

**Семинары. 2022–23 уч. год.****МЕХАНИКА**

1. Законы кинематики.
2. Уравнение движения.
3. Сила трения.
4. Законы сохранения энергии и импульса.
5. Гравитация.
6. Механические колебания.
7. Волны в упругой среде.

**МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА**

8. МКТ.
9. Фазовые превращения.

**ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ**

10. Электростатика.
11. Метод изображений.
12. Ёмкость.
13. Постоянный ток.
14. Амперметры и вольтметры.
15. Мосты.
16. Передача энергии.
17. Моторы.
18. Частица в магнитном поле.
19. Индукция.
20. Индуктивность.
21. Волны.

**ОПТИКА**

22. Интерференция. Угловое разрешение.
23. Эффект Доплера.
24. Тепловое излучение.
25. Фотоны.
26. Закон радиоактивного распада.
27. Релятивистская механика.

## Семинары

## МЕХАНИКА

## 1. Законы кинематики (7 шт.)

**1.73.** Тело падает вертикально с нулевой начальной скоростью. За последнюю секунду своего падения оно прошло половину всего пути. С какой высоты падало тело?

**1.84\*.** С высокой башни вертикально вверх бросили лёгкий шарик. Зависимость скорости шарика от времени  $v(t)$  показана на рис. 1.27, однако разметка вертикальной оси на графике отсутствует. Найти начальную скорость шарика  $v_0$ .

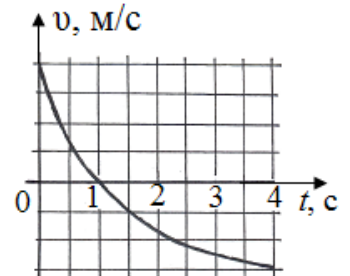


Рис. 1.27

**1.86.** Камень бросили с земли с начальной скоростью  $v_0$  под углом  $\alpha$  к горизонту. Определить: 1) время полёта  $\tau$ ; 2) дальность полёта  $s$ ; 3) высоту полёта  $h$ ; 4) уравнение траектории  $y(x)$ .

**1.87.** Из миномёта произведён выстрел под углом  $\alpha = 60^\circ$  к горизонту. Звук разрыва мины миномётчик услышал через  $\tau = 45$  с после выстрела. Найти скорость  $v_0$  выхода мины из миномёта, полагая, что мина летела по параболической траектории. Скорость звука в воздухе  $c = 340$  м/с.

**1.93.** Двое играют в мяч, бросая его друг другу. Какой наибольшей высоты достигает мяч, если от одного игрока до другого он летит 2 с?

**1.96.** При каком угле бросания дальность полёта камня равна высоте его подъёма?

**1.101.** Снаряд вылетает из пушки со скоростью  $v_0 = 600$  м/с. Под каким углом  $\alpha$  надо выставить ствол, чтобы снаряд упал на расстоянии  $s = 18$  км от пушки? Каково время его полёта? Какова будет ошибка по дальности  $\Delta s$  при ошибке выставления угла  $\Delta\alpha = 0,1^\circ$ ?

## 2. Уравнение движения

**2.28.** Машина проезжает вогнутый участок дороги радиусом  $R = 40$  м со скоростью  $v = 72$  км/ч. Во сколько раз давление машины на дорогу будет больше веса машины? Принять  $g = 10$  м/с<sup>2</sup>.

**2.30.** Две дороги  $A$  и  $B$ , направленные под углом  $120^\circ$  друг к другу, выходят на круглую заасфальтированную площадь радиусом  $R = 58$  м (рис. 2.4). С какой наибольшей постоянной скоростью машина сможет проехать по площади, чтобы попасть с одной дороги на другую, если коэффициент трения её колёс об асфальт  $k = 0,4$ ?

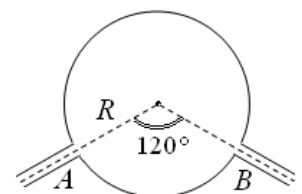


Рис. 2.4

**2.31.** Горизонтальный участок дороги плавно, дугой радиусом  $R$ , переходит в спуск (рис. 2.5). Автомобиль начинает отрываться от дороги в самом начале такого спуска при минимальной скорости  $v = 72$  км/ч. Определить радиус дуги на спуске.

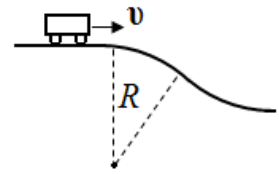


Рис. 2.5

**2.68.** На нити, перекинутой через лёгкий блок, висят два груза массами  $m_1$  и  $m_2$  ( $m_2 > m_1$ ). Со стороны лёгкого груза  $m_1$  нить пропущена через щель, как показано на рис. 2.28. При движении грузов на нить со стороны щели действует постоянная сила трения  $F_{\text{тр}}$ . Определить ускорение грузов.

**2.69.** На нити, перекинутой через лёгкий блок, висят два одинаковых груза массами  $m$ . На правый кладут довесок массой  $\Delta m$  (рис. 2.29). Определить ускорение системы и силу давления довеска на правый груз.

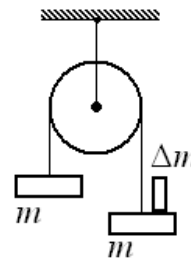


Рис. 2.29

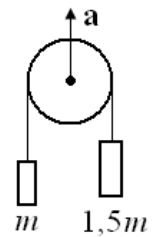


Рис. 2.30

**2.70\*.** К концам невесомой и нерастяжимой нити, перекинутой через блок, прикреплены грузы массами  $m$  и  $1,5m$  (рис. 2.30). С каким ускорением надо поднимать блок, чтобы ускорение правого груза было равно нулю?

**8.23.** Два груза массами  $m_1$  и  $m_2$  соединены нитью, перекинутой через блок массой  $M$ . Найти ускорение грузов и натяжение нити.

**8.24.** Через тяжёлый блок массой  $M$  на краю стола перекинута нить, а к ней привязаны грузы одинаковых масс:  $m_1 = m_2 = m$  (рис. 8.8) Коэффициент трения груза  $m_1$  о стол равен  $k$ . Масса дискового блока  $M$ . Найти ускорение системы и натяжение нити. Трения в блоке нет.

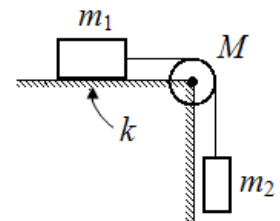


Рис. 8.8

**3.9.** Две пружины жёсткостями  $k_1$  и  $k_2$  соединены: а) последовательно; б) параллельно. Определить жёсткости системы в каждом варианте.

**3.10.** Две последовательно соединённых пружинки жёсткостями  $k_1$  и  $k_2$  взяли за концы и немного растянули. В какой пружинке будет бóльшая энергия упругости?

### 3. Сила трения

**2.3.** Длина тормозного следа машины на асфальте  $s = 20$  м. С какой скоростью ехала машина, если коэффициент трения её колёс  $k = 1,0$ ?

**2.4.** При скорости  $v_1 = 40$  км/ч тормозной путь автомобиля  $s_1 = 4$  м. Каков будет тормозной путь  $s_2$  при скорости  $v_2 = 60$  км/ч, если коэффициент трения остается тем же?

**2.13.** До какой скорости надо разогнать машину, чтобы преодолеть скользкий подъём длиной  $l = 50$  м с углом наклона  $\alpha = 20^\circ$ , если коэффициент

трения колёс о дорогу  $k = 0,21$ . Все колёса ведущие, двигатель постоянно работает.

**3.33а.** Доска длиной  $L$  скользит без трения по льду в продольном направлении со скоростью  $v_0$ , а затем выезжает на асфальт с коэффициентом трения  $\mu = 0,9$  и останавливается. При какой минимальной скорости  $v_0$  доска въедет на асфальт на всю свою длину?

#### 4. Законы сохранения энергии и импульса

**3.13.** Бегун на старте достигает скорости  $10 \text{ м/с}$  за  $4 \text{ с}$ . Найти среднюю мощность, развиваемую бегуном на старте, если его масса  $80 \text{ кг}$ .

**4.97\*.** Машина массой  $m$  успевает разогнаться до скорости  $v$ , когда трос натягивается и плита массой  $M > m$  рывком сдвигается с места (рис. 4.39). Все четыре ведущих колеса машины продолжают вращаться, хотя и с пробуксовыванием из-за тяжести плиты. На какое расстояние  $s$  сдвинется плита до остановки, если коэффициенты трения скольжения об асфальт колес машины и плиты одинаковы?

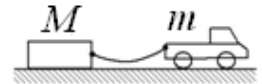


Рис. 4.39

**4.21.** Пуля массой  $m = 4 \text{ г}$ , летящая горизонтально, попадает в шар массой  $M = 800 \text{ г}$ , висющий на нити длиной  $l = 90 \text{ см}$ , и застревает в нём. Шар отклонился на угол  $\alpha = 60^\circ$ . Найти скорость пули  $v_0$ .

**4.24.** Пуля массой  $m = 4 \text{ г}$ , летящая горизонтально, пробила висющий на нити шар массой  $M = 400 \text{ г}$ , и он отклонился на угол  $\alpha = 60^\circ$ . Длина нити  $l = 0,9 \text{ м}$ , входная скорость пули  $v_1 = 600 \text{ м/с}$ . Вычислить выходную скорость пули  $v_2$ .

**4.25.** Пуля массой  $m = 4 \text{ г}$ , летящая горизонтально, пробила висющий на нити шар массой  $M = 400 \text{ г}$ , в результате чего ее скорость уменьшилась вдвое. Какая часть исходной кинетической энергии пули пошла на нагревание пули и шара? Каков будет ответ, если пуля застрянет в шаре?

**4.26\*.** Пуля массой  $m = 15 \text{ г}$  пробивает закреплённый деревянный брусок массой  $M = 90 \text{ г}$  при наименьшей скорости  $v_0 = 200 \text{ м/с}$ . При какой наименьшей скорости  $v$  горизонтально летящая пуля пробьёт этот брусок, если его подвесить на длинной нити?

**4.97\*.** Машина массой  $m$  успевает разогнаться до скорости  $v$ , когда трос натягивается и плита массой  $M > m$  рывком сдвигается с места (рис. 4.39). Все четыре ведущих колеса машины продолжают вращаться, хотя и с пробуксовыванием из-за тяжести плиты. На какое расстояние  $s$  сдвинется плита до остановки, если коэффициенты трения скольжения об асфальт колес машины и плиты одинаковы?

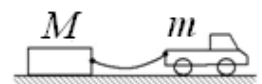


Рис. 4.39

## 5. Гравитация

**5.6.** Спутник движется по круговой орбите вокруг Земли в плоскости экватора. На каком расстоянии  $h$  от поверхности Земли находится спутник, если он неподвижен для земного наблюдателя (геостационарная орбита)?

**5.7.** Какой продолжительности сутки должны быть на Земле, чтобы тела на экваторе не имели веса?

**5.11.** На какой высоте над поверхностью Земли ускорение свободного падения меньше  $g = 9,8 \text{ м/с}^2$ : а) на один процент; б) в два раза?

**5.12.** Оценить массу Солнца, если известно, что  $R_{\text{орб. Земли}} = 150 \text{ млн км}$ .

**5.14.** Спутник движется по круговой орбите на небольшой высоте над планетой. Период обращения спутника  $T = 85 \text{ мин}$ . Определить среднюю плотность  $\rho$  планеты.

**5.19.** Минимальная начальная скорость  $v_2$ , которую должно иметь тело у поверхности Земли, чтобы преодолеть её гравитационное поле и уйти в бесконечность, называется *второй космической*. Найти эту скорость, выразив её через *первую космическую*  $v_1 = \sqrt{gR_3} = 7,9 \text{ км/с}$ , где  $R_3 = 6400 \text{ км}$  – радиус Земли,  $g = 9,8 \text{ м/с}^2$ .

**5.26\*.** На большом экране ЦУ-Па (Центра управления полётами) отображена «траектория» одного из спутников Земли, а точнее – вертикальная проекция его траектории на поверхность Земли (рис. 5.1). Полагая, что спутник движется по круговой орбите, оценить по этой картине высоту  $h$  спутника над Землёй.

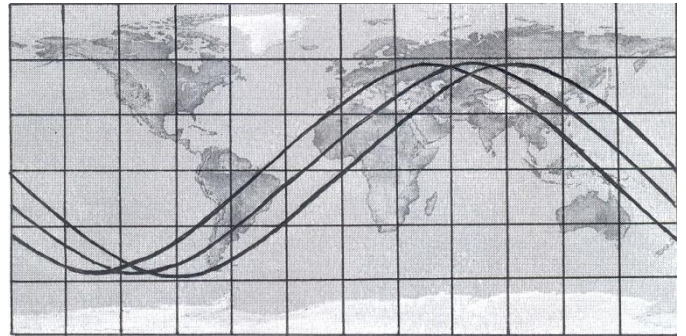


Рис. 5.1

## 6. Механические колебания

**9.10.** Подвешенный груз растягивает легкую пружинку на  $\Delta l = 10 \text{ см}$ . Найти период колебаний груза на этой пружинке.

**9.16.** За одно и то же время один математический маятник делает 5 колебаний, а второй 3. Найти их длины, если один из них на 32 см короче другого.

**9.17.** Математический маятник совершает *малые* колебания с амплитудой  $X$ . Длина нити маятника –  $l$ .

1) Во сколько раз отличаются ускорения шарика в верхней ( $a_v$ ) и в нижней ( $a_n$ ) точках его траектории? 2) Во сколько раз отличаются натяжения нити в нижней ( $F_n$ ) и в верхней ( $F_v$ ) точках траектории шарика?

**9.18.** На сколько секунд за час маятниковые часы на экваторе будут отставать от таких же часов на полюсе Земли? Радиус Земли  $R = 6400$  км.

**9.19.** На сколько секунд в час будут отставать маятниковые часы, если их с уровня моря поднять на высоту  $h = 1800$  м? Радиус Земли  $R = 6400$  км.

**9.20\*.** Под поверхностью Земли имеются залежи руды в форме шара радиусом  $r = 1$  км, центр которого лежит на глубине  $h = 1,2$  км. Плотность руды  $\rho = 2\rho_0$ , где  $\rho_0$  – средняя плотность Земли. Определить относительное изменение  $\Delta T/T$  периода колебаний математического маятника над месторождением руды. Радиус Земли  $R = 6400$  км.

**9.51.** Найти период малых колебаний обруча, который качается в своей плоскости на вбитом в стенку гвозде. Радиус обруча  $R = 30$  см.

**9.52.** Найти период малых колебаний стержня длиной  $l = 1$  м, шарнирно закреплённого в его конце.

**9.55.** На каком расстоянии  $x$  от середины стержня длиной  $l = 1$  м надо установить ось качания, чтобы период  $T$  малых колебаний стержня на ней был минимальным? Определить этот период. Изобразить график  $T(x)$ .

## 7. Волны в упругой среде

**9.70.** Фронты продольных и поперечных ударных волн от подземного взрыва пришли на сейсмическую станцию с интервалом  $\tau = 9$  с. Определить расстояние  $s$  до центра взрыва, если скорость продольных волн в земле  $v_1 = 8,18$  км/с, а скорость поперечных  $v_2 = 4,63$  км/с.

**9.71\*.** Скорость реки равна  $u$ , а скорость распространения поверхностных волн на воде –  $u$ . В точку  $A$  реки падает камень (рис. 9.19). Через какое время  $t$  волна дойдет до точки  $B$  на берегу, если  $AB = h$ ?

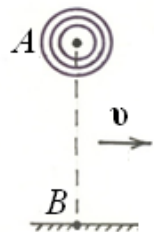


Рис. 9.19

*Замечание. Бросив в воду камень, смотри на круги, от него расходящиеся, иначе это будет пустою забавою. – Козьма Прутков.*

**9.72.** Самолёт летит горизонтально с постоянной скоростью. Человек, над которым проходит курс самолета, слышит, что звук от него идёт вертикально сверху, когда сам уходящий самолёт виден уже под углом  $\alpha = 36^\circ$  от вертикали. Определить скорость самолёта  $v$ , полагая скорость звука в воздухе  $u = 340$  м/с.

**9.78.** Поперечная волна бежит слева направо, как показано на рис. 9.20. Каково направление мгновенных скоростей точек  $A$ ,  $B$ ,  $C$  и  $D$  на поверхности волны в данный момент?

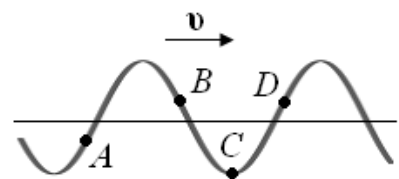


Рис. 9.20

**9.79\*.** По поверхности воды бегут синусоидальные волны со скоростью  $v = 2$  м/с. Длина волны  $\lambda = 4$  м, а её амплитуда  $X = 32$  см (рис. 9.21). Определить скорость  $u$  частиц воды в точке  $A$ .

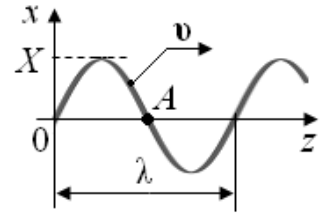


Рис. 9.21

## МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА

### 8. МКТ.

- 1.1.** Сколько молекул содержится в 1 г азота?
- 1.2.** Найти массу атома углерода  $C_6^{12}$ .
- 1.3.** Сколько молекул в 1 л воздуха при нормальных условиях?
- 1.4.** Сколько атомов в 1 м<sup>3</sup> меди, если её плотность  $\rho = 8900$  кг/м<sup>3</sup>?
- 1.5.** Из-за испарения уровень воды в открытом сосуде за сутки понижается на  $h = 3$  мм. Сколько молекул каждую секунду уходит в атмосферу с 1 мм<sup>2</sup> поверхности воды?
- 1.7.** В некое пресноводное озеро площадью 1000 км<sup>2</sup> и средней глубиной 100 м бросили крупинку ( $m = 0,01$  г) поваренной соли NaCl. Через много лет, когда её молекулы достаточно равномерно распределились по всему объёму озера, из него взяли чайную ложку воды ( $V = 1$  см<sup>3</sup>). Сколько молекул NaCl окажется в ложке?

*Замечание.* Поваренная соль, правда, может существовать в молекулярном виде только в парах. Кристаллы NaCl составлены не из молекул, а из ионов  $Na^+$  и  $Cl^-$ , образующих кубическую решётку. В воде эта решётка распадается на ионы, которые распределяются между молекулами  $H_2O$ .

**1.10.** Оценить концентрацию  $n$  и среднее расстояние  $d$  между молекулами газа при нормальных условиях.

**1.13\*.** Кристалл поваренной соли NaCl имеет кубическую решётку, которая состоит из чередующихся ионов натрия и хлора рис. 1.1. Найти длину ребра элементарного кубика (элементарной ячейки), если плотность соли  $\rho = 2200$  кг/м<sup>3</sup>.

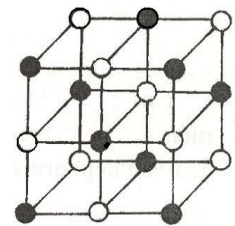


Рис. 1.1. Кубическая решётка кристалла NaCl

**1.15\*.** Железо имеет объёмноцентрированную кубическую решётку, в которой ионы расположены как в вершинах кубической ячейки, так и в центре куба. Вычислить длину ребра  $a$  кубической ячейки кристалла железа, если его молярная масса  $M = 56$  г/моль, а плотность  $\rho = 7,87$  кг/дм<sup>3</sup>.

**1.20.** Оценить среднеквадратичную скорость капелек тумана диаметром 10 мкм, находящихся в воздухе при температуре 5 °С.

**1.21.** Давление газа  $p = 100$  кПа, а его плотность  $\rho = 1,2$  кг/м<sup>3</sup>. Найти среднеквадратичную скорость  $u$  молекул газа.



**1.22.** Для увеличения средней скорости молекул идеального газа от  $v_1 = 400$  м/с до  $v_2 = 500$  м/с его температуру надо повысить на  $\Delta T_1 = 90$  К. На сколько надо повысить температуру этого газа, чтобы увеличить скорость его молекул от  $v_2 = 500$  м/с до  $v_3 = 600$  м/с?

**1.24\*.** Оценить, какая часть атмосферного кислорода Земли расходуется при сжигании 6 млрд. тонн угля, если содержание кислорода в атмосфере около 20%.

*Замечание.* Такое количество всех видов топлива (уголь, нефть, газ), в пересчёте на уголь, близко к мировой добыче за год, из них более половины приходится на нефть.

**1.25\*.** Самолёт летит на небольшой высоте со скоростью  $v_c$ , близкой к звуковой (пусть, например,  $v_c = 316$  м/с). Из-за трения о воздух его корпус нагревается. Оценить максимальную температуру такого нагрева, если температура окружающего воздуха  $T_0 = 23^\circ\text{C}$ .

## 9. Фазовые превращения

**1.191.** Электронагреватель установлен в трубе с проточной водой (рис. 1.58). Производительность установки (расход воды в трубе)  $q = \Delta V / \Delta t = 0,1$  л/с. Какую мощность  $P$  должен иметь нагреватель, чтобы при температуре входящей воды  $T_1 = 18^\circ\text{C}$  температура выходящей  $T_2$  была бы  $42^\circ\text{C}$ ?

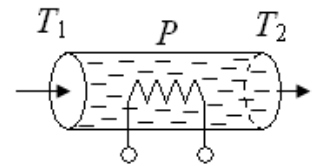


Рис. 1.58

**1.192.** Оценить, на сколько лет при современном уровне потребления энергии на Земле человечеству хватило бы тепловой энергии, выделенной из мирового океана при его охлаждении на  $1^\circ$ . Принять: 1) сейчас на Земле ежегодно сжигается 10 млрд. тонн условного топлива (в пересчёте на нефть); 2) мировой океан занимает  $2/3$  поверхности Земли, а его средняя глубина  $h = 4$  км.

**1.195.** Два одинаковых баллона заполнены воздухом: один сухим, а другой влажным, но при одинаковых температурах и давлениях. Какой баллон тяжелее?

## ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ

### 10. Электростатика

**1.91.** Найти максимальный потенциал, до которого можно зарядить металлический шар радиусом  $R = 10$  см в воздухе, если электрическая прочность воздуха (поле, при котором наступает пробой)  $E_{пр} = 30$  кВ/см.

**1.94.** Какое напряжение может выдержать коаксиальный кабель, если радиусы проводников  $R_1 = 1$  мм,  $R_2 = 2,7$  мм, а электрическая прочность материала диэлектрика (поле, при котором наступает электрический пробой)  $E_{пр} = 200$  кВ/см?



**1.106\*.** Известно, что вблизи поверхности Земли есть электрическое поле  $E_0$ . Для его измерения можно использовать пару металлических пластин (рис. 1.21).

Большая пластина  $A$  заземлена и расположена близко к поверхности Земли. Между Землёй и пластиной  $A$  вдвигают

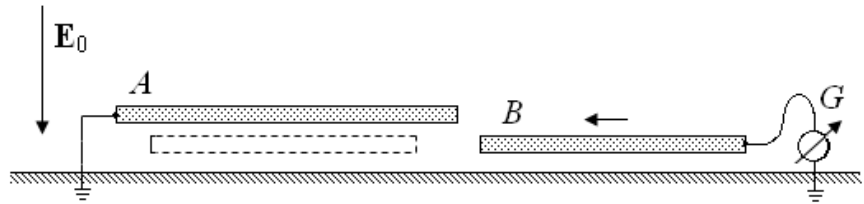


Рис. 1.21

несколько меньшую пластину  $B$ , заземлённую через гальванометр  $G$ . При полном движении пластины  $B$  под  $A$  через гальванометр проходит заряд  $q$ . Пренебрегая краевыми эффектами, определить электрическое поле Земли  $E_0$ , если  $q = 0,9$  нКл, а площадь пластины  $B$   $S = 1$  м<sup>2</sup>.

**1.111\*.** Медный шарик радиусом  $R = 9$  мм, покрытый тонким слоем радиоактивного полония  $^{210}_{84}\text{Po}$  массой  $m = 3$  мг, помещён в вакуум. Вследствие испускания  $\alpha$ -частиц ( $^4_2\text{He}$ ) шарик приобретает заряд. Определить нарастание потенциала шарика со временем  $\phi(t)$  и его максимальное значение  $\phi_{\text{max}}$ , если кинетическая энергия испускаемых  $\alpha$ -частиц  $W = 6$  МэВ.

*Замечание.* Закон радиоактивного распада имеет вид:

$$N(t) = N_0 2^{-(t/T)},$$

где  $N_0$  – исходное число ядер радиоактивного вещества в момент  $t = 0$ ,  $N(t)$  – число ещё не распавшихся ядер в момент  $t$ ,  $T$  – период полураспада, т. е. время, в течение которого распадается половина ядер, имеющих в данный момент. Для полония  $^{210}_{84}\text{Po}$  период полураспада  $T = 138$  суток.

**1.113\*.** Энергия, выделяемая при распаде ядра  $^{235}_{92}\text{U}$ , обычно называется «ядерной», но на самом деле это в основном «электрическая» энергия. Она высвобождается, как только кулоновские силы отталкивания протонов в ядре превзойдут ядерные силы их притяжения.

Полагая, что ядро  $^{235}_{92}\text{U}$  распадается на два осколка с атомными номерами 55 и 37, а ядерные силы практически перестают действовать с расстояния  $r = 1,5 \cdot 10^{-14}$  м, оценить: 1) энергию (МэВ), выделяемую при распаде одного ядра урана; 2) тротиловый эквивалент (в килотоннах) ядерной бомбы с 10 кг урана, если тепловой эквивалент тротила  $q = 4$  МДж/кг.

## 11. Метод изображений

**1.115\*.** Точечный заряд  $q$  находится на расстоянии  $h$  от проводящей безграничной плоскости. Определить поле  $E$  вблизи плоскости и поверх-

ностную плотность  $\sigma$  индуцированных зарядов на ней. Изобразить график  $\sigma(r)$ , где  $r$  – расстояние на плоскости от проекции заряда. Вычислить общий индуцированный на плоскости заряд  $q_{\text{инд}}$ .

**1.118.** Прямая длинная нить, заряженная с погонной плотностью  $\gamma$ , расположена параллельно проводящей плоскости на высоте  $h$  над ней. Найти силу  $F_0$ , действующую на единицу длины нити (погонную силу).

**1.118а.** Прямая длинная нить, заряженная с погонной плотностью  $-\gamma$ , натянута параллельно поверхности земли на высоте  $h$  над ней. Найти распределение поля  $E(x)$  вблизи земли, где  $x$  – ось на земле, перпендикулярная проекции нити (рис. 1.23а).

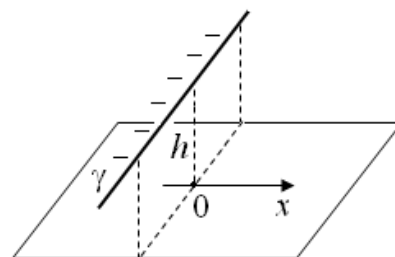


Рис. 1.23а

**1.118б\*.** Прямой провод радиусом  $r = 1$  см натянута параллельно поверхности земли на высоте  $h = 10$  м. Потенциал провода относительно земли  $u = 500$  кВ (ЛЭП-500). Определить величину поля  $E$  у поверхности земли под проводом.

## 12. Ёмкость

**1.133.** К цепочке из двух последовательно соединённых конденсаторов ёмкостью  $C_1$  и  $C_2$  ( $C_2 > C_1$ ) приложено постоянное напряжение  $U$ . Найти энергию каждого конденсатора. У какого конденсатора энергия больше?

**1.143.** Конденсатор ёмкостью  $C_1$ , заряженный до напряжения  $u$ , разрядили на незаряженный конденсатор ёмкостью  $C_2 = 3C_1$ . Какой заряд  $q$  при этом прошёл по проводам? Сколько процентов исходной энергии система при этом потеряла? А куда делась эта энергия?

**1.149.** Пространство между обкладками плоского конденсатора наполовину заполнено диэлектриком с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon$ . Во сколько раз увеличится ёмкость конденсатора при двух вариантах заполнения, показанных на рис. 1.29? В каком случае ёмкость возрастет больше?

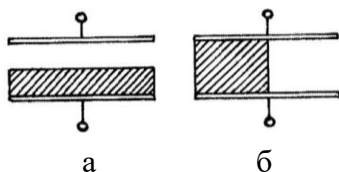


Рис. 1.29

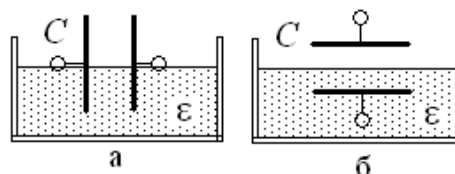


Рис. 1.30

**1.150.** Плоский конденсатор ёмкостью  $C$  имеет заряд  $q$ . Конденсатор наполовину погружают в непроводящую жидкость с диэлектрической про-

нищаемостью  $\varepsilon$ . Найти напряжение между пластинами при двух вариантах погружения, показанных на рис. 1.30.

**1.153.** Найти разность потенциалов  $u_{ab} = \varphi_a - \varphi_b$  в цепи, показанной на рис. 1.32, если к ней приложено напряжение  $u = 21$  В. Ёмкости конденсаторов:  $C_1 = 1$  мкФ,  $C_2 = 2$  мкФ,  $C_3 = 3$  мкФ,  $C_4 = 4$  мкФ.

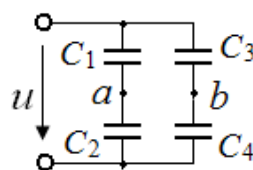


Рис. 1.32

**1.161.** Определить погонную ёмкость  $C_0$  (Ф/м) коаксиальной линии, если радиусы внутреннего и внешнего проводников равны 1 мм и 2,72 мм.

**1.162.** Определить погонную ёмкость  $C_0$  двухпроводной линии, если радиусы проводов равны 1 мм, а расстояние между ними  $d = 20$  мм.

**1.162a\*.** Найти погонную ёмкость  $C_0$  прямого длинного провода радиусом  $r = 1$  см, натянутого параллельно поверхности земли на высоте  $h = 2$  м.

### 13. Постоянный ток

**2.10.** К цепи, показанной на рис. 2.2, приложено постоянное напряжение. Сопротивления  $R_1 = 1$  Ом,  $R_2 = 3$  Ом,  $R_3 = 6$  Ом. Какая мощность будет выделяться на каждом резисторе, если выделяемая в цепи общая мощность  $P_0 = 27$  Вт?

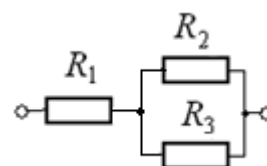


Рис. 2.2

**2.11.** К цепи на рис. 2.2, приложено постоянное напряжение. Сопротивления  $R_1 = 1$  Ом,  $R_2 = 3$  Ом,  $R_3 = 6$  Ом. Какая мощность будет выделяться на резисторе  $R_1$ , если на резисторе  $R_3$  выделяется мощность  $P_3 = 6$  Вт? Какое напряжение  $u_0$  приложено к цепи?

**2.32a.** Генератор соединён с реостатом, сопротивление которого можно менять. при токе  $i_1 = 1$  А на реостате выделяется мощность  $P_1 = 4$  Вт, а при токе  $i_2 = 5$  А – мощность  $P_2 = 10$  Вт. Определить ЭДС генератора и его внутреннее сопротивление  $r$ .

**2.64.** Найти ток  $i_1$  в цепи, изображённой на рис. 2.31, если  $R_1 = 1$  Ом,  $R_2 = 2$  Ом,  $R_3 = 3$  Ом, а потенциалы на концах  $\varphi_1 = 3$  В,  $\varphi_2 = 8$  В,  $\varphi_3 = 1$  В.

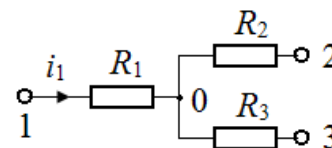


Рис. 2.31

### 14. Амперметры и вольтметры

**2.6.** Измерительный прибор (гальванометр) с внутренним сопротивлением  $r = 800$  Ом имеет шкалу, отградуированную до тока  $i_0 = 100$  мкА. Как и какой величины надо подключить к нему резистор  $R$ , чтобы изготовить: а) амперметр на токи до 2 А; б) вольтметр на напряжения до 20 В?

**2.7.** Измерительный прибор (гальванометр) с внутренним сопротивлением  $r = 800$  Ом имеет шкалу, отградуированную до напряжения  $u_0 = 100$  мВ. Как и

какой величины надо подключить к нему резистор  $R$ , чтобы изготовить: а) амперметр на токи  $i$  до 2 А; б) вольтметр на напряжения  $u$  до 20 В?

**2.7а.** Имеется цепочка из двух последовательно соединённых резисторов  $R_1 = 1$  кОм,  $R_2 = 2$  кОм, к которой приложено напряжение  $u = 3$  В (рис. 2.0). Ясно, что ток в цепи  $i = 1$  мА, а напряжения на резисторах  $u_1 = 1$  В,  $u_2 = 2$  В.

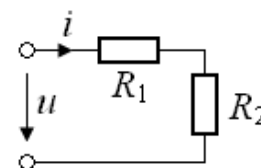


Рис. 2.0

Что покажет миллиамперметр с внутренним сопротивлением  $r = 300$  Ом, которым мы хотим измерить этот ток? А какое напряжение на резисторе  $R_2$  покажет вольтметр с внутренним сопротивлением  $r = 2$  кОм?

## 2.2. Уравнения Кирхгофа

**2.85а\*.** На схеме, показанной на рис. 2.49а,  $\mathcal{E}$  – идеальный генератор, ток через амперметр  $i_1 = 1$  А, напряжение на вольтметре  $u = 1$  В.

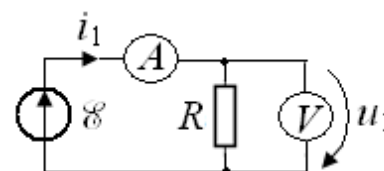


Рис. 2.49а

Если приборы поменять местами, то вольтметр покажет напряжение  $u_2 = 2$  В, а амперметр – ток  $i_2 = 0,5$  А. Найти сопротивление резистора  $R$ , ЭДС  $\mathcal{E}$  и внутренние сопротивления амперметра  $r_A$  и вольтметра  $r_V$ .

## 2.4. Зарядоперенос в разных системах

**2.130а\*.** Чтобы выбить атом меди из кристаллической решётки, ему надо сообщить энергию  $E_0 = 3,5$  эВ. Каким потенциалом  $U$  надо ускорить пучок ионов аргона  $\text{Ar}^+$ , чтобы они выбивали атомы из медной пластинки? Молярные массы:  $M_{\text{Cu}} = 64$  г/моль,  $M_{\text{Ar}} = 40$  г/моль.

А каким потенциалом надо ускорить пучок электронов, чтобы они начали выбивать атомы из медной пластинки? Масса электрона  $m_e \approx (1/2000)m_p$ , где  $m_p$  – масса протона.

## 15. Мосты

**2.15б.** В мостовой цепи, показанной на рис. 2.5б, сопротивления трёх резисторов  $R$  одинаковы, а диоды  $\mathcal{D}$  идеальные, т. е. идеально проводят ток в одном направлении и заперты в обратном. Когда к цепи приложили постоянное напряжение  $u$  в полярности, показанной на рис. 2.5б, в ней выделялась тепловая мощность  $P_1 = 18$  Вт. Какая мощность  $P_2$  будет выделяться в этой цепи при смене полярности напряжения  $u$ ?

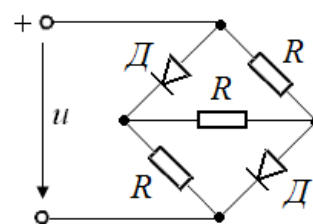


Рис. 2.5б

**2.15в.** В мостовой цепи, показанной на рис. 2.5в, сопротивления трёх резисторов  $R$  одинаковы, а диоды идеальные, т. е. идеально проводят ток в одном направлении и заперты в обратном. Когда к цепи приложили постоянное напряжение  $u$  в полярности, показанной на рис. 2.5в, в ней выделялась тепловая мощность  $P_1 = 6$  Вт. Какая мощность  $P_2$  будет выделяться в этой цепи при смене полярности напряжения  $u$ ?

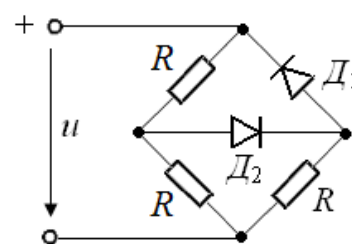


Рис. 2.5в

**2.15г.** В мостовой цепи, показанной на рис. 2.5г, сопротивления трёх резисторов  $R$  одинаковы, а диоды идеальные, т. е. идеально проводят ток в одном направлении и заперты в обратном. Когда к цепи приложили постоянное напряжение  $u$  в полярности, показанной на рис. 2.5г, в ней выделялась тепловая мощность  $P_1 = 2$  Вт. Какая мощность  $P_2$  будет выделяться в этой цепи при смене полярности напряжения  $u$ ?

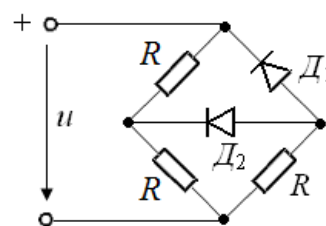


Рис. 2.5г

**2.15е.** В цепи, показанной на рис. 2.5е, а, напряжение  $u = 6$  В, сопротивления  $R_1$  и  $R_2$  фиксированы, а сопротивление  $r$  можно менять. На рис. 2.5е, б показан график зависимости  $i(r)$ . На основе этого графика найти сопротивления  $R_1$  и  $R_2$ .

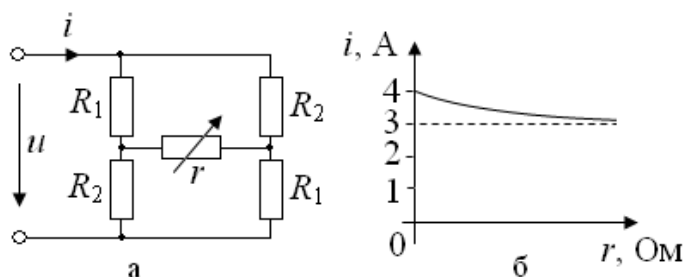


Рис. 2.5е

**2.44.** К схеме, показанной на рис. 2.17, приложено постоянное напряжение  $u$ . Когда ключ  $K$  разомкнут, то напряжение на конденсаторе  $u_1 = 20$  В. Какое напряжение  $u_2$  установится на конденсаторе, если ключ  $K$  замкнуть?

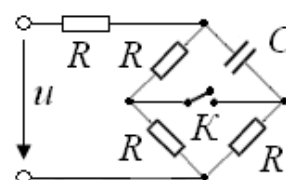


Рис. 2.17

**2.55.** Определить сопротивление  $R_0$  между двумя вершинами тетраэдра, составленного из шести одинаковых резисторов сопротивлением  $R$ .

**2.65.** В мостовой цепи, показанной на рис. 2.32, напряжение  $u = 24$  В,  $R_1 = 1$  Ом,  $R_2 = R_3 = 2$  Ом,  $R_4 = 6$  Ом. Определить напряжение  $u_{ab}$ .

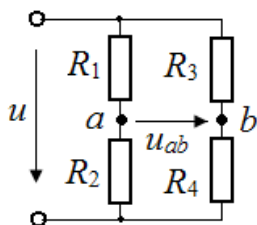


Рис. 2.32

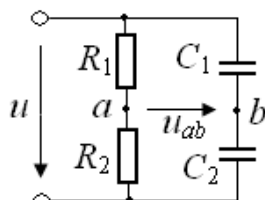


Рис. 2.33

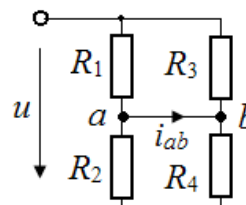


Рис. 2.34

**2.66.** В цепи, показанной на рис. 2.33, напряжение  $u = 24$  В, сопротивления  $R_1 = 1$  Ом,  $R_2 = 2$  Ом, ёмкости  $C_1 = 1$  мкФ,  $C_2 = 3$  мкФ. Определить напряжение  $u_{ab}$ .

**2.69.** В мостовой цепи, показанной на рис. 2.34, напряжение  $u = 25$  В,  $R_1 = 3$  Ом,  $R_2 = 4$  Ом,  $R_3 = 1$  Ом,  $R_4 = 2$  Ом. Найти ток  $i_{ab}$ .

**2.80.** Найти ток через амперметр в цепи, показанной на рис. 2.44, если напряжение на вольтметре 6 В, а сопротивления  $R_1 = 2$  Ом,  $R_2 = R_3 = 1$  Ом. Амперметр и вольтметр полагать идеальными.

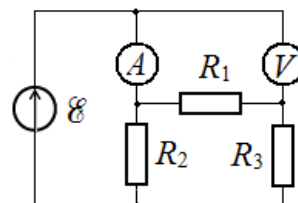


Рис. 2.44

**6.50.** К мостовой цепи, показанной на рис. 6.26, приложено напряжение  $u_{\text{вх}} = U \sin \omega t$ . Какое напряжение  $u_{ab}$  установится между точками  $a$  и  $b$ ? Диоды считать идеальными.

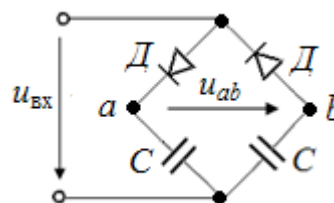


Рис. 6.26

## 16. Передача энергии

**2.20.** К генератору с ЭДС  $\mathcal{E}$  и внутренним сопротивлением  $r$  подключается нагрузка. При каком сопротивлении нагрузки  $R$  с генератора можно взять максимальную мощность? Чему она равна? Каков при этом КПД генератора?

**2.22.** Генератор с ЭДС  $\mathcal{E} = 6$  В соединен с нагрузкой. Выходное напряжение генератора  $u = 5$  В, ток  $I = 2$  А. Определить тепловую мощность, выделяемую в генераторе.

**2.24.** Генератор мощностью  $P_0 = 5000$  кВт передает энергию по двум медным проводам заводу, находящемуся на расстоянии  $l = 250$  км. Допустимая потеря мощности в линии (т. е. в проводах)  $\varepsilon = P_{\text{л}}/P_0 = 2\%$ . Определить диаметр провода  $D$ , если энергия передается под напряжением: а)  $u_0 = 10$  кВ; б)  $u_0 = 100$  кВ. Удельное сопротивление меди  $\rho = 0,017$  Ом·мм<sup>2</sup>/м.

**2.31.** Дом подключен к магистральной линии проводами, сопротивление которых равно 1 Ом. Напряжение в магистрали постоянно и равно 220 В. Определить суммарную допустимую мощность, потребляемую в доме, чтобы напряжение в доме не упало ниже 200 В.

**2.32.** ЭДС генератора  $\mathcal{E} = 2$  В, а его внутреннее сопротивление  $r = 1$  Ом. Внешняя нагрузка потребляет мощность  $P = 0,75$  Вт. Найти ток в цепи.

**2.33.** Генератор имеет выходное напряжение  $u = 2$  кВ и передает в линию электропередачи мощность  $P = 100$  кВт. Определить КПД линии  $\eta$ , если ее сопротивление  $r = 20$  Ом. Каков будет КПД, если  $r = 40$  Ом?

**2.34\*.** Генератор с ЭДС  $\mathcal{E} = 6$  В соединён с нагрузкой, сопротивление которой можно менять (рис. 2.14). При этом меняется и напряжение  $u$  на ней. При  $u = 4$  В на нагрузке выделяется мощность  $P = 8$  Вт. Какую наибольшую мощность  $P_{\max}$  можно получить на нагрузке, меняя её сопротивление  $R$  и чему оно при этом будет равно? Построить график  $P(u)$ .

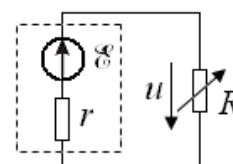


Рис. 2.14

## 17. Моторы

**2.51\*.** Электромотор питается напряжением  $u = 24$  В. При токе  $i = 8$  А мощность на валу мотора  $P_{\text{мех}} = 96$  Вт. Какой ток  $i_0$  пойдет через обмотку мотора, если его ротор остановить?

**2.52\*.** Электромотор питается постоянным напряжением  $u = 24$  В. Сопротивление обмотки его якоря  $r = 6$  Ом. Ток через обмотку зависит от нагрузки мотора. При каком токе  $i$  через обмотку полезная мощность  $P_{\text{мех}}$  на валу будет максимальной? Чему она равна? Каков при этом КПД мотора?

**2.53\*.** Электромотор питается постоянным напряжением. Пусковой ток мотора (при заторможенном роторе)  $i_0 = 15$  А, а в установившемся режиме некоторой нагрузки  $i = 6$  А. Найти КПД мотора при этой нагрузке.

**2.54\*.** Электровоз питается от линии с напряжением  $U = 500$  В. При движении электровоза со скоростью  $v = 72$  км/ч ток в обмотке электродвигателя  $I = 1$  кА, а пусковой ток  $I_0 = 2$  кА (т. е. ток при невращающемся роторе двигателя). Какую мощность  $P_{\text{мех}}$  и силу тяги  $F$  развивает электровоз при движении с такой скоростью? Каков при этом КПД двигателя?

## 18. Частица в магнитном поле

**4.24.** Протон, ускоренный потенциалом  $U = 20$  кВ, пролетает поперечное однородное поле  $B = 0,5$  Тл.

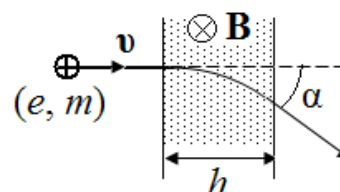


Рис. 4.5



Толщина области с полем  $h = 2$  см (рис. 4.5). Найти угол  $\alpha$  отклонения протона от исходной траектории.

**4.25.** Узкий пучок протонов проходит через область магнитного поля и слегка отклоняется им. Скорости протонов в пучке различны. Какие протоны отклоняются больше – быстрые или медленные?

**4.26.** Протон, ускоренный потенциалом  $U = 100$  В, влетает в однородное поле  $B = 0,1$  Тл под углом  $\alpha = 60^\circ$  к вектору  $\mathbf{B}$ . Найти радиус  $R$  и шаг  $h$  винтовой траектории протона.

**4.28.** Вакуумный прибор состоит из соосных цилиндра радиусом  $R$  и тонкой проволоки, помещённых в однородное продольное магнитное поле  $\mathbf{B}$  (рис. 4.7). При нагревании проволоки с её поверхности вылетают электроны со скоростями  $v$ , и по внешней цепи между цилиндром и проволокой протекает ток. Если увеличивать поле  $\mathbf{B}$ , то, начиная с некоторого значения  $\mathbf{B} = \mathbf{B}_0$ , ток прекратится. Найти это значение  $\mathbf{B}_0$ .

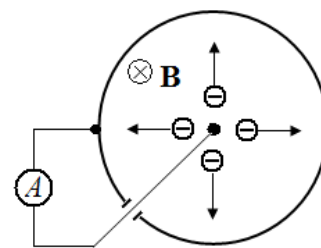


Рис. 4.7

**4.31.** На рис. 4.8 показана схема масс-спектрометра. В ионизаторе  $A$  образуются ионы  $^{16}\text{O}^+$  и  $^{15}\text{N}^+$ , которые ускоряются потенциалом  $U = 10$  кВ и выходят смешанным параллельным потоком через всё сечение щели  $d$ . Попадая затем в поперечное однородное поле  $B = 0,1$  Тл, они движутся по окружностям и падают на фотопластинку  $\Phi$ , вызывая её почернение. Какой должна быть ширина щели  $d$ , чтобы полосы ионов  $^{16}\text{O}^+$  и  $^{15}\text{N}^+$  на пластинке разделялись?

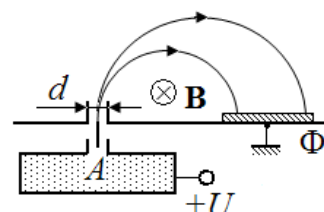


Рис. 4.8

## 19. Индукция

**5.1.** Виток провода площадью  $S$  и сопротивлением  $R$  находится в однородном магнитном поле  $\mathbf{B}$ , силовые линии которого перпендикулярны плоскости витка. Какой заряд  $q$  пройдёт по витку, если его выдернуть из поля?

**5.2.** Самолёт с размахом крыльев  $l = 50$  м летит горизонтально над Землёй со скоростью  $v = 300$  м/с. Вертикальная составляющая магнитного поля Земли над местом полёта  $B = 70$  мкТл. Следовательно, между концами крыльев наводится ЭДС  $\mathcal{E} = vBl = 1,05$  В, что вполне достаточно, чтобы светила маленькая лампочка. Однако, если такую лампочку в самолёте подключить к концам крыльев, то она светиться не будет. Почему?

**5.3.** Тонкая прямоугольная рамка площадью  $S = 10$  см<sup>2</sup> имеет обмотку из  $N = 100$  витков провода и вращается с частотой  $f = 10$  об/с вокруг своей оси. Рамка находится в однородном поле  $B = 1$  Тл, перпендикулярном оси вращения. Найти амплитуду ЭДС, наводимую в обмотке.

**5.4.** Медный диск радиусом  $r = 10$  см вращается с частотой  $f = 10$  об/с в перпендикулярном ему однородном поле  $B = 1$  Тл. Найти ЭДС между центром диска и его периферией.

**5.7.** Прямоугольную рамку размерами  $a \times b$  протягивают с постоянной скоростью  $v$  через область однородного поля  $\mathbf{B}$ , линии которого перпендикулярны плоскости рамки (рис. 5.2). Сопротивление рамки равно  $R$ . Размеры рамки малы по сравнению с размерами области поля  $\mathbf{B}$ . Сколько тепла  $Q$  выделится в рамке?

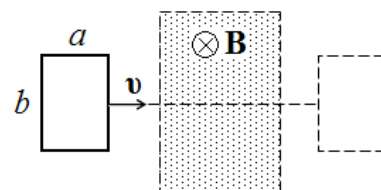


Рис. 5.2

**5.10.** Около прямого провода с током  $i = I \sin \omega t$ , где  $I = 100$  А,  $\omega = 314$  рад/с, в одной плоскости с ним находится прямоугольная тонкая рамка с обмоткой из  $N = 100$  витков (рис. 5.5). Найти амплитуду ЭДС, наводимой в обмотке рамки, если  $a = 10$  см,  $b = 20$  см,  $l = 1$  м.

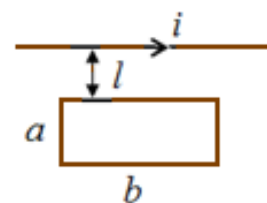


Рис. 5.5

## 20. Индуктивность

**5.28.** Определить индуктивность соленоида длиной  $l = 30$  см, сечением  $S = 3$  см<sup>2</sup> и имеющего  $N = 1000$  витков провода.

**5.30.** Вычислить погонную индуктивность коаксиальной линии, если отношение радиусов внешнего и внутреннего проводников равно 2,72. Магнитным полем внутри проводников линии пренебречь.

**5.31.** Вычислить погонную индуктивность двухпроводной линии, если радиусы проводов  $r$  равны по 0,5 см, а расстояние между ними  $d = 10$  см.

**5.32.** Вычислить погонную индуктивность полосковой линии, если ширина полосков  $a = 1$  см, а расстояние между ними  $d = 1$  мм.

**5.35.** Вычислить взаимную индуктивность  $M$  двух коаксиальных колец одинаковых радиусов  $R$ , находящихся на расстоянии  $l \gg R$  друг от друга. Принять  $R = 10$  см,  $l = 1$  м.

**5.38.** Найти взаимную индуктивность прямоугольной рамки размерами  $(a \times b)$  и бесконечного прямого провода, лежащего в плоскости рамки на расстоянии  $l$  от неё (рис. 5.21).

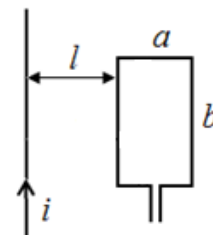


Рис. 5.21.

## 21. Волны

**7.4.** Антенна корабельного радиолокатора находится на высоте  $h = 25$  м над уровнем моря. На каком наибольшем расстоянии  $l$  (зона прямой видимости) такой радиолокатор может обнаружить лодку? С какой максимальной частотой  $f$  при этом могут излучаться зондирующие импульсы?

**7.5.** Радиолокатор работает на волне  $\lambda = 3$  см и излучает радиоимпульсы длительностью  $\tau = 1$  мкс. Сколько колебаний происходит за время импульса? Какова минимальная дальность  $l_{\min}$  обнаружения цели?

**7.21.** На рис. 7.4 показаны направления токов, а также потенциалы проводов  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$  на участке двухпроводной ЛЭП *постоянного тока*, причём  $\varphi_1 > \varphi_2$ . С какой стороны от участка находится генератор, а с какой нагрузка?

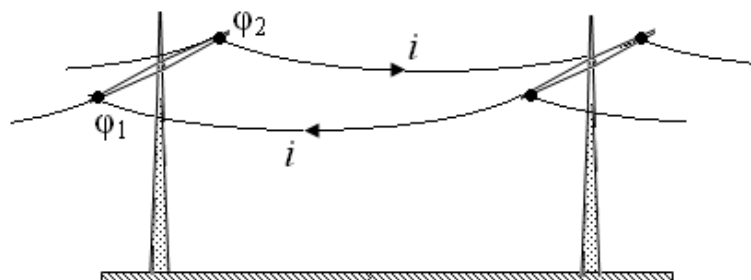


Рис. 7.4

А как без разрыва линии можно было бы определить направления токов в проводах, если бы они не были заранее известны?

## ОПТИКА

### 22. Интерференция. Угловое разрешение

**3.6.** Луч света проходит между зубцами вращающегося колеса, отражается от зеркала, установленного на расстоянии  $l = 8,7$  км, и возвращается к наблюдателю, опять проходя между зубцами того же колеса (опыт Физо по определению скорости света). При какой минимальной частоте  $\nu$  вращения колеса отражённый луч не будет виден наблюдателю, если число зубцов в колесе  $N = 720$ ?

**3.41а.** Найти угловое разрешение объектива диаметром  $D = 10$  см на волне  $\lambda = 500$  нм. Ответ выразить в угловых секундах.

**3.42.** Расстояние до Луны  $l = 400$  тыс. км. Оценить теоретически минимальные размеры предметов, различимых на Луне объективами диаметром  $D_1 = 5$  см (бинокль) и  $D_2 = 5$  м (телескоп).

**3.42а.** Диаметр зрачка человека  $D = 2$  мм. Найти его угловое разрешение (в идеале) на длине волны  $\lambda = 600$  нм (жёлтый). Ответ выразить в угловых минутах.

**3.43.** Диаметр зрачка глаза человека  $D = 3$  мм. На белом экране нарисованы две жирные чёрные точки отделённые промежутком  $s = 5$  мм. Оценить, с какого расстояния  $l$  человек теоретически сможет различить их именно как две. Принять  $\lambda = 600$  нм.

**3.43а.** Антенна радиолокатора имеет диаметр  $D = 3$  м, а рабочая длина волны  $\lambda = 3$  см (частота 10 ГГц). Найти угловое разрешение данной антенны. С какого расстояния  $l$  такой радиолокатор «увидит» два самолёта в группе именно как два, если расстояние между ними  $s = 100$  м.

## 23. Эффект Доплера

**3.53.** Первый кричит Второму против ветра. Частота звука Первого равна  $f$ . Какую частоту  $f'$  услышит Второй, если скорость ветра равна  $u$ , а скорость звука в воздухе –  $c$ ?

**3.54.** Вертикальная скорость погружения подводной лодки определяется гидролокатором, направленным вертикально вниз. Гидролокатор излучает звуковые волны на частоте  $f_0 = 100,0$  кГц, а отраженный от дна сигнал воспринимается на частоте  $f = 100,2$  кГц. Определить скорость погружения  $v$ , если скорость звука в воде  $c = 1500$  м/с. Считать, что  $v \ll c$ .

**3.55.** Два поезда идут встречными курсами с одинаковыми скоростями  $v_1 = v_2 = 108$  км/ч. Первый даёт гудок на частоте  $f = 400$  Гц. какую частоту  $f'$  будут слышать пассажиры второго: а) при сближении поездов; б) при удалении поездов? Скорость звука в воздухе  $c = 330$  м/с.

**3.56.** На одной нормали к стенке находятся источник звука частотой  $f_0 = 1$  кГц и приёмник. Источник и приёмник неподвижны, а стенка удаляется от них со скоростью  $v = 5$  м/с. Какую частоту  $f$  примет приёмник? Скорость звука в воздухе  $c = 340$  м/с.

**3.57.** Самолёт летит горизонтально со скоростью  $v = 170$  м/с вдоль линии, проходящей над нами. Собственная частота звука мотора,  $f_0 = 120$  Гц. Найти: 1) частоту звука  $f'$ , которую мы будем слышать, когда самолёт пролетает точно над нами; 2) угол  $\gamma$  (от вертикали), под которым мы будем видеть самолёт в тот момент, когда слышимая частота  $f = f_0$ . Скорость звука в воздухе  $c = 340$  м/с.

**3.58.** Один шофёр-физик, проехавший красный светофор, объяснял по-стovому, что из-за доплеровского смещения красный свет ( $\lambda_1 = 660$  нм) был

виден ему как зелёный ( $\lambda_2 = 550$  нм). Оценить в нерелятивистском приближении, какой при этом должна быть скорость машины  $v$ .

**3.59.** Как движется некая звезда относительно нас, если линия титана  $\lambda = 495$  нм в её спектре смещена в длинноволновую область на  $\Delta\lambda = 0,17$  нм?

**3.60.** С какой скоростью удаляется от нас некоторая галактика, если линия водорода  $\lambda = 434$  нм в её спектре смещена в длинноволновую область на  $\Delta\lambda = 180$  нм?

**3.61.** При наблюдении линии  $\lambda = 590$  нм на противоположных краях диска Солнца обнаружено доплеровское расхождение  $\Delta\lambda = 8$  пм. Определить период  $T$  вращения Солнца, если его радиус  $R = 700000$  км.

**3.62.** Определить температуру  $T$  (К) атомарного водорода, если его спектральная линия  $\lambda = 655$  нм имеет доплеровское уширение  $\Delta\lambda = 0,044$  нм.

**3.63.** Ручной СВЧ-спидометр работает на частоте  $f_0 = 10$  ГГц. Машина едет «к нам» со скоростью  $v = 15$  м/с (54 км/час). Найти смещение частоты  $\Delta f$  в отражённом луче.

**3.64.** Наземный радиолокатор работает на частоте  $f = 10$  ГГц. Самолёт летит горизонтально «в нашу сторону» и виден в небе под углом  $\alpha = 60^\circ$  к горизонту. Смещение частоты принимаемых отражённых волн в радиолокаторе  $\Delta f = 10$  кГц. Определить скорость  $v$  самолёта.

*Подсказка.* Самолёт отражает на той же частоте, которую воспринимает.

## 24. Тепловое излучение

**4.1.** Угольный стержень диаметром  $D = 1$  см, длиной  $l = 20$  см нагревается в вакууме током  $i = 3$  А при напряжении  $u = 100$  В. Установившаяся температура стержня  $T = 730^\circ\text{C}$ . Определить его коэффициент черноты  $\varepsilon$ .

**4.5.** Какую мощность  $P$  надо подводить к чёрному шару радиусом  $r = 10$  см, чтобы поддерживать его температуру на  $100^\circ$  выше температуры среды  $T_0 = 27^\circ\text{C}$ ? Теплообмен шара со средой считать только тепловым излучением. Среду полагать серым телом с коэффициентом черноты  $\varepsilon = 0,2$ .

**4.6.** К лампочке подводится мощность  $P = 100$  Вт. Лампочка окружена чёрным сферическим плафоном радиусом  $r = 10$  см. Определить температуру плафона  $T$ , полагая, что он передаёт тепло только излучением, а) без учёта температуры окружающей среды; б) с учётом, что температура окружающей среды  $T_0 = 27^\circ\text{C}$ ; среду полагать серым телом с коэффициентом черноты  $\varepsilon = 0,2$ .

**4.7.** В космосе находится космическая станция с чёрным корпусом. В результате тепловыделения работающих приборов внутри станции температура её корпуса  $T_0$  установилась  $-23^\circ\text{C}$ . Определить установившуюся температуру

корпуса  $T_1$ , если станцию окружить тонким чёрным с двух сторон экраном. Влияние Солнца не учитывать.

**4.9\*.** Температура поверхности Солнца  $T_{\odot} = 6000$  К. Диск Солнца виден с Земли под углом  $\gamma = 0,5^\circ$ . Определить интенсивность  $I$  (Вт/м<sup>2</sup>) солнечного излучения на расстоянии орбиты Земли.

**4.11.** Известно, что интенсивность излучения Солнца на расстоянии орбиты Земли  $I = 1,4$  кВт/м<sup>2</sup>. В космосе на этом расстоянии от Солнца расположена тонкая чёрная с двух сторон пластинка, ориентированная плоскостью к Солнцу. Найти установившуюся температуру пластинки  $T$  (°С).

**4.12\*.** Солнце излучает как абсолютно чёрное тело с температурой  $T_{\odot} = 5800$  К. В космосе на орбите Марса расположена чёрная с двух сторон пластинка, ориентированная плоскостью к Солнцу. Определить её установившуюся температуру  $T$  (°С), если угловой размер солнечного диска с Марса  $\gamma = 21'$ .

**4.13\*.** Солнце излучает как абсолютно чёрное тело с температурой  $T_{\odot} = 5800$  К. В космосе на орбите Земли находится зачернённый шар. Найти его установившуюся температуру  $T$  (°С), если угловой размер Солнца с Земли  $\gamma = 32'$ .

**4.14.** Поток энергии, излучаемой Арктуром, в 100 раз больше потока энергии, излучаемой нашим Солнцем. Температура Арктура  $T = 4500$  К, температура Солнца  $T_{\odot} = 6000$  К. Во сколько раз Арктур больше Солнца?

**4.15.** Поток энергии, излучаемой Сириусом, в 22 раза больше потока энергии, излучаемой нашим Солнцем. Расстояние до Сириуса  $r = 8,7$  св. года. На каком расстоянии от Солнца обе эти звезды будут выглядеть одинаково яркими, т. е. интенсивность излучения от них будут одинаковой?

**4.19\*.** Железный шарообразный астероид приближается к Солнцу. На каком расстоянии  $r$  от Солнца он расплавится, если его температура плавления  $T_{пл} = 1530^\circ\text{С}$ , а его тепловое излучение происходит по закону Стефана-Больцмана? Постоянная Стефана-Больцмана  $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$  ед. СИ, радиус орбиты Земли  $R_0 = 150$  млн. км, интенсивность солнечного излучения на этом расстоянии  $I_0 = 1400$  Вт/м<sup>2</sup>.

## 25. Фотоны

**4.33.** Человек в полной темноте может увидеть источник света, когда в зрачок его глаза попадает  $n \approx 100$  фотонов в секунду. Определить соответствующую мощность  $P$  светового потока, воспринимаемого глазом. Длина волны  $\lambda = 500$  нм.

**4.34\*.** Точечный источник света мощностью  $P = 1$  Вт (маленькая лампочка) даёт монохроматическое излучение с длиной волны  $\lambda = 600$  нм. На него с расстояния  $l = 100$  м смотрит человек. Сколько фотонов за 1 с попадает в зрачок его глаза, если радиус зрачка  $R = 2$  мм?

**4.35.** Лазер мощностью  $P = 2$  мВт излучает свет с длиной волны  $\lambda = 630$  нм. Сколько фотонов, лазер излучает за одну секунду?

**4.41.** Молекула некоторого газа расщепляется зелёным светом ( $\lambda = 480$  нм). Оценить температуру  $T$ , до которой надо нагреть газ, чтобы расщепление его молекул происходило при их столкновениях.

## 26. Закон радиоактивного распада

**5.20.** За 12 суток активность радиоактивного элемента уменьшилась в 8 раз. Определить его период полураспада  $T$ .

**5.21.** Определить период полураспада  $T$  радиоактивного элемента, если за сутки распался 1% всех его атомов.

**5.22.** Период полураспада радиоактивного йода  $I_{53}^{131}$   $T = 8$  сут. За какое время количество атомов йода уменьшится в 1000 раз?

**5.23.** Какая доля радиоактивных ядер некоторого элемента распадается за половину периода полураспада?

**5.24.** Период полураспада некоторого элемента равен 71 сутки. Сколько процентов этого элемента останется через 30 суток?

**5.27.** В результате реакции слияния ядер дейтерия  $H_1^2$  и трития  $H_1^3$  образуется новое ядро и нейтрон, и при этом выделяется  $E_0 = 17,6$  МэВ энергии. Определить неизвестное ядро, а также полную энергию  $E$ , которая выделится при реакции 1 г дейтерия.

**5.36.** Атомная масса хлора 35,5. Хлор имеет два изотопа:  $Cl_{17}^{35}$  и  $Cl_{17}^{37}$ . Найти их процентное содержание.

**5.37.** Найти электрическую мощность (в мегаваттах) атомной электростанции, расходующей в сутки  $m = 220$  г урана  $U_{92}^{235}$  и имеющей КПД  $\eta = 25\%$ . При делении одного ядра урана выделяется энергия  $E_0 = 200$  МэВ.

**5.38\*.** Энергия, выделяемая при распаде ядра  $U_{92}^{235}$  обычно называется «ядерной», но на самом деле это в основном «электрическая» энергия. Она высвобождается, как только кулоновские силы отталкивания протонов в ядре превзойдут ядерные силы их притяжения.

Полагая, что ядро  $U_{92}^{235}$  распадается на два осколка с атомными номерами 55 и 37, а ядерные силы практически перестают действовать с расстояния  $r = 1,5 \cdot 10^{-14}$  м, оценить: 1) энергию (МэВ), выделяемую при распаде одного ядра урана; 2) тротиловый эквивалент (в килотоннах) ядерной бомбы с 10 кг урана, если тепловой эквивалент тротила  $q = 4$  МДж/кг.



**5.43\*.** По современным представлениям, наше Солнце и планеты образовались в результате коллапса газопылевого облака, образовавшегося после взрыва сверхновой. Предполагается, что сразу после такого взрыва в облаке было примерно поровну изотопов урана  $U^{235}$  и  $U^{238}$ . Сейчас природный уран содержит  $\eta_1 = 0,7\%$  изотопа  $U^{235}$  и  $\eta_2 = 99,3\%$  изотопа  $U^{238}$ . Оценить, сколько лет назад произошёл взрыв той сверхновой, если периоды полураспада для изотопов  $U^{235}$  и  $U^{238}$ :  $T_1 = 0,7 \cdot 10^9$  лет,  $T_2 = 4,5 \cdot 10^9$  лет.

## 27. Релятивистская механика

**4.51\*.** Определить длину волны  $\lambda$  электромагнитного излучения, энергия одного кванта которого равна энергии покоя электрона. С какой скоростью  $v$  должен двигаться электрон, чтобы его импульс был равен импульсу такого фотона?

**6.1.** Каждую секунду Солнце излучает примерно  $4,5 \cdot 10^{26}$  Дж энергии. Оценить уменьшение массы Солнца за секунду.

**6.2.** Оценить потерю массы  $\Delta m$  Солнцем за секунду вследствие его излучения, если известно, что на расстоянии орбиты Земли ( $R = 150$  млн км) интенсивность солнечного излучения  $I = 1400$  Вт/м<sup>2</sup>.

**6.3.** Во сколько раз релятивистская масса частицы превышает её массу покоя при скорости  $v = 0,9999 c$  ?

**6.13\*.** В космических лучах встречаются протоны с энергией порядка  $10^{13}$  МэВ. Сколько времени потребуется такому протону «с его точки зрения», чтобы пересечь нашу галактику диаметром  $D \sim 10^5$  световых лет? Энергия покоя протона  $m_0 c^2 = 938$  МэВ  $\approx 10^3$  МэВ.

**6.14\*.** Для земного наблюдателя размер галактики Туманность Андромеды (рис. 6.1) составляет примерно 100 тыс. световых лет. Какого размера покажется эта галактика для того быстрого протона из задачи **6.13** ?

**6.15.** Скорость ракеты  $v = 0,99 c$ . По своим часам ракета находилась в полёте время  $\Delta t' = 1$  год. Сколько лет при этом прошло на Земле ?

**6.16.** Расстояние до Веги 27 световых лет. Сколько времени для жителей Земли и для космонавтов займёт полёт до Веги и обратно на корабле, летящем со скоростью  $v = 0,999 c$ .

**6.22\*.** Нейтронные звёзды (пульсары) имеют нейтронную плотность  $\rho \sim 10^{17}$  кг/м<sup>3</sup>. Оценить наименьший радиус  $R$  такой звезды, при котором фотон, излучённый с её поверхности, не сможет преодолеть её гравитационного поля, т.е.

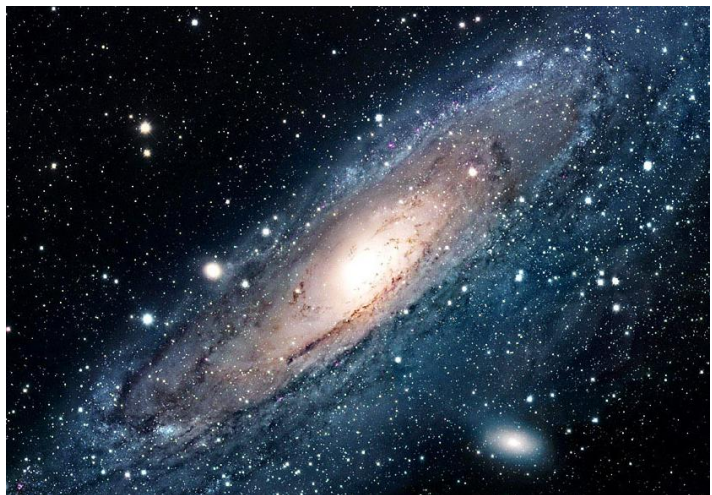


Рис. 6.1. Галактика Туманность Андромеды

нейтронная звезда станет чёрной дырой. Гравитационная постоянная  $G = 1/(15 \cdot 10^9)$  ед. СИ.

**6.23\***. Первый и Второй родились одновременно. Первый жил у моря, а Второй в горах, на высоте  $h = 1$  км. Через 30 лет они встретились. Из-за того, что они жили в разных гравитационных полях, темп времени у них был разным. Оценить, на сколько при встрече Второй оказался старше Первого.