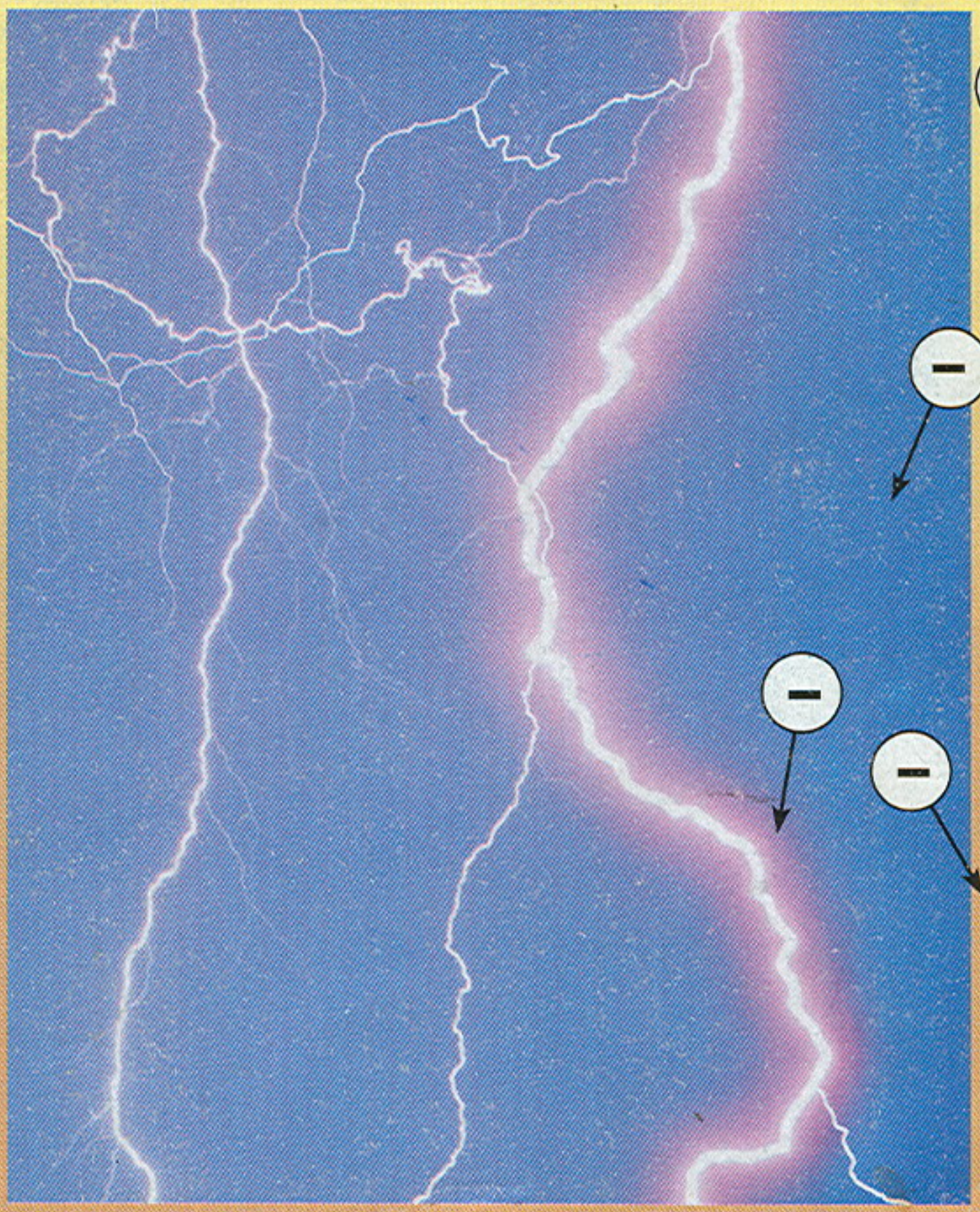
И.М.Гельфгат, И.Ю.Ненашев

ФИЗИКА 10

СБОРНИК ЗАДАЧ



ГИМНАЗИЯ

ББК 22.2 я 72.3
Г32

Рецензенти:

К.О. Чишко — доктор фізико-математичних наук

Т.В. Лободюк — заслужений учитель України

Гельфгат І.М., Ненашев І.Ю.

Г32 Фізика-10. Збірник задач. — Харків: «Гімназія», 2001 — 112 с.

Рос. мовою.

ISBN 966-7384-55-1

Книга адресована учащимся общеобразовательных школ, а также гимназий и лицеев. Книга содержит задачи по физике для 10 класса, дифференцированные по сложности в соответствии с принятой в Украине 12-балльной системой оценивания учебных достижений учащихся. В каждом разделе выделены ключевые задачи, к которым приведены решения. Выделены также качественные задачи и вопросы.

ББК 22.2 я 72.3

ISBN 966-7384-55-1

© Гельфгат І.М., Ненашев І.Ю.

СОДЕРЖАНИЕ

К читателю 4

1. Основы молекулярно-кинетической теории. Постоянная Авогадро ... 5
2. Газовые законы. Уравнение состояния идеального газа 9
3. Связь между температурой и средней кинетической энергией молекул 15
4. Законы термодинамики. Тепловые двигатели 17
5. Свойства твердых тел и жидкостей 22
6. Теплообмен и фазовые превращения. Насыщенный пар, влажность воздуха 28
7. Закон Кулона. Напряженность электрического поля 33
8. Потенциал. Проводники и диэлектрики в электрическом поле 38
9. Конденсаторы. Энергия электрического поля 42
10. Закон Ома для участка цепи 45
11. Работа и мощность тока. Закон Ома для полной цепи 48
12. Магнитное поле. Вектор магнитной индукции 53
13. Электромагнитная индукция 61
14. Электрический ток в различных средах 68

Ответы, указания, решения 75

Приложение 103

К ЧИТАТЕЛЮ

- Книга адресована учащимся общеобразовательных школ, а также гимназий и лицеев.
- Книга полностью соответствует действующей программе по физике, утвержденной Министерством образования и науки Украины.
- Книга содержит задачи по физике для 10 класса, дифференцированные по сложности на три уровня в соответствии с принятой в Украине 12-балльной системой оценивания учебных достижений учащихся. Для достижения достаточного уровня необходимо проработать задачи среднего и достаточного уровней, для достижения высокого уровня необходимо проработать задачи среднего, достаточного и высокого уровней.
- В каждом разделе отобран ряд ключевых задач, к которым даны полные решения (такие задачи отмечены знаком). Выделены также качественные задачи и вопросы (они отмечены знаком).
- Справочный материал, необходимый для решения задач, помещен в Приложении.
- Раздел «Электромагнитная индукция» предназначен для школ и классов с углубленным изучением физики.
- Ответы к задачам округлены согласно правилам приближенных вычислений.

Авторы признательны рецензентам К.А. Чишко и Т.В. Лободюк за полезные замечания, В.Л. Манакину за многочисленные обсуждения задач. Большую помощь в работе над книгой оказали администрация Физико-математического лицея № 27 г. Харькова и учитель А.В. Евсиков.

1. ОСНОВЫ МОЛЕКУЛЯРНО-КИНЕТИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ. ПОСТОЯННАЯ АВОГАДРО

$$\nu = \frac{N}{N_A} = \frac{m}{M}, \quad m_0 = \frac{M}{N_A}$$

Пример решения задачи

При изготовлении астрономического зеркала на поверхность площадью $S = 1$ м^2 напылили $m = 0{,}1$ г серебра. Оцените размер d атомов серебра, если в зеркальном покрытии $N = 100$ атомных слоев.

Дано:

$S = 1$ м^2

$m = 0{,}1$ г $= 10^{-4}$ кг

$N = 100$

$\rho = 10500$ кг/м^3

$d - ?$

Решение.

Толщина напыленного слоя серебра $h = Nd$.

Объем этого слоя $V = Sh = SNd$, а его масса $m = \rho V = N\rho Sd$.

Отсюда получаем $d = \dfrac{m}{N\rho S}$.

$$[d] = \frac{\text{кг}}{\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot \text{м}^2} = \text{м}. \qquad d = \frac{10^{-4}}{100 \cdot 10500 \cdot 1} \approx 10^{-10}\ (\text{м}).$$

Ответ. Приблизительно 10^{-10} м.

Средний уровень

1.1. Какова толщина керосиновой пленки на поверхности воды, если керосин массой 1,6 г образовал пятно площадью 200 м^2? Какой вывод можно отсюда сделать о размерах молекул?

1.2. Чем объясняется явление диффузии? Почему диффузия в газах происходит намного быстрее, чем в жидкостях?

1.3. Почему водород и гелий способны «улетучиваться» даже из герметично закрытых емкостей?

1.4. Если не работает вентиляция, мельчайшая древесная пыль в столярном цеху часами «висит» в воздухе даже после выключения деревообрабатывающих станков. Почему?

1.5. Две стеклянные пластинки трудно оторвать друг от друга, если между ними есть немного воды. Если же стекла сухие, то они отделяются друг от друга без труда. Почему?

1.6. Почему полировка трущихся поверхностей может привести не к уменьшению трения, а, наоборот, к увеличению?

1.7. Каковы молярные массы гелия, меди, ртути, урана?

1.8. Каковы молярные массы поваренной соли NaCl, сульфата меди $CuSO_4$, аммиака NH_3?

1.9. Какова масса 25 моль кислорода?

1.10. Какова масса атома лития? Атома золота?

1.11. Чему равна масса молекулы метана (CH_4)?

Тренировочные задания

1.12. При диффузионной сварке детали прижимают друг к другу, нагревают до определенной температуры и выдерживают некоторое время (диффузионная сварка позволяет прочно соединять детали из разных металлов и даже металлические детали с керамическими). Какую (примерно) температуру следует поддерживать при сварке?

1.13. Во сколько раз изменилось бы количество вещества в баллоне, если бы в результате электрического разряда находящийся в баллоне кислород (O_2) превратился в озон (O_3)?

1.14. Сколько молекул содержится в 1 г углекислого газа (CO_2)?

1.15. Сколько молекул содержится в 5 г водорода (H_2)?

1.16. Через микроскопические щели из баллона со сжатым воздухом*) ежесекундно «уходят» 5 миллиардов молекул. За какое время масса баллона с воздухом уменьшится на 1 мг?

1.17. Сколько ионов натрия содержится в пачке поваренной соли (NaCl) массой 500 г?

1.18. Какое количество вещества содержится в 39 г железа?

1.19. Каково количество вещества (SiO_2) в песчинке массой 20 мг?

1.20. Где больше атомов кислорода: в 10 моль воды или 5 моль кислорода? Во сколько раз?

1.21. Где больше молекул: в 5 г водорода или 10 г воды? Во сколько раз больше?

---

*) Здесь и далее считайте воздух газом с молярной массой 0,029 кг/моль.

1.22. Какой объем занимают 4 моль алюминия?

1.23. Поместятся ли в трехлитровой банке 50 моль ртути?

1.24. В каком объеме воды содержится 10^{18} молекул (вода находится в жидком состоянии)?

1.25. Где больше молекул: в стакане воды или в воздухе внутри пустой бочки? Объем стакана 200 $см^3$, объем бочки 0,4 $м^3$, воздух находится при нормальных условиях.

1.26. При каком объеме спортивного зала количество молекул воздуха в этом зале в 100 раз превышает количество атомов в железной штанге массой 100 кг?

1.27. Сравните количество вещества в двух кубиках одинакового объема: железном и алюминиевом.

1.28. В гальванической ванне корпуса часов покрывают слоем золота толщиной 24 мкм. Сколько атомов золота в покрытии, если площадь поверхности корпуса часов равна 10 $см^2$?

1.29. Какова была бы относительная атомная масса фтора, если бы за атомную единицу массы приняли массу *молекулы* водорода?

1.30. В какой из капель — воды или ртути — количество вещества больше? Во сколько раз? Рассмотрите случаи, когда капли имеют: а) одинаковые массы; б) одинаковые объемы.

1.31. Оцените размеры молекулы воды, воспользовавшись приведенными в Приложении данными.

1.32. При изготовлении интегральной микросхемы в кристалл сверхчистого кремния массой 1 мг вводят галлий массой 10^{-6} г. Сколько атомов кремния приходится на один атом галлия?

1.33. В цилиндрическом стакане диаметром 7 см находится вода массой 200 г. Оцените количество молекулярных слоев, «уходящих» с поверхности воды ежесекундно, если вся вода испаряется за 10 суток. Считайте, что скорость испарения постоянна, а толщина молекулярного слоя равна $1{,}5 \cdot 10^{-10}$ м.

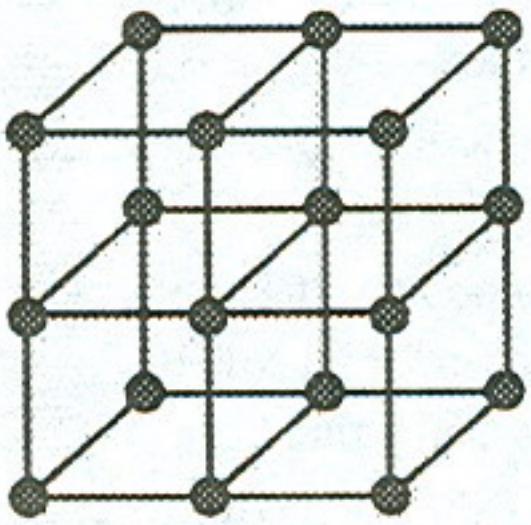
1.34. В научно-фантастических произведениях встречается упоминание о сверхпрочной и сверхтонкой нити толщиной в один атом. Какой была бы длина такой нити массой 20 г, изготовленной из углерода? Сравните эту длину с расстоянием от Земли до Солнца. Считайте атом углерода шариком радиусом $7{,}7 \cdot 10^{-10}$ м.

1.35. В закрытом баллоне с кислородом находится уголь массой 12 г. Во сколько раз изменится количество вещества в баллоне после сгорания угля? Рассмотрите два случая: а) масса кислорода равна 32 г; б) масса кислорода равна 64 г.

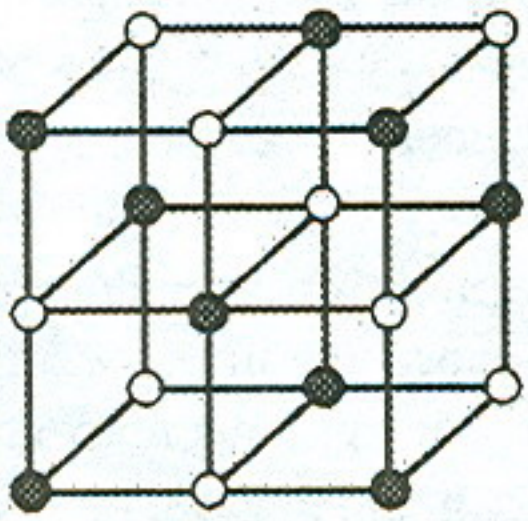
1.36. В герметично закрытой лаборатории площадью $S = 80$ м^2 и высотой $h = 3$ м капельку ртути радиусом $r = 0{,}2$ мм подвергли сильному нагреву, в результате чего она быстро испарилась. Была ли при этом превышена предельно допустимая концентрация (ПДК) паров ртути в помещении? ПДК паров ртути $n_{max} = 3 \cdot 10^{16}$ м$^{-3}$.

1.37. В озеро со средней глубиной 7,5 м и площадью 16 км^2 бросили кристаллик поваренной соли NaCl массой 20 мг. Спустя очень длительное время из озера зачерпнули стакан воды объемом 200 см^3. Сколько ионов натрия из брошенного кристаллика оказалось в этом стакане?

1.38. Какова плотность ρ кристалла с так называемой простой кубической решеткой (см. рисунок), если масса каждого атома m_0, а длина ребра кубической ячейки a?



К задаче 1.38



К задаче 1.39

1.39. Кристаллы поваренной соли NaCl имеют кубическую решетку, состоящую из чередующихся ионов Na и Cl (см. рисунок). Найдите расстояние a между центрами ближайших ионов. Плотность соли $\rho = 2200$ кг/м^3.

2. ГАЗОВЫЕ ЗАКОНЫ. УРАВНЕНИЕ СОСТОЯНИЯ ИДЕАЛЬНОГО ГАЗА*)

$$\frac{pV}{T} = \text{const} \ (\text{при } m = \text{const}), \ pV = \frac{m}{M}RT$$

2.1. Выразите в кельвинах значения температуры: 27 °С, –23 °С, 370 °С.

2.2. Выразите в градусах Цельсия значения температуры: 23 К, 93 К, 753 К.

2.3. При какой температуре по шкале Кельвина плавится свинец?

2.4. Температура в комнате увеличилась на 10 °С. На сколько увеличилась температура по шкале Кельвина?

2.5. При температуре –23 °С газ занимает объем 60 л. Каков будет объем газа при 127 °С? Давление газа не изменилось.

2.6. При изготовлении ламп накаливания их баллоны заполняют азотом под давлением, значительно меньшим атмосферного. Почему это давление не делают равным атмосферному?

2.7. На сколько процентов увеличилось давление газа в закрытом баллоне, который внесли с улицы в комнату? Температура наружного воздуха равна –23 °С, температура в комнате 17 °С.

2.8. Давление газа в баллоне при 27 °С равно 240 кПа. Каким станет давление после нагрева газа на 100 °С? Охлаждения на 50 °С?

2.9. В баллоне объемом 10 л находится воздух при давлении 1,5 МПа. Каким станет давление газа, если открыть кран, соединяющий этот баллон с другим, имеющим объем 40 л, из которого воздух откачан? Температура газа не изменяется.

2.10. Газ при температуре 37 °С и давлении 1,5 МПа имеет объем 10 л. Каков объем этой массы газа при нормальных условиях?

2.11. При сжатии воздуха в цилиндре дизельного двигателя объем воздуха уменьшается в 15 раз, а температура повышается от 47 °С до 620 °С. Каково давление воздуха в конце сжатия, если в начале сжатия давление воздуха равнялось 100 кПа?

2.12. Каково количество вещества в газе, если при температуре –13 °С и давлении 500 кПа объем газа равен 30 л?

2.13. Какое давление должен выдерживать газовый баллон объемом 50 л, чтобы при температуре 25 °С в нем можно было хранить 2 кг метана (CH_4)?

---

*) Здесь и далее, если атмосферное давление не задано, считайте его равным 100 кПа.

Достаточный уровень

2.14. Перевернутую открытую колбу нагрели, закрыли пробкой и опустили в ведро с водой. Когда пробку вынули, вода заполнила 25% объема колбы. До какой температуры была нагрета колба, если температура воды в ведре 20 °С?

2.15. После увеличения абсолютной температуры в 1,2 раза объем газа увеличился на 0,6 л при постоянном давлении. Найдите первоначальный объем газа.

2.16. Изменялось ли давление газа, заключенного в непроницаемую эластичную оболочку, если при нагревании газа от 250 К до 500 К его объем возрос в 1,5 раза?

2.17. Космический корабль, стартовав с Земли, вышел на околоземную орбиту. Как изменилось давление воздуха в герметично закрытом отсеке? Температура в отсеке не изменилась.

2.18. Почему баллон с *любым* сжатым газом представляет большую опасность при пожаре?

2.19. После повышения температуры на 9 К давление газа в закрытом баллоне увеличилось на 3%. Какой была начальная температура?

2.20. После увеличения абсолютной температуры в 1,3 раза давление газа в закрытом баллоне увеличилось на 150 кПа. Каким было начальное давление в баллоне?

2.21. Когда летнее солнце нагрело баллон с газом на 15 К, показание манометра*) на баллоне увеличилось от 19 атм до 20 атм. Какой была начальная температура баллона?

2.22. Манометр на баллоне с газом при температуре 27 °С показывал 5 атм. Когда баллон вынесли на улицу, где температура равна –23 °С, манометр показал 3,6 атм. Не произошла ли при переноске утечка газа из баллона?

2.23. Газ находится в стальном баллоне. Есть ли трещины в баллоне, если при нагревании от 100 К до 300 К давление в баллоне изменяется от 120 кПа до 340 кПа?

2.24. Бутылку закрыли пробкой, площадь сечения которой равна 2 см^2. Чтобы вытащить пробку, нужно приложить силу 10 Н. До какой температуры нужно нагреть бутылку, чтобы пробка вылетела? Начальная температура воздуха в бутылке равна 20 °С.

2.25. При надувании щек и давление, и объем воздуха во рту возрастают, а температура остается неизменной. Не противоречит ли это закону Бойля-Мариотта?

---

*) Следует учитывать, что манометр показывает давление, *избыточное* над атмосферным (разность давлений внутри и снаружи баллона).

2.26. При изотермическом сжатии объем газа уменьшился на 5 л, а давление увеличилось в 3 раза. Каким был начальный объем газа?

2.27. Всплывающий со дна озера пузырек воздуха вблизи поверхности воды имеет диаметр $D = 2$ мм. На какой глубине h диаметр пузырька d был равен 1,5 мм? Изменение температуры воды с глубиной не учитывайте.

2.28. Чтобы подводная лодка всплыла, нужно с помощью сжатого воздуха вытеснить из балластных цистерн 1 т морской воды. С какой наибольшей глубины может всплыть лодка, имея в запасе шесть баллонов сжатого воздуха объемом по 30 л? Давление сжатого воздуха 7 МПа.

2.29. Изменялась ли температура газа при сжатии, если при уменьшении объема в 2 раза давление возросло от 120 кПа до 260 кПа?

2.30. Объем газа уменьшили в 1,5 раза, в результате чего абсолютная температура увеличилась на 20%, а давление — на 320 кПа. Каким было начальное давление газа?

2.31. Два баллона, имеющие объемы 6 л и 14 л, содержат газы при давлениях соответственно 8 МПа и 5 Мпа и при одинаковой температурое. Баллоны соединены трубкой с краном. Какое давление установится в баллонах, если открыть кран? Температура не изменяется, газы в химическую реакцию не вступают.

2.32. Компрессор нагнетает воздух в резервуар емкостью 50 л, захватывая при каждом качании объем воздуха 2 л. Первоначально давление в резервуаре равно атмосферному. Какое давление установится в резервуаре после 100 качаний компрессора? Считайте, что температура воздуха при сжатии не изменяется.

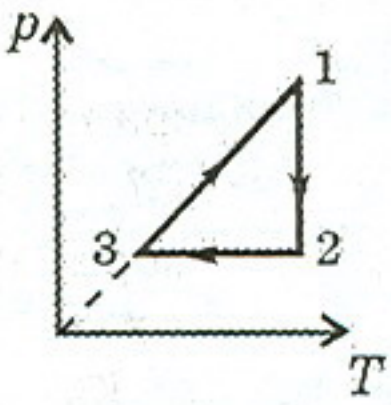
2.33. Поршневым воздушным насосом объемом $V = 2$ л откачивают воздух из баллона объемом $V_0 = 50$ л. Каково давление в сосуде после $N = 100$ качаний насоса, если начальное давление равно атмосферному? Температуру можно считать неизменной.

2.34. При температуре –23 °С давление газа в баллоне равно 1,8 МПа. Если давление в баллоне превышает 2 МПа, автоматический клапан открывается и выпускает часть газа. Сколько процентов газа выйдет из баллона, если температура в помещении поднимется до 27 °С?

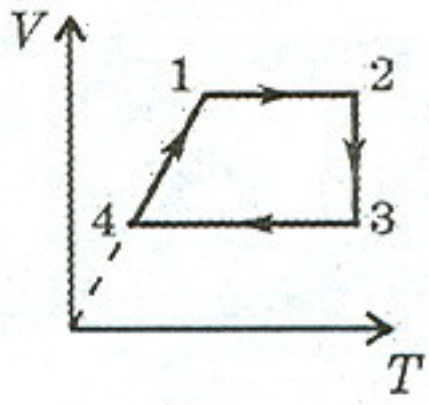
2.35. Из автомобильной шины через небольшое отверстие вытекает воздух. На сколько повысилась температура шины во время движения автомобиля, если после вытекания 10% воздуха

давление в шине не изменилось? Начальная температура равна 10 °С.

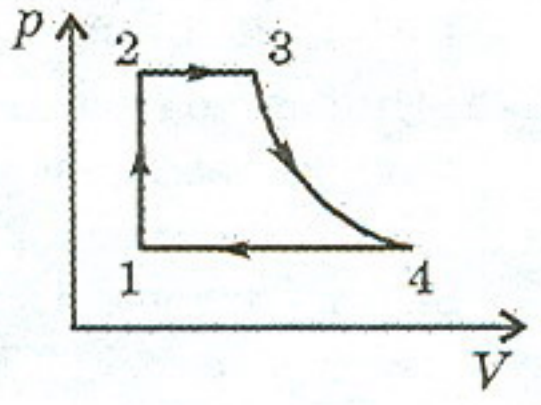
2.36. Постройте графики процесса, происходящего с идеальным газом (см. рисунок), в координатах V, T и p, V. Масса газа постоянна.



К задаче 2.36



К задаче 2.37

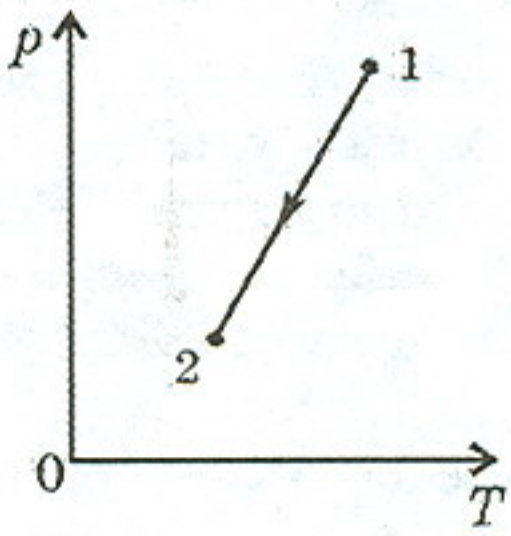


К задаче 2.38

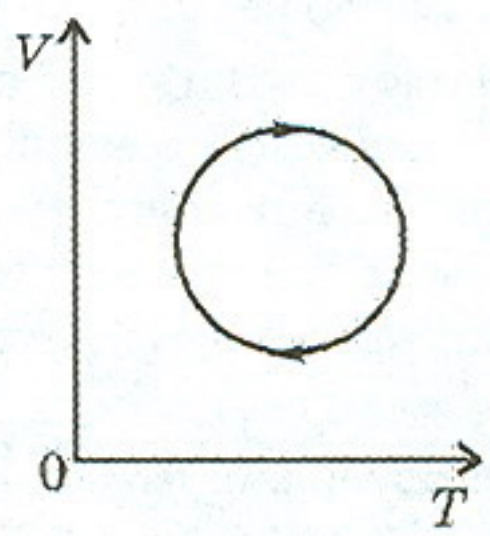
2.37. Постройте графики процесса, происходящего с идеальным газом (см. рисунок), в координатах p, V и p, T. Масса газа постоянна.

2.38. Постройте графики процесса, происходящего с идеальным газом (см. рисунок), в координатах p, T и V, T. Масса газа постоянна. Участок графика 3-4 соответствуют изотермическому процессу.

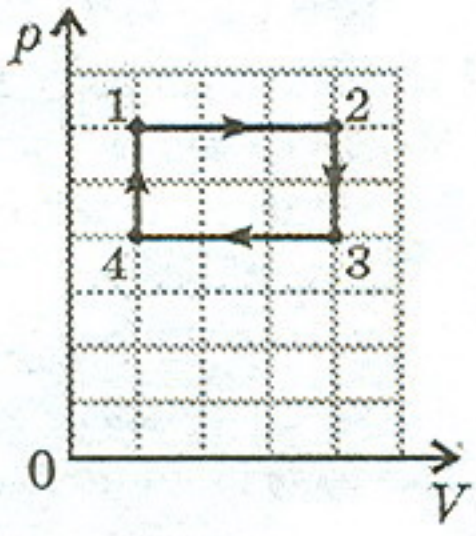
2.39. Сравните объем данной массы идеального газа в состояниях 1 и 2 (см. рисунок).



К задаче 2.39



К задаче 2.40



К задаче 2.41

2.40. Как изменялось давление идеального газа в ходе процесса, график которого изображен на рисунке? Укажите точки на графике, соответствующие наибольшему и наименьшему давлению.

2.41. В каких состояниях температура газа при циклическом процессе (см. рисунок) максимальна? Минимальна? Во сколько раз отличается максимальная температура от минимальной?

2.42. На сколько изменится масса воздуха в комнате, если в результате неисправности отопительной системы температура в комнате понизится от 20 °С до 7 °С? Объем комнаты равен 60 м^3.

2.43. Во сколько раз отличается плотность углекислого газа (CO_2) от плотности азота (N_2), если газы находятся при одинаковых условиях?

2.44. Найдите плотность атмосферы Юпитера на том уровне, где давление равно 100 кПа. Считайте, что атмосфера целиком состоит из водорода (H_2), а ее температура 150 К.

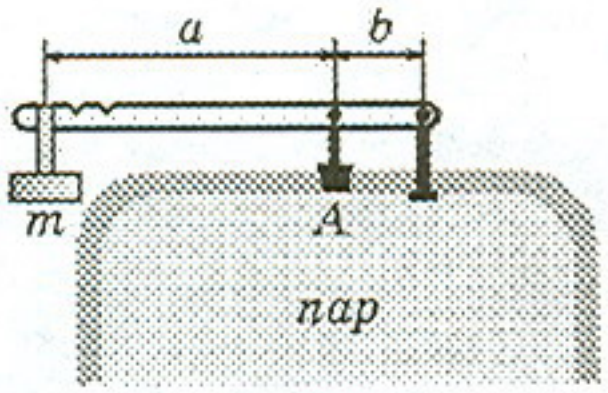
2.45. В паровом котле объемом 2 м^3 находился водяной пар при температуре 200 °С и давлении 1 МПа. Какова масса этого пара?

2.46. Горизонтальный цилиндр длиной 1 м разделен двумя поршнями на три секции. Из цилиндра откачивают воздух и вводят в секции соответственно 8 г водорода, 4 г гелия и 80 г метана. Какими будут длины секций после установления равновесия?

2.47. Чтобы воздушный шар мог поднять Винни-Пуха, объем шара должен быть не меньше $V = 25$ м^3. Какова масса m Винни-Пуха, если воздушный шар наполнен воздухом при температуре $t_1 = 30$ °С, а температура наружного воздуха $t_0 = 7$ °С? Давление воздуха внутри шара считайте равным атмосферному; массой оболочки воздушного шара можно пренебречь.

2.48. Во сколько раз изменится подъемная сила воздушного шара, если наполняющий его гелий заменить водородом? Весом оболочки шара можно пренебречь.

2.49. При каком давлении пара в паровом котле клапан A (см. рисунок) откроется? Площадь отверстия клапана $S = 2$ см^2, масса подвешенной к рычагу клапана гири $m = 2$ кг, указанные на рисунке отрезки рычага $a = 15$ см и $b = 3$ см.



ВЫСОКИЙ УРОВЕНЬ

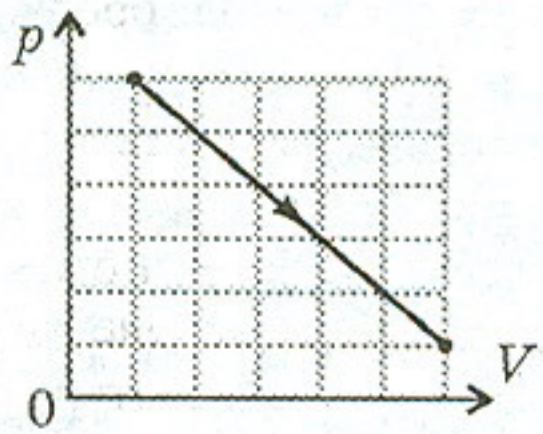
2.50. Горизонтальный цилиндр длиной 20 см разделен закрепленным тонким поршнем пополам. Слева от поршня давление газа равно 400 кПа, справа — 100 кПа. Куда и на сколько передвинется поршень, если его отпустить?

2.51. Открытую с двух концов вертикальную стеклянную трубку длиной $L = 50$ см наполовину погружают в ртуть. Затем трубку закрывают сверху и вынимают. Какова длина l оставшегося в трубке столбика ртути? Атмосферное давление равно 750 мм рт. ст.

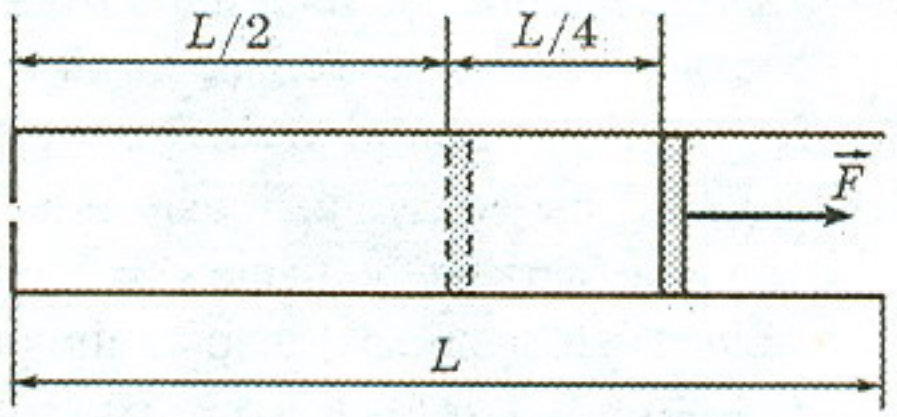
2.52. В баллон объемом 8 л налили 10 г воды. Затем баллон герметично закрыли и нагрели от 20 °С до 180 °С. Вся вода испарилась. Какое давление установилось внутри баллона?

2.53. Какую плотность имеет при давлении 200 кПа и температуре 17 °С смесь, 10% массы которой составляет кислород, а 90% — гелий?

2.54. Как изменялась температура идеального газа в процессе, график которого изображен на рисунке? Укажите точку графика, соответствующую максимальной температуре. Во сколько раз максимальная температура превышает минимальную?



К задаче 2.54



К задаче 2.55

2.55. С помощью показанной на рисунке установки можно измерить атмосферное давление. Для этого поршень размещают посередине цилиндра, отверстие в дне цилиндра закрывают пальцем и измеряют с помощью динамометра силу F, которую нужно приложить к поршню для его медленного перемещения на четверть длины цилиндра. Утром эта сила была равна 20 Н, а вечером 19,4 Н. Каким было атмосферное давление утром и вечером? Площадь поршня $S = 6$ см^2.

2.56. Посередине открытой горизонтальной трубки помещают поршень, который может перемещаться без трения. Трубку закрывают с обоих концов и располагают вертикально. После установления равновесия поршень делит трубку в отношении 2 : 1. Затем опыт повторяют, увеличив массу поршня вдвое. В каком отношении поршень теперь делит трубку?

2.57. Посередине открытой с обоих концов горизонтальной стеклянной трубки длиной 87 см находится столбик ртути длиной 15 см. Закрыв одно из отверстий трубки, ее располагают вертикально, закрытым концом вниз. Найдите атмосферное давление, если столбик ртути переместился относительно трубки на 6 см.

2.58. На сколько переместился бы столбик ртути относительно трубки (см. предыдущую задачу), если бы трубку расположили вертикально: а) закрытым концом вверх; б) предварительно закрыв оба отверстия трубки?

3. СВЯЗЬ МЕЖДУ ТЕМПЕРАТУРОЙ И СРЕДНЕЙ КИНЕТИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИЕЙ МОЛЕКУЛ

$$p = \frac{1}{3} n m_0 \overline{v^2}, \; p = nkT, \; \overline{E_к} = \frac{3}{2} kT$$

Задачи с ключом

3.1. Каково давление углекислого газа, если в баллоне объемом $V = 40$ л содержится $N = 5 \cdot 10^{24}$ молекул, а средняя квадратичная скорость молекул $\overline{v} = 400$ м/с?

3.2. Найдите среднюю квадратичную скорость молекул кислорода при нормальных условиях.

3.3. При какой температуре средняя квадратичная скорость атомов гелия равна 1,3 км/с?

3.4. Во сколько раз изменилось бы давление в баллоне, если бы в результате электрического разряда находившийся в баллоне кислород (O_2) превратился в озон (O_3)? Считайте, что температура газа не изменилась.

3.5. Воздух состоит в основном из кислорода и азота. Молекулы какого из этих газов имеют: а) бóльшую среднюю кинетическую энергию; б) бóльшую среднюю квадратичную скорость?

3.6. Найдите среднюю кинетическую энергию поступательного движения молекул при температуре 27 °С.

3.7. Температура воздуха равна –13 °С. До какой температуры надо его нагреть, чтобы средняя кинетическая энергия поступательного движения молекул увеличилась на 15%? В полтора раза?

3.8. Какова концентрация молекул в воздухе при нормальных условиях?

Задачи для самостоятельного решения

3.9. Один из двух одинаковых сосудов заполнен сухим воздухом, а другой — влажным, содержащим водяной пар. Температуры и давления в обоих сосудах одинаковы. Какой из сосудов легче?

3.10. Каково давление газа, если его плотность равна 2 кг/м^3, а средняя квадратичная скорость его молекул 600 м/с?

3.11. Молекулы какого газа при 20 °С имеют среднюю квадратичную скорость 510 м/с?

3.12. В баллон объемом 20 л, находящийся на весах, накачали газ. Какова средняя квадратичная скорость молекул газа, если манометр показал 4,9 МПа, а показания весов увеличились на 1 кг?

3.13. Во сколько раз отличаются средние квадратичные скорости молекул кислорода и азота в вашей комнате?

3.14. В баллоне А находится кислород массой 8 г, а в таком же баллоне Б — водород массой 0,5 г. Сравните давления в баллонах, если у молекул кислорода и водорода одинаковы: а) средние квадратичные скорости; б) средние кинетические энергии.

3.15. Оцените среднее расстояние между молекулами воздуха в ясный летний день (при температуре 27 °С и давлении 100 кПа). Во сколько раз это расстояние превышает размеры молекул (приблизительно $3 \cdot 10^{-10}$ м)?

3.16. При повышении абсолютной температуры азота в 2 раза каждая вторая молекула диссоциировала на атомы. Во сколько раз изменилось давление газа?

3.17. В опыте Штерна прибор вращается с частотой 40 $с^{-1}$, радиусы внутреннего и внешнего цилиндров равны соответственно 2 см и 20 см. На каком расстоянии друг от друга осядут на внешнем цилиндре атомы серебра, имеющие скорости 200 м/с и 300 м/с?

3.18. В опыте Штерна (см. предыдущую задачу) смещение середины полоски серебра составило 17 мм. Какова температура платиновой нити накала?

Изопроцессы

3.19. В закрытом сосуде происходит полное сгорание кусочка угля с образованием углекислого газа. После этого сосуд охлаждают до начальной температуры. Сравните конечное давление в сосуде с начальным. Объем угля мал по сравнению с объемом сосуда.

3.20. В закрытом сосуде при давлении p_0 находится смесь из 1 моль кислорода и 2 моль водорода. Между газами происходит реакция с образованием водяного пара. Какое давление установится в сосуде после охлаждения до первоначальной температуры? Конденсации пара не происходит.

3.21. В герметично закрытом баллоне находится смесь из $m_1 = 2$ г водорода и $m_2 = 64$ г кислорода при давлении $p_0 = 120$ кПа. Между газами происходит реакция с образованием водяного пара. Какое давление установится в баллоне после охлаждения до первоначальной температуры? Пар не конденсируется.

3.22. Как изменился бы вид основного уравнения молекулярно-кинетической теории идеального газа, если бы молекулам было «разрешено» двигаться только вдоль прямой, перпендикулярной стенке сосуда?

3.23. Найдите среднюю квадратичную скорость броуновской частицы при температуре 20 °С; броуновскую частицу рассматривайте как шарик радиусом 3 мкм, плотность которого равна плотности воды.

$$\Delta U = A + Q,\ U = \frac{3}{2}\frac{m}{M}RT,\ A = -p\Delta V,\ \eta = \frac{A'}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$$

Пример решения задачи

Для изобарного нагревания $\nu = 200$ моль газа на $\Delta T = 100$ К ему передали количество теплоты $Q = 470$ кДж. Какую работу A' совершил газ? Каково изменение его внутренней энергии ΔU?

Дано:

$\nu = 200$ моль

$\Delta T = 100$ К

$Q = 470$ кДж $= 4{,}7 \cdot 10^5$ Дж

$R = 8{,}31 \dfrac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$

A' – ?

ΔU – ?

Решение.

При изобарном нагревании газ совершил работу $A' = p \cdot \Delta V = pV_2 - pV_1$.

Согласно уравнению Менделеева-Клапейрона $pV = \nu RT$ это выражение можно записать в виде

$$A' = \nu RT_2 - \nu RT_1 = \nu R\Delta T.$$

Согласно первому закону термодинамики $Q = A' + \Delta U$, откуда

$$\Delta U = Q - A'.$$

$$[A'] = \text{моль} \cdot \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot \text{К} = \text{Дж}.$$

$A' = 200 \cdot 8{,}31 \cdot 100 = 1{,}7 \cdot 10^5$ (Дж), $\Delta U = 3 \cdot 10^5$ (Дж).

Ответ. $A' = 170$ кДж, $\Delta U = 300$ кДж.

Задачи для решения

4.1. При каком процессе внутренняя энергия газа не изменяется?

4.2. Какую работу совершил газ при изобарном увеличении объема от 35 л до 50 л? Давление газа равно 200 кПа.

4.3. Кусок мягкой проволоки несколько раз согнули и разогнули. В какую форму перешла затраченная при этом энергия?

4.4. На сколько изменилась внутренняя энергия газа, если ему сообщили количество теплоты 15 кДж и совершили над ним работу 25 кДж?

4.5. На сколько изменилась внутренняя энергия газа, который совершил работу 50 кДж, получив количество теплоты 85 кДж?

4.6. Какое количество теплоты нужно передать газу, чтобы его внутренняя энергия увеличилась на 15 Дж и при этом газ совершил 25 Дж работы?

4.7. Над газом была совершена работа 55 Дж, при этом его внутренняя энергия увеличилась на 15 Дж. Получил или отдал тепло газ в этом процессе? Какое именно количество теплоты?

4.8. ? В каком процессе газ, получая тепло, не изменяет температуру?

4.9. В ходе изотермического расширения газу было передано количество теплоты 300 Дж. Какую работу совершил газ?

4.10. При адиабатном сжатии 5 моль одноатомного газа его температура повысилась на 20 К. Какая работа совершена над газом?

4.11. При сгорании топлива в тепловом двигателе выделилось количество теплоты 200 кДж, а холодильнику передано количество теплоты 120 кДж. Каков КПД теплового двигателя?

4.12. Каков КПД теплового двигателя, если рабочее тело, получив от нагревателя количество теплоты 1,6 МДж, совершило работу 400 кДж? Какое количество теплоты передано холодильнику?

4.13. Каков КПД теплового двигателя мощностью 50 кВт, если за 10 с он передал окружающей среде количество теплоты 1 МДж?

4.14. Каков КПД идеальной тепловой машины, если температура нагревателя равна 347 °С, а температура холодильника 37 °С?

4.15. Температура нагревателя идеальной тепловой машины равна 477 °С. Какой должна быть температура холодильника, чтобы КПД машины превысил 80%?

Повышенный уровень

4.16. Один моль паров ртути и один моль гелия имеют одинаковую температуру. Какой из газов имеет бóльшую внутреннюю энергию? Во сколько раз?

4.17. Один грамм паров ртути и один грамм гелия имеют одинаковую температуру. Какой из газов имеет бóльшую внутреннюю энергию? Во сколько раз?

4.18. Какова внутренняя энергия аргона в баллоне объемом 50 л при давлении 1 МПа?

4.19. При уменьшении объема одноатомного газа в 4 раза давление этого газа увеличилось в 5 раз. Во сколько раз изменилась внутренняя энергия газа?

4.20. ? В надувном шарике и стальном баллоне содержатся одинаковые массы воздуха. В каком случае для нагревания воздуха на 1 К потребуется большее количество теплоты?

4.21. ? При каких из указанных ниже процессов газ совершает положительную работу: а) изохорное нагревание; б) изобарное нагревание; в) изотермическое сжатие: г) адиабатное расширение?

4.22. ? При каких из указанных ниже процессов газ *получает* тепло: а) изохорное нагревание; б) изобарное нагревание; в) изотермическое сжатие: г) адиабатное расширение?

4.23. После включения отопления воздух в комнате нагрелся от температуры 7 °С до температуры 27 °С. Во сколько раз изменилась внутренняя энергия воздуха, содержащегося в комнате?

4.24. Баллон с гелием внесли с мороза в теплое помещение. Клапан на баллоне автоматически открывается, когда давление внутри превышает внешнее на 6 атм. Впервые он открылся при температуре гелия –3 °С. Во сколько раз изменится после этого внутренняя энергия гелия *в баллоне*, когда его температура достигнет 27 °С?

4.25. В вертикальном цилиндре под поршнем*) находится воздух массой 29 г. Какую работу совершит воздух при повышении температуры на 100 К?

4.26. Какую работу совершает водород массой 6 г при изобарном повышении температуры на 60 К?

4.27. Какую работу совершит газ при изобарном нагревании на 50 К, если количество вещества в газе равно 5 моль?

4.28. При нагревании воздуха в цилиндре поршень массой $m = 5$ кг и площадью $S = 50$ см^2 переместился на $l = 15$ см. Какую работу совершил воздух, если поршень перемещался: а) горизонтально; б) вертикально вверх; в) вертикально вниз?

4.29. Одноатомному газу ($\nu = 2$ моль) передано количество теплоты 1,2 кДж. При этом газ совершил работу 600 Дж. На сколько изменилась температура газа?

4.30. ? Почему удельная теплоемкость газа при постоянном давлении заметно больше, чем удельная теплоемкость при постоянном объеме? Почему для жидкостей и твердых тел обе эти величины практически одинаковы?

4.31. Какое количество теплоты Q необходимо передать водороду массой $m = 12$ г, чтобы нагреть его на $\Delta T = 50$ К: а) при постоянном давлении; б) при постоянном объеме?

---

*) Здесь и далее считается, что поршень перемещается без трения.

4.32. При изобарном нагревании объем гелия увеличился в 3 раза. Какую работу совершил газ? Какое количество теплоты ему передано? Масса гелия 12 г, начальная температура –123 °С.

4.33. ? Если открыть вентиль баллона со сжатым газом, баллон даже летом может покрыться инеем. Объясните это явление.

4.34. ? Топливо, которое впрыскивают в цилиндр дизельного двигателя, воспламеняется без электрической искры вследствие высокой температуры воздуха в цилиндре (около 700 °С). За счет чего воздух так сильно нагревается?

4.35. ? Приведите пример процесса, в котором газ нагревается, *отдавая* тепло.

4.36. ? Объем газа уменьшают в 2 раза: один раз — быстро, а другой — медленно. В каком случае: а) сразу после сжатия давление газа больше; б) при сжатии совершили бóльшую работу? Почему?

4.37. Тепловой двигатель, работающий при температуре нагревателя 527 °С и температуре холодильника 17 °С, имеет КПД 30%. Во сколько раз КПД этого двигателя меньше, чем КПД идеального теплового двигателя при тех же температурах нагревателя и холодильника?

4.38. На теплоходе установлен дизельный двигатель мощностью 80 кВт с КПД 30%. На сколько километров пути ему хватит 1 т дизельного топлива при скорости движения 20 км/ч?

4.39. ? Как изменится температура в комнате, если надолго открыть дверцу работающего холодильника?

Теплоемкость

4.40. ? В одном из двух одинаковых баллонов хранится гелий, а в другом — водород. Оба газа находятся при одинаковых условиях. Какой из газов обладает большей внутренней энергией?

4.41. Какая доля количества теплоты, переданного гелию при изобарном расширении, расходуется на совершение работы?

4.42. Во сколько раз удельная теплоемкость одноатомного газа при постоянном давлении c_p больше, чем его удельная теплоемкость при постоянном объеме c_V?

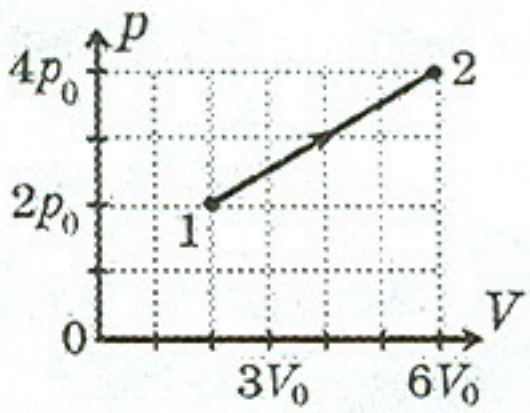
4.43. Найдите разность $c_p - c_V$ (см. предыдущую задачу) для газа с молярной массой M.

4.44. В вертикальном цилиндре находится воздух массой $m_1 = 2{,}9$ г. Он отделен от атмосферы поршнем, диаметр которого $d = 10$ см, а

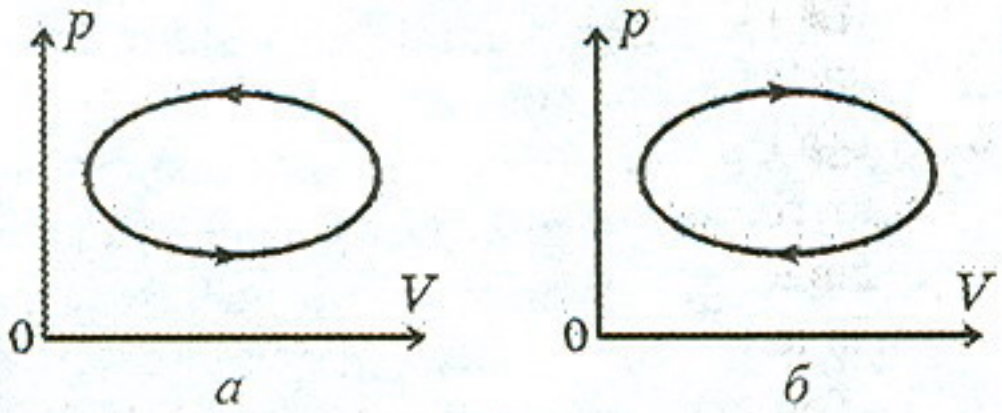
масса $m_2 = 20$ кг. На сколько градусов нужно нагреть воздух в цилиндре, чтобы поршень поднялся на $h = 15$ см? Какое количество теплоты Q для этого потребуется?

4.45. В цилиндре под поршнем находится газ массой 20 г. Для повышения температуры газа на 10 К необходимо следующее количество теплоты: 130 Дж при закрепленном поршне или 182 Дж при незакрепленном поршне. Какой это может быть газ?

4.46. Какую работу совершил одноатомный газ в показанном на рисунке процессе? Какое количество теплоты получил газ?



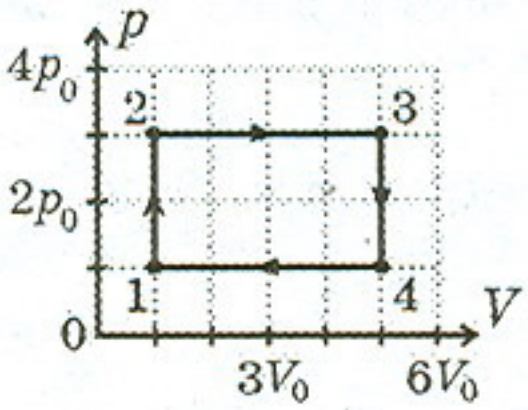
К задаче 4.46



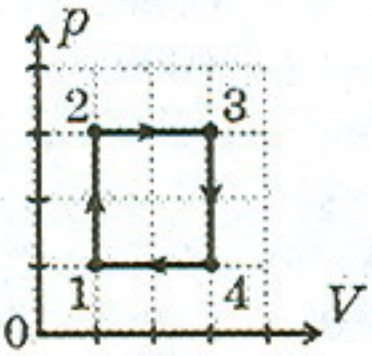
К задаче 4.47

4.47. В каком из циклических процессов (см. рис. *а*, *б*) газ совершает положительную работу, а в каком — отрицательную?

4.48. С одноатомным идеальным газом происходит циклический процесс (см. рисунок). Найдите для *каждого* из этапов цикла совершенную газом работу и количество полученной или отданной теплоты.



К задаче 4.48



К задаче 4.49

4.49. Найдите КПД показанного на рисунке цикла, если рабочее тело — одноатомный идеальный газ.

4.50. Сколько литров бензина израсходует автомобиль массой 800 кг на пути длиной 500 км, если КПД двигателя 25%, а средний коэффициент сопротивления движению равен 0,06?

4.51. Реактивный двигатель самолета, летящего со скоростью 900 км/ч, развивает силу тяги 45 кН. Каков расход керосина за 1 ч полета, если КПД двигателя 20%?

5. СВОЙСТВА ТВЕРДЫХ ТЕЛ И ЖИДКОСТЕЙ*)

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0},\ \sigma = \frac{F}{S} = E|\varepsilon|$$

$$U = \sigma S,\ F = \sigma l,\ h = \frac{2\sigma}{\rho g r}$$

Физика у доски

5.1. Олово легко расплавить. Почему же нельзя выдувать из него изделия, как это делают из стекла?

5.2. Колбы некоторых ламп делают из прозрачного сапфира (Al_2O_3). Почему их не выдувают, как стеклянные изделия, а выращивают из расплава?

5.3. Какие виды деформации испытывают стена здания, плита межэтажного перекрытия, трос лифта, сидение стула?

5.4. Какую деформацию испытывает стержень закрытой дверной щеколды, когда дверь пробуют открыть?

5.5. Под действием какой силы, направленной вдоль оси стержня, в нем возникает напряжение 150 МПа? Диаметр стержня равен 0,4 см.

5.6. К медной проволоке с площадью поперечного сечения 0,5 мм^2 подвешен груз массой 5 кг. Найдите механическое напряжение в проволоке и ее относительное удлинение.

5.7. Выдержит ли медная проволока с площадью поперечного сечения 2 мм^2 груз массой 20 кг?

5.8. Каков предел прочности металла, если изготовленная из него проволока с поперечным сечением 0,5 мм^2 рвется под действием груза массой 10 кг?

5.9. К стальной проволоке длиной 1 м с площадью поперечного сечения 0,5 мм^2 подвешен груз массой 15 кг. Найдите механическое напряжение в проволоке, ее относительное и абсолютное удлинения.

5.10. Почему в невесомости капли жидкости принимают сферическую форму?

5.11. Для получения охотничьей дроби тонкие струи расплавленного свинца выливают с высокой башни в воду. На поверхность воды падают уже затвердевшие круглые дробинки. Объясните, на чем основан этот метод.

5.12. Почему при нагревании осколка стекла его острые края «оплывают» (приобретают округлую форму)?

5.13. Почему рыхление почвы способствует сохранению в ней влаги?

---

*) Во всех задачах этого раздела смачивание или несмачивание считаются полными, а температура жидкости — равной 20 °С. Поверхность стекла предполагается чистой, т. е. смачиваемой водой.

5.14. Всегда ли кристаллам присуща анизотропия?

5.15. Почему чаще всего при кристаллизации жидкости получается поликристалл? При каком условии кристаллизация приводит к образованию монокристалла?

5.16. Почему раму велосипеда изготавливают из металлических трубок, а не из сплошных стержней? На какой вид деформации (в основном) рассчитана такая конструкция?

5.17. На рисунке показаны различные профили строительных конструкций (рис. *б* — швеллер, рис. *в* — двутавр). Все они изготовлены из одного сорта стали, имеют одинаковую длину и одинаковую массу. Какие из этих профилей лучше всего сопротивляются изгибу? Сжатию?

К задаче 5.17

5.18. Во многих конструкциях замена сплошных стержней на трубки позволяет сэкономить материалы и облегчить конструкцию без ущерба для ее прочности. Почему бы не заменить тонкостенными трубками сплошные колонны, сваи, трос лифта?

5.19. Почему посуду для опытов с горячими жидкостями делают из *тонкого* стекла?

5.20. Каково механическое напряжение материала вблизи основания стальной дымовой трубы высотой 50 м? Считайте трубу цилиндрической.

5.21. Груз подвесили к тросу, состоящему из десяти одинаковых проволок. Затем одну такую же проволоку разрезали на десять равных частей и к одной из частей подвесили такой же груз. Сравните относительные и абсолютные удлинения проволок в обоих случаях.

5.22. Если к концам проволоки длиной 2 м и площадью поперечного сечения 2 мм^2 приложить две противоположно направленные силы по 100 Н, проволока удлиняется на 0,5 мм. Найдите модуль Юнга металла, из которого изготовлена проволока.

5.23. Какой должна быть площадь поперечного сечения стального троса лифта, если лифт массой $m = 500$ кг может двигаться с ускорением до $a = 1{,}2$ м/с^2? Запас прочности троса $n = 10$.

5.24. Какой максимальный груз можно подвесить к тросу, состоящему из 250 стальных проволок диаметром 0,8 мм?

5.25. Каким должен быть диаметр стального стержня крюка подъемного крана, если грузоподъемность крана 2 т, а допустимое ускорение груза равно 4 м/с^2?

5.26. При какой длине алюминиевая проволока, подвешенная вертикально, рвется под собственным весом?

5.27. Трос из стальной проволоки используют для спуска глубоководного аппарата в морские глубины. Какова наибольшая глубина погружения аппарата?

5.28. Почему оконные стекла в старинных соборах, простоявшие более ста лет, оказываются толще внизу, чем вверху?

5.29. Почему крошечные капли тумана имеют сферическую форму, а форма крупных капель дождя несколько отличается от сферической?

5.30. Какую минимальную работу нужно совершить, чтобы капельку воды радиусом 2 мм «разбить» на восемь одинаковых капель?

5.31. Опустите в воду кисточку. Что происходит с ее волосками в воде? После вынимания кисточки из воды? Объясните эти явления.

5.32. Увеличивается или уменьшается поверхностное натяжение воды при растворении в ней стирального порошка?

5.33. На поверхности воды плавают мелкие древесные опилки. Как они поведут себя, если коснуться поверхности воды кусочком мыла? Сахара? Поверхностное натяжение у раствора сахара больше, чем у чистой воды.

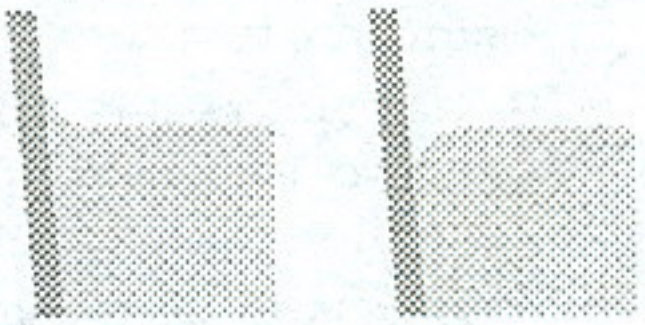
5.34. Прямая проволока длиной 10 см лежит на поверхности жидкости. По одну сторону от нее находится чистая вода, по другую — мыльный раствор. Какую горизонтальную силу нужно приложить к проволоке, чтобы удерживать ее на месте?

5.35. Космонавт в состоянии невесомости открывает две стеклянные пробирки: одну с керосином, другую со ртутью. Как поведут себя жидкости?

5.36. Должны ли краска или лак смачивать поверхность, на которую их наносят?

5.37. Перед пайкой поверхности тщательно обезжиривают и очищают от грязи и оксидов. Зачем это делают?

5.38. ? На рис. *а*, *б* показана форма поверхности воды у стенок двух стаканов. Какой из стаканов был тщательно вымыт моющим средством?



К задаче 5.38

5.39. ? Тонкая стальная иголка может «лежать» на поверхности воды. Удастся ли этот опыт, если перед ним иголку тщательно протереть одеколоном?

5.40. ? Если положить кусок мела на влажную губку, он пропитается водой; если же после этого положить его на сухую губку, та останется сухой. Почему?

5.41. ? Какая ткань больше подходит для палатки — смачиваемая водой или несмачиваемая?

5.42. ? Почему полотенца не шьют из шелка?

5.43. Подвешенную на нитях проволочную прямоугольную рамку со сторонами 10 см и 15 см погружают в воду. Какую силу необходимо приложить для отрыва рамки от поверхности воды, если масса рамки 2,5 г? Считайте, что рамка при подъеме остается горизонтальной.

5.44. С помощью динамометра проволочное кольцо массой 1,5 г и диаметром 5 см отрывают от поверхности жидкости. Динамометр в момент отрыва показывает 50 мН. Чему равно поверхностное натяжение жидкости?

5.45. Смачиваемый водой кубик массой $m = 3$ г плавает на поверхности воды. Длина ребра кубика $a = 3$ см. На какой глубине h находится нижняя грань кубика, если она горизонтальна?

5.46. На поверхности воды плавает смачиваемый водой кубик с длиной ребра 2 см. Верхняя грань кубика горизонтальна. На сколько изменится глубина погружения кубика, если его натереть парафином?

5.47. Из круглой дырочки в дне сосуда капает жидкость. Масса 100 капель оказалась 2 г. Каково поверхностное натяжение жидкости, если диаметр шейки капли перед отрывом равен 1,2 мм?

5.48. ? Вертикальная капиллярная стеклянная трубка подвешена к чашке весов. Весы уравновешены. Нарушится ли равновесие, если к трубке осторожно поднести снизу сосуд с водой так, чтобы край капилляра коснулся поверхности воды?

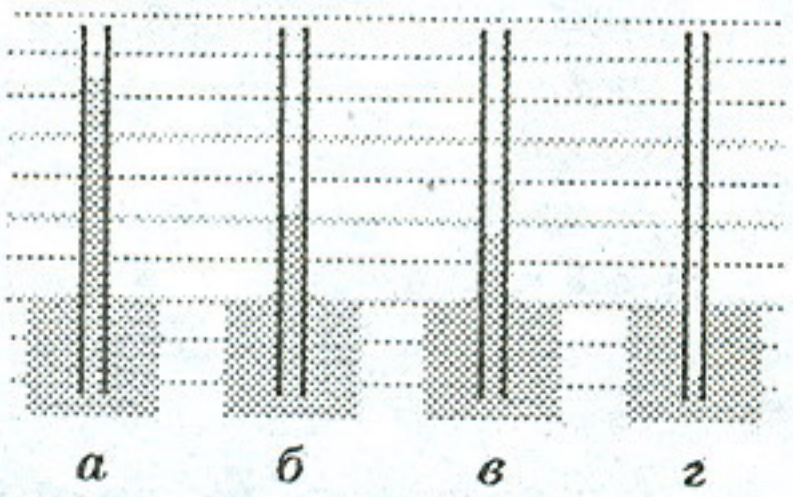
5.49. Чтобы восстановить равновесие весов (см. предыдущую задачу), груз на другой чашке весов увеличили на 0,14 г. Найдите радиус капилляра.

5.50. Найдите массу воды поднявшейся по капилляру, диаметр которого 0,64 мм.

5.51. Найдите высоту капиллярного подъема мыльного раствора, если радиус капилляра равен 0,5 мм. Плотность мыльного раствора считайте равной плотности воды.

5.52. На какую максимальную глубину можно погрузить в ртуть нижний конец стеклянного капилляра радиусом 0,5 мм, чтобы ртуть не вошла в капилляр?

5.53. На рисунке показаны четыре одинаковых стеклянных капилляра, опущенные в различные жидкости. В сосуде *а* находится вода. В каком из сосудов спирт, а в каком — мыльный раствор?



5.54. Внутренние диаметры правого и левого колен U-образной трубки равны 0,8 мм и 0,4 мм. Какова разность уровней налитой в трубку воды?

5.55. С помощью какого эксперимента можно оценить толщину капилляров в фильтровальной бумаге? Проделайте этот эксперимент.

ВЫСОКИЙ УРОВЕНЬ

5.56. Какое сечение должна иметь стальная колонна высотой 5 м, чтобы под действием груза массой 15 т она сжалась менее чем на 1 мм? На сколько сжата такая колонна под собственным весом?

5.57. Проволока растягивается под действием подвешенного груза. Какая часть потерянной грузом потенциальной энергии переходит при этом в потенциальную энергию растянутой проволоки?

5.58. Почему трос из 100 проволок выдерживает больший груз, чем просто «пучок» из таких же проволок?

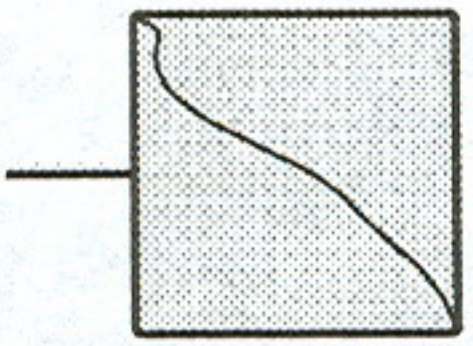
5.59. Оцените максимальный размер капель воды, которые могут висеть на потолке.

5.60. Если бросить стеклянную пластинку в сосуд со ртутью, она всплывет. Однако если положить эту пластинку на дно пустой плоскодонной кюветы и *потом* налить в кювету ртуть, пластинка не всплывет. Чем объясняются результаты этих опытов?

5.61. Мелкие крупинки веществ А и Б тонут в воде. Однако когда их высыпали в стакан с *газированной* водой, крупинки вещества А утонули, а крупинки вещества Б после погружения в воду начали

всплывать. Объясните это явление. Какое из двух веществ вода смачивает?

5.62. Квадратный проволочный каркас, к которому привязана нитка, окунули в мыльный раствор и вынули. Каркас оказался затянутым мыльной пленкой (см. рисунок). Пленку с одной стороны от нити прокололи. Какую форму приняла нить? Сторона квадрата 10 см. Длина нити равна: а) 15 см; б) 18 см.



5.63. Длинная стальная иголка, смазанная жиром, «лежит» на поверхности воды. Оцените, каким может быть диаметр иголки.

5.64. Восемь маленьких капель ртути из разбитого медицинского термометра сливаются в одну каплю. На сколько изменилась при этом температура капель, если теплообменом с окружающей средой можно пренебречь?

5.65. Оцените ширину a мениска (изогнутой части поверхности жидкости) у стенки сосуда. При каком условии сосуд можно считать капилляром? Плотность жидкости ρ, поверхностное натяжение σ.

5.66. Каково давление под поверхностью жидкости, поднявшейся по капилляру радиусом R? Поверхностное натяжение жидкости равно σ.

5.67. Какова высота h подъема смачивающей жидкости между двумя параллельными вертикальными пластинками, края которых опущены в жидкость? Каково давление под поверхностью жидкости? Плотность жидкости ρ, поверхностное натяжение σ, расстояние между пластинками d.

5.68. Каково давление внутри газового пузырька в кастрюле с водой? Радиус пузырька: а) 0,15 мм; б) 10 мкм.

5.69. На сколько процентов давление внутри мыльного пузыря диаметром 5 мм больше давления окружающего воздуха?

6. ТЕПЛООБМЕН И ФАЗОВЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ. НАСЫЩЕННЫЙ ПАР, ВЛАЖНОСТЬ ВОЗДУХА

$$Q = cm\Delta t,\ Q = \lambda m,\ Q = rm,\ \varphi = \frac{p}{p_н} \cdot 100\% = \frac{\rho}{\rho_н} \cdot 100\%$$

Задачи для решения

6.1. Если дуть на горячий чай, он быстрее остынет. Почему?

6.2. Температура воздуха в жаркий летний день заметно выше, чем температура воды в реке. Почему же вам холодно, когда вы выходите из воды после купания?

6.3. Почему во влажном воздухе зной переносить труднее, чем в сухом?

6.4. Оба термометра психрометра показывают одну и ту же температуру. Какова относительная влажность воздуха?

6.5. Парциальное давление водяного пара в воздухе при температуре 20 °С равно 1,4 кПа. Какова относительная влажность воздуха?

6.6. В воздухе объемом 6 м^3 при температуре 19 °С содержится 50 г водяного пара. Определите относительную влажность воздуха.

6.7. Какова относительная влажность воздуха, в 10 л которого при температуре 30 °С содержится 0,2 г водяного пара?

6.8. Найдите плотность водяного пара, если его парциальное давление равно 10 кПа, а температура воздуха 50°С.

6.9. Какова относительная влажность воздуха, если термометры психрометра показывают 16 °С и 13 °С?

6.10. Каково парциальное давление водяного пара в воздухе, если термометры психрометра показывают 18 °С и 12 °С?

6.11. Относительная влажность воздуха в комнате при температуре 20 °С составляет 44%. Каково показание влажного термометра психрометра?

6.12. Каково показание влажного термометра психрометра, если относительная влажность в комнате 60%, а сухой термометр показывает 22 °С?

6.13. В закрытом сосуде находится вода при температуре 20 °С. Сколько воды испарится, если открыть кран, соединяющий этот сосуд с пустым баллоном объемом 50 л?

6.14. Какова относительная влажность воздуха при t = 20 °С, если точка росы $t_р$ = 15 °С?

6.15. В закрытом сосуде объемом 2 л находится водяной пар массой 12 мг. До какой температуры надо охладить сосуд, чтобы в нем выпала роса?

6.16. Выпадет ли роса при охлаждении воздуха до 10 °С, если при 18 °С относительная влажность воздуха равна 65%?

6.17. При температуре 25 °С относительная влажность воздуха в помещении равна 70%. Какова масса росы, выпавшей из 1 $м^3$ воздуха после понижения температуры до 16 °С?

6.18. В ведро налили кипяток при 100 °С, а затем долили холодную воду при 20 °С. Сколько было кипятка, если получилось 12 кг воды при температуре 40 °С?

6.19. В сосуде с водой плавают кусочки льда. Что больше: внутренняя энергия 1 г воды или внутренняя энергия 1 г льда?

6.20. В закрытом сосуде над водой находится водяной пар. Что больше: внутренняя энергия 1 г воды или внутренняя энергия 1 г пара?

6.21. Конструкторы предложили покрыть спускаемый отсек космического корабля слоем легкоплавкого материала. Для чего? Что можно сказать о планете, на которую предстоит посадка?

Качественные задачи

6.22. Воздух в закрытом сосуде содержит ненасыщенный водяной пар. Как будет изменяться относительная влажность воздуха при нагревании сосуда?

6.23. Почему у человека, зашедшего в теплое помещение с мороза, запотевают очки?

6.24. Почему магнитофон, принесенный зимой с улицы, не рекомендуется включать раньше чем через 2 ч?

6.25. В течение дня показание сухого термометра психрометра не изменялось, а показание влажного термометра уменьшалось. Как изменялась относительная влажность воздуха?

6.26. Почему в отапливаемых помещениях зимой относительная влажность воздуха меньше, чем на улице?

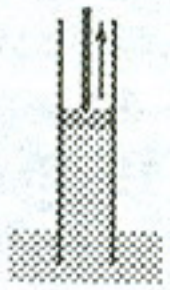
6.27. В теплой кухне развешено выстиранное белье. На улице моросит холодный осенний дождь. Имеет ли смысл открыть форточку, чтобы белье высохло быстрее?

6.28. С какой стороны образуется зимой иней на оконных стеклах? Объясните процесс его образования.

6.29. Космонавт на поверхности Луны открыл ампулу с водой. Что будет происходить с водой?

6.30. При какой температуре выпадет роса, если термометры психрометра показывают 20 °С и 17 °С?

6.31. Холодная вода может подняться за поршнем в трубке (см. рисунок) на высоту до 10 м. На какую высоту можно поднять таким образом воду, находящуюся при температуре: а) 90 °С; б) 100 °С?



6.32. Какова плотность насыщенного водяного пара при температуре 100 °С?

6.33. До какого значения надо понизить давление, чтобы вода кипела при температуре 90 °С? При температуре 50 °С?

6.34. Сколько воды выкипело из забытого на плите чайника, если в кухне на стенах и потолке появились капельки воды? Площадь кухни 8 $м^2$, высота 3 м; температура воздуха равна 20 °С, а начальная относительная влажность 70%. Дверь и окно плотно закрыты.

6.35. Сколько воды надо испарить, чтобы относительная влажность воздуха в комнате при 20 °С повысилась от 25% до 65%? Объем комнаты 60 $м^3$.

6.36. В 10 л воздуха при температуре 30 °С содержится 0,2 г водяного пара. Какое количество пара сконденсируется, если при постоянной температуре уменьшить объем воздуха вдвое?

6.37. В каком объеме воздуха содержится 10^{14} молекул воды, если температура равна 20 °С, а относительная влажность 60%?

6.38. В полированный металлический чайник налили холодную воду. Чайник «запотел». При какой температуре воды «запотевание» исчезнет? Температура воздуха в комнате 20 °С, относительная влажность 70%.

6.39. Относительная влажность воздуха при температуре 15 °С равна 70%. Какой станет относительная влажность, если температуру повысить до 30°С, а объем воздуха уменьшить в 2 раза?

6.40. При 6 °С показания обоих термометров психрометра одинаковы. Каковы будут показания термометров после включения отопления и повышения температуры в комнате до 16 °С? Считайте, что плотность водяного пара в воздухе осталась неизменной.

6.41. Влажный термометр психрометра показывает температуру 10 °С. Какова температура воздуха, если его влажность составляет 60%?

6.42. В калориметре с теплоемкостью 100 Дж/К находится вода массой 200 г при температуре 16 °С. После опускания в воду металлической гири массой 100 г, нагретой в кипящей воде, в калориметре установилась температура 20 °С. Какова удельная теплоемкость металла, из которого изготовлена гиря?

6.43. Сколько керосина потребуется сжечь для получения 15 л кипятка из льда, температура которого равна –10 °С? КПД нагревателя 50%.

6.44. Сжигая 200 г бензина, воду массой 8 кг нагревают от 20 °С до 100 °С, причем часть воды испаряется. Сколько воды испарилось, если КПД нагревателя равен 40%?

6.45. Вода в электрочайнике нагревается от 20 °С до 100 °С за 4 мин. Сколько еще нужно времени, чтобы 20% воды превратилось в пар? Потерями тепла можно пренебречь.

6.46. Свинцовый шар, двигаясь со скоростью $\upsilon_0 = 20$ м/с, налетел на такой же неподвижный шар. На сколько градусов повысилась температура шаров в результате неупругого столкновения?

6.47. Стальной снаряд, выпущенный вертикально вверх со скоростью 500 м/с, достиг высоты 2 км. На сколько повысилась бы его температура при подъеме, если бы не передача энергии воздуху?

6.48. С какой высоты должна свободно падать градинка, чтобы при ударе о землю она расплавилась? Температуру в начале падения считайте равной –20 °С, теплообмен с окружающей средой не учитывайте.

6.49. В калориметре находится вода массой $m_в = 1$ кг, температура которой $t_в = 30$ °С. В калориметр помещают лед при температуре $t_л = 0$ °С. При какой массе $m_л$ льда он весь растает?

6.50. В калориметре находится 1 л воды при 100 °С. Сколько льда, имеющего температуру 0 °С, нужно поместить в калориметр, чтобы температура в нем понизилась до 20 °С? Теплоемкость калориметра 300 Дж/К.

6.51. Кружка с водой плавает в кастрюле, стоящей на огне. Закипит ли вода в кружке?

6.52. В калориметре находится вода массой 500 г при температуре 20 °С. Сколько пара, имеющего температуру 100 °С, нужно впустить в калориметр, чтобы повысить температуру до 40 °С?

6.53. В медном калориметре массой 700 г находится вода объемом 800 мл при температуре 12 °С. До какой температуры нагреется вода, если ввести в калориметр 50 г пара при температуре 100 °С?

6.54. Необходимо расплавить деталь массой 1 кг, температура которой 20 °С. В каком случае потребуется большее количество теплоты — если деталь медная или алюминиевая? Во сколько раз большее?

6.55. Стальной и алюминиевый бруски одинаковых размеров находятся при температуре 0 °С. Для плавления какого из них необходимо большее количество теплоты? Во сколько раз большее?

6.56. В калориметр поместили 500 г мокрого снега. После того, как в калориметр долили 500 г кипятка и снег растаял, установилась температура 20 °С. Сколько воды содержал снег первоначально?

ВЛАЖНОСТЬ

6.57. Почему капельки тумана могут оставаться жидкими и при сильном морозе?

6.58. На сколько отличается плотность сухого воздуха ($\varphi = 0$) при давлении 101 кПа и температуре 20 °С от плотности влажного воздуха ($\varphi = 100\%$) при тех же условиях?

6.59. Трубку длиной 60 см, запаянную с одного конца, погружают в ртуть вертикально, открытым концом вниз. При какой глубине погружения в трубке выпадет роса? Температура в трубке не изменяется. Относительная влажность воздуха 80%, атмосферное давление равно 76 см рт. ст.

6.60. Паровой котел частично заполнен водой, а частично — смесью воздуха и насыщенного пара. Начальная температура в котле 100 °С. Начальное давление в котле 500 кПа. Какое давление будет в котле после понижения температуры до 50 °С?

6.61. При сжатии некоторой порции влажного воздуха его объем уменьшился в четыре раза, а давление возросло в три раза. Когда воздух сжали еще в два раза, давление стало в пять раз больше первоначального. Какова была относительная влажность воздуха в самом начале? Температура воздуха при сжатии не изменялась.

6.62. В калориметр, содержащий 330 г льда и 670 г воды, поместили полый алюминиевый куб, температура которого 100 °С. В результате теплообмена в калориметре установилась температура 20 °С. Какова толщина стенок куба, если длина его ребра равна 12 см?

6.63. В воду массой $m_в = 1$ кг, имеющую температуру $t_в = 30$ °С, положили лед массой $m_л = 500$ г, температура которого $t_л = 0$ °С. Какая температура установится в сосуде?

6.64. В калориметре находится кипяток массой 300 г. В него помещают 120 г льда при температуре –20 °С. Какая температура установится в калориметре?

7. ЗАКОН КУЛОНА. НАПРЯЖЕННОСТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ*)

$$F = \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{4\pi\varepsilon_0 r^2}, \quad \vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}, \quad \vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 + \ldots + \vec{E}_n$$

Пример решения задачи

Заряды двух одинаковых маленьких металлических шариков равны –2 нКл и +10 нКл. Шарики привели в соприкосновение и развели на прежнее расстояние. Во сколько раз изменился модуль силы взаимодействия между ними?

Дано:

$q_1 = -2$ нКл

$q_2 = +10$ нКл

$F_0 / F - ?$

Решение.

Пусть расстояние между шариками равно r. Тогда начальная сила взаимодействия между шариками $F_0 = k\dfrac{|q_1| \cdot |q_2|}{r^2}$, а конечная $F = k\dfrac{q^2}{r^2}$.

Здесь q — заряд каждого из шариков после соприкосновения. Согласно закону сохранения заряда $2q = q_1 + q_2$. Следовательно,

$$\frac{F_0}{F} = \frac{4|q_1| \cdot |q_2|}{(q_1 + q_2)^2}.$$

$$\left[\frac{F_0}{F}\right] = 1. \qquad \frac{F_0}{F} = \frac{4 \cdot 2 \cdot 10}{(-2+10)^2} = \frac{5}{4} = 1{,}25.$$

Ответ. Модуль силы уменьшился в 1,25 раза.

Задачи для самостоятельного решения

7.1. Прикоснувшись положительно заряженной стеклянной палочкой к стальному шарику, мы передаем ему положительный заряд. Какие элементарные частицы и куда при этом перемещаются?

7.2. Если поднести на нити заряженную станиолевую гильзу к незаряженной, то они сначала притянутся друг к другу, а после соприкосновения будут отталкиваться. Объясните явление.

---

*) Если не указано, в какой среде находятся заряды, здесь и далее считайте, что они находятся в вакууме.

7.3. Как зарядить два металлических шарика одинаковыми по модулю, но разными по знаку зарядами?

7.4. С какой силой взаимодействуют два точечных заряда 2 нКл и 4 нКл, находящиеся на расстоянии 3 см?

7.5. Два одинаковых заряда*), расположенных на расстоянии 9 см, отталкиваются с силами 1 мН. Каковы модули зарядов?

7.6. Две пылинки находятся на расстоянии 10 см друг от друга. Какой будет сила взаимодействия между ними, если десять миллиардов электронов перенести с одной пылинки на другую?

7.7. Сколько электронов надо «перенести» с одной пылинки на другую, чтобы сила кулоновского притяжения между пылинками на расстоянии 1 см была равна 10 мкН?

7.8. В каком случае направление действующей на частицу кулоновской силы противоположно направлению вектора напряженности электрического поля?

7.9. На заряд 1 нКл в некоторой точке электрического поля действует сила 2 мкН. Какова напряженность поля в этой точке?

7.10. Заряд 2 нКл находится в электрическом поле с напряженностью 2 кН/Кл. С какой силой поле действует на заряд?

7.11. Какой заряд должна иметь пылинка массой 0,1 мг, чтобы она «висела» в направленном вверх электростатическом поле напряженностью 1 кН/Кл?

7.12. С каким ускорением движется протон в электрическом поле с напряженностью 40 кН/Кл?

7.13. Во сколько раз изменяется напряженность поля точечного заряда при увеличении расстояния до заряда в 3 раза?

7.14. Чему равна напряженность электростатического поля точечного заряда 40 нКл на расстояниях 8 см и 16 см от заряда?

Дополнительные задачи

7.15. Во сколько раз сила кулоновского отталкивания между электронами в электронном пучке больше, чем сила гравитационного притяжения между ними?

7.16. Какой заряд приобрела бы при электризации капелька воды массой 1,8 мг, если бы ей передали один «лишний» электрон на каждую тысячу молекул?

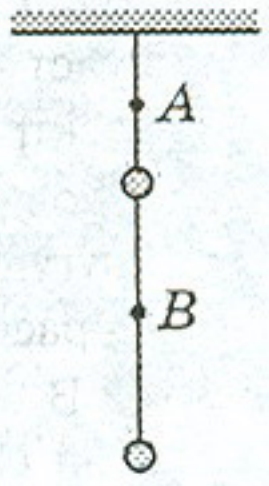
---

*) Под кратким термином «заряд» в ряде случаев подразумевается заряженное тело, размерами которого можно пренебречь.

7.17. С какой силой отталкивались бы две капельки (см. предыдущую задачу), находясь на расстоянии 1 м друг от друга?

7.18. Два шара имеют массы по 10 г. Какие одинаковые заряды необходимо сообщить этим шарам, чтобы кулоновское отталкивание уравновесило гравитационное притяжение? Расстояние между шарами велико по сравнению с их радиусами.

7.19. На шелковой нити висят два заряженных шарика массой 20 мг каждый (см. рисунок). Модули зарядов шариков 1,2 нКл. Расстояние между шариками 1 см. Чему равна сила натяжения нити в точках A и B? Рассмотрите случаи одноименных и разноименных зарядов.



7.20. Два одинаковых проводящих шарика массой по 2 г подвешены на нитях длиной 1 м в одной точке. Какой суммарный заряд надо сообщить шарикам, чтобы угол между нитями увеличился до 90°?

7.21. Отрицательный заряд $q_1 = -0{,}2$ мкКл и положительный заряд $q_2 = 0{,}8$ мкКл расположены на расстоянии $a = 60$ см друг от друга. *Где* нужно разместить третий заряд Q, чтобы равнодействующая кулоновских сил, действующих на *каждый* из трех зарядов, равнялась нулю? *Каким* должен быть третий заряд?

7.22. Два положительных заряда 0,2 мкКл и 1,8 мкКл закреплены на расстоянии 60 см друг от друга. Где нужно разместить третий заряд, чтобы действующие на него кулоновские силы компенсировали друг друга?

7.23. Расстояние между двумя заряженными шариками $a = 12$ см. С какой силой F они действуют на заряд $q = +2$ нКл, удаленный на $r = 10$ см от каждого из них? Рассмотрите случаи: а) заряды шариков $+Q$ и $-Q$; б) заряды обоих шариков $+Q$. Здесь $Q = 50$ нКл.

7.24. Три шарика, лежащие на гладком столе, связаны попарно нитями длины l. Какими станут силы T натяжения нитей, если каждому шарику сообщить заряд q?

7.25. Четыре заряда по +20 нКл, попарно связанные нитями, расположены в вершинах квадрата. Какой заряд нужно поместить в центре квадрата, чтобы силы натяжения нитей уменьшились до нуля?

7.26. В вершинах равностороннего треугольника находятся три связанных нитями заряда q. Каким должен быть заряд Q в центре треугольника, чтобы силы натяжения нитей уменьшились до нуля?

7.27. Шарик массой 0,2 г, подвешенный на нити, находится в горизонтальном электрическом поле с напряженностью 8 кН/Кл. Какой угол образует нить с вертикалью, если заряд шарика 50 нКл?

7.28. В горизонтальное электрическое поле внесли подвешенный на нити шарик массой 2 г, имеющий заряд 0,1 мкКл. Какова напряженность поля, если нить образует с вертикалью угол 45°?

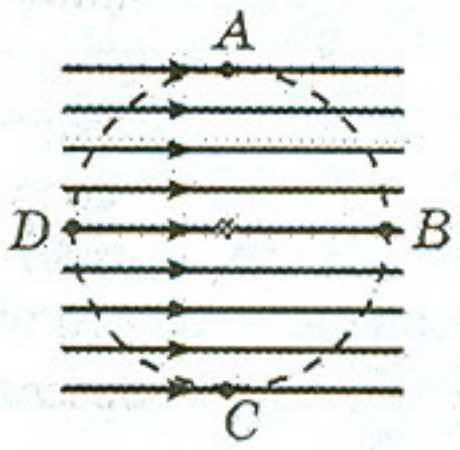
7.29. ? Маленький заряженный шарик поднесли к большому металлическому листу. Покажите примерный вид силовых линий электрического поля.

7.30. В каких точках напряженность поля двух точечных зарядов с модулями 4 нКл и 16 нКл равна нулю? Расстояние между зарядами равно 12 см. Рассмотрите два случая: а) заряды одноименные; б) заряды разноименные. Сделайте рисунок.

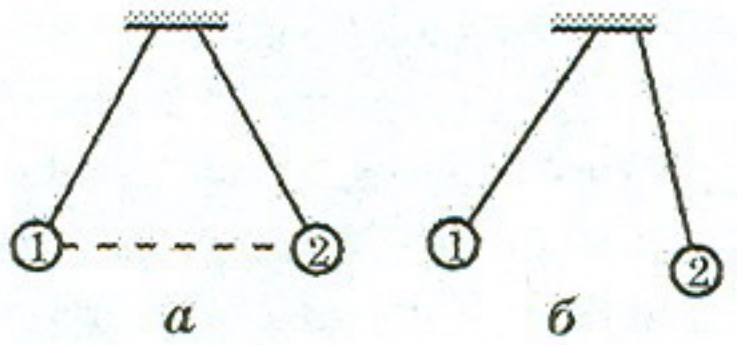
7.31. Два маленьких заряженных шарика расположены на расстоянии 8 см один от другого. Найдите напряженность электрического поля в точке, удаленной от каждого из них на 5 см. Рассмотрите случаи: а) заряды шариков +20 нКл и –20 нКл; б) заряды обоих шариков +20 нКл.

7.32. В однородное поле с напряженностью 10 кН/Кл, направленной вверх, внесли заряд 25 нКл. В какой точке напряженность поля станет равной нулю?

7.33. В однородное поле с напряженностью 12 кН/Кл внесли точечный заряд +2,5 нКл. Какой будет напряженность поля в точках A, B, C, D, находящихся на расстоянии 5 см от заряда (см. рисунок)?



К задаче 7.33



К задаче 7.35

7.34. В вершинах квадрата со стороной a расположены три положительных заряда $+q$ и отрицательный заряд $-q$. Найдите напряженность электрического поля в центре квадрата.

7.35. ? Двум шарикам, подвешенным на нитях одинаковой длины, сообщают положительные заряды. Нити отклоняются от

вертикали (см. рис. *а*, *б*). Какой из шариков имеет бóльшую массу и бóльший заряд в случаях *а*, *б*?

Высокий уровень

7.36. Некий «ученый» поставил цель получить такие «атомные ядра», чтобы кулоновское отталкивание между ними в точности компенсировало гравитационное притяжение. Какой должна быть доля протонов в этих «ядрах»? Какова минимально возможная масса такого «ядра»?

7.37. Расстояние между двумя одинаковыми дробинками с разноименными зарядами равно 2 см. Сила притяжения между ними 40 мкН. Дробинки приводят в соприкосновение и опять разводят на расстояние 2 см. Теперь дробинки отталкиваются с силой 22,5 мкН. Найдите первоначальные заряды дробинок.

7.38. Двум соприкасающимся металлическим шарам сообщают заряд Q. После этого шары удаляют на расстояние, намного превышающее их радиусы. Докажите, что возникающая между шарами сила отталкивания будет наибольшей в том случае, когда радиусы шаров одинаковы.

7.39. Бусинка может без трения скользить по непроводящей горизонтальной спице. На концах спицы закреплены шарики с одинаковыми положительными зарядами. Положительный или отрицательный заряд надо сообщить бусинке, чтобы посередине спицы она находилась в устойчивом равновесии?

7.40. Правильно ли утверждение: свободные заряженные частицы движутся в электростатическом поле вдоль силовых линий этого поля?

7.41. На нитях длиной $l = 3$ м, закрепленных в одной точке, висят два одинаковых металлических шарика. Шарикам сообщили равные заряды, в результате чего они разошлись на расстояние $a = 19$ см. Затем один из шариков разрядили. Каким будет расстояние b между шариками после установления равновесия?

7.42. В простейшей модели атóма водорода считается, что электрон движется вокруг неподвижного протона по окружности радиусом $5 \cdot 10^{-10}$ м. Каковы в этой модели скорость электрона и частота его обращения?

8. ПОТЕНЦИАЛ. ПРОВОДНИКИ И ДИЭЛЕКТРИКИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ

$$\varphi = \frac{W_{\text{п}}}{q},\ A = q(\varphi_1 - \varphi_2) = qU,\ E = \frac{U}{d},\ E = \frac{E_0}{\varepsilon}$$

8.1. Потенциальная энергия заряда 1 нКл в электрическом поле равна 5 мкДж. Чему равен потенциал поля в этой точке?

8.2. В точке поля с потенциалом 300 В заряженное тело имеет потенциальную энергию –0,6 мкДж. Каков его заряд?

8.3. Какую работу совершает поле при перемещении заряда 2 нКл из точки с потенциалом 200 В в точку с потенциалом 50 В?

8.4. Какую работу совершает поле при перемещении заряда 4 нКл из точки с потенциалом 20 В в точку с потенциалом 220 В?

8.5. При переносе из точки A в точку B заряда 5 нКл электрическое поле совершило работу 10 мкДж. Какова разность потенциалов между точками A и B?

8.6. При переносе из точки A в точку B заряда 4 мкКл потребовалось совершить работу 40 мДж *против* кулоновских сил. Какова разность потенциалов между точками A и B?

8.7. Заряд –20 нКл переместили в однородном электрическом поле с напряженностью 10 кВ/м на 5 см в направлении силовой линии. Какую работу совершило поле? На сколько изменилась потенциальная энергия заряда?

8.8. В однородном электрическом поле две точки лежат на одной силовой линии. Расстояние между точками равно 10 см. Каково напряжение между ними, если напряженность поля 150 кВ/м?

8.9. Для измерения энергии микрочастиц применяют внесистемную единицу — электронвольт (эВ). Такую энергию приобретает электрон, пройдя разность потенциалов 1 В. При какой скорости электрона его кинетическая энергия равна 1 эВ? 1 кэВ?

8.10. Какую кинетическую энергию приобрел электрон, пройдя ускоряющую разность потенциалов 2 кВ? Выразите ответ в электронвольтах и джоулях.

8.11. ❓ Заряженный прямоугольный лист фольги свернули в цилиндр. Как изменилась поверхностная плотность заряда?

8.12. Точечный заряд 2 нКл находится в керосине. Какова напряженность поля этого заряда на расстоянии 1 см от него?

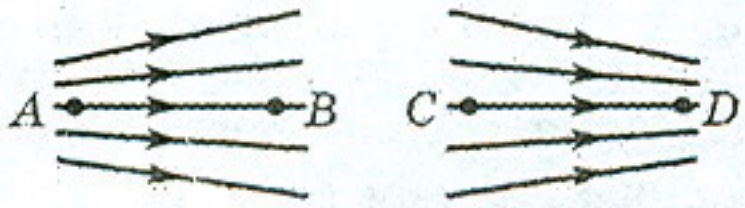
8.13. На каком расстоянии от заряда 10 нКл в машинном масле напряженность поля равна 10 кВ/м?

8.14. Два маленьких шарика с одинаковыми зарядами, находящиеся в воде на расстоянии 10 см один от другого, отталкиваются с силой 4 мкН. Найдите заряд каждого из шариков.

Потенциал поля

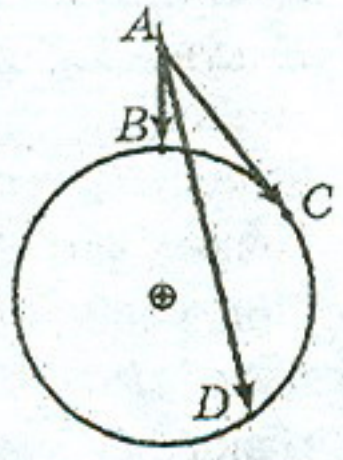
8.15. Как можно изменить потенциал проводящего шара, не касаясь его и не меняя его заряда?

8.16. Сравните потенциал и напряженность электрического поля в точках A и B, C и D (см. рисунок).



К задаче 8.16

К задаче 8.17



К задаче 8.18

8.17. На рисунке изображены эквипотенциальные поверхности электрического поля. Нарисуйте силовые линии этого поля. Рассмотрите два случая: а) $\varphi_1 > \varphi_2 > \varphi_3$; б) $\varphi_1 < \varphi_2 < \varphi_3$.

8.18. В электрическом поле положительного точечного заряда из точки A поочередно перемещают заряд в точки B, C и D. В каком случае кулоновская сила совершит наибольшую работу?

8.19. Пылинка массой 2,5 мг покоится в однородном вертикальном электрическом поле с напряженностью 100 кВ/м. Пылинка теряет 100 электронов. Какую скорость она приобретет, пройдя 2 см?

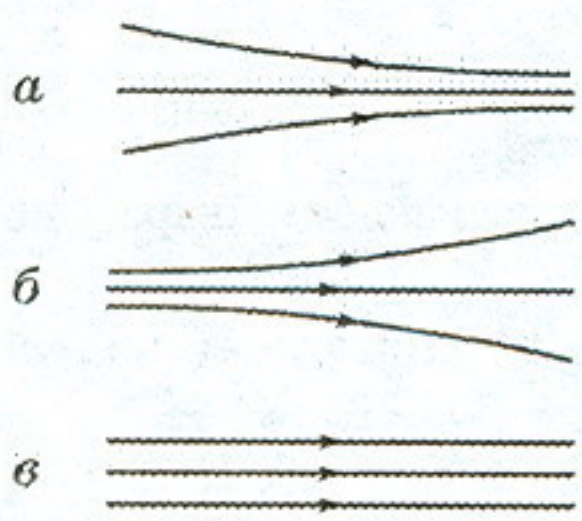
8.20. Скорость электрона уменьшилась от 10 000 км/с до нуля. Какую разность потенциалов прошел электрон?

8.21. При движении в электрическом поле скорость электрона увеличилась с 1 000 км/с до 5 000 км/с. Какую разность потенциалов прошел электрон?

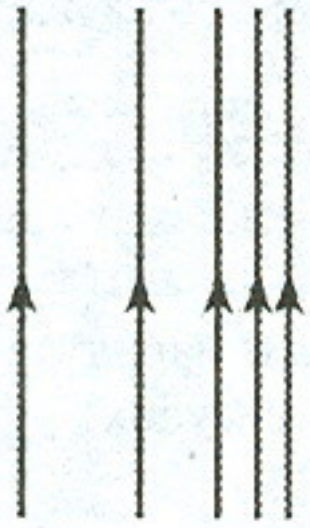
8.22. В кинескопах цветных телевизоров электроны проходят ускоряющую разность потенциалов 35 кВ. С какой скоростью электроны подлетают к экрану кинескопа?

8.23. Два одинаковых заряженных металлических шара находятся на небольшом расстоянии друг от друга. В каком из указанных ниже случаев модуль силы кулоновского взаимодействия между ними больше: а) заряды шаров равны $+q$; б) заряды шаров $+q$ и $-q$?

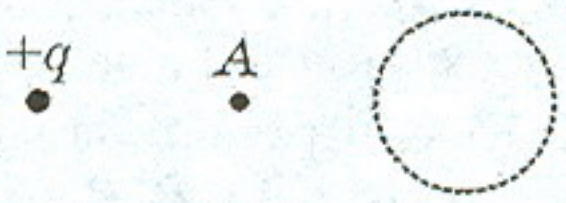
8.24. На рис. *а*, *б*, *в* показаны картины силовых линий трех электрических полей. Как будет вести себя незаряженный шарик, помещенный в каждое из этих полей? Имеет ли значение, из проводника или диэлектрика изготовлен шарик?



К задаче 8.24



К задаче 8.27



К задаче 8.30

8.25. Почему *незаряженные* легкие кусочки бумаги притягиваются к заряженным телам независимо от знака их заряда?

8.26. Могут ли притягиваться одноименно заряженные тела?

8.27. Можно ли создать электростатическое поле, линии напряженности которого имеют вид, показанный на рисунке?

8.28. Нарисуйте силовые линии однородного электрического поля, в которое внесли диэлектрическую пластинку, перпендикулярную силовым линиям.

8.29. В однородное электрическое поле внесли металлический шар. Покажите примерный вид силовых линий поля вблизи шара.

8.30. Электрическое поле создается положительным точечным зарядом. Увеличатся или уменьшатся напряженность и потенциал поля в точке A (см. рисунок), если справа от нее поместить незаряженный проводящий шар? Изменится ли ответ, если шар изготовлен из диэлектрика?

8.31. Найдите расстояние между двумя точечными зарядами, находящимися в машинном масле, если сила взаимодействия между ними такая же, как в вакууме на расстоянии 40 см.

Повышенной трудности

8.32. В однородное электрическое поле напряженностью 2 МВ/м влетает протон со скоростью 20 Мм/с под углом 120° к направлению силовых линий. Через какое время скорость протона будет перпендикулярна силовым линиям? Каково перемещение протона за это время?

8.33. Чему равен потенциал φ поля точечного заряда $Q = 20$ нКл на расстоянии $r = 5$ см от заряда?

8.34. Металлическому шару радиусом 2 см передан заряд 40 нКл. Каков потенциал поверхности шара? Центра шара?

8.35. Сравните потенциалы двух уединенных металлических шаров разного диаметра, имеющих одинаковые положительные заряды.

8.36. Разность потенциалов двух точек, удаленных от центра заряженной металлической сферы на 20 см и 30 см, равна 2 В. Радиус сферы 10 см. Каков заряд сферы? Какова разность потенциалов между сферой и ее центром?

8.37. Четыре заряда по 40 нКл расположены в вершинах квадрата со стороной 4 см. Каков потенциал поля в центре квадрата?

8.38. Какие одинаковые заряды надо разместить в вершинах равностороннего треугольника со стороной 10 см, чтобы потенциал поля в центре треугольника был равен –100 В?

8.39. Чему равны напряженность и потенциал поля в центре равномерно заряженного проволочного кольца? Заряд кольца Q, радиус R.

8.40. Двум металлическим шарам радиусами $R_1 = 5$ см и $R_2 = 15$ см сообщили заряды $q_1 = 12$ нКл и $q_2 = -40$ нКл. Шары соединяют тонкой проволокой. Какой заряд Δq пройдет по проволоке? Расстояние между шарами намного больше их радиусов.

8.41. Две одинаковые металлические пылинки массой 1 мкг находятся на расстоянии 1 см одна от другой. Каждой пылинке сообщают заряд 0,1 нКл. Какую максимальную скорость могут приобрести пылинки?

8.42. Два небольших шарика с одинаковыми зарядами 40 нКл надеты на вертикальную диэлектрическую спицу. Нижний шарик закреплен., а верхний может без трения скользить по спице. Его удерживают над нижним шариком на расстоянии 8 см. На какое минимальное расстояние приблизится верхний шарик к нижнему, если его отпустить? Масса верхнего шарика 2 г.

8.43. Два одинаковых заряженных шарика, подвешенных в одной точке на нитях равной длины, разошлись в воздухе на некоторый угол. Какова должна быть плотность ρ шариков, чтобы при погружении их в машинное масло этот угол не изменился?

9. КОНДЕНСАТОРЫ. ЭНЕРГИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ

$$C = \frac{q}{U},\ C = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{d},\ W_p = \frac{q^2}{2C} = \frac{CU^2}{2},\ w = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 E^2}{2}$$

Задачи

9.1. Когда конденсатор подключили к источнику постоянного напряжения, одна из его обкладок приобрела заряд 20 нКл. Чему равен: а) заряд конденсатора; б) суммарный заряд обеих обкладок?

9.2. Правильно ли утверждение: под зарядом конденсатора понимают сумму зарядов его обкладок?

9.3. Во сколько раз изменится емкость плоского конденсатора, если уменьшить рабочую площадь пластин в 3 раза?

9.4. Расстояние между пластинами плоского конденсатора уменьшили в 2 раза. Как изменилась емкость конденсатора?

9.5. Какова емкость конденсатора, заряд которого равен 20 мКл при разности потенциалов между обкладками 2 кВ?

9.6. Какой заряд нужно сообщить конденсатору емкостью 1 мкФ, чтобы разность потенциалов между его пластинами была равна 50 В?

9.7. Какова разность потенциалов между обкладками конденсатора емкостью 2000 пФ, если заряд конденсатора равен 4 нКл?

9.8. Как изменится емкость плоского конденсатора, если в качестве диэлектрика между пластинами вместо бумаги, пропитанной парафином, использовать слюду такой же толщины?

9.9. Плоский конденсатор представляет собой две плоские металлические пластины площадью 36 см^2, между которыми находится слюдяная пластинка толщиной 0,14 см. Чему равна емкость конденсатора? Каков заряд конденсатора, если напряжение на нем равно 300 В?

9.10. Импульсная лампа фотовспышки потребляет за одну вспышку 36 Дж электрической энергии. До какого напряжения заряжают питающий вспышку конденсатор емкостью 800 мкФ?

Дополнительные задания

9.11. Какова напряженность электрического поля внутри плоского воздушного конденсатора, если его заряд равен 0,5 мкКл, а площадь пластин 500 см^2?

9.12. Какой заряд был сообщен плоскому конденсатору емкостью 20 пФ, если напряженность поля между пластинами равна 50 кВ/м, а расстояние между пластинами 5 мм?

9.13. ? Плоский конденсатор подключили к источнику постоянного напряжения. Как изменятся заряд конденсатора, разность потенциалов между обкладками и напряженность поля внутри конденсатора, если расстояние между обкладками увеличить в 2 раза: а) не отключая источника напряжения; б) предварительно отключив источник?

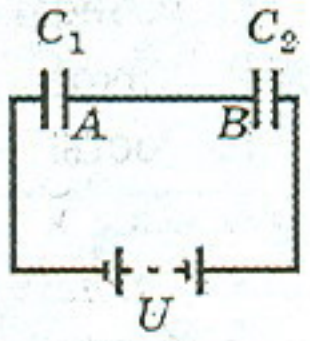
9.14. ? Плоский воздушный конденсатор зарядили и отключили от источника напряжения. Во сколько раз изменятся заряд и напряжение на обкладках конденсатора, если пространство между обкладками заполнить парафином?

9.15. Диэлектриком в плоском конденсаторе служит пластинка слюды площадью 800 $см^2$ и толщиной 4 мм. Конденсатор подключен к источнику напряжения 400 В. Какой заряд пройдет по цепи, если пластинку вытащить?

9.16. Два конденсатора, емкости которых равны C_1 и C_2, соединены: а) параллельно; б) последовательно. Какова емкость батареи конденсаторов?

9.17. Два конденсатора имеют емкости 2 и 3 мкФ. Батареи какой емкости можно изготовить из этих конденсаторов?

9.18. Конденсаторы емкостью C_1 и C_2 соединили последовательно и подключили к источнику (см. рисунок) с напряжением U. Какой заряд q получит от источника батарея конденсаторов? Чему равен заряд обкладки A? Суммарный заряд обкладок A и B?

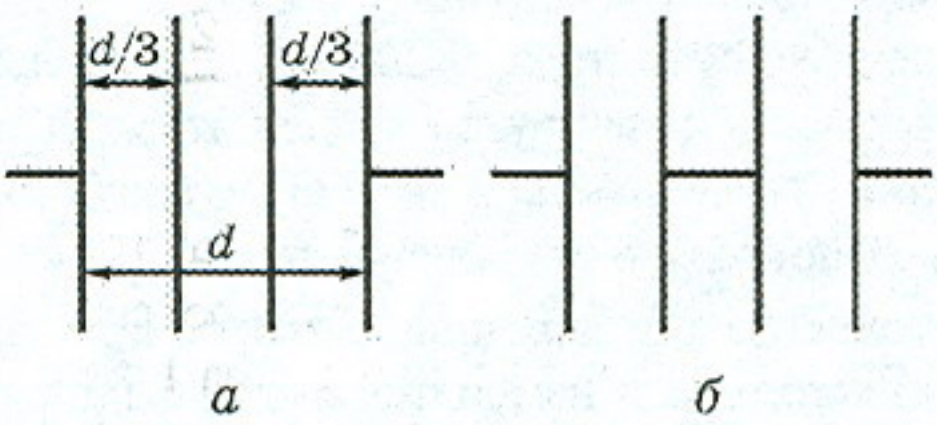


9.19. Перед грозой напряженность электрического поля в воздухе достигает 50 кВ/м. Какова при этом плотность энергии электрического поля?

9.20. Между обкладками плоского конденсатора находится керосин. Расстояние между обкладками равно 1 см, напряжение на конденсаторе 2 кВ. Какова плотность энергии электрического поля внутри конденсатора?

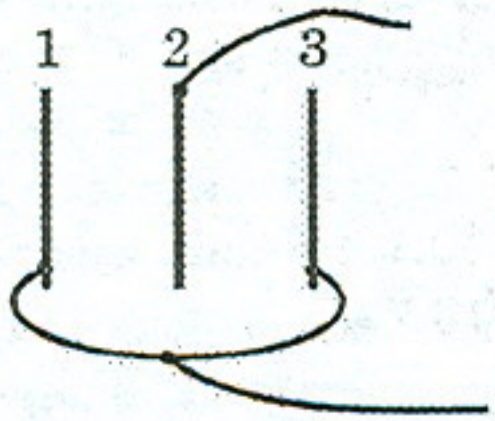
9.21. Конденсатор неизвестной емкости, заряженный до напряжения 800 В, подключили параллельно конденсатору емкостью 4 мкФ, заряженному до напряжения 200 В. Чему равна емкость первого конденсатора, если после соединения напряжение на батарее равно 400 В?

9.22. Во сколько раз изменится емкость плоского конденсатора, если в него ввести две тонкие металлические пластины (см. рис. *а*)? Если соединить эти пластины проводом (см. рис. *б*)?



а *б*

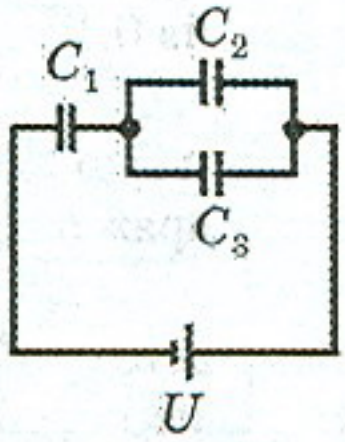
К задаче 9.22



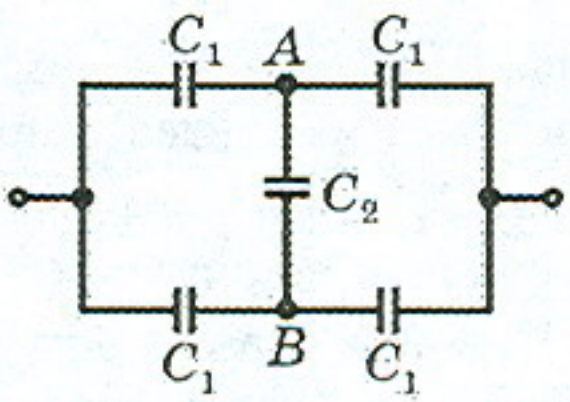
К задаче 9.23

9.23. Конденсатор состоит из трех полосок фольги площадью по 4 см^2, разделенных слоями слюды толщиной 0,2 мм. Крайние полоски фольги соединены между собой (см. рисунок). Какова емкость конденсатора?

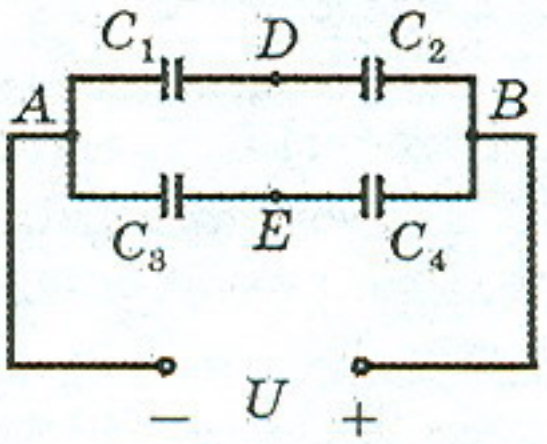
9.24. Найдите заряды на каждом из конденсаторов (см. рисунок), если $C_1 = 2$ мкФ, $C_2 = 4$ мкФ, $C_3 = 6$ мкФ, $U = 18$ В.



К задаче 9.24



К задаче 9.25

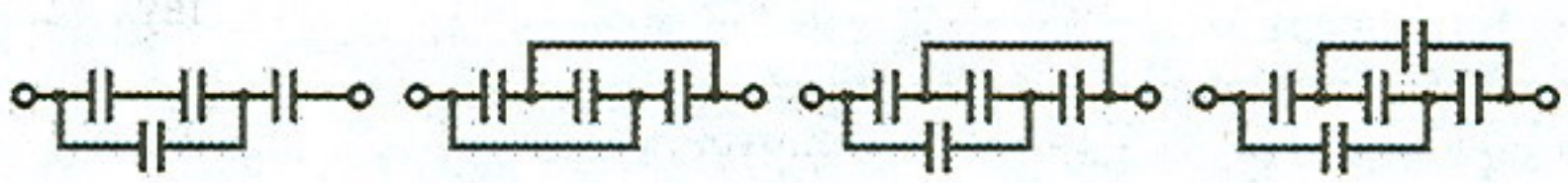


К задаче 9.26

9.25. Найдите емкость C_0 батареи конденсаторов, изображенной на рисунке.

9.26. Найдите заряд каждого из конденсаторов и разность потенциалов между точками D и E (см. рисунок), если $C_1 = C_2 = C_3 = C$, а $C_4 = 4C$. К точкам A и B подведено постоянное напряжение U.

9.27. Найдите емкости показанных на рис. *а* — *г* систем, если все конденсаторы имеют одинаковую емкость C.



а *б* *в* *г*

10. ЗАКОН ОМА ДЛЯ УЧАСТКА ЦЕПИ

$$I = \frac{U}{R},\ R = \rho\frac{l}{S},\ R = R_1 + R_2 + \ldots,\ \frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \ldots$$

Задачи и упражнения

10.1. Как определить, не разрывая цепь, идет ли по проводу ток?

10.2. Какой заряд проходит ежесекундно через поперечное сечение провода, питающего лампу, если сила тока в лампе равна 1 А?

10.3. При какой силе тока за 4 с через поперечное сечение проводника проходит заряд 32 Кл?

10.4. Зарядка автомобильного аккумулятора длилась 5 ч. Какой заряд прошел по цепи, если сила тока равнялась 10 А?

10.5. Каково направление электрического тока электронного луча в кинескопе телевизора: к экрану или от него?

10.6. Сила тока электронного луча кинескопа равна 100 мкА. Сколько электронов ежесекундно попадает на экран кинескопа?

10.7. Для изготовления реостата сопротивлением 126 Ом использовали никелиновую проволоку с площадью поперечного сечения 0,1 мм^2. Какова длина проволоки?

10.8. Реостат сопротивлением 40 Ом рассчитан на максимальную силу тока 2 А. Можно ли включать этот реостат в цепь с напряжением 70 В? 100 В?

10.9. В елочной гирлянде, включенной в сеть 220 В, последовательно соединены 20 одинаковых лампочек. Каковы напряжение на каждой лампочке и сопротивление каждой из лампочек в рабочем режиме, если сила тока в гирлянде равна 45 мА?

10.10. К источнику постоянного напряжения 48 В подключили три резистора, соединенные последовательно. Сила тока через первый резистор равна 1 А, сопротивление второго составляет 12 Ом, а напряжение на третьем резисторе равно 18 В. Каковы сопротивления первого и третьего резисторов?

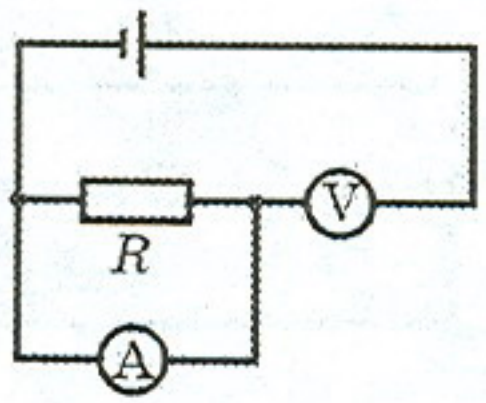
10.11. Автомобильную лампу, рассчитанную на напряжение 12 В и силу тока 8 А, нужно включить в сеть с напряжением 172 В. Какое добавочное сопротивление и как нужно подключить к лампе?

10.12. Какие сопротивления можно получить с помощью двух резисторов, сопротивления которых 2 кОм и 3 кОм?

10.13. Два резистора соединены параллельно. Сопротивление первого резистора равно 25 Ом. Сила тока во втором резисторе равна 7,5 А, напряжение на нем 150 В. Какова общая сила тока в цепи?

10.14. Какие сопротивления можно получить с помощью трех резисторов по 12 кОм?

10.15. ? Ученик собрал электрическую цепь (см. рисунок) для измерения силы тока в резисторе и напряжения на нем. Какую ошибку он допустил? Что будут показывать приборы?

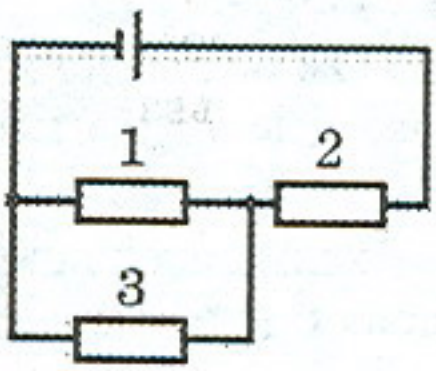


Повышенный уровень

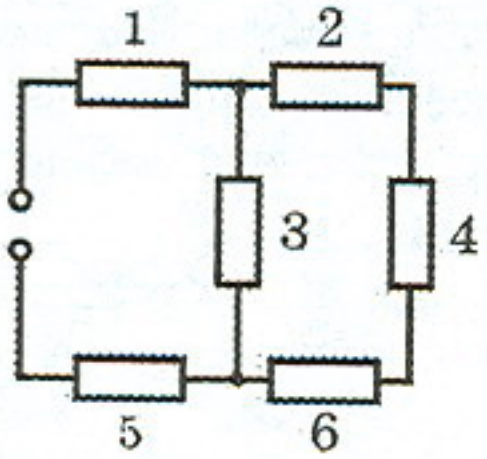
10.16. ? Возможен ли электрический ток в отсутствие электрического поля?

10.17. Для питания лампы фотовспышки используется конденсатор емкостью 800 мкФ, заряженный до напряжения 300 В. Каков средний ток разрядки конденсатора, если длительность вспышки составляет 20 мс?

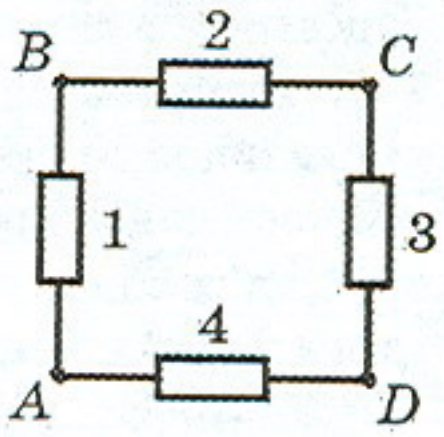
10.18. В электрической цепи (см. рисунок) все резисторы имеют сопротивление 10 Ом. Каковы напряжение на каждом резисторе и сила тока в каждом из них, если напряжение источника равно 30 В?



К задаче 10.18



К задаче 10.19



К задаче 10.20

10.19. К источнику тока с напряжением 110 В подключена электрическая цепь (см. рисунок). Все резисторы имеют сопротивление 10 кОм. Найдите силу тока в каждом резисторе.

10.20. Сопротивления резисторов (см. рисунок) $R_1 = 5$ Ом, $R_2 = 10$ Ом, $R_3 = 6$ Ом и $R_4 = 4$ Ом. Найдите сопротивления цепи между точками: а) A и B; б) A и C.

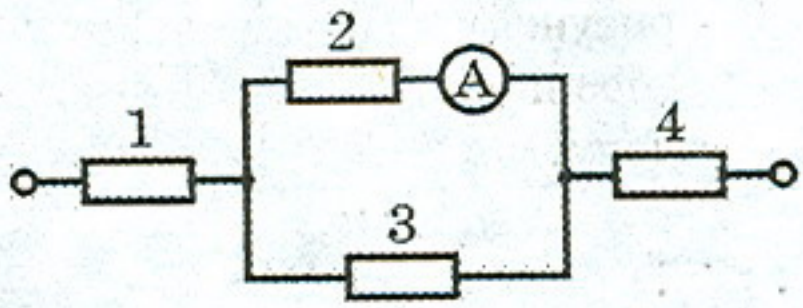
10.21. Медная проволока массой $m = 300$ г имеет электрическое сопротивление $R = 57$ Ом. Найдите длину проволоки l и площадь ее поперечного сечения S.

10.22. Какие сопротивления можно получить, используя не более четырех резисторов с сопротивлением 24 кОм? Начертите схемы соответствующих соединений.

10.23. Три одинаковые лампы, рассчитанные на напряжение 36 В и силу тока 1,5 А, нужно соединить параллельно и питать от сети с напряжением 45 В. Добавочный резистор какого сопротивления

нужно подключить последовательно с лампами, чтобы они работали в нормальном режиме?

10.24. Цепь, изображенная на рисунке, подключена к источнику постоянного напряжения 44 В. Амперметр показывает 500 мА. Найдите напряжение на каждом из резисторов, если $R_1 = R_4$, а $R_2 = 44$ Ом.

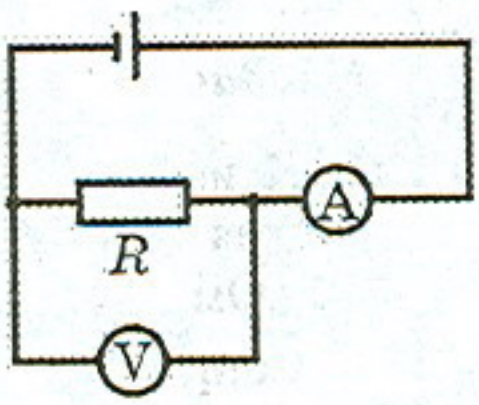


10.25. Гальванометр имеет сопротивление $R_г = 385$ Ом. Ток полного отклонения $I_г = 0{,}38$ мА. Из этого гальванометра требуется изготовить амперметр с пределом измерений $I = 2$ А. Какой длины l нихромовую проволоку сечением $S = 1$ мм^2 надо взять в качестве шунтирующего сопротивления?

10.26. Вольтметр, рассчитанный на напряжение 15 В, изготовлен из гальванометра с сопротивлением 2,3 Ом и чувствительностью (напряжением, соответствующим отклонению стрелки на одно деление) $1{,}4 \cdot 10^{-3}$ В/дел. Какое добавочное сопротивление использовано при изготовлении вольтметра, если шкала гальванометра имеет 10 делений?

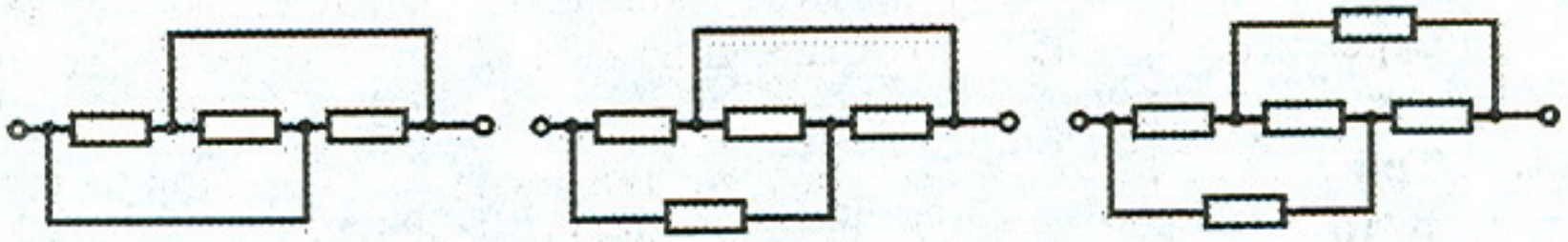
ВЫСОКИЙ УРОВЕНЬ

10.27. Для измерения сопротивления резистора R собрана показанная на рисунке цепь. Амперметр показывает $I = 2$ А, вольтметр $U = 120$ В. Найдите R, если сопротивление вольтметра 3 кОм. К какой погрешности (абсолютной ΔR и относительной ε_R) приведет использование приближенной формулы $R = U/I$?



10.28. Из одинаковых резисторов по 10 Ом требуется составить цепь сопротивлением 6 Ом. Какое *наименьшее* количество резисторов для этого потребуется? Начертите схему цепи.

10.29. Найдите сопротивление каждой из цепей (см. рис. *а*, *б*, *в*), если сопротивление каждого из резисторов равно 1 кОм.



а *б* *в*

11. РАБОТА И МОЩНОСТЬ ТОКА. ЗАКОН ОМА ДЛЯ ПОЛНОЙ ЦЕПИ

$$A = UIt,\ Q = I^2Rt,\ P = UI,\ I = \frac{\mathscr{E}}{R + r}$$

Пример решения задачи

Реостат подключен к источнику тока. При изменении сопротивления реостата от $R_1 = 4{,}0$ Ом до $R_2 = 9{,}5$ Ом сила тока в цепи изменяется от $I_1 = 8{,}0$ А до $I_2 = 3{,}6$ А. Найдите ЭДС $\mathscr{E}$ источника тока и его внутреннее сопротивление r.

Дано:

$R_1 = 4{,}0$ Ом
$R_2 = 9{,}5$ Ом
$I_1 = 8{,}0$ А
$I_2 = 3{,}6$ А

$\mathscr{E} - ?$
$r - ?$

Решение.

Из закона Ома для полной цепи $I = \frac{\mathscr{E}}{R + r}$ следует соотношение $\mathscr{E} = I(R + r)$. Из этого соотношения получаем систему уравнений

$$\begin{cases} \mathscr{E} = I_1(R_1 + r), \\ \mathscr{E} = I_2(R_2 + r). \end{cases}$$

Отсюда $r = \frac{I_2R_2 - I_1R_1}{I_1 - I_2}$, $\mathscr{E} = \frac{I_1I_2(R_2 - R_1)}{I_1 - I_2}$.

$$[r] = \frac{\text{А} \cdot \text{Ом}}{\text{А}} = \text{Ом},\ [\mathscr{E}] = \frac{\text{А}^2 \cdot \text{Ом}}{\text{А}} = \text{А} \cdot \text{Ом} = \text{В}.$$

Подставив числовые значения, получаем $\mathscr{E} = 36$ В, $r = 0{,}5$ Ом.

Ответ. $\mathscr{E} = 36$ В, $r = 0{,}5$ Ом.

Задачи уровень А

11.1. К батарейке подключена лампочка. Правильно ли утверждение: внутри батарейки ток идет от ее положительного полюса к отрицательному?

11.2. В замкнутой цепи сторонние силы совершили работу 5 Дж. Какую работу совершили за это же время кулоновские силы?

11.3. ЭДС батарейки карманного фонарика равна 4,5 В. Почему же в этом фонарике используют лампочку, рассчитанную на напряжение 3,5 В?

11.4. В замкнутой цепи сила тока равна 1 А. Какую работу совершают сторонние силы за 10 с, если ЭДС источника тока равна 12 В?

11.5. Аккумулятор мотоцикла имеет ЭДС 6 В и внутреннее сопротивление 0,5 Ом. К нему подключили реостат сопротивлением 5,5 Ом. Найдите силу тока в реостате и напряжение на клеммах аккумулятора.

11.6. Автомобильную лампу, на которой написано «12 В, 100 Вт», подключили к аккумулятору с ЭДС 12 В и внутренним сопротивлением 0,06 Ом. Найдите силу тока и мощность тока в лампе.

11.7. ЭДС батареи аккумуляторов равна 6 В, а внутреннее сопротивление батареи 0,25 Ом. Найдите силу тока короткого замыкания.

Дополнительные задания

11.8. Электрический чайник нагревает 2 л воды от 10 °С до 100 °С за 3 мин. Какова длина никелиновой проволоки, из которой изготовлен нагревательный элемент? Площадь сечения проволоки равна 0,63 мм^2, КПД чайника 80 %, напряжение в сети 220 В.

11.9. Сопротивление первого резистора в 4 раза больше, чем сопротивление второго. Сравните мощности тока в резисторах, соединенных: а) последовательно; б) параллельно.

11.10. Резисторы с сопротивлениями 60 Ом и 20 Ом включают в сеть с напряжением 120 В. Найдите суммарную мощность тока в резисторах, если они соединены: а) последовательно; б) параллельно.

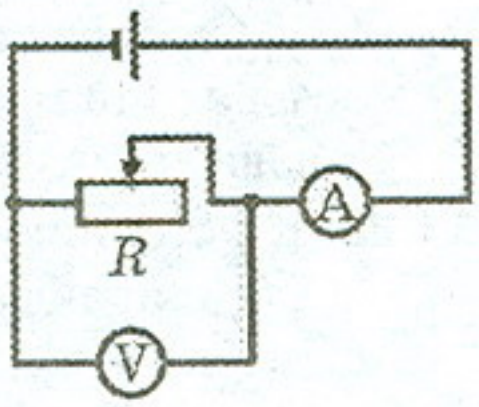
11.11. Подъемник, двигатель которого подключен к сети постоянного напряжения 120 В, при силе тока 4 А поднимает груз массой 72 кг равномерно со скоростью 0,5 м/с. Каков КПД подъемника?

11.12. Электродвигатель модели электромобиля работает при напряжении 9 В. Модель массой 2 кг движется с постоянной скоростью 1,5 м/с. Какова сила тока в электродвигателе, если КПД модели равен 75%, а коэффициент сопротивления движению 0,08?

11.13. ? При запуске автомобильного двигателя с помощью стартера напряжение в бортовой сети значительно снижается. Почему?

11.14. ? При каком сопротивлении внешней цепи напряжение во внешней цепи равно половине ЭДС источника?

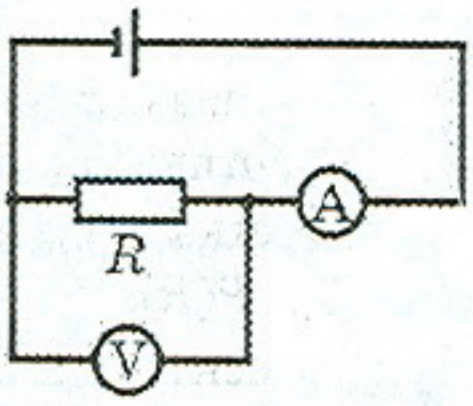
11.15. Для определения характеристик источника тока собрали цепь (см. рисунок). При одном положении движка реостата приборы показывают 4,5 В и 0,5 А, при другом — 4 В и 1 А. Найдите по этим данным ЭДС и внутреннее сопротивление источника тока.



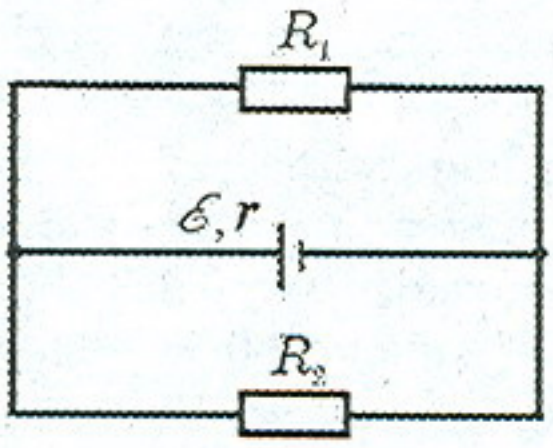
11.16. Когда к источнику тока подключили резистор сопротивлением 32 Ом, сила тока в этом резисторе составила 500 мА. Когда резистор заменили другим, с сопротивлением 16 Ом, сила тока увеличилась до 900 мА. Найдите ЭДС и внутреннее сопротивление источника тока.

11.17. Каковы ЭДС и внутреннее сопротивление источника, если при силе тока 6 А мощность во внешней цепи равна 90 Вт, а при силе тока 2 А эта мощность снижается до 60 Вт?

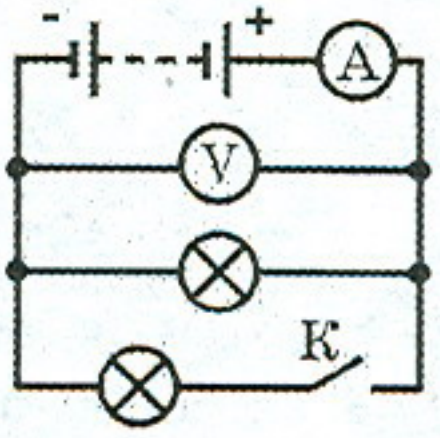
11.18. В цепи (см. рисунок) вольтметр показывает 11 В, а амперметр 2 А. ЭДС источника тока 12 В. Найдите сопротивление резистора и внутреннее сопротивление источника тока.



К задаче 11.18



К задаче 11.19



К задаче 11.20

11.19. Найдите напряжение U на полюсах источника тока (см. рисунок). Каковы силы тока I_1 и I_2 в резисторах? Сопротивления резисторов $R_1 = 8$ Ом, $R_2 = 24$ Ом; ЭДС источника тока $\mathcal{E} = 40$ В, его внутреннее сопротивление $r = 2$ Ом.

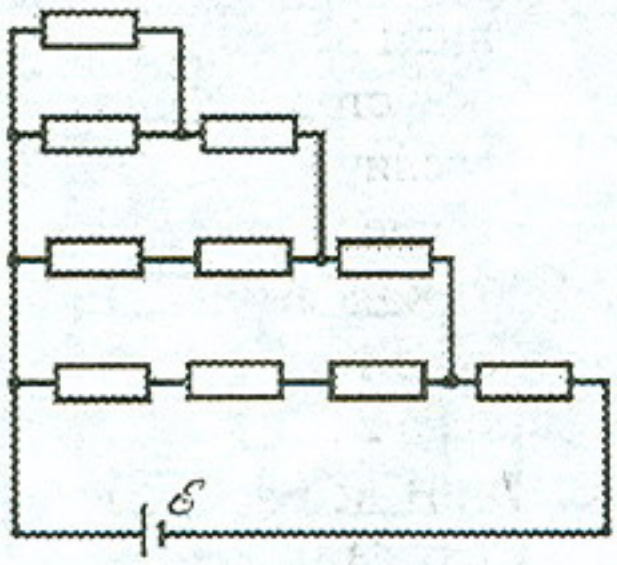
11.20. Как изменятся показания амперметра и вольтметра при замыкании ключа (см. рисунок)? Внутреннее сопротивление источника сравнимо с сопротивлениями лампочек.

11.21. ЭДС источника тока равна 12 В. Когда к источнику подключили резистор, напряжение во внешней цепи оказалось 6 В. Каким станет это напряжение, если подключить еще один такой же резистор: а) последовательно с первым; б) параллельно первому?

11.22. Источник тока с ЭДС 60 В и внутренним сопротивлением 0,05 Ом соединен алюминиевым кабелем с площадью поперечного сечения 140 мм^2 и длиной 500 м с мощным нагревателем. Сила тока в цепи 100 А. Каковы напряжения на источнике и нагревателе?

11.23. К источнику тока с ЭДС 15 В и внутренним сопротивлением 2,5 Ом подключен реостат. Постройте графики зависимостей силы тока в цепи и напряжения на реостате от сопротивления реостата R.

11.24. Найдите силу тока через источник и напряжение на источнике (см. рисунок), если его ЭДС 15 В, а внутреннее сопротивление 4 Ом. Сопротивление каждого из резисторов 68 Ом.



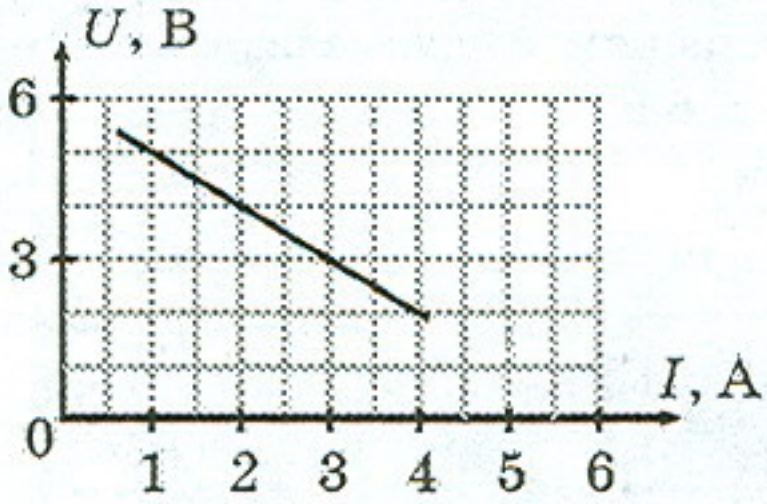
К задаче 11.24

11.25. Три одинаковых гальванических элемента с ЭДС 1,5 В и внутренним сопротивлением 0,3 Ом соединены: а) последовательно; б) параллельно. Чему равны ЭДС и внутреннее сопротивление батареи?

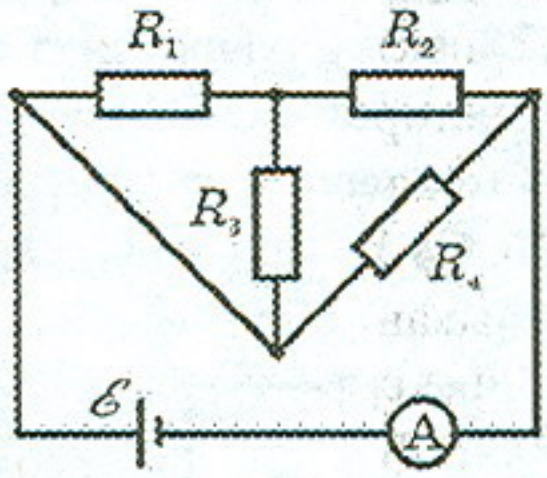
ВЫСОКИЙ УРОВЕНЬ

11.26. Реостат с максимальным сопротивлением 6 Ом подключен к источнику тока с ЭДС $\mathscr{E} = 6$ В и внутренним сопротивлением $r = 1$ Ом. При каком сопротивлении R реостата мощность P тока в нем будет наибольшей? Постройте график зависимости $P(R)$.

11.27. При изменении сопротивления внешней цепи изменяются и сила тока I, и напряжение U на источнике тока. Определите ЭДС источника тока и его внутреннее сопротивление по приведенному на рисунке графику зависимости $U(I)$.



К задаче 11.27

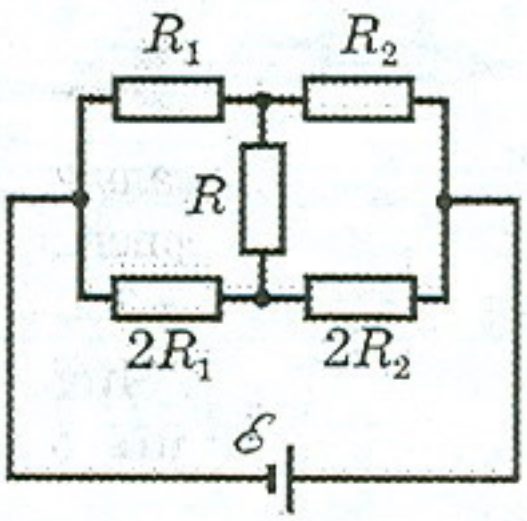


К задаче 11.28

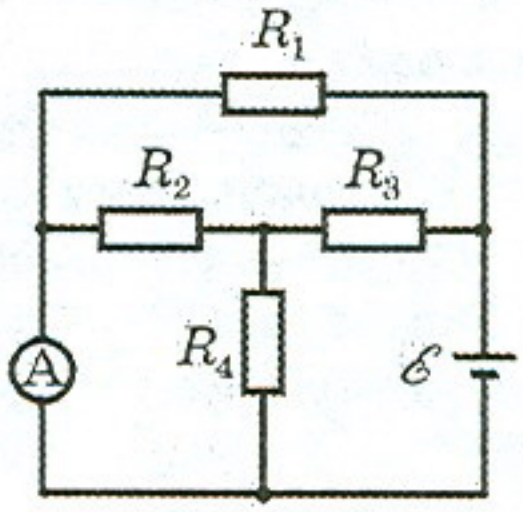
11.28. Какую силу тока I покажет амперметр в изображенной на рисунке цепи? Сопротивления резисторов: $R_1 = 6$ Ом, $R_2 = 8$ Ом, $R_3 = 12$ Ом, $R_4 = 24$ Ом. ЭДС источника $\mathscr{E} = 36$ В, его внутреннее сопротивление $r = 1$ Ом.

11.29. Когда к батарее аккумуляторов подключена одна лампа, напряжение на зажимах батареи равно 20 В. При параллельном подключении еще одной такой же лампы напряжение падает до 15 В. Найдите сопротивление каждой лампы. Считайте, что сопротивление ламп не зависит от накала. Внутреннее сопротивление батареи равно 1 Ом.

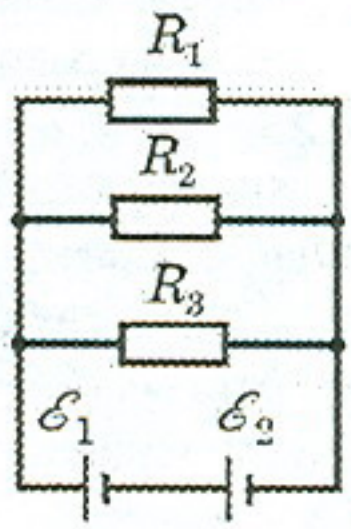
11.30. Найдите силу тока I_1 через резистор сопротивлением R_1 (см. рисунок). Сопротивления резисторов: $R_1 = 5$ Ом, $R_2 = 7$ Ом, $R = 2$ Ом. ЭДС источника $\mathscr{E} = 30$ В, его внутреннее сопротивление $r = 2$ Ом.



К задаче 11.30



К задаче 11.31

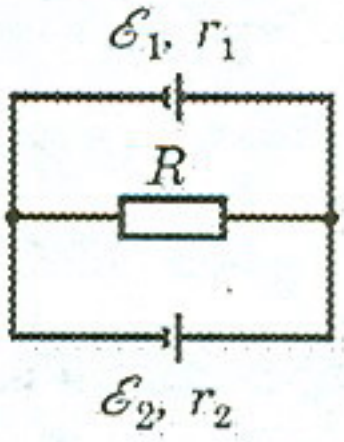


К задаче 11.32

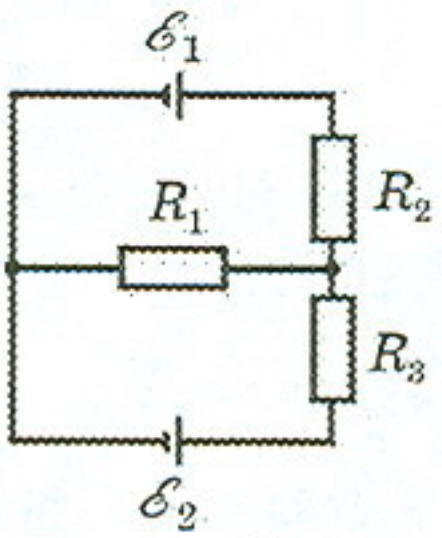
11.31. Найдите силу тока I_A через амперметр (см. рисунок), если сопротивления резисторов $R_1 = 20$ Ом, $R_2 = R_4 = 8$ Ом, $R_3 = 1$ Ом. ЭДС источника $\mathscr{E} = 50$ В, его внутреннее сопротивление $r = 1$ Ом. Сопротивлением амперметра можно пренебречь.

11.32. Чему равны разности потенциалов U_1 и U_2 на полюсах источников тока (см. рисунок)? ЭДС источников одинаковы и равны 6 В, внутренние сопротивления соответственно 0,5 Ом и 1,5 Ом. Сопротивления резисторов соответственно 2 Ом, 3 Ом, 6 Ом.

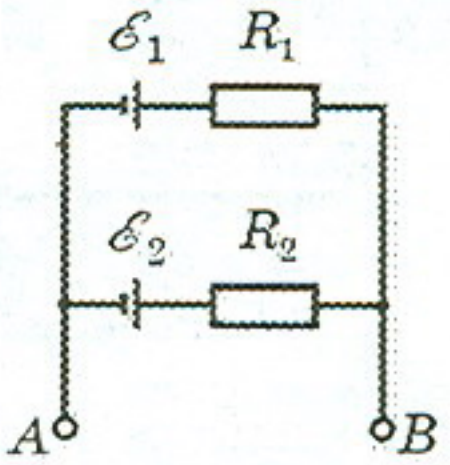
11.33. Чему равна сила тока в резисторе сопротивлением 5 Ом (см. рисунок)? ЭДС источников $\mathscr{E}_1 = 6$ В и $\mathscr{E}_2 = 5$ В, внутренние сопротивления $r_1 = 1$ Ом и $r_2 = 2$ Ом.



К задаче 11.33



К задаче 11.34



К задаче 11.35

11.34. Найдите распределение токов и напряжений в показанной на рисунке цепи. $\mathscr{E}_1 = 12$ В, $\mathscr{E}_2 = 5$ В, $R_1 = 7{,}5$ Ом, $R_2 = 6$ Ом, $R_3 = 2$ Ом. Внутренним сопротивлением источников можно пренебречь.

11.35. Чему равна разность потенциалов между точками A и B (см. рисунок), если $\mathscr{E}_1 = 2$ В, $\mathscr{E}_2 = 2{,}6$ В, $R_1 = 10$ Ом, $R_2 = 5$ Ом? Внутренним сопротивлением источников можно пренебречь.

12. МАГНИТНОЕ ПОЛЕ. ВЕКТОР МАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ

$$F = BIl \cdot \sin\alpha,\ F = |q|\upsilon B \cdot \sin\alpha$$

Пример решения задачи

На горизонтальных рельсах, находящихся в вертикальном однородном магнитном поле, лежит стальной брусок, перпендикулярный рельсам. Длина бруска $a = 15$ см, масса $m = 300$ г, коэффициент трения между бруском и рельсами $\mu = 0{,}2$. Чтобы брусок сдвинулся с места, по нему необходимо пропустить ток $I = 40$ А. Какова индукция B магнитного поля?

Дано:

$a = 15$ см $= 0{,}15$ м

$m = 300$ г $= 0{,}3$ кг

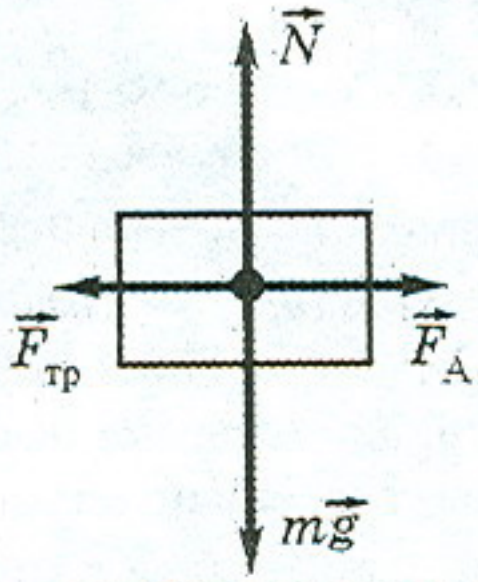
$\mu = 0{,}2$

$I = 40$ А

$\alpha = 90°$

$B - ?$

Решение.



На рисунке показаны действующие на брусок силы. Сила Ампера $F_A = BIa \cdot \sin\alpha$; в тот момент, когда брусок сдвигается с места, сила трения $F_{тр} = \mu N = \mu mg$. Из условия $F_A = F_{тр}$ находим

$$B = \frac{\mu mg}{Ia \cdot \sin\alpha}.$$

$$[B] = \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}^2 \cdot \text{А} \cdot \text{м}} = \frac{\text{Н}}{\text{А} \cdot \text{м}} = \text{Тл}.$$

$$B = \frac{0{,}2 \cdot 0{,}3 \cdot 9{,}8}{40 \cdot 0{,}15 \cdot 1} = 9{,}8 \cdot 10^{-2}\ (\text{Тл}).$$

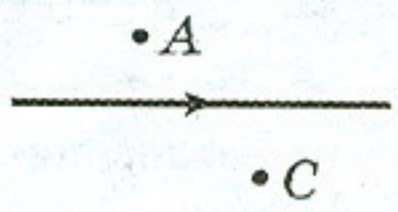
Ответ. $B = 98$ мТл.

Задачи для решения

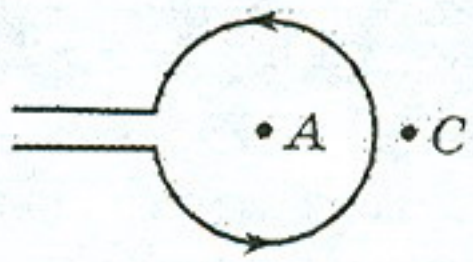
12.1. Действует ли магнитное поле на неподвижный электрон?

12.2. Как должен двигаться электрон в однородном магнитном поле, чтобы на него не действовала сила Лоренца?

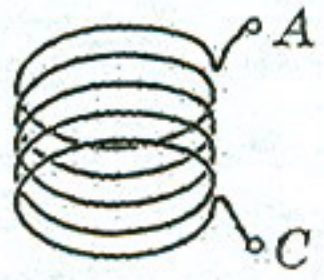
12.3. По проводу (см. рисунок) идет электрический ток. В каком направлении повернется магнитная стрелка, помещенная в точку A? В точку C?



К задаче 12.3



К задаче 12.4



К задаче 12.5

12.4. По витку провода (см. рисунок) идет электрический ток. В каком направлении повернется магнитная стрелка, помещенная в точку A? В точку C?

12.5. Внутри катушки (см. рисунок) вектор индукции магнитного поля направлен снизу вверх. Какая из клемм (A или C) подключена к положительному полюсу источника тока?

12.6. Какая сила действует со стороны однородного магнитного поля с индукцией 30 мТл на находящийся в поле прямолинейный провод длиной 50 см, по которому идет ток 12 А? Провод образует прямой угол с направлением вектора магнитной индукции поля.

12.7. Проводник, сила тока в котором равна 8 А, находится в однородном магнитном поле. Какова индукция магнитного поля, если на прямолинейный участок проводника длиной 10 см, образующий угол 30° с направлением вектора магнитной индукции, действует со стороны магнитного поля сила 10 мН?

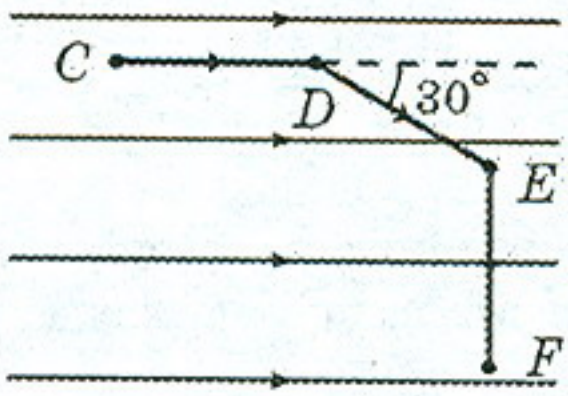
12.8. Проводник, сила тока в котором равна 15 А, находится в однородном магнитном поле с индукцией 50 мТл. Какой угол образует с направлением вектора магнитной индукции прямолинейный участок проводника длиной 20 см, если на этот участок действует со стороны магнитного поля сила 75 мН?

12.9. Какая сила действует на электрон, движущийся со скоростью 60 000 км/с в однородном магнитном поле с индукцией 0,15 Тл? Электрон движется перпендикулярно линиям магнитной индукции поля.

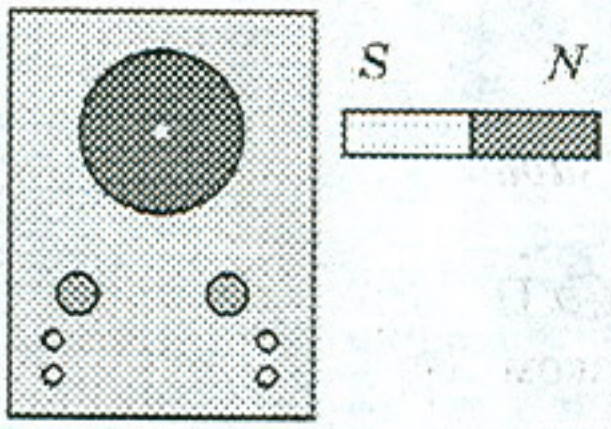
12.10. Какая сила действует на протон, движущийся со скоростью $2 \cdot 10^6$ м/с в однородном магнитном поле с индукцией 0,1 Тл? Протон движется под углом 60° к линиям магнитной индукции поля.

12.11. Притягиваются или отталкиваются провода троллейбусной линии, когда по ним проходит электрический ток?

12.12. Провод, сила тока в котором равна 10 А, находится в однородном магнитном поле с магнитной индукцией 20 мТл (см. рисунок). Какие силы действуют на отрезки провода CD, DE, EF? Длина каждого из этих отрезков равна 40 см.



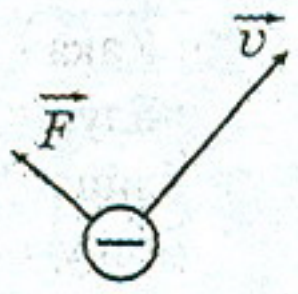
К задаче 12.12



К задаче 12.13

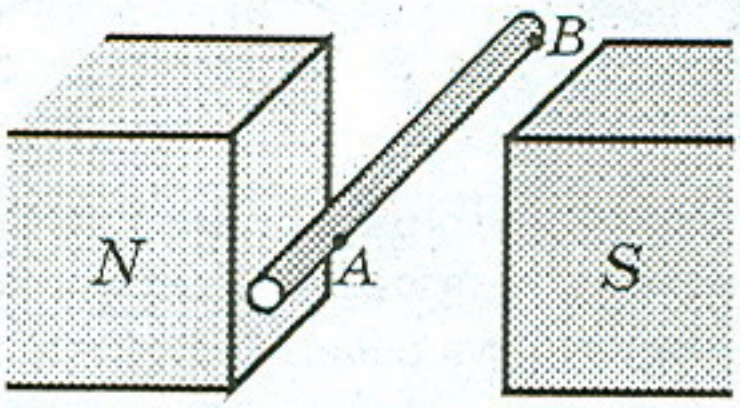
12.13. Электронный луч на экране осциллографа дает светящуюся точку. К осциллографу (см. рисунок) подносят полосовой магнит. Куда сместится светящаяся точка?

12.14. На рисунке показаны направление движения электрона и направление действующей на него со стороны магнитного поля силы Лоренца. Каково направление вектора магнитной индукции поля?

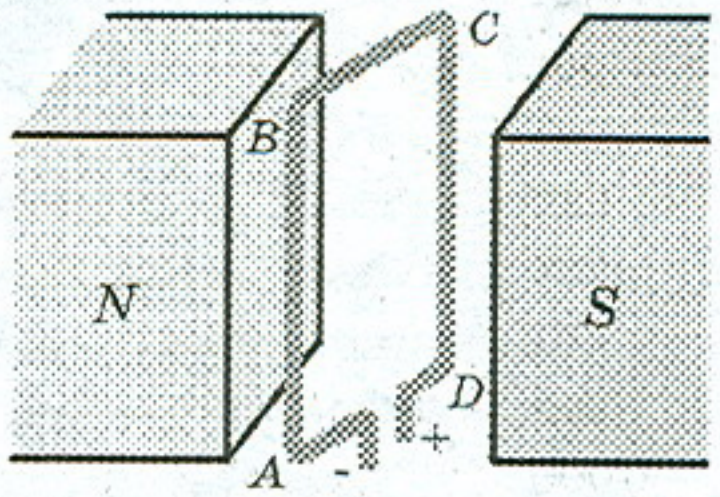


12.15. Как изменяются в результате действия магнитного поля кинетическая энергия и импульс движущейся заряженной частицы?

12.16. В проводе, находящемся между полюсами магнита, ток идет от A к B (см. рисунок). Куда направлена действующая на провод сила Ампера?



К задаче 12.16



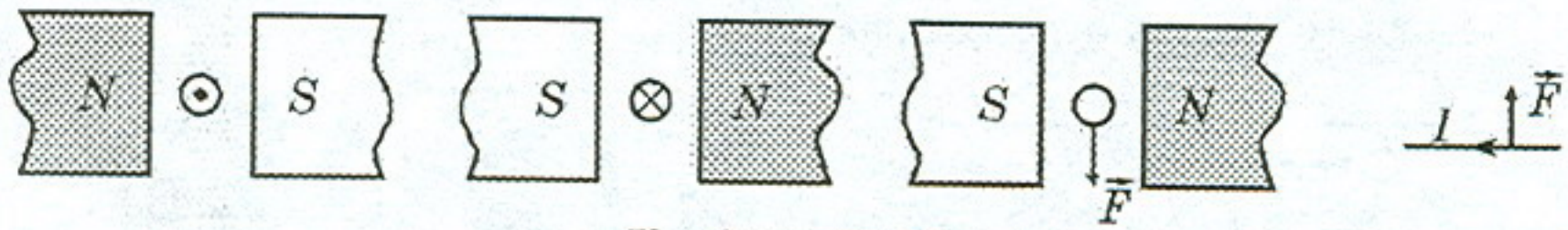
К задаче 12.17

12.17. В какую сторону будет поворачиваться рамка с током, помещенная между полюсами магнита (см. рисунок)?

12.18. Прямоугольная рамка с током находится в однородном магнитном поле. Докажите, что равнодействующая сил Ампера, приложенных ко всем сторонам рамки, равна нулю.

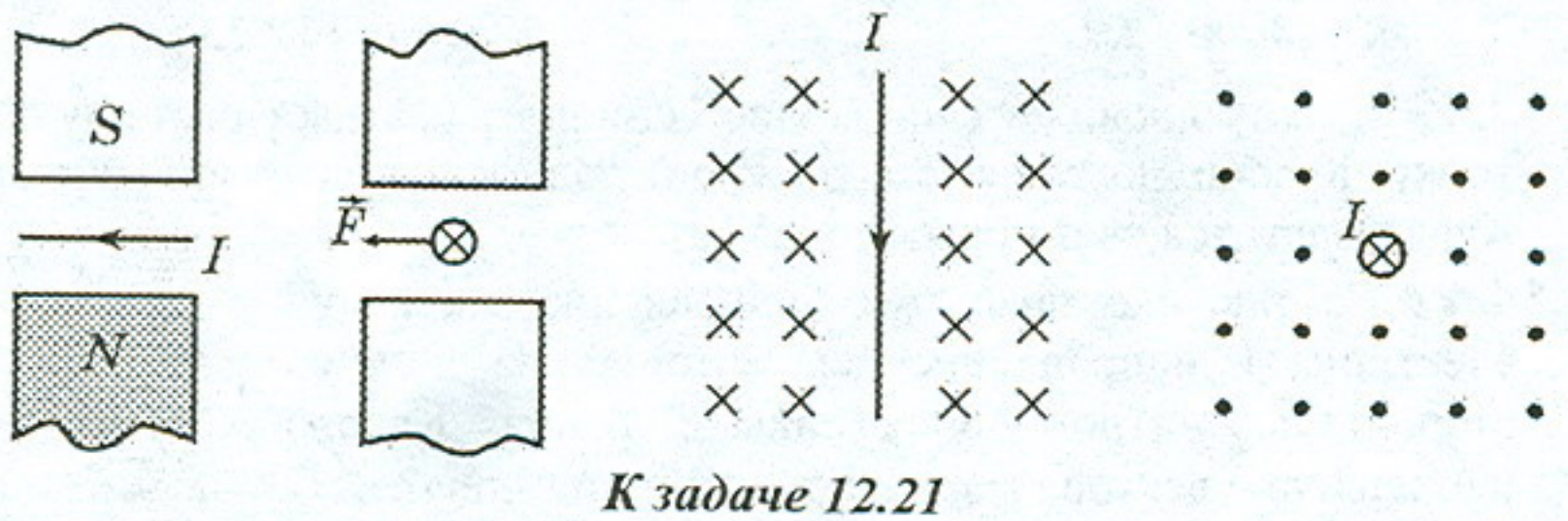
12.19. Прямоугольная рамка с током находится в однородном магнитном поле. Как нужно повернуть рамку, чтобы на нее действовал наибольший вращающий момент?

12.20. На рисунках представлены проводники с током, находящиеся в магнитном поле. Сформулируйте задачу по каждому из приведенных рисунков и решите ее.



К задаче 12.20

12.21. На рисунках представлены проводники с током, находящиеся в магнитном поле. Сформулируйте задачу по каждому из приведенных рисунков и решите ее.

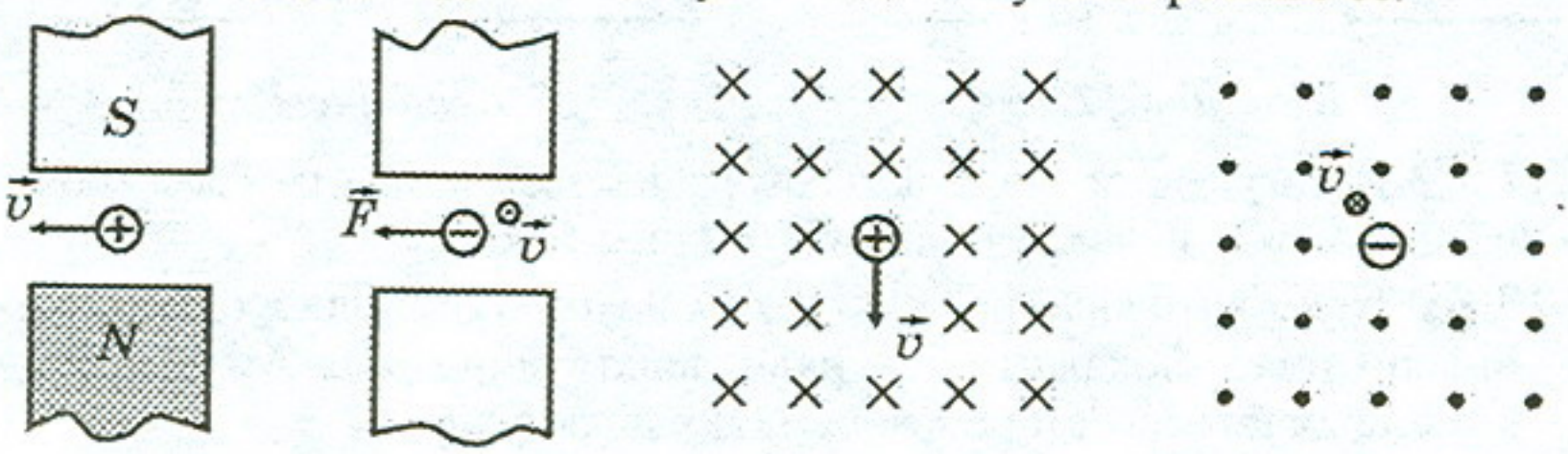


К задаче 12.21

12.22. На рисунках схематически изображены различные случаи взаимодействия движущейся заряженной частицы и магнитного поля. Сформулируйте задачу в каждом случае и решите ее.

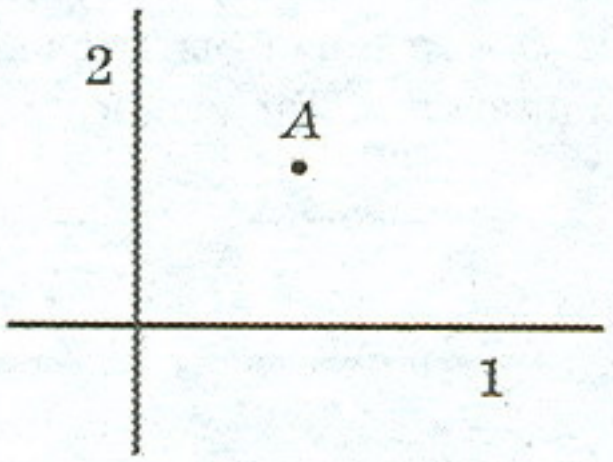
К задаче 12.22

12.23. На рисунках схематически изображены различные случаи взаимодействия движущейся заряженной частицы и магнитного поля. Сформулируйте задачу в каждом случае и решите ее.

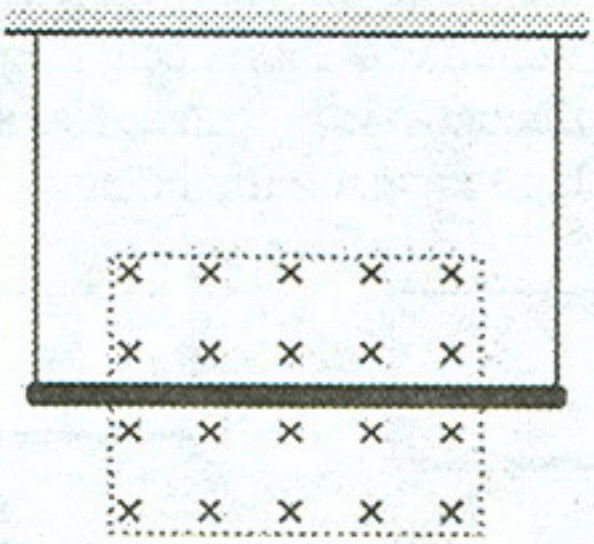


12.24. Точка A находится посередине между двумя длинными параллельными проводами (см. рисунок). Если ток течет только в одном из проводников, магнитная индукция поля в точке A равна 10 мТл. Какой станет индукция магнитного поля в этой точке, если по другому проводнику пропустить такой же ток? Рассмотрите два случая: а) направления токов одинаковы; б) направления токов противоположны.

12.25. Длинные прямые провода 1 и 2 находятся в одной плоскости (провода изолированы друг от друга в точке пересечения). Точка A находится на одинаковых расстояниях от обоих проводов (см. рисунок). Когда по проводу 1 пропускают ток слева направо, магнитная индукция поля в точке A равна B_0. Какой станет магнитная индукция поля в этой точке, если по проводу 2 будет идти такой же ток: а) снизу вверх; б) сверху вниз?



К задаче 12.25



К задаче 12.26

12.26. Средняя часть металлического стержня массой 40 г, подвешенного горизонтально на двух проводах, находится в однородном магнитном поле (см. рисунок) с индукцией 40 мТл. Ширина области поля равна 50 см. Замыкая ключ, через стержень пропускают электрический ток. Каковы направление тока в стержне и сила тока, если после замыкания ключа сила натяжения проводов: а) уменьшилась в 2 раза; б) увеличилась в 2 раза?

12.27. Горизонтальный проводник массой $m = 20$ г подвешен за концы на двух проводах. Средняя часть проводника длиной $l = 50$ см находится в вертикальном однородном магнитном поле с индукцией $B = 0{,}10$ Тл; провода находятся вне области магнитного поля. По проводнику протекает ток $I = 2$ А. На какой угол α от вертикали отклоняются провода?

12.28. Электрон влетает в однородное магнитное поле под прямым углом к линиям магнитной индукции. Магнитная индукция поля

равна 50 мТл, скорость электрона 20 000 км/с. Найдите радиус окружности, по которой будет двигаться электрон.

12.29. Электрон влетает в однородное магнитное поле со скоростью 10 000 км/с и движется по окружности радиусом 2 см. Какова магнитная индукция поля?

12.30. Протон движется в однородном магнитном поле с магнитной индукцией 20 мТл по окружности радиусом 5 см. Найдите скорость протона.

12.31. Пробку, которая завинчивается в отверстие для слива масла из поддона автомобильного двигателя, намагничивают. Для чего?

12.32. Почему на заводах для переноски раскаленных стальных отливок не применяют электромагнитные подъемные краны?

12.33. Через горизонтальный стержень, подвешенный на двух проводах, пропускают электрический ток (см. рис. *а*). *Всю* систему помещают в сильное однородное магнитное поле, перпендикулярное плоскости рисунка. Какие из рис. *б* — *г* могут быть правильными? При каком направлении вектора индукции магнитного поля?

а *б* *в* *г*

К задаче 12.33

12.34. На гладкой горизонтальной поверхности лежит петля из гибкого провода. Какую форму примет эта петля, если создать в ней сильный электрический ток?

12.35. Прямоугольная рамка с током находится в однородном магнитном поле. Укажите положения устойчивого и неустойчивого равновесия рамки.

12.36. Прямоугольная рамка с током находится в неоднородном магнитном поле. Докажите, что действующие на стороны рамки силы Ампера втягивают ее в область более сильного поля.

12.37. Прямоугольная проволочная рамка площадью S находится в однородном магнитном поле. Докажите, что действующий на рамку вращающий момент задается формулой $M = BIS \cdot \cos\alpha$, где B — индукция магнитного поля, I — сила тока в рамке, α — угол между плоскостью рамки и направлением вектора магнитной индукции.

12.38. В однородном магнитном поле с магнитной индукцией 25 мТл находится проволочное кольцо радиусом 2 см, сила тока в котором равна 5 А. При каком положении кольца на него действует максимальный вращающий момент? Найдите значение этого вращающего момента.

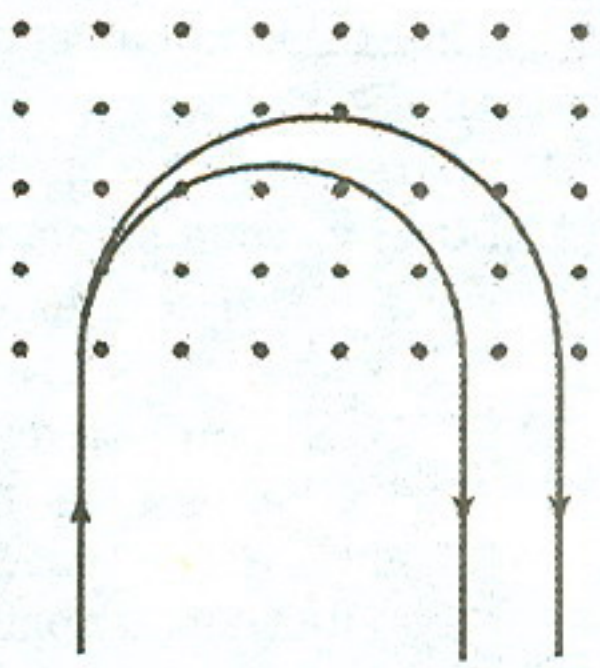
12.39. Электрон, разогнанный разностью потенциалов $U = 2$ кВ, влетает в однородное магнитное поле с индукцией $B = 150$ мТл перпендикулярно линиям магнитной индукции. Определите радиус окружности, которую опишет электрон.

12.40. В однородное магнитное поле с магнитной индукцией 30 мТл перпендикулярно линиям магнитной индукции влетает электрон с кинетической энергией 50 кэВ. Каков радиус кривизны траектории движения электрона?

12.41. Протон, влетевший после разгона в однородное магнитное поле с индукцией 50 мТл, движется по окружности радиусом 5 см. Какую разность потенциалов прошел протон при разгоне?

12.42. Заряженная частица, разогнанная разностью потенциалов U, влетает в однородное магнитное поле с индукцией B и движется по окружности радиусом R. Определите по этим данным удельный заряд частицы, т.е. отношение ее заряда к массе q/m.

12.43. *Масс-спектрограф.* Пучок ионов, разогнанных разностью потенциалов 4 кВ, влетает в однородное магнитное поле с магнитной индукцией 80 мТл перпендикулярно к линиям магнитной индукции. Пучок состоит из ионов двух типов с молярными массами 0,02 кг/моль и 0,022 кг/моль. Все ионы имеют заряд $1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл. Ионы вылетают из поля двумя пучками (см. рисунок). Найдите расстояние между вылетающими пучками ионов.

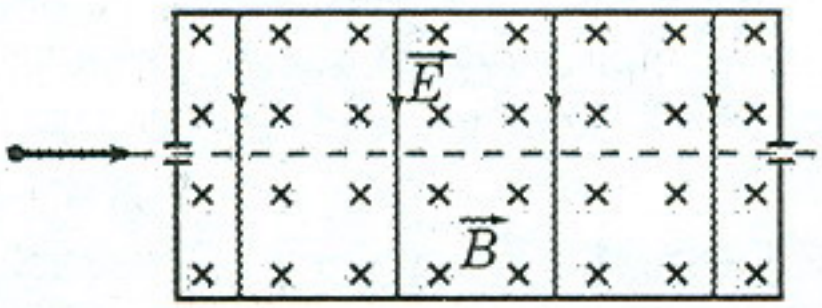


12.44. В однородное магнитное поле перпендикулярно линиям магнитной индукции влетают с одинаковой скоростью протон и электрон. Сравните радиусы окружностей, по которым они будут двигаться, и периоды их обращения по этим окружностям.

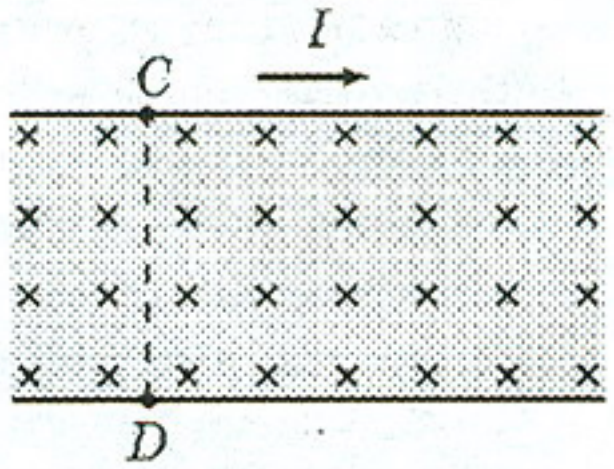
12.45. В однородное магнитное поле перпендикулярно линиям магнитной индукции влетают протон и электрон, имеющие одинаковую кинетическую энергию. Сравните радиусы окружностей, по которым они будут двигаться, и периоды их обращения.

12.46. В однородное магнитное поле перпендикулярно линиям магнитной индукции влетают два электрона со скоростями $\upsilon_1 = 5 \cdot 10^6$ м/с и $\upsilon_2 = 10^7$ м/с. Сравните радиусы окружностей, по которым они будут двигаться, и периоды их обращения по этим окружностям.

12.47. Объясните действие «фильтра скоростей», показанного на рисунке. Внутри прибора созданы однородные поля: магнитное с индукцией B и электрическое с напряженностью E. Поля направлены перпендикулярно друг к другу и к начальной скорости частиц.



К задаче 12.47



К задаче 12.52

12.48. Силовые линии однородного электрического поля и линии магнитной индукции однородного магнитного поля взаимно перпендикулярны. Напряженность электрического поля $E = 2$ кВ/м, а магнитная индукция магнитного поля $B = 5$ мТл. Какими должны быть направление и модуль скорости электрона, чтобы его движение было прямолинейным?

12.49. ? Как изменится ответ в предыдущей задаче, если рассматривать движение протона, а не электрона?

12.50. Электрон влетает в однородное магнитное поле со скоростью υ под углом α к направлению поля. Магнитная индукция поля B. По какой траектории будет двигаться электрон?

12.51. Электрон, влетевший в однородное магнитное поле под углом 60° к линиям магнитной индукции, движется по винтовой линии радиусом 2 см, совершая один оборот за 30 нс. Определите магнитную индукцию поля и шаг винтовой линии.

12.52. Тонкая металлическая лента находится в магнитном поле, линии магнитной индукции которого перпендикулярны плоскости ленты (см. рисунок). Если по ленте пропустить электрический ток, то между точками C и D, находящимися в одном поперечном сечении, появляется разность потенциалов. Объясните это явление. Потенциал какой из двух точек выше?

12.53. Как изменяется магнитная проницаемость железа при охлаждении?

12.54. ? Стальная иголка подвешена над столом на длинной проволоке. Если рядом с иголкой поставить зажженную свечу, а чуть дальше разместить сильный магнит, иголка начнет колебаться. Почему?

13. ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ИНДУКЦИЯ*)

$$\Phi = BS\cos\alpha,\ \mathscr{E}_i = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t},\ \mathscr{E}_{si} = -L\frac{\Delta I}{\Delta t},\ W_м = \frac{LI^2}{2}$$

Задачи и упражнения

13.1. Как надо ориентировать проволочную рамку в однородном магнитном поле, чтобы магнитный поток через рамку был равен нулю? Был максимальным?

13.2. Магнитный поток через квадратную проволочную рамку со стороной 5 см, плоскость которой перпендикулярна линиям индукции однородного магнитного поля, равен 0,1 мВб. Каков модуль вектора магнитной индукции поля?

13.3. Линии магнитной индукции однородного магнитного поля образуют угол 30° с вертикалью. Модуль вектора магнитной индукции равен 0,2 Тл. Какой магнитный поток пронизывает горизонтальное проволочное кольцо радиусом 10 см?

13.4. Полосовой магнит падает сквозь проволочную катушку. Сравните время падения в случаях, когда катушка замкнута и разомкнута.

13.5. Магнитный поток, пронизывающий замкнутый контур, равномерно возрастает с 2 мВб до 14 мВб за 6 мс. Какова ЭДС индукции в контуре?

13.6. Вертикальный металлический стержень длиной 50 см движется горизонтально со скоростью 3 м/с в однородном магнитном поле с индукцией 0,15 Тл. Линии магнитной индукции поля направлены горизонтально под прямым углом к направлению вектора скорости стержня. Какова ЭДС индукции в стержне?

13.7. Горизонтальный стальной стержень длиной 40 см движется вертикально вниз со скоростью 2 м/с в однородном магнитном поле с магнитной индукцией 10 мТл. Какова ЭДС индукции в стержне? Вектор магнитной индукции поля направлен под прямым углом к стержню и образует угол 60° с вертикалью.

13.8. С какой минимальной скоростью нужно двигать в однородном магнитном поле с магнитной индукцией 50 мТл стержень длиной 2 м, чтобы в стержне возникала ЭДС индукции 0,6 В?

---

*) Этот раздел предназначен для учебных заведений и классов с углубленным изучением физики (в других школах и классах электромагнитная индукция изучается в 11 классе).

13.9. Почему при размыкании цепи питания трансформатора или электродвигателя может возникнуть сильная искра?

13.10. Какова индуктивность контура, если при силе тока 6 А его пронизывает магнитный поток 0,3 мВб?

13.11. Какая ЭДС самоиндукции возникает в катушке с индуктивностью 20 мГн при равномерном изменении силы тока на 15 А за 1 с?

13.12. Какова должна быть скорость изменения силы тока, чтобы в катушке с индуктивностью 50 мГн возникла ЭДС самоиндукции 30 В?

13.13. Какова индуктивность контура, если при равномерном изменении силы тока на 5 А за 50 мс в этом контуре создается ЭДС 10 В?

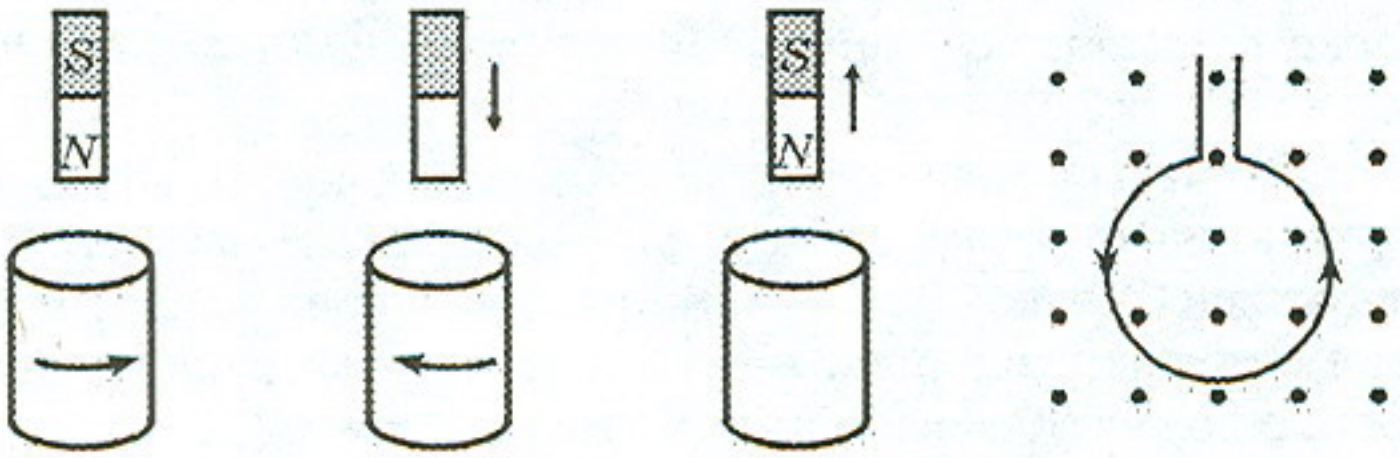
13.14. В катушке индуктивностью 0,4 Гн сила тока равна 5 А. Какова энергия магнитного поля катушки?

13.15. Энергия магнитного поля катушки индуктивностью 0,5 Гн равна 0,25 Дж. Какова сила тока в катушке?

13.16. Какова индуктивность катушки, если при силе тока 3 А энергия магнитного поля катушки равна 1,8 Дж?

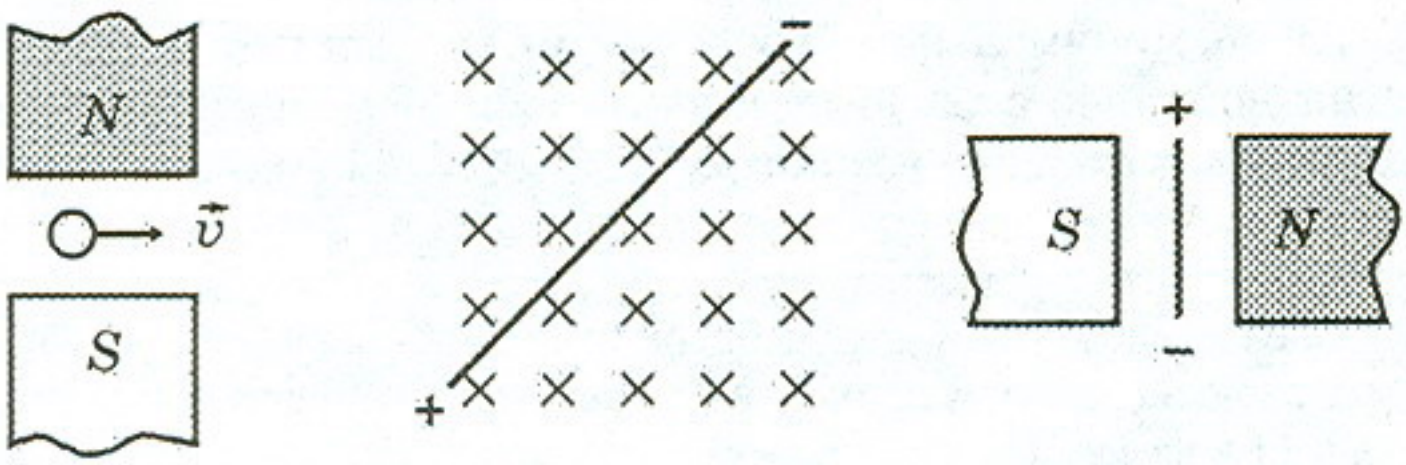
Дополнительные задачи

13.17. На рисунке показаны различные ситуации, в которых наблюдается явление электромагнитной индукции. Сформулируйте и решите задачу для каждого случая.

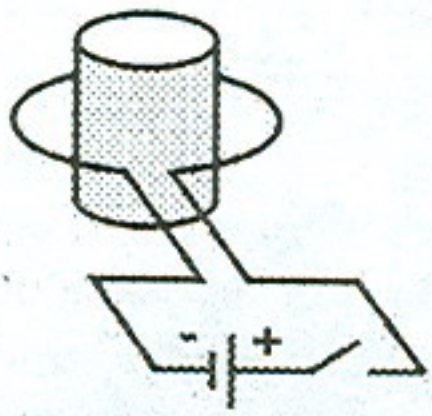


К задаче 3.17

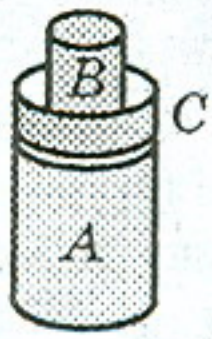
13.18. На рисунке показаны различные ситуации, в которых наблюдается явление электромагнитной индукции. Сформулируйте и решите задачу для каждого случая.



13.19. Короткозамкнутую катушку охватывает проволочный виток (см. рисунок). Определите направление индукционного тока в катушке: а) при замыкании ключа; б) при размыкании ключа.



К задаче 13.19

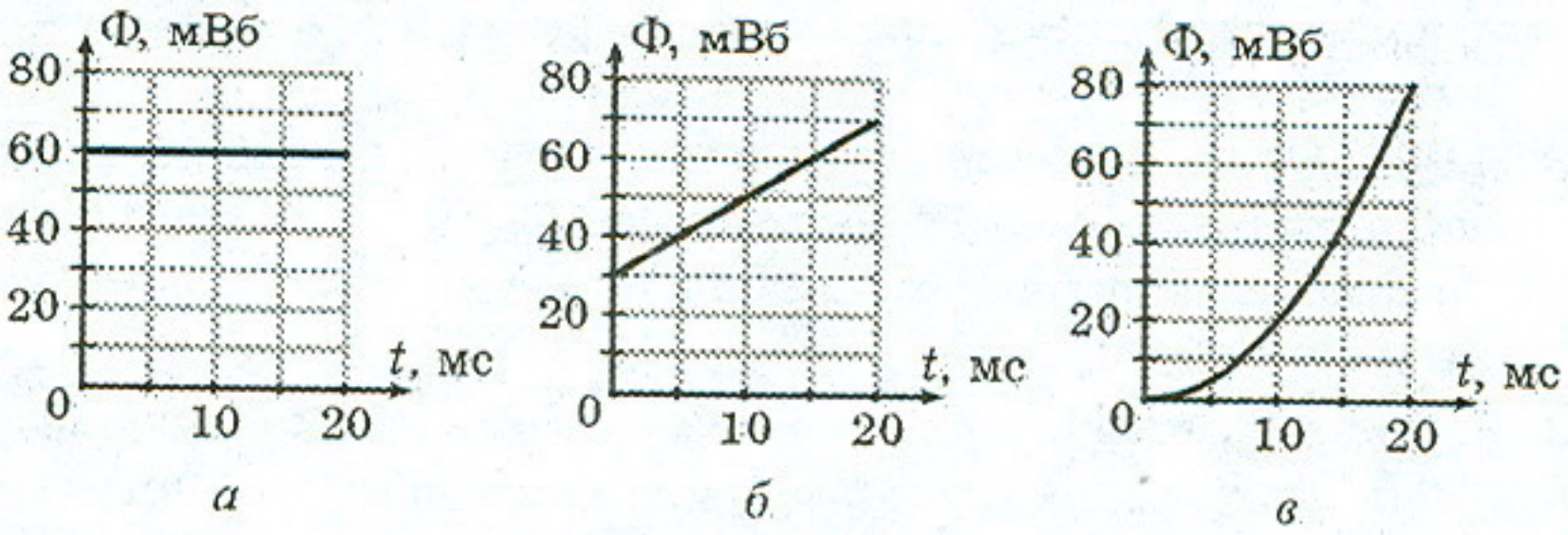


К задаче 13.20

13.20. На вставленный в катушку A вертикальный сердечник B надето медное кольцо C (см. рисунок). При подключении катушки к источнику тока кольцо подпрыгивает. Объясните это явление.

13.21. Линии магнитной индукции однородного магнитного поля образуют угол 30° с вертикалью. Модуль вектора магнитной индукции равен 0,2 Тл. В магнитном поле находится вертикальное проволочное кольцо площадью 5 см^2, вращающееся вокруг вертикальной оси симметрии. Может ли магнитный поток, пронизывающий кольцо в некоторый момент, быть равен: а) нулю; б) 20 мкВб; в) 45 мкВб; г) 70 мкВб?

13.22. На рис. *а* — *в* показаны графики зависимости от времени магнитных потоков через различные замкнутые контуры. В каких из контуров ЭДС индукции не зависит от времени? Найдите значение модуля ЭДС индукции для этих контуров.



К задаче 13.22

13.23. Если резко встряхнуть компас, стрелка начинает колебаться. Как изменится время затухания этих колебаний, если пластмассовый корпус компаса заменить на алюминиевый?

13.24. Клеммы электроизмерительных приборов магнитоэлектрической системы при транспортировке замыкают проводящей перемычкой. Зачем?

13.25. Полосовой магнит резко выдергивают из полого цилиндра. В каком случае совершаемая работа больше: если цилиндр картонный или если он медный?

13.26. Магнит падает в длинной вертикальной медной трубе, воздух из которой откачан. Магнит с трубой не соприкасается. Опишите характер падения.

13.27. Маятник представляет собой маленький магнит, подвешенный на длинной нити. Изменится ли характер колебаний маятника, если к нему снизу поднести медный лист?

13.28. В катушке из 200 витков возбуждается постоянная ЭДС индукции 160 В. На сколько изменился в течение 5 мс магнитный поток через каждый из витков?

13.29. Магнитная индукция однородного магнитного поля изменяется со скоростью 20 Тл за секунду. При этом в катушке с площадью поперечного сечения 6 $см^2$ возбуждается ЭДС индукции 12 В. Сколько витков в катушке? Ось катушки параллельна линиям магнитной индукции.

13.30. Магнитная индукция однородного магнитного поля изменяется со скоростью 20 Тл за секунду. При этом в катушке с площадью поперечного сечения 6 $см^2$, содержащей 1000 витков, возбуждается ЭДС индукции 6 В. Какой угол образует ось катушки с линиями магнитной индукции поля?

13.31. Автомобильная катушка зажигания питается через прерыватель от бортовой сети 12 В. Почему при движении автомобиля напряжение между контактами прерывателя может превышать 300 В?

13.32. При изменении силы тока в каждом витке длинной катушки с проводом возникает ЭДС самоиндукции $\mathscr{E}_{si} = 0{,}5$ В. Какова напряженность E вихревого электрического поля в витках, если радиус витков $r = 3$ см?

13.33. При размыкании цепи в катушке возникла ЭДС самоиндукции 300 В. Какова напряженность вихревого электрического поля в витках катушки, если их количество равно 800, а радиус витков 4 см?

13.34. Медное проволочное кольцо расположено горизонтально в однородном вертикальном магнитном поле. Магнитная индукция поля изменяется со скоростью 2 Тл/с. Каков индукционный ток в кольце, если радиус кольца равен 5 см, а радиус проволоки 1 мм?

13.35. Самолет с размахом крыльев 20 м летит горизонтально со скоростью 720 км/ч вдоль магнитного меридиана. Какова разность

потенциалов между концами крыльев? Вертикальная составляющая магнитного поля Земли равна 50 мкТл.

13.36. В катушке индуктивностью 20 мГн сила тока равна 0,5 А. На сколько увеличится энергия магнитного поля, если в катушку вставить железный сердечник, который увеличит индуктивность катушки в 50 раз? Сила тока в цепи не изменяется.

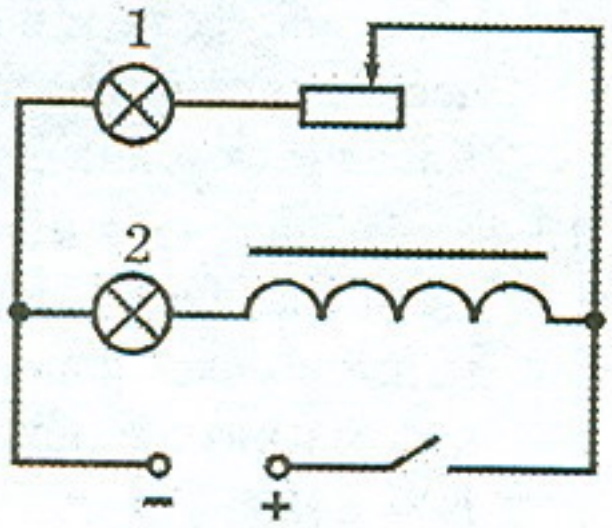
Электромагнитная индукция

13.37. Какой заряд q пройдет через поперечное сечение замкнутого проводника с сопротивлением $R = 20$ Ом при изменении магнитного потока от $\Phi_1 = 15$ мВб до $\Phi_2 = 5$ мВб?

13.38. Кольцо из алюминиевой проволоки расположено горизонтально в однородном вертикальном магнитном поле, магнитная индукция которого равна 0,5 Тл. Какой заряд пройдет через поперечное сечение проволоки, если: а) магнитное поле исчезнет; б) кольцо повернут на 180° вокруг горизонтальной оси? Радиус кольца равен 3 см, радиус проволоки 1 мм.

13.39. Замкнутый изолированный провод длиной 4 м расположен по периметру круглой горизонтальной площадки. Какой заряд пройдет через провод, если придать ему форму квадрата? Сопротивление провода равно 2 Ом, вертикальная составляющая магнитного поля Земли 50 мкТл.

13.40. В показанной на рисунке цепи при замкнутом ключе сила тока в обеих лампах одинакова. Какая из ламп раньше загорается при замыкании ключа? Раньше гаснет при размыкании ключа?

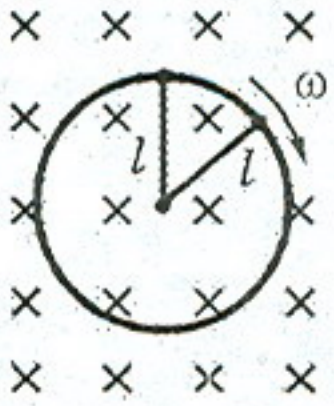


К задаче 13.40

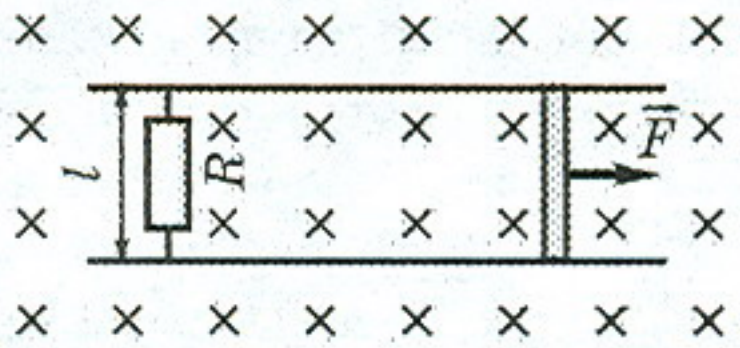
13.41. Свинцовое кольцо радиусом r расположено горизонтально между полюсами электромагнита, создающего вертикальное однородное магнитное поле с магнитной индукцией B. Охлаждая кольцо, его переводят в сверхпроводящее состояние. Какой магнитный поток Ф будет пронизывать плоскость кольца после выключения электромагнита?

13.42. Сверхпроводящая катушка радиусом r состоит из N витков и имеет индуктивность L. Найдите силу тока I, возникающего в катушке с замкнутыми концами при включении внешнего однородного магнитного поля, вектор магнитной индукции которого $\vec{B}$ направлен вдоль оси катушки.

13.43. Металлическое кольцо радиусом l находится в однородном магнитном поле с вектором магнитной индукции $\vec{B}$, перпендикулярным плоскости кольца. Две металлические стрелки сопротивлением R каждая имеют контакт между собой и с кольцом (см. рисунок). Одна стрелка неподвижна, а другая равномерно вращается с угловой скоростью ω. Найдите силу тока I в стрелках. Сопротивлением кольца можно пренебречь.



К задаче 13.43



К задаче 13.44

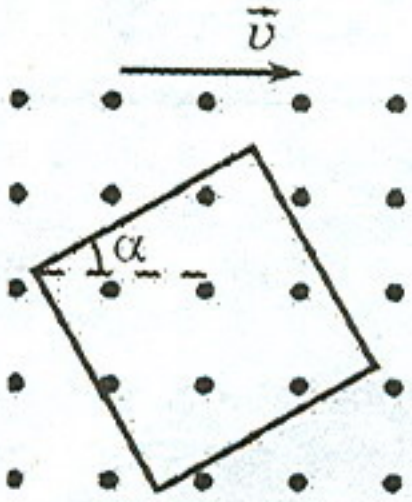
13.44. Металлический стержень может скользить без трения по параллельным горизонтальным рельсам, находящимся на расстоянии l друг от друга. Рельсы соединены перемычкой, сопротивление которой R (см. рисунок). Система находится в вертикальном однородном магнитном поле с индукцией B. Как будет двигаться стержень, если к нему приложить постоянную силу F? Электрическим сопротивлением стержня и рельсов можно пренебречь. Явление самоиндукции не учитывайте.

13.45. На цилиндрический железный сердечник радиусом r надето изолированное металлическое кольцо того же радиуса, имеющее электрическое сопротивление R. В сердечнике создается однородное магнитное поле, индукция которого изменяется по закону $B = aB_0t$. Как изменяется со временем сила тока I в кольце и разность потенциалов между диаметрально противоположными точками кольца?

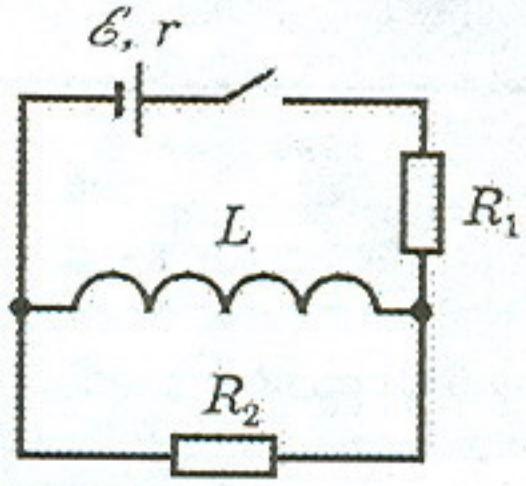
13.46. Катушку, имеющую индуктивность L и электрическое сопротивление R, подключают к аккумулятору. Как выглядит график зависимости силы тока I в катушке от времени? Оцените характерное время τ возрастания тока в катушке. ЭДС аккумулятора равна $\mathscr{E}$, его внутренним сопротивлением можно пренебречь.

13.47. Квадрат, изготовленный из проволоки длиной 2 м, движется в однородном магнитном поле с индукцией 0,3 Тл (см. рисунок).

Какова ЭДС индукции в каждой из сторон квадрата? Общая ЭДС индукции в контуре? $\upsilon = 5$ м/с, $\alpha = 30°$.



К задаче 13.47



К задаче 13.48

13.48. Какой заряд пройдет через резистор R_2 (см. рисунок) после размыкания ключа? ЭДС источника $\mathscr{E} = 6$ В, внутреннее сопротивление $r = 0{,}5$ Ом, индуктивность катушки $L = 0{,}2$ Гн, сопротивления резисторов $R_1 = 2{,}5$ Ом и $R_2 = 1$ Ом. Сопротивление катушки пренебрежимо мало.

13.49. Какое количество теплоты выделится в резисторе R_2 после размыкания ключа (см. задачу 13.48)?

13.50. С помощью электродвигателя постоянного тока поднимают груз на тросе. Если отключить электродвигатель от источника напряжения и замкнуть его ротор накоротко, груз будет опускаться с *постоянной* скоростью. Объясните это явление. В какую форму переходит потенциальная энергия груза?

13.51. Почему сила тока через электродвигатель изменяется при изменении скорости вращения ротора этого двигателя?

13.52. В каком случае обмотка электромотора сильнее нагревается проходящим по ней током — когда мотор вращается вхолостую или совершает работу? Напряжение в сети считайте постоянным.

13.53. Электродвигатель включен в сеть постоянного тока с напряжением $U = 120$ В. Сопротивление обмотки двигателя $R = 12$ Ом. Какую максимальную мощность N_{max} может развить этот двигатель? При какой силе тока I_0 достигается эта мощность? Напряжение в сети считайте постоянным.

14. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК В РАЗЛИЧНЫХ СРЕДАХ

$$I = |q_0| n \bar{v} S, \quad \rho = \rho_0 (1 + \alpha t), \quad m = \frac{M}{e N_A n} \cdot I \cdot \Delta t$$

Задачи уровня А

14.1. Сила тока в проводе равна 1 А. Сколько электронов проходит через поперечное сечение провода за 1 нс?

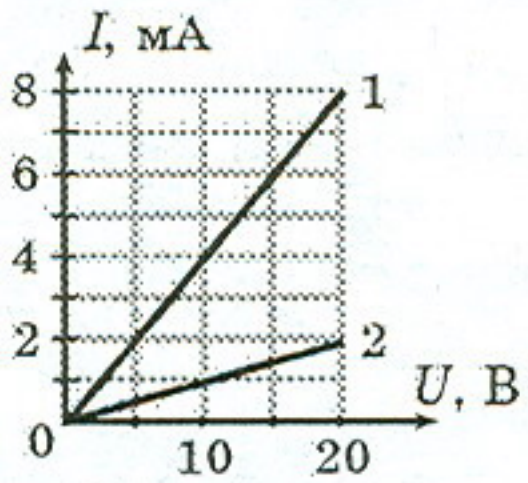
14.2. Какова средняя скорость упорядоченного движения электронов в проводе с площадью поперечного сечения 3 мм^2 при силе тока 5 А? Концентрация электронов проводимости равна $8 \cdot 10^{28}$ м$^{-3}$.

14.3. До какой температуры надо охладить медный провод, чтобы его сопротивление уменьшилось на 20%? Начальная температура равна 0 °С.

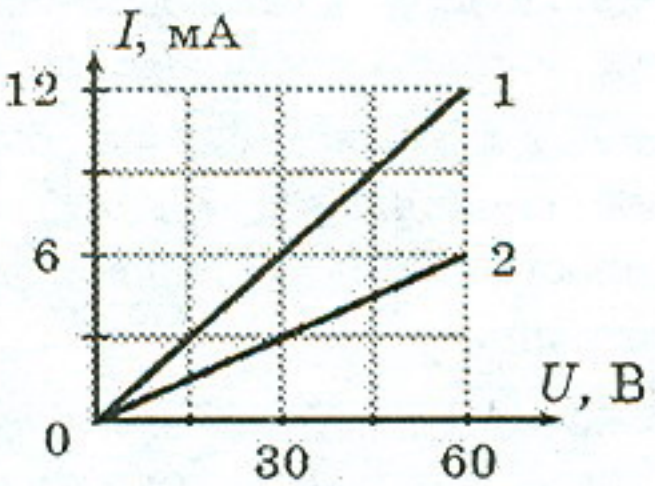
14.4. Когда проволочную катушку переместили из тающего льда в открытый сосуд с кипящей водой, ее сопротивление увеличилось на 30%. Каков температурный коэффициент сопротивления металла, из которого изготовлена проволока?

14.5. ? Последовательно с электродвигателем иногда подключают полупроводниковый терморезистор. Почему в этом случае сила тока при включении возрастает медленнее?

14.6. На рисунке показаны вольт-амперные характеристики фоторезистора, соответствующие двум его разным состояниям. Какая из характеристик соответствует освещенному фоторезистору, а какая — затемненному? Во сколько раз изменилось сопротивление фоторезистора при освещении?



К задаче 14.6



К задаче 14.7

14.7. На рисунке показаны вольт-амперные характеристики полупроводникового терморезистора, соответствующие двум его разным состояниям. Какая из характеристик соответствует более высокой температуре терморезистора? Каковы сопротивления терморезистора в каждом из состояний?

14.8. ? Почему требования к чистоте полупроводниковых материалов очень высоки (в ряде случаев не допускается наличие даже одного атома примеси на миллион атомов)?

14.9. ? Какую проводимость (электронную или дырочную) имеет кремний с примесью галлия? Индия? Фосфора? Сурьмы?

14.10. В результате пропускания электрического тока через раствор медного купороса масса катода увеличилась с 50 г до 62 г. Какова была продолжительность процесса, если сила тока при электролизе равнялась 1,5 А?

14.11. При какой силе тока проводился электролиз водного раствора $CuSO_4$, если за 25 мин на катоде выделилось 2 г меди?

14.12. В процессе электролиза из водного раствора серебряной соли выделилось 500 мг серебра. Какой заряд прошел через электролитическую ванну?

Дополнительные задания

14.13. Два алюминиевых провода включены в цепь последовательно. Сравните скорости v_1 и v_2 упорядоченного движения электронов в этих проводах, если: а) длина проводов одинакова, а диаметр первого провода в 2 раза больше, чем диаметр второго; б) диаметр проводов одинаков, а длина первого провода в 2 раза больше, чем длина второго.

14.14. Два медных провода включены в цепь параллельно. Сравните скорости v_1 и v_2 упорядоченного движения электронов в этих проводах, если: а) длина проводов одинакова, а диаметр первого провода в 2 раза больше, чем диаметр второго; б) диаметр проводов одинаков, а длина первого провода в 2 раза больше, чем длина второго.

14.15. ? Подключенная к сети спираль электроплитки раскалилась. Как изменится накал, если на часть спирали попадет вода?

14.16. Сила тока в нагревателе, включенном в сеть 220 В, равна 1 А. Температура нагревательного элемента в рабочем режиме равна 500 °С, а его сопротивление при 0 °С равно 75 Ом. Чему равен температурный коэффициент сопротивления материала нагревательного элемента?

14.17. На цоколе электрической лампы накаливания с вольфрамовой нитью написано: «120 В, 500 Вт». Если пропускать через эту лампу ток 8 мА, то падение напряжения на ней составляет 20 мВ;

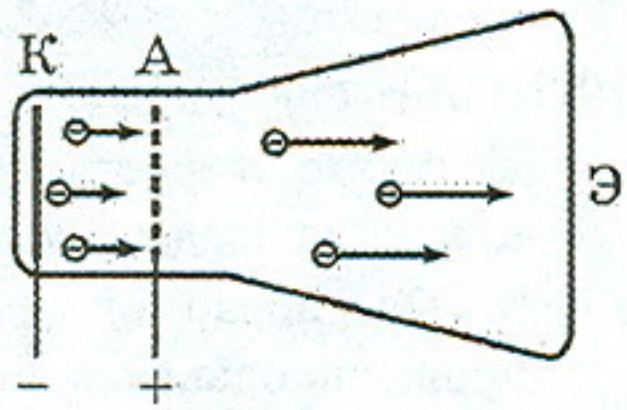
при этом температура нити накала 20 °С. Какова температура нити накала в рабочем состоянии?

14.18. Во сколько раз изменяется сопротивление медной проволоки при повышении температуры от 200 °С до 300 °С?

14.19. При повышении температуры от $t_1 = -50$ °С до $t_2 = 50$ °С сопротивление проволочной катушки увеличилось от $R_1 = 10$ Ом до $R_2 = 15$ Ом. Каков температурный коэффициент сопротивления металла, из которого изготовлена проволока?

14.20. Концентрация электронов проводимости в германии равнялась $3 \cdot 10^{17}$ м$^{-3}$. После легирования германия мышьяком концентрация электронов проводимости увеличилась в 1000 раз. Во сколько раз количество атомов германия в образце превышает количество атомов мышьяка?

14.21. Расстояние между катодом К и анодом А в вакуумной трубке $s_1 = 5$ см, расстояние от экрана Э до анода $s_2 = 25$ см. Анодное напряжение $U = 9$ кВ. Считая электрическое поле между катодом и анодом однородным, найдите время движения электрона: а) от катода до анода; б) от анода до экрана.



14.22. При каком анодном напряжении время движения электрона от катода к аноду кинескопа меньше 10 нс? Расстояние между катодом и анодом равно 1,5 см; электрическое поле считайте однородным.

14.23. Пучок электронов, разогнанных напряжением $U_1 = 5$ кВ, влетает в плоский конденсатор посередине между пластинами и параллельно им. Длина конденсатора $l = 10$ см, расстояние между пластинами $d = 10$ мм. При каком наименьшем напряжении U_2 на конденсаторе электроны не будут вылетать из него?

14.24. Электрон влетает в плоский конденсатор параллельно его пластинам со скоростью $2{,}0 \cdot 10^7$ м/с. Напряженность поля в конденсаторе $2{,}5 \cdot 10^4$ В/м, длина конденсатора 80 мм. Найдите модуль и направление скорости электрона в момент его вылета из конденсатора.

14.25. В электронно-лучевой трубке пучок электронов, ускоренных разностью потенциалов 6 кВ, движутся между пластинами плоского конденсатора длиной 4 см. Расстояние между пластинами 1 см. Какое напряжение надо подать на пластины конденсатора, чтобы смещение электронного пучка на выходе из конденсатора оказалось равным 4 мм?

14.26. ? В сырых помещениях вместо напряжения 220 В используют напряжение 36 В. Почему?

14.27. Найдите электрохимические эквиваленты одновалентной и двухвалентной меди.

14.28. Какое количество вещества осядет на катоде, если через раствор соли одновалентного металла пройдет заряд 96 Кл?

14.29. ? Две одинаковые электролитические ванны заполнены раствором медного купороса; в первой ванне концентрация раствора выше. Сравните количество выделившейся на их катодах меди, если ванны соединены: а) последовательно; б) параллельно.

14.30. ? Две одинаковые электролитические ванны соединены последовательно. В одной из них — раствор CuCl, в другой — $CuCl_2$. В какой из ванн на катоде выделяется больше меди?

14.31. Никелирование с помощью электролиза металлической пластинки, имеющей площадь поверхности $S = 48$ см^2, продолжалось $t = 4$ ч при силе тока $I = 0{,}15$ А. Найдите толщину h слоя никеля. Валентность никеля $n = 2$.

14.32. Сколько времени потребуется для никелирования металлического изделия площадью поверхности 120 см^2, если толщина покрытия должна быть 0,03 мм? Сила тока при электролизе равна 0,5 А, валентность никеля равна 2.

14.33. Каков расход электроэнергии на рафинирование 5 т меди, если напряжение на электролитической ванне равно 0,4 В? Электрохимический эквивалент меди $3{,}3 \cdot 10^{-7}$ кг/Кл.

14.34. Каков расход электроэнергии на получение 1 кг алюминия, если электролиз ведется при напряжении 10 В, а КПД установки 80%? Электрохимический эквивалент алюминия $0{,}93 \cdot 10^{-7}$ кг/Кл.

14.35. ? Почему увеличение диаметра провода в высоковольтных линиях передач электроэнергии приводит к уменьшению потерь на коронный разряд?

14.36. ? Что произойдет с горящей электрической дугой, если сильно охладить отрицательный электрод? Положительный?

14.37. Ионизирующее излучение каждую секунду создает в 1 см^3 газа в трубке $n = 5 \cdot 10^9$ пар однозарядных ионов. Какова сила тока насыщения при несамостоятельном разряде, если объем трубки $V = 600$ см^3?

14.38. Сила тока насыщения при несамостоятельном разряде в трубке длиной 60 см и площадью поперечного сечения 15 см^2 равна 0,3 мкА. Сколько пар ионов возникает в каждом кубическом сантиметре газа за секунду под действием ионизатора?

14.39. Два плоских параллельных электрода находятся в стеклянной разрядной трубке, заполненной атомарным водородом при пониженном давлении. Расстояние между электродами равно 2,5 см, напряжение 4 кВ. Будет ли протекать ток в трубке? Потенциал ионизации атомов водорода равен 13,54 В, длина свободного пробега электронов 92 мкм.

Электрический ток

14.40. Какова плотность тока*) j в медном проводнике при напряженности электрического поля 17 мВ/м?

14.41. Найдите скорость υ упорядоченного движения электронов в медном проводе**) с площадью поперечного сечения $S = 0{,}5$ мм^2 при силе тока $I = 2{,}5$ А.

14.42. Найдите скорость упорядоченного движения электронов в медном проводе**) длиной 100 м, к которому приложено напряжение 10 В.

14.43. Сравните скорости упорядоченного движения электронов в вольфрамовой нити накала настольной лампы и медном**) сетевом шнуре этой лампы. Площадь поперечного сечения нити накала равна 10^{-3} мм^2, сетевого шнура 1 мм^2. Считайте, что на каждый ион вольфрама приходится два электрона проводимости.

14.44. После введения в германий примеси мышьяка концентрация электронов проводимости увеличилась. Как изменилась при этом концентрация дырок?

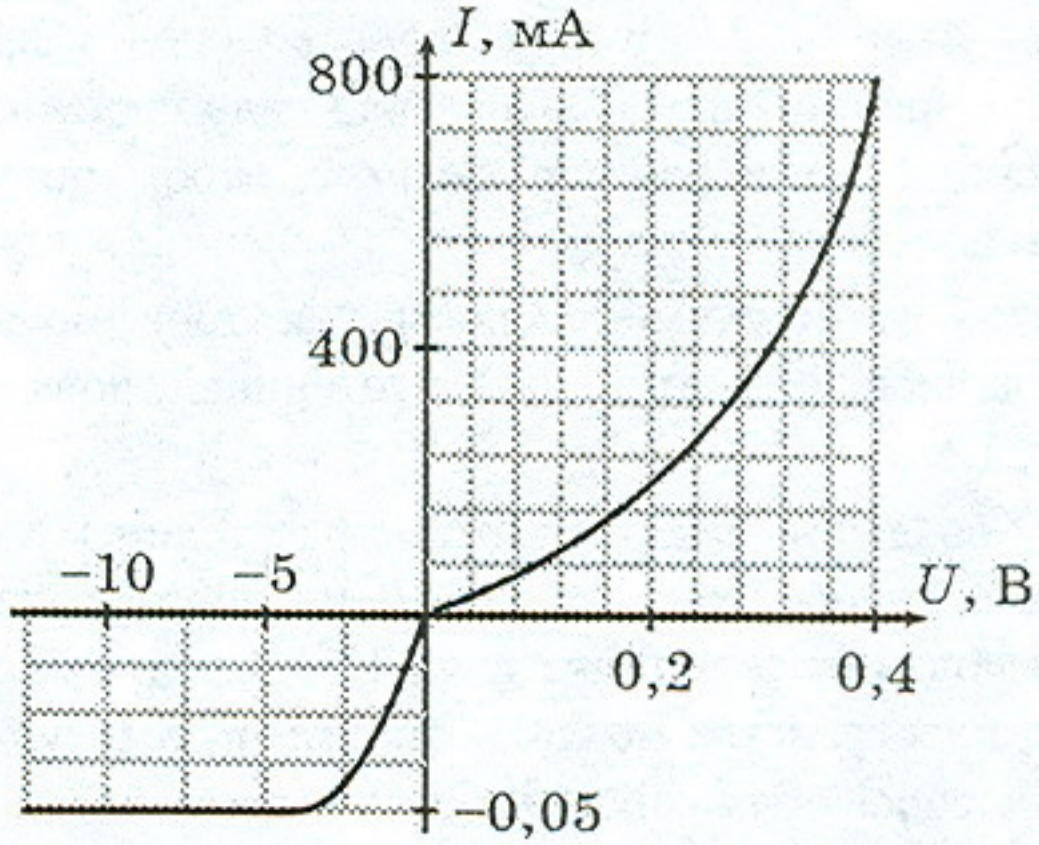
14.45. Как изменится сопротивление образца кремния с примесью фосфора, если ввести в него примесь галлия? Концентрации атомов фосфора и галлия одинаковы.

---

*) Плотностью тока называется отношение силы тока в проводнике к площади поперечного сечения этого проводника: $j = I/S$.

**) Считайте, что на каждый ион меди приходится два электрона проводимости.

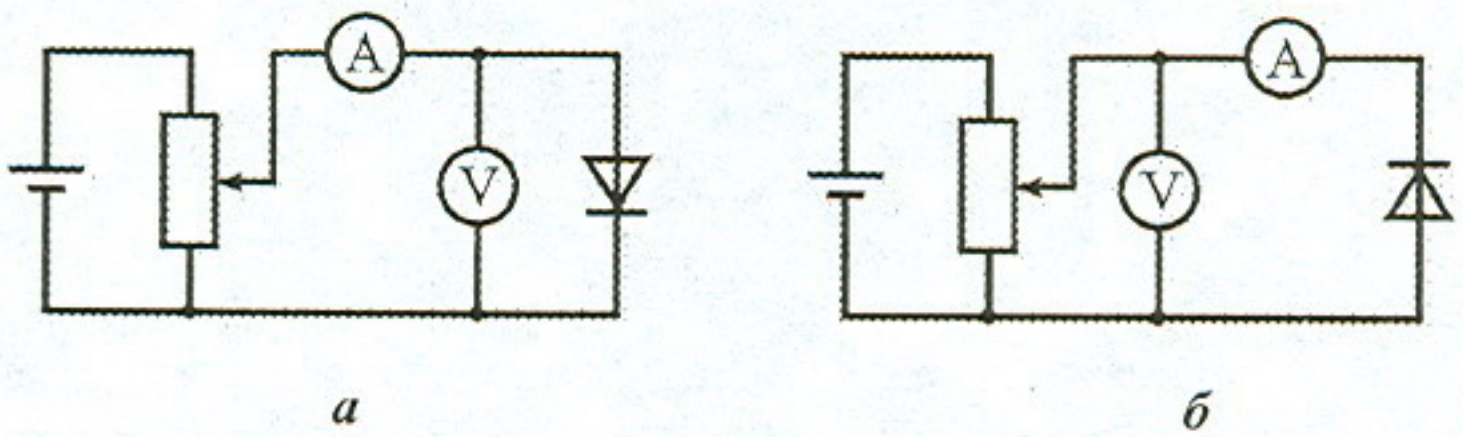
14.46. На рисунке приведена вольт-амперная характеристика полупроводникового диода. Диод подключен к источнику постоянного напряжения: а) +0,4 В; б) –5 В. Во сколько раз изменится сила тока через диод, если последовательно с ним включить резистор сопротивлением 100 Ом?



К задачам 14.46, 14.47

14.47. На рисунке приведена вольт-амперная характеристика полупроводникового диода. Диод подключен к источнику постоянного напряжения: а) +0,4 В; б) –5 В. Во сколько раз изменится сила тока в цепи, если параллельно с диодом включить резистор сопротивлением 100 Ом?

14.48. Почему для получения вольт-амперной характеристики полупроводникового диода используют две *различные* схемы соединения приборов (см. рис. *а*, *б*)?



а *б*

К задаче 14.48

14.49. Деталь надо покрыть слоем хрома толщиной 40 мкм. Сколько времени будет продолжаться электролиз при плотности тока 1,5 кА/м^2? Электрохимический эквивалент хрома $1{,}8 \cdot 10^{-7}$ кг/Кл.

14.50. Электролитическое серебрение изделия происходит при плотности тока 0,55 А/дм^2. С какой скоростью нарастает слой серебра?

14.51. При электролизе подкисленной воды через ванну прошел заряд 7500 Кл. Выделившийся кислород находится в объеме 0,5 л под давлением 101 кПа. Какова его абсолютная температура?

14.52. Аэростат объемом 250 м^3 заполняют водородом при температуре 27 °С и давлении 2 атм. Какой заряд надо пропустить при электролизе через слабый раствор кислоты, чтобы получить нужное количество водорода?

14.53. При какой наименьшей скорости электрон может ионизировать неподвижный атом неона? Потенциал ионизации атомов неона $\varphi = 21{,}5$ В.

14.54. Плоский воздушный конденсатор с расстоянием между обкладками 2 мм и площадью обкладок 10 см^2 заряжен до напряжения 2 кВ и отключен от источника тока. Под действием внешнего ионизатора в пространстве между обкладками за секунду образуется 10^8 пар одновалентных ионов. На сколько изменилось напряжение на конденсаторе через 5 с после начала действия ионизатора? Считайте, что все ионы достигают обкладок конденсатора.

1.1. 10^{-8} м; размеры молекул не превышают 10^{-8} м. ***1.4.*** Это пример броуновского движения. ***1.5.*** Это пример действия сил межмолекулярного притяжения. Сухие стекла легко отделяются, т.к. из-за неровностей на поверхностях площадь контакта очень мала, а радиус действия межмолекулярных сил сравним с размерами молекул. ***1.6.*** При полировке уменьшаются неровности соприкасающихся поверхностей и межмолекулярное притяжение этих поверхностей становится сильнее.

1.7. $4 \cdot 10^{-3}$ кг/моль; $64 \cdot 10^{-3}$ кг/моль; 0,2 кг/моль; 0,24 кг/моль.

1.8. $58 \cdot 10^{-3}$ кг/моль; 0,16 кг/моль; $17 \cdot 10^{-3}$ кг/моль.

1.9. 0,8 кг. ***1.10.*** $1{,}2 \cdot 10^{-26}$ кг; $3{,}3 \cdot 10^{-25}$ кг.

1.11. $2{,}7 \cdot 10^{-26}$ кг. ***1.12.*** Несколько ниже температуры плавления самого легкоплавкого материала. ***1.13.*** Уменьшилось бы в 1,5 раза. ***Указание.*** Сравните количество молекул до и после реакции.

1.14. $1{,}4 \cdot 10^{22}$. ***1.15.*** $1{,}5 \cdot 10^{24}$. ***1.16.*** 130 лет. ***1.17.*** $5{,}15 \cdot 10^{24}$.

1.18. 0,7 моль. ***1.19.*** $3{,}3 \cdot 10^{-4}$ моль. ***1.20.*** Количество атомов кислорода одинаково. ***1.21.*** В водороде, в 4,5 раза.

1.22. 40 см^3. **Решение** Объем алюминия можно выразить через его массу и плотность: $V = \frac{m}{\rho}$. Массу же алюминия можно выразить через количество вещества и молярную массу: $m = \nu \cdot M$. Отсюда получаем $V = \frac{\nu \cdot M}{\rho}$.

1.23. Да. ***1.24.*** 0,03 мм^3. ***1.25.*** В воздухе, в 1,6 раза. ***1.26.*** 4000 м^3.

1.27. В железном кубике количество вещества в 1,4 раза больше.

1.28. $1{,}4 \cdot 10^{21}$. ***1.29.*** 9,5 а.е.м. ***1.30.*** а) в капле воды, в 11 раз; б) в капле ртути, в 1,2 раза. ***1.31.*** $3 \cdot 10^{-10}$ м. ***Указание.*** На каждую молекулу приходится объем $V_0 = \frac{M}{\rho N_A}$. ***1.32.*** 2500. ***1.33.*** 400 слоев.

1.34. $1{,}5 \cdot 10^{15}$ м; длина нити превышала бы расстояние от Земли до Солнца в 10 000 раз. ***1.35.*** а) уменьшится в 2 раза; б) уменьшится в 1,5 раза.

1.36. ПДК не была превышена. **Решение** Концентрация атомов ртути в комнате $n = \dfrac{N}{hS} = \dfrac{mN_A}{MhS}$. Здесь $m = \dfrac{4}{3}\pi r^3 \rho$ — масса капельки ртути, ρ и M — соответственно плотность и молярная масса ртути. Отсюда $n = \dfrac{4\pi r^3 \rho N_A}{3MhS} = 5{,}7 \cdot 10^{15}$ м$^{-3}$. Таким образом, концентрация паров ртути равна 19% ПДК.

1.37. $3{,}3 \cdot 10^8$. **1.38.** $\rho = \dfrac{m_0}{a^3}$. **Решение** Можно считать, что каждой из восьми «сходящихся» в центре атома кубических ячеек принадлежит 1/8 этого атома, т.е. масса $m_0/8$. У кубической ячейки восемь вершин, поэтому на каждую ячейку объемом a^3 приходится масса m_0.

1.39. $a = 2{,}8 \cdot 10^{-10}$ м.

2.1. 300 К; 250 К; 643 К. **2.2.** –250 °С; –180 °С; 480 °С. **2.3.** 600 К. **2.4.** На 10 К. **2.5.** 96 л. **2.6.** Чтобы после включения лампы давление азота не разорвало баллон (при нагревании давление газа заметно возрастает). **2.7.** На 16 %. **2.8.** 320 кПа; 200 кПа. **2.9.** 0,3 МПа. **2.10.** 132 л. **2.11.** 4,2 МПа. **2.12.** 6,9 моль. **2.13.** 6,2 МПа.

2.14. До 118 °С. **Решение** Так как воздух из колбы не мог выйти, мы можем применить уравнение Клапейрона $\dfrac{p_1 V_1}{T_1} = \dfrac{p_2 V_2}{T_2}$. Давление воздуха в колбе практически неизменно (небольшим увеличением давления вследствие давления столба воды можно пренебречь). Для изобарного процесса $\dfrac{V_1}{T_1} = \dfrac{V_2}{T_2}$, откуда $T_1 = T_2 \dfrac{V_1}{V_2}$. Согласно условию $V_2 = 0{,}75 V_1$. Следовательно, $T_2 = 4T_1/3 = 391$ К.

2.15. 3 л. **2.16.** Увеличилось в 1,33 раза. **2.17.** Давление не изменилось. **2.18.** Возрастающее при нагревании давление газа может разорвать баллон и придать его осколкам большие скорости.

2.19. 300 К. **2.20.** 500 кПа. **2.21.** 300 К. **2.22.** Произошла утечка газа. **2.23.** В баллоне есть трещины (произошла утечка газа). **2.24.** До 167 °С. **2.25.** Закон Бойля-Мариотта неприменим, когда масса газа изменяется. **2.26.** 7,5 л.

2.27. 14 м. **Решение** Воздух в пузырьке изотермически расширяется. Согласно закону Бойля-Мариотта $(p_a + \rho g h) \cdot V_1 = p_a \cdot V_2$. Здесь

ρ — плотность воды; начальный объем пузырька $V_1 = \frac{1}{6}\pi d^3$, конечный объем $V_2 = \frac{1}{6}\pi D^3$. Отсюда находим $h = \frac{p_a}{\rho g}\left(\frac{D^3}{d^3} - 1\right)$.

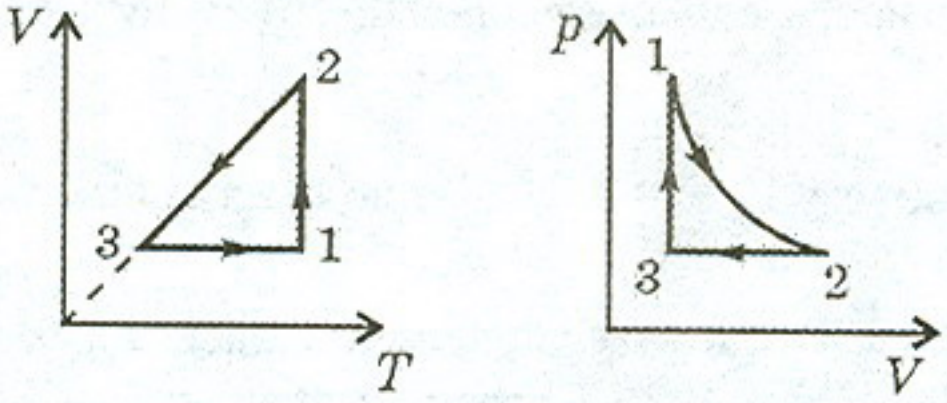
2.28. 65 м. ***2.29.*** Температура увеличивалась. ***2.30.*** 400 кПа.

2.31. 5,9 МПа. *Решение* Согласно уравнению Менделеева-Клапейрона $p_1V_1 = \nu_1 RT$, $p_2V_2 = \nu_2 RT$, $p(V_1 + V_2) = \nu RT$. Здесь ν_1 и ν_2 — количество вещества соответственно в первом и втором баллонах, ν — общее количество вещества. Поскольку $\nu = \nu_1 + \nu_2$, получаем $p_1V_1 + p_2V_2 = p(V_1 + V_2)$, откуда $p = \frac{p_1V_1 + p_2V_2}{V_1 + V_2}$.

2.32. 500 кПа. ***Указание.*** Насос захватил 200 л атмосферного воздуха, т. е. фактически произошло изотермическое сжатие воздуха от объема 250 л до объема 50 л.

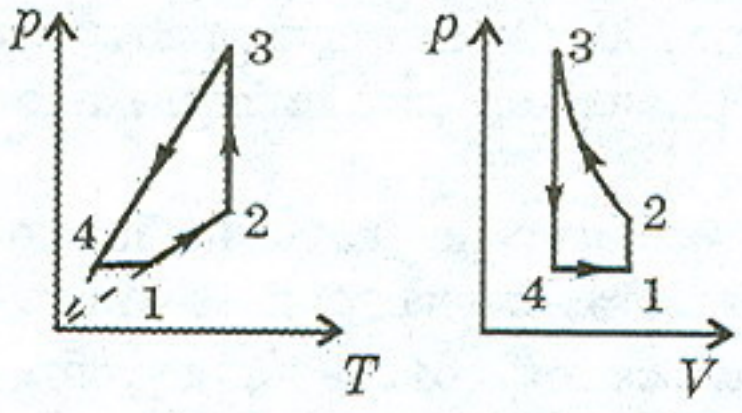
2.33. 2 кПа. *Решение* В начале каждого качания поршень полностью вдвинут внутрь цилиндра; выдвигая поршень, предоставляют возможность воздуху расширяться от объема V_0 до объема $V_0 + V$; затем воздух из насоса вытесняют в атмосферу, и процесс повторяется. Согласно условию этот процесс изотермический. Следовательно, $p_n \cdot V_0 = p_{n+1} \cdot (V_0 + V)$. Здесь p_n — давление в баллоне после n качаний. Как видим, значения p_n образуют геометрическую прогрессию (при каждом следующем качании насос захватывает меньше воздуха, чем при предыдущем). После N качаний давление в баллоне $p_N = p_a\left(\frac{V_0}{V_0 + V}\right)^N$.

2.34. 7,4 %. ***2.35.*** На 31 К. ***2.36.*** *Решение* Прежде чем строить графики, нужно выяснить, что собой представляет каждый этап замкнутого процесса, происходящего с газом. (Воспользовавшись газовыми законами или уравнением Клапейрона, можно сделать вывод и о характере изменения объема газа на каждом из этапов.) Этап 1-2 — это изотермическое расширение (температура постоянна, давление уменьшается), этап 2-3 — изобарное охлаждение (давление постоянно, температура уменьшается), этап 3-1 — изохорное нагревание (давление увеличивается прямо пропорционально абсолютной температуре газа).

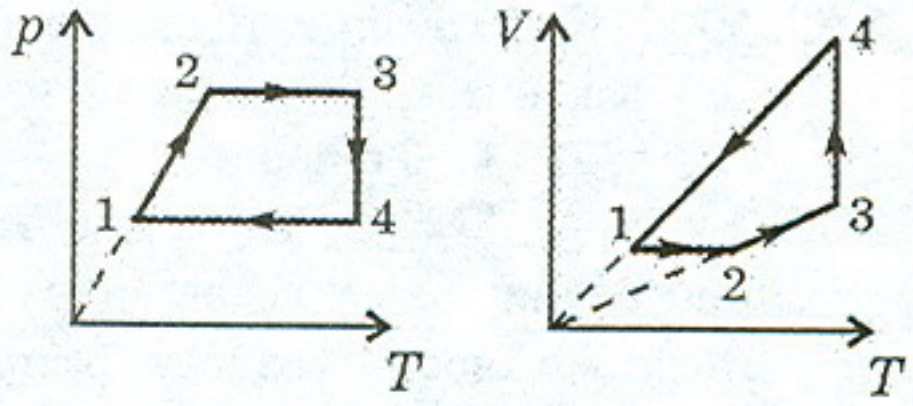


Этап 1-2: T = const, p — убывает, V — растет (пропорционально $1/p$).
Этап 2-3: T — убывает, p = const, V — убывает (пропорционально T).
Этап 3-1: T — растет, p — растет (пропорционально T), V = const.
При построении графиков в координатах V, T и p, V следует учитывать, что эти графики должны быть замкнутыми (см. рисунок).

2.37. См. рисунок. ***2.38.*** См. рисунок.



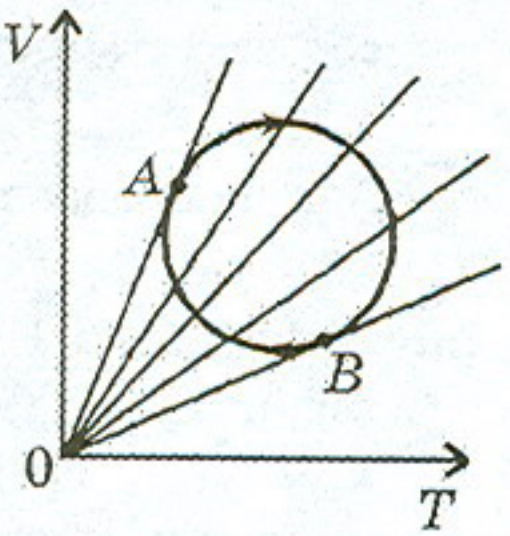
К задаче 2.37



К задаче 2.38

2.39. В состоянии 1 объем газа меньше. ***Указание.*** Проведите изохоры через состояния 1 и 2.

2.40. Решение Проведем через различные точки графика изобары (см. рисунок). Наибольшему давлению соответствует самая нижняя изобара, поэтому наибольшее давление достигается в нижней точке касания B. Наименьшее давление соответствует верхней точке касания A. При переходе от точки A к точке B давление газа возрастает, а при переходе от точки A к точке B давление убывает.



2.41. В состоянии 2; в состоянии 4; $T_2 = 6T_4$.

2.42. Увеличится на 3,3 кг. ***2.43.*** Плотность углекислого газа больше в 1,57 раза. ***2.44.*** 160 г/м^3. ***2.45.*** 9,2 кг. ***2.46.*** 40 см, 10 см, 50 см.

2.47. 2,4 кг. Решение Воздушный шар поднимает Винни-Пуха при условии, что вес вытесненного шаром наружного (холодного) воздуха равен суммарному весу теплого воздуха в шаре и самого Вин-

ни-Пуха: $m_0 g = m_1 g + mg$. Массы теплого и холодного воздуха найдем из уравнения Менделеева–Клапейрона: $m_{0,1} = \dfrac{p_a VM}{RT_{0,1}}$.

Отсюда получаем $m = \dfrac{p_a VM}{R}\left(\dfrac{1}{T_0} - \dfrac{1}{T_1}\right)$.

2.48. Увеличится в 1,08 раза. **2.49.** 690 кПа. **2.50.** Вправо, на 6 см.

2.51. 17,4 см. *Решение* Когда трубку вынимают из ртути, воздух в ней изотермически расширяется от объема $LS/2$ до объема $(L - l)S$, где S — площадь сечения трубки. Начальное давление воздуха в трубке равно атмосферному, т. е. ρgH, где ρ — плотность ртути, а $H = 0{,}75$ м. Конечное давление воздуха в трубке меньше атмосферного на величину ρgl. Согласно закону Бойля-Мариотта $\rho gH \cdot LS/2 = (\rho gH - \rho gl)(L - l)S$, откуда

$$l = \frac{H + L}{2} - \frac{1}{2}\sqrt{H^2 + L^2} = 0{,}17 \text{ м}$$

(2-й корень квадратного уравнения не имеет физического смысла).

2.52. 416 кПа. ***Указание.*** Общее давление в баллоне складывается из давления воздуха при 453 К (воспользуйтесь уравнением изохорного процесса) и давления паров воды при той же температуре (воспользуйтесь уравнением Менделеева–Клапейрона).

2.53. 0,36 кг/м^3.

2.54. Температура сначала увеличивалась, а затем уменьшалась; максимальной температуре соответствует середина отрезка на графике; в 2,04 раза. *Решение* Начальное и конечное состояния газа находятся на одной изотерме (начальная и конечная температуры газа одинаковы). В начале процесса, изображенного на рисунке, газ переходил на изотермы, соответствующие все более высокой температуре. Изотерма, соответствующая самой высокой температуре, касается отрезка в его середине. После прохождения этого состояния температура газа понижалась. Воспользовавшись уравнением Клапейрона находим отношение температур в состояниях A (середина отрезка) и в начальном состоянии 1: $\dfrac{T_A}{T_1} = \dfrac{p_A V_A}{p_1 V_1}$.

2.55. 100 кПа утром, 97 кПа вечером.

Решение Для изотермического процесса согласно закону Бойля-Мариотта $p_a \cdot \dfrac{LS}{2} = \left(p_a - \dfrac{F}{S}\right) \cdot \dfrac{3LS}{4}$. Отсюда $p_a = \dfrac{3F}{S}$.

2.56. 3,3 : 1. **2.57.** 75 см рт. ст. (здесь и в ряде других задач ответ удобно выразить в сантиметрах или миллиметрах ртутного столба). **2.58.** а) на 9 см; б) на 3,6 см.

3.1. 490 кПа. *Решение* Воспользуемся основным уравнением молекулярно-кинетической теории идеального газа. Концентрация молекул $n = N/V$, массу молекулы можно выразить через молярную массу углекислого газа: $m_0 = M/N_A$. Отсюда $p = \frac{1}{3} \cdot \frac{N}{V} \cdot \frac{M}{N_A} \cdot \overline{v^2}$.

3.2. 460 м/с. **3.3.** 271 К. **3.4.** Уменьшилось бы в 1,5 раза.

3.5. а) средняя кинетическая энергия одинакова; б) молекулы азота. **3.6.** $6{,}2 \cdot 10^{-21}$ Дж. **3.7.** 299 К; 390 К. **3.8.** $2{,}65 \cdot 10^{25}$ м$^{-3}$.

3.9. Легче сосуд с влажным воздухом. *Решение* В равных объемах газов при одинаковых температурах и давлениях содержится одинаковое число молекул. Значит, во влажном воздухе более легкие молекулы воды просто *заменяют* такое же количество молекул азота и кислорода.

3.10. 240 кПа. ***Указание.*** Плотность газа равна произведению nm_0.

3.11. Например, азота или этилена. **3.12.** 540 м/с. **3.13.** Скорость молекул азота больше в 1,07 раза.

3.14. а) Давление в баллоне А больше в 16 раз; б) давления одинаковы. *Решение* а) Выразим давление газа через его массу, объем и среднюю квадратичную скорость молекул: $p = \frac{1}{3} n m_0 \overline{v^2} = \frac{m}{3V} \overline{v^2}$.

Из полученного уравнения видно, что при равных объемах и средних квадратичных скоростях давление пропорционально массе газа. б) Выразим давление газа через его массу, молярную массу, объем и среднюю кинетическую энергию молекул: $p = \frac{1}{3} n m_0 \overline{v^2} = \frac{2}{3} \cdot \frac{N}{V} \cdot \overline{E_k} = \frac{2N_A}{3V} \cdot \frac{m}{M} \cdot \overline{E_k}$. В этом случае давление пропорционально количеству вещества.

3.15. $3{,}5 \cdot 10^{-9}$ м; в 12 раз.

3.16. Давление увеличилось в 3 раза. *Решение* Воспользуемся формулой $p = nkT$. Согласно условию T возрастает в 2 раза; при диссоциации каждой второй молекулы концентрация n частиц в газе возрастает в 1,5 раза. Следовательно, давление возрастает в 3 раза.

3.17. 15 мм. **3.18.** 2200 К.

3.19. Конечное давление равно начальному. ***Указание.*** Концентрация молекул газа в сосуде не изменилась. **3.20.** $2p_0/3$.

3.21. 100 кПа. **Решение** Давление газа прямо пропорционально количеству молекул в баллоне, а, следовательно — количеству вещества. Сначала количество вещества в баллоне было 3 моль (1 моль водорода и 2 моль кислорода). После реакции количество вещества в баллоне стало 2,5 моль (1 моль водяного пара и 1,5 моль кислорода). Таким образом, давление уменьшилось в 1,2 раза. **3.22.** Уравнение имело бы вид $p = nm_0\overline{v^2}$.

3.23. 0,33 мм/с. **Решение** Средняя кинетическая энергия хаотического движения броуновской частицы равна средней кинетической энергии поступательного движения отдельной молекулы, т.е. $3kT/2$. Отсюда для средней квадратичной скорости броуновской частицы получаем выражение $\overline{v} = \sqrt{\dfrac{3kT}{m}} = \sqrt{\dfrac{3kT}{\frac{4}{3}\pi r^3 \rho}} = \dfrac{3}{2r}\sqrt{\dfrac{kT}{\pi r \rho}}$.

4.1. При изотермическом. **4.2.** 3 кДж. **4.3.** Во внутреннюю энергию. **4.4.** Увеличилась на 40 кДж. **4.5.** Увеличилась на 35 кДж. **4.6.** 40 Дж. **4.7.** Отдал 10 Дж. **4.8.** При изотермическом расширении. **4.9.** 300 Дж. **4.10.** 1,25 кДж. **4.11.** 40 %. **4.12.** 25%; 1,2 МДж. **4.13.** 33%. **4.14.** 50%. **4.15.** Не более 150 К. **4.16.** Оба газа имеют одинаковую внутреннюю энергию. **4.17.** Гелий, в 50 раз. **4.18.** 75 кДж. **4.19.** Увеличилась в 1,25 раза.

4.20. Для нагревания воздуха в надувном шарике. ***Указание.*** При нагревании воздуха в шарике его объем увеличивается.

4.21. В случаях *б*, *г*. **4.22.** В случаях *а*, *б*.

4.23. Внутренняя энергия воздуха в комнате не изменилась. **Решение** Из-за утечки воздуха давление в комнате не изменяется при нагревании: оно остается равным атмосферному (если представить себе герметично закрытую «комнату», то даже при небольшом нагревании давление повысится настолько, что обычные оконные стекла не выдержат). Следовательно, масса m воздуха в комнате уменьшается. Внутренняя энергия воздуха пропорциональна mRT/M, т. е. (согласно уравнению Менделеева-Клапейрона) произведению давления воздуха на объем комнаты. Но обе эти величины при нагревании не изменяются; значит, внутренняя энергия воздуха *в комнате* при нагревании тоже не изменяется! *Всю* поступающую от источника тепла энергию уносит выходящий наружу воздух.

4.24. Не изменится. **4.25.** 831 Дж. **4.26.** 1,5 кДж. **4.27.** 2,1 кДж.

4.28. а) 75 Дж; б) 82 Дж; в) 68 Дж. **Решение** Расширение воздуха является изобарным. При расширении совершается работа $A = p\Delta V$.

Изменение объема $\Delta V = Sl$. Давление воздуха в цилиндре в случае *а* равно атмосферному, в случае *б* оно больше атмосферного на величину mg/S, в случае *в* — меньше атмосферного на такую же величину.

4.29. Увеличилась на 24 К. **4.30.** При изобарном нагревании газы, в отличие от жидкостей и твердых тел, заметно расширяются.

4.31. а) 8,6 кДж; б) 6,1 кДж. *Решение* а) $Q_p = c_p m\Delta T$, где c_p — удельная теплоемкость водорода при постоянном давлении, которая приводится в справочных таблицах; б) поскольку в справочных таблицах не приведено значение удельной теплоемкости водорода при постоянном объеме, необходимо воспользоваться следствиями из первого закона термодинамики: $Q_p = \Delta U + p\Delta V$, $Q_V = \Delta U$. Отсюда $Q_V = Q_p - p\Delta V = Q_p - mR\Delta T/M$.

4.32. 7,5 кДж; 18,7 кДж. **4.33.** Происходит практически адиабатное расширение газа, сопровождающееся понижением температуры. **4.35.** Например, накачивание воздуха в велосипедную шину (в этом случае совершенная над воздухом работа больше, чем переданное окружающей среде количество теплоты).

4.36. а, б) при быстром сжатии. **4.37.** В 2,1 раза.

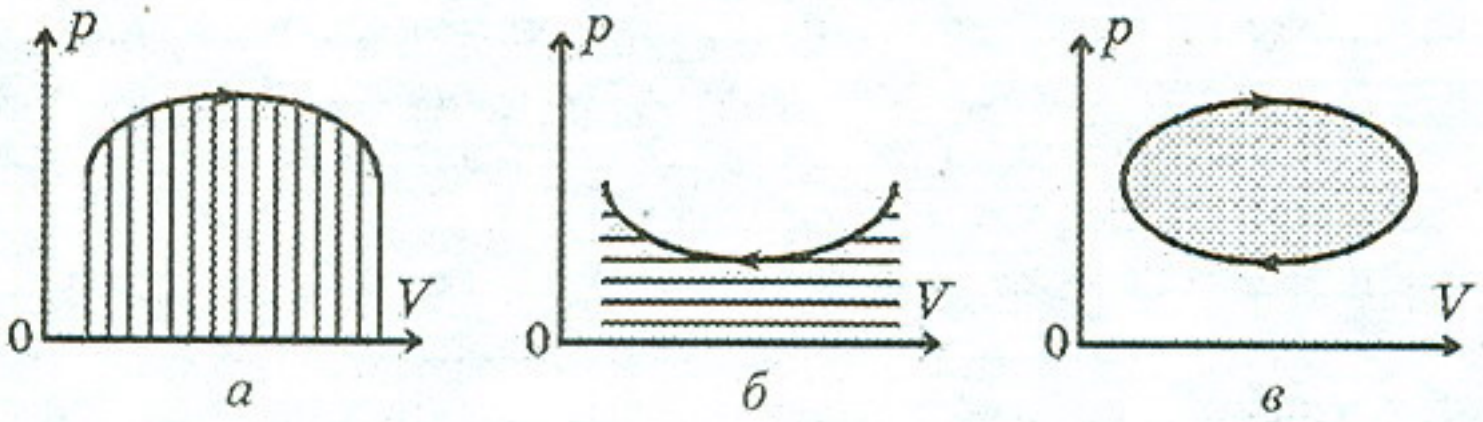
4.38. 900 км. **4.39.** Увеличится.

4.40. Водород. **4.41.** 40%. **4.42.** В 5/3 раза. **4.43.** $c_p - c_V = R/M$.

4.44. 177 К; 520 Дж. *Решение* Воздух под поршнем находится под постоянным давлением $p = p_a + 4m_2 g/\pi d^2$. Работа воздуха при нагревании $A' = \frac{m_1}{M} R\Delta T = p\Delta V$. Учитывая, что $\Delta V = \frac{1}{4}\pi d^2 h$, получаем $\Delta T = \frac{Mh}{Rm_1}\left(\frac{\pi d^2 p_a}{4} + m_2 g\right)$. Необходимое количество теплоты $Q = c_p m_1 \Delta T$.

4.45. Например, кислород. **4.46.** $12p_0V_0$; $42p_0V_0$.

4.47. а) отрицательную; б) положительную. *Решение* б) Разобьем



мысленно процесс на два этапа: расширение (см. рис. *а*) и сжатие (см. рис. *б*). На первом этапе газ совершает положительную работу, численно равную площади области с вертикальной штриховкой; на втором этапе газ совершает отрицательную работу, модуль которой численно равен площади области с горизонтальной штриховкой. Площадь, заштрихованная на рис. *а*, больше площади, заштрихованной на рис. *б*. Следовательно, в циклическом процессе газ совершает положительную работу, равную площади внутри графика (см. рис. *в*). Таким образом, газ совершает за цикл положительную работу, если в координатах p, V цикл проходится по часовой стрелке.

4.48. Этап 1-2: $A' = 0$, $Q = 3p_0V_0$. Газ получал тепло.

Этап 2-3: $A' = 12p_0V_0$, $Q = 30p_0V_0$. Газ получал тепло.

Этап 3-4: $A' = 0$, $Q = -15p_0V_0$. Газ отдавал тепло.

Этап 4-1: $A' = -4p_0V_0$, $Q = -10p_0V_0$. Газ отдавал тепло.

4.49. 22 %. Решение КПД цикла $\eta = \dfrac{A'}{Q} \cdot 100\%$. Работа газа за цикл численно равна площади фигуры внутри графика цикла в координатах p, V: $A' = 4p_0V_0$ (p_0, V_0 — расстояния между линиями сетки на рисунке). Поскольку газ получал тепло на участках 1-2 и 2-3,

$$Q = Q_{13} = \Delta U_{13} + A'_{13} = \Delta U_{13} + A'_{23} = \frac{3}{2}\nu R(T_3 - T_1) + 6p_0V_0 =$$

$$= \frac{3}{2}(p_3V_3 - p_1V_1) + 6p_0V_0 = 18p_0V_0.$$

4.50. 30 л. ***4.51.*** 4,4 т.

5.2. Сапфир, в отличие от стекла, имеет кристаллическую структуру.

5.5. 1,9 кН. ***5.6.*** 98 Мпа; $8{,}2 \cdot 10^{-4}$. ***5.7.*** Не выдержит. ***5.8.*** 196 МПа.

5.9. 290 МПа; $1{,}45 \cdot 10^{-3}$; 1,45 мм.

5.13. При рыхлении разрушаются капилляры, по которым вода поднимается к поверхности и испаряется.

5.14. Не всегда (например, поликристаллы изотропны).

5.15. Монокристалл получается при наличии *одного* центра кристаллизации. ***5.17.*** Изгибу лучше всего сопротивляются профили *б*, *в*, *д*; сжатию все профили сопротивляются одинаково.

5.18. Указанные тела испытывают не деформацию изгиба, а деформации растяжения или сжатия. ***5.19.*** Чтобы стенки быстро прогревались на всю толщину и в них не возникали механические напряжения. ***5.20.*** 3,8 МПа. ***5.21.*** Во втором случае относительное

удлинение проволоки меньше в 10 раз, а абсолютное удлинение — в 100 раз. **5.22.** 200 ГПа.

5.23. Не менее 1,1 см^2. *Решение* Наибольшая сила F натяжения троса достигается, когда ускорение лифта направлено вверх: $F = m(g + a)$. Предел прочности стали $\sigma_{пч}$ должен не менее чем в n раз превышать возникающее при этом в тросе механическое напряжение $\sigma = F/S$. Отсюда находим: $S \geqslant nm(g + a)/\sigma_{пч}$.

5.24. 6,4 т. **5.25.** 8,4 мм. **5.26.** 3,8 км. **5.27.** 7,5 км.

5.28. Стекло медленно стекает вниз (аморфные тела ведут себя как очень вязкие жидкости). **5.30.** 3,7 мкДж. **5.32.** Уменьшается.

5.33. Опилки будут «разбегаться» от кусочка мыла и «сбегаться» к кусочку сахара. **5.34.** 3,3 мН. **5.35.** Керосин будет обволакивать пробирку изнутри и снаружи; ртуть соберется в каплю.

5.37. Припой должен смачивать поверхности. **5.38.** Стакан a.

5.40. Капилляры в куске мела значительно тоньше, чем в губке.

5.43. 98 мН. **5.44.** 0,11 Н/м.

5.45. 4,2 мм. *Решение* На плавающий кубик действуют направленные вниз сила тяжести mg и сила поверхностного натяжения $4\sigma a$, а также направленная вверх архимедова сила $\rho_в g a^2 h$. Из условия равновесия кубика получаем $h = \dfrac{mg + 4\sigma a}{\rho_в g a^2}$. Заметим, что в отсутствие силы поверхностного натяжения глубина погружения нижней грани кубика была бы на 1 мм меньше.

5.46. Уменьшится на 3 мм. **5.47.** 52 мН/м. **5.49.** 1,5 мм. **5.50.** 15 мг.

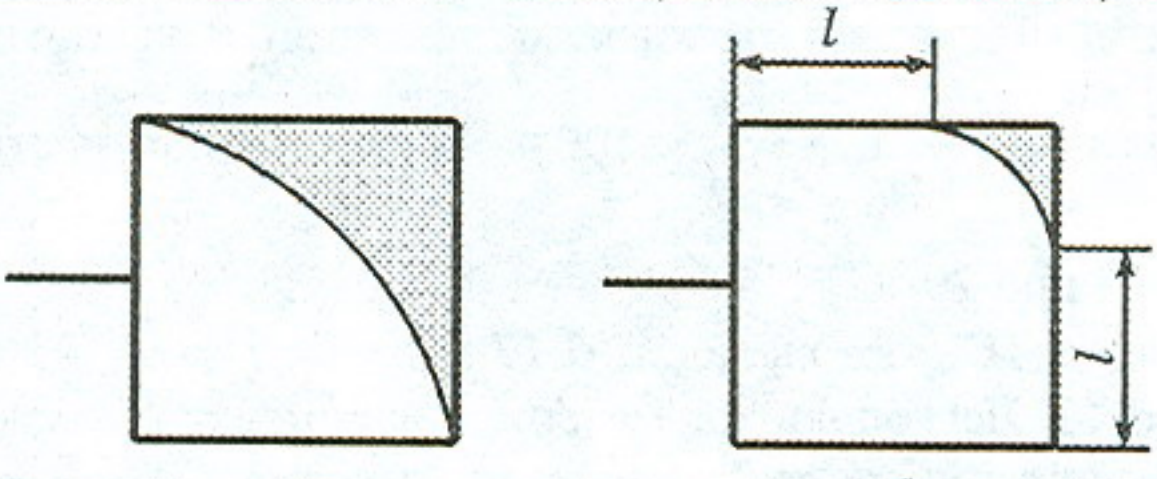
5.51. 1,6 см. **5.52.** На 1,5 см. **5.53.** *в* — спирт, *б* — мыльный раствор.

5.54. 19 мм. **5.56.** Не менее 37 см^2; на 4,8 мкм.

5.57. Половина. *Решение* Если масса груза равна m, а жесткость проволоки k, то удлинение проволоки под действием подвешенного груза $x = mg/k$. Потенциальная энергия груза уменьшается на величину $mgx = m^2g^2/k$, а потенциальная энергия растянутой проволоки $kx^2/2 = m^2g^2/(2k)$. Таким образом, половина потерянной грузом потенциальной энергии переходит в потенциальную энергию растянутой проволоки. Другая половина потерянной грузом потенциальной энергии переходит во внутреннюю (например, при затухании возникающих колебаний груза).

5.58. *Решение* В «пучке» нагрузка никогда не распределяется между всеми проволоками поровну (те проволоки, длина которых чуть больше, чем у других, совсем не растянуты). Поэтому сначала может порваться проволока, на которую приходится наибольшая нагрузка, затем придет очередь следующей проволоки и

т.д. В тросе между проволоками действует большая сила трения, все проволоки растягиваются практически одинаково и нагрузка распределяется между ними поровну. **5.59.** Радиус капли не более 3-4 мм. **5.60.** Из-за большого поверхностного натяжения ртуть не подтекает под лежащую на гладком дне кюветы пластинку. Поэтому на пластинку не действует архимедова сила. **5.61.** Вода смачивает вещество А и не смачивает вещество Б. Вследствие этого к крупинкам вещества Б прилипают пузырьки газа. **5.62.** См. рис. *а*, *б* ($l = 5{,}3$ см). **5.63.** Не более 1,5 мм.



К задаче 5.62

5.64. Увеличилась на 4,7 мК.

5.65. Приблизительно 3 мм. Решение Воспользуемся методом размерностей. Значение a может зависеть только от трех величин: ρ, σ и g. Предположим, что эта зависимость имеет вид $a = \alpha \cdot \sigma^x \cdot \rho^y \cdot g^z$. Здесь α — безразмерный коэффициент порядка единицы, а x, y, z — неизвестные показатели степени. Запишем единицы измерения входящих в правую часть формулы величин: $[\sigma] = \frac{\text{Н}}{\text{м}} = \frac{\text{кг}}{\text{с}^2}$, $[\rho] = \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, $[g] = \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$. Очевидно, килограммы и секунды не должны войти в окончательный результат. Это возможно только при $y = z = -x$, т.е. когда $a = \alpha \cdot \left(\frac{\sigma}{\rho g}\right)^x$. Поскольку $\left[\frac{\sigma}{\rho g}\right] = \text{м}^2$, получаем $x = 0{,}5$; таким образом, $a \approx \sqrt{\frac{\sigma}{\rho g}}$.

5.66. $p = p_\text{а} - 2\sigma/R$. Решение Давление под поверхностью жидкости меньше атмосферного на величину $\Delta p = \rho g h$, где $h = 2\sigma/(\rho g R)$ — высота подъема жидкости в капилляре. Отсюда $\Delta p = 2\sigma/R$. Это давление (его называют лапласовым) создается сферической поверхностью жидкости.

5.67. $h = \dfrac{2\sigma}{\rho g d}$; $p = p_a - 2\sigma/d$. **5.68.** а) 101 кПа; б) 115 кПа.

5.69. На 0,06%. ***Указание.*** Избыточное давление внутри мыльного пузыря создают *две* сферические поверхности жидкости.

6.4. 100%. **6.5.** 60%. **6.6.** 51%. **6.7.** 66%. **6.8.** 67 г/м^3. **6.9.** 71%.

6.10. 1 кПа. **6.11.** 13 °С. **6.12.** 17 °С. **6.13.** 0,87 г.

6.14. 74 %. **Решение** Плотность ρ водяного пара равна плотности насыщенного пара при 15 °С (можно считать, что при охлаждении плотность пара практически не изменяется). Тогда относительная влажность воздуха $\varphi = \dfrac{\rho}{\rho_н} \cdot 100\%$, где $\rho_н$ — плотность насыщенного пара при 20 °С.

6.15. До 3 °С. **6.16.** Роса выпадет. **6.17.** 2,5 г.

6.18. 3 кг. **6.19.** Легкоплавкий материал защищает спускаемый отсек от перегрева при посадке на планету, имеющую атмосферу.

6.23. Происходит конденсация водяного пара, когда теплый воздух соприкасается с холодными стеклами очков.

6.25. Относительная влажность воздуха уменьшалась.

6.26. ***Указание.*** Парциальное давление водяного пара в помещении и на улице примерно одинаково.

6.27. Да (пар будет выходить из кухни на улицу).

6.28. Иней образуется на внутренней стороне оконного стекла в результате превращения водяного пара в кристаллы льда.

6.29. Вода будет одновременно кипеть и замерзать.

6.30. При 15 °С. **Решение** Согласно показаниям психрометра температура воздуха 20 °С, а относительная влажность 74%. Плотность насыщенного водяного пара при 20 °С равна 17,3 г/м3; следовательно, плотность водяного пара в воздухе 0,74 · 17,3 г/м^3 = = 12,8 г/м^3. Роса выпадет при температуре, при которой водяной пар с такой плотностью является насыщенным, т.е. при 15 °С.

6.31. а) на 3 м; б) вода не будет подниматься.

6.32. 0,58 кг/м^3. ***Указание.*** При температуре кипения давление насыщенного пара равно внешнему давлению.

6.33. До 70 кПа; до 12 кПа.

6.34. Более 125 г. **6.35.** 415 г. **6.36.** 0,05 г. **6.37.** В 0,29 мм^3.

6.38. При 14 °С. **6.39.** 59%. **6.40.** 16 °С и 11 °С. **6.41.** 14 °С.

6.42. 470 Дж/(кг · К). **6.43.** 0,5 кг. **6.44.** 0,43 кг. **6.45.** 5,5 мин.

6.46. На 0,4 °С. **Решение** Из закона сохранения импульса следует, что после столкновения шары будут двигаться со скоростью $v_0/2$.

Изменение температуры шаров Δt можно найти, воспользовавшись законом сохранения энергии: $2mc\Delta t = \frac{mv_0^2}{2} - \frac{2m(v_0/2)^2}{2}$, откуда $\Delta t = \frac{v_0^2}{8c}$. Здесь c — удельная теплоемкость свинца.

6.47. На 230 К. **6.48.** 38 км.

6.49. Не более 0,38 кг. *Решение* Наибольшее возможное значение массы льда соответствует случаю, когда вода охлаждается до 0 °С. В этом случае уравнение теплового баланса принимает вид $\lambda m_л + c_в m_в(0\ °C - t_в) = 0$, откуда $m_л = c_в m_в t_в/\lambda$. Здесь λ — удельная теплота плавления льда.

6.50. 0,85 кг.

6.51. *Решение* Хотя вода в плавающей кружке нагреется до температуры кипения, для процесса кипения этого недостаточно: необходим *дальнейший* подвод тепла, а для этого — теплообмен с *более нагретым* телом. Вода в кастрюле кипит, получая тепло от дна, температура которого выше температуры кипения; однако вода в кастрюле не может служить нагревателем для воды в кружке. Поэтому вода в кружке кипеть не будет.

6.52. 16,5 г. **6.53.** До 47 °С. **6.54.** Если деталь алюминиевая, потребуется в 1,6 раза большее количество теплоты. **6.55.** Для плавления стального бруска потребуется в 2,2 раза большее количество теплоты. **6.56.** 120 г. **6.57.** Переохлаждение капелек возможно благодаря отсутствию в них центров кристаллизации.

6.58. Плотность сухого воздуха больше на 10,6 г/м^3.

Решение Обозначим плотность насыщенного водяного пара при заданной температуре $\rho_н$. При переходе от влажного воздуха к сухому концентрация молекул не изменяется, поэтому можно считать, что каждую молекулу водяного пара заменяет «молекула воздуха». В результате такой замены масса молекул увеличивается в 29/18 раз (молярная масса воздуха во столько раз превышает молярную массу воды). Следовательно, плотность сухого воздуха больше на $11\rho_н/18$.

6.59. Не менее 31 см. **6.60.** 360 кПа.

6.61. 50%. *Решение* Уже при первом сжатии давление выросло *менее*, чем в четыре раза — значит, пар стал насыщенным и произошла частичная его конденсация. Поэтому давление пара $p_н$ после первого и второго сжатия одинаково. Обозначим начальное парциальное давление пара $p_п$, а воздуха $p_в$. Парциальное давле-

ние воздуха изменялось при изотермическом сжатии обратно пропорционально объему: после первого сжатия оно стало равным $4p_в$, а после второго $8p_в$. Полное давление влажного воздуха сначала равнялось $p_п + p_в$, после первого сжатия стало $p_н + 4p_в$, а после второго $p_н + 8p_в$. Согласно условию

$$p_н + 4p_в = 3(p_п + p_в), \quad p_н + 8p_в = 5(p_п + p_в).$$

Исключая из этих уравнений $p_в$, находим $p_п = p_н/2$.

6.62. 1,5 см.

6.63. 0 °C. **Решение** Вода, остывая до 0 °C, может передать льду количество теплоты $Q_1 = m_в c_в t_в = 126$ кДж. Для плавления всего льда необходимо количество теплоты $Q_2 = \lambda m_л = 165$ кДж. Поскольку $Q_2 > Q_1$, полного плавления льда не произойдет; в сосуде будут находиться вода и лед при температуре 0 °C.

6.64. 46 °C.

7.4. 80 мкН. ***7.5.*** 30 нКл. ***7.6.*** 2,3 мкН. ***7.7.*** $2{,}1 \cdot 10^9$. ***7.9.*** 2 кН/Кл.

7.10. 4 мкН. ***7.11.*** 0,98 нКл. ***7.12.*** $3{,}8 \cdot 10^{12}$ м/с^2.

7.13. Уменьшается в 9 раз. ***7.14.*** 56 кН/Кл; 14 кН/Кл.

7.15. В $4{,}2 \cdot 10^{42}$ раз.

7.16. 9,6 мКл. **Решение** Количество молекул в капельке воды $N = \frac{m}{M} N_A$. Заряд капли будет $q = 10^{-3} \frac{m}{M} e N_A$. Разумеется, полученное значение заряда неправдоподобно велико (уже при гораздо меньшем заряде кулоновские силы разорвут капельку).

7.17. $8{,}3 \cdot 10^5$ Н. ***7.18.*** $8{,}6 \cdot 10^{-13}$ Кл. ***7.19.*** Сила натяжения нити в точке A равна 0,39 мН; в точке B для одноименных зарядов 0,33 мН, а для разноименных 66 мкН. ***7.20.*** 4,2 мкКл.

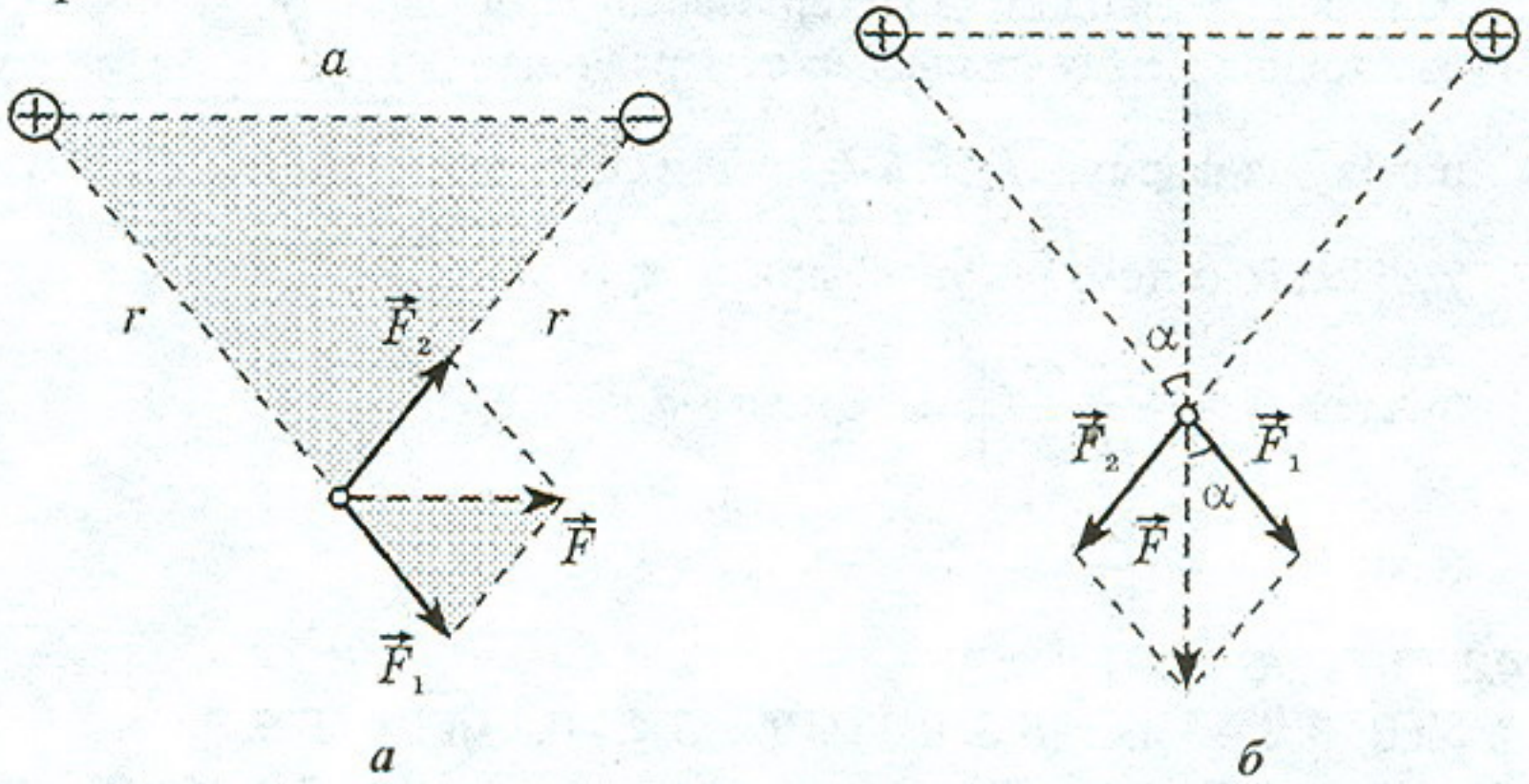
7.21. На расстоянии 0,6 м от меньшего зарада и 1,2 м от большего; 0,8 мкКл. **Решение** Заряд Q следует поместить в точку, в которой напряженность поля двух первых зарядов равна нулю: $\vec{E}_1 + \vec{E}_2 = 0$. Эта точка лежит на проходящей через заряды 1 и 2 прямой, причем *вне* соединяющего заряды отрезка (в точках на этом отрезке векторы $\vec{E}_1$ и $\vec{E}_2$ направлены в одну сторону). Чтобы выполнялось условие $E_1 = E_2$, искомая точка должна лежать ближе к меньшему по модулю заряду (см. рисунок).

Из соотношения $k\dfrac{q_2}{(a+x)^2} = k\dfrac{q_1}{x^2}$ получаем $x = a$. Найдем теперь заряд Q. Для этого можно использовать условие равновесия заряда q_1: он находится посередине между зарядами Q и q_2, откуда следует $Q = q_2$.

7.22. На расстоянии 15 см от меньшего заряда и 45 см от большего.

7.23. а) 0,11 мН; б) 0,14 мН. **Решение** а) Силу $\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$ можно найти, воспользовавшись правилом параллелограмма (см. рис. *а*). Параллелограмм сил представляет собой ромб. Из подобия выделенных на рисунке треугольников получаем $F = \dfrac{a}{r}\cdot F_1 = k\dfrac{Qqa}{r^3}$.

б) $F = 2F_1\cos\alpha$, где $\cos\alpha = \sqrt{1-\sin^2\alpha} = \sqrt{4r^2 - a^2}\,/(2r)$. См. рис. *б*.



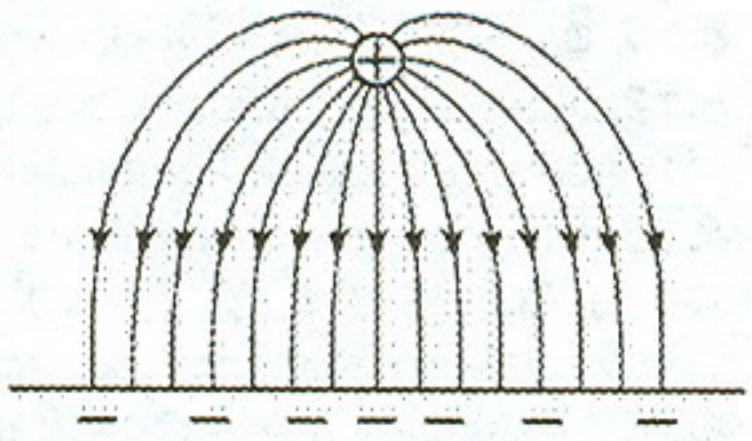
а *б*

К задаче 7.23

7.24. $T = \dfrac{q^2}{4\pi\varepsilon_0 l^2}$. ***7.25.*** –19 нКл. ***7.26.*** $Q = -\dfrac{q}{\sqrt{3}}$.

7.27. 11,5°. ***7.28.*** 0,2 МН/Кл.

7.29. См. рисунок.



К задаче 7.29

7.30. а) на расстоянии 4 см от меньшего заряда и 8 см от большего; б) на расстоянии 12 см от меньшего заряда и 24 см от большего.

7.31. а) 115 кН/Кл; б) 86 кН/Кл.

7.32. В точке, лежащей на 15 см ниже заряда. ***7.33.*** 15 кН/Кл (в точках

A и C); 21 кН/Кл (в точке B); 3 кН/Кл (в точке D).

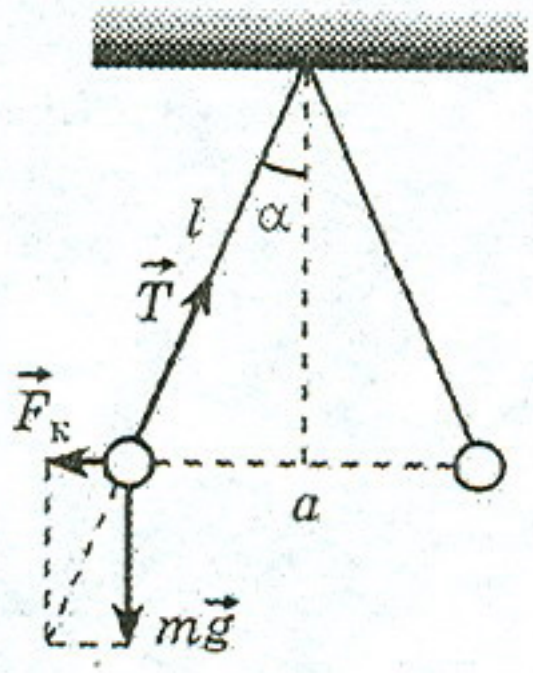
7.34. $T = \dfrac{q^2}{\pi\varepsilon_0 l^2}$.

7.35. В случае *а* массы шариков одинаковы, в случае *б* масса шарика 2 больше; о соотношении зарядов шариков ничего сказать нельзя. **7.36.** $9 \cdot 10^{-19}$; 1,9 мкг.

7.37. Модули зарядов 2,7 нКл и 0,67 нКл. **7.39.** Положительный.

7.40. Вообще говоря, нет (если силовые линии не прямолинейны).

7.41. 12 см. *Решение* После разрядки одного из шариков отталкивание сменится притяжением, шарики соприкоснутся, при этом заряд q одного из них разделится между шариками поровну. В результате опять возникнет отталкивание, но слабее первоначального. Найдем характер зависимости расстояния между шариками от заряда шариков. Из формул $F_к = k\dfrac{q^2}{a^2} = mg \cdot \mathrm{tg}\alpha$ и $a = 2l\sin\alpha$ (см. рисунок) при $\alpha \ll 1$, получаем $a = \left(\dfrac{2klq^2}{mg}\right)^{1/3}$. Заменяя q на $q/2$, находим $b = \dfrac{a}{4^{1/3}}$.



7.42. 710 км/с; $2{,}3 \cdot 10^{14}$ с$^{-1}$.

8.1. 5 кВ. **8.2.** –2 нКл. **8.3.** 0,3 мкДж. **8.4.** –0,8 мкДж. **8.5.** 2 кВ.

8.6. –10 кВ. **8.7.** –10 мкДж; увеличилась на 10 мкДж. **8.8.** 15 кВ.

8.9. $5{,}9 \cdot 10^5$ м/с; $1{,}9 \cdot 10^7$ м/с. **8.10.** 2 кэВ; $3{,}2 \cdot 10^{-16}$ Дж.

8.11. На внешней поверхности увеличилась в 2 раза; на внутренней — уменьшилась до нуля. **8.12.** 86 кВ/м. **8.13.** 6 см. **8.14.** 19 нКл.

8.15. Например, поднести к шару заряженное тело.

8.16. $\varphi_A > \varphi_B$, $E_A > E_B$; $\varphi_C > \varphi_D$, $E_C < E_D$.

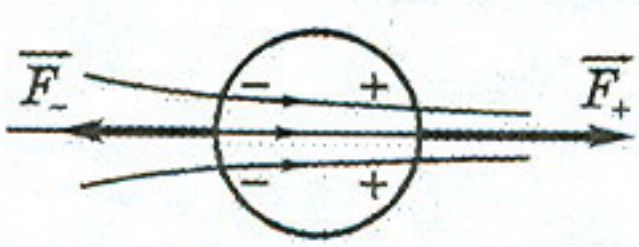
8.17. ***Указание.*** Силовые линии перпендикулярны эквипотенциальным поверхностям и направлены в сторону уменьшения потенциала.

8.18. Во всех случаях работа одинакова. **8.19.** 0,16 мм/с. **8.20.** 280 В.

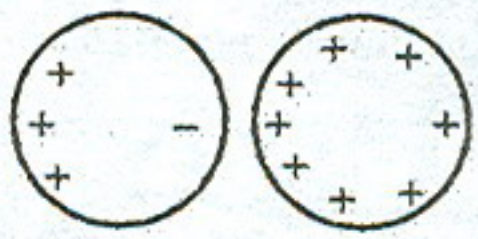
8.21. –68 В. **8.22.** $1{,}1 \cdot 10^8$ м/с. **8.23.** В случае *б*. ***Указание.*** Следует учесть перераспределение заряда по поверхности каждого шарика.

8.24. В случаях *а* и *б* шарик втягивается в область более сильного поля, в случае *в* остается неподвижным. *Решение* Электрическое

поле вызывает в шарике разделение зарядов. Справа на поверхности появляется положительный заряд q, слева — равный ему по модулю отрицательный заряд. Следовательно, в поле на шарик действует сила $\vec{F} = \vec{F}_+ + \vec{F}_- = q(\vec{E}_+ + \vec{E}_-)$. Здесь $\vec{E}_+$ и $\vec{E}_-$ — напряженности поля в области концентрации соответственно положительного и отрицательного зарядов. На рисунке в качестве примера показан случай *а*. В этом случае $E_+ > E_-$ (справа линии напряженности сгущаются), поэтому сила $\vec{F}$ направлена вправо. Рассуждая аналогично, получаем, что в случае *б* она направлена влево. Таким образом, в обоих случаях шарик втягивается в область более сильного поля (например, притягивается к создающему поле заряду). В однородном поле (случай *в*) $F = 0$. Проведенное рассуждение справедливо как для проводников, так и для диэлектриков (в проводнике разделение зарядов происходит вследствие электростатической индукции, в диэлектрике — вследствие поляризации).



К задаче 8.24



К задаче 8.26

К задаче 8.27

8.25. Вследствие разделения зарядов в электрическом поле.

8.26. Могут, если они расположены на небольшом расстоянии и заряд одного тела намного превышает заряд другого (см. рисунок).

8.27. Нельзя, т.к. работа такого поля при перемещении заряда по замкнутой траектории (см. рисунок) могла бы быть отличной от нуля. **8.30.** Напряженность поля увеличится, потенциал уменьшится. **8.31.** 25 см. **8.32.** 52 нс; 0,94 м. ***Указание.*** Протон движется по параболе (подобно телу, брошенному под углом к горизонту).

8.33. $\varphi = 3{,}6$ кВ. ***Решение*** Если в поле данного заряда находится другой заряд q, то его потенциальная энергия $W_p = q\varphi$, а работа кулоновских сил при перемещении заряда $A = -\Delta W_p = q(\varphi_1 - \varphi_2)$. При малом изменении расстояния между зарядами (от r до $r + \Delta r$) можно считать, что кулоновская сила почти не изменяется:

$$A \approx \frac{Qq}{4\pi\varepsilon_0 r^2} \cdot \Delta r \approx \frac{Qq}{4\pi\varepsilon_0 r(r+\Delta r)} \cdot \Delta r \approx q\left(\frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r} - \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 (r+\Delta r)}\right).$$

Нетрудно проверить, что эта формула справедлива независимо от знаков обоих зарядов. Сопоставляя два полученных выражения для работы и учитывая, что при $r \to \infty$ потенциальную энергию принимают равной нулю, получаем $\varphi = Q/(4\pi\varepsilon_0 r)$. Заметим, что потенциальная энергия взаимодействия зарядов $W_p = Qq/(4\pi\varepsilon_0 r)$ положительна для одноименных зарядов (т.е. в случае отталкивания) и отрицательна для разноименных зарядов.

8.34. 18 кВ; 18 кВ.

8.35. Потенциал меньшего шара выше.

8.36. 0,13 нКл; 0.

8.37. 51 кВ. ***8.38.*** –0,21 нКл.

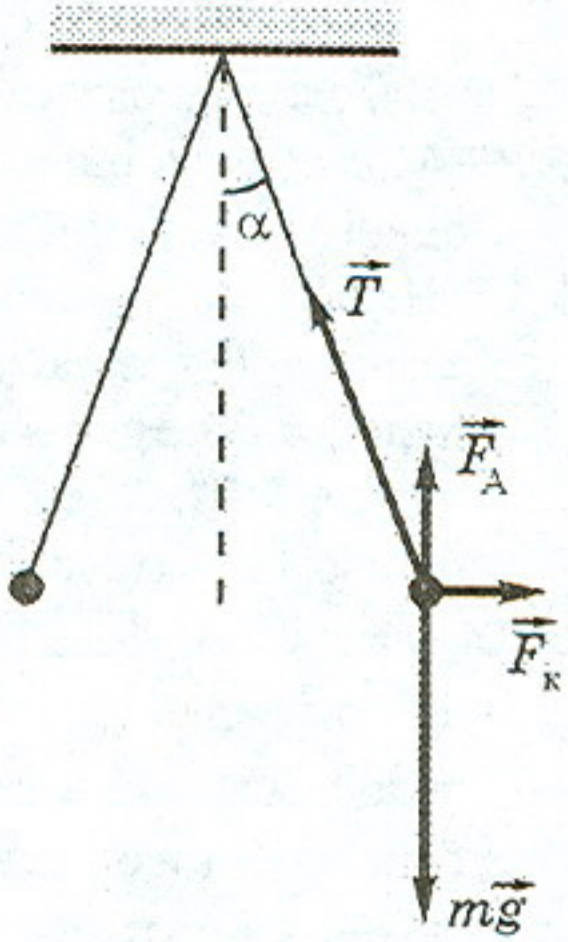
8.39. $E = 0$, $\varphi = \dfrac{Q}{4\pi\varepsilon_0 R}$.

8.40. $\Delta q = 19$ нКл. ***Указание.*** Перераспределение заряда продолжается, пока потенциалы шаров не сравняются.

8.41. 3 м/с.

8.42. 9,2 мм.

8.43. 1500 кг/м^3. **Решение** На рисунке показаны силы, действующие на один из шариков после погружения в машинное масло. Из условия равновесия получаем соотношение $\operatorname{tg}\alpha = \dfrac{F_{\text{км}}}{mg - F_{\text{A}}}$. Здесь



$F_{\text{км}}$ — сила кулоновского отталкивания в масле, F_{A} — архимедова сила. В воздухе архимедова сила практически отсутствует, а кулоновская сила увеличивается в ε раз (ε — диэлектрическая проницаемость масла); поэтому $\operatorname{tg}\alpha = \dfrac{\varepsilon F_{\text{км}}}{mg}$. Отсюда $mg = \dfrac{\varepsilon F_{\text{A}}}{\varepsilon - 1}$. Учитывая соотношения $m = \rho V$ и $F_{\text{A}} = \rho_{\text{м}} g V$, находим $\rho = \dfrac{\varepsilon\rho_{\text{м}}}{\varepsilon - 1}$. Здесь $\rho_{\text{м}}$ — плотность масла.

9.1. а) 20 нКл; б) 0. **9.2.** Неправильно. **9.5.** 10 мкФ. **9.6.** 50 мкКл. **9.7.** 2 В. **9.8.** Увеличится в 3,5 раза. **9.9.** 160 пФ; 48 нКл. **9.10.** 300 В. **9.11.** 1,1 МВ/м. **9.12.** 5 нКл. **9.13.** а) Заряд и напряженность поля уменьшатся в 2 раза, разность потенциалов не изменится. б) Заряд и напряженность поля не изменятся, разность потенциалов увеличится в 2 раза. **9.14.** Заряд не изменится, напряжение уменьшится в 2 раза. **9.15.** 425 нКл.

9.16. а) $C = C_1 + C_2$; б) $C = \dfrac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$. *Решение.* а) Емкость батареи $C = q/U$. Общий заряд батареи $q = q_1 + q_2 = C_1 U + C_2 U$ (напряжение на каждом конденсаторе такое же, как на батарее), откуда получаем $C = C_1 + C_2$. б) В этом случае *заряд* каждого из конденсаторов равен общему заряду батареи. Напряжения на конденсаторах $U_1 = q/C_1$, $U_2 = q/C_2$; полное напряжение на батарее $U = U_1 + U_2 = \dfrac{q(C_1 + C_2)}{C_1 C_2}$, откуда $C = \dfrac{q}{U} = \dfrac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$.

9.17. 5 мкФ; 1,2 мкФ. **9.18.** $q = \dfrac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} U$; $q_A = q$; $q_A + q_B = 0$.

9.19. 11 мДж/м^3. **9.20.** 0,37 Дж/м^3. **9.21.** 2 мкФ. **9.22.** Не изменится; увеличится в 1,5 раза. **9.23.** 250 пФ.

9.24. $q_1 = 30$ мкКл, $q_2 = 12$ мкКл, $q_3 = 18$ мкКл. **9.25.** $C_0 = C_1$. **Указание.** Потенциалы точек A и B одинаковы, включенный между этими точками конденсатор не заряжен. Если его изъять, емкость батареи не изменится.

9.26. $q_1 = q_2 = CU/2$, $q_3 = q_4 = 4CU/5$; $\varphi_D - \varphi_E = -0{,}3U$. *Решение.* Емкость верхней ветви цепи $C/2$, заряды на конденсаторах этой ветви $q_1 = q_2 = CU/2$. Емкость нижней ветви цепи $C_{34} = \dfrac{C_3 C_4}{C_3 + C_4} = \dfrac{4C}{5}$, заряды конденсаторов $q_3 = q_4 = 4CU/5$.

Найдем напряжения на конденсаторах 1 и 3: $U_1 = q_1/C_1 = U/2$, $U_3 = q_3/C_3 = 4U/5$. Поскольку $U_1 = \varphi_D - \varphi_A$ и $U_3 = \varphi_E - \varphi_A$, получаем $\varphi_D - \varphi_E = U_1 - U_3 = -0{,}3U$.

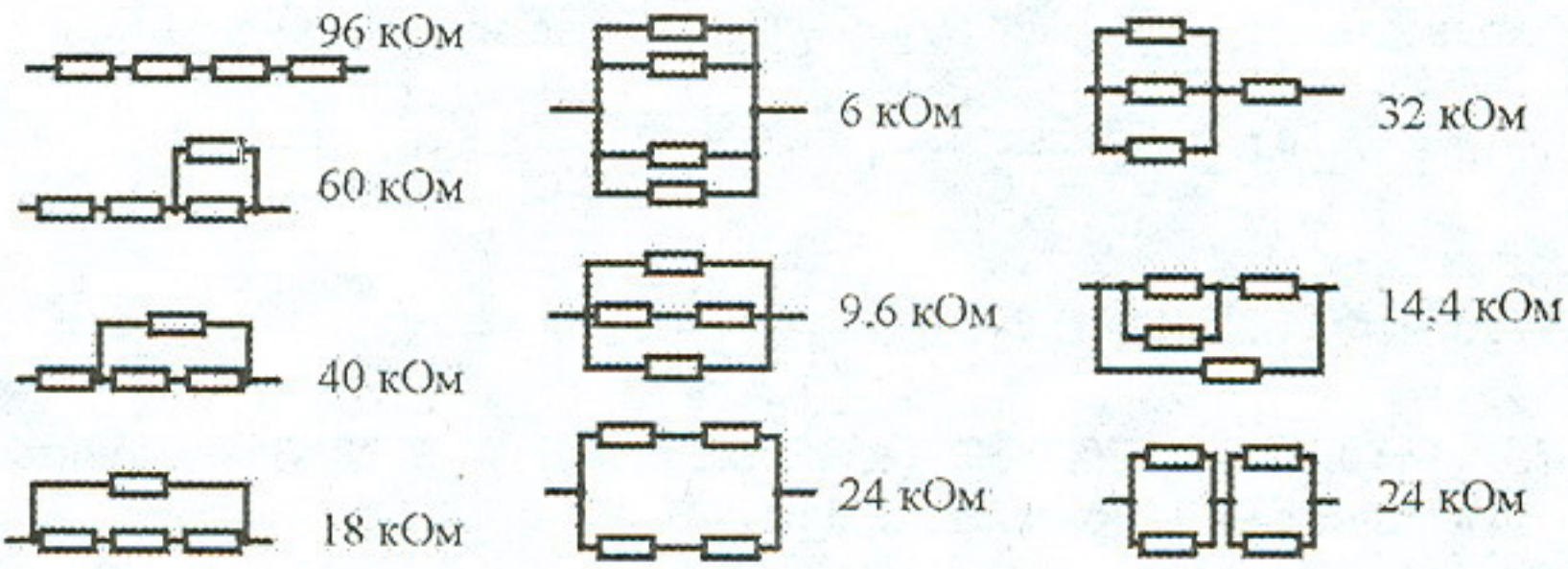
9.27. а) $0{,}6C$; б) $3C$; в) $5C/3$; г) C.

10.3. 8 А. **10.4.** $1{,}8 \cdot 10^5$ Кл. **10.5.** От экрана.

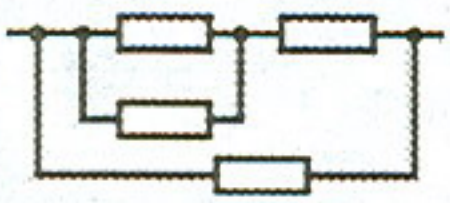
10.6. $6{,}25 \cdot 10^{14}$. **10.7.** 30 м.

10.9. 11 В; 240 Ом. **10.10.** 18 Ом; 18 Ом.

10.11. 20 Ом; последовательно. ***10.12.*** 5 кОм; 1,2 кОм. ***10.13.*** 13,5 А.
10.14. 4 кОм, 6 кОм, 8 кОм, 12 кОм, 18 кОм, 24 кОм, 36 кОм.
10.16. Возможен. ***10.17.*** 12 А.
10.18. $U_1 = U_3 = 10$ В, $U_2 = 20$ В, $I_1 = I_3 = 1$ А, $I_2 = 2$ А.
10.19. $I_1 = I_5 = 4$ мА, $I_2 = I_4 = I_6 = 1$ мА, $I_3 = 3$ мА.
10.20. а) 4 Ом; б) 6 Ом.
10.21. $l = \sqrt{mR/(\rho d)} = 340$ м; $S = \sqrt{\rho m/(dR)} = 0{,}1$ мм^2. Здесь ρ, d — соответственно удельное сопротивление и плотность меди.
10.22. Всего можно получить 15 значений сопротивления. На рисунке показаны соединения четырех резисторов. Сопротивления 8 кОм, 12 кОм, 16 кОм, 24 кОм, 36 кОм, 48 кОм, 72 кОм можно получить, используя не более трех резисторов.



10.23. 2 Ом. ***10.24.*** 300 В.
10.25. 6,65 см. **Решение** Если при полной силе тока в цепи I в гальванометре идет ток $I_г$, то сила тока в шунте $I_ш = I - I_г$. Из соотношений $I_г R_г = I_ш R_ш$ и $R_ш = \rho l/S$ находим $l = \dfrac{S I_г R_г}{\rho (I - I_г)}$.
10.26. 2,46 кОм. ***10.27.*** $R = 61{,}2$ Ом; $\Delta R = 1{,}2$ Ом; $\varepsilon_R = 0{,}02$. ***10.28.*** Четыре резистора (см. рисунок). ***10.29.*** а) 333 Ом; б) 600 Ом; в) 1 кОм.

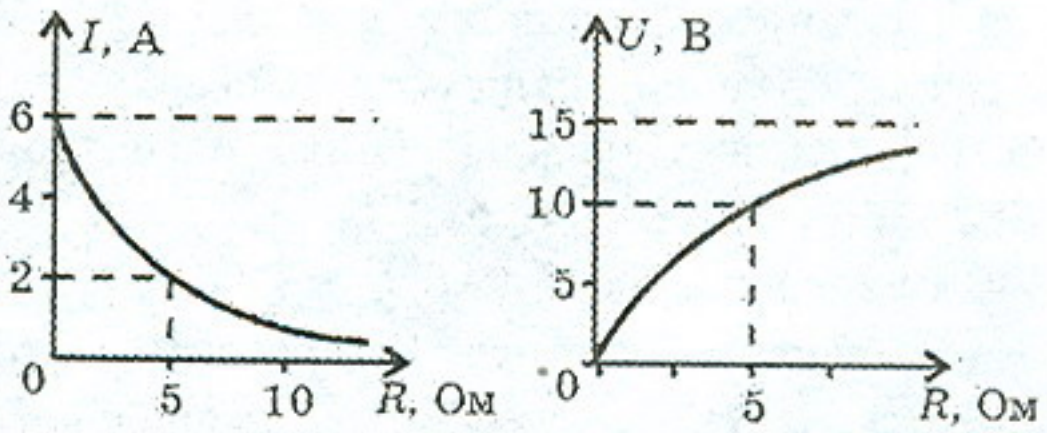

К задаче 10.28

11.1. Неправильно. ***11.2.*** Полная работа кулоновских сил равна нулю. ***11.4.*** 120 Дж.
11.5. 1 А; 5,5 В. ***11.6.*** 8 А; 92 Вт. ***11.7.*** 24 А. ***11.8.*** 14 м.
11.9. а) $P_1 = 4P_2$; б) $P_2 = 4P_1$. ***11.10.*** а) 180 Вт; б) 960 Вт. ***11.11.*** 73,5%.
11.12. 0,35 А.
11.14. При сопротивлении внешней цепи, равном внутреннему сопротивлению источника. ***11.15.*** 5 В; 1 Ом.
11.16. 18 В; 4 Ом. ***11.17.*** 37,5 В; 3,75 Ом. ***11.18.*** 5,5 Ом; 0,5 Ом.

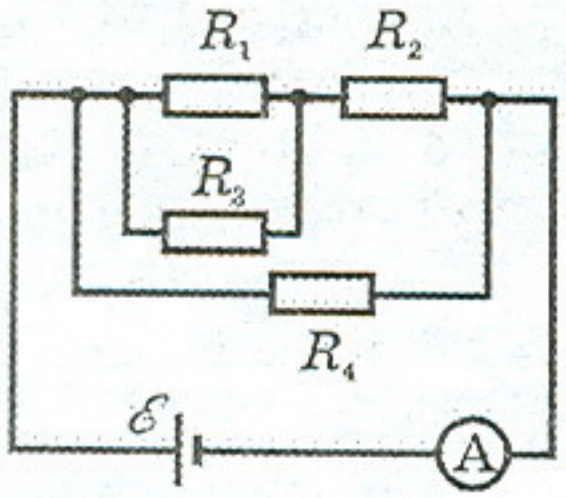
11.19. $U = 30$ В; $I_1 = 3{,}75$ А; $I_2 = 1{,}25$ А. **Решение** Сопротивление внешней цепи $R = R_1R_2/(R_1 + R_2)$, сила тока в цепи $I = \dfrac{\mathscr{E}}{R + r}$. Напряжение в цепи $U = IR$, $I_1 = U/R_1$, $I_2 = U/R_2$.

11.20. Показание амперметра увеличится, а вольтметра — уменьшится.

11.21. а) 8 В; б) 4 В. **11.22.** 55 В; 45 В. **11.23.** См. рисунок.



К задаче 11.23



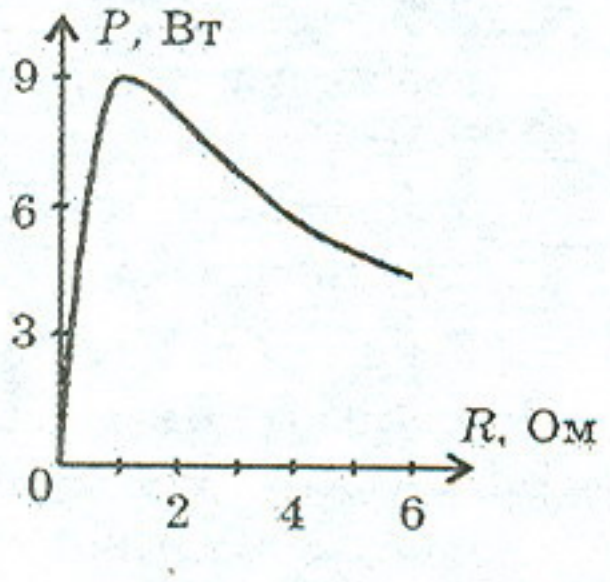
К задаче 11.28

11.24. 0,1 А; 14,6 В. **11.25.** а) 4,5 В; 0,9 Ом; б) 1,5 В; 0,1 Ом.

11.26. При $R = 1$ Ом. **Решение** Сила тока $I = \dfrac{\mathscr{E}}{R + r}$. Мощность тока в реостате

$$P = I^2R = \frac{\mathscr{E}^2R}{(R + r)^2} = \frac{\mathscr{E}^2}{\left(\sqrt{R} + r/\sqrt{R}\right)^2}.$$

Значение мощности максимально, когда знаменатель принимает минимальное значение. Воспользуемся неравенством, справедливым для всех неотрицательных значений a и b: $a + b \geqslant 2\sqrt{ab}$, причем равенство достигается лишь при $a = b$. Из этого неравенства следует, что максимальное значение мощности достигается при $R = r$. График зависимости $P(R)$ приведен на рисунке.



11.27. 6 В; 1 Ом. ***Указание.*** Продлите график до пересечения с осями координат: в разомкнутой цепи $U = \mathscr{E}$, при коротком замыкании $U = 0$.

11.28. 4 А. ***Указание.*** Эквивалентная схема цепи приведена на рисунке.

11.29. 2 Ом. **11.30.** 2 А. ***Указание.*** Сравните с задачей 9.25.

11.31. $I_A = 6$ А. ***Указание.*** Нарисуйте эквивалентную схему цепи, из которой изъят амперметр, и найдите силу тока через каждый из резисторов. Затем воспользуйтесь тем, что суммарная сила тока, «втекающая» в каждый узел цепи, равна суммарной силе тока, «вытекающей» из этого узла.

11.32. $U_1 = 4$ В, $U_2 = 0$ (второй источник работает в режиме короткого замыкания). **11.33.** 1 А.

11.34. $I_1 = 0{,}75$ А; $U_1 = 5{,}63$ В; $I_2 = 1{,}06$ А; $U_2 = 6{,}37$ В; $I_3 = 0{,}31$ А; $U_3 = 0{,}63$ В. **11.35.** 2,4 В.

12.2. Параллельно линиям магнитной индукции. **12.3.** Северным полюсом к нам; северным полюсом от нас. **12.5.** Клемма *C*.

12.6. 0,18 Н. **12.7.** 25 мТл. **12.8.** 30°. **12.9.** $1{,}44 \cdot 10^{-12}$ Н.

12.10. $2{,}8 \cdot 10^{-14}$ Н. **12.11.** Отталкиваются. **12.12.** 0; 40 мН; 80 мН.

12.13. Вниз. **12.14.** К нам. **12.15.** Кинетическая энергия и модуль импульса не изменяются; направление импульса изменяется.

12.16. Вниз. **12.17.** Против часовой стрелки, если смотреть сверху.

12.19. Плоскость рамки должна быть параллельна линиям магнитной индукции. **12.24.** а) 0; б) 20 мТл. **12.25.** а) 0; б) $2B_0$.

12.26. а) слева направо; 9,8 А; б) справа налево; 19,6 А.

12.27. На 27°. Решение На проводник действует в горизонтальном направлении сила Ампера $F_A = BIl \cdot \sin 90° = BIl$. Равнодействующая этой силы и силы тяжести должна быть направлена параллельно проводам подвеса, откуда находим $\operatorname{tg}\alpha = \dfrac{BIl}{mg}$.

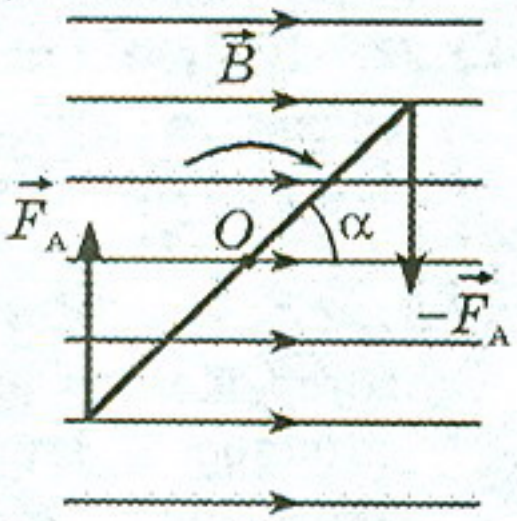
12.28. 2,3 мм. **12.29.** 2,8 мТл. **12.30.** 96 км/с. **12.31.** Для того, чтобы к пробке притягивались попавшие в масло стальные опилки.

12.32. Чем выше температура, тем слабее намагничиваются стальные отливки; при температуре выше точки Кюри они практически не намагничиваются.

12.33. Рис. *в* (если вектор $\vec{B}$ направлен от нас) и рис. *г* (если вектор $\vec{B}$ направлен к нам). **12.34.** Форму окружности.

12.35. В обоих положениях плоскость рамки перпендикулярна линиям индукции магнитного поля. В положении устойчивого равновесия направление тока в рамке связано с направлением магнитного поля правилом буравчика (при этом силы Ампера, действующие на стороны рамки, стремятся растянуть рамку).

12.37. Пусть рамка находится в горизонтальном магнитном поле и вращается вокруг вертикальной оси *O*; a и b — длины соответственно горизонтальной и вертикальной сторон рамки. В этом случае вращающий момент создают только силы Ампера, действующие на вертикальные стороны рамки (см. рисунок, на котором показан вид сверху). Найдем суммарный вращающий момент M этих сил относительно оси *O*:



$$M = 2 \cdot F_A \cdot \frac{a}{2} \cos\alpha = 2 \cdot BIb \cdot \frac{a}{2} \cos\alpha = BIS \cdot \cos\alpha.$$

Можно доказать, что это выражение справедливо для любого плоского контура, причем ось вращения может и не являться осью симметрии этого контура.

12.38. Когда плоскость кольца параллельна линиям магнитной индукции; 0,16 мН·м.

12.39. 1 мм. Решение. В электрическом поле электрон приобрел скорость $v = \sqrt{\frac{2eU}{m_e}}$ (это следует из соотношения $eU = \frac{m_e v^2}{2}$).

В магнитном поле центростремительное ускорение сообщает электрону сила Лоренца. Следовательно, $m_e v^2 / r = evB$. Отсюда получаем $r = \frac{1}{B}\sqrt{\frac{2m_e U}{e}}$.

12.40. 2,5 см. **12.41.** 300 В. **12.42.** $\frac{q}{m} = \frac{2U}{B^2 R^2}$.

12.43. 5 см.

12.44. Радиус орбиты протона больше в 1836 раз; период обращения протона больше в 1836 раз. **12.45.** Радиус орбиты протона больше в 43 раза; период обращения протона больше в 1836 раз.

12.46. $r_2 = 2r_1$; периоды обращения обоих электронов одинаковы.

12.47. ***Указание.*** На заряженную частицу в приборе действуют кулоновская сила и сила Лоренца. Чтобы частица пролетела через прибор, эти силы должны компенсировать друг друга.

12.48. $4 \cdot 10^5$ м/с; перпендикулярно векторам $\vec{E}$ и $\vec{B}$ (направления кулоновской силы и силы Лоренца должны быть противоположны).

12.49. Ответ не изменится. **12.50.** По винтовой линии с радиусом $r = \frac{mv \sin\alpha}{eB}$ и шагом $h = \frac{2\pi mv \cos\alpha}{eB}$. **12.51.** 1,2 мТл; 7,3 см.

12.52. $\varphi_C < \varphi_D$. ***Указание.*** При прохождении тока сила Лоренца отклоняет движущиеся электроны вверх, т.е. происходит разделение зарядов. **12.53.** Увеличивается.

12.54. Иголка, притягиваясь к магниту, попадает в пламя свечи. Нагревшись до температуры Кюри, сталь становится парамагнетиком. Удаляясь от магнита, иголка выходит из пламени свечи, остывает, и сталь снова становится ферромагнетиком. После этого процесс повторяется.

13.2. 40 мТл. **13.3.** 5,4 мВб. **13.5.** 2 В. **13.6.** 0,27 В. **13.7.** 6,9 мВ.
13.8. 6 м/с. **13.10.** 50 мкГн. **13.11.** 0,3 В. **13.12.** 600 А/с. **13.13.** 0,1 Гн.
13.14. 5 Дж. **13.15.** 1 А. **13.16.** 0,4 Гн.

13.19. а) по часовой стрелке; б) против часовой стрелки.

Указание. Магнитное поле индукционного тока направлено: а) при замыкании ключа — противоположно магнитному полю витка; б) при размыкании ключа — в ту же сторону, что и магнитное поле витка.

13.21. а, б, в) — может; г) — не может. **13.22.** а) 0; б) 2 В.

13.23. Уменьшится. **13.24.** Чтобы возникающие при толчках колебания стрелок приборов быстрее затухали.

13.26. Решение В трубе при движении магнита возникают вихревые токи. Согласно правилу Ленца магнитное поле этих токов препятствует падению магнита. Тормозящая сила возрастает с увеличением скорости падения (в этом смысле движение магнита напоминает падение тела в жидкости или газе). Ускорение магнита постепенно уменьшается, и, если труба достаточно длинная, движение магнита становится равномерным.

13.27. Колебания будут быстрее затухать. **13.28.** На 4 мВб.

13.29. 1000 витков. **13.30.** 60°.

13.32. 2,7 В/м. Решение Силовые линии вихревого электрического поля представляют собой окружности. Поэтому при прохождении через виток катушки заряда q вихревое поле совершает работу $A = F \cdot 2\pi r = qE \cdot 2\pi r$. С другой стороны, $A = q\mathscr{E}_{si}$. Отсюда находим $E = \mathscr{E}_{si}/(2\pi r)$.

13.33. 1,5 В/м. **13.34.** 9,2 А.

13.35. 0,2 В. **13.36.** На 0,12 Дж.

13.37. 0,5 мКл. Решение Разобьем мысленно весь процесс на такие короткие этапы, что на протяжении каждого из них скорость изменения магнитного потока можно считать постоянной. Используем закон Ома для полной цепи и закон электромагнитной индукции: $IR = \mathscr{E}_i = -\Delta\Phi/\Delta t$. В течение каждого этапа через проводник проходит заряд $\Delta q = I\Delta t = -\Delta\Phi/R$. Просуммировав аналогичные соотношения для всех этапов процесса, получим $q = (\Phi_1 - \Phi_2)/R$.

13.38. а) 0,84 Кл; б) 1,7 Кл. **13.39.** 6,85 мкКл.

13.40. Лампа 1 загорается раньше; лампы гаснут одновременно.

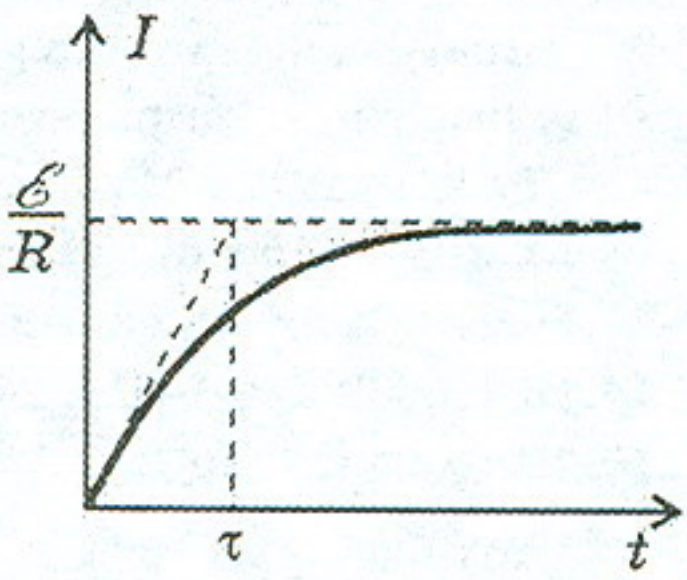
13.41. $\Phi = \pi r^2 B$. ***Указание.*** В сверхпроводящем контуре при изменении магнитного поля возникает такой незатухающий индукцион-

ный ток, что магнитный поток не изменяется (это следует из условия $\mathscr{E}_i = 0$). **13.42.** $I = \dfrac{\pi N B r^2}{L}$. **13.43.** $I = \dfrac{\omega B l^2}{4R}$.

13.44. *Решение* При движении стержня в нем индуцируется ЭДС $\mathscr{E}_i = Bvl$ и возникает индукционный ток $I = \mathscr{E}_i/R$. На стержень действует сила Ампера $F_A = BIl = B^2l^2v/R$, направленная противоположно скорости (эта сила напоминает силу сопротивления среды, т.е. возрастает с возрастанием скорости). Ускорение стержня постепенно уменьшается, и в конце концов (если рельсы достаточно длинные) движение стержня станет равномерным. Из условия $F_A = F$ находим установившуюся скорость движения $v = \dfrac{FR}{B^2l^2}$.

13.45. $I = \dfrac{\pi r^2 a B_0}{R}$; разность потенциалов между *любыми* двумя точками кольца равна нулю (разделения зарядов не происходит, кулоновское поле отсутствует).

13.46. *Решение* Согласно закону Ома для всей цепи $IR = \mathscr{E} - L\dfrac{\Delta I}{\Delta t}$. Отсюда $\dfrac{\Delta I}{\Delta t} = \dfrac{\mathscr{E}}{L} - I\dfrac{R}{L}$. Сразу после подключения $I = 0$, поэтому сила тока начнет возрастать со скоростью $\dfrac{\Delta I}{\Delta t} \approx \dfrac{\mathscr{E}}{L}$. При увеличении силы тока скорость ее возрастания уменьшается и стремится к нулю при $I \to \mathscr{E}/R$ (см. рисунок). Время τ можно оценить, разделив изменение силы тока $\mathscr{E}/R$ на начальную скорость ее роста $\mathscr{E}/L$, что дает $\tau \sim L/R$. Отметим, что τ не зависит от $\mathscr{E}$. К такому же выводу можно было прийти из соображений размерности или составив баланс энергии: $\mathscr{E}I\tau \sim LI^2/2$.



13.47. В двух сторонах квадрата по 375 мВ; в двух других — по 650 мВ; общая ЭДС равна нулю. **13.48.** 0,4 Кл. **13.49.** 0,4 Дж. **13.50.** Электродвигатель начинает работать как генератор; потенциальная энергия груза переходит в конечном счете во внутреннюю энергию.

13.52. Решение Нагревание обмотки двигателя зависит только от силы тока. При вращении двигателя в его обмотке наводится ЭДС индукции, вызывающая согласно правилу Ленца *уменьшение* силы тока. Поскольку двигатель под нагрузкой вращается медленнее, ЭДС индукции в нем меньше, и поэтому сила тока больше. Значит, двигатель нагревается сильнее, когда он совершает работу.

13.53. 300 Вт; 5 А. Решение Полезная мощность электродвигателя равна разности полной мощности тока и мощности тепловых потерь в обмотках: $N = IU - I^2R$. Заметим, что в данном случае $U \neq IR$, поскольку возникает ЭДС индукции. Максимум функции $N(I)$ можно найти с помощью производной или выделив полный квадрат: $N = \dfrac{U^2}{4R} - R\left(\dfrac{U}{2R} - I\right)^2$.

14.1. $6{,}25 \cdot 10^9$. **14.2.** 0,13 мм/с. **14.3.** –47 °С. **14.4.** 0,003 $К^{-1}$.

14.6. 1 — освещенный фоторезистор; 2 — затемненный; уменьшилось в 4 раза. **14.7.** Характеристика 1 соответствует более высокой температуре, чем характеристика 2; $R_1 = 5$ кОм; $R_2 = 10$ кОм.

14.9. Дырочную; дырочную; электронную; электронную. **14.10.** 6,7 ч. **14.11.** 4 А. **14.12.** 450 Кл.

14.13. а) $v_2 = 4v_1$; б) $v_2 = v_1$. **14.14.** а) $v_2 = v_1$; б) $v_2 = 2v_1$.

14.15. Накал той части спирали, куда не попала вода, увеличится.

14.16. 0,0039 $К^{-1}$. **14.17.** 2400 °С. **14.18.** Увеличивается в 1,23 раза.

14.19. 0,004 $К^{-1}$. Решение Пусть R_0 — сопротивление проволочной катушки при 0 °С. Тогда $R_1 = R_0(1 + \alpha t_1)$, $R_2 = R_0(1 + \alpha t_2)$. Исключая R_0, получаем $\alpha = \dfrac{R_2/R_1 - 1}{t_2 - (R_2/R_1)t_1}$.

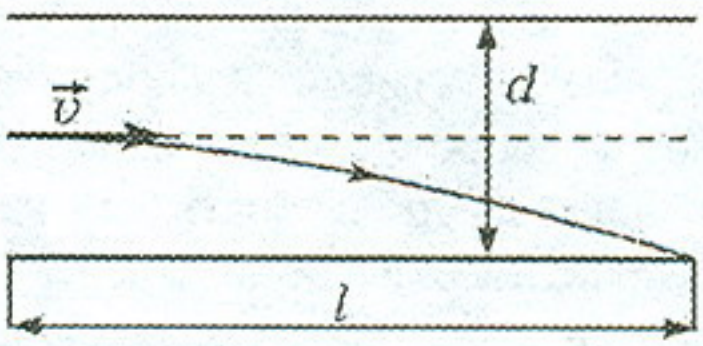
14.20. $1{,}5 \cdot 10^8$.

14.21. а) 1,8 нс; б) 4,5 нс. Решение В пространстве между катодом и анодом электроны летят равноускоренно, т.к. на них действует постоянная сила $F = eE$, где $E = U/s_1$. Расстояние между анодом и катодом они пролетают за время $\tau_1 = \sqrt{\dfrac{2s_1}{a}} = \sqrt{\dfrac{2m_e d^2}{eU}}$. В пространстве между анодом и экраном электроны уже летят равномерно — электрического поля там нет. При этом их скорость

$v = \sqrt{2eU/m_e}$. Время движения электронов на этом участке составляет $\tau_2 = s_2/v = s_2\sqrt{m_e/(2eU)}$.

14.22. Не менее 26 В.

14.23. 100 В. *Решение* Движение электрона, влетевшего в конденсатор параллельно его пластинам, напоминает движение тела, брошенного горизонтально (см. рисунок). Электроны не будут вылетать из конденсатора, если $at^2/2 \geqslant d/2$. Ускорение $a = \dfrac{eE}{m_e} = \dfrac{eU_2}{dm_e}$, а время движения электрона в конденсаторе



$t = \dfrac{l}{v} = l\sqrt{\dfrac{m_e}{2eU_1}}$. Отсюда $U_2 = 2d^2U_1/l^2$.

14.24. $2{,}7 \cdot 10^7$ м/с; под углом 41° к пластинам. **14.25.** 600 В.

14.27. $6{,}6 \cdot 10^{-7}$ кг/Кл; $3{,}3 \cdot 10^{-7}$ кг/Кл. **14.28.** 10^{-3} моль.

14.29. а) Количество меди одинаково. б) Больше меди выделится на катоде первой ванны. **14.30.** В ванне с раствором CuCl.

14.31. 15 мкм. *Решение* Из закона электролиза $m = \dfrac{M}{eN_A n} \cdot I \cdot \Delta t$ и соотношения $m = \rho V = \rho h S$ получаем $h = \dfrac{MI\Delta t}{eN_A n \rho S}$.

14.32. 6 ч. **14.33.** $6 \cdot 10^9$ Дж (1700 кВт·ч). **14.34.** 130 МДж (37 кВт·ч).

14.36. Дуга погаснет; дуга не изменится.

14.37. 480 нА. *Решение* Сила тока $I = \dfrac{\Delta q}{\Delta t} = \dfrac{enV}{\Delta t}$. Следует обратить внимание на то, что *пара* однозарядных ионов переносит с катода на анод *один* электрон.

14.38. $2{,}1 \cdot 10^9$. **14.39.** Ток будет протекать. *Указание.* На длине свободного пробега электроны приобретают энергию, превышающую энергию ионизации атомов водорода.

14.40. 1 МА/м^2. **Решение** Плотность тока $j = I/S$. Воспользуемся законом Ома $I = U/R$, формулой $R = \rho l/S$ и соотношением $U = El$. Для плотности тока получаем $j = U/(RS) = E/\rho$.

14.41. 0,19 мм/с. **Решение** Воспользуемся соотношением $I = en\upsilon S$. Согласно условию концентрация электронов проводимости равна удвоенной концентрации ионов меди: $n = 2\rho N_A/M$. Отсюда получаем $\upsilon = IM/(2eN_A\rho S)$.

14.42. 0,22 мм/с. **14.43.** В вольфрамовой нити больше в 1300 раз.

14.44. Уменьшилась. **14.45.** Увеличится.

14.46. а) Уменьшится в 200 раз. б) Практически не изменится.

14.47. а) Практически не изменится. б) Увеличится в 1000 раз.

14.48. В данном случае нельзя считать сопротивление амперметра бесконечно малым, а сопротивление вольтметра — бесконечно большим. Схему *а* нельзя использовать для измерения обратного тока через диод (практически весь ток пойдет через вольтметр). Схему *б* нельзя использовать для измерения напряжения при прямом токе (напряжение на амперметре намного превышает напряжение на диоде).

14.49. 18 мин. **14.50.** 5,8 нм/с. **14.51.** 313 К. ***Указание.*** Следует учесть, что выделившиеся при электролизе *атомы* кислорода образуют двухатомные *молекулы*.

14.52. $3{,}8 \cdot 10^9$ Кл. **14.53.** 2,7 Мм/с. **14.54.** Уменьшилось на 18 В.

ПРИЛОЖЕНИЕ

ФИЗИЧЕСКИЕ ПОСТОЯННЫЕ

Гравитационная постоянная $G = 6{,}67 \cdot 10^{-11}$ Н $\cdot$ м^2/кг^2

Постоянная Авогадро $N_A = 6{,}02 \cdot 10^{23}$ моль$^{-1}$

Постоянная Больцмана $k = 1{,}38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К

Универсальная газовая постоянная $R = k \cdot N_A = 8{,}31$ Дж/(моль $\cdot$ К)

Элементарный электрический заряд $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл

Электрическая постоянная $\varepsilon_0 = 8{,}85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м

$$\left(\frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \text{ Н} \cdot \text{м}^2/\text{Кл}^2\right)$$

Масса электрона $m_e = 9{,}1 \cdot 10^{-31}$ кг

Масса протона $m_p = 1{,}67 \cdot 10^{-27}$ кг

СПРАВОЧНЫЕ ТАБЛИЦЫ

1. Плотность веществ

Твердые тела		Жидкости		Газы (при нормальных условиях)	
Вещество	ρ, кг/м^3	Вещество	ρ, кг/м^3	Вещество	ρ, кг/м^3
Алюминий	2700	Бензин	700	Водород	0,09
Вольфрам	19300	Вода	1000	Воздух	1,29
Германий	5300	Вода морская	1030	Гелий	0,18
Железо	7800	Керосин	800	Кислород	1,43
Лед	900	Масло машинное	900		
Медь	8900	Ртуть	13600		
Никель	8900	Спирт	800		
Серебро	10500				
Сталь	7800				
Хром	7200				

2. Тепловые свойства веществ

Твердые тела

Вещество	Удельная теплоемкость, кДж/(кг · К)	Температура плавления, °С	Удельная теплота плавления, кДж/кг
Алюминий	0,88	660	380
Вольфрам	0,13	3387	185
Лед	2,1	0	330
Медь	0,38	1083	180
Свинец	0,13	327	25
Сталь	0,46	1400	82

Жидкости

Вещество	Удельная теплоемкость, кДж/(кг · К)	Температура кипения при нормальном атмосферном давлении, °С	Удельная теплота парообразования при нормальном атмосферном давлении и температуре кипения, МДж/кг
Вода	4,2	100	2,3
Ртуть	0,12	357	0,29
Спирт	2,4	78	0,85

Удельная теплоемкость газов при постоянном давлении

Водород	14,3
Воздух	1,01
Кислород	0,91

3. Поверхностное натяжение жидкостей при 20 °С, мН/м

Вода	73	Ртуть	510
Мыльный раствор	40	Спирт	22

4. Зависимость давления $p_н$ и плотности $\rho_н$ насыщенного водяного пара от температуры t

t, °С	$p_н$, кПа	$\rho_н$, г/м^3	t, °С	$p_н$, кПа	$\rho_н$, г/м^3
0	0,61	4,8	18	2,07	15,4
3	0,76	6,0	19	2,20	16,3
6	0,93	7,3	20	2,33	17,3
10	1,23	9,4	25	3,17	23,0
15	1,71	12,8	30	4,24	30,4
16	1,81	13,6	50	12,34	82,9
17	1,93	14,5	90	70,11	423,3

5. Психрометрическая таблица

Показания сухого термометра, °С	Разность показаний сухого и влажного термометров, °С									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Относительная влажность, %									
6	100	86	73	60	47	35	23	10	—	—
8	100	87	75	63	51	40	28	18	7	—
10	100	88	76	65	54	44	34	24	14	5
12	100	89	78	68	57	48	38	29	20	11
14	100	89	79	70	60	51	42	34	25	17
16	100	90	81	71	62	54	45	37	30	22
18	100	91	82	73	65	56	49	41	34	27
20	100	91	83	74	66	59	51	44	37	30
22	100	92	83	76	68	61	54	47	40	34

6. Удельная теплота сгорания топлива, МДж/кг

Бензин	46
Дизельное топливо	43
Керосин	46

7. Предел прочности на растяжение $\sigma_{пч}$ и модуль упругости E

Вещество	$\sigma_{пч}$, МПа	E, ГПа
Алюминий	100	70
Медь	50	120
Сталь	500	200

8. Температурный коэффициент линейного расширения твердых тел, 10^{-5} $К^{-1}$

Железо	1,2
Константан	1,5
Медь	1,7
Сталь	1,2

9. Диэлектрическая проницаемость

Вода	81	Парафин	2
Керосин	2,1	Слюда	7
Масло машинное	2,5		

10. Удельное сопротивление ρ при 20 °С и температурный коэффициент сопротивления α проводников

Вещество	ρ, 10^{-8} Ом·м	α, $К^{-1}$	Вещество	ρ, 10^{-8} Ом·м	α, $К^{-1}$
Алюминий	2,8	0,0042	Никелин	42	0,0001
Вольфрам	5,5	0,0048	Нихром	110	0,0001
Константан	50	–0,00005	Уголь	4000	–0,0008
Медь	1,7	0,0043			

ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА

ПЕРИОД	РЯД	ГРУППЫ I	II	III	IV	V
1	1	1 H 1,00797 ВОДОРОД				
2	2	3 Li 6,939 ЛИТИЙ	4 Be 9,0122 БЕРИЛЛИЙ	5 B 10,811 БОР	6 C 12,01115 УГЛЕРОД	7 N 14,0067 АЗОТ
3	3	11 Na 22,9898 НАТРИЙ	12 Mg 24,31 МАГНИЙ	13 Al 26,9815 АЛЮМИНИЙ	14 Si 28,086 КРЕМНИЙ	15 P 30,9738 ФОСФОР
4	4	19 K 39,102 КАЛИЙ	20 Ca 40,08 КАЛЬЦИЙ	21 44,956 Sc СКАНДИЙ	22 47,90 Ti ТИТАН	23 50,942 V ВАНАДИЙ
	5	29 63,546 Cu МЕДЬ	30 65,37 Zn ЦИНК	31 Ga 69,72 ГАЛЛИЙ	32 Ge 72,59 ГЕРМАНИЙ	33 As 74,92 МЫШЬЯК
5	6	37 Rb 85,47 РУБИДИЙ	38 Sr 87,62 СТРОНЦИЙ	39 88,905 Y ИТТРИЙ	40 91,22 Zr ЦИРКОНИЙ	41 92,906 Nb НИОБИЙ
	7	47 107,868 Ag СЕРЕБРО	48 112,40 Cd КАДМИЙ	49 In 114,82 ИНДИЙ	50 Sn 118,69 ОЛОВО	51 Sb 121,75 СУРЬМА
6	8	55 Cs 132,905 ЦЕЗИЙ	56 Ba 137,34 БАРИЙ	57 * 138,91 La ЛАНТАН	72 178,49 Hf ГАФНИЙ	73 180,95 Ta ТАНТАЛ
	9	79 196,967 Au ЗОЛОТО	80 200,59 Hg РТУТЬ	81 Tl 204,37 ТАЛЛИЙ	82 Pb 207,19 СВИНЕЦ	83 Bi 208,98 ВИСМУТ
7	10	87 Fr (223) ФРАНЦИЙ	88 Ra (226) РАДИЙ	89 ** (227) Ac АКТИНИЙ	104 Ku (260) КУРЧАТОВИЙ	

* ЛАНТАНОИДЫ

58 140,12 Ce ЦЕРИЙ	59 140,91 Pr ПРАЗЕОДИМ	60 144,24 Nd НЕОДИМ	61 (145) Pm ПРОМЕТИЙ	62 150,35 Sm САМАРИЙ	63 151,96 Eu ЕВРОПИЙ	64 157,25 Gd ГАДОЛИНИЙ
65 158,92 Tb ТЕРБИЙ	66 162,50 Dy ДИСПРОЗИЙ	67 164,93 Ho ГОЛЬМИЙ	68 167,26 Er ЭРБИЙ	69 168,93 Tm ТУЛИЙ	70 173,04 Yb ИТТЕРБИЙ	71 174,97 Lu ЛЮТЕЦИЙ

ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

ЭЛЕМЕНТОВ

VI	VII	VIII			0
					2 He 4,0026 ГЕЛИЙ
8 O 15,9994 КИСЛОРОД	9 F 18,9984 ФТОР				10 Ne 20,183 НЕОН
16 S 32,064 СЕРА	17 Cl 35,453 ХЛОР				18 Ar 39,948 АРГОН
24 51,996 Cr ХРОМ	25 54,938 Mn МАРГАНЕЦ	26 55,847 Fe ЖЕЛЕЗО	27 58,933 Co КОБАЛЬТ	28 58,71 Ni НИКЕЛЬ	
34 78,96 Se СЕЛЕН	35 79,90 Br БРОМ				36 83,80 Kr КРИПТОН
42 95,94 Mo МОЛИБДЕН	43 (99) Tc ТЕХНЕЦИЙ	44 101,07 Ru РУТЕНИЙ	45 102,905 Rh РОДИЙ	46 106,4 Pd ПАЛЛАДИЙ	
52 Te 127,60 ТЕЛЛУР	53 I 126,904 ИОД				54 Xe 131,30 КСЕНОН
74 183,85 W ВОЛЬФРАМ	75 186,2 Re РЕНИЙ	76 190,2 Os ОСМИЙ	77 192,2 Ir ИРИДИЙ	78 195,09 Pt ПЛАТИНА	
84 (210) Po ПОЛОНИЙ	85 (210) At АСТАТ				86 Rn (222) РАДОН

** АКТИНОИДЫ

90 232,038 Th ТОРИЙ	91 (231) Pa ПРОТАКТИНИЙ	92 238,03 U УРАН	93 (237) Np НЕПТУНИЙ	94 (242) Pu ПЛУТОНИЙ	95 (243) Am АМЕРИЦИЙ	96 (247) Cm КЮРИЙ
97 (247) Bk БЕРКЛИЙ	98 (249) Cf КАЛИФОРНИЙ	99 (254) Es ЭЙНШТЕЙНИЙ	100 (253) Fm ФЕРМИЙ	101 (256) Md МЕНДЕЛЕВИЙ	102 (256) (No) (НОБЕЛИЙ)	103 (257) Lr ЛОУРЕНСИЙ