Издание третье, исправленное и дополненное.

Школа им. А.Н. Колмогорова, 2012. – 62 с.

Настоящий сборник составлен на основе задач, известных как «классические», и используемых в течение многих лет при проведении семинарских занятий в физико-математической школе при Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова (ныне СУНЦ МГУ, школа имени А.Н. Колмогорова). Наряду с ними в сборник входят задачи, предлагавшиеся в разные годы на вступительных экзаменах в ВУЗы и олимпиадах различного уровня.

Задачи снабжены ответами, за исключением тех, где решение носит качественный характер. Задачи, отмеченные знаком *, требуют, как правило, более глубокого понимания физической сущности описываемых явлений, привлечения сведений из других разделов физики, а также предполагают владение более сложным математическим аппаратом.

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ

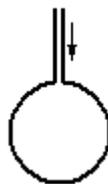
При решении задач используйте следующие значения фундаментальных физических постоянных:

| | |
|--------------------------|---|
| Заряд электрона | $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл |
| Масса электрона | $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}$ кг |
| Удельный заряд электрона | $e/m_e = 1,76 \cdot 10^{11}$ Кл/кг |
| Магнитная постоянная | $\mu_0 = 1,26 \cdot 10^{-6}$ Н/А ² |
| | $\mu_0/4\pi = 10^{-7}$ Н/А ² |

Магнитное поле. Закон Био-Савара-Лапласа. Теорема Стокса (теорема о циркуляции).

24.1. Круглый виток провода свободно висит на подводящих проводах. По витку течет ток указанного на рисунке направления. Как поведет себя виток, если перед ним поместить линейный магнит,

- а) обращенный южным полюсом к витку?
- б) обращенный северным полюсом к витку?
- в) расположенный параллельно плоскости витка южным полюсом справа?



24.2. Рамка площадью 400 см^2 помещена в однородное магнитное поле с индукцией $0,1$ Тл, при этом нормаль к рамке перпендикулярна линиям индукции. При какой силе тока на рамку будет действовать вращающий момент $20 \text{ мН}\cdot\text{м}$?

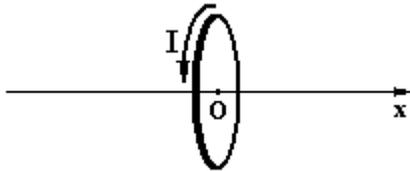
24.3. Плоская прямоугольная катушка из 200 витков со сторонами 10 см и 5 см находится в однородном магнитном поле с индукцией $0,05$ Тл. Какой максимальный вращающий момент может действовать на катушку в этом поле, если сила тока в катушке 2 А ?

24.4. К двум произвольным точкам проволочного кольца подведены радиально провода, соединенные с удаленным источником тока. Чему равна индукция магнитного поля в центре кольца?

24.5. Контур с током имеет вид, показанный на рисунке. Сила тока равна I . Найти величину магнитной индукции в центре полуокружности радиуса R .

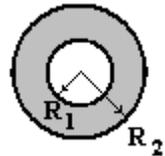


24.6. Найти магнитное поле на оси круглого витка с током. Сила тока равна I , радиус витка R . Нарисовать график зависимости $B(x)$.



24.7. Найти магнитное поле внутри и вне толстого провода с током. Плотность тока постоянна и равна j , радиус провода R . Нарисовать график $B(r)$.

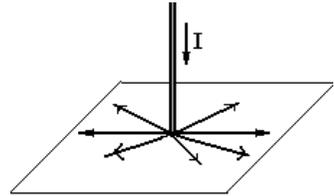
24.8. Найти магнитное поле внутри и вне длинного коаксиального кабеля с током. Плотность тока постоянна и равна j . Нарисовать график $B(r)$.



24.9. Найти магнитное поле в диаметральном сечении тороидальной катушки с током I , имеющей N витков. Внутренний радиус катушки r_1 , внешний радиус r_2 , $r_2 - r_1 \ll r_1, r_2$.

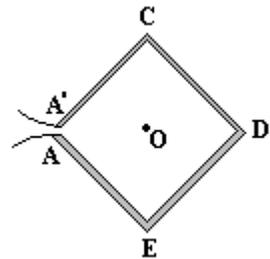
Сделайте предельный переход к бесконечно длинному соленоиду. Проанализируйте, от чего зависит величина скачка тангенциальной составляющей вектора магнитной индукции при переходе через поверхность с протекающим по ней током.

24.10. Ток I , идущий по длинному прямому проводу перпендикулярно проводящей плоскости, равномерно растекается по ней. Чему равна индукция магнитного поля в точках над и под плоскостью?



24.11. Чему равна индукция магнитного поля вблизи бесконечной пластины, по которой течет ток с линейной плотностью i ?

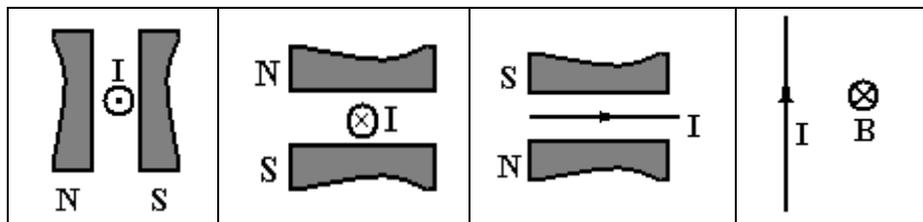
24.12. Из двух кусков медной проволоки одинаковой длины, но разного поперечного сечения изготовлен квадрат $AEDCA'$, разомкнутый в одной из вершин. Площадь сечения проволоки на участке AED вдвое больше, чем на участке DCA' . Когда к точкам A и A' подключили источник



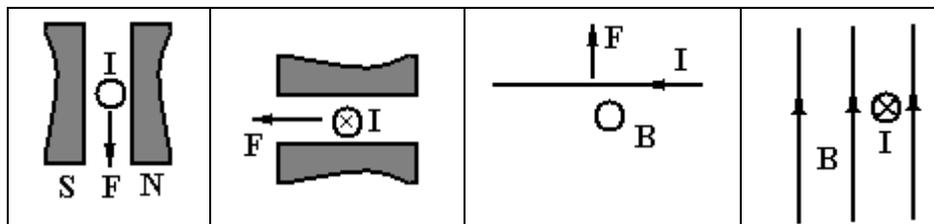
постоянного тока, оказалось, что индукция магнитного поля в центре квадрата равна $B_0 = 1$ мТл. Какова будет магнитная индукция в центре квадрата, если точки A и A' соединить, а тот же источник подключить к вершинам A и D ? Внутреннее сопротивление источника можно не учитывать.

Сила Ампера.

24.13. На приведенных ниже рисунках укажите направление силы Ампера, действующей на проводник с током в магнитном поле.

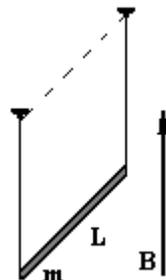


24.14. На приведенных ниже рисунках представлены различные случаи взаимодействия магнитного поля с током. Восполните недостающие данные в каждой ситуации.



24.15. Горизонтальный линейный проводник массой $m = 10$ г и длиной $L = 20$ см подвешен на двух тонких вертикальных проволочках. Проводник полностью находится в однородном магнитном поле, индукция которого равна $B = 0,25$ Тл.

На какой угол от вертикали отклонятся проволочки, поддерживающие проводник, если по нему пропустить ток $I = 2$ А? Массами поддерживающих проволочек пренебречь.

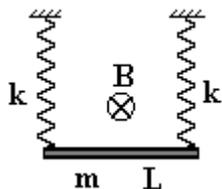


24.16. Медный проводник сечением $S = 2 \text{ мм}^2$, согнутый в виде трех сторон квадрата, может свободно поворачиваться вокруг горизонтальной оси, расположенной вдоль четвертой стороны квадрата.. Система находится в однородном магнитном поле с индукцией $B = 0,1 \text{ Тл}$, направленном вертикально. Найти угол, на который отклонится проводник, если по нему пойдет ток $I = 3,5 \text{ А}$. Плотность меди $\rho = 8,9 \text{ г/см}^3$.

24.17. Металлический стержень, имеющий массу $m = 100 \text{ г}$ и длину $L = 10 \text{ см}$, подвешен на двух легких проводниках такой же длины (см. рис. к **24.15**). Стержень помещен в магнитное поле, линии индукции которого вертикальны. По стержню пропускают импульс тока в течение времени $\tau = 0,01 \text{ с}$. Определить максимальный угол, на который отклоняются проводники при движении стержня. Смещением стержня за время τ пренебречь.

Величина пропускаемого тока $I = 500 \text{ А}$, индукция магнитного поля $B = 0,2 \text{ Тл}$.

24.18. Металлический стержень, имеющий массу $m = 400 \text{ г}$ и длину $L = 1 \text{ м}$, подвешен на двух одинаковых пружинах с коэффициентом жесткости $k = 20 \text{ Н/м}$ в горизонтальном однородном магнитном поле, индукция которого $B = 0,2 \text{ Тл}$.



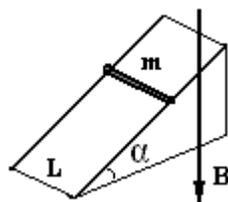
По стержню пропускают импульс тока величиной $I = 500 \text{ А}$ в течение времени $\tau = 0,01 \text{ с}$, в результате чего стержень приобретает скорость, направленную вертикально. Определить наибольшую величину смещения стержня от положения равновесия при его последующем движении. Смещением стержня при пропускании по нему тока пренебречь.

24.19. Тяжелый металлический стержень подвешен в горизонтальном положении на двух легких вертикальных проволочках и полностью находится в однородном магнитном поле, линии индукции которого вертикальны (см. рис. 24.15).

В первом опыте на стержень подали напряжение, и в нем очень быстро возник ток величиной I . Максимальный угол, на который проволочки, поддерживающие проводник, отклонились от вертикали в процессе движения, был равен $\alpha = 60^\circ$.

Во втором опыте силу тока через стержень плавно увеличивали от нуля до того же значения I . На какой угол отклонились проволочки во втором опыте?

24.20. Вдоль наклонной плоскости, образующей с горизонталью угол $\alpha = 30^\circ$, проложены рельсы, по которым может скользить проводящий стержень массой $m = 1$ кг. Какой минимальный ток нужно пропустить по стержню, чтобы он оставался в покое, если вся система находится в однородном вертикальном магнитном поле с индукцией $B = 0,2$ Тл?

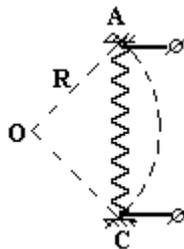


Коэффициент трения стержня о рельсы $\mu = 0,2$, расстояние между ними $L = 50$ см.

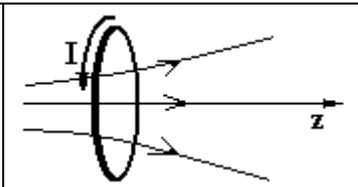
24.21. Квадратная проводящая рамка со стороной $a = 10$ см и массой $m = 10$ г, лежащая на непроводящей горизонтальной поверхности, помещена в однородное магнитное поле с индукцией $B = 0,1$ Тл, направленное горизонтально параллельно одной из сторон рамки. Какой ток нужно пропустить по рамке, чтобы она начала подниматься?

24.22. По жесткому проволочному кольцу радиуса $R = 10$ см с площадью сечения $S = 5$ мм² течет ток $I = 5$ А. Плоскость кольца перпендикулярна магнитному полю, индукция которого $B = 1$ Тл. Определить механическое напряжение в проволоке (силу, действующую на единицу площади сечения).

24.23. Тонкая недеформированная пружина жесткостью $k = 20 \text{ Н/м}$ закреплена в точках А и С, расстояние между которыми $L = 20 \text{ см}$, и помещена во внешнее магнитное поле с индукцией $B = 0,8 \text{ Тл}$. При пропускании по пружине тока она приобретает форму дуги окружности радиусом $R = 30 \text{ см}$. Найти силу тока I .



24.24.* Небольшой круговой виток с током I площадью S помещен в неоднородное аксиально-симметричное относительно оси z магнитное поле, так что их оси симметрии



совпадают. Определите, с какой силой поле действует на виток, если известно значение производной $\frac{dB}{dz}$ в месте нахождения витка.

***Движение заряженных частиц в магнитном поле.
Сила Лоренца.***

24.25. Протон и α -частица влетают в однородное магнитное поле перпендикулярно линиям индукции. Сравнить радиусы окружностей, которые описывают частицы, если у них одинаковые 1) скорости; 2) энергии.

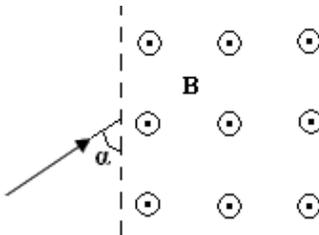
24.26. В однородное магнитное поле с индукцией $B = 10 \text{ мТл}$ перпендикулярно линиям индукции влетает электрон с кинетической энергией $W = 30 \text{ кэВ}$. Каков радиус окружности траектории движения электрона в поле? Найдите период обращения и циклическую частоту движения электрона. Как найденные величины зависят от энергии частицы, ее заряда и массы?

24.27. В однородное магнитное поле индукции \mathbf{B} влетает со скоростью \mathbf{V} под углом α к направлению поля частица массы m с зарядом q . Найдите радиус и шаг винтовой линии, по которой движется частица.

24.28. Электроны, летящие в телевизионной трубке, имеют энергию $W = 12$ кэВ. Трубка ориентирована так, что электроны движутся с юга на север. Вертикальная составляющая магнитного поля Земли на данной широте равна $B = 5,5 \cdot 10^{-5}$ Тл и направлена вниз. В каком направлении и на какое расстояние отклонится пучок, пролетев в трубке расстояние $S = 20$ см по горизонтали?

24.29. Пучок протонов, ускоренных напряжением U , попадает в однородное магнитное поле с индукцией $B = 0,2$ Тл, перпендикулярное скорости протонов. После того, как пучок прошел путь $S = 10$ см, скорость пучка изменилась по направлению на угол $\alpha = 30^\circ$. Отношение заряда протона к его массе равно $e/m_p = 10^8$ Кл/кг. Найдите ускоряющее напряжение U .

24.30. Протон влетает в ограниченную область поперечного к его траектории однородного магнитного поля под углом $\alpha = 60^\circ$ к линии границы. Для указанного на рисунке направления индукции магнитного поля \mathbf{B} время движения протона в области поля составляет $\tau = 0,5 \cdot 10^{-5}$ с. Найти индукцию магнитного поля. Отношение заряда протона к его массе $e/m_p = 10^8$ Кл/кг.



24.31. Область пространства, в которой создано однородное магнитное поле с индукцией B , имеет форму цилиндра радиусом R , ось которого параллельна B . В эту область вдоль одного из радиусов со скоростью V влетает электрон. Найти время движения электрона в магнитном поле.

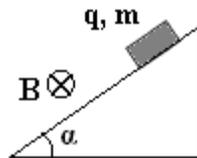
24.32. Электрон влетает в плоский слой однородного магнитного поля ширины L со скоростью V . Индукция магнитного поля B . Скорость электрона перпендикулярна как направлению поля, так и границам слоя. Под каким углом к первоначальному направлению электрон вылетит из магнитного поля?

24.33. Однородные электрическое и магнитное поля расположены взаимно перпендикулярно. Напряженность электрического поля равна $E = 1$ кВ/м, а индукция магнитного поля $B = 1$ мТл. В каком направлении и с какой скоростью должен двигаться электрон, чтобы его движение в пространстве, занимаемом полями, было равномерным и прямолинейным?

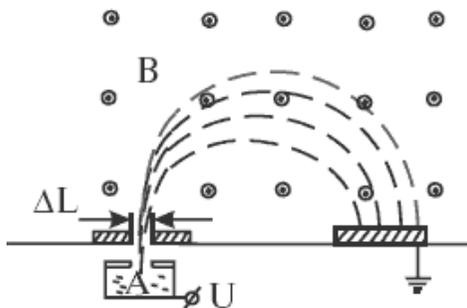
24.34. Пучок одинаковых заряженных частиц проходит, не отклоняясь, через область, в которой созданы однородные взаимно перпендикулярные электрическое и магнитное поля с напряженностью $E = 2,5 \cdot 10^5$ В/м и индукцией $B = 0,1$ Тл. Если устранить электрическое поле, то частицы движутся по дуге окружности радиуса $R = 0,5$ м. Найдите отношение заряда частицы к ее массе.

24.35.* В камере Вильсона, помещенной в магнитное поле с индукцией B , происходит упругое рассеяние α -частиц на ядрах дейтерия. Найдите начальную энергию α -частицы, если радиусы кривизны начальных участков траектории ядра и α -частицы после рассеяния оказались одинаковыми и равными R . Обе траектории лежат в плоскости, перпендикулярной индукции магнитного поля.

24.36. Небольшой брусок массой m , несущий положительный заряд q , удерживают на наклонной плоскости, образующей угол α с горизонталью. Система находится в однородном магнитном поле с индукцией \mathbf{B} , направленной перпендикулярно плоскости рисунка. Брусок отпускают без начальной скорости. Чему равна максимальная скорость бруска в процессе движения? Коэффициент трения между бруском и наклонной плоскостью равен μ .



24.37.* На рисунке изображен простейший масс-спектрометр, индукция магнитного поля в котором $B = 0,1$ Тл. В ионизаторе А образуются ионы, которые ускоряются электрическим полем при разности потенциалов $U = 10$ кВ. После поворота в магнитном поле ионы попадают



на фотопластинку и вызывают ее почернение. На каком расстоянии от щели будут находиться на фотопластинке полосы ионов $^1\text{H}^+$, $^2\text{H}^+$, $^3\text{H}^+$, $^4\text{He}^+$? Какой должна быть ширина щели, чтобы полосы ионов $^{16}\text{O}^+$ и $^{15}\text{N}^+$ разделились?

24.38.* Ускоряющее напряжение на дуантах циклотрона равно U . Радиус ускорителя равен R , величина индукции магнитного поля B . Определите время ускорения протона, входящего в центр ускорителя с кинетической энергией K . Временем движения протона между дуантами ускорителя пренебречь.

Электромагнитная индукция. Закон Фарадея.

25.1. Между рельсами железнодорожного пути включен вольтметр. Над ним с постоянной скоростью проходит поезд. Каковы будут показания вольтметра при приближении поезда, в момент нахождения поезда над вольтметром, при удалении поезда? Ширина колеи $L = 1,2$ м. Скорость поезда $V = 60$ км/час.

Вертикальная составляющая магнитного поля Земли на данной широте $B = 5,5 \cdot 10^{-5}$ Тл.

25.2. Самолет летит горизонтально, держа курс строго на север при западном ветре, имеющем скорость $u = 40$ м/с. Скорость самолета относительно воздуха $v = 720$ км/ч. Чему равна разность потенциалов между концами крыльев самолета, если размах его крыльев $L = 50$ м, а вертикальная составляющая магнитного поля Земли на данной широте $B = 5,5 \cdot 10^{-5}$ Тл?

25.3. Определить, на какую величину $\Delta\Phi$ изменился за время $\Delta t = 0,01$ с магнитный поток через площадь поперечного сечения катушки, имеющей $n = 2000$ витков, если средняя величина возникающей ЭДС индукции была $\varepsilon_i = 200$ В.

25.4. Какая ЭДС индуцируется в имеющей $n = 1000$ витков катушке, если за время $\Delta t = 0,05$ с магнитная индукция равномерно убывает от $B_1 = 0,5$ Тл до $B_2 = 0,1$ Тл? Площадь поперечного сечения катушки $S = 2$ см².

25.5. В однородном магнитном поле расположен проволочный виток площадью $S = 100$ см² с сопротивлением $R = 0,5$ Ом. Нормаль к плоскости витка составляет угол $\alpha = 60^\circ$ с вектором индукции магнитного поля. За время $\tau = 0,5$ с индукция поля увеличивалась равномерно от $B_1 = 0,1$ Тл до $B_2 = 0,6$ Тл. Найти количество теплоты, которое выделилось в витке за это время.

25.6. Проволочное кольцо диаметром d , имеющее сопротивление R , помещено в переменное однородное магнитное поле, перпендикулярное его плоскости. Магнитная индукция нарастает линейно за время t_1 от нуля до значения B , затем линейно уменьшается до нуля за время t_2 . Какое количество теплоты выделится в кольце?

25.7. Круглый проволочный виток, имеющий площадь S и сопротивление R , помещен в однородное магнитное поле с индукцией B , перпендикулярное плоскости витка.

Какой заряд протечет по проволоке, если плоскость витка повернуть на угол α ?

25.8. Круглая рамка диаметром D с числом витков n помещена в однородное магнитное поле с индукцией B , перпендикулярное плоскости рамки. Какой заряд протечет по рамке, если ее повернуть на 180° ? Проволока, из которой сделана рамка, имеет площадь сечения S и удельное сопротивление ρ .

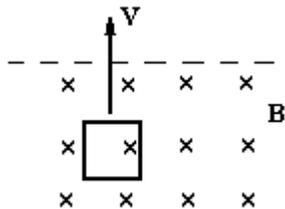
25.9. Четыре одинаковые проволочки длиной L каждая, связанные на концах шарнирами, образуют квадрат. Этот квадрат помещен в однородное магнитное поле индукции B , перпендикулярное его плоскости. Противоположные вершины проволочного квадрата растягиваются до тех пор, пока он не складывается. Какой заряд протечет при этом через гальванометр, соединенный последовательно с одной из проволок, если сопротивление каждой проволочки равно R ?

25.10. В однородном поле с индукцией $B = 1$ Тл расположен плоский проволочный виток площадью $S = 10^3$ см² и сопротивлением $R = 20$ Ом. Плоскость витка перпендикулярна линиям поля. Виток замкнут на гальванометр. При повороте витка через гальванометр протекает заряд $q = 7,5 \cdot 10^{-3}$ Кл. На какой угол повернули виток?

25.11. Прямоугольная рамка из провода, имеющая сопротивление $R = 1$ Ом, равномерно вращается в однородном магнитном поле с индукцией $B = 1$ Тл. Ось вращения лежит в плоскости рамки и перпендикулярна линиям индукции. Площадь рамки $S = 100$ см². Найти силу тока в рамке как функцию времени, если при $t = 0$ нормаль к рамке параллельна магнитному полю. Какой заряд протечет через рамку за время поворота ее на угол $\alpha = 60^\circ$?

25.12. Прямоугольная рамка, изготовленная из тонкой проволоки, помещена в магнитное поле, линии индукции которого перпендикулярны плоскости рамки. Рамку поворачивают вокруг одной из ее сторон на 180° с постоянной угловой скоростью ω . При этом через рамку протекает заряд Q , а максимальный момент сил, действовавший на нее со стороны магнитного поля, равен M . Найдите сопротивление рамки, пренебрегая ее индуктивностью.

25.13. Квадратная проволочная рамка со стороной $L = 0,2$ м вытягивается из магнитного поля с постоянной скоростью $V = 2$ см/с под действием постоянной силы. Индукция поля равна $B = 1,4$ Тл, поле имеет резко очерченную границу. Какое ускорение приобретет рамка, когда выйдет за границу поля?



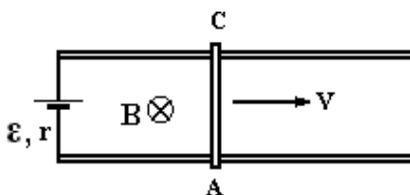
Масса рамки $m = 10$ г, сопротивление рамки $R = 2$ Ом.

25.14. «Эффект Холла». По металлической ленте ширины d течет ток величины I . Лента находится в магнитном поле с индукцией B . Направление поля перпендикулярно плоскости ленты. Найдите разность потенциалов между краями ленты. Толщина ленты h , концентрация носителей тока равна n .

25.15. В простейшей схеме магнитного гидродинамического генератора (МГД) плоский конденсатор с площадью пластин S и расстоянием между ними d помещен в поток проводящей жидкости с удельной проводимостью σ . Жидкость движется с постоянной скоростью V параллельно пластинам. Конденсатор находится в магнитном поле индукции B , направленном перпендикулярно скорости жидкости и параллельно плоскостям пластин. Какая мощность выделяется во внешней цепи, имеющей сопротивление R ?

25.16.* Диэлектрическая жидкость (относительная диэлектрическая проницаемость ϵ) протекает между пластинами изолированного плоского конденсатора со скоростью V . Система находится в магнитном поле с индукцией B , направленном перпендикулярно скорости жидкости и параллельно обкладкам. Определить напряжение между обкладками конденсатора. Расстояние между обкладками d .

25.17. На горизонтальных рельсах с подключенным к ним источником тока расположен проводник AC длиной $L = 10$ см, способный скользить по рельсам без



трения. Вся система находится в однородном магнитном поле, индукция которого направлена вертикально и равна $B = 0,1$ Тл.

ЭДС источника тока $\epsilon = 0,4$ В, его внутреннее сопротивление $r = 0,2$ Ом.

Найти тепловую мощность, выделяемую в проводнике AC при его движении вправо с постоянной скоростью $V = 10$ м/с.

Сопротивление $R_{AC} = 0,1$ Ом, сопротивление остальных проводников пренебрежимо мало.

25.18. На горизонтальных рельсах с подключенным к ним источником тока расположен проводник АС, способный скользить по рельсам без трения. Вся система находится в однородном магнитном поле, индукция которого направлена вертикально (рис. к задаче **25.17**).

Если проводник АС удерживать в покое, то по цепи течет ток $I_0 = 1,6$ А. Если проводник предоставить самому себе, он начнет двигаться и приобретет скорость, установившееся значение которой $V_0 = 3,6$ м/с.

Какой ток будет протекать в цепи, если проводник перемещать в том же направлении со скоростью $V = 5,2$ м/с? Сопротивлением рельсов пренебречь.

25.19. На горизонтальных рельсах с подключенным к ним источником тока расположен проводник АС длиной $L = 10$ см, способный скользить по рельсам без трения. Вся система находится в однородном магнитном поле, индукция которого направлена вертикально и равна $B = 0,1$ Тл.

Внутреннее сопротивление источника тока $r = 0,2$ Ом, сопротивление $R_{AC} = 0,1$ Ом, сопротивление остальных проводников пренебрежимо мало (рис. к задаче **25.17**).

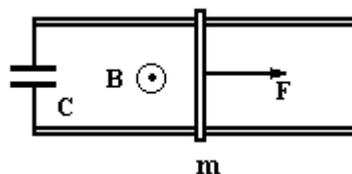
Найти ток в цепи при движении проводника АС со скоростью $V_1 = 10$ см/с вправо, если при движении его в том же направлении со скоростью $V_2 = 40$ см/с ток в цепи отсутствует.

25.20. На горизонтальных рельсах с подключенным к ним источником тока расположен проводник АС длиной $L = 10$ см, способный скользить по рельсам без трения. Вся система находится в однородном магнитном поле, индукция которого направлена вертикально и равна $B = 0,1$ Тл (рис. к задаче **25.17**).

ЭДС источника тока $\varepsilon = 0,5$ В, его внутреннее сопротивление $r = 2$ Ом. Сопротивление всех частей контура пренебрежимо мало.

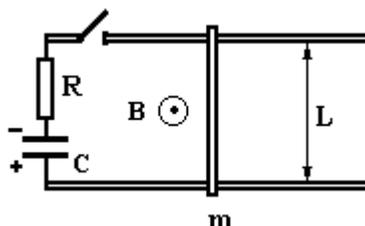
Какую силу нужно приложить к проводнику АС, чтобы перемещать его вправо с постоянной скоростью $V = 10$ м/с?

25.21. По двум металлическим параллельным рейкам, расположенным в горизонтальной плоскости на расстоянии L друг от друга и замкнутым на конденсатор емкости C , может без трения двигаться проводник массой m .



Вся система находится в однородном магнитном поле с индукцией B , направленном вертикально вверх. К середине проводника параллельно рейкам приложена сила F . Определить ускорение подвижного проводника, считая сопротивление всех элементов системы достаточно малым.

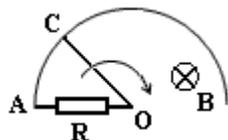
25.22. К концам параллельных рельсов, закрепленных на горизонтальной плоскости на расстоянии L друг от друга, подсоединяют через резистор R предварительно заряженный до напряжения U_0 конденсатор емкостью C .



На рельсах лежит перемычка массой m , которая может скользить по ним без трения. Вся система находится в однородном вертикальном магнитном поле с индукцией B . Найти установившуюся скорость движения перемычки, считая сопротивление всех элементов системы малым по сравнению с сопротивлением резистора.

25.23. Два металлических стержня расположены вертикально и замкнуты сверху проводником. По этим стержням без трения и нарушения контакта скользит перемычка длиной L и массой m . Вся система находится в однородном магнитном поле с индукцией B , перпендикулярном плоскости рамки. Установившаяся скорость падения перемычки равна V . Найти сопротивление перемычки. Остальные части рамки обладают пренебрежимо малым сопротивлением. Индуктивность рамки пренебрежимо мала.

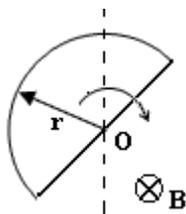
25.24. Проволочное полукольцо радиуса $r = 10$ см находится в однородном магнитном поле с индукцией $B = 1$ Тл. Вектор \mathbf{B} перпендикулярен к плоскости полукольца.



Центр полукольца соединен с ним двумя проводниками, один из которых (АО) неподвижен и содержит сопротивление $R = 0,25$ Ом, а другой (ОС) поворачивают вокруг точки О с угловой скоростью $\omega = 10$ рад/с. Сопротивление проводников пренебрежимо мало.

Найти силу тока в контуре АСОА.

25.25. Контур, ограничивающий полуокруг радиусом $r = 0,1$ м. находится на границе однородного магнитного поля с индукцией $B = 0,1$ Тл. Контур вращают с постоянной угловой скоростью $\omega = 100$ с⁻¹ вокруг оси О, перпендикулярной плоскости рисунка.

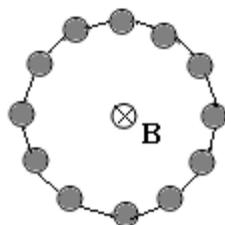


Сопротивление контура $R = 0,3$ Ом. Найти количество тепла, выделяющегося в контуре за один оборот.

25.26. В однородное магнитное поле с индукцией B помещено металлическое кольцо радиусом L , причем его ось совпадает с направлением поля. От центра к кольцу отходят два стержня, имеющие контакт между собой и с кольцом. Один стержень неподвижен, а другой равномерно вращается с угловой скоростью ω . Найти ток, идущий через стержни, если сопротивление каждого из них R . Сопротивлением кольца пренебречь.

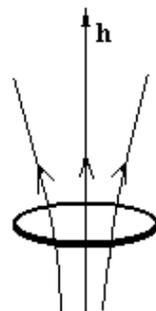
25.27. По тонкому диэлектрическому кольцу массой $m = 1$ г, лежащему на гладкой горизонтальной плоскости, равномерно распределен заряд $Q = 10^{-7}$ Кл. Кольцо находится в однородном вертикальном магнитном поле с индукцией $B = 10$ Тл. Найти угловую скорость, которую приобретет кольцо после выключения магнитного поля.

25.28.* На гладкой горизонтальной плоскости лежат N маленьких одинаково заряженных шариков равной массы. Суммарный заряд шариков Q , суммарная масса M . Шарики связаны друг с другом непроводящей легкой нерастяжимой нитью,



образуя кольцо. Длина нити между соседними шариками равна l . Система находится в вертикальном магнитном поле B , причем суммарный поток магнитной индукции, пронизывающий кольцо, равен Φ_0 . Изначально все шарики покоятся. В некоторый момент магнитное поле выключают. Найдите изменение силы натяжения нити после выключения магнитного поля.

25.29.* В аксиально-симметричном магнитном поле, вертикальная составляющая которого убывает с высотой h по закону $B_h = (1 - kh)B_0$, с достаточно большой высоты падает тонкое кольцо так, что его ось все время совпадает с осью симметрии поля.



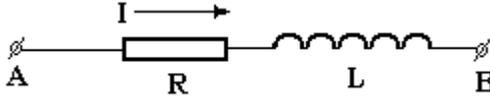
Масса кольца m , диаметр D , сопротивление R . Найти установившуюся скорость падения кольца.

Самоиндукция. Индуктивность. Энергия магнитного поля.

25.30. Какова индуктивность катушки, если за промежуток времени $\Delta t = 0,5$ с ток в цепи изменился от $I_1 = 10$ А до $I_2 = 5$ А, а возникшая при этом ЭДС самоиндукции $\varepsilon_{si} = 25$ В?

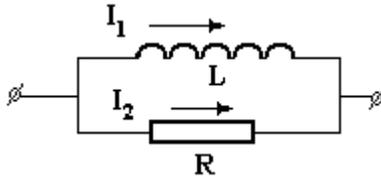
25.31. Катушка с индуктивностью $L = 0,01$ Гн замкнута на сопротивление $R = 20$ Ом и находится в переменном магнитном поле. За небольшой промежуток времени создаваемый этим полем магнитный поток увеличился на $\Delta\Phi = 0,001$ Вб, при этом ток в катушке возрос на $\Delta I = 0,05$ А. Какой заряд прошел за это время по катушке?

25.32. В некоторой цепи имеется участок АВ, сопротивление которого $R = 0,1 \text{ Ом}$, а индуктивность $L = 0,01 \text{ Гн}$. Ток в цепи изменяется по закону $I(t) = kt$, $k = 2 \text{ А/с}$. Найти разность потенциалов между точками А и В как функцию времени.

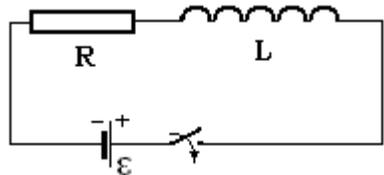


25.33. В цепи (рис. к задаче 25.32) $R = 0,1 \text{ Ом}$, $L = 0,02 \text{ Гн}$. В некоторый момент времени $\varphi_A - \varphi_B = 0,1 \text{ В}$ и ток увеличивается со скоростью 3 А/сек . Какова величина тока в этот момент?

25.34. В некоторой цепи имеется участок, показанный на рисунке. Зная, что $R = 2 \text{ Ом}$, $L = 0,001 \text{ Гн}$ и ток I_1 возрастает от нуля со скоростью 2 А/с , найдите ток I_2 .



25.35. В цепи, показанной на рисунке, $L = 0,01 \text{ Гн}$, $R = 20 \text{ Ом}$, $\varepsilon = 10 \text{ В}$, внутреннее сопротивление источника равно нулю.



С какой скоростью начнет возрастать ток, если замкнуть цепь?

С какой скоростью изменяется ток в тот момент, когда сила тока достигает значения $I_1 = 0,3 \text{ А}$?

25.36. По катушке протекает постоянный ток, создающий магнитное поле. Энергия этого магнитного поля равна $0,5 \text{ Дж}$, а магнитный поток через катушку равен $0,1 \text{ Вб}$. Найти величину тока.

25.37. Конденсатор, заряженный до напряжения U , разряжается через катушку, индуктивность которой равна L , а сопротивление равно нулю. Емкость конденсатора C . Найти максимальный ток в катушке.

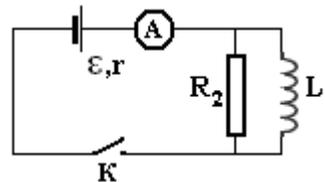
25.38. Конденсатор емкостью $C = 2 \cdot 10^{-5}$ Ф, заряженный до напряжения $U_0 = 1000$ В, разряжается через катушку с индуктивностью $L = 4$ мГн и резистор. Через некоторое время конденсатор разрядился до напряжения $U = 600$ В, а ток в катушке достиг величины $I = 20$ А. Какое количество тепла выделилось к этому времени на резисторе?

25.39. К источнику тока с ЭДС $\varepsilon = 12$ В подключают соединенные параллельно катушку индуктивностью $L = 2,5$ Гн и сопротивление $R = 16$ Ом. Внутреннее сопротивление источника и сопротивление обмотки катушки пренебрежимо малы. Какую работу совершит источник тока к тому моменту, когда в сопротивлении выделится $W = 1,5$ Дж тепла?

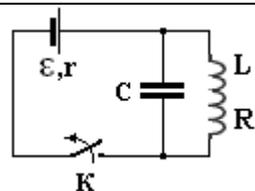
25.40. К идеальной катушке, зашунтированной резистором сопротивлением R , подключают на время τ источник с ЭДС ε и малым внутренним сопротивлением, а затем отключают его. При этом за время подключения источника и после его отключения в резисторе выделяется одинаковое количество теплоты. Найдите индуктивность катушки.

25.41. 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.

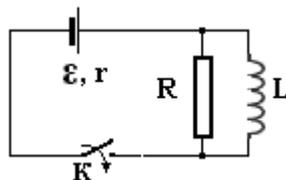


25.42. В схеме, показанной на рисунке, ключ K долгое время был замкнут. Найдите максимальное количество теплоты, которое может выделиться в катушке после размыкания ключа.



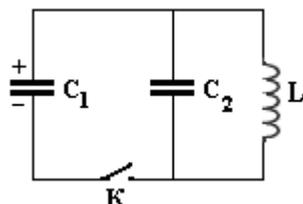
Параметры элементов схемы указаны на рисунке.

25.43. Параллельно соединенные катушка индуктивности L и резистор с сопротивлением R подключены через ключ K к батарее, ЭДС которой ε и внутреннее сопротивление r .

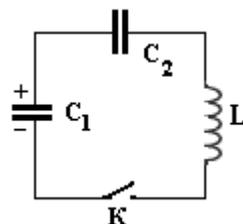


В начальный момент времени ключ K разомкнут и тока в цепи нет. Какой заряд протечет через резистор после замыкания ключа? Сопротивлением катушки пренебречь.

25.44.* Два одинаковых конденсатора, емкость каждого из которых равна C , и катушка индуктивности L соединены так, как показано на рисунке. В начальный момент ключ разомкнут, конденсатор C_1 заряжен до напряжения U , а конденсатор C_2 не заряжен. Чему равен максимальный ток в катушке после замыкания ключа?

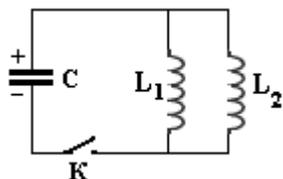


25.45.* Конденсатор электроемкостью C_1 первоначально заряжен до напряжения U , а конденсатор электроемкостью C_2 не заряжен. Каким будет максимальное значение силы тока в катушке индуктивности L после замыкания ключа?

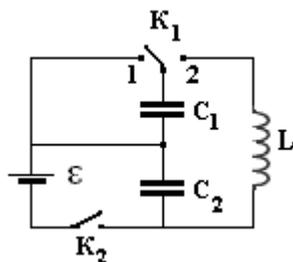


До какого максимального напряжения может зарядиться конденсатор C_2 в процессе возникающих в цепи колебаний?

25.46. Конденсатор емкости C , заряженный до разности потенциалов U , через ключ K подключен к двум параллельно соединенным катушкам с индуктивностями L_1 и L_2 . Если замкнуть ключ K , то через некоторое время конденсатор полностью перезарядится (напряжение на конденсаторе поменяет знак). Какие заряды q_1 и q_2 протекут через катушки за это время?



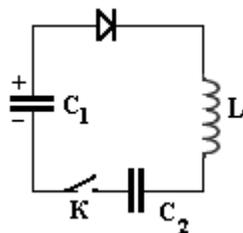
25.47. В схеме, приведенной на рисунке, ключ K_1 первоначально находился в положении **1**, а ключ K_2 был замкнут. Затем ключ K_2 разомкнули, а ключ K_1 перевели в положение **2**. Пренебрегая сопротивлением всех проводников и батареи, определить



максимальную силу тока через катушку индуктивности.

Параметры элементов схемы приведены на рисунке.

25.48.* Конденсатор емкости C_1 заряжен до разности потенциалов U_0 . К нему через идеальный диод и катушку индуктивности подключают незаряженный конденсатор емкости C_2 . До какой разности потенциалов он зарядится после замыкания ключа K ?



Индуктивность L достаточно велика, так что процесс перезарядки происходит медленно.

$C_1 = 1 \text{ мкФ}$, $C_2 = 2 \text{ мкФ}$, $U_0 = 300 \text{ В}$.

КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ

Механические колебания

26.1. Найдите массу груза, прикрепленного к пружине жесткостью 250 Н/м, если он совершает 20 колебаний за 16 с.

26.2. Математический маятник длиной 1 м толчком выводят из положения равновесия, после чего он совершает колебания с амплитудой 2 см. Найти тангенциальное ускорение маятника в крайних положениях и в положении равновесия. Полагая начальную фазу равной нулю, найдите, при каких значениях фазы смещение по модулю равно половине амплитуды? Сравните время прохождения маятником первой и второй половин амплитуды.

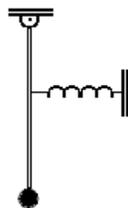
26.3. Шарик массой m , подвешенный на длинной нити, совершает колебания. Как изменится частота колебаний, если шарiku сообщить положительный заряд q и поместить его в однородное электрическое поле напряженностью E , силовые линии которого направлены вертикально вниз?

26.4. Груз массой 400 г, закрепленный на пружине с жесткостью 250 Н/м, совершает колебания вдоль горизонтальной оси. Амплитуда колебаний 15 см. Найти полную механическую энергию колебаний и наибольшую скорость движения груза.

26.5. Пружинный маятник вывели из положения равновесия и отпустили. Через какое время кинетическая энергия колеблющегося тела будет равна потенциальной энергии пружины, если период колебаний равен T ?

26.6. Материальная точка массой m колеблется с частотой ν и амплитудой A . Найти зависимость потенциальной и кинетической энергии точки от времени: $U(t)$ и $K(t)$. Нарисовать соответствующие графики.

26.7. Чему равна частота малых колебаний маятника в виде груза массы m на легком стержне длины L , если на расстоянии a от оси к стержню прикрепили горизонтальную пружину жесткости k ?



26.8. Когда массивный груз неподвижно висел на легкой вертикальной пружине, ее удлинение было равно $x_0 = 5$ см. Затем груз оттянули и отпустили, вследствие чего он начал колебаться. Каков период этих колебаний?

26.9. Груз массы m висит на пружине жесткостью k . После выведения из положения равновесия он совершает колебания. Найдите амплитуду этих колебаний, если максимальное значение скорости груза равно V_m .

26.10. Математический маятник совершает гармонические колебания, при которых максимальный угол отклонения нити от вертикали равен α_0 . Найти угол φ между вектором ускорения грузика и нитью после прохождения маятником положения равновесия по прошествии промежутка времени, составляющего $1/8$ часть периода колебаний.

26.11. Математический маятник длиной $L = 0,4$ м отклонили от положения равновесия на малый угол $\alpha_0 = 0,1$ рад и отпустили без начальной скорости. Найдите максимальное значение $|V_y|_{\max}$ вертикальной составляющей скорости маятника в процессе колебаний.

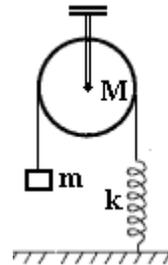
26.12.* Тонкий стержень длины L и массы m подвесили за концы на двух одинаковых легких нерастяжимых нитях в вертикальном магнитном поле с индукцией B . Затем через стержень пропустили заряд q столь быстро, что за это время стержень практически не сместился из положения равновесия. Зная, что максимальная высота поднятия стержня много меньше длины нитей H , найти максимальную вертикальную составляющую его скорости после прохождения заряда.

26.13. На горизонтальной платформе лежит груз, коэффициент трения которого о платформу $\mu = 0,2$. Платформа совершает гармонические колебания в своей плоскости с частотой $\nu = 2$ Гц и амплитудой $A = 1$ см. Будет ли груз скользить по платформе?

26.14. Груз связан с пружиной посредством нити. Может ли он совершать вертикальные гармонические колебания с амплитудой 2 см и частотой 5 Гц?



26.15. На рисунке изображена механическая система, состоящая из груза массы m , пружины с коэффициентом упругости k и блока массы M . Груз посредством нити, перекинутой через блок, связан с пружиной.



Найти период малых колебаний груза, если блок представляет собой однородный диск.

При каких значениях амплитуды колебания груза будут гармоническими?

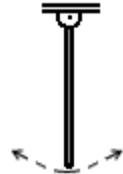
26.16. Кубик совершает малые колебания в вертикальной плоскости, двигаясь без трения по внутренней поверхности сферической чаши. Определить период колебаний кубика, если внутренний радиус чаши R , а ребро кубика много меньше R .

26.17. Обруч радиуса r может кататься без проскальзывания по внутренней поверхности цилиндра радиуса R в плоскости, перпендикулярной оси цилиндра. Найти период малых колебаний обруча.

26.18. Метроном представляет собой легкий стержень, на нижнем конце которого на расстоянии L от оси находится груз массой M . Выше оси подвижный грузик массой m можно фиксировать на стержне на разных расстояниях x от оси, тем самым подбирая нужную частоту колебаний. Считая массы точечными, найдите, как частота колебаний зависит от x .

26.19. Найти период малых колебаний физического маятника в виде однородного стержня, закрепленного шарнирно в точке подвеса.

Масса стержня m , длина L .



26.20. Предположим, что удалось вырыть шахту, пронизывающую земной шар по одному из его диаметров. За какое время тело, брошенное в эту шахту, достигнет центра Земли? Сопротивление воздуха отсутствует.

26.21.* 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 $\rho = 3 \text{ г/см}^3$.

26.22. Доска массы m лежит на двух катках, вращающихся с большой скоростью навстречу друг другу.

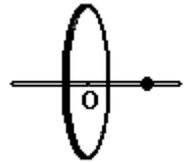


Расстояние между осями катков L , коэффициент трения при скольжении доски по катку μ . Найти частоту колебаний доски.

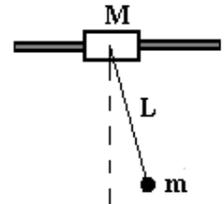
26.23. Вертикальный поршень массой m делит цилиндр с газом на две равные части. Давление газа в цилиндре равно P_0 . Найти частоту малых колебаний поршня, считая процесс изотермическим. Длина цилиндра $2d$, площадь основания S .

26.24. В U-образную трубку постоянного сечения, колена которой расположены вертикально, налили $m = 50$ г воды. Найдите период колебаний жидкости в трубке, возбуждаемых наибольшим смещением уровней от положения равновесия. Площадь поперечного сечения трубки $S = 1 \text{ см}^2$. Трением жидкости о стенки трубки пренебречь.

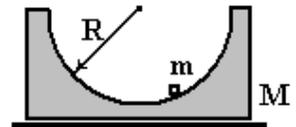
26.25. По тонкому непроводящему кольцу радиуса $R = 10$ см равномерно распределен заряд $Q = + 1 \cdot 10^{-7}$ Кл. Кольцо закреплено в вертикальной плоскости. Перпендикулярно плоскости кольца через его центр проходит тонкий непроводящий стержень. По стержню может скользить без трения маленькая бусинка массой $m = 1$ г, несущая заряд $q = - 1 \cdot 10^{-8}$ Кл. Бусинку смещают на малое расстояние от центра кольца и отпускают. Найдите период возникших колебаний бусинки.



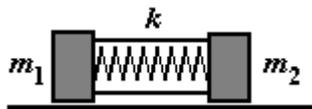
26.26. Ползунок массы M может скользить без трения по горизонтальному рельсу. К ползунку на нити длиной L прикреплен маленький шарик массы m . Найти период малых колебаний системы.



26.27. Сферическая чашка, имеющая радиус $R = 8$ см и массу $M = 200$ г, покоится на гладкой горизонтальной поверхности. По внутренней поверхности чашки может скользить без трения маленький кубик. Найдите период малых колебаний системы. Масса кубика $m = 20$ г.



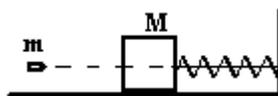
26.28. Два бруска, массы которых равны m_1 и m_2 , связаны пружиной жесткости k . Пружина сжата при помощи двух нитей, как показано на рисунке. Нити пережигают. Определить период колебаний брусков.



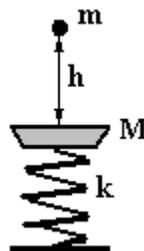
26.29. Два одинаковых груза массой m соединены пружиной жесткостью k . В начальный момент первый груз прижат вплотную к стенке, а второй груз удерживается упором, при этом пружина сжата на величину x_0 . Как будут двигаться грузы, если упор убрать? Найдите частоту колебаний, величину максимальной деформации пружины и максимальные и минимальные значения скорости каждого груза во время движения.



26.30. На абсолютно гладкой горизонтальной поверхности лежит куб массой M , связанный пружиной с вертикальной стенкой. Осевая линия пружины проходит через середины противоположных сторон куба. Пуля массы m , летящая вдоль этой линии, попадает в середину стороны куба и застревает в нем. В системе возникают колебания с периодом T и амплитудой A . Чему была равна скорость пули перед ударом?



26.31. В середину чашечки, прикрепленной снизу к вертикальной пружине, попадает падающий с высоты h пластилиновый шарик. Масса чашечки равна M , масса шарика - m , жесткость пружины равна k (пружина невесома). Найдите амплитуду колебаний и максимальную деформацию пружины в процессе колебаний.



26.32.* На прикрепленную нижним концом к столу стоящую вертикально невесомую пружину положили чашку с песком общей массой M . После выведения из положения равновесия чашка совершает колебания с амплитудой A и периодом T . Когда чашка находилась на максимальной высоте, с нее резко сбросили часть песка, после чего колебания чашки сразу прекратились. Сколько песка сбросили с чашки?

26.33. Шайба, скользящая по гладкому льду, попадает на участок, неравномерно посыпанный мелким песком. Коэффициент трения шайбы по мере ее удаления на расстояние x от границы участка возрастает по закону $\mu = kx$. Сколько времени шайба будет двигаться по песку? Размеры шайбы значительно меньше пройденного ею пути.

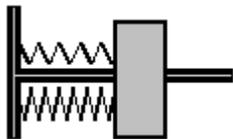
26.34.* На гладком горизонтальном столе лежат три одинаковых груза малых размеров массой m каждый, соединенные тремя легкими одинаковыми пружинами жесткостью k . Грузы с пружинами образуют правильный треугольник. Грузы смещают от положений равновесия так, чтобы удлинения всех пружин были одинаковы. После этого грузы отпускают. Считая, что оси пружин остаются прямолинейными, найдите период малых колебаний системы.

26.35. Коробка массы M стоит на горизонтальном столе. Коэффициент трения между столом и коробкой равен μ . Внутри коробки лежит тело массы m , которое может без трения двигаться по дну коробки.

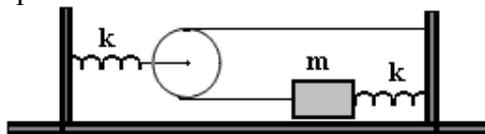


Оно прикреплено к стенке коробки пружиной жесткости k . При какой амплитуде колебаний тела коробка начнет двигаться по столу?

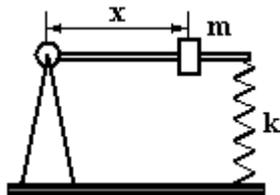
26.36. Две пружины жесткостью k_1 и k_2 присоединены одним концом к вертикальной стене, другим - к грузу массы m , надетому на гладкий горизонтальный стержень. В начальный момент пружину жесткостью k_1 растягивают на величину L_1 , а пружину жесткостью k_2 сжимают на величину L_2 , после чего груз m отпускают. Найти амплитуду и период колебаний груза. Трением пренебречь.



26.37. В системе, изображенной на рисунке, пружины имеют одинаковую жесткость k и сильно растянуты. Найдите период колебаний бруска массой m . Массой блока, нитей, пружин и трением пренебречь.



26.38. Невесомая штанга длиной L одним концом закреплена в идеальном шарнире, а другим опирается на пружину жесткостью k . Найдите зависимость периода колебаний штанги от положения на ней груза массой m .



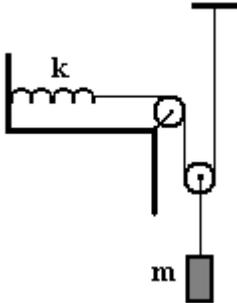
26.39.* Брусок, лежащий на горизонтальном столе, прикреплен к стене пружиной. Если подвесить брусок на этой пружине, то она растянется на $a = 10$ см.

Вначале пружина недеформирована. Затем брусок отводят от стены на расстояние $A = 4,8$ см и отпускают. Через некоторое время колебания прекращаются и брусок останавливается. Найдите, на каком расстоянии от первоначального положения остановится брусок.

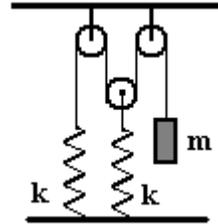
Коэффициент трения между бруском и столом $\mu = 0,1$.

26.40. Найти период малых вертикальных колебаний груза массы m в системах, изображенных на рисунке. Пружины, нити и блоки невесомы, нити нерастяжимы.

а)



б)



Свободные электрические колебания. Колебательный контур.

27.1. В контуре с индуктивностью L и емкостью C совершаются свободные незатухающие колебания. Зная, что максимальное напряжение на конденсаторе равно U_{\max} , найти максимальный ток в этом контуре.

27.2. В колебательном контуре емкость конденсатора равна 2 мкФ , а максимальное напряжение на нем 10 В . Найти энергию магнитного поля в тот момент, когда напряжение на конденсаторе равно 6 В . Принять $R \approx 0$.

27.3. Через какую долю периода после начала разряда конденсатора энергия в контуре распределена между конденсатором и катушкой поровну?

27.4. Если в колебательном контуре в моменты максимального напряжения на конденсаторе резко раздвигать пластины и возвращать их в исходное положение, когда напряжение на конденсаторе проходит через нуль, то электрические колебания в контуре затухать не будут. Объясните, почему это происходит.

27.5. Индуктивность колебательного контура 500 мкГн. Требуется настроить этот контур на частоту 1,0 МГц. Какую емкость следует выбрать?

27.6. Как изменится период свободных колебания в контуре, если:

- а) уменьшить расстояние между пластинами конденсатора?
- б) вывести стальной сердечник из катушки индуктивности?

27.7. В колебательном контуре напряжение на обкладках конденсатора емкостью $C = 2,6 \cdot 10^{-2}$ мкФ изменяется по закону $U(t) = 10 \cos(2 \cdot 10^3 \pi t)$ (в единицах СИ). Определите: период колебаний, индуктивность контура, зависимость силы тока от времени, энергию колебаний в контуре.

27.8. Колебательный контур составлен из дросселя с индуктивностью 0,2 Гн и конденсатора с емкостью 10^{-5} Ф. В тот момент, когда напряжение на конденсаторе равно 1 В, ток в контуре равен 0,01 А. Каков максимальный ток в этом контуре? Каков заряд конденсатора в момент, когда ток равен 0,005 А?

27.9. Колебательный контур состоит из катушки индуктивностью 0,2 Гн и конденсатора емкостью 10^{-5} Ф. Конденсатор зарядили до напряжения 2 В, после чего он начал разряжаться. Каким будет ток в тот момент, когда энергия конденсатора окажется поровну распределенной между электрическим и магнитным полем?

27.10. В колебательном контуре происходят свободные колебания. Зная, что максимальный заряд конденсатора равен 10^{-6} Кл, а максимальный ток равен 10А, найти длину волны, на которую настроен контур.

27.11. Колебательный контур состоит из катушки индуктивностью L и конденсатора емкостью C . Найти среднюю за период колебаний силу притяжения обкладок конденсатора друг к другу, если амплитуда колебаний тока в контуре равна I_0 . Площадь обкладок конденсатора S .

27.12. Колебательный контур, настроенный на длину волны $\lambda = 300$ м, имеет индуктивность $L = 0,2$ Гн и омическое сопротивление $R = 2$ Ом. На сколько процентов уменьшается энергия этого контура за время одного колебания? (На протяжении одного колебания ток можно считать синусоидальным)

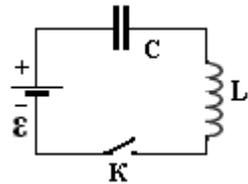
27.13. Колебательный контур содержит конденсатор электроемкостью 10 мкФ и катушку с индуктивностью 0,4 Гн и сопротивлением 2,0 Ом. Найдите период свободных колебаний и добротность контура.

27.14. В последовательной цепи, составленной из резистора, идеальной катушки индуктивности и конденсатора, увеличили в 10 раз активное сопротивление резистора, индуктивность катушки и электроемкость конденсатора. Как при этом изменилась добротность контура?

27.15. Колебательный контур подключен к источнику гармонического напряжения, частота которого равна собственной частоте контура. Найти среднюю мощность, потребляемую контуром от источника, если амплитуда напряжения на конденсаторе остается практически неизменной и равной $U_0 = 20$ В. $C = 0,1$ мкФ, $L = 10$ мкГн, $R = 0,05$ Ом.

27.16.* В электрической цепи, состоящей из соединенных последовательно резистора сопротивлением R , катушки с индуктивностью L и конденсатора электроемкостью C , происходят затухающие колебания. За некоторое время амплитуда колебаний силы тока в цепи уменьшилась от I_1 до I_2 . Какое количество теплоты выделилось за это время на резисторе, если затухание связано только с потерями энергии на нагревание резистора?

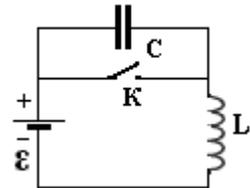
27.17. К соединенным последовательно катушке индуктивности L и конденсатору емкости C через ключ K подключили батарею с постоянной ЭДС, равной ε .



В начальный момент времени ключ K разомкнут, конденсатор не заряжен. Определить максимальную величину заряда на конденсаторе и максимальную величину тока в цепи после замыкания ключа K .

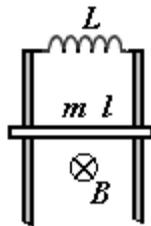
Омическим сопротивлением в цепи пренебречь.

27.18. В цепи, изображенной на рисунке, емкость конденсатора $C = 1$ мкФ, индуктивность катушки $L = 12,5$ мГн, ЭДС источника $\varepsilon = 100$ В, его внутреннее сопротивление пренебрежимо мало. Первоначально ключ K разомкнут.



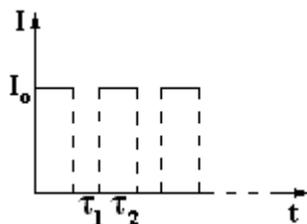
В некоторый момент, когда ток через катушку равен нулю, его замыкают на время $\tau = 1$ мс, а затем опять размыкают. До какого максимального напряжения сможет после этого зарядиться конденсатор?

27.17. Проводник массы m и длины l может скользить без трения по вертикальным рельсам, замкнутым сверху через катушку индуктивности L . Вся система находится в магнитном поле B , направленном, как показано на рисунке. Найти период и амплитуду колебаний перемычки, считая омическое сопротивление всех проводников пренебрежимо малым.

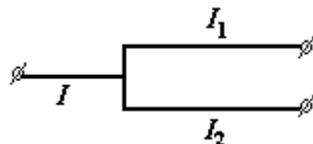


**Вынужденные электрические колебания. Переменный ток.
Резонанс в электрических цепях. Трансформатор.**

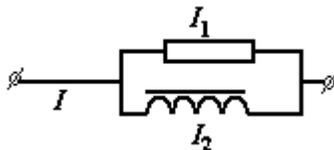
28.1. Ток в цепи изменяется по закону, показанному на рисунке. Каково эффективное значение этого тока?



28.2. Найдите, по какому закону изменяется ток $I(t)$, если $I_1(t) = 3 \sin \omega t$, $I_2(t) = 4 \cos \omega t$, а $I(t) = I_1(t) + I_2(t)$.



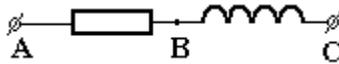
28.3. Найдите эффективное значение тока в неразветвленной части цепи, зная, что ток I_1 имеет эффективное значение 6 А, а ток I_2 - эффективное значение 8 А.



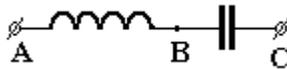
(Все токи меняются по гармоническому закону).

28.4. Измеряя сопротивление катушки, включенной в сеть переменного тока, нашли, что оно равно 110 Ом. Когда затем измерили сопротивление такой же катушки, но из провода с вдвое большим удельным сопротивлением, то при включении в ту же сеть оно оказалось равным 140 Ом. Каково омическое сопротивление первой катушки?

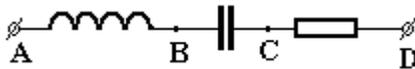
28.5. По участку ABC протекает синусоидальный ток. На участке AB эффективное напряжение равно 30 В, а на участке BC равно 40 В. Найти эффективное напряжение на участке AC.



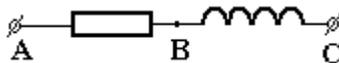
28.6. По участку ABC протекает синусоидальный ток. На участке AB эффективное напряжение равно 100 В, а на участке BC равно 20 В. Найти эффективное напряжение на участке AC.



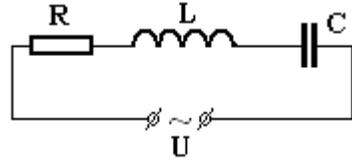
28.7. В цепи протекает синусоидальный ток. Зная, что эффективное напряжение $U_{AB} = 15$ В, эффективное напряжение $U_{BC} = 10$ В и эффективное напряжение $U_{CD} = 12$ В, найти эффективное напряжение на участке AD.



28.8. На участке ABC сдвиг фаз между током и напряжением равен 45° . Какой станет эта величина, если частота напряжения U_{AC} увеличится вдвое?

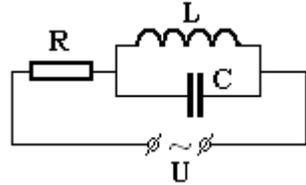


28.9. В цепи, показанной на рисунке, $R = 20 \text{ Ом}$, $L = 0,2 \text{ Гн}$, $C = 100 \text{ мкФ}$, $U = 75 \text{ В}$, частота переменного тока $f = 50 \text{ Гц}$. Найти



силу тока, разность фаз между напряжением и током, а также напряжение на каждом участке.

28.10. Найти токи, протекающие через элементы цепи, если на клеммы подается напряжение $U = 220 \text{ В}$, с частотой $\omega = 10^3 \text{ с}^{-1}$. Параметры элементов цепи: $L = 0,1 \text{ Гн}$, $R = 10 \text{ Ом}$, $C = 10 \text{ мкФ}$.



28.11. В сеть переменного тока с напряжением 220 В и частотой 50 Гц включены последовательно реостат и катушка с ничтожно малым активным сопротивлением, надетая на замкнутый стальной сердечник.

Найти сопротивление реостата и индуктивность катушки, если сила тока в цепи равна 1 А , и разность фаз между подведенным напряжением и током в цепи $\pi/4$.

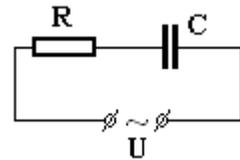
28.12. При подаче на катушку *постоянного* напряжения 15 В сила тока была равна $0,5 \text{ А}$. При подаче такого же *переменного* напряжения с частотой 50 Гц сила тока уменьшилась до $0,3 \text{ А}$.

Какова индуктивность катушки?

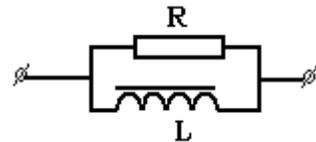
28.13. Плоский конденсатор заполнен проводящим диэлектриком с диэлектрической проницаемостью ϵ и удельным сопротивлением ρ . (Такой конденсатор называют конденсатором «с утечкой»). Через него течет переменный ток $I(t) = I_0 \cos \omega t$. Определить амплитуду напряжения на конденсаторе. Расстояние между пластинами d , площадь каждой пластины S .

28.14. Школьник, используя вольтметр, предназначенный для измерения как постоянного, так и переменного напряжений, обнаружил, что при подключении к розетке с обозначением «~220» вольтметр показывает напряжение $U_1 = 220$ В, а при подключении к аккумулятору - напряжение $U_2 = 100$ В. Какое напряжение покажет вольтметр, если соединить эти два источника последовательно?

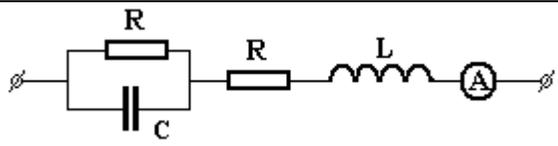
28.15. Найти мощность, поглощаемую в цепи, на которую подано переменное напряжение от городской сети ($U = 220$ В, $f = 50$ Гц). $C = 1$ мкФ, $R = 3$ кОм.



28.16. Найти потребляемую мощность, если цепь подключена к городской сети ($U = 220$ В, $f = 50$ Гц). $R = 1$ кОм, $L = 1$ Гн.

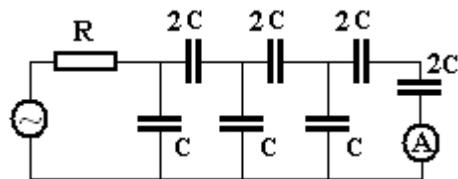


28.17. Цепь с параметрами R , C , L питается от городской сети, при этом



амперметр показывает силу тока I . Какая мощность выделяется в цепи?

28.18. Найти эффективное значение тока, текущего через амперметр, а также среднюю мощность, выделяющуюся в цепи,



изображенной на рисунке. Напряжение на клеммах источника меняется по закону $U = U_0 \sin \omega t$. $U_0 = 10$ В, $\omega = 10^4$ с⁻¹. $C = 1$ мкФ, $R = 50$ Ом, сопротивлением остальных участков цепи можно пренебречь.

28.19. В колебательный контур с параметрами R , C , L последовательно включен источник синусоидального переменного напряжения, частоту которого можно изменять.

Найдите, при какой частоте достигаются максимальные значения амплитуды колебаний

а) силы тока;

б) напряжения на обкладках конденсатора.

28.20. К генератору переменного электрического тока, частоту которого можно изменять, подключены последовательно резистор с сопротивлением $R = 10$ Ом, конденсатор емкостью $C = 0,5$ мкФ и дроссель с индуктивностью $L = 0,5$ Гн. Напряжение на выходе генератора $U = 100$ В. Найдите показания амперметра, включенного в эту цепь, при наступлении резонанса. На какой частоте наступает резонанс?

28.21. В последовательной цепи переменного тока, составленной из резистора сопротивлением R , конденсатора емкостью C и катушки индуктивностью L наблюдается резонанс. Чему равно действующее значение напряжения на конденсаторе, если действующее значение силы тока равно I ? Чему равно отношение амплитуды напряжения на конденсаторе к амплитуде приложенного напряжения?

28.22. В цепь переменного тока ($U = 220$ В, $\nu = 50$ Гц) включены последовательно конденсатор, нагрузка с сопротивлением $R = 10$ Ом и катушка с индуктивностью $L = 0,7$ Гн.

Рассчитайте емкость конденсатора, при которой возникает резонанс. Какова при этом сила тока и добротность цепи?

28.23. К участку последовательно соединенных элементов электрической цепи подведено напряжение U . Омическое сопротивление участка равно R , а сдвиг фаз между током и напряжением равен φ . Найдите мощность, выделяющуюся на этом участке цепи.

28.24. К генератору переменного напряжения подсоединяют цепь, состоящую из соединенных последовательно конденсатора и резистора. При этом сдвиг фаз между напряжением и током в цепи оказался равным $\varphi_1 = \arccos 0,6$. Каким будет сдвиг фаз, если к этому генератору подсоединить цепь из этих же элементов, соединенных параллельно?

28.25. В последовательной цепи переменного тока, составленной из резистора сопротивлением R , катушки индуктивностью L и конденсатора, емкость конденсатора может меняться, а остальные параметры цепи остаются неизменными.

Найдите, при каком значении емкости конденсатора в этой цепи выделяется максимальная мощность, и какова величина этой мощности, если цепь подключена к источнику переменного напряжения U с частотой ν .

28.26. Последовательно с электроплиткой в городскую сеть включили катушку индуктивности. При этом мощность плитки упала в 2 раза. Найдите индуктивность катушки. Рабочее сопротивление плитки $R = 50$ Ом. Активным сопротивлением катушки пренебречь.

28.27. Для определения числа витков в первичной обмотке трансформатора на его сердечник было намотано 10 витков провода, концы которого подключили к вольтметру. Определите число витков в первичной обмотке, если при подаче на нее переменного напряжения 220 В вольтметр, подключенный к катушке из 10 витков провода, показывает напряжение 1,46 В.

28.28. 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.

28.29. Число витков вторичной обмотки трансформатора N_2 вдвое больше числа витков первичной обмотки N_1 . Активное сопротивление первичной обмотки $R = 20$ Ом, а ее индуктивное сопротивление $X_L = 200$ Ом. На первичную обмотку подано переменное напряжение $U_1 = 100$ В. Определите напряжение на вторичной обмотке в режиме холостого хода. Как изменится напряжение на вторичной обмотке, если сердечник трансформатора заменить другим того же размера, но сделанным из материала с магнитной проницаемостью в 10 раз меньшей? Рассеянием магнитного потока и потерями в сердечнике можно пренебречь.

28.30. 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.

Волны

При решении задач данного раздела скорость звука в воздухе принять равной $c = 340$ м/с.

29.1. По поверхности воды в озере волна распространяется со скоростью 6 м/с. Каков период колебаний бакена, если расстояние между соседними гребнями волн равно 3 м?

29.2. Рыболов заметил, что за 10 секунд поплавок совершил на волнах 20 колебаний, а расстояние между соседними гребнями волн равно 1,2 м. Какова скорость распространения волн?

29.3. Расстояние между гребнями волн в море 5 м. При встречном движении катера волна за 2 с ударяет о корпус катера 4 раза, а при попутном - 2 раза. Найти скорости катера и волны, если известно, что скорость катера больше скорости волны.

29.4. Уравнение бегущей волны имеет вид:

$$y(x,t) = y_0 \sin (Ax - Bt).$$

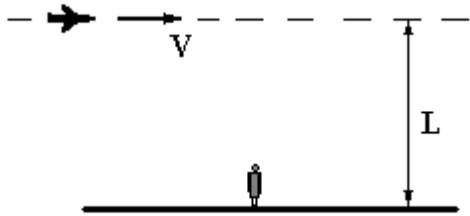
С какой скоростью распространяется волна? Чему равна длина волны?

29.5. На поверхности воды со скоростью 2,4 м/с распространяется волна с частотой колебаний 2 Гц. Какова разность фаз в точках, лежащих на одном луче и отстоящих друг от друга на 10, 60, 90, 120 и 140 см?

29.6. Движение некоторой точки плоской волны описывается уравнением $u(t) = 0,05 \cos 2\pi t$. Написать уравнения движения точек, лежащих на луче, вдоль которого распространяется волна, и отстоящих от заданной на 15 см и 30 см. Скорость распространения волны 0,6 м/с.

29.7. Какую форму имеет фронт ударной волны, возникающей в воздухе при полете пули со скоростью, превышающей скорость звука?

29.8. Реактивный самолет пролетел со скоростью $V = 500$ м/с на расстоянии $L = 6$ км от человека. На каком расстоянии от человека был самолет, когда человек услышал его звук?



29.9. Воду, текущую по водопроводной трубе с площадью сечения $S = 5 \text{ см}^2$ со скоростью $V = 2$ м/с, быстро перекрывают жесткой заслонкой. Определите силу, действующую на заслонку при остановке воды, если скорость звука в воде $c = 1,4$ км/с.

29.10. При прохождении короткой волны продольного сжатия частицы среды в некотором сечении стержня сместились на расстояние b . Площадь сечения стержня S , плотность среды ρ , скорость волны c . Определить импульс, переносимый этой волной.

29.11. Величина импульса, переносимого бегущей волной за единицу времени через единицу площади поперечного сечения, называется плотностью потока импульса. Покажите, что при распространении упругой волны в стержне плотность потока импульса в данном сечении равна напряжению σ в этом сечении.

29.12. В упругой среде плотности ρ со скоростью c движется плоская волна сжатия, амплитуда которой $\Delta\rho$. Чему равна плотность потока импульса в области сжатия?

29.13. На конец покоящегося полубесконечного стержня в течение времени τ действует продольная сила F .

- 1) Найдите скорость смещения частиц и деформацию в волне, если сечение стержня S , модуль Юнга E , плотность ρ .
- 2) Какова плотность стержня в области возмущения?
- 3) Найдите импульс и энергию волны через время $1,5 \tau$ от начала действия силы.

29.14. Газовый пузырь радиуса R совершает гармонические радиальные колебания с частотой ν и амплитудой A ($A \ll R$) в жидкости, плотность которой ρ , скорость звука c . Какая энергия звуковой волны излучается в среднем за период? Как меняется амплитуда колебаний давления по мере удаления от пузыря?

29.15. Определите амплитуду скорости, смещения и давления в звуковой волне частоты 1000 Гц в области болевых ощущений (интенсивность волны равна 1 Вт/м^2) и вблизи порога слышимости (интенсивность волны 10^{-12} Вт/м^2).

Формула для интенсивности волны: $I = \rho\omega^2 A^2 c/2 = P_{\max}^2/2\rho c$.

29.16. С какой силой нужно натянуть гитарную струну длиной $L = 60$ см с линейной плотностью $\gamma = 0,1$ г/см, чтобы частота основного тона ν была равна 100 Гц?

29.17. Найти собственные частоты колебаний воздушного столба в закрытой с обоих концов трубе. Длина трубы $L = 3,4$ м.

29.18. Стальной стержень длиной $L = 1$ м закреплен посередине. Если стержень натирать суконкой, то можно возбудить в стержне продольные звуковые колебания.

Найти частоты этих колебаний, если скорость звука в стали равна $c = 6$ км/с.

29.19. Открытая с двух сторон труба имеет первую резонансную частоту $\nu = 440$ Гц. Какой станет первая резонансная частота этой трубы, если закрыть один из ее концов?

29.20. Над цилиндрическим сосудом высотой 1 м звучит камертон, имеющий собственную частоту колебаний $\nu = 340$ Гц. В сосуд медленно наливают воду. При каких положениях уровня воды в сосуде звучание камертона значительно усиливается?

29.21. Два громкоговорителя подключены к одному звуковому генератору с частотой 680 Гц. Каким будет результат сложения звуковых волн на расстоянии $1,25$ м от первого громкоговорителя и на расстоянии $1,00$ м от второго?

29.22. Два одинаковых динамика, подключенных к одному звуковому генератору с частотой $f = 3$ кГц, стоят на краю стола на расстоянии $b = 1$ 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.

29.23. Радиоизлучение от звезды, расположенной в плоскости экватора, принимается с помощью двух антенн, расположенных на экваторе на расстоянии $L = 200$ м друг от друга. Сигналы с антенн подаются по кабелю одинаковой длины на приемник. Найти закон изменения амплитуды напряжения на входном контуре приемника в результате вращения Земли. Прием ведется на длине волны 1 м. Звезда мало отклоняется от зенита за время наблюдения.

29.24. Приемник радиосигналов, наблюдающий за появлением спутника Земли из-за горизонта, расположен на берегу озера на высоте $H = 3$ м над поверхностью воды. По мере поднятия спутника над горизонтом наблюдаются периодические изменения интенсивности принимаемого радиосигнала. Определите частоту радиосигнала спутника, если максимумы интенсивности наблюдались при углах возвышения спутника над горизонтом $\alpha_1 = 3^\circ$, $\alpha_2 = 6^\circ$. Поверхность озера можно считать идеально отражающим зеркалом.

29.25. Каким может быть максимальное число импульсов, испускаемых радиолокатором в 1 с, при разведывании цели, находящейся в 30 км от него?

29.26. Динамик, работающий на частоте ν , закреплен на тележке, совершающей прямолинейные гармонические колебания с амплитудой A . Найти частоту этих колебаний, если частоты сигнала, воспринимаемого неподвижным микрофоном, укрепленным между рельсами, по которым движется тележка, отличаются от частоты динамика ν не более чем на $\Delta\nu$.

29.27. Два одинаковых камертона, колеблющихся с частотой $\nu = 680$ Гц, движутся прямолинейно друг за другом с постоянной скоростью. Неподвижный микрофон, находящийся на прямой между камертонами, фиксирует биения с частотой $f = 4$ Гц. Найти скорость движения камертонов.

29.28. Автомобиль, движущийся со скоростью $u = 120$ км/ч, издает звуковой сигнал длительностью $\tau = 5$ с. Какой длительности сигнал услышит стоящий на шоссе человек, если:

а) автомобиль приближается к нему (τ_1)?

б) автомобиль удаляется от него (τ_2)?

29.29. Машинист электрички, проходящей мимо платформы без остановки со скоростью $V = 108$ км/ч, подает звуковой сигнал. Во сколько раз меняется частота звука, воспринимаемая стоящим на платформе человеком, когда поезд начинает от него удаляться?

29.30. Сирена излучает звуковой сигнал на частоте 800 Гц. Какую частоту звука зафиксирует наблюдатель, едущий в автомобиле со скоростью 60 км/ч и приближающийся к излучателю?

ОТВЕТЫ

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ

Магнитное поле. Теорема Стокса (теорема о циркуляции).

24.2. $I = 5 \text{ A}$

24.3. $M_{\max} = 0,1 \text{ Н}\cdot\text{м}$

24.4. $B = 0$

24.5. $B(O) = \frac{\mu_i I}{4R}$

24.6. $B(x) = \frac{\mu_o m}{2\pi\sqrt{(R^2 + x^2)^3}}$, где $m = \pi R^2 I$

24.11. $B = \frac{\mu_o i}{2}$

24.12. $B = \frac{3}{4} B_o = 0,75 \text{ мТл}$

Сила Ампера.

24.15. $\alpha = \text{arctg} \frac{IBL}{mg} = 45^\circ$

24.16. $\alpha = \text{arctg} \frac{BI}{2\rho g S} \approx 45^\circ$

24.17. $\cos\alpha = 1 - \frac{(IB\tau)^2 L}{2m^2 g}$; $\alpha \approx 60^\circ$

24.18. $x = \frac{IBL\tau}{\sqrt{2km}} = 25 \text{ см}$

24.19. $\beta = \frac{\alpha}{2} = 30^\circ$

$$24.20. I_{\min} = \frac{mg(\sin \alpha - \mu \cos \alpha)}{BL(\sin \alpha + \mu \cos \alpha)} \approx 33,8 \text{ A}$$

$$24.21. I \geq \frac{mg}{2aB} = 5 \text{ A}$$

$$24.22. \sigma = \frac{IBR}{S} = 10^5 \text{ H/M}^2$$

$$24.23. I = \frac{k}{BR} [2R \arcsin \frac{L}{2R} - L] = 0,32 \text{ A}$$

$$24.24.* F_z = m \frac{dB}{dz}, \text{ где } m = I\pi R^2 - \text{ магнитный момент кольца}$$

Сила Лоренца.

Движение заряженных частиц в магнитном поле.

$$24.26. R = \sqrt{\frac{2mW}{Be}} = 5,8 \text{ см}; T = 3,6 \cdot 10^{-9} \text{ с}; \omega = 1,7 \cdot 10^9 \text{ с}^{-1}$$

$$24.28. x \approx \frac{BeS^2}{\sqrt{8mW}} \approx 3 \text{ мм}$$

$$24.29. U = \frac{1}{2} \left(\frac{e}{m_p} \right) \left(\frac{BS}{\alpha} \right)^2 = 7,3 \cdot 10^4 \text{ В}$$

$$24.30. B = 2(\pi - \alpha) \frac{m_p}{e\tau} = 8,4 \cdot 10^{-3} \text{ Тл}$$

$$24.31. \tau = \frac{2m}{Be} \arctg \frac{eRB}{mV}$$

$$24.32. \sin \alpha = \frac{e}{m} \cdot \frac{BL}{V}, \text{ если } \frac{e}{m} B \leq V/L$$

$$\alpha = \pi, \text{ если } \frac{e}{m} B > V/L$$

$$24.33. V = 10^6 \text{ м/с}$$

$$24.34. \quad \frac{q}{m} = \frac{E}{B^2 R} = 5 \cdot 10^7 \text{ Кл/кг}$$

$$24.35^* \quad W = \frac{3}{4} \frac{(eBR)^2}{m_p}$$

$$24.36. \quad V_{\max} = \frac{mg}{\mu q B} (\sin \alpha - \mu \cos \alpha)$$

$$24.37.^* \quad x_1 = 28 \text{ см}; x_2 = 40 \text{ см}; x_3 = 50 \text{ см}; x_4 = 58 \text{ см}; \\ \Delta L = 3,7 \text{ мм}$$

$$24.38.^* \quad \tau = \frac{\pi m_p}{BUe^2} \left[\frac{(eBR)^2}{2m_p} - K \right]$$

Электромагнитная индукция. Закон Фарадея.

$$25.1. \quad U = BLV = 1,1 \cdot 10^{-3} \text{ В}$$

$$25.2. \quad \Delta U = BL(v^2 - u^2)/v = 0,48 \text{ В}$$

$$25.3. \quad \Delta \Phi = \varepsilon_i (\Delta t)/n = 1 \text{ мВб}$$

$$25.4. \quad \varepsilon_i = 1,6 \text{ В}$$

$$25.5. \quad W = 2,5 \cdot 10^{-5} \text{ Дж}$$

$$25.6. \quad W = (\pi d^2 B)^2 (t_1 + t_2)/16 R t_1 t_2$$

$$25.7. \quad Q = \frac{BS}{R} (1 - \cos \alpha)$$

$$25.8. \quad Q = \frac{BDS}{2\rho}$$

- 25.9. $Q = 4 \frac{BL^2}{R}$
- 25.10. $\varphi = 120^\circ$
- 25.11. $Q = \frac{BS}{R} (1 - \cos\alpha) = 5 \cdot 10^{-3} \text{ Кл}$
- 25.12. $R = 4 \frac{M}{\omega Q^2}$
- 25.13. $a = \frac{B^2 L^2 V}{mR} \approx 8 \text{ см/с}^2$
- 25.14. $U = \frac{IB}{neh} \frac{(VBd)^2}{(R + \frac{d}{\sigma S})^2}$
- 25.15. $P = R \frac{(\varepsilon - 1)}{\varepsilon}$
- 25.16.* $U = VBd \frac{(\varepsilon - 1)}{\varepsilon}$
- 25.17. $P = R \frac{(\varepsilon - VBL)^2}{(R + r)^2} = 0,1 \text{ Вт}$
- 25.18. $I = I_0(1 - V/V_0) = -0,71 \text{ А}$
- 25.19. $I = BL \frac{(V_2 - V_1)}{(R + r)} = 0,01 \text{ А}$
- 25.20. $F = BL \frac{(\varepsilon + BVL)}{r} = 3 \text{ мН}$
- 25.21. $a = \frac{F}{m + B^2 L^2 C}$
- 25.22. $V = U_0 \frac{BLC}{m + B^2 L^2 C}$
- 25.23. $R = \frac{B^2 L^2 V}{mg}$
- 25.24. $I = Br^2 \omega / 2R = 0,2 \text{ А}$

$$25.25. \quad W = \pi B^2 r^4 \omega / 2R = 5 \cdot 10^{-4} \text{ Дж}$$

$$25.26. \quad I = B \omega L^2 / 4R$$

$$25.27. \quad \omega = \frac{QB}{2m} = 5 \cdot 10^{-4} \text{ рад/с}$$

$$25.28.* \quad \Delta F = \frac{Q^2 \Phi_o^2 \sin^2 \frac{\pi}{N}}{\pi^2 M N l^3}$$

$$25.29.* \quad V = 16 \frac{mgR}{(\pi k B_o D^2)^2}$$

Самоиндукция. Индуктивность. Энергия магнитного поля

$$25.30. \quad L = \varepsilon_{si} \left(\frac{\Delta t}{\Delta I} \right) = 2,5 \text{ Гн}$$

$$25.31. \quad Q = \frac{1}{R} (\Delta \Phi - L \Delta I) = 25 \text{ мкКл}$$

$$25.32. \quad \varphi_A - \varphi_B = (0,2t + 0,02) \text{ В}$$

$$25.33. \quad I = 0,4 \text{ А}$$

$$25.34. \quad I_2 = 10^{-3} \text{ А}$$

$$25.35. \quad \left(\frac{dI}{dt} \right)_{|_0} = 10^3 \text{ А/с}; \quad \left(\frac{dI}{dt} \right)_{|_1} = \frac{\varepsilon - I_1 R}{L} = 400 \text{ А/с}$$

$$25.36. \quad I = 10 \text{ А}$$

$$25.37. \quad I_{\max} = U \sqrt{\frac{C}{L}}$$

$$25.38. \quad W = \frac{1}{2} [C(U_o^2 - U^2) - LI^2] = 5,6 \text{ Дж}$$

$$25.39. \quad A = W\left(1 + \frac{WR^2}{2\varepsilon^2 L}\right) = 2,3 \text{ Дж}$$

$$25.40. \quad L = \frac{1}{2} R\tau$$

$$25.41. \quad \varepsilon = 3 \text{ В}; \quad r = 5 \text{ Ом}$$

$$25.42. \quad W = \frac{(L + CR^2)\varepsilon^2}{2(R+r)^2}$$

$$25.43. \quad Q = \frac{\varepsilon L}{Rr}$$

$$25.44.* \quad I_{\max} = U \sqrt{\frac{C}{2L}}$$

$$25.45.* \quad I_{\max} = U \sqrt{\frac{C_1 C_2}{L(C_1 + C_2)}}; \quad U_{2\max} = \frac{2UC_1}{C_1 + C_2}$$

$$25.46. \quad Q_{1,2} = 2CU \frac{L_{2,1}}{L_1 + L_2}$$

$$25.47. \quad I_{\max} = \varepsilon \sqrt{\frac{C_1 C_2}{L(C_1 + C_2)}}$$

$$25.48.* \quad U_2 = 2U_0 \frac{C_1}{C_1 + C_2} = 200 \text{ В}$$

КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ

Механические колебания

$$26.1. \quad m = 4 \text{ кг}$$

$$26.3. \quad \text{Увеличится в } \sqrt{1 + \frac{qE}{mg}} \text{ раз}$$

$$26.4. \quad E = 2,8 \text{ Дж}; \quad V_{\max} = 3,8 \text{ м/с}$$

$$26.7. \quad \omega^2 = \frac{g}{l} + \frac{k\alpha^2}{mL^2}$$

$$26.8. \quad T = 2\pi \sqrt{\frac{x_0}{g}} = 0,45 \text{ c}$$

$$26.9. \quad A = V_m \sqrt{\frac{m}{k}}$$

$$26.10. \quad \varphi = \text{arctg}\left(\frac{\sqrt{2}}{\alpha_i}\right)$$

$$26.11. \quad V_{y \max} = \frac{1}{2} \alpha_0^2 \sqrt{gL}$$

$$26.12. \quad V_{y \max} = \frac{1}{2} \left(\frac{qBL}{m}\right)^2 \frac{1}{\sqrt{gH}}$$

$$26.15. \quad T = 2\pi \sqrt{\frac{2m+M}{2k}}; \quad A \leq g \frac{2m+M}{2k}$$

$$26.16. \quad T = 2\pi \sqrt{\frac{R}{g}}$$

$$26.17. \quad T = 2\pi \sqrt{\frac{2(R-r)}{g}} g$$

$$26.18. \quad \omega^2 = g \frac{ML - mx}{ML^2 + mx^2}$$

$$26.19. \quad T = 2\pi \sqrt{\frac{2L}{3g}}$$

$$26.20. \quad \tau = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{R}{g}}$$

$$26.21.* \quad \tau = n \sqrt{\frac{3\pi}{G\rho(n^2 - 1)}} \approx 2,5 \text{ часа}$$

$$26.22. \quad \omega = \sqrt{2\mu \frac{g}{L}}$$

$$26.23. \quad \omega^2 = 2 \frac{P_o S}{md}$$

$$26.24. \quad T = \pi \sqrt{\frac{2m}{\rho g S}} \approx 1 \text{ c}$$

$$26.25. \quad T = 2\pi \sqrt{\frac{4\pi \epsilon_o m R^3}{qQ}} \approx 2,1 \text{ c}$$

$$26.26. \quad T = 2\pi \sqrt{\frac{ML}{g(M+m)}}$$

$$26.27. \quad T = 2\pi \sqrt{\frac{MR}{g(M+m)}} \approx 0,53 \text{ c}$$

$$26.28. \quad T = 2\pi \sqrt{\frac{m_1 m_2}{(m_1 + m_2)k}}$$

$$26.29. \quad \omega = \sqrt{\frac{2k}{m}}; \quad x_{\max} = \frac{x_o}{\sqrt{2}}; \quad V_{\max} = x_o \sqrt{\frac{k}{m}}; \quad V_{\min} = 0$$

$$26.30. \quad V = 2\pi A \frac{(m+M)}{mT}$$

$$26.31. \quad A = \left[\frac{m^2 g^2}{k^2} + 2 \frac{m^2 gh}{k(M+m)} \right]^{1/2}; \quad X_{\max} = \frac{(m+M)}{k} g + A$$

$$26.32.* \quad m = 4\pi^2 A \frac{M}{gT^2}$$

$$26.33. \quad \tau = \frac{\pi}{2\sqrt{kg}}$$

$$26.34. \quad T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{3k}}$$

$$26.35. A \geq \mu \frac{(M + m)g}{k}$$

$$26.36. A = \left| \frac{k_1 L_1 - k_2 L_2}{(k_1 + k_2)} \right|; T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{(k_1 + k_2)}}$$

$$26.37. T = 4\pi \sqrt{\frac{m}{5k}}$$

$$26.38. T = 2\pi \frac{x}{L} \sqrt{\frac{m}{k}}$$

$$26.40. a) T = \pi \sqrt{\frac{m}{k}}; \quad б) T = 2\pi \sqrt{\frac{5m}{k}}$$

Свободные электрические колебания. Колебательный контур.

$$27.8. I_{\max} \approx 12 \text{ mA}; \quad q = 1,6 \cdot 10^{-5} \text{ Кл}$$

$$27.9. I = 10 \text{ mA}$$

$$27.10. \lambda = 189 \text{ м}$$

$$27.11. F_{\text{cp}} = \frac{LC}{4\epsilon_0 S} I_0^2$$

$$27.12. \frac{\Delta W}{W} = \frac{\lambda R}{cL} = 0,001\%$$

$$27.13. Q \cong 100; \quad T = 12,6 \cdot 10^{-3} \text{ с}$$

$$27.15. P = \frac{RC}{2L} U_0^2 = 0,1 \text{ Вт}$$

$$27.16.* W = \frac{1}{2} (L + CR^2)(I_1^2 - I_2^2)$$

$$27.17. I_{\max} = \varepsilon \sqrt{\frac{C}{L}}; Q_{\max} = 2C\varepsilon$$

$$27.18. U_{\max} = \varepsilon \left[1 + \sqrt{1 + \frac{\tau^2}{LC}} \right]$$

$$27.19. T = 2\pi \sqrt{\frac{mL}{Bl}}; A = \frac{mgL}{B^2 l^2}$$

***Вынужденные электрические колебания. Переменный ток.
Резонанс в электрических цепях. Трансформатор.***

$$28.1. I = I_0 \sqrt{\frac{\tau_2}{(\tau_1 + \tau_2)}}$$

$$28.2. I(t) = 5 \sin(\omega t + \varphi), \varphi = \operatorname{arctg} \frac{4}{3}$$

$$28.4. R = 50 \text{ Ом}$$

$$28.5. U_{AC} = 50 \text{ В}$$

$$28.6. U_{AC} = 80 \text{ В}$$

$$28.7. U_{AD} = 13 \text{ В}$$

$$28.8. \operatorname{tg} \varphi_2 = 2; \varphi \approx 64^\circ$$

$$28.9. I \approx 2 \text{ А}; \operatorname{tg} \varphi = 1,55; \varphi \approx 57^\circ;$$
$$U_R \approx 40 \text{ В}; U_L \approx 126 \text{ В}; U_C \approx 64 \text{ В}$$

$$28.10. I_R = 0; I_L = I_C = 2,2 \text{ А}$$

$$28.11. R = 157 \text{ Ом}; L = 0,5 \text{ Гн}$$

28.12. $L = 0,13 \text{ Гн}$

28.13. $U_0 = I_0 \frac{\rho d}{S} \cdot \frac{1}{\sqrt{1+(\omega \rho \varepsilon_0 \varepsilon)^2}}$

28.14. $U = \sqrt{U_1^2 + U_2^2} \approx 242 \text{ В}$

28.15. $P = 8 \text{ Вт}$

28.16. $P = 48,4 \text{ Вт}$

28.17. $P = I^2 R \left[1 + \frac{1}{1 + \omega^2 C^2 R^2} \right]$

28.18. $I_A = \frac{1}{4\sqrt{2}} \cdot \frac{\omega C U_0}{\sqrt{1 + 4\omega^2 R^2 C^2}} = 12,5 \text{ mA}$

$$P = \frac{2R(U_0 \omega C)^2}{1 + (2\omega RC)^2} = 0,5 \text{ Вт}$$

28.19. $I = I_{\max}$ при $\omega = \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$

$U = U_{\max}$ при $\omega = \omega_0 \sqrt{1 - \frac{CR^2}{2L}} = \omega_0 \sqrt{1 - \frac{1}{2Q^2}}$, где $Q = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}$

28.20. $I_{\text{рез}} = 10 \text{ A}; \quad \nu_{\text{рез}} = 318 \text{ Гц}$

28.21. $U_C = I \sqrt{\frac{L}{C}}; \quad \frac{U_C}{U} = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}} = Q$

28.22. $C = 14,5 \text{ мкФ}; \quad I_{\max} = 22 \text{ A}; \quad Q = \frac{L}{R} \omega_0 \cong 20$

28.23. $P = \frac{U^2}{R} \cos^2 \varphi$

28.25. $P_{\max} = \frac{U^2}{R}; \quad C_0 = \frac{1}{4\pi^2 \nu^2 L}$

28.26. $L = 0,16 \text{ Гн}$

28.27. $N = 1500$ ВИТКОВ

28.28. $L = 3,5$ ГН

28.29. $U_2 = \frac{N_2}{N_1} \frac{U_1 \cdot X_L}{\sqrt{R^2 + X_L^2}} = 199$ В; $U_2' = 141$ В

28.30. $P = 22,5$ Вт

Волны

29.1. $T = 0,5$ с

29.2. $V = 2,4$ м/с

29.3. $V_k = 7,5$ м/с; $u = 2,5$ м/с

29.8. $S = 9$ км

29.9. $F = \rho S V c = 1400$ Н

29.14. $W = 4\pi^2 R^2 \omega A^2 \rho c = 8\pi^3 R^2 \nu A^2 \rho c$

29.16. $F = 4L^2 \nu^2 \gamma = 144$ Н

29.18. $\nu_1 = 3$ кГц, $\nu_2 = 9$ кГц, ... $\nu_n = \frac{c}{2L} (2n - 1)$

29.20. $L_0 = 25$ см; $L_1 = 75$ см

29.22. $c \approx \text{bf} \frac{\Delta x}{L} = 330$ м/с

29.23. $A = 2A_0 |\cos(2\pi \frac{t}{\tau})|$; $\tau = T \frac{\lambda}{\pi L} \approx 140$ с, где $T = 24$ часа.

29.24. $\nu = \frac{c}{2H(\alpha_2 - \alpha_1)} \approx 10^9$ Гц

29.25. $n = 5000$ с⁻¹

29.26. $\nu^2 = \frac{c(\Delta\nu)}{2\pi A}$

29.27. $V = \frac{cf}{\nu} = 2$ м/с

29.28. $\tau_1 = (1 - \frac{u}{c})\tau \approx 4,5$ с

$$\tau_2 = (1 + \frac{u}{c})\tau \approx 5,5$$
 с

29.20. Частота уменьшается в n раз, где $n = \frac{c+V}{c-V} \approx 1,2$

29.21. $\nu = \nu_0(1 + \frac{V}{c}) = 840$ Гц

Содержание

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ

- | | | |
|----|---|----|
| 1. | <i>Магнитное поле. Закон Био-Савара-Лапласа. Теорема Стокса (теорема о циркуляции).</i> | 3 |
| 2. | <i>Сила Ампера.</i> | 6 |
| 3. | <i>Движение заряженных частиц в магнитном поле. Сила Лоренца.</i> | 9 |
| 4. | <i>Электромагнитная индукция. Закон Фарадея.</i> | 13 |
| 5. | <i>Самоиндукция. Индуктивность. Энергия магнитного поля.</i> | 20 |

КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ

- | | | |
|----|--|----|
| 6. | <i>Механические колебания.</i> | 25 |
| 7. | <i>Свободные электрические колебания. Колебательный контур.</i> | 33 |
| 8. | <i>Вынужденные электрические колебания. Переменный ток. Резонанс в электрических цепях. Трансформатор.</i> | 37 |
| 9. | <i>Волны</i> | 43 |

- | | | |
|--|----------------------|----|
| | <u>ОТВЕТЫ</u> | 49 |
|--|----------------------|----|

Сборник задач по физике

Часть V. Электромагнитные явления

Часть VI. Колебания и волны

Корнеева Татьяна Петровна

Школа имени академика А.Н. Колмогорова
Специализированный учебно-научный центр
Московского государственного университета им.
М.В.Ломоносова
Кафедра физики

2012 г.

