А.В.Русаков, В.Г.Сухов

СБОРНИК ЗАДАЧ ПО ФИЗИКЕ. МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА. ТЕРМОДИНАМИКА. ЭЛЕКТРОСТАТИКА. ПОСТОЯННЫЙ ТОК. МАГНИТНОЕ ПОЛЕ

Физико-математическая школа N2 г.Сергиев Посад 1999 г.

Данное учебное пособие представляет собой сборник задач по физике за курс 10 класса, составленный на основе задач, предлагаемых учащимся физико - математической школы № 2 г. Сергиева Посада. Сборник задач соответствует программе углубленного курса физики для средней школы. Все задачи снабжены ответами. Многие из задач, включенных в сборник, предлагались на вступительных экзаменах в ведущие ВУЗы Москвы (МФТИ, МГУ, МИФИ и др.). В данном пособии широко представлены задачи физических олимпиад различных уровней. Многие интересные и полезные, по мнению авторов, задачи взяты из других широко известных задачников.

Пособие может быть полезно для учащихся и учителей средних школ, лиц, занимающихся подготовкой к поступлению в ВУЗы и самообразованием.

Авторы с благодарностью примут все конструктивные замечания и предложения читателей.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Молекулярная физика 3
2. Законы идеального газа 7
3. Работа газа. Первое начало термодинамики 18
4. Второе начало термодинамики 28
5. Влажность 11
6. Поверхностное натяжение 35
7. Уравнение теплового баланса. Фазовые переходы 42
8. Тепловое расширение. Деформации 45
9. Закон Кулона 48
10. Напряженность и потенциал. Энергия системы зарядов 52
11. Теорема Гаусса 60
12. Проводники и диэлектрики в электрическом поле 64
13 Электроемкость. Конденсаторы 71
14. Постоянный электрический ток 84
15. Тепловое действие тока 101
16. Магнитное поле 110
Ответы 119

1. Молекулярная физика

1.1. Кристаллическая ячейка железа представляет собой куб, в вершинах которого находится по одному атому, и еще один атом в центре куба. Сколько атомов приходится на одну ячейку и каково минимальное расстояние между атомами? Молярная масса железа $M = 55{,}9$ г/моль; плотность железа $\rho = 7{,}87$ г/см^3.

1.2. Кристаллическая решетка алюминия представляет собой куб, в вершинах которого находится по одному атому, и еще один атом в центре каждой грани куба. Сколько атомов приходится на одну ячейку и каково минимальное расстояние между атомами? Молярная масса и плотность алюминия: $M = 27$ г/моль и $\rho = 2{,}7$ г/см^3.

1.3. Оценить количество молекул воздуха в атмосфере Земли.

1.4. При взрыве атомной бомбы, содержащей 1 кг плутония получается одна радиоактивная частица на каждый атом плутония. Предполагая, что ветры равномерно разносят продукты взрыва по всей атмосфере, определите сколько радиоактивных частиц будет содержатся в 1 дм^3 воздуха у поверхности Земли? Молярная масса плутония 244 г/моль.

1.5. Средняя плотность межзвездного газа - одна частица на 1 см^3. Какую массу воды необходимо испарить, чтобы заменить частицы межзвездного газа молекулами воды в сфере радиусом равным радиусу орбиты Луны $R = 380000$ км?

1.6. Где больше атомов; в стакане воды или в стакане ртути? Молярная масса воды и ртути: 18 г/моль и 200,6 г/моль.

1.7. Сколько молекул содержится в 1 мм^3 воздуха при давлении 10^{-10} Па при температуре 27 ^{0}С ?

1.8. При 0 ^{0}С молекулы кислорода имеют среднюю скорость 460 м/с. Какова средняя скорость молекул азота при этой же температуре ?

1.9. При 0 ^{0}С средняя скорость молекул кислорода 460 м/с. Какова средняя скорость молекул водорода при 100 ^{0}С?

1.10. Как изменяется давление идеального газа при увеличении средней скорости его молекул на 20%?

1.11. При повышении температуры идеального газа на ΔT_1 = 150 К средняя скорость движения его молекул увеличилась с v_1 = 400 м/с до v_2 = 500 м/с. На сколько еще нужно нагреть этот газ, чтобы увеличить среднюю скорость его молекул до v_3 = 600 м/с?

1.12. Два одинаковых сосуда, содержащие одинаковое число молекул азота, соединены трубкой с краном. В первом сосуде средняя скорость движения молекул равна v_1 = 400 м/с, а во втором - v_2 = 500 м/с. Какова будет средняя скорость молекул, если кран открыть? Система изолирована.

1.13. Средняя скорость молекул газа равна 400 м/с. Какой объем занимает 1 кг газа при давлении 1атм ?

1.14. Чему равна средняя энергия поступательного движения молекул азота , если 2 кг его в сосуде объемом 2 $м^3$ оказывает давление $1{,}5 \cdot 10^5$ Па ?

1.15. Найдите среднюю скорость молекул газа, если имея массу 6 кг, он занимает объем 4,9 $м^3$ при давлении 200 кПа.

1.16. В пустой сосуд впустили N_1 молекул газа с молярной массой M_1 и N_2 молекул газа с молярной массой M_2. Найти молярную массу смеси.

1.17. Два сосуда, содержащие некоторые газы, соединены трубкой с краном. Давление в сосудах P_1 и P_2, а число молекул N_1 и N_2 соответственно. Каким будет давление, если кран открыть. Температура неизменна.

1.18. В сосуде находится идеальный газ. Давление газа - P_0. Каким стало бы давление газа на стенки сосуда, если бы половина падающих молекул начала бы прилипать к стенкам сосуда?

1.19. Стенки сосуда, в котором находится газ при температуре T, имеют температуру T_c. В каком случае давление газа на стенки сосуда будет больше: когда стенки теплее ($T_c > T$) или когда холоднее ($T_c < T$)?

1.20. В горизонтальной трубе имеются две тонкие перегородки, в которых имеются два одинако-

вых очень маленьких отверстия (меньше длины свободного пробега молекул). Слева от перегородок находится гелий при давлении P и температуре T, а справа тоже гелий при давлении P и температуре 2T (рис. 1.1). Найти установившееся давление и температуру между перегородками.

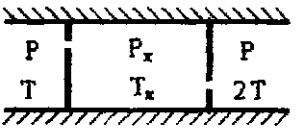

рис. 1.1

1.21. Сосуд разделен тонкой перегородкой на две части. В одной части смесь водорода и гелия при одинаковых парциальных давлениях, а в другой - вакуум. В перегородке на очень короткое время открывается очень маленькое отверстие. Определить отношение давления водорода к давлению гелия во второй части сосуда.

1.22. Разреженный газ вытекает и сосуда через очень маленькое отверстие. При этом половина газа вытекает за время 10 с. За какое время вытечет половина газа, если все линейные размеры сосуда, включая размеры отверстия, увеличить в три раза?

2. Законы идеального газа

2.1. При сжатии объем газа уменьшился от 7 л до 4 л. При этом давление его возросло на 1,2 атм. Определить начальное давление газа, если T = const.

2.2. С какой глубины всплывал пузырек воздуха, если за время всплытия его объем увеличился в 3 раза? T = const.

2.3. Из цилиндрической, запаянной с одного конца, трубки частично откачали воздух. При опускании ее открытым концом в ртуть, ртуть поднялась на высоту 68 см. До какого давления откачали трубку? Длина трубки 75 см, атмосферное давление 750 мм. рт. ст.

2.4. Два баллона соединены трубкой с краном. В первом баллоне объемом V_1 = 1 л находится газ при давлении P_1 = 1 атм. Во втором - объем V_2 = 3 л - газ при давлении P_2 = 0,6 атм. Какое установится давление, если кран открыть? T = const.

2.5. В узкой трубке, запаянной с одного конца, находится столбик ртути длиной l = 15 см. Когда трубка горизонтальна объем воздуха, запертого в трубке столбиком ртути, равен V_1 = 240 мм^3. Когда трубку ставят вертикально открытым концом вверх, объем этого воздуха V_2 = 200 мм^3. Найти атмосферное давление.

2.6. В закрытой частично откачанной трубке находится столбик ртути длиной l = 3 см. Если трубка горизонтальна, то объемы воздуха слева и справа от

ртути равны. Если трубка вертикальна, то верхний объем вдвое больше нижнего. До какого давления откачали трубку?

2.7. Посередине закрытой частично откачанной трубки, лежащей горизонтально, находится столбик ртути длиной l = 20 см. Длина трубки L = 1 м. Если трубку поставить вертикально, то столбик ртути передвинется на Δl = 10 см. До какого давления откачали трубку?

2.8. В U-образной трубке, закрытой с одного конца, находится ртуть. Уровни ртути в обоих коленах одинаковы, высота столбика воздуха в закрытом колене равна l_1 = 20 см (рис. 2.1). Атмосферное давление - 76 см рт. ст. Часть ртути через кран выливают и уровень ртути в открытом колене понизился на 58 см. На сколько понизился уровень ртути в закрытом колене?

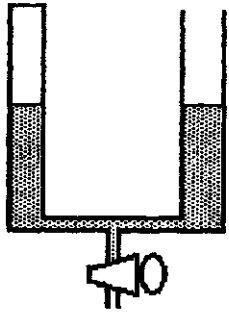

рис. 2.1

2.9. В вертикальном цилиндре под поршнем площадью S находится ν молей газа. При повышении температуры газа на ΔT его объем увеличился на ΔV. Найти массу поршня. Атмосферное давление P_A, трения нет.

2.10. По цилиндрической печной трубе поднимается дым. В нижней части трубы дым имеет температуру t_1 = 700 ^{0}C и скорость v_1 = 5 м/с. Какова его скорость в верхней части трубы, где температура равна t_2 = 200 ^{0}C?

2.11. Трубка, запаянная с одного конца, погружена открытым концом в ртуть. При этом уровень ртути в трубке на 5 см выше чем снаружи. Длина трубки не занятая ртутью - 50 см. На сколько градусов необходимо поднять температуру воздуха, чтобы уровень ртути в трубке опустился до уровня снаружи. Начальная температура 17 ^{0}С. Атмосферное давление нормальное.

2.12. Два одинаковых шара соединены тонкой горизонтальной трубкой в которой находится капелька ртути. При 0 ^{0}С капелька ртути находится посередине трубки. Объем воздуха в каждом шаре и трубке до капельки равен 200 см^3, площадь сечения трубки 20 мм^2. На какое расстояние передвинется капелька, если один шар нагреть на 2 ^{0}С, а другой охладить на 2 ^{0}С?

2.13. Два сосуда с одинаковым газом соединены трубкой с краном. В первом сосуде плотность газа равна ρ_1, во втором - ρ_2. Объем первого сосуда в n раз больше объема второго. Какой станет плотность газа, если кран открыть?

2.14. В вертикальном цилиндрическом сосуде под тяжелым поршнем находится идеальный газ массой m и молярной массой М. Поршень связан с дном сосуда пружиной жесткости К. При температуре T_1 поршень находится на высоте h_1 от дна. При какой температуре поршень будет на высоте h_2?

2.15. В запаянной с одного конца трубке находится небольшая капелька ртути. Трубка расположена горизонтально и капелька находится вблизи от-

крытого конца. Трубку начинают медленно раскручивать вокруг вертикальной оси, проходящей через открытый конец. При некоторой угловой скорости вращения расстояние от оси вращения до капельки равно $\frac{1}{2}l$ (l-длина трубки). Каким будет расстояние от оси до капельки, если угловую скорость удвоить? Температура постоянна.

2.16. Некоторое количество водорода находится в закрытом сосуде при температуре 200 К и давлении 400 Па. Газ нагрели до такой температуры, что его молекулы практически полностью распались на атомы. При этом давление газа стало равно 40 кПа. Во сколько раз при этом возросла средняя квадратичная скорость движения частиц газа?

2.17. В вертикальном цилиндрическом сосуде под подвижным поршнем находится 2 моля гелия и 1 моль молекулярного водорода. Температуру смеси увеличивают в два раза. При этом весь водород распадается на атомы. Во сколько раз увеличивается объем газа под поршнем?

2.18. В объеме V_0 при температуре T_0 и давлении P находится воздух, содержащий некоторое количество озона O_3. Озон постепенно превратился в молекулярный кислород O_2 и при том же давлении температура воздуха стала равна T, а объем - V. Найти начальное число молей озона.

2.19. Тонкостенный стакан массой m кладут на поверхность воды дном вниз и он плавает, погрузившись в воду ровно наполовину. Какая часть ста-

кана будет высовываться из воды, если его положить на воду дном вверх? Площадь дна стакана равна S, атмосферное давление - P_A.

2.20. Тонкостенный стакан кладут на поверхность воды дном вниз и он погружается ровно наполовину. На какую глубину его нужно погрузить в воду дном вверх, чтобы он уже не всплыл? Атмосферное давление $P_A = 10^5$ Па; плотность воды $\rho = 10^3$ кг/м^3. Размерами стакана пренебречь.

2.21. Горизонтальный цилиндрический герметичный сосуд длины L разделен на три равные части двумя подвижными поршнями. Первоначально температура везде одинакова и равна T_0 (рис. 2.2). На какое расстояние передвинутся поршни, если температуру в левой части сосуда поднять до значения T, а в остальных частях поддерживать равной T_0. Трения нет.

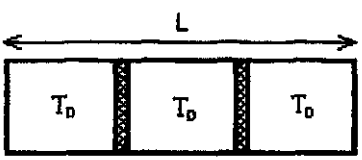

рис. 2.2

2.22. В вертикально стоящий цилиндрический сосуд с площадью дна S вставлен поршень, масса которого равна массе сосуда. В свободном состоянии поршень находится на половине высоты сосуда. Поршень начинают медленно поднимать вверх (рис. 2.3). При каком значении массы сосуда и поршня сосуд тоже начнет подниматься? Атмосферное давление P_A, трения нет, температура

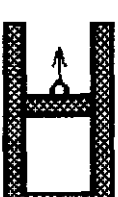
рис. 2.3

постоянна.

2.23. На рис. 2.4 представлен замкнутый процесс, проведенный с идеальным газом. Температуры в точках 1 и 3 были равны: $T_1 = 300$ К и $T_3 = 400$ К. Какая температура была в точке 2? Масса газа постоянна.

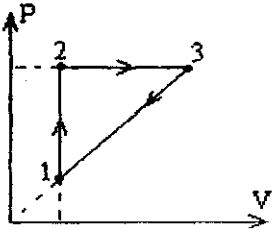

рис. 2.4

2.24. Полагая что воздух состоит из кислорода и азота, определить процентное содержание этих газов в воздухе. Молярная масса воздуха равна 29 г/моль

2.25. Два одинаковых баллона соединены трубкой с клапаном, пропускающим газ из одного баллона в другой при разности давлений $\Delta P > 1{,}1$ атм. Сначала в одном баллоне был вакуум, а в другом - идеальный газ при температуре $t_1 = 27\ ^0C$ и давлении $P_1 = 1$ атм. Затем оба баллона нагрели до температуры $t_2 = 107\ ^0C$. Найти давление в баллоне где был вакуум.

2.26. Сосуд объемом $V = 20$ л содержит смесь водорода и гелия при температуре $t = 20\ ^0C$ и давлении $P = 2$ атм. Масса смеси $m = 5$ г. Найти отношение массы водорода к массе гелия в смеси.

2.27. В сосуде находится смесь: $m_1 = 7$ г азота и $m_2 = 11$ г углекислого газа при температуре $T = 290$ К и давлении $P = 1$ атм. Найти плотность этой смеси.

2.28. В баллоне объемом $V = 7{,}5$ л при температуре $T = 300$ К находится смесь идеальных газов: $\nu_1 =$

0,1 моля кислорода, ν_2 = 0,2 моля азота и ν_3 = 0,3 моля углекислого газа. Найти давление и среднюю молярную массу смеси.

2.29. Внутри вертикального закрытого цилиндрического сосуда находится массивный поршень. Над поршнем и под поршнем находятся одинаковые массы одинакового газа. Сначала температура везде равна T_0, а отношение объемов под и над поршнем равно 1 : 2. Газ под поршнем нагревают, поддерживая температуру над поршнем постоянной. До какой температуры надо нагреть газ под поршнем чтобы отношение объемов поменялось на противоположное? Трения нет.

2.30. В вертикальном закрытом цилиндре находится массивный поршень по обе стороны которого находится по одному молю воздуха. При T_1 = 300 К отношение верхнего объема к нижнему равно α_1 = 4. При какой температуре это отношение станет α_2 = 3? Трения нет.

2.31. Две горизонтальные цилиндрические трубы, имеющие площади сечения S_1 и S_2, соединены вместе и закрыты поршнями. Поршни соединены жестким стержнем (рис. 2.5). Вначале давление во всех частях системы равно P_0, а объем между поршнями равен V_0. Затем давление в левой части системы повышается до значения P_1, а в правой остается прежним. На какое расстояние переместятся поршни. Трения нет, температура постоянна.

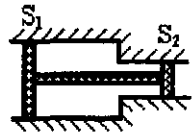

рис. 2.5

2.32. В вертикальной трубе переменного сечения имеются два поршня, связанные тонким жестким стержнем. Между поршнями - один моль идеального газа. Площадь верхнего поршня на ΔS = 10 см^2 больше, чем нижнего. Общая масса поршней и стержня m = 5 кг. Атмосферное давление P_A = 1 атм (рис. 2.6). На сколько надо нагреть газ между поршнями, чтобы они переместились на l = 5 см? Трения нет.

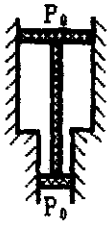

рис. 2.6

2.33. В баллоне емкостью V = 10 л содержится водород при температуре t = 20 ^{0}C под давлением P = 10^7 Па. Какую массу водорода выпустили из баллона, если при полном сгорании оставшегося водорода образовалось m = 50 г воды?

2.34. Камера заполняется смесью водорода и кислорода при температуре t_0 = 27 ^{0}C. Парциальные давления газов одинаковые. Камера герметизируется и производится взрыв. Сразу после взрыва давление в камере оказывается вдвое больше начального. Какова температура в камере в этот момент?

2.35. В тепловом процессе объем идеального газа изменяется по закону $V = \beta \cdot P$ (β = const). Во сколько раз изменится давление при уменьшении температуры от T_1 = 450 К до T_2 = 200 К?

2.36. Планету радиусом r и массой m окружает равноплотная атмосфера, состоящая из газа с молярной массой M. Какова температура атмосферы на

поверхности планеты, если высота атмосферы равна h?

2.37. Сферическая оболочка воздушного шара сделана из материала с поверхностной плотностью $\sigma = 1$ кг/м^2 . Шар наполнен гелием. Условия внутри и снаружи нормальные. При каком минимальном радиусе шар сможет поднять сам себя?

2.38. Два одинаковых сосуда соединены тонкой трубкой. Система наполнена газом под давлением P_0. Во сколько раз необходимо изменить температуру в одном из сосудов, чтобы давление во всей системе стало равно P? Температура в другом сосуде поддерживается неизменной.

2.39. В вертикальном цилиндре под поршнем находится идеальный газ. Для того, чтобы уменьшить объем газа в n раз, на поршень надо положить груз массой m. Какой груз надо положить, чтобы уменьшить объем в k раз? Температура постоянна, трения нет.

2.40. Для того, чтобы изотермически уменьшить объем газа под поршнем в n раз, на поршень надо положить груз массой m. Какой груз еще надо положить на поршень, чтобы объем газа уменьшился еще в k раз? Трения нет.

2.41. Посередине горизонтального закрытого цилиндра длиной l и площадью сечения S находится тонкий поршень массой m. Слева и справа от поршня идеальный газ под давлением P. Определить период

малых колебаний поршня. Трения нет, температура постоянна.

2.42. В земной атмосфере на высоте $h = 120$ км температура $t = 59\ ^0C$. Вблизи этой высоты при подъеме на $\Delta h = 1$ км давление падает на $\alpha = 7\%$, а плотность на $\beta = 12\%$. Определить температуру на высоте $h_1 = 121$ км.

2.43. В вертикальном цилиндре под поршнем сечением S и массой m находится воздух. На поршне находится груз. Определить массу груза, если после его снятия объем газа под поршнем увеличивается вдвое, а абсолютная температура уменьшается вдвое. Атмосферное давление P_0.

2.44. Сосуд объемом V = 30 л разделен на три равные части неподвижными тонкими перегородками. В левую часть вводят $m_1 = 30$ г водорода, в среднюю - $m_2 = 160$ г кислорода, а в правую - $m_3 = 70$ г азота (рис. 2.7). Левая перегородка проницаема для водорода, а правая - для водорода и азота. Какое давление установится во всех частях системы при температуры T = 300 K?

рис. 2.7

2.45. Оболочка аэростата имеет постоянный объем и в нижней части сообщается с атмосферой. Аэростат частично заполняют гелием, а оставшуюся часть объема оболочки занимает воздух. Как изменяется подъемная сила аэростата в зависимости от высоты подъема? Считать, что за время подъема гелий и воздух не перемешиваются.

2.46. Закрытый вертикальный цилиндрический сосуд объемом V заполнен азотом при температуре T. Разность сил давления газа на дно и крышку сосуда при этом равна ΔF. Каким будет давление в сосуде в состоянии невесомости?

2.47. Сколько ходов должен сделать поршень откачивающего насоса, чтобы откачать воздух из сосуда емкостью $V_1 = 2$ л от давления $P_1 = 10^5$ Па до давления $P_2 = 10$ Па, если емкость цилиндра насоса равна $V_2 = 40$ см^3?

2.48. В сосуде постоянного объема находятся 1 моль неона и 2 моля водорода. При температуре $T_1 = 300$ К, когда весь водород молекулярный, давление в сосуде равно 10^5 Па. При температуре $T_2 = 3000$ К давление взросло до $1{,}5 \cdot 10^6$ Па. Какая часть молекул водорода диссоциировала на атомы?

• **2.49.** Закрытый цилиндрический сосуд с газом разделен подвижным поршнем и стоит вертикально на горизонтальной подставке. Масса сосуда m, масса поршня M. Подставку из под сосуда мгновенно убирают. С каким ускорением начинает падать сосуд? Трения нет.

3. Работа газа. Первое начало термодинамики

3.1. Какова внутренняя энергия одноатомного газа, занимающего при температуре T объем V, если концентрация молекул n?

3.2. В цилиндре с площадью основания $S = 100$ см^2 находится газ при температуре $t = 27\ ^0$C. На высоте $h = 30$ см от дна цилиндра расположен поршень массой $m = 60$ кг. Какую работу совершит газ, если его температуру медленно повысить на $\Delta t = 50\ ^0$C ? Атмосферное давление $P_0 = 10^5$ Па.

3.3. Газообразный водород массой $m = 0{,}1$ кг совершает круговой процесс 1 - 2 - 3 - 1 (рис. 3.1). Найдите работу газа на участке 1 - 2, если $T_1 = 300$ K, а $V_2 = 3V_1$.

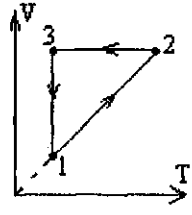

рис. 3.1

3.4. Идеальный газ массой $m = 20$ г и молярной массой $M = 28$ г/моль совершает замкнутый процесс (рис. 3.2). Температура в точках 1 и 2 равна: $T_1 = 300$ K; $T_2 = 496$ K. Найти работу газа за цикл.

3.5. Давление ν молей идеального газа связано с температурой по закону: $T = \alpha P^2$ (α = const). Найти работу газа при увеличении объема от значения V_1 до значения V_2. Выделяется или поглощается при этом теп-

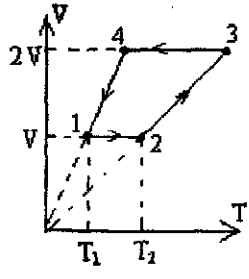

рис. 3.2

ло?

3.6. В цилиндре под невесомым поршнем находится газ. Поршень связан с дном цилиндра пружиной. Газ расширяется из состояния с параметрами P_1, V_1 в состояние - P_2, V_2. Определить работу газа.

3.7. ν молей идеального газа помещены в герметическую упругую оболочку. Упругость оболочки такова, что квадрат объема пропорционален температуре. На сколько изменится энергия оболочки, если газ нагреть от температуры T_1 до температуры T_2? Какова теплоемкость системы? Теплоемкостью оболочки и внешним давлением пренебречь.

3.8. При изотермическом процессе газ совершил работу 1000 Дж. На сколько увеличится внутренняя энергия этого газа, если ему сообщить количество теплоты вдвое больше, чем в первом случае, а процесс проводить изохорически?

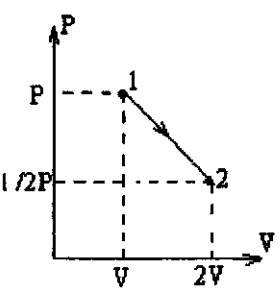

рис. 3.3

3.9. Найти количество теплоты, сообщенное газу в процессе 1 - 2 (рис. 3.3).

3.10. Один моль идеального газа совершает процесс 1 - 2 - 3 (рис. 3.4). Известны: давление P_1, P_2 и объем V_1, V_2. Найти

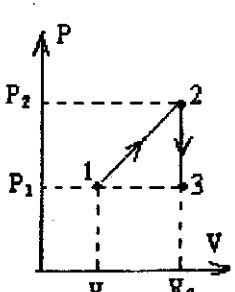

рис. 3.4

поглощенное газом в этом процессе количество теплоты.

3.11. Один моль идеального газа нагревают сначала изотермически. При этом он совершает работу 10 Дж. Затем его нагревают изобарически, сообщая ему то же количество теплоты. Какую работу совершает газ во втором случае?

3.12. Водород массой $m = 1$ кг при начальной температуре $T_1 = 300$ К охлаждают изохорически так, что его давление падает в $\eta = 3$ раза. Затем газ расширяют при постоянном давлении до начальной температуры. Найти произведенную газом работу.

3.13. Один моль идеального газа переводят из начального состояния 1 в конечное 4 в процессе, представленном на рис. 3.5. Какое количество теплоты подвели к газу, если $\Delta T = T_4 - T_1 = 100$ К?

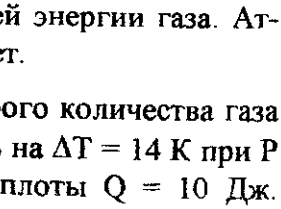

рис. 3.5

3.14. В вертикальном цилиндре под тяжелым поршнем находится газ при температуре T. Масса поршня m, его площадь S, объем газа V. Для повышения температуры газа на ΔT ему сообщили количество теплоты Q. Найдите изменение внутренней энергии газа. Атмосферное давление P_0, трения нет.

3.15. Для нагревания некоторого количества газа с молярной массой $M = 28$ г/моль на $\Delta T = 14$ К при $P = const$ требуется количество теплоты $Q = 10$ Дж.

Чтобы охладить его на ту же ΔT при $V = const$ требуется отнять $Q = 8$ Дж. Определить массу газа.

3.16. В вертикальном цилиндре на высоте h от дна находится поршень. Под поршнем - идеальный газ. На поршень положили гирю массой m. После установления теплового равновесия с окружающей средой цилиндр теплоизолировали и газ начали нагревать. Какое количество теплоты следует подвести к газу, чтобы поршень вернулся в исходное положение. Трения нет.

3.17. В вертикальном цилиндре под невесомым поршнем находится гелий. Объем гелия V_0, а давление $3P_0$ (P_0 - атмосферное давление). Поршень удерживается сверху упорами (рис. 3.6). Какое количество теплоты необходимо отнять у гелия чтобы его объем стал $1/2V_0$. Трения нет.

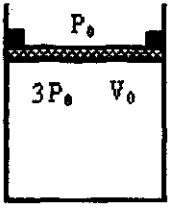

рис.3.6

3.18. В цилиндре под поршнем находится $\nu = 0{,}5$ молей воздуха при температуре $T = 300$ К. Во сколько раз увеличится объем воздуха при сообщении ему количества теплоты $Q = 13{,}2$ кДж? Молярная теплоемкость воздуха при постоянном объеме $c_v = 21$ Дж/моль·К.

3.19. Теплоизолированный сосуд объемом $V = 22{,}4$ л разделен пополам теплопроводящей перегородкой. В первую половину сосуда вводят $m_1 = 11{,}2$ г азота при температуре $t_1 = 20\ ^0C$, а во вторую - $m_2 = 16{,}8$ г азота при $t_2 = 15\ ^0C$. Какое давление установит-

ся в первой половине после выравнивания температур? Система теплоизолирована.

3.20. Баллон емкостьюV_1, содержащий ν_1 молей газа при температуре T_1, соединяют с баллоном емкостьюV_2, содержащим ν_2 молей того же газа при температуре T_2. Какие установятся давление и температура. Система теплоизолирована.

3.21. Над одним молем идеального газа совершается процесс из двух изохор и двух изобар (рис. 3.7). Температуры в точках 1 и 3 равны T_1 и T_3. Определить работу газа за цикл, если точки 2 и 4 лежат на одной изотерме.

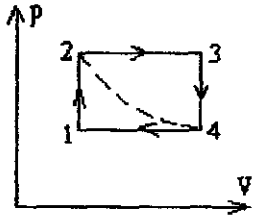

рис. 3.7

3.22. Моль идеального газа совершает цикл из двух изохор и двух изобар (рис. 3.8). Работа газа за цикл A = 200 Дж. Максимальная и минимальная температуры в цикле отличаются на $\Delta T = 60$ К. Отношение давлений на изобарах равно 2. Найти отношение объемов на изохорах.

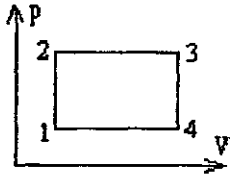

рис. 3.8

3.23. Внутри цилиндрического сосуда под поршнем массы m находится идеальный газ под давлением P. Площадь поршня S, внешнего давления нет. Вначале поршень удерживается на расстоянии h_1, от дна сосуда (рис. 3.9). Поршень отпустили. После прекращения колебаний поршень остановился. На каком

расстоянии от дна он остановился? Трения нет. Тепловыми потерями и теплоемкостью поршня и цилиндра пренебречь.

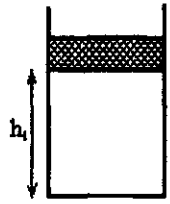

рис.3.9

3.24. В гладкой трубке между двумя поршнями массой m находится один моль идеального газа. В начальный момент скорости поршней направлены в одну сторону и равны v и 3v (рис. 3.10), а температура газа T_0. Найти максимальную температуру газа. Внешнего давления и трения нет.

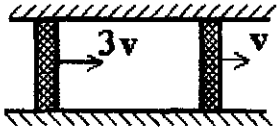

рис. 3.10

3.25. В горизонтальном неподвижном цилиндре, закрытом поршнем массы m, находится один моль идеального газа. Газ нагревают. При этом поршень, двигаясь равномерно, приобретает скорость v. Найдите количество теплоты, сообщенное газу. Теплоемкостью сосуда и поршня, а также внешним давлением пренебречь.

3.26. Сосуд содержащий некоторое количество азота, движется со скоростью v = 100 м/с. На сколько изменится температура азота, если сосуд внезапно остановить?

3.27. В гладкой горизонтальной трубе находятся два поршня массами m и 3m. Между поршнями идеальный газ при давлении P_0. Объем между поршнями V_0 (рис. 3.11). Первоначально поршни неподвижны,

затем их отпускают. Найти максимальные скорости поршней. Труба длинная, внешнего давления нет.

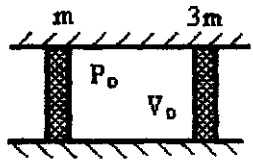

рис. 3.11

3.28. Один моль идеального газа изобарически нагрели на $\Delta T = 72$ К, сообщив ему количество теплоты $Q = 1{,}6$ кДж. Найти величину $\gamma = c_p/c_V$.

3.29. Вычислить $\gamma = c_p/c_v$ для газовой смеси, состоящей из $\nu_1 = 2$ молей кислорода и $\nu_2 = 3$ молей углекислого газа.

3.30. Теплоизолированный небольшой сосуд откачан до глубокого вакуума. Окружающая сосуд атмосфера состоит из идеального одноатомного газа при температуре 300 К. В сосуде открывается небольшое отверстие и он заполняется газом. Какую температуру будет иметь газ в сосуде сразу после заполнения?

3.31. Определить скорость истечения гелия из теплоизолированного сосуда в вакуум через малое отверстие. Температура газа в сосуде $T = 1000$ К, скоростью газа в сосуде пренебречь.

3.32. Горизонтальный цилиндрический сосуд разделен подвижным поршнем. Справа от поршня одноатомный идеальный газ с параметрами: P_0; V_0; T_0, слева - вакуум (рис. 3.12). Поршень соединен с ле-

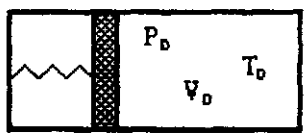

рис. 3.12

вым торцом цилиндра пружиной, собственная длина которой равна длине сосуда. Определить теплоемкость системы в этом состоянии. Теплоемкостью поршня и цилиндра пренебречь. Трения нет.

3.33. Над идеальным двухатомным газом совершают процесс $P = \alpha V$ (α = const). Какова молярная теплоемкость газа в этом процессе?

3.34. С одним молем идеального одноатомного газа проводят процесс: $P = P_0 - \alpha V$, где α - известная константа. Определить при каких значениях объема газ получает тепло, а при каких отдает. Объем в процессе возрастает.

3.35. В процессе расширения азота его объем увеличился на 2%, а давление уменьшилось на 1%. Какая часть теплоты, полученной азотом, была превращена в работу? Удельная теплоемкость азота при постоянном объеме $c_v = 745$ Дж/кг·К.

3.36. В цилиндрическом горизонтальном сосуде находится гладкий подвижный поршень. Слева и справа от поршня находится по одному молю идеального одноатомного газа. Температура газа в левой части поддерживается постоянной, а газ в правой части нагревается. Найдите теплоемкость газа в правой части в момент, когда поршень делит сосуд пополам.

3.37. В вертикальном цилиндре под поршнем площадью S и массой m находится 1 моль идеального одноатомного газа. Под поршнем включается нагреватель, мощность которого N Определите устано-

вившуюся скорость движения поршня. Атмосферное давление P_0, газ теплоизолирован, трения нет.

3.38. Мыльный пузырь содержит ν молей идеального одноатомного газа. Определить теплоемкость этой системы. Атмосферное давление не учитывать.

3.39. По трубе, в которой работает электрический нагреватель, пропускают газ (рис. 3.13). Определить мощность нагревателя, если разность температур газа на выходе и на входе равна $\Delta T = 5$ К, а массовый расход газа $\mu = 720$ кг/ч. Молярная теплоемкость газа при постоянном давлении $c_p = 29{,}3$ Дж/моль·К, его молярная масса $M = 29$ г/моль.

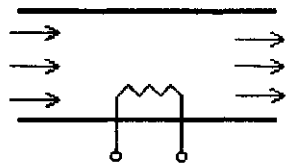

рис. 3.13

3.40. Из небольшого отверстия в баллоне с сжатым гелием вытекает струя гелия со скоростью V. Найдите разность температур гелия в баллоне и в струе. Давление в струе считать равным внешнему давлению, скоростью газа в баллоне пренебречь.

3.41. Одинаковые сообщающиеся сосуды закрыты поршнями массой $m = 5$ кг и $M = 10$ кг и соединены тонкой трубкой с краном (рис.3.14). Под поршнями идеальный одноатомный одинаковый газ. Сначала кран закрыт, поршень M находится на высоте H = 10 см от дна, а температура одинакова. На какую высоту передвинется поршень m после откры-

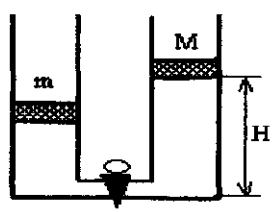

рис. 3.14

тия крана? Система теплоизолирована, атмосферного давления нет.

3.42. В горизонтальной открытой трубе сечением S без трения могут двигаться два поршня массами m и M. Начальное расстояние между поршнями l, атмосферное давление P_0. При закрепленных поршнях воздух между ними откачали, затем поршни отпустили. Какое количество теплоты выделится в результате их абсолютно неупругого столкновения?

3.43. Один моль идеального газа совершает цикл 1 - 2 - 3 - 1, состоящий из изохоры 1 - 2 и двух процессов, представляемых отрезками прямых в координатах P - V (рис. 3.15). Определить работу газа за цикл, если известны: температура T_1, $T_2 = 4T_1$, а также $T_2 = T_3$. Линия 3 - 1 проходит через начало координат.

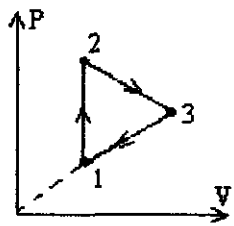

рис. 3.15

4. Второе начало термодинамики

4.1. У тепловой машины, работающей по циклу Карно, температура нагревателя в n = 1,6 раз больше температуры холодильника. За один цикл машина производит работу A = 12 кДж. Какая работа затрачивается на изотермическое сжатие рабочего вещества?

4.2. В каком случае к.п.д. цикла Карно повысится больше: при увеличении температуры нагревателя на ΔT или при уменьшении температуры холодильника на ту же ΔT?

4.3. Идеальный одноатомный газ совершает замкнутый процесс (рис. 4.1). Определить к.п.д. цикла.

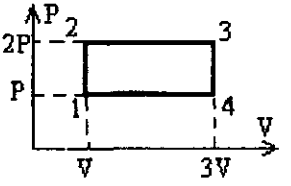

рис.4.1

4.4. Найти к.п.д. тепловой машины, работающей с ν молями одноатомного идеального газа по циклу, состоящему из адиабаты 1 - 2, изотермы 2 - 3 и изохоры 3 - 1 (рис. 4.2). Работа, совершенная над газом на участке 2 - 3 равна A, разность максимальной и минимальной температур в цикле равна ΔT.

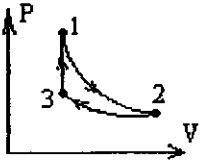

рис.4.2

4.5. К.п.д. цикла 1 - 2 - 4 - 1 равен η_1, а к.п.д. цикла 2 - 3 - 4 - 2 равен η_2 (рис. 4.3). Найти к.п.д. цикла 1 - 2 - 3 - 4 - 1.

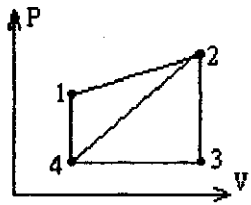

рис.4.3

4.6. Водород совершает цикл Карно. Найти к.п.д. цикла, если при адиабатическом расширении: а) объем газа увеличивается в 2 раза; б) давление уменьшается в 2 раза.

4.7. Найти к.п.д. цикла, состоящего из двух изобар и двух адиабат, если в пределах цикла давление изменяется в n раз. Показатель адиабаты рабочего вещества равен γ.

4.8. Холодная машина, работающая по обратному циклу Карно, должна поддерживать в камере температуру $t_2 = -10\ ^0C$ при температуре окружающей среды $t_1 = 20\ ^0C$. Какую работу надо совершить над рабочим веществом машины, чтобы отвести из камеры машины Q = 140 кДж тепла?

4.9. Тепловую машину, работавшую по циклу Карно с к.п.д. $\eta = 10\%$, используют при тех же тепловых резервуарах как холодильную машину. Найти ее холодильный коэффициент.

4.10. Идеальная тепловая машина, работающая по обратному циклу, получает тепло от холодильника с водой при температуре $t_1 = 0\ ^0C$ и передает тепло кипятильнику с водой при $t_2 = 100\ ^0C$. Сколько воды надо заморозить, чтобы испарить m = 1 кг воды?

4.11. Над идеальным одноатомным газом проводят процесс 1 - 2 - 3 - 1 (рис. 4.4). Найти к.п.д. цикла.

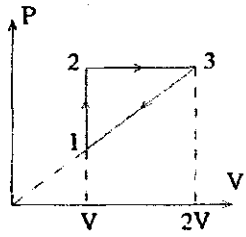

рис. 4.4

4.12. С идеальным газом проводят процесс 1 - 2 - 3 - 4 - 1 (рис. 4.5). Участки 1 - 2 и 3 - 4 - изотермы, а участок 1 - 3 - адиабата. К.п.д. цикла 1 - 2 - 3 - 1 равен η_1, а к.п.д. цикла 1 - 3 - 4 - 1 равен η_2. Чему равен к.п.д. цикла 1 - 2 - 3 - 4 - 1?

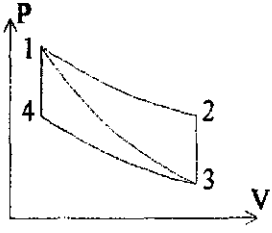

рис. 4.5

4.13. После переделки тепловой машины периодического действия ее мощность увеличилась на α = 10%. Причем энергия, получаемая от нагревателя не изменилась, а отдаваемая холодильнику уменьшилась на β = 15%. На сколько изменился к.п.д. машины?

5. Влажность

5.1. Температура воздуха 18 ^{0}C, а его точка росы 10 ^{0}C. Найти относительную влажность при 18 ^{0}C. Плотность насыщенного водяного пара при 18 ^{0}C равна 15,4 г/м^3, а при 10 ^{0}C - 9,4 г/м^3.

5.2. При температуре 25 ^{0}C относительная влажность воздуха равна 70%. Сколько влаги выделится из каждого м^3 при понижении температуры до 16 ^{0}C? Плотность насыщенного пара при 25 ^{0}C равна 23 г/м^3, при 16 ^{0}C - 13,6 г/см^3.

5.3. В закрытом сосуде находится воздух при температуре 100 ^{0}C и относительной влажности 3,5%. Какой станет относительная влажность воздуха, если сосуд остудить до температуры 29 ^{0}C. Давление насыщенного пара при 29 ^{0}C равно 30 мм рт. ст.

5.4. Какое количество воды может испариться в помещении размером 10 × 8 × 4,5 м^3, если температура воздуха 22 ^{0}C, а относительная влажность 70%. Плотность насыщенного пара при 22 ^{0}C равна 19,4 г/м^3.

5.5. В помещение нужно подать V = 20000 м^3 воздуха при температуре t_1 = 18 ^{0}C и относительной влажности φ_1 = 50%. Воздух забирается с улицы, где температура t_2 = 10 ^{0}C, а влажность φ_2 = 60%. Сколько воды нужно дополнительно испарить? Плотность насыщенного пара при 18 ^{0}C равна 15,4 г/м^3, а при 10 ^{0}C - 9,4 г/м^3.

5.6. В закрытом сосуде объёмом V = 1,1 л находится m = 100 г воды и пар при температуре t = 100 ^{0}C. Воздуха в сосуде нет. Найти массу пара в сосуде.

5.7. В закрытом горизонтальном цилиндре объёмом V = 2 л находится подвижный поршень. В цилиндр вводится с одной стороны m_1 = 2 г воды, а с другой - m_2 = 1 г азота. Какую часть объёма цилиндра будет занимать азот при температуре t = 100 ^{0}C.

5.8. При температуре t = 20 ^{0}C и давлении P = 10^5 Па воздух имеет влажность 100%. На сколько процентов он легче сухого воздуха при тех же температуре и давлении? Давление насыщенного пара при 20 ^{0}C равно $P_н$ = 2330 Па.

5.9. В сосуде объёмом V = 0,4 л находится пар при давлении P = 60 мм рт. ст. и температуре t_1 = 150 ^{0}C. Какое количество росы выделится при охлаждении сосуда до температуры t_2 = 22 ^{0}C? Давление насыщенного пара при 22 ^{0}C равно $P_н$ = 19 мм рт. ст.

5.10. Смешали V_1 = 1 м^3 воздуха с влажностью φ_1 = 20% и V_2 = 2 м^3 воздуха с влажностью φ_2 = 30%. Температура одинакова, объём смеси V = 3 м^3. Определить относительную влажность смеси.

5.11. В цилиндре под поршнем находится воздух при температуре t_1 = 100 ^{0}C с относительной влажностью φ = 40%. Объём воздуха при этом V_1 = 100 см^3. Цилиндр охлаждается до температуры t_2 = 20 ^{0}C. На сколько надо изменить объём воздуха, чтобы не вы-

пала роса? Давление насыщенного пара при 20 ^{0}C равно $P_н$ = 17,5 мм рт. ст.

5.12. В сосуд объёмом V = 10 л, наполненный сухим воздухом при давлении P = 1 атм и температуре t = 0 ^{0}C, вводят m = 3 г воды. Определить давление в сосуде при его нагревании до t_1 = 100 ^{0}C.

5.13. Какова была влажность воздуха под поршнем при температуре 20 ^{0}C и давлении 1 атм, если при температуре 100 ^{0}C конденсация пара началась при давлении 60 атм? Давление насыщенного пара при 20 ^{0}C равно 17,5 мм рт. ст.

5.14. Смешали 1 м^3 пара с влажностью 20% при температуре 20 ^{0}C и 2 м^3 пара с влажностью 30% при температуре 50 ^{0}C. Объём смеси 3 м^3. Найти влажность смеси, если система теплоизолирована.

5.15. На рис. 5.1 представлена изотерма влажного воздуха. Найти относительную влажность воздуха в точках A, B и C.

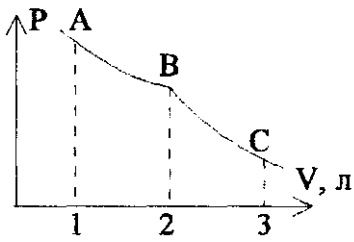

рис. 5.1

5.16. При изотермическом сжатии m = 9 г водяного пара при температуре T = 373 K его объём уменьшился в 3 раза, а давление увеличилось в 2 раза. Найти начальный объём пара.

5.17. В газовом баллоне объёмом V = 5 л может поместится не более m = 2,2 кг пропана (C_3H_8) под давлением 16 атм и температуре t = 27 ^{0}C. Какая масса газообразного пропана будет находится в баллоне,

если из полного баллона израсходовать 80% пропана? Давление насыщенного пара пропана при 27 ^{0}C равно $P_н$ = 16 атм.

5.18. Насыщенный водяной пар находится при температуре t = 100 ^{0}C в цилиндре под невесомым поршнем. При медленном изотермическом вдвигании поршня небольшая часть пара массой Δm = 0,7 г сконденсировалась. Какая работа была при этом совершена? Объёмом жидкости пренебречь.

5.19. Пространство под поршнем в цилиндре занимает водяной пар с относительной влажностью φ = 50% при температуре t = 100 ^{0}C. Какая масса воды получится при изотермическом уменьшении объёма под поршнем от V_1 = 5 л до V_2 = 1 л?

5.20. Закрытый цилиндр делится лёгким подвижным поршнем на две равные части. В одной из них находится воздух, а в другой - вода и пар. При медленном нагревании всего сосуда поршень начинает двигаться и в некоторый момент останавливается. В этот момент он делит сосуд на части в отношении 1:3. Определить отношение массы воды к массе пара в начальном состоянии. Объёмом воды пренебречь.

5.21. В цилиндре под легким подвижным поршнем находится смесь воздуха и равных по массе количеств воды и водяного пара. При медленном изотермическом уменьшении давления на поршень от P_0 до $2/3P_0$ вся вода испаряется. Найти давление пара в условиях опыта. Объемом воды пренебречь.

6. Поверхностное натяжение

6.1. Одно колено U - образной трубки имеет радиус r_1 = 0,5 мм, а другое - r_2 = 1 мм. Найти разность уровней воды в коленах. Коэффициент поверхностного натяжения воды σ = 0,073 Н/м. Смачивание полное.

6.2. Трубка с внутренним диаметром d = 1 мм опущена в ртуть на глубину h = 5 мм. Найти краевой угол θ (рис. 6.1). Плотность и коэффициент поверхностного натяжения ртути равны: $\rho_{рт}$ = 13,6 г/см^3 и $\sigma_{рт}$ = 0,47 Н/м.

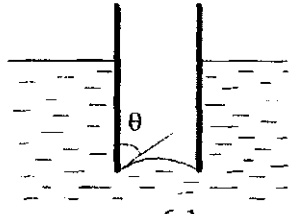

рис. 6.1

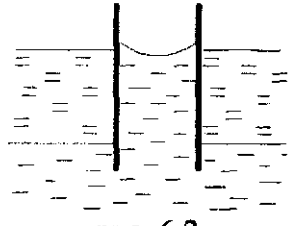
рис. 6.2

6.3. Трубку радиусом r = 1 мм опустили в воду, а затем поверх воды налили слой масла. Какова высота слоя масла, если его уровень совпадает с уровнем воды в трубке (рис. 6.2)? Коэффициент поверхностного натяжения воды $\sigma_в$ = 0,073 Н/м, плотность масла $\rho_м$ = 0,9 г/см^3. Смачивание полное.

6.4. При опускании двух капиллярных трубок в воду, в них устанавливается разность уровней воды h_1 = 2,6 см. При опускании их в спирт, устанавливается разность уровней спирта h_2 = 1 см. Найти коэффициент поверхностного натяжения спирта, если коэффициент поверхностного натяжения воды σ_1 =

0,073 Н/м, а плотность спирта $\rho_2 = 0{,}8$ г/см^3. Смачивание полное.

6.5. В вакууме в чашку с маслом, имеющим весьма низкое давление насыщенного пара и хорошо смачивающим стекло, погружена стеклянная трубка радиусом r. Найти давление в масле на высоте 1/3h, где h - высота поднятия уровня масла в трубке. Поверхностное натяжение масла - σ.

6.6. В горизонтальный стеклянный капилляр с переменным сечением вводят сначала капельку воды (рис. 6.3 а), а затем капельку ртути (рис. 6.3 б). Куда будут двигаться капельки воды и ртути?

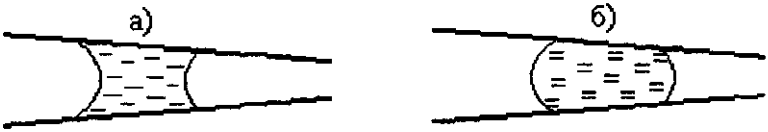

рис. 6.3

6.7. Найти радиус нижнего мениска в трубке с внутренним диаметром d = 0,59 мм, если высота h столбика воды в нём равна: а) 2,5 см; б) 5 см; в) 10 см. Смачивание полное (рис. 6.4).

6.8. Капилляр радиусом r опускается в жидкость с плотностью ρ и коэффициентом поверхностного натяжения σ. Считая смачивание идеальным, определить какое количество теплоты выделится при подъёме жидкости по капилляру.

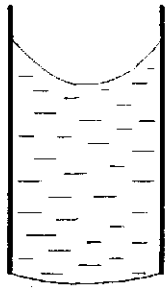

рис. 6.4

6.9. Две вертикальные параллель-

ные пластины погружены частично в воду. Расстояние между пластинами d = 0,5 мм, ширина пластин l = 10 см. Считая смачивание полным, определить на какую высоту поднимается вода между пластинами и с какой силой пластины прижимаются друг к другу.

6.10. Капля ртути массой m = 1 г помещена между двумя параллельными стеклянными пластинами. С какой силой надо сжимать пластины, чтобы капля имела форму круглой лепёшки радиусом r = 5 см? Идеальное не смачивание.

6.11. Две вертикальные стеклянные пластины образуют очень малый двухгранный угол φ. Система частично погружена в воду (рис. 6.5). Считая смачивание полным, определить уравнение кривой, по которой поверхность воды в зазоре пересекается с пластинами. Ось x совпадает с поверхностью воды вне зазора.

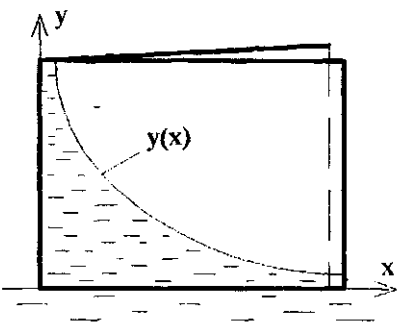

рис. 6.5

6.12. Восемь шаровых капель ртути диаметром d = 1 мм каждая сливаются в одну каплю. Сколько при этом выделится тепла?

6.13. Каков коэффициент поверхностного натяжения воды, если с помощью пипетки, имеющий диаметр d = 0,4 мм, можно дозировать воду с точностью m = 0,01 г?

6.14. Какую работу необходимо совершить, чтобы выдуть мыльный пузырь радиусом $r = 4$ см? Коэффициент поверхностного натяжения мыльного раствора $\sigma = 0{,}04$ Н/м.

6.15. Оценить на сколько одинаковых капель разобьётся капля ртути радиусом $r = 1$ мм при падении на твёрдую поверхность с высоты $h = 5$ см.

6.16. Облако состоит из мельчайших капелек воды диаметром $d = 1$мкм. Какое количество теплоты выделится из каждого килограмма воды при слиянии этих капелек в крупные дождевые капли?

6.17. На какой глубине образуются пузырьки газа, если при всплытии в воде их радиус увеличивается в $\alpha = 1{,}1$ раз, достигая на поверхности значения $r = 1$ мкм. Атмосферное давление $P_A = 10^5$ Па. Температура постоянна.

6.18. Два мыльных пузыря радиусами R_1 и R_2 сливаются в один пузырь радиусом R_3. Найти коэффициент поверхностного натяжения, если атмосферное давление P_A.

6.19. Два мыльных пузыря слились (рис. 6.6). Радиусы пузырей R_1 и R_2. Найти радиус мыльной плёнки разделяющей пузыри и угол φ, под которым сходятся поверхности пузырей.

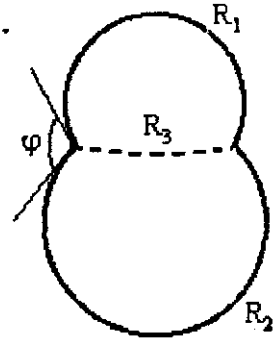

рис. 6.6

6.20. На концах трубки с краном надуты два мыльных пузыря радиусами R_1 и R_2 (рис.

6.7). Найти радиус пузыря, который получится, если кран открыть. Температура постоянна, внешнего давления нет.

рис. 6.7

6.21. При давлении P_0 имеется мыльный пузырь диаметром d. Давление изотермически уменьшилось в n раз. При этом радиус пузыря увеличился в α раз. Определить коэффициент поверхностного натяжения мыльного раствора.

6.22. Капилляр с внутренним диаметром d = 0,5 мм погрузили в воду так, что длина надводной части капилляра h = 25 мм. Найти радиус кривизны мениска. Вода хорошо смачивает стенки капилляра.

6.23. Стеклянный капилляр, запаянный с одного конца, опустили вертикально открытым концом в воду. Длина капилляра l = 110 мм, его внутренний диаметр d = 20 мкм. Атмосферное давление нормальное. Какая длина капилляра должна быть погружена в воду, чтобы уровень воды в капилляре и снаружи был одинаков?

6.24. Стальная иголка смазана жиром. При каком максимальном диаметре она ещё может лежать на поверхности воды?

6.25. Капля массой m находится на поверхности стола. Высота капли h, её плотность ρ, поверхностное натяжение σ, радиус площади соприкосновения капли с поверхностью стола a. Считая, что имеется

полное не смачивание, найти радиус кривизны капли в верхней точке.

6.26. Капля воды массой m = 1 г помещена на горизонтальную, смазанную жиром, поверхность. Определить радиус и толщину получившийся лужицы. Не смачивание полное.

6.27. Внутри мыльного пузыря радиусом R_1 находится мыльный пузырь радиусом R_2. Каким будет радиус: а) внутреннего пузыря, если лопнет внешний; б) внешнего пузыря, если лопнет внутренний. Температура постоянна, внешнего давления нет.

6.28. Какую массу воды можно унести в решете площадью S = 100 см^2, если размеры ячеек равны a^2 = 1x1 мм^2. Вода решето не смачивает.

6.29. Какая максимальная масса воды может находится в капиллярной трубке радиусом r = 0,25 мм? Полное смачивание.

6.30. Определить плотность воздуха внутри мыльного пузыря радиусом r = 10^{-2} мм при температуре t = 27 ^{0}C. Коэффициент поверхностного натяжения мыльного раствора σ = 0,04 Н/м, атмосферное давление нормальное.

6.31. Смачиваемый водой кубик массой m = 0,2 г плавает в воде. Ребро кубика l = 1 см. На какой глубине находится нижняя грань кубика?

6.32. На холодном потолке бани конденсируется вода. Оцените массу капающих с потолка капель. Угол смачивания произвольный.

6.33. Диски вырезаны из тонкого не смачиваемого водой листа. Оценить при каком значении поверхностной плотности диски не будут тонуть в воде независимо от их размера.

6.34. Внутрь стеклянного капилляра диаметром d_1 = 2 мм вставлен симметрично стеклянный стержень диаметром d_2 = 1,5 мм. Вся система вертикально опущена в воду. На какую высоту поднимется вода в зазоре. Смачивание полное.

6.35. Лёгкое смачиваемое кольцо массой m = 5 г положили на поверхность воды. Внутренний радиус кольца R_1 = 5 см, а внешний R_2 = 10 см. Какую силу надо приложить, чтобы оторвать кольцо от воды?

6.36. На какую высоту поднимается вода вблизи смачиваемой стенки? Краевой угол равен θ (рис. 6.8).

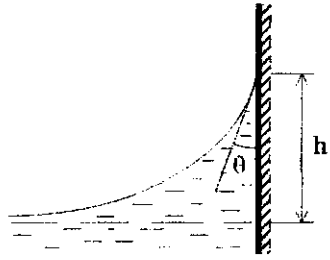

рис. 6.8

7. Уравнение теплового баланса. Фазовые переходы

7.1. В сосуд, содержащий $m = 10$ г льда при температуре $t_1 = -10\ ^0C$, малыми порциями впускают водяной пар при температуре $t_2 = 100\ ^0C$. Какое количество воды окажется в сосуде, когда весь лед растает?

7.2. Сферическая дождевая капля радиусом $R = 2$ мм падает с постоянной скоростью. На сколько повысится температура капли за время $t = 10$ с, если всё выделяющееся тепло идёт на её нагревание, а сила сопротивления воздуха $F_c = 0{,}24\pi R^2 v^2$? (v - скорость капли).

7.3. В стакан, содержащий $m = 200$ г воды, опускают нагреватель мощностью $N = 50$ Вт. Максимальная температура воды после длительного нагревания составляет $t_1 = 55\ ^0C$. За какое время вода остынет на $\Delta t = 1\ ^0C$ после выключения нагревателя? Оцените максимальную температуру воды в стакане при увеличении напряжения в сети на 20%. Температура окружающего воздуха $t_0 = 20\ ^0C$.

7.4. В цилиндре под невесомым поршнем площадью $S = 100$ см^2 находится $m = 1$ кг воды при температуре $0\ ^0C$. В цилиндре включают нагреватель мощностью $N = 500$ Вт. На сколько поднимется поршень за $\tau = 15$ мин работы нагревателя?

7.5. В колбе находится вода при $0\ ^0C$. Откачивая пар, воду заморозили. Какая часть воды испарилась?

7.6. Сколько льда может получится из $m = 1$ кг переохлаждённой до $t = -10\ ^0C$ воды? Теплоёмкость обычной и переохлаждённой воды одинаковая.

7.7. На сколько изменится удельная теплота плавления вещества при понижении температуры плавления на Δt. Удельная теплоёмкость вещества в твёрдой и жидкой фазах равна c_1 и c_2.

7.8. Две жидкости с начальными температурами T_1 и T_2 и удельными теплоёмкостями c_1 и c_2 смешали в теплоизолированном сосуде. В результате разность между начальной температурой одной из жидкостей и установившейся температурой T оказалась вдвое меньше разности начальных температур жидкостей. Найти отношение масс жидкостей.

7.9. Если температура на улице равна $t_{y1} = -20\ ^0C$, то температура в комнате равна $t_{k1} = +20\ ^0C$. Если же температура на улице равна $t_{y2} = -40\ ^0C$, то в комнате устанавливается температура $t_{k2} = +10\ ^0C$. Найти температуру батареи, отапливающей комнату.

7.10. На электрической плитке мощностью $N = 1$ кВт кипит чайник с водой. Найти скорость истечения пара из носика чайника. Площадь носика $S = 1$ см^2, давление на выходе из носика считать равным атмосферному.

7.11. В сосуде находится лёд и вода в одинаковых по массе количествах. Через сосуд пропускают пар при температуре $100\ ^0C$ и в том же количестве. Какая установится конечная температура? Потерь тепла нет.

7.12. В теплоизолированном сосуде находится идеальный одноатомный газ при температуре T_1 = 300 К и кусочек железа массой m = 0,2 кг при температуре T_2 = 500 К. Начальное давление газа равно $P_0 = 10^5$ Па, а объем сосуда V = 1000 см^3. Найти давление газа в равновесном состоянии. Больше или меньше будет давление газа, если газ будет двухатомный? Удельная теплоемкость железа $c_ж$ = 450 Дж/кг·К. Объемом железа пренебречь.

7.13. На плитку поставили две одинаковые кастрюли с равными количествами воды при одинаковой температуре. Через некоторое время в одну из кастрюль долили немного воды из кипящего чайника. В какой кастрюле вода закипит быстрее?

7.14. В вопросе № 7.13 после доливания воды из чайника часть воды из этой кастрюли отлили в другую так, что воды в кастрюлях оказалось поровну. В какой кастрюле вода теперь закипит быстрее?

7.15. Почему при купании в жаркий день вода кажется холодной, когда входишь в воду и наоборот, когда выходишь?

8. Тепловое расширение. Деформации

8.1. При температуре $t_1 = 20\ ^0$ С длины алюминиевого и медного стержней одинаковы. Какова длина алюминиевого стержня при $t_2 = -20\ ^0$ С, если длина медного стержня при этой температуре $l_м$ = 60 см? Коэффициенты линейного теплового расширения: алюминия - $\alpha_{ал} = 23{,}8 \cdot 10^{-6}$ K^{-1}; меди - $\alpha_м = 16{,}5 \cdot 10^{-6}$ K^{-1}.

8.2. Какую длину должны иметь стальной и медный стержни при 0 ^{0}С, чтобы при любой температуре стальной стержень был на Δl = 5 см длиннее медного? Коэффициенты линейного теплового расширения: меди - $\alpha_м = 16{,}5 \cdot 10^{-6}$ K^{-1}; стали - $\alpha_{ст} = 11{,}7 \cdot 10^{-6}$ K^{-1}.

8.3. Плотность ртути уменьшилась при нагревании до 98% от её плотности при 0 ^{0}С. До какой температуры нагрели ртуть? Коэффициент теплового объёмного расширения ртути $\beta_{рт} = 0{,}181 \cdot 10^{-3}$ K^{-1}.

8.4. В U - образной трубке находится керосин. В одном колене высота уровня керосина h_1 = 20 см, а температура $t_1 = 15\ ^0$С. Какова температура керосина в другом колене, если высота уровня в нём на Δh = 1,5 см выше? Коэффициент объёмного расширения керосина $\beta_к = 0{,}96 \cdot 10^{-3}$ K^{-1}.

8.5. Стальная и бронзовая ленты одинаковой толщины a = 0,2 мм склеены вместе и при температуре T_1 = 293 К образуют плоскую биметаллическую

пластинку. Каким будет радиус изгиба пластинки при температуре T_2 = 393 К? Коэффициенты линейного теплового расширения бронзы и стали равны: $\alpha_{бр}$ = $2\cdot10^{-5}$ K^{-1}; $\alpha_{ст} = 1{,}1\cdot10^{-5}$ K^{-1}.

8.6. Стальной стержень вплотную вставляется между двумя бетонными стенами при температуре t_1 = 0 ^{0}С. С какой силой стержень будет действовать на стены, если его нагреть до t_2 = 50 ^{0}С? Площадь сечения стержня S = 10 см^2. Коэффициент линейного теплового расширения стали равен $\alpha_{ст} = 11{,}7\cdot10^{-6}$ K^{-1}; модуль Юнга стали равен $E_{ст} = 20{,}6\cdot10^{10}$ Н/м^2.

8.7. Между двумя бетонными стенами помещён стержень сечением S, состоящий из двух одинаковых частей длиной $\frac{1}{2}L$. Коэффициенты линейного теплового расширения частей равны α_1 и α_2, а модули Юнга - E_1 и E_2 соответственно. При некоторой температуре стержень свободно вставлен между стенами и его концы касаются стен. С какой силой стержень будет давить на стены, если его нагреть на ΔT? На какое расстояние переместится место стыка частей стержня?

8.8. Алюминиевый шарик массой m = 0,5 кг опущен на нити в керосин. На сколько изменится сила натяжения нити, если всю систему нагреть от T_1 = 273 К до T_2 = 323 К. Коэффициент линейного теплового расширения и плотность алюминия равны: $\alpha_{ал}$ = $23{,}8\cdot10^{-6}$ K^{-1}; $\rho_{ал}$ = 2,71 г/см^3; Коэффициент объёмного теплового расширения и плотность керосина равны: $\beta_к = 0{,}96\cdot10^{-3}$ K^{-1}; $\rho_к$ = 0,8 г/см^3.

8.9. Тонкое кольцо радиусом R вращается вокруг своей оси. При какой угловой скорости кольцо разорвётся, если предел прочности материала на разрыв равен $\sigma_{пр}$, а плотность материала кольца ρ?

8.10. До какого максимального давления можно накачать сферический баллон диаметром d = 1,82 м, имеющий толщину стенок δ = 0,01 м? Предел прочности материала стенок $\sigma_{пр} = 3 \cdot 10^5$ Н/м^2; атмосферное давление нормальное.

8.11. Проволока длиной l = 2 м и диаметром d = 1мм натянута горизонтально. Когда к середине проволоки подвесили груз массой m = 1 кг точка подвеса опустилась на Δh = 4 см. Определить модуль Юнга материала проволоки.

8.12. Определить объём шарика ртутного термометра, если при температуре 0 ^{0}C ртуть заполняет только шарик, а объём трубки между делениями 0 ^{0}C и 100 ^{0}C равен ΔV = 3 мм^3. Коэффициент объёмного расширения ртути $\beta_{рт} = 0{,}181 \cdot 10^{-3}$ К$^{-1}$.

8.13. При укладке трамвайные рельсы сваривают в стыках. Какие напряжения возникают в рельсах при колебаниях температуры от –30 ^{0}C до + 30^{0}C. Рельсы укладывали при температуре 10 ^{0}C. Коэффициент линейного расширения стали равен $\alpha_{ст} = 1{,}25 \cdot 10^{-5}$ К$^{-1}$. Модуль Юнга стали равен $E_{ст} = 20{,}6 \cdot 10^{10}$ Па.

9. Закон Кулона

9.1. С какой силой взаимодействуют два заряда по 1 Кл каждый на расстоянии 1 км друг от друга?

9.2. Заряд электрона $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл, а его масса $m_e = 9{,}11 \cdot 10^{-31}$ кг. Во сколько раз сила кулоновского отталкивания двух электронов больше силы их гравитационного притяжения?

9.3. С какой силой взаимодействуют между собой два заряда, состоящие из 1 г электронного вещества, находящиеся на расстоянии 100 млн. км друг от друга?

9.4. Два шарика с массами $m = 0{,}1$ г каждый висят на двух нитях длиной $l = 20$ см каждая в одной точке. После того как шарики зарядили одинаковым зарядом, они разошлись так, что угол между нитями стал равен $\alpha = 60^0$. Определить заряд шариков.

9.5. Атом водорода состоит из протона и вращающегося вокруг него электрона. Приняв радиус орбиты электрона $r = 5{,}3 \cdot 10^{-9}$ см, определить скорость электрона и частоту его вращения. Масса электрона много меньше массы протона.

9.6. Два одинаковых заряженных металлических шарика притягиваются друг к другу. После того как шарики привели в соприкосновение и развели на расстояние вдвое большее первоначального, сила взаимодействия между ними уменьшилась в 12 раз. Каким был заряд первого шарика, если заряд второго был 1 мкКл?

9.7. Расстояние между двумя точечными зарядами $q_1 = 1{,}8 \cdot 10^{-7}$ Кл и $q_2 = 7{,}2 \cdot 10^{-7}$ Кл равно 60 см. В какой точке надо поместить третий заряд, чтобы вся система находилась в равновесии? Определить величину и знак заряда. Будет ли положение равновесия устойчивым?

9.8. Три одинаковых заряда по q = 1 мкКл каждый помещены в вершинах равностороннего треугольника. Какой заряд нужно поместить в центре треугольника, чтобы вся система находилась в равновесии? Каким будет это равновесие?

9.9. Три точечных заряда попарно помещенные на расстоянии 10 см друг от друга взаимодействуют с силами 0,05 Н, 0,08 Н и 0,12 Н. Определить величины зарядов.

9.10. Тонкое проволочное кольцо радиусом R = 10 см имеет электрический заряд q = 50 мкКл. Каково будет приращение силы, растягивающей кольцо, если в центр кольца поместить точечный заряд q_0 = 7 мкКл?

9.11. Два маленьких шарика связаны невесомой пружиной. Если шарики зарядить одинаковым зарядом q_1, то длина пружины равна l_1, а если зарядом q_2, то длина пружины равна l_2. Какова собственная длина пружины?

9.12. Заряженный шарик массой m висит на нити длиной l. Когда под ним на расстоянии l поместили шарик заряженный таким же зарядом, сила натяжения нити не изменилась. Определить заряд шариков.

9.13. Два одинаковых металлических шарика подвешены на одинаковых очень длинных нитях в одной точке. Шарики зарядили одинаковым зарядом и они разошлись на расстояние a = 5 см. Один из шариков разрядили. Каким стало расстояние между ними?

9.14. Кольцо из тонкой проволоки разрывается когда на нем находится заряд q. Диаметр кольца и диаметр проволоки увеличили втрое. При каком значении заряда на кольце оно разорвется?

9.15. Три одинаковых незаряженных металлических шарика 1, 2 и 3 расположены вдоль одной прямой и связаны двумя одинаковыми изолирующими нитями (рис. 9.1). Четвертым таким же заряженным шариком по очереди прикасаются к этим трем в порядке возрастания их номеров. Во сколько раз после этого отличаются силы натяжения нитей?

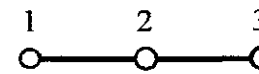

рис. 9.1

9.16. Два одинаковых маленьких шарика массой m = 90 г каждый подвешены на двух нитях к потолку (рис. 9.2). Каким одинаковым зарядом надо зарядить шарики, чтобы силы натяжения нитей были одинаковыми? Длина нижней нити равна l = 30 см.

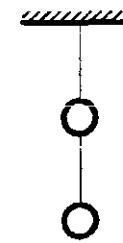
рис. 9.2

9.17. Шарик массой m = 2 г, заряженный зарядом q = $10{,}5 \cdot 10^{-9}$ Кл, висит на нити длиной l = 50 см. В точке закрепления нити находится такой же точечный заряд. Какую минимальную горизонтальную скорость нужно сообщить шарику, чтобы он сделал полный оборот?

9.18. Два шарика, имеющие одинаковые заряды $q = 3{,}3 \cdot 10^{-6}$ Кл, висят на нитях одинаковой длины (рис. 9.3). На расстоянии h = 20 см под шариками симметрично относительно них расположен точечный заряд Q. Определить величину этого заряда, если нити вертикально, а расстояние между ними равно $l = 30$ см.

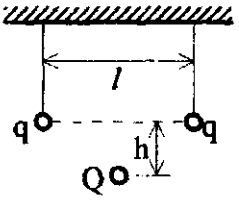

рис. 9.3

9.19. Внутри гладкой сферы диаметром d = 50 см находится маленький шарик, имеющий заряд $q = 10^{-6}$ Кл и массу m = 10 г. Какой точечный заряд Q надо поместить в нижней точке сферы, чтобы шарик находился в верхней точке сферы в состоянии устойчивого равновесия?

9.20. Четыре положительных заряда q и Q связаны четырьмя одинаковыми нитями (рис. 9.4). Определить угол между нитями при вершине Q. Внешними силами пренебречь.

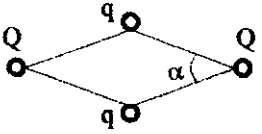

рис. 9.4

9.21. Бусинка, имеющая массу m и заряд q, может скользить без трения по вертикальной спице, в нижней части которой закреплен заряд Q. Найти период малых колебаний бусинки.

9.22. Два одинаковых металлических шара заряжают одинаковыми зарядами: сначала одноименными, затем разноименными. В каком случае сила взаимодействия шаров будет больше?

10. Напряженность и потенциал. Энергия системы зарядов.

10.1. Два точечных заряда 0,6 мкКл и –0,3 мкКл находятся на расстоянии 10 см друг от друга. В какой точке напряженность электрического поля равна нулю?

10.2. В точке А напряженность электрического поля точечного заряда равна E_A, а в точке В - E_B. Найти напряженность поля в точке С. Все три точки лежат на одной силовой линии. Точка С лежит посередине между точками А и В.

10.3. Две частицы массами m и M, имеющие заряды q и Q соответственно, движутся в однородном электрическом поле на неизменном расстоянии *l* друг от друга. Определить напряженность поля и ускорение частиц. Силу тяжести не учитывать.

10.4. Конический маятник состоит из легкой нити длиной 1 м, на конце которой находится шарик массой 10 г заряженный зарядом $2 \cdot 10^{-5}$ Кл. Маятник находится в вертикальном однородном электрическом поле с напряженностью 1 кВ/м. Определить угловую скорость движения шарика и силу натяжения нити, если угол между нитью и вертикалью равен 30^0.

10.5. Конический маятник состоит из нити длиной *l*, на конце которой находится шарик массой m, заряженный зарядом q. Маятник помещен в однородное горизонтальное электрическое поле с напря-

женностью E. Определить период обращения шарика, если угол отклонения нити от положения равновесия равен α.

10.6. В точке A потенциал поля точечного заряда равен φ_A, а в точке B - φ_B. Найти потенциал в точке C, если все три точки лежат на одной силовой линии, а точка C лежит посередине между точками A и B.

10.7. Тонкое проволочное кольцо радиусом R = 0,5 м имеет вырез длиной d = 2 см. По кольцу равномерно распределен заряд q = 0,33 нКл. Определить напряженность поля и потенциал в центре кольца.

10.8. Горизонтальный металлический диск вращается с угловой скоростью ω вокруг вертикальной оси. Определить зависимость напряженности электрического поля от расстояния до оси, а также разность потенциалов между центро́м диска и его крайними точками. Радиус диска R.

10.9. Два тонких проволочных кольца имеют общую ось и расположены на расстоянии l = 52 см друг от друга. Радиусы колец R = 30 см. Кольца заряжены зарядами q и –q, где q = 0,4 мкКл. Найти разность потенциалов между центрами колец.

10.10. Тонкое кольцо радиусом R заряжено зарядом q. Найти напряженность электрического поля на оси кольца как функцию от расстояния до центра кольца x. Рассмотреть случай x >> R. При каком значении x напряженность максимальна?

10.11. Три одинаковых шарика массой m каждый заряжены одинаковыми зарядами q и связаны тремя

одинаковыми нитями так, что образуют правильный треугольник со стороной a. Одну из нитей пережигают. Определить максимальную скорость среднего шарика. Внешними силами пренебречь.

10.12. В пространство, где одновременно действуют горизонтальное и вертикальное электрические поля с напряженностью $E_1 = 0{,}04$ В/м и $E_2 = 0{,}03$ В/м, вдоль силовой линии результирующего поля влетает электрон, скорость которого на длине пути $l = 2{,}7$ мм изменяется в 2 раза. Определить конечную скорость электрона.

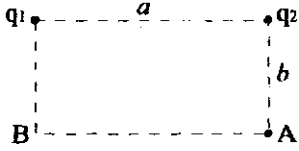

рис. 10.1

10.13. В двух вершинах прямоугольника со сторонами a и b находятся точечные заряды q_1 и q_2. Какую работу надо совершить, чтобы перевести заряд q из точки A в точку B (рис. 10.1)?

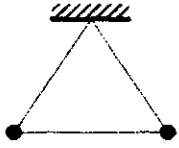
рис. 10.2

10.14. Два одинаковых заряженных шарика подвешены на двух одинаковых нитях длиной $l = 5$ см и связаны третьей такой же нитью (рис. 10.2). В момент пережигания нижней нити ускорения шариков равны $a = 40$ м/с^2. Определить скорость шариков в момент когда они будут находиться на одной высоте с точкой подвеса.

10.15. Заряженный шарик массой m = 1,5 г подвешен на нити в однородном горизонтальном электрическом поле. При этом нить отклонена на угол $\alpha = 30^0$. Направление электрического поля мгновенно изменяется на противоположное. Найти силу натя-

жения нити в момент максимального отклонения от вертикали.

10.16. Восемь протонов находятся в вершинах куба с ребром l = 10 см. Какова будет их максимальная скорость, если предоставить им возможность свободно двигаться?

10.17. Найти напряженность электрического поля в центре полусферы, создаваемую зарядами, равномерно распределенными с поверхностной плотностью σ по всей поверхности полусферы.

10.18. Два небольших шарика, имеющие одинаковые массы и заряды и находящиеся на одной вертикали на высотах h_1 и h_2, бросили в одну сторону в горизонтальном направлении со скоростями v. Нижний шарик коснулся земли на расстоянии l от точки бросания по горизонтали. На какой высоте в этот момент был второй шарик? Сопротивлением воздуха и влиянием индуцированных на поверхности зарядов пренебречь.

10.19. Два электрона находятся на бесконечно большом расстоянии друг от друга. При этом один электрон неподвижен, а второй движется на него со скоростью v. На какое наименьшее расстояние сблизятся электроны?

10.20. Квадрат составлен из четырех одинаково и равномерно заряженных стержней (рис. 10.3). Если убрать стержень AB, то напряженность электрического поля в центре

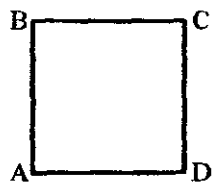

рис. 10.3

квадрата станет равна E. Какой станет напряженность в центре квадрата, если убрать еще и стержень BC?

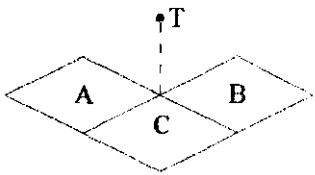

рис. 10.4

10.21. Три квадратные одинаково и равномерно заряженные пластины из диэлектрика сложены вместе (рис. 10.4). При этом в некоторой точке T, расположенной над общей точкой, напряженность электрического поля равна E_1. Когда пластину A убрали, напряженность в этой точке стала равна E_2. Какой станет напряженность в точке T, если убрать и пластину B?

10.22. В атоме водорода электрон вращается по круговой орбите вокруг неподвижного протона. Найти отношение потенциальной энергии электрона к его кинетической энергии.

10.23. Электрический диполь состоит из двух точечных зарядов q и –q, находящихся на расстоянии l друг от друга. Диполь находится в состоянии устойчивого равновесия в однородном электрическом поле с напряженностью E. Какую работу надо совершить, чтобы повернуть диполь на 180^0?

10.24. Три концентрические сферы радиусами R, 2R и 3R равномерно заряжены зарядами Q, 2Q и 3Q соответственно. Найти потенциалы и напряженности электрического поля на поверхностях сфер.

10.25. Протон и электрон одновременно начинают двигаться без начальной скорости от противопо-

ложно заряженных параллельных пластин навстречу друг другу. Через какое время они встретятся? Расстояние между пластинами d = 4 см, разность потенциалов между ними $\Delta\varphi$ = 300 В. Взаимодействием протона и электрона пренебречь.

10.26. Заряженное тело сжали так, что все его размеры уменьшились в n раз. Во сколько раз изменилась энергия электрического поля этого тела?

10.27. Две сферы радиусом R имеют одинаковый заряд Q, равномерно распределенный по их поверхности. Какую минимальную энергию надо сообщить электрону на поверхности одной из сфер, чтобы он смог достичь второй сферы? Расстояние между центрами сфер L > 2R.

10.28. Заряженный шарик массой m висит на легкой нити. Какую минимальную работу надо совершить, чтобы издалека медленно поднести другой заряженный шарик и поместить его в точку, где раньше находился первый шарик, если при этом первый шарик отклоняется, поднявшись на высоту h?

10.29. Пластины плоского конденсатора расположены вертикально и имеют длину *l*. Вдоль средней линии конденсатора из точки, расположенной на *l* выше пластин без начальной скорости падает шарик массой m, заряженный зарядом q (рис. 10.5). Какую разность потенциалов надо подать на пластины, чтобы шарик при падении не задел их? Расстояние между пла-

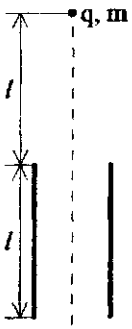

рис. 10.5

стинами d, сопротивления нет.

10.30. Плоский конденсатор образован двумя одинаковыми пластинами площадью S = 100 см^2. Пластины равномерно заряжены одинаковыми по величине и противоположными по знаку зарядами q = 10^{-8} Кл. Определить силу взаимодействия пластин.

10.31. Протон и α - частица, двигаясь с одинаковой скоростью вдоль одной прямой, влетают в длинный плоский конденсатор параллельно его пластинам. Во сколько раз α - частица улетит дальше протона внутри конденсатора?

10.32. Электрон, ускоренный разностью потенциалов $\Delta\varphi_0$, влетает в пространство между пластинами плоского конденсатора параллельно его пластинам. Расстояние между пластинами d, их длина l. Какую разность потенциалов надо подать на конденсатор, чтобы конденсатор не вылетел из него?

10.33. Пластины плоского воздушного конденсатора соединены непроводящей пружиной. Когда пластины зарядили зарядами +q и −q, расстояние между ними уменьшилось вдвое. Определить жесткость пружины, если площадь пластин S, начальное расстояние между ними d.

10.34. Пылинка массой m, заряженная зарядом q, равномерно падает вдоль осевой линии вертикального плоского конденсатора (рис. 10.6). Длина пластин - l, расстояние между ними - d. Какую разность потенциа-

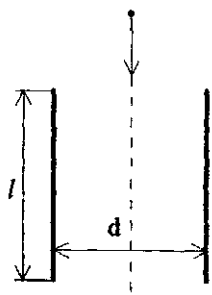

рис. 10.6

лов надо подать на пластины конденсатора, чтобы пылинка из него не вылетела. Сила сопротивления воздуха пропорциональна скорости.

10.35. Диполь, состоящий из двух точечных зарядов +q и –q, соединенных легким непроводящим стержнем длиной *l*, находится в однородном электрическом поле с напряженностью E. Угол между стержнем и силовыми линиями поля равен α (рис. 10.7). Найти потенциальную энергию диполя в электрическом поле.

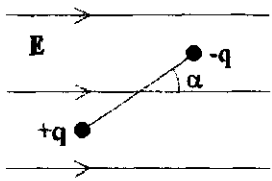

рис. 10.7

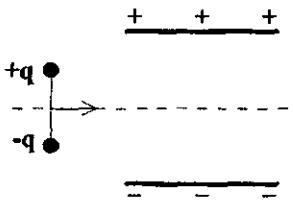

рис. 10.8

10.36. Диполь, состоящий из двух точечных зарядов +q и –q массой m каждый, движется из бесконечности вдоль осевой линии плоского конденсатора (рис. 10.8). Расстояние между пластинами конденсатора d, расстояние между зарядами диполя *l* (*l* < d). Между пластинами конденсатора поддерживается постоянная разность потенциалов Δφ. Какова скорость диполя внутри конденсатора, если на бесконечности она равна v_0?

10.37. На рис. 10.9 изображены силовые линии электрического поля. Может ли существовать такое электрическое поле?

10.38. Могут ли пересекаться силовые линии электрического поля?

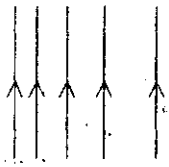
рис. 10.9

11. Теорема Гаусса

11.1. Определить напряженность электрического поля, создаваемую бесконечной тонкой плоской поверхностью, равномерно заряженной с поверхностной плотностью заряда σ.

11.2. Бесконечно длинная цилиндрическая поверхность радиусом R равномерно заряжена электрическим зарядом с поверхностной плотностью σ. Определить напряженность электрического поля внутри поверхности и снаружи.

11.3. Сферическая поверхность радиусом R равномерно заряжена электрическим зарядом Q. Определить напряженность электрического поля внутри сферы и снаружи.

11.4. Шар радиусом R равномерно заряжен по объему с объемной плотностью заряда ρ. Определить напряженность электрического поля внутри шара и снаружи.

11.5. Плоский бесконечный слой толщиной h равномерно заряжен по объему с объемной плотностью заряда ρ (рис. 11.1). Определить зависимость напряженности электрического поля в зависимости от расстояния x до среднего сечения слоя.

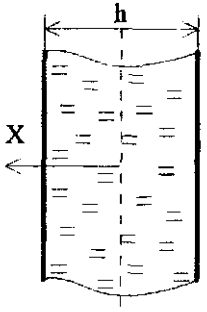

рис. 11.1

11.6. Две концентрические сферы с радиусами R_1 и R_2 ($R_1 < R_2$) заряжены равномерно

зарядами Q_1 и Q_2. Определить напряженность электрического поля на расстоянии r от центра системы, если: а) $r < R$; б) $R_1 < r < R_2$; в) $r > R_2$.

11.7. Две бесконечные плоские равномерно заряженные параллельные пластины дают напряженности электрического поля в точках A и B E_A и E_B соответственно (рис. 11.2). Найти поверхностные плотности зарядов пластин σ_1 и σ_2.

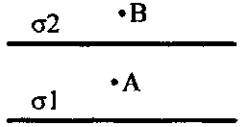

рис. 11.2

11.8. Две бесконечные плоские параллельные поверхности заряжены равномерно с одинаковой поверхностью заряда σ. Найти разность потенциалов между точками A и B (рис. 11.3). Геометрические размеры указаны на рисунке.

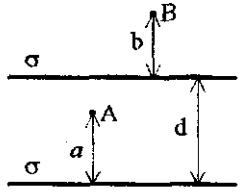

рис. 11.3

11.9. Найти плотность электрического заряда в атмосфере, если на поверхности Земли напряженность электрического поля равна $E_1 = 100$ В/м, а на высоте $h = 1{,}5$ км - $E_2 = 25$ В/м. Считать, что плотность заряда постоянна, а вектор напряженности направлен вертикально вверх.

11.10. Две концентрические сферы находятся одна в другой. Внутреннюю сферу нагрели и она начала излучать электроны. В секунду вылетает n электронов со скоростью v. Через какое время заряды сфер перестанут изменяться, если радиус внутренней сферы равен r, а радиус внешней на Δr больше. $\Delta r \ll r$.

11.11. В бесконечном плоском слое толщины h вырезана сферическая полость диаметром h (рис. 11.4). Определить напряженность электрического поля в точках А и В, если слой равномерно заряжен с объемной плотностью заряда ρ.

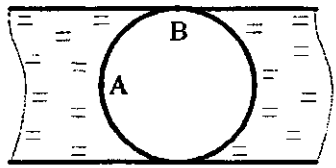

рис. 11.4

11.12. В равномерно заряженном шаре радиусом R имеется сферическая полость радиусом r, центр которой находится от центра шара на расстоянии *a* (рис. 11.5). Определить напряженность электрического поля внутри полости. Объемная плотность заряда шара равна ρ.

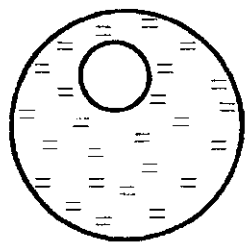
рис. 11.5

11.13. Мыльный пузырь сообщается с атмосферой и имеет электрический заряд q, равномерно распределенный по его поверхности. Определить радиус пузыря, если коэффициент поверхностного натяжения мыльного раствора равен σ.

11.14. Найти разность потенциалов между точками А и В, создаваемую двумя бесконечными плоскими взаимно перпендикулярными равномерно заряженными поверхностями (рис. 11.6). Поверхностные плотности заряда

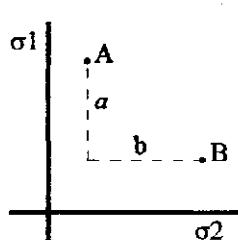

рис. 11.6

равны: $\sigma_1 = 2\cdot10^{-7}$ Кл/м^2, $\sigma_2 = 4{,}2\cdot10^{-7}$ Кл/м^2. $a = 7$ см, $b = 5$ см.

11.15. С какой силой расталкиваются равномерно заряженные грани куба? Поверхностная плотность заряда граней σ, длина ребра грани куба l.

11.16. На плоский слой, заряженный равномерно по объему положительным зарядом с плотностью ρ, падают положительно заряженные частицы с зарядом q и кинетической энергией W (рис. 11.7). Определить толщину слоя, если известно, что максимальный угол падения, при котором частицы могут пролететь слой, равен α.

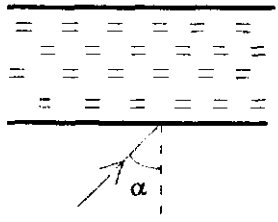

рис. 11.7

11.17. Две плоские параллельные пластины расположены очень близко друг к другу и заряжены равномерно одинаковым по модулю и противоположным по знаку зарядом. Напряженность электрического поля в точке А, находящейся далеко от края пластин, равна E_0 (рис. 11.8). Какова напряженность поля в точке В, находящейся на срезе пластин, если известно, что силовая линия, проходящая через точку В, составляет с плоскостью пластин угол α.

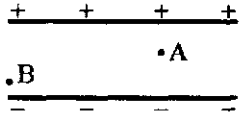

рис. 11.8

12. Проводники и диэлектрики в электрическом поле

12.1. Внутри металлической незаряженной сферы находится точечный заряд q (рис. 12.1). Нарисовать примерную картину силовых линий электрического поля внутри и вне сферы.

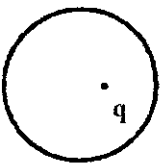

рис. 12.1

12.2. Точечный заряд q находится на расстоянии *a* от бесконечной плоской металлической поверхности. Найти силу, действующую на заряд со стороны поверхности.

12.3. Точечный заряд q находится на расстоянии R от центра незаряженной металлической сферы. Радиус сферы равен r. Каков потенциал поверхности сферы, если: а) $R > r$; б) $R < r$.

12.4. Две бесконечные параллельные проводящие плиты заряжены так, что суммарная поверхностная плотность заряда плит равна σ_1 и σ_2 (рис. 12.2). Найти плотность заряда каждой поверхности обеих плит.

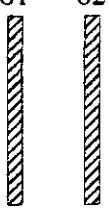

рис. 12.2

12.5. Металлический шар радиусом R_1, заряженный до потенциала φ_1, окружают тонкой сферической концентрической металлической оболочкой радиусом R_2. Каким будет потенциал шара, если его соединить с оболочкой проволокой?

12.6. Металлический шар радиусом R_1, заряженный до потенциала φ, окружают тонкой сферической концентрической оболочкой радиусом R_2. Каким будет потенциал шара, если оболочку заземлить?

12.7. В центре металлического заряженного шара потенциал равен φ_0 = 100 В, а в точке, находящейся на расстоянии r = 30 см от центра шара, потенциал равен φ = 50 В. Определить радиус шара.

12.8. Металлический заряженный шар радиусом R_1 окружен металлическим концентрическим сферическим слоем, внутренний и внешний радиусы которого равны R_2 и R_3. Нарисовать примерные графики зависимости напряженности и потенциала электрического поля от расстояния до центра шара.

12.9. На расстоянии a = 10 см от плоской вертикальной проводящей поверхности на нити длиной l = 12 см висит маленький шарик массой m = 0,1 г. Когда шарику сообщили электрический заряд, нить отклонилась от вертикали на угол $\alpha = 30^0$. Найти заряд шарика.

12.10. Проводник заряжен электрическим зарядом. Определить давление, которое испытывает поверхность проводника со стороны электрического поля в точке с поверхностной плотностью заряда σ.

12.11. Металлический шарик радиусом R = 2 см, имеющий заряд $q = 1{,}5 \cdot 10^{-7}$ Кл, висит на непроводящей нити. На нить нанизали еще один металлический незаряженный шарик радиусом r = 1 см и мас-

сой m = 0,1 г. На какой высоте над первым шариком остановится второй?

12.12. Электрическое поле образовано внешним однородным электрическим полем и полем заряженной металлической пластины. Напряженность результирующего поля равна (рис. 12.3): E_1 = 30 кВ/м; E_2 = 50 кВ/м. Определить заряд пластины, если сила, действующая не нее со стороны поля равна F = 0,7 Н.

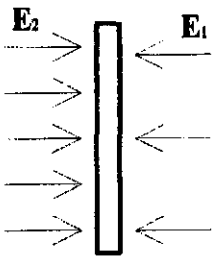

рис. 12.3

12.13. Два металлических шарика радиусами r_1 и r_2 заряжены до потенциалов φ_1 и φ_2 и находятся на большом расстоянии друг от друга. Каким будет потенциал шариков, если соединить их тонкой проволокой?

12.14. Четыре шарика радиусами r, 2r, 3r и 4r заряжены до потенциалов 4φ, 3φ, 2φ и φ соответственно и находятся на больших расстояниях друг от друга. Каким будет потенциал шариков, если их соединить тонкими проволочками?

12.15. Найти заряд, наведенный на поверхности заземленной металлической сферы радиусом R, точечным зарядом q, расположенным вне сферы на расстоянии *l* от ее центра.

12.16. Между двумя одинаковыми параллельными металлическими пластинами вставляют третью такую же пластину, заряженную равномерно с плотностью заряда σ. Расстояния от заряженной пла-

стины до незаряженных равны a и b. Найти плотность наведенных на внешних пластинах зарядов после их заземления (рис. 12.4).

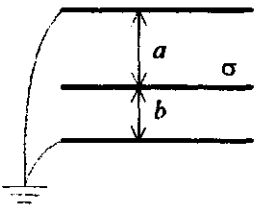

рис. 12.4

12.17. Внутри заземленной металлической сферы радиусом R находится точечный заряд q. Найти напряженность электрического поля вне сферы.

12.18. Между двумя точечными зарядами +q и −q поместили тонкий стержень из диэлектрика как показано на рис. 12.5. Как при этом изменилась сила взаимодействия зарядов?

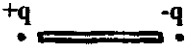

рис. 12.5

12.19. Тонкая пластина из диэлектрика с диэлектрической проницаемостью ε помещена в однородное перпендикулярное ее поверхности электрическое поле с напряженностью E. Найти поверхностную плотность наведенных на ее поверхности связанных зарядов.

12.20. Тонкий длинный стержень из диэлектрика с диэлектрической проницаемостью ε находится в однородном электрическом поле с напряженностью E, направленном вдоль стержня. Найти напряженность поля внутри стержня в точке A (рис. 12.6).

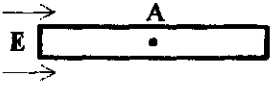

рис. 12.6

12.21. Тонкая пластина из диэлектрика с диэлектрической проницаемостью ε находится в однород-

ном электрическом поле с напряженностью E_0. Угол между вектором $\mathbf{E_0}$ и нормалью к пластине равен α (рис. 12.7). Найти напряженность поля внутри пластины.

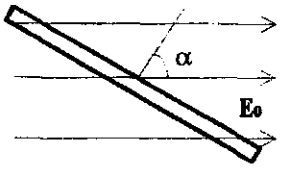

рис. 12.7

12.22. Металлический шар радиусом R_1 окружен сферическим слоем диэлектрика с диэлектрической проницаемостью ε. Внутренний радиус диэлектрика равен R_1, а внешний - R_2. Шар заряжен зарядом q. Найти потенциал шара и связанные заряды, наведенные на поверхностях диэлектрика.

12.23. Металлическая сфера радиусом R_1, заряженная зарядом q, окружена сферическим концентрическим слоем диэлектрика с диэлектрической проницаемостью ε. Радиусы внутренней и внешней поверхностей слоя равны R_2 и R_3. Написать зависимости напряженности и потенциала электрического поля от расстояния до центра системы.

12.24. Два одинаковых шарика заряжены одноименными зарядами и висят на двух одинаковых нитях, подвешенных в одной точке. Когда шарики опустили в жидкость, угол между нитями не изменился. Найти диэлектрическую проницаемость жидкости, если плотность материала шариков в 3 раза больше плотности жидкости.

12.25. Небольшой массивный шарик висит на пружинке над горизонтальной металлической поверхностью на высоте h = 10 см от нее. Когда шарику сообщили заряд q = 5 мкКл, высота его над поверх-

ностью уменьшилась вдвое. Определить жесткость пружинки.

12.26. Равномерно заряженное зарядом q кольцо расположено на расстоянии l от центра заземленной металлической сферы (рис. 12.8). Радиус кольца r, а радиус сферы R. Ось кольца проходит через центр сферы. Какой заряд наведен на сфере?

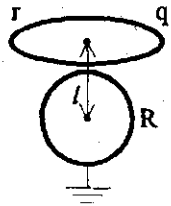

рис. 12.8

12.27. Вдоль оси металлической трубы равномерно движется заряженная частица. Как изменится скорость частицы при прохождении сужения (рис. 12.9)? Внешних сил нет.

рис. 12.9

12.28. Точечный заряд q находится в центре сферического слоя диэлектрика с диэлектрической проницаемостью ε (рис. 12.10). Какую работу надо совершить, чтобы удалить заряд через узкий канал из центра на бесконечность? Внутренний и наружный радиусы слоя равны r и R.

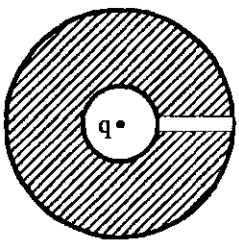

рис. 12.10

12.29. На расстояниях l_1 = 10 см и l_2 = 25 см от поверхности заряженной проводящей сферы потенциалы равны φ_1 = 200 В и φ_2 = 100 В. Найти потенциал в центре сферы.

12.30. Пространство между двумя параллельными металлическими пластинами заполнено двумя

слоями диэлектрика с проницаемостями ε_1 и ε_2 толщиной d_1 и d_2 соответственно (рис. 12.11). Найти поверхностную плотность связанных зарядов на границе раздела слоев, если разность потенциалов между пластинами равна $\Delta\varphi$, а электрическое поле направлено от слоя 1 к слою 2.

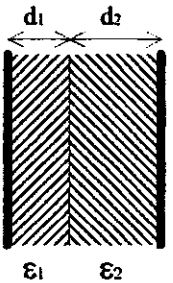

рис. 12.11

12.31. Два небольших металлических шарика подключены к источнику постоянного напряжения. Как изменится сила взаимодействия шариков, если их погрузить в жидкий диэлектрик?

12.32. Заряженный металлический шарик имеет радиус R. К нему прикасаются незаряженным металлическим шариком, радиус которого равен r, и отводят на некоторое расстояние $l >> r$ и R. При каком значении r сила взаимодействия шариков будет максимальной?

13. Электроемкость. Конденсаторы

13.1. Найти емкость уединенного проводящего шара радиусом R.

13.2. Сферический конденсатор состоит из двух концентрических сферических поверхностей радиусами R_1 и R_2, между которыми находится диэлектрик с диэлектрической проницаемостью ε. Определить емкость конденсатора.

13.3. Найти емкость конденсатора, состоящего из двух шаров радиусом r, находящихся в диэлектрике с проницаемостью ε на расстоянии R >> r друг от друга.

13.4. Найти емкость проводящего шара радиусом r = 100 мм, окруженного слоем диэлектрика с проницаемостью ε = 6 и внешним радиусом R = 200 мм. Диэлектрик вплотную прилегает к шару.

13.5. Пространство между обкладками плоского конденсатора заполнено двумя слоями диэлектрика с проницаемостями ε_1 и ε_2 толщиной d_1 и d_2 соответственно (рис. 12.11). Какова емкость такого конденсатора, если площадь пластин равна S.

13.6. Пространство между пластинами плоского конденсатора заполнено двумя слоями диэлектрика как показано на рис. 13.1. Высота слоев равна a_1 и a_2, а их диэлектрическая проницаемость ε_1 и ε_2 соответственно. Найти емкость такого

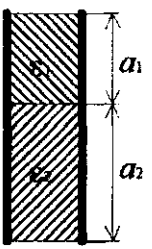

рис. 13.1

конденсатора. Площадь пластин конденсатора равна S, а расстояние между ними d.

13.7. Площадь пластин плоского воздушного конденсатора равна S, расстояние между ними d. Между пластинами параллельно им вставили третью металлическую пластину толщиной *a* и площадью S (рис. 13.2). Найти емкость получившегося конденсатора.

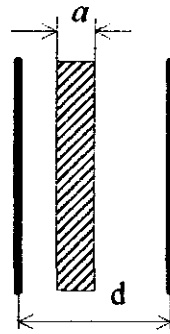

рис. 13.2

13.8. Два проводника емкостью C_1 и C_2 удалены друг от друга на очень большое расстояние. Какова емкость конденсатора, образованного этими проводниками?

13.9. Два проводника емкостью C_1 и C_2, заряженные до потенциалов φ_1 и φ_2, находятся на большом расстоянии друг от друга. Каким будет потенциал проводников, если соединить их тонкой проволокой?

13.10. Два проводника, заряженные одинаковым зарядом, имеют потенциалы φ_1 = 40 В и φ_2 = 60 В. Проводники находятся на большом расстоянии друг от друга. Каким будет потенциал проводников, если соединить их тонкой проволокой?

13.11. Два проводника находятся на большом расстоянии друг от друга. Первый, емкостью $C_1 = 10^{-5}$ мкФ, заряжен до потенциала φ_1 = 6 кВ, а второй, емкостью $C_2 = 2\cdot10^{-5}$ мкФ - до φ_2 = 12 кВ. Какое ко-

личество теплоты выделится, если соединить проводники тонкой проволокой?

13.12. Два одинаковых шара находятся на большом расстоянии друг от друга. Поле первого шара имеет энергию $W_1 = 16 \cdot 10^{-4}$ Дж, а второго - $W_2 = 36 \cdot 10^{-4}$ Дж. Какое количество теплоты выделится при соединении этих шаров тонкой проволокой?

13.13. Между пластинами плоского конденсатора находится пластина диэлектрика с проницаемостью ε. Емкость конденсатора C, его заряд q. Какую работу надо совершить, чтобы вытащить пластину из конденсатора? Трения нет, конденсатор отключен от источника напряжения.

13.14. Решить предыдущую задачу в предположении, что конденсатор от источника напряжения не отключен.

13.15. Емкость плоского конденсатора равна C. Одна его пластина имеет заряд q, а другая не заряжена. Найти разность потенциалов между пластинами.

13.16. Как изменится сила притяжения пластин плоского воздушного заряженного конденсатора, если расстояние между пластинами увеличить в 3 раза? Рассмотреть случаи: а) конденсатор отключен; б) конденсатор не отключен от источника напряжения.

13.17. Одну пластину незаряженного конденсатора емкостью C заземляют, а другую присоединяют длинным проводом к удаленному металлическому

шару радиусом r, имеющему заряд q_0. Какой заряд останется на шаре?

13.18. Одну пластину конденсатора емкостью C соединяют с удаленным незаряженным металлическим шаром радиусом R, а другую - с удаленным металлическим шаром радиусом r, заряженным зарядом q_0. Какой заряд окажется на первом шаре?

13.19. Плоский воздушный конденсатор емкостью C, состоящий из двух металлических пластин массой m каждая, заряжен до напряжения U. Одну из пластин конденсатора отпускают. Какую скорость она приобретет к моменту, когда расстояние между пластинами уменьшится вдвое? Трения нет, силу тяжести не учитывать, конденсатор отключен от источника напряжения.

13.20. Решить предыдущую задачу в предположении, что конденсатор от источника напряжения не отключен.

13.21. В плоский конденсатор с размерами пластин $a \times b$ вдвигают параллельно стороне a с постоянной скоростью v диэлектрик толщиной d, равной расстоянию между пластинами конденсатора. Конденсатор подключен к источнику напряжения U. Определить силу тока в цепи. Диэлектрическая проницаемость диэлектрика равна ε.

13.22. С какой силой втягивается диэлектрическая пластина в плоский конден-

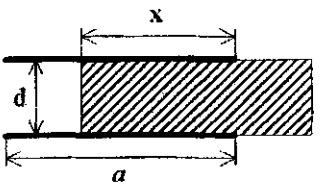

рис. 13.3

сатор, заряженный зарядом q? Диэлектрическая проницаемость пластины ε, ее толщина d равна расстоянию между пластинами конденсатора, размеры всех трех пластин $a \times b$, пластина вдвинута в конденсатор на величину x (рис. 13.3). Силы трения нет.

13.23. Три одинаковые параллельные пластины площадью S расположены на одинаковом расстоянии d друг от друга. Крайние пластины объединены (рис. 13.4). Определить емкость этой системы.

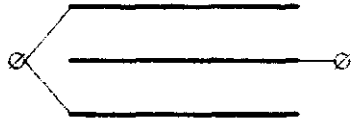

рис. 13.4

13.24. Между замкнутыми пластинами плоского конденсатора находится металлическая пластина с зарядом q. Размеры всех трех пластин одинаковы и все они параллельны. Внутреннюю пластину переместили параллельно самой себе на расстояние x (рис. 13.5). Какой заряд прошел по проводу замыкания? Расстояние между пластинами конденсатора равно d.

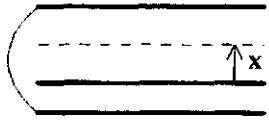

рис. 13.5

13.25. Четыре одинаковые металлические пластины площадью S = 220 см^2 расположены на расстоянии d = 1 мм друг от друга и соединены как показано на рис. 13.6. Найти емкость такой системы.

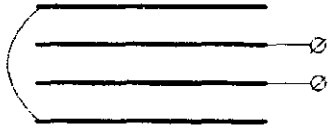

рис. 13.6

13.26. Одна из пластин плоского конденсатора неподвижна, а вторая может двигаться, но связана с неподвижной стенкой пружиной жесткости k (рис.

13.7). Площадь пластин S, расстояние между ними в отсутствии напряжения равно d. Какое максимальное напряжение можно подать на конденсатор? Силу тяжести не учитывать.

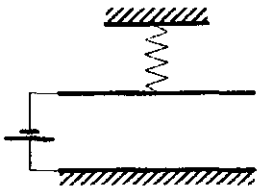

рис. 13.7

13.27. Конденсатор емкостью C_1 = 1 мкФ выдерживает напряжение не более U_1 = 6 кВ, а конденсатор емкостью C_2 = 2 мкФ - не более U_2 = 4 кВ. Какое максимальное напряжение можно подать на систему из этих двух конденсаторов, соединенных последовательно?

13.28. В некоторой цепи имеется участок, показанный на рис. 13.8. Потенциалы точек 1, 2 и 3 равны φ_1, φ_2 и φ_3 соответственно. Определить потенциал точки 0.

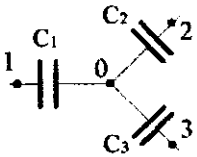

рис. 13.8

13.29. Определить емкость системы конденсаторов (рис. 13.9).

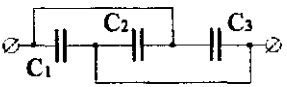

рис. 13.9

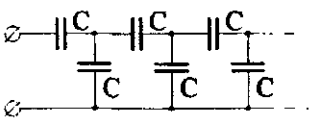

рис. 13.10

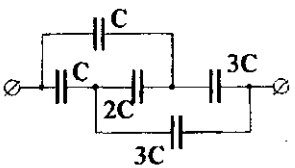

рис. 13.11

13.30. Определить емкость бесконечной цепи конденсаторов (рис. 13.10).

13.31. Определить емкость системы конденсаторов (рис. 13.11).

13.32. Два одинаковых воздушных конденсатора емкостью C соединены параллельно и заряжены до напряжения U. Какую работу необходимо совершить, чтобы раздвинуть пластины одного из конденсаторов на расстояние вдвое большее? Конденсаторы отключены от источника напряжения.

13.33. Решить предыдущую задачу в предположении, что конденсаторы не отключены от источника напряжения.

13.34. В участке цепи, представленном на рис. 13.12: C_1 = 1 мкФ, C_2 = 2 мкФ, ε = 10 В, $\varphi_A - \varphi_B$ = 5 В. Найти напряжение на каждом конденсаторе.

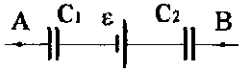

рис. 13.12

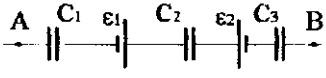

рис. 13.13

13.35. В участке цепи, представленном на рис. 13.13: C_1 = 20 мкФ, C_2 = 30 мкФ, C_3 = 60 мкФ, ε_1 = 1 В, ε_2 = 2 В, $\varphi_A - \varphi_B$ = 3 В. Найти напряжение на конденсаторах.

13.36. Определить заряд конденсаторов в схеме, представленной на рис. 13.14.

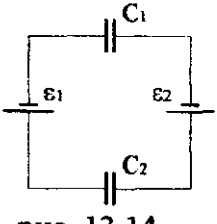

рис. 13.14

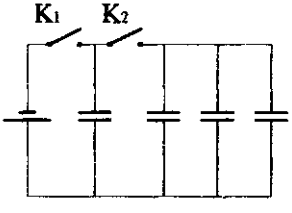

рис. 13.15

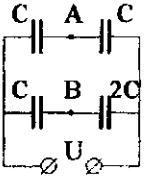

рис. 13.16

13.37. В схеме, представленной на рис. 13.15, сначала замыкают ключ K_1, а ключ K_2 разомкнут. Затем K_1 размыкают, K_2 замыкают. В результате, напряжение на конденсаторах оказалось равно 0,5 В. Определить ЭДС батареи, если все конденсаторы одинаковы.

13.38. Найти разность потенциалов между точками А и В в схеме, представленной на рис. 13.16.

13.39. Найти разность потенциалов между точками А и В в схеме, представленной на рис. 13.17.

13.40. Найти разность потенциалов между точками А и В в схеме, представленной на рис. 13.18.

13.41. Конденсатор емкостью C = 60 мкФ заряжен до напряжения U = 30 В. Какое количество теплоты выделится в цепи (рис. 13.19) после замыкания ключа? ЭДС источника $\varepsilon = 4U$.

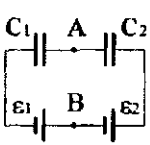

рис. 13.17

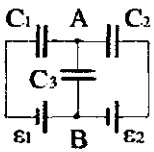

рис. 13.18

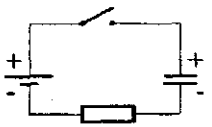

рис. 13.19

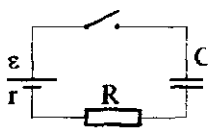

рис. 13.20

13.42. Какое количество теплоты выделится в сопротивлении R после замыкания ключа в схеме, представленной на рис. 13.20? Указанные на рисунке величины даны.

13.43. Конденсаторы емкостью C_1, C_2, C_3, ..., C_n соединены параллельно. Определить общую емкость системы.

13.44. Конденсаторы емкостью C_1, C_2, C_3, ..., C_n соединены последовательно. Найти общую емкость системы.

13.45. Между пластинами плоского заряженного конденсатора вставляют толстую металлическую пластину (рис. 13.21). Как при этом изменяется сила взаимодействия между пластинами, если конденсатор от источника: а) отключен; б) не отключен?

13.46. Две соединенные проводником пластины конденсатора площадью S находятся на расстоянии d друг от друга во внешнем однородном электрическом поле с напряженностью E (рис. 13.22). Какую работу надо совершить, чтобы медленно сблизить пластины до расстояния вдвое меньшего? Пластины расположены перпендикулярно полю.

13.47. Между закороченными пластинами плоского конденсатора помещена третья такая же пластина (рис. 13.23). Крайние пластины первоначально не заряжены, а средняя имеет заряд q = 1 мкКл. Найти напряженность электрического поля между пластинами, если расстояния между ними равны: l_1 = 8 мм и l_2 = 10 мм, а площадь пластин S = 10 см^2.

13.48. В плоский конденсатор, подключенный к источнику напряжения U, помещена пластина, имеющая заряд q (рис. 13.24). Расстояния от пластины до обкладок конденсатора равны d_1 и d_2, площадь

пластины и обкладок конденсатора равна S. Какая сила действует на пластину?

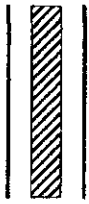

рис. 13.21

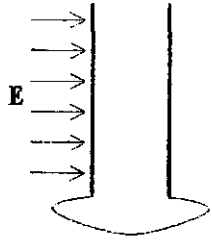

рис. 13.22

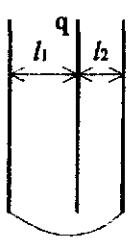

рис. 13.23

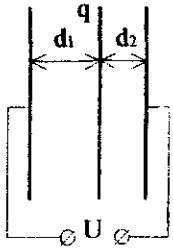

рис. 13.24

13.49. Какое количество теплоты выделится в цепи (рис. 13.25) при переключении ключа из положения 1 в положение 2?

13.50. Между пластинами плоского заряженного конденсатора вставляют пластину из диэлектрика (рис. 13. 21). Как изменяется при этом сила взаимодействия пластин конденсатора, если конденсатор от источника напряжения: а) отключен; б) не отключен?

13.51. Конденсатор, подключенный к источнику напряжения, погружают в диэлектрическую жидкость. Как при этом изменяется напряженность электрического поля в конденсаторе?

13.52. Как изменится емкость плоского конденсатора, если между его пластинами вставить тонкую металлическую пластинку?

13.53. Пластины заряженного конденсатора попеременно заземляют. Что при этом происходит с зарядом конденсатора?

13.54. Плоский воздушный конденсатор после зарядки отключили от источника напряжения и опустили в керосин. Как при этом изменится энергия конденсатора?

13.55. Заряд конденсатора емкостью 3С в схеме на рис. 13.26 равен q. Каков заряд двух остальных конденсаторов?

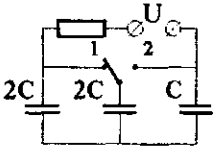

рис. 13.25

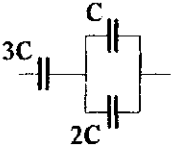

рис. 13.26

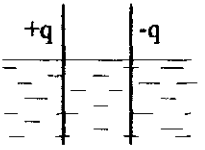

рис. 13.27

13.56. Пластины плоского заряженного конденсатора частично погружены в жидкий диэлектрик (рис. 13.27). Где напряженность электрического поля больше: в воздухе или в диэлектрике?

13.57. Как изменится разность потенциалов между пластинами заряженного конденсатора, если расстояние между ними увеличить: а) в два раза; б) в миллион раз? Конденсатор от источника напряжения отключен.

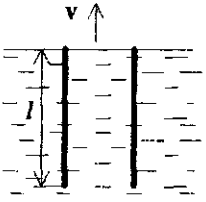

рис. 13.28

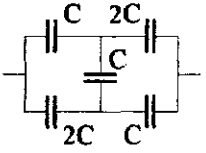

рис. 13.29

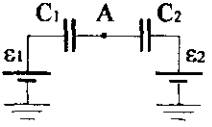

рис. 13.30

13.58. Плоский конденсатор, заряженный зарядом q, погружен в диэлектрическую жидкость с про-

ницаемостью ε (рис. 13.28). В момент времени t = 0 конденсатор начинаю вытаскивать из жидкости с постоянной скоростью v. Написать зависимость напряженности электрического поля в конденсаторе от времени, если площадь пластин равна S, а высота пластин - *l*.

13.59. Определить емкость системы конденсаторов, представленной на рис. 13.29.

13.60. В схеме, представленной на рис. 13.30: C_1 = 0,1 мкФ, C_2 = 0,4 мкФ, ε_1 = 1,5 В, ε_2 = 3 В. Определить потенциал точки А.

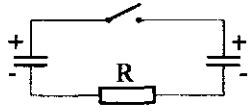

рис. 13.31

13.61. Конденсаторы емкостью C_1 = 20 мкФ и C_2 = 60 мкФ, предварительно заряженные до напряжений U_1 и U_2, соединены как показано на рис. 13.31. В момент замыкания ключа через сопротивление R = 80 Ом течет ток I = 0,2 А. Какое количество теплоты выделится в сопротивлении к моменту прекращения тока?

13.62. Определить емкость системы конденсаторов, представленной на рис. 13.32.

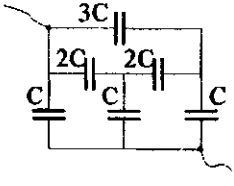

рис. 13.32

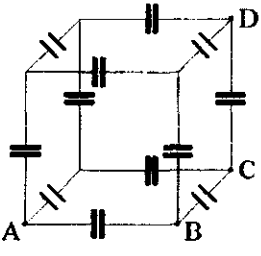

рис. 13.33

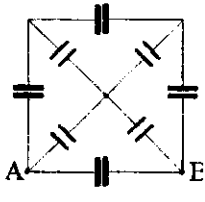

рис. 13.34

13.63. В ребрах проволочного куба находятся одинаковые конденсаторы емкостью C каждый (рис. 13.33). Найти емкость системы между точками: AB, AC, AD.

13.64. Найти емкость системы конденсаторов, представленной на рис. 13.34, между точками A и B. Емкость всех конденсаторов одинакова и равна C.

13.65. Две параллельные незаряженные металлические пластины соединены проводником и помещены в однородное перпендикулярное их плоскости электрическое поле с напряженностью E (рис. 13.22). Найти плотность наведенных на пластинах зарядов.

13.66. Между пластинами плоского конденсатора помещена диэлектрическая пластина с проницаемостью ε. Емкость конденсатора C, расстояние между обкладками d. С какой силой сжимается пластина, если конденсатор заряжен до напряжения U?

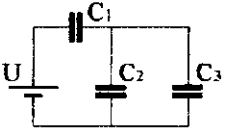

рис. 13.35

13.67. Определить заряды конденсаторов в схеме, представленной на рис. 13.35.

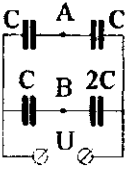

рис. 13.36

13.68. Какой заряд пройдет через источник, если точки A и B соединить перемычкой (рис. 13.36)?

14. Постоянный электрический ток

14.1. Определить ток, создаваемый электроном, движущемся в атоме водорода по орбите радиусом $r = 0{,}5 \cdot 10^{-10}$ м.

14.2. Определить среднюю скорость электронов проводимости в серебряной проволоке диаметром 1 мм при силе тока в ней 30 А. Считать, что на каждый атом серебра приходится один электрон проводимости.

14.3. Лента шириной $d = 30$ см движется со скоростью $v = 20$ м/с. Лента заряжена так, что напряженность электрического поля по обе стороны от ленты равна $E = 1{,}2 \cdot 10^6$ В/м. Какова сила тока, переносимого лентой?

14.4. По проводнику площадью сечения S и с удельным сопротивлением ρ течет ток I. Какая средняя сила сопротивления действует на носители тока, если их заряд равен e?

14.5. Предположив, что электрическое сопротивление металлов обусловлено столкновениями электронов с узлами кристаллической решетки, оценить среднее время свободного пробега электронов в металле между столкновениями. Удельное сопротивление металла равно ρ, концентрация электронов проводимости n.

14.6. Длину проволоки вытягиванием увеличили вдвое. Как при этом изменилось ее сопротивление?

14.7. Найти отношение сопротивлений двух железных проволок одинаковой массы, если их диаметры отличаются в 2 раза.

14.8. Средняя скорость направленного движения электронов в проводнике составляет миллиметры в секунду. Почему тогда лампочка зажигается сразу после нажатия кнопки выключателя?

14.9. Ток в проводнике течет от «плюса» к «минусу», то есть вдоль силовых линий электрического поля. Однако в проводнике, показанном на рис. 14.1, на участке AB ток течет противоположно силовым линиям. Как это объяснить?

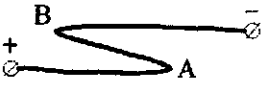

рис. 14.1

14.10. Плотность тока j перпендикулярна поверхности раздела двух сред с удельными сопротивлениями ρ_1 и ρ_2. Найти поверхностную плотность заряда на этой поверхности. Ток течет из первой среды во вторую.

14.11. Через поверхность раздела двух сред с удельными сопротивлениями ρ_1 и ρ_2 из первой среды во вторую течет ток. Линии тока в первой среде составляют угол α_1 с нормалью к поверхности раздела (рис. 14.2). Найти угол между линиями тока и этой нормалью во второй среде.

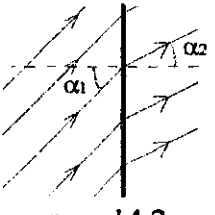

рис. 14.2

14.12. В предыдущей задаче плотность тока в первой среде равна j_1. Найти поверхностную плотность заряда на поверхности раздела.

14.13. Елочная гирлянда сделана из лампочек для карманного фонарика. Напряжение на каждой лампочке 3 В. Почему же, если вывернуть одну лампочку и вставить палец в патрон, то сильно «дернет током»?

14.14. Для измерения неизвестного сопротивления было решено измерить силу тока и напряжение в нем. По какой схеме лучше проводить измерения (рис. 14.3 а, б), если сопротивление вольтметра $R_V >> R$, а про сопротивление амперметра ничего не известно?

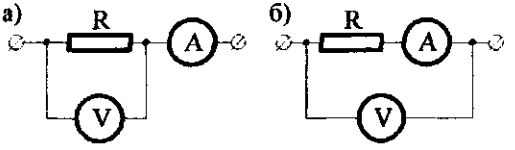

рис. 14.3

14.15. Как будут изменяться показания приборов при движении движка реостата в направлении стрелок на рис. 14.4 а, б, в?

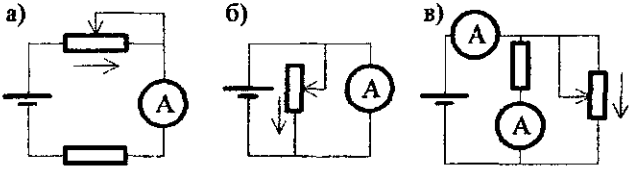

рис. 14.4

14.16. Как изменяются показания приборов при замыкании ключей на рис. 14.5 а, б, в?

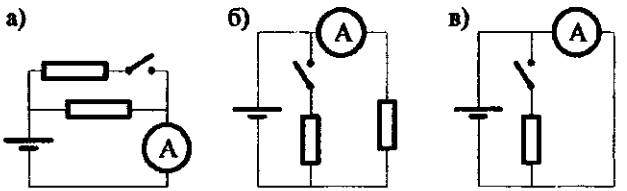

рис. 14.5

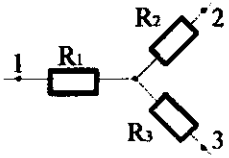

рис. 14.6

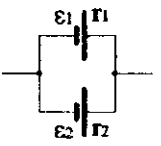

рис. 14.7

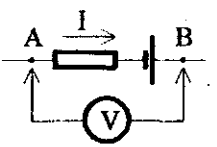

рис. 14.8

14.17. На рис. 14.6 представлен участок цепи. Сопротивления равны: $R_1 = 1$ Ом; $R_2 = 2$ Ом, $R_3 = 3$ Ом, а потенциалы точек 1, 2 и 3: $\varphi_1 = 10$ В; $\varphi_2 = 9$ В; $\varphi_3 = 6$ В. Найти токи, текущие в сопротивлениях.

14.18. На участке цепи, представленном на рис. 14.7: $\varepsilon_1 = 10$ В, $r_1 = 1$ Ом, $\varepsilon_2 = 12$ В, $r_2 = 4$ Ом. Общий ток в цепи равен 3 А. Найти ток в каждом источнике.

14.19. Аккумулятор с ЭДС $\varepsilon = 12$ В и внутренним сопротивлением $r = 1$ Ом заряжается током $I = 3$ А. Найти разность потенциалов на клеммах аккумулятора.

14.20. Аккумулятор заряжают током $I_1 = 1$ А и разность потенциалов на его клеммах равна $\Delta\varphi_1 = 20$ В. Когда ток изменился до $I_2 = 0{,}5$ А разность потенциалов стала $\Delta\varphi_2 = 19$ В. Найти ток короткого замыкания аккумулятора.

14.21. Вольтметр подключают к точкам А и В участка цепи (рис. 14.8). Что показывает вольтметр: напряжение на участке АВ или разность потенциалов между точками А и В?

14.22. Аккумулятор с нулевым внутренним сопротивлением замыкают последовательно на два разных сопротивления. При этом получаются токи: $I_1 = 3$ А и $I_2 = 6$ А. Какой получится ток, если замкнуть аккумулятор на оба эти сопротивления, соединенные последовательно?

14.23. Когда внешнее сопротивление аккумулятора уменьшили на 20%, ток увеличился на 20%. На сколько увеличится ток, если сопротивление уменьшить на 40%?

14.24. Аккумулятор замкнули сначала на одно сопротивление, затем на другое и наконец - на оба сопротивления, соединенные последовательно. Получилось соответственно три значения силы тока: 3 А, 2 А и 1,5 А. Какой получится ток, если аккумулятор замкнуть на оба сопротивления, соединенные параллельно?

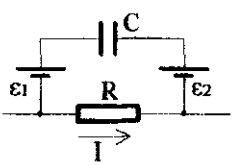

рис. 14.9

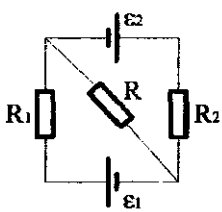

рис.14.10

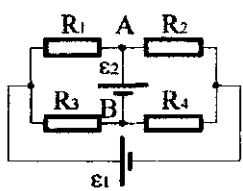

рис. 14.11

14.25. По участку цепи, представленному на рис. 14.9, течет ток I. Найти заряд конденсатора.

14.26. В схеме, представленной на рис. 14.10, даны величины R_1, ε_1 и ε_2. Найти значение сопротивления R_2, при котором ток в сопротивлении R равен нулю. Внутренним сопротивлением источников пренебречь.

14.27. В схеме, представленной на рис. 14.11: R_1 = 10 Ом, R_2 = 20 Ом, R_3 = 30 Ом, R_4 = 40 Ом, ε_1 = 105 В. При каком значении ε_2 ток на участке АВ равен нулю? Сопротивлением источников пренебречь.

14.28. В схеме, представленной на рис. 14.12: R_1 = 10 Ом, R_2 = 20 Ом, ε_1 = 5 В, ε_2 = 2 В. Определить разность потенциалов между точками А и В. Сопротивлением источников пренебречь.

14.29. В схеме, представленной на рис. 14.13: R_1 = 2 Ом, R_2 = 3 Ом, R_3 = 6 Ом, R_4 = 7 Ом, U = 36 В. Найти ток на участке АВ.

14.30. Чему равна разность потенциалов между клеммами источника при его коротком замыкании?

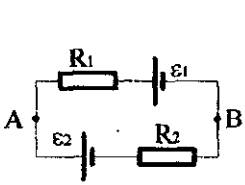

рис. 14.12

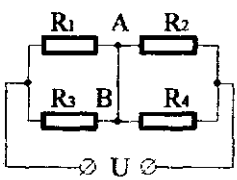

рис. 14.13

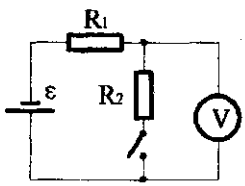

рис. 14.14

14.31. Идеальный источник тока должен давать одинаковый ток при любой нагрузке, а идеальный источник напряжения должен давать одинаковую разность потенциалов на любой нагрузке. Каким

внутренним сопротивлением должны обладать идеальные источники тока и напряжения?

14.32. Через аккумулятор под конец его зарядки течет ток 4 А. При этом разность потенциалов на его клеммах равна 12,6 В. При разрядке этого аккумулятора током 6 А разность потенциалов на его клеммах равна 11,1 В. Найти ток короткого замыкания аккумулятора.

14.33. В схеме, представленной на рис. 14.14, известны: ε, R_1 и R_2. При разомкнутом ключе показание вольтметра равно U_0. Каким будет показание вольтметра при замкнутом ключе? Внутренним сопротивлением источника пренебречь.

14.34. В схеме, представленной на рис. 14.15: $R_1 = 10$ Ом, $R_2 = 20$ Ом. Найти отношение напряжений на конденсаторах C_1 и C_2.

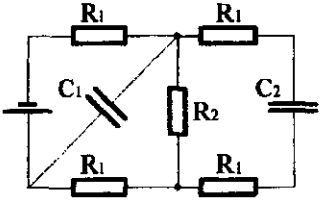

рис. 14.15

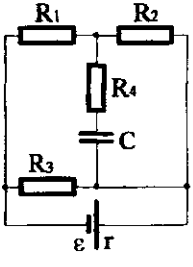

рис. 14.16

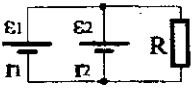

рис. 14.17

14.35. В схеме, представленной на рис. 14.16: $\varepsilon = 24$ В, $r = 1$ Ом, $R_1 = R_2 = 5$ Ом, $R_3 = R_4 = 10$ Ом, $C = 2$ мкФ. Определить заряд конденсатора.

14.36. В схеме, представленной на рис. 14.17: $\varepsilon_1 = 2$ В, $r_1 = 2$ Ом, $\varepsilon_2 = 3$ В, $r_2 = 1$ Ом, $R = 10$ Ом. Определить ток в сопротивлении R.

14.37. Имеется очень много одинаковых батареек с ЭДС ε и внутренним сопротивлением r. Какую максимальную силу тока можно получить на внешнем сопротивлении R, соединяя батарейки: а) последовательно; б) параллельно?

14.38. Источник с ЭДС ε и внутренним сопротивлением r зашунтирован сопротивлением R (рис. 14.18). Определить эквивалентные ЭДС и внутреннее сопротивление полученной системы.

14.39. Имеется n источников, имеющие ЭДС ε_1, ε_2, ε_3, ..., ε_n и внутренние сопротивления r_1, r_2, r_3, ..., r_n. Все источники соединены параллельно, а внутреннее сопротивление i - го источника равно нулю. Каковы ЭДС и внутреннее сопротивление батареи?

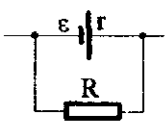

рис. 14.18

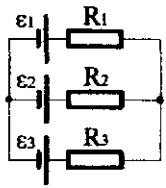

рис. 14.19

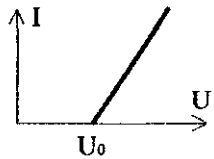

рис. 14.20

14.40. В схеме, представленной на рис. 14.19: $\varepsilon_1 = 30$ В, $\varepsilon_2 = 60$ В, $\varepsilon_3 = 180$ В, $R_1 = 3$ Ом, $R_2 = 6$ Ом, $R_3 = 12$ Ом, внутреннее сопротивление источников равно нулю. Определить все токи в цепи.

14.41. Вольтамперная характеристика некоторого элемента такова, что до напряжения $U_0 = 100$ В ток в

нем отсутствует, а затем линейно растет с ростом напряжения (рис. 14.20). При подключении к этому элементу источника с внутренним r = 2,5 кОм ток через элемент равен I_1 = 2 мА. Если же источник подключить через сопротивление R = 25 кОм, ток становится равен I_2 = 1 мА. Определить ЭДС источника.

14.42. Сразу после замыкания ключа вольтметр показал U_1 = 6 В, а после зарядки конденсатора - U_2 = 9,6 В (рис. 14.21). Что показывал вольтметр до замыкания ключа. R_1 = 1 Ом, R_2 = 2 Ом, вольтметр идеальный.

14.43. n источников, имеющие ЭДС ε_1, ε_2, ε_3, ..., ε_n и внутренние сопротивления $r_1 = \alpha\varepsilon_1$, $r_2 = \alpha\varepsilon_2$, $r_3 = \alpha\varepsilon_3$, ..., $r_n = \alpha\varepsilon_n$, соединены последовательно в кольцо (рис. 14.22). Определить ток в цепи и разность потенциалов между точками A и B.

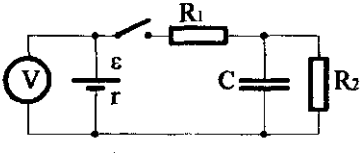

рис. 14.21

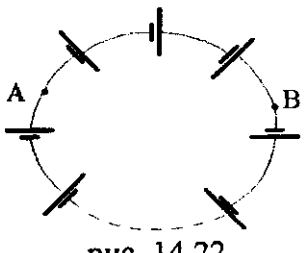

рис. 14.22

14.44. Если к вольтметру последовательно присоединить некоторое добавочное сопротивление, то предел его измерения увеличится в m раз. Другое добавочное сопротивление увеличивает предел измерения вольтметра в n раз. Во сколько раз увеличится предел измерения вольтметра, если к нему присоеди-

нить оба сопротивления, соединенные: а) параллельно; б) последовательно?

14.45. Найти сопротивление участка цепи между точками А и В (рис. 14.23).

14.46. К амперметру с сопротивлением r = 290 Ом присоединили шунт, понижающий чувствительность амперметра в 10 раз. Какое сопротивление надо включить последовательно с этой системой, чтобы общее сопротивление осталось прежним?

14.47. Имеется прибор с ценой деления i_0 = 10 мкА, имеющий n = 100 делений и внутреннее сопротивление r = 50 Ом. Как из этого прибора сделать: а) вольтметр с пределом измерения U = 200 В; б) миллиамперметр с пределом измерения I = 800 мА?

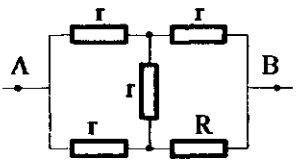

рис. 14.23

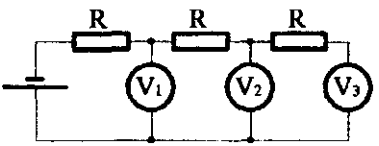

рис. 14.24

14.48. Цепь собрана из трех одинаковых сопротивлений и трех одинаковых вольтметров (рис. 14.24). Показание первого вольтметра равно U_1 = 10 В, а третьего - U_3 = 8 В. Найти показание второго вольтметра.

14.49. Определить заряд конденсатора С в схеме, представленной на рис. 14.25. Внутренним сопротивлением источника пренебречь.

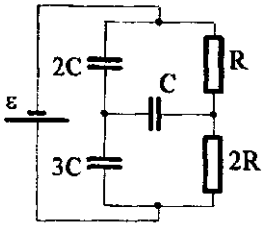

рис. 14.25

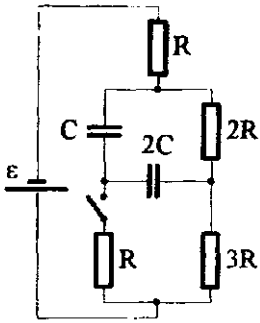

рис. 14.26

14.50. Определить заряд, протекающий через ключ при его замыкании в схеме, представленной на рис. 14.26. Внутренним сопротивлением источника пренебречь.

14.51. При каком сопротивлении R_x в цепочке, представленной на рис. 14.27, сопротивление между

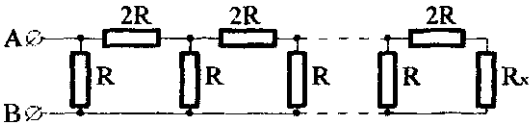

рис. 14.27

точками A и B не зависит от числа ячеек цепочки?

14.52. Определить сопротивление бесконечной проволочной сетки с квадратными ячейками между двумя соседними узлами (рис. 14.28). Сопротивление ребра ячейки равно r.

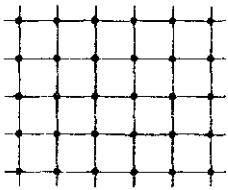

рис. 14.28

14.53. Два последовательно соединенные источника имеют одинаковые ЭДС, но разные внутренние

сопротивления r_1 и r_2 ($r_1 < r_2$). При каком внешнем сопротивлении разность потенциалов на клеммах одного из источников равна нулю?

14.54. Резистор с сопротивлением R и нелинейное сопротивление с вольтамперной характеристикой $U = a\sqrt{I}$, где a = const, соединены последовательно и подключены к источнику напряжения U_0. Найти ток в цепи.

14.55. На рис. 14.29 показана вольтамперная характеристика дугового разряда. Найти максимальное сопротивление резистора, соединенного последовательно с дугой, при котором дуга еще будет гореть. Общее напряжение равно 85 В.

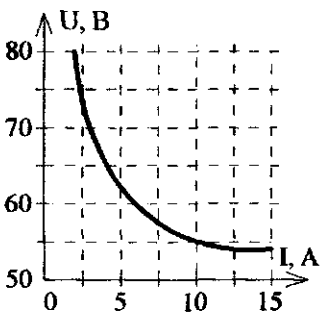

рис. 14.29

14.56. Найти ток через сопротивление R в схеме на рис. 14.30, если R_1 = 1 Ом, R_2 = 2 Ом, R_3 = 3 Ом, R = 4 Ом, ε_1 = 5 В, ε_2 = 10 В, внутренним сопротивлением источников пренебречь.

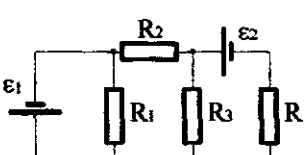

рис. 14.30

рис. 14.31

14.57. Как изменится сопротивление цепи, состоящей из пяти одинаковых проводников, если до-

бавить еще два таких же проводника, как показано на рис. 14.31 штриховыми линиями?

14.58. На клеммы A и B (рис. 14.32) подается переменное напряжение такое, что напряжение на конденсаторе изменяется как показано на рис. 14.33. Нарисовать примерный график изменения напряжения на клеммах C и D.

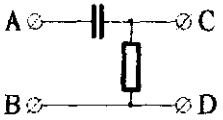

рис. 14.32

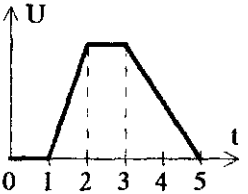

рис. 14.33

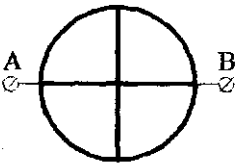

рис. 14.34

14.59. Из однородного куска проволоки сопротивлением R спаяли кольцо с двумя взаимно перпендикулярными диаметрами (рис. 14.34). Определить сопротивление кольца между точками A и B.

14.60. Проволочная сетка имеет девять ячеек. Ребро каждой ячейки имеет сопротивление r. Найти сопротивление между узлами A и B (рис. 14.35).

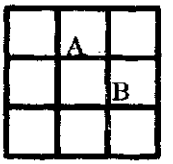

рис. 14.35

14.61. В схеме, представленной на рис. 14.36, указаны сопротивления в Омах и ток в одном из сопротивлений. Определить токи в остальных сопротивлениях и разность потенциалов на клеммах источника.

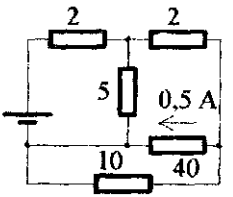

рис. 14.36

14.62. На схему (рис. 14.37) через идеальный диод подаются пе-

риодические прямоугольные импульсы напряжения U_0. Продолжительность импульса равна τ, период повторения импульсов - T (рис. 14.38). Определить установившееся на конденсаторе напряжение, считая что его емкость достаточно велика так, что напряжение на конденсаторе за период изменяется очень мало.

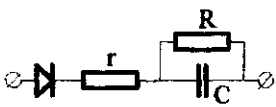

рис. 14.37

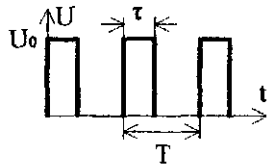

рис. 14.38

14.63. В схеме, представленной на рис. 14.39, сопротивления вольтметров равны: R_{V1} = 1 кОм, R_{V2} = 2 кОм. Вольтметры показывают одинаковые напряжения когда отношение длин плеч потенциометра равно l_1/l_2 = 3/2. Определить сопротивление потенциометра.

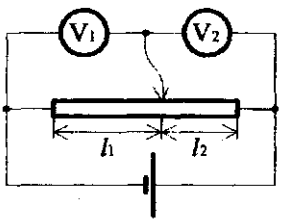

рис. 14.39

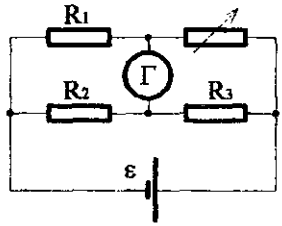

рис. 14.40

14.64. В мостике Уитстона, представленном на рис. 14.40, сопротивления равны: R_1 = 5 Ом, R_2 = 2 Ом, R_3 = 4 Ом. Вольтамперная характеристика нелинейного элемента имеет вид: $I = \alpha U^2$. Определить

коэффициент пропорциональности, если мостик оказывается сбалансированным при ЭДС батареи равной $\varepsilon = 12$ В. Внутренним сопротивлением батареи пренебречь.

14.65. Неоновая лампа в схеме, представленной на рис. 14.41, зажигается когда напряжение на конденсаторе достигает некоторого напряжения зажигания. После этого напряжение на ней быстро падает и лампа гаснет, если напряжение упадет ниже 80 В. При этом напряжении ток в ней равен 1 мА. При каких значениях сопротивления резистора лампа будет гореть стационарно, если ЭДС батареи 120 В, ее внутреннее сопротивление равно нулю?

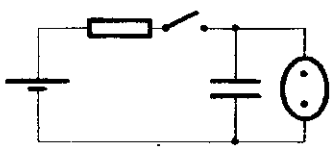

рис. 14.41

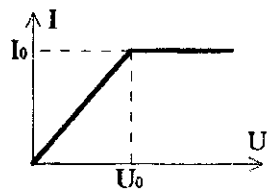

рис. 14.42

14.66. Вольтамперная характеристика газоразрядной трубки показана на рис. 14.42. Ток линейно нарастает с увеличением напряжения и при напряжении $U_0 = 1$ кВ достигает значения насыщения $I_0 = 10$ мкА. Трубка последовательно с резистором сопротивлением $R = 3 \cdot 10^8$ Ом подключена к источнику напряжения $U = 6$ кВ. Найти силу тока и напряжение на трубке.

14.67. Медное кольцо радиусом $r = 0{,}1$ м и площадью сечения $S = 2 \cdot 10^{-6}$ м^2 вращается вокруг своей

оси с угловой скоростью $\omega = 62{,}8$ рад/с. Какой заряд пройдет по кольцу, если его резко остановить?

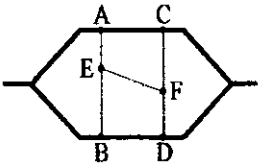

рис. 14.43

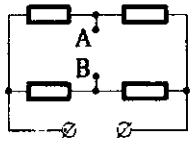

рис. 14.44

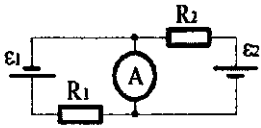

рис. 14.45

14.68. В разветвление цепи (рис. 14.43) вставили две перемычки AB и CD так, что ток в них не течет. Потечет ли ток в перемычке EF, если ей соединить перемычки AB и CD?

14.69. Если к точкам A и B схемы, представленной на рис. 14.44, подключить идеальный вольтметр, то он покажет U_0, а если подключить идеальный амперметр, то он покажет I_0. Какой ток потечет через сопротивление R, если его подключить к точкам A и B?

14.70. В схеме, представленной на рис. 14.45, определить показание идеального амперметра. Внутренним сопротивлением источников пренебречь.

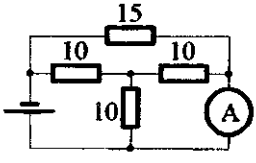

рис. 14.46

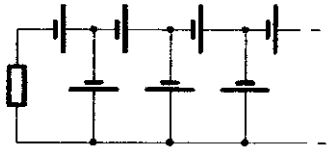

рис. 14.47

14.71. Что показывает идеальный амперметр в схеме, представленной на рис. 14.46? ЭДС источника

равна 30 В, его внутреннее сопротивление равно нулю, все остальные сопротивления указаны на рисунке в Омах.

14.72. Бесконечная цепочка составлена из одинаковых источников (рис. 14.47). ЭДС и внутреннее сопротивление каждого из них равны ε и r. Найти силу тока в резисторе, сопротивление которого равно R = 0,5r.

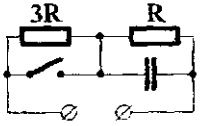

рис. 14.48

14.73. Во сколько раз и как изменится напряжение на конденсаторе в результате замыкания ключа в схеме на рис. 14.48?

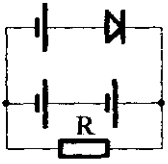

рис. 14.49

14.74. В схеме, представленной на рис. 14.49, все источники одинаковы и имеют ЭДС ε и внутреннее сопротивление r, а диод - идеальный. Как зависит сила тока в сопротивлении R от его величины?

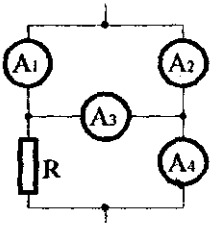

рис. 14.50

14.75. Четыре одинаковых амперметра и резистор включены в участок цепи, представленный на рис. 14.50. При этом показания первого и второго амперметров равны $I_1 = 2$ А, $I_2 = 3$ А. Определить показания остальных амперметров, ток в резисторе, а также отношение сопротивлений амперметров и резистора.

15. Тепловое действие тока.

15.1. Три одинаковые лампочки включены как показано на рис. 15.1. Как изменится яркость свечения ламп при замыкании ключа? Напряжение не меняется.

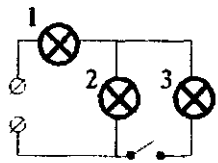

рис. 15.1

15.2. Четыре резистора соединены как показано на рис. 15.2 и включены в сеть. В каком резисторе выделяется большая мощность? Величины сопротивлений даны на рисунке.

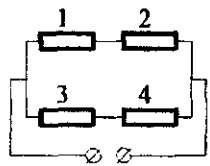

рис. 15.2

15.3. Елочная гирлянда, состоящая из 40 одинаковых последовательно соединенных лампочек, включена в сеть. Одна лампочка перегорела. Оставшиеся 39 лампочек опять соединили последовательно и включили в ту же сеть. В каком случае в комнате было светлее?

15.4. Две электрические лампы мощностью 25 Вт и 60 Вт, рассчитанные на одинаковое напряжение, соединены последовательно и включены в сеть. В какой лампе выделяется большая мощность и во сколько раз?

15.5. Как изменится тепловая мощность электроплитки, если укоротить ее спираль?

15.6. По металлической проволоке пропускают электрический ток и она накаляется. Одну половину

проволоки начинают охлаждать (например, водой). Как при этом изменится накал второй ее половины?

15.7. В схеме, представленной на рис. 15.3, лампа 1 рассчитана на напряжение городской сети, а лампа 2 от карманного фонаря. Если схему включить в городскую сеть при замкнутом ключе, а потом его разомкнуть, то обе лампы горят нормально. Если же схему включить при разомкнутом ключе, то лампа 2 сразу перегорит. Почему?

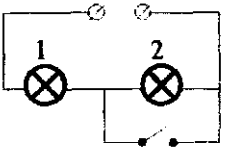

рис. 15.3

15.8. К середине проволоки, натянутой между двумя опорами, подвешен груз. При подключении проволоки к источнику тока груз начинает совершать колебания. Почему?

15.9. При включении электроутюга в розетку яркость лампочек в квартире слегка уменьшается, а затем постепенно возрастает почти до прежнего уровня. Почему?

15.10. Источник с внутренним сопротивлением r замыкают на сопротивление R. Определить к.п.д. источника.

15.11. Определить полную тепловую мощность, выделяющуюся в схеме, приведенной на рис. 15.4.

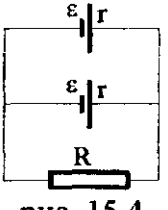

рис. 15.4

15.12. Определить полную тепловую мощность, выделяющуюся в цепы, приведенной на рис. 15.5. $\varepsilon_1 = 10$ В, $\varepsilon_2 = 5$ В, r = 1 Ом, R = 5 Ом.

15.13. Батарейка имеет ЭДС ε = 4,5 В и внутреннее сопротивление r = 3,5 Ом. Сколько таких батареек надо соединить последовательно, чтобы лампа, рассчитанная на напряжение U = 127 В, горела нормально? Мощность лампы N равна: а) 60 Вт; б) 250 Вт.

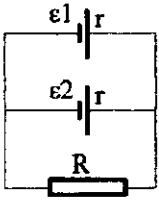

рис. 15.5

15.14. Необходимо передать на определенное расстояние L электрическую мощность N. При этом относительные потери мощности на проводах не должны превышать некоторого предельного значения α. Если на входе линии поставить генератор с напряжением U, то масса медных проводов, необходимая для монтажа линии равна m. Какая потребуется масса медных проводов, если на входе линии поставить генератор с напряжением 3U?

15.15. Определить массу медных проводов, необходимую для монтажа ЛЭП от источника с напряжением U = 2,4 кВ на расстояние L = 5 км. Мощность, дошедшая до потребителя должна быть не менее N = 60 кВт, относительная потеря напряжения на проводах - α = 8%. Плотность меди равна d = 8,9 г/см^3, ее удельное сопротивление - ρ = $1{,}7\cdot10^{-8}$ Ом·м.

15.16. Определить мощность, развиваемую каждой ЭДС в схеме, представленной на рис. 15.6. Каким будет ответ, если вторую ЭДС включить в обратном направлении?

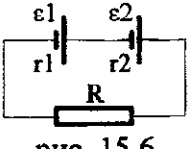

рис. 15.6

15.17. Плоский конденсатор емкостью C заполнен слабо проводящим диэлектриком с диэлектрической проницаемостью ε и удельным сопротивлением ρ. Какая тепловая мощность будет выделяться в конденсаторе, если его подключить к источнику с напряжением U?

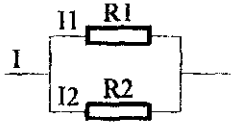

рис. 15.7

15.18. Через параллельно соединенные сопротивления R_1 и R_2 течет ток I (рис. 15.7). Как должен разделиться ток на два тока I_1 и I_2, чтобы в сопротивлениях выделялась минимальная суммарная мощность? А как на самом деле делится ток?

15.19. Один источник, замкнутый на некоторое сопротивление, имеет к.п.д. η_1. Другой источник, замкнутый на то же сопротивление, имеет к.п.д. η_2. Каким будет к.п.д., если замкнуть на то же сопротивление оба источника, соединенные последовательно?

15.20. Тонкое кольцо из металла с удельным сопротивлением ρ вращается вокруг своей оси с угловой скоростью ω. Какое количество теплоты выделится в кольце, если его равномерно затормозить до нуля за время t? Площадь сечения проволоки S, радиус кольца R.

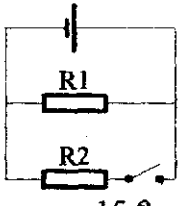

рис. 15.8

15.21. В схеме, представленной на рис. 15.8, мощность, выделяемая во внешней цепи, одинакова как при замкнутом так и при разомкнутом ключе. Определить внутреннее сопро-

тивление источника, если $R_1 = 12$ Ом, $R_2 = 4$ Ом.

15.22. Два элемента с ЭДС $\varepsilon_1 = 5$ В и $\varepsilon_2 = 10$ В и внутренними сопротивлениями $r_1 = 1$ Ом и $r_2 = 2$ Ом соответственно соединены последовательно и замкнуты на сопротивление R. При этом внутри второго элемента выделяется тепловая мощность N = 4,5 Вт. Что покажет идеальный вольтметр, подключенный к его клеммам? Чему равно R?

15.23. Батарея замкнута на некоторое сопротивление. Если параллельно этому сопротивлению подключить еще одно такое же, то мощность, выделяемая во внешней цепи остается прежней. Во сколько изменится мощность во внешней цепи, если эти два сопротивления соединить последовательно?

15.24. Во сколько раз к.п.д. ЛЭП при напряжении на входе $U_1 = 200$ кВ больше, чем при напряжении $U_2 = 100$ кВ, если сопротивление линии R = 400 Ом, а мощность генератора $N = 10^4$ кВт?

15.25. Источник с внутренним сопротивлением r замыкают на внешнее сопротивление. При каком значении внешнего сопротивления на нем будет выделяться максимальная мощность?

15.26. Источник с ЭДС $\varepsilon_1 = 2$ В дает максимальную мощность на нагрузке $R_1 = 6$ Ом, а источник $\varepsilon_2 = 4$ В - на нагрузке $R_2 = 3$ Ом. Какая мощность выделится на сопротивлении $R_1 + R_2$, если на нем замкнуть оба источника, соединенные последовательно?

15.27. При замыкании на сопротивление R = 5 Ом батарея дает ток I = 1 А. Ток короткого замы-

кания батареи $I_{кз}$ = 6 А. Какую наибольшую полезную мощность может дать эта батарея?

15.28. При подключении к источнику с ЭДС 15 В резистора с сопротивлением 15 Ом выделяемая на нем мощность составляет 75% от максимальной мощности. Какую максимальную мощность на нагрузке может дать этот источник?

15.29. Две лампы имеют мощности N_1 = 20 Вт и N_2 = 40 Вт при некотором стандартном напряжении. Лампы соединили последовательно и включили в сеть с другим напряжением. При этом на первой лампе выделяется ее номинальная мощность. Какая мощность выделяется при этом на второй лампе?

15.30. Свинцовая проволока диаметром d плавится когда по ней пропускают ток I. При каком токе расплавится свинцовая проволока диаметром 2d? Считать, что при одинаковой температуре теплоотдача пропорциональна площади поверхности.

15.31. Электрическая печь имеет две одинаковые спирали. При параллельном соединении спиралей печь нагревается до максимальной температуры T_1 = 600 К. До какой максимальной температуры нагреется печь при последовательном соединении спиралей? Считать, что мощность теплоотдачи пропорциональна разности температуры печи и температуры окружающей среды, которая равна T_0 = 300 К.

15.32. Металлический шар радиусом R находится в бесконечной слабо проводящей среде с удельным сопротивлением ρ. На шаре поддерживается посто-

янный относительно бесконечности потенциал φ. Какая тепловая мощность выделяется в среде?

15.33. Сферический конденсатор емкостью C заполнен слабо проводящим диэлектриком с диэлектрической проницаемостью ε и удельным сопротивлением ρ. Какая тепловая мощность будет выделяться в конденсаторе, если его подключить к источнику с напряжением U?

15.34. Почему электродвигатель, работающий под нагрузкой, греется сильнее, чем двигатель, работающий вхолостую? В каком случае двигатель греется сильнее всего?

15.35. Электродвигатель постоянного тока подключили к источнику тока с напряжением U. Сопротивление обмоток якоря равно R. При каком значении силы тока полезная мощность двигателя будет максимальной? Чему она равна? Каков при этом к.п.д. двигателя?

15.36. На ось электромотора постоянного тока, индуктор которого изготовлен из постоянного магнита, намотана нить, на которой висит груз массой m. Если обмотку якоря этого мотора замкнуть на сопротивление R, то груз опускается с постоянной установившейся скоростью v. С какой постоянной скоростью будет подниматься груз, если обмотку якоря подключить к источнику постоянного тока с ЭДС ε и внутренним сопротивлением R? Трения нет.

15.37. Лампочку, параллельно соединенную с сопротивлением 2 Ом, подключили к источнику с ЭДС

15 В и внутренним сопротивлением 3 Ом. Найти мощность, выделяющуюся на лампочке, если зависимость тока от напряжения не ней имеет вид, показанный на рис. 15.9.

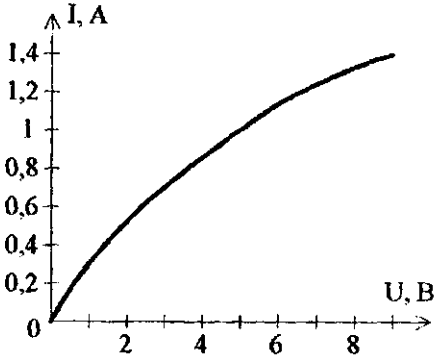

рис. 15.9

15.38. Диод, сопротивление и конденсатор соединены последовательно и через ключ подключены к источнику напряжения U (рис. 15.10). Вольтамперная характеристика диода показана на рис. 15.11. ($U_0 < U$). Какое количество теплоты выделится в сопротивлении R после замыкания ключа? Емкость конденсатора равна C.

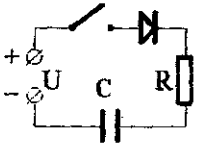

рис. 15.10

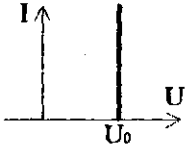

рис. 15.11

15.39. В схеме, представленной на рис. 15.12, ε = 100 В, r = 100 Ом, C = 200 мкФ, R = 10 Ом. Ключ за одну секунду переключается между контактами 1 и 2 n = 10 раз. За период конденсатор успевает полностью зарядиться и полностью разрядиться. Чему равен к.п.д. цепи и средняя мощность в нагрузке R? Во сколько раз изменится к.п.д., если нагрузку подключить непосредственно к источнику?

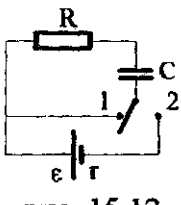

рис. 15.12

15.40. Лампу включают в сеть через реостат двумя способами (рис. 15.13 а) и б)). В каком случае к.п.д. выше, если в обоих случаях лампа работает в нормальном режиме?

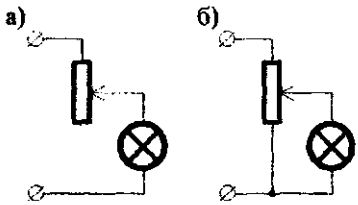

рис. 15.13

16. Магнитное поле

16.1. Частица массой m, заряженная зарядом q, находится в однородном магнитном поле с индукцией B. Частице сообщают скорость v в направлении перпендикулярном вектору **B**. Как будет двигаться частица. Внешними силами пренебречь.

16.2. Электрическое поле с напряженностью E и магнитное с индукцией B перпендикулярны друг к другу. Электрон движется в этих полях с постоянной скоростью. При какой минимальной скорости электрона это возможно?

16.3. Скорость самолета при посадке v = 360 км/ч. Определить разность потенциалов, возникающую на концах крыльев самолета, если вертикальная составляющая индукции магнитного поля Земли равна B = 50 мкТл, а размах крыльев самолета l = 20 м.

16.4. Квадратная проволочная рамка площадью S находится в однородном магнитном поле с индукцией B. Угол между нормалью к плоскости рамки и вектором **B** равен α. Какой механический момент действует на рамку, если по ней течет постоянный ток I?

16.5. Частица массой m, заряженная зарядом q, влетает со скоростью v в однородное магнитное поле с индукцией B под углом α к вектору **B**. Как будет двигаться частица? Внешними силами пренебречь.

16.6. Проводник длиной l = 0,5 м и сопротивлением R = 0,025 Ом движется поступательно перпендикулярно магнитному полю с индукцией B = 5 мТл. По проводнику течет ток I = 4 А, скорость проводника v = 0,8 м/с. Во сколько раз мощность тока, выделяющаяся в проводнике, больше мощности силы, с которой тянут проводник?

16.7. Пройдя ускоряющую разность потенциалов U = 3,52 кВ, электрон влетает в однородное магнитное поле с индукцией B = 0,01 Тл перпендикулярно линиям индукции и движется по дуге окружности радиусом R = 2 см. Найти отношение заряда электрона к его массе.

16.8. Электрон прошел ускоряющую разность потенциалов U = 800 В и, попав в однородное магнитное поле с индукцией B = 47 мТл, стал двигаться по винтовой линии с шагом h = 6 см. Определить радиус винтовой линии.

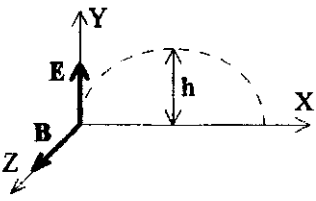

рис. 16.1

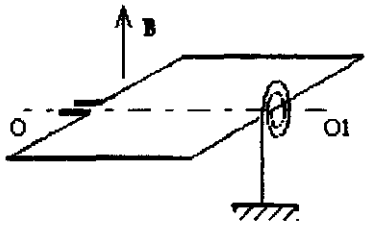

рис. 16.2

16.9. Протон, отношение заряда к массе которого равно e/m = 10^8 Кл/кг, начинает двигаться (v_0 = 0) из начала координат в однородных и взаимно перпендикулярных электрическом и магнитном полях: E = 10 кВ/м, B = 0,02 Тл (рис. 16.1). Найти ускорение

протона в точке максимального удаления от оси X, если h = 0,5 м.

16.10. Квадратная рамка с током может вращаться вокруг горизонтальной оси OO_1. Рамка связана с пружиной. При повороте рамки от исходного горизонтального положения на нее действует возвращающий момент пропорциональный углу поворота. Рамка находится в вертикальном однородном магнитном поле (рис. 16.2). Если по рамке пропускать ток I_1 = 0,1 А, то рамка поворачивается на угол $\alpha_1 = 30^0$. При каком токе рамка повернется на угол 90^0?

16.11. Электрон влетает в однородные и совпадающие по направлению электрическое и магнитное поля: E = 100 В/м и B = 0,1 мТл. Скорость электрона равна $v = 10^6$ м/с и перпендикулярна векторам **E** и **B**. Найти ускорение электрона.

16.12. Электрон влетает в однородное магнитное поле. В некоторой точке A он имеет скорость v, направленную под углом α к вектору индукции. При каких значениях индукции электрон пройдет через точку C? Отрезок AC параллелен вектору **B** и его длина равна *l*.

16.13. Электрическое и магнитное поля E и B направлены вдоль оси Z. Электрон пересекает ось Z в начале координат, двигаясь вдоль оси X. В каких точках электрон вновь пересечет ось Z?

16.14. Проводящие параллельные рельсы, наклоненные под углом α к горизонту соединены через сопротивление R (рис. 16.3). По ним без трения соскальзывает проводящая горизонтальная перемычка

массой m. Расстояние между рельсами равно l. Определить установившуюся скорость движения перемычки, если вся система находится в однородном вертикальном магнитном поле с индукцией B. Сопротивлением всех остальных элементов кроме R пренебречь.

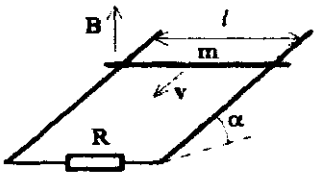

рис. 16.3

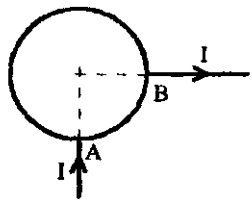

рис. 16.4

16.15. К проволочному кольцу радиусом R в точках A и B подсоединены длинные прямые провода, продолжения которых проходят через центр кольца (рис. 16.4). По проводам течет постоянный ток I. Найти индукцию магнитного поля в центре кольца, если точки A и B делят длину кольца в отношении 1 : 3.

16.16. Две параллельные проводящие рейки расположены в горизонтальной плоскости на расстоянии l друг от друга. Рейки подключены к источнику с ЭДС ε через ключ и резистор с сопротивлением R (рис. 16.5). По рейкам перпендикулярно им может двигаться проводящая перемычка массой m. Вся система находится в однородном вертикальном магнитном поле с индукцией B. Ключ замыкают. Найти начальное ускорение перемычки и ее максимальную установившуюся скорость движения, если коэффициент трения равен μ. Сопротивлением всех остальных элементов кроме R пренебречь.

16.17. Две параллельные проводящие рейки расположены в горизонтальной плоскости на расстоянии l = 1 м друг от друга. По ним без трения может двигаться проводящая перемычка массой m = 10 г. Рейки соединены друг с другом через конденсатор емкостью C = 100 мкФ (рис. 16.6). Система находится в вертикальном однородном магнитном поле с индукцией B = 10 Тл. На перемычку начинает действовать горизонтальная постоянная сила F = 0,04 Н, направленная параллельно рейкам. Определить заряд конденсатора через τ = 1 с после начала движения перемычки.

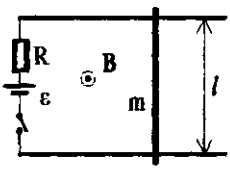

рис. 16.5

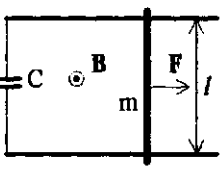

рис. 16.6

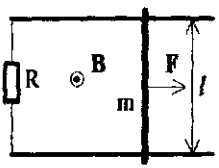

рис. 16.7

16.18. Две параллельные проводящие рейки расположены в горизонтальной плоскости на расстоянии l друг от друга. По ним без трения может двигаться легкая проводящая перемычка. Рейки соединены друг с другом через резистор с сопротивлением R. Система находится в вертикальном однородном магнитном поле с индукцией B (рис. 16.7). Перемычку тянут вдоль реек. Какую горизонтальную силу надо прикладывать к перемычке, чтобы в сопротивлении выделялась постоянная мощность N?

16.19. Электрон влетает в область однородного магнитного поля шириной l. Скорость электрона равна v и перпендикулярна границам области и век-

тору индукции **B** (рис. 16.8). Под каким углом к границе электрон вылетит из области?

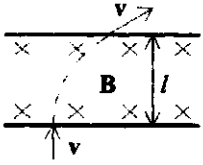

рис. 16.8

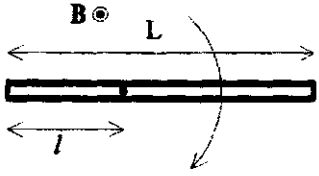

рис. 16.9

16.20. Металлический стержень длиной L вращается с угловой скоростью ω вокруг оси, перпендикулярной стержню и проходящей на расстоянии l от одного из его концов (рис. 16.9). Однородное магнитное поле с индукцией B направлено параллельно оси вращения. Найти разность потенциалов между концами стержня. Центробежными эффектами пренебречь.

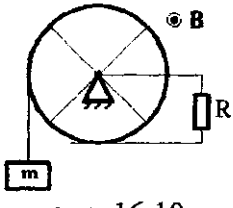

рис. 16.10

16.21. Медное кольцо радиусом r соединено проводящими спицами с центром. К центру и кольцу подключен резистор сопротивлением R. На кольцо намотана нить с грузом массой m. Кольцо вращается без трения вокруг оси, проходящей через его центр и находится в однородном магнитном поле с индукцией B, направленной параллельно его оси (рис. 16.10). Найти установившуюся скорость опускания груза.

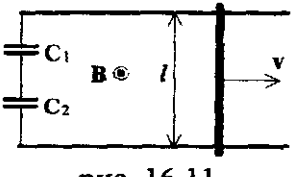

рис. 16.11

16.22. По двум параллельным проводникам, находящимся на расстоянии l = 0,5 м друг от друга, перемещают с постоянной скоростью v =

10 м/с проводник - перемычку. Между левыми концами проводников включены последовательно два конденсатора (рис. 16.11). Причем емкость C_2 в 1,5 раза больше, чем C_1. Вся система находится в однородном магнитном поле, перпендикулярном плоскости системы. Найти индукцию поля, если напряжение на конденсаторе C_2 равно $U_2 = 0,5$ В.

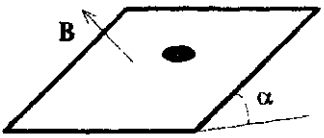

рис. 16.12

16.23. На наклонной плоскости с углом наклона α лежит небольшая шайба, заряженная зарядом q. Масса шайбы m, коэффициент трения между шайбой и плоскостью μ ($\mu < tg\alpha$). Однородное магнитное поле с индукцией B направлено перпендикулярно плоскости (рис. 16.12). Шайбу отпускают. Найти установившуюся скорость шайбы.

16.24. На пластины плоского конденсатора подано напряжение U. Отрицательная пластина конденсатора подогрета и излучает электроны, которые вылетают из нее практически без начальной скорости. Между пластинами конденсатора создано однородное магнитное поле, направленное параллельно пластинам. При какой наименьшей величине индукции магнитного поля тока в конденсаторе не будет? Расстояние между пластинами d.

16.25. Проводящая перекладина массой m и длиной *l* висит горизонтально на двух тонких одинаковых проволочках. По перекладине течет ток I. На какой максимальный угол от вертикали отклонятся проволочки от вертикали, если включить вертикальное однородное магнитное поле с индукцией B?

16.26. Заряженная частица движется в вязкой среде с постоянной скоростью во взаимно перпендикулярных электрическом и магнитном полях. Напряженность и индукция равны E и B. Найти скорость частицы и угол между скоростью и направлением B, если сила сопротивления пропорциональна скорости. Известно, что при движении только в одном электрическом поле скорость частицы равна v_0. Силу тяжести не учитывать.

16.27. Плоская поверхность разделяет две области, в которых созданы однородные магнитные поля с индукцией B_1 и B_2, направленные параллельно друг другу и поверхности раздела. С поверхности раздела перпендикулярно ей вылетает со скоростью v заряженная частица (рис. 16.13). Определить среднюю дрейфовую скорость частицы. Силой тяжести пренебречь.

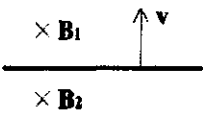

рис. 16.13

16.28. По круговой орбите радиусом R вокруг протона вращается электрон. На сколько изменится частота обращения электрона, если атом водорода поместить в слабое магнитное поле с индукцией B, направленной вдоль оси вращения электрона?

16.29. Между пластинами плоского конденсатора течет поток проводящей жидкости со скоростью v. Удельная проводимость жидкости равна λ, площадь пластин конденсатора - S, расстояние между пластинами - d. Конденсатор помещен в однородное магнитное поле с индукцией B, направленное перпендикулярно вектору **v**. Пластины конденсатора замкнуты

на сопротивление R (рис. 16.14). Какая мощность выделяется в сопротивлении?

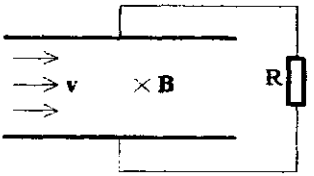

рис. 16.14

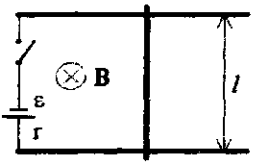

рис. 16.16

16.30. Между пластинами плоского конденсатора течет диэлектрическая жидкость с диэлектрической проницаемостью ε. Конденсатор помещен в однородное магнитное поле с индукцией B, направленное параллельно пластинам и перпендикулярно скорости потока. Найти напряжение на конденсаторе, если скорость потока равна v, а расстояние между пластинами - d (рис. 16.15).

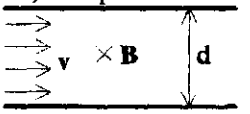

рис. 16.15

16.31. Две параллельные проводящие рейки расположены в горизонтальной плоскости. По ним без трения может двигаться проводящая перемычка. Рейки соединены друг с другом через источник с ЭДС ε и внутренним сопротивлением r и ключ (рис. 16.16). Система находится в вертикальном однородном магнитном поле. Ключ замыкают. Определить максимальную мощность, развиваемую силой Ампера.

ОТВЕТЫ

1. Молекулярная физика

1.1. 2 атома на ячейку;

$$d_{min} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \sqrt[3]{\frac{2M}{\rho N_A}} \approx 2{,}5 \cdot 10^{-10} \text{ м}$$

1.2. 4 атома на ячейку;

$$d_{min} = \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot \sqrt[3]{\frac{4M}{\rho N_A}} \approx 2{,}86 \cdot 10^{-10} \text{ м}$$

1.3. $N = \dfrac{4\pi P_A N_A R_з^{\,2}}{Mg} \approx 10^{44}$

1.4. ≈ 700

1.5. ≈ 7000 т

1.6. В стакане воды.

1.7. 24

1.8. ≈ 490 м/с

1.9. ≈ 2150 м/с

1.10. Увеличивается на 44%.

1.11. $\Delta T_2 = \Delta T_1 \dfrac{v_3^{\,2} - v_2^{\,2}}{v_2^{\,2} - v_1^{\,2}} \approx 183$ K

1.12. $v = \sqrt{\dfrac{1}{2}\left(v_1^{\,2} + v_2^{\,2}\right)} \approx 453$ м / с

1.13. $\approx 0{,}54$ м^3

1.14. $10{,}5 \cdot 10^{-21}$ Дж

1.15. 700 м/с

1.16. $M = \dfrac{N_1 M_1 + N_2 M_2}{N_1 + N_2}$

1.17. $P = \dfrac{P_1P_2(N_1 + N_2)}{N_1P_2 + N_2P_1}$

1.18. $\dfrac{3}{4}P_0$

1.19. Когда стенки теплее.

1.20. $T_x = T\sqrt{2}$; $P_x = \dfrac{P(\sqrt{2}+1)}{2\sqrt[4]{2}} \approx P$

1.21. $\sqrt{2}$

1.22. 30 с

2. Законы идеального газа

2.1. 1,6 атм

2.2. 20 м

2.3. ≈ 870 Па

2.4. $P = \dfrac{P_1V_1 + P_2V_2}{V_1 + V_2} = 0{,}7$ атм

2.5. $P_A = \dfrac{\rho g l V_2}{V_1 - V_2} \approx 99750$ Па

2.6. $P = \dfrac{4}{3}\rho g l = 4$ см. рт. ст.= 5400 Па

2.7. $P = \dfrac{\rho g l\left((L-l)^2 - 4\Delta l^2\right)}{4\Delta l(L-l)} \approx 5\cdot 10^4$ Па

2.8. 20 см

2.9. $m = \dfrac{S}{g}\left(\dfrac{\nu R\Delta T}{\Delta V} - P_A\right)$

2.10. $v_2 = v_1\dfrac{T_2}{T_1} \approx 2{,}4$ м\с

2.11. 51,5 K

2.12. ≈ 7,3 см

2.13. $\rho = \dfrac{n\rho_1 + \rho_2}{n+1}$

2.14. $T_2 = T_1 \dfrac{h_2}{h_1} + \dfrac{kMh_2(h_2 - h_1)}{mR}$

2.15. $\dfrac{7}{8}l$

2.16. 10

2.17. $\dfrac{8}{3}$

2.18. $\nu = \dfrac{2P(VT_0 - V_0T)}{RTT_0}$

2.19. $\dfrac{V_1}{V} = \dfrac{P_AS - mg}{2(P_AS + mg)}$

2.20. $H = \dfrac{P_A}{\rho g} = 10$ м

2.21. $x_1 = \dfrac{2}{3}L\dfrac{T - T_0}{T + 2T_0}$; $x_2 = \dfrac{1}{2}x_1$

2.22. $m \le \dfrac{P_AS}{3g}$

2.23. $T_2 = \sqrt{T_1T_3} \approx 346$ K

2.24. $x_K = \dfrac{M_K(M - M_A)}{M(M_K - M_A)} \cdot 100\% \approx 27{,}6\%$;

$x_A = 100\% - x_K \approx 72{,}4\%$

2.25. $P = \dfrac{1}{2}\left(\dfrac{P_1T_2}{T_1} - \Delta P\right) = 10$ кПа $= 0{,}1$ атм

2.26. 0,5

2.27. $\rho = \dfrac{P(m_1 + m_2)}{RT\left(\dfrac{m_1}{M_1} + \dfrac{m_2}{M_2}\right)} = 1{,}5\ \text{кг/м}^3$

2.28. $P = \dfrac{RT}{V}(\nu_1 + \nu_2 + \nu_3) = 2 \cdot 10^5\ \text{Па}$;

$M = \dfrac{\nu_1 M_1 + \nu_2 M_2 + \nu_3 M_3}{\nu_1 + \nu_2 + \nu_3} = 36{,}7\ \text{г/моль}$

2.29. $T = 3T_0$

2.30. $T_2 = T_1 \dfrac{\alpha_1 - \dfrac{1}{\alpha_1}}{\alpha_2 - \dfrac{1}{\alpha_2}} \approx 420\ \text{K}$

2.31. $x = \dfrac{V_0 S_1 (P - P_0)}{(S_1 - S_2)(PS_1 - P_0 S_2)}$

2.32. $\Delta T = \dfrac{l(mg + P_A \Delta S)}{R} = 0{,}9\ \text{K}$

2.33. $\Delta m = \dfrac{PVM_{H_2}}{RT} - \dfrac{mM_{H_2}}{M_{H_2O}} \approx 77\ \text{г}$

2.34. $T = \dfrac{8}{3} T_0 = 800\ \text{K}$

2.35. $\dfrac{P_1}{P_2} = \sqrt{\dfrac{T_1}{T_2}} = 1{,}5$

2.36. $T = \dfrac{GMmh}{Rr^2}$

2.37. $r_{min} = \dfrac{3\sigma RT}{P_A\left(M_B - M_{He}\right)} \approx 2{,}7$ м

2.38. $\dfrac{T}{T_0} = \dfrac{P}{2P_0 - P}$

2.39. $m_1 = m\dfrac{k-1}{n-1}$

2.40. $m_1 = m\dfrac{n(k-1)}{n-1}$

2.41.. $T = \pi\sqrt{\dfrac{ml}{PS}}$

2.42. $T_1 = T\dfrac{1-\alpha}{1-\beta} = 350\ K = 77\ ^0C$

2.43. $m_1 = 3\left(\dfrac{P_0S}{g} + m\right)$

2.44. $P_1 \approx 1{,}3\cdot10^9$ Па; $P_2 \approx 4{,}5\cdot10^9$ Па; $P_3 \approx 2\cdot10^9$ Па

2.45. Не изменяется, пока часть объема оболочки занимает воздух, и уменьшается с увеличением высоты, когда весь воздух из оболочки вышел.

2.46. $P = \dfrac{RT\Delta F}{MgV}$

2.47. $n = \dfrac{\ln\left(P_1/P_2\right)}{\ln\left(1 + V_2/V_1\right)} = 465$

2.48. 0,75

2.49. $a_0 = g\left(\dfrac{M}{m} + 1\right)$

3. Работа газа. Первое начало термодинамики

3.1. $U = \frac{3}{2}nkTV$

3.2. $A = \left(P_0 + \frac{mg}{S}\right) \cdot \frac{Sh\Delta T}{T} \approx 79{,}4$ Дж

3.3. $A = 2\frac{m}{M}RT_1 = 2{,}5 \cdot 10^5$ Дж

3.4. $A = \frac{mR(T_2 - T_1)}{M} = 1162$ Дж

3.5. $A = \frac{V_2^{\,2} - V_1^{\,2}}{2\alpha\nu R}$; Тепло поглощается.

3.6. $A = \frac{1}{2}(P_1 + P_2)(V_2 - V_1)$

3.7. $\Delta W = \frac{1}{2}\nu R(T_2 - T_1)$; $c = 2\nu R$

3.8. 2000 Дж

3.9. $Q = \frac{3}{4}PV$

3.10. $Q = \left(V_2 - V_1\right)\left(2P_1 + \frac{1}{2}P_2\right)$

3.11. 4 Дж

3.12. $A = \frac{mRT(\eta - 1)}{\eta M} = 8{,}3 \cdot 10^5$ Дж

3.13. $Q = \frac{1}{2}R\Delta T = 415$ Дж

3.14. $\Delta U = Q - \frac{V\Delta T}{ST}\left(mg + P_0 S\right)$

3.15. $m = \dfrac{M(Q_1 - Q_2)}{R\Delta T} \approx 0{,}48$ г

3.16. $Q = \dfrac{5}{2}mgh$

3.17. $Q = \dfrac{17}{4}P_0V_0$

3.18. $n = 1 + \dfrac{Q}{\nu T_0(c_V + R)} = 4$

3.19. $P = \dfrac{2m_1R(m_1T_1 + m_2T_2)}{MV(m_1 + m_2)} \approx 86$ кПа

3.20. $T = \dfrac{\nu_1T_1 + \nu_2T_2}{\nu_1 + \nu_2}$; $P = \dfrac{R(\nu_1T_1 + \nu_2T_2)}{V_1 + V_2}$

3.21. $A = R\left(\sqrt{T_3} - \sqrt{T_1}\right)^2$

3.22. $\dfrac{R\Delta T - A}{R\Delta T - 2A} \approx 3$

3.23. $h_2 = \dfrac{1}{5}h_1\left(2 + 3\dfrac{PS}{mg}\right)$

3.24. $T_{max} = T_0 + \dfrac{2}{3}\dfrac{mv^2}{R}$

3.25. $Q = \dfrac{5}{4}mv^2$

3.26. $\Delta T = \dfrac{Mv^2}{5R}$

3.27. $v_2 = \dfrac{1}{3}v_1 = \dfrac{1}{2}\sqrt{\dfrac{P_0V_0}{m}}$

3.28. $\gamma = \dfrac{Q}{Q - R\Delta T} = 1{,}6$

3.29. $\gamma \approx 1{,}36$

3.30. 500 K

3.31. $v = \sqrt{\dfrac{5RT}{M}} \approx 3{,}3 \cdot 10^3$ м/с

3.32. $C = \dfrac{2P_0V_0}{T_0}$

3.33. $c = 3R$

3.34. При $V < \dfrac{5}{8}\dfrac{P_0}{\alpha}$ - получает; при $V > \dfrac{5}{8}\dfrac{P_0}{\alpha}$ - отдает.

3.35. $\dfrac{A}{Q} = \dfrac{0{,}02}{0{,}02 + 0{,}01\dfrac{c_V M}{R}} \approx 0{,}44$

3.36. $C = 2R$

3.37. $v = \dfrac{2}{5}\dfrac{N}{P_0S + mg}$

3.38. $C = 3\nu R$

3.39. $N = \dfrac{c_P \mu \Delta T}{M} \approx 1{,}01$ кВт

3.40. $\Delta T = \dfrac{Mv^2}{5R}$

3.41. $\Delta h = \dfrac{MH}{m} = 20$ см

3.42. $Q = P_0Sl$

3.43. $A = \dfrac{3}{2}RT_1$

4. Второе начало термодинамики

4.1. $A_1 = \dfrac{A}{n-1} = 20$ кДж

4.2. При уменьшении температуры холодильника.

4.3. $4/23 \approx 17{,}4\%$

4.4. $\eta = 1 - \dfrac{2A}{3\nu R\Delta T}$

4.5. $\eta = \eta_1 + \eta_2 - \eta_1\eta_2$

4.6. а) $\eta = 1 - 2^{1-\gamma} \approx 0{,}25$; б) $\eta = 1 - 2^{\frac{1}{\gamma}-1} \approx 0{,}18$

4.7. $\eta = 1 - n^{\frac{1-\gamma}{\gamma}}$

4.8. $A = Q\left(\dfrac{T_1}{T_2} - 1\right) = 16$ кДж

4.9. $\varepsilon = \dfrac{1}{\eta} - 1 = 9$

4.10. $m_1 = \dfrac{mLT_1}{\lambda m} \approx 5$ кг

4.11. $\eta = \dfrac{1}{13}$

4.12. $\eta = \dfrac{\eta_1 + \eta_2 - \eta_1\eta_2}{2 - \eta_1}$

4.13. $\Delta\eta = \dfrac{\alpha\beta}{\alpha + \beta} = 6\%$

5. Влажность

5.1. $\approx 60\%$

5.2. $\approx 2{,}5$ г/м^3

5.3. $\approx 72\%$

5.4. $\approx 2{,}1$ кг

5.5. $\approx 41{,}2$ кг

5.6. $m_1 = \dfrac{P_A M\left(V - \dfrac{m}{\rho_B}\right)}{RT} \approx 0{,}6$ г

5.7. $\dfrac{V_2}{V} = \dfrac{m_2 RT}{P_A V M_2} \approx 0{,}55$

5.8. $\dfrac{P_H\left(M_B - M_{H_2O}\right)}{PM_B} \approx 0{,}88\%$

5.9. $\Delta m = \dfrac{MV}{R}\left(\dfrac{P}{T_1} - \dfrac{P_H}{T_2}\right) \approx 8{,}9 \cdot 10^{-3}$ г

5.10. $\varphi = \dfrac{\varphi_1 V_1 + \varphi_2 V_2}{V} \approx 27\%$

5.11. $\Delta V = V_1\left(\dfrac{P_A T_2 \varphi}{P_H T_1} - 1\right) \approx 1300$ см^3

5.12. $P_1 = P\dfrac{T_1}{T} + \dfrac{mRT_1}{MV} \approx 1{,}88$ атм

5.13. $\approx 72\%$

5.14. $\approx 21\%$

5.15. $\varphi_A = \varphi_B = 100\%$; $\varphi_C \approx 67\%$

5.16. $V_1 = \dfrac{2mRT}{MP_A} \approx 3{,}1 \cdot 10^{-2}$ м^3

5.17. $m_1 = \dfrac{0{,}8\rho m V}{m - \rho V} \approx 0{,}42$ кг, где $\rho = \dfrac{P_H M}{RT}$

5.18. $A = \frac{\Delta mRT}{M} = 1{,}2$ Дж

5.19. $m \approx \frac{P_A M}{RT}\left(0{,}5V_1 - V_2\right) \approx 0{,}87$ г

5.20. $\frac{m_B}{m_н} = 2$

5.21. $P = \frac{1}{3}P_0$

6. Поверхностное натяжение

6.1. $\Delta h = \frac{2\sigma\left(r_2 - r_1\right)}{\rho g r_1 r_2} \approx 14{,}6$ мм

6.2. $\Theta = \arccos\left(\frac{\rho g h d}{4\sigma}\right) \approx 68{,}8^0$

6.3. $h = \frac{2\sigma}{gr(\rho_B - \rho_M)} = 14{,}6$ см

6.4. $\sigma_2 = \sigma_1 \frac{\rho_2 h_2}{\rho_1 h_1} \approx 0{,}022$ Н/м

6.5. $P = -\frac{2\sigma}{3r}$

6.6. а) Вправо; б) влево.

6.7. а) –0,6 мм; б) почти плоская; в) 0,3 мм

6.8. $Q = \frac{2\pi\sigma^2}{\rho g}$

6.9. $h = \frac{2\sigma}{\rho g d} \approx 3$ см; $F = \frac{2\sigma^2 l}{\rho g d^2}$

6.10. $F = \dfrac{2\pi^2\sigma\rho r^4}{m} \approx 780$ Н

6.11. $y = \dfrac{2\sigma}{\rho g\varphi x}$

6.12. $Q = 16\sigma\pi r^2 \approx 6\cdot 10^{-6}$ Дж

6.13. $\sigma = \dfrac{mg}{\pi d} \approx 0{,}079$ Н/м

6.14. $A = 8\pi\sigma r^2 \approx 1{,}61\cdot 10^{-3}$ Дж

6.15. $n = \left(1 + \dfrac{\rho g h r}{3\sigma}\right)^3 \approx 200$

6.16. $Q = \dfrac{6\sigma m}{\rho d} = 438$ Дж/кг

6.17. $h = \dfrac{P_A r\left(\alpha^3 - 1\right) + 2\alpha\sigma\left(\alpha^2 - 1\right)}{\rho g r} \approx 6{,}7$ м

6.18. $\sigma = \dfrac{1}{4}P_A\dfrac{R_3^{\,3} - R_1^{\,3} - R_2^{\,3}}{R_1^{\,2} + R_2^{\,2} - R_3^{\,2}}$

6.19. $R_3 = \dfrac{R_1 R_2}{R_2 - R_1}$; $\varphi = 120^0$

6.20. $R_3 = \sqrt{R_1^{\,2} + R_2^{\,2}}$

6.21. $\sigma = \dfrac{P_0 d\left(n - \alpha^3\right)}{8n\left(\alpha^2 - 1\right)}$

6.22. $r = \dfrac{2\sigma}{\rho g h} \approx 0{,}6$ мм

6.23. $x = \dfrac{4\sigma l}{P_A d + 4\sigma} \approx 1{,}4$ см

6.24. $d_{max} = \sqrt{\frac{8\sigma}{\pi g \rho}} \approx 1{,}5$ мм

6.25. $R = \frac{2\sigma}{\frac{mg}{\pi a^2} - \rho g h}$

6.26. $h = 2\sqrt{\frac{\sigma}{\rho g}} \approx 5{,}4$ мм; $R = \sqrt{\frac{m}{\pi \rho h}} \approx 7{,}7$ мм

6.27. а) $R_3 = R_2\sqrt{1 + \frac{R_2}{R_1}}$; б) $R_3 = \sqrt{R_1^2 + R_2^2}$

6.28. $m = \frac{4\sigma S}{ag} \approx 300$ г

6.29. $m = \frac{4\pi\sigma r}{g} \approx 23$ мг

6.30. $\rho = \frac{M}{RT}\left(P_A + \frac{4\sigma}{r}\right) \approx 1{,}35$ кг / м^3

6.31. $h = \frac{mg + 4\sigma l}{\rho g l^2} \approx 4{,}9$ мм

6.32. $m = \frac{2}{3}\pi\rho\left(\frac{3\sigma}{g\rho}\right)^{3/2} \approx 0{,}2$ г

6.33. $\mu \approx \sqrt{\frac{2\sigma\rho}{g}} \approx 3{,}8$ кг / м^2

6.34. $h = \frac{4\sigma}{\rho g(d_1 - d_2)} \approx 5{,}8$ см

6.35. $F = mg + 2\pi\sigma(R_1 + R_2) \approx 0{,}119$ Н

6.36. $h = \sqrt{\dfrac{2\sigma(1-\sin\theta)}{\rho g}}$

7. Уравнение теплового баланса. Фазовые переходы.

7.1. $m_1 = m\left(\dfrac{\lambda - c_л t_1}{L + c_в t_2} + 1\right) \approx 113$ г

7.2. $\Delta T = \dfrac{gt}{c}\sqrt{\dfrac{\rho g R}{0{,}18}} \approx 0{,}25$ K

7.3. $\tau = \dfrac{cm\Delta t}{N} \approx 16{,}8$ с; $t_2 = t_0 + 1{,}44(t_1 - t_0) \approx 70\ ^0$C

7.4. $h = \dfrac{(N\tau - cmt_0)RT_0}{MLP_A S} = 2{,}2$ м, где $t_0 = 0\ ^0$C;

$T_0 = 273$ K.

7.5. $\dfrac{m_п}{m} = \dfrac{\lambda}{L + \lambda} \approx \dfrac{1}{7}$

7.6. $m_л = -\dfrac{c_в mt}{\lambda} \approx 124$ г

7.7. $\Delta\lambda = |c_1 - c_2| \cdot \Delta t$

7.8. $\dfrac{m_1}{m_2} = \dfrac{c_2}{c_1}$

7.9. $t = \dfrac{t_{к2}t_{у1} - t_{к1}t_{у2}}{t_{к2} + t_{у1} - t_{у2} - t_{к1}} = 60\ ^0$C

7.10. $v = \dfrac{NRT}{LMP_A S} = 7{,}5$ м/с

7.11. $100\ ^0$C

7.12. $P = P_0 \dfrac{2c_ж mT_2 + 3P_0 V}{3P_0 V + 2c_ж mT_1} \approx 1{,}66 \cdot 10^5$ Па; Давление будет слегка меньше.

7.13. Одновременно.

7.14. В той, в которую долили из чайника.

8. Тепловое расширение. Деформации

8.1. $l_{ал} = l_м \dfrac{1 + \alpha_{ал}(t_2 - t_1)}{1 + \alpha_м (t_2 - t_1)} = 59{,}98$ см

8.2. $l_м = \dfrac{\Delta l \alpha_{ст}}{\alpha_м - \alpha_{ст}} = 12$ см; $l_{ст} = 17$ см

8.3. $\approx 110{,}5\ ^0C$

8.4. $t_2 = t_1 + \dfrac{\Delta h}{\beta_к h_1} = 94\ ^0C$

8.5. $R \approx \dfrac{a\left(1 + \dfrac{1}{2}\left(\alpha_{бр} + \alpha_{ст}\right)\left(T_2 - T_1\right)\right)}{\left(T_2 - T_1\right)\left(\alpha_{бр} - \alpha_{ст}\right)} \approx 22{,}3$ см

8.6. $F \approx ES\alpha_{ст}\left(t_2 - t_1\right) = 1{,}21 \cdot 10^5$ Н

8.7. $F \approx \dfrac{E_1 E_2 S \Delta T\left(\alpha_1 + \alpha_2\right)}{E_1 + E_2}$;

$$\Delta L \approx \frac{1}{2} L \Delta T \frac{\left|\alpha_1 E_1 - \alpha_2 E_2\right|}{E_1 + E_2}$$

8.8. $\Delta F \approx \dfrac{mg\rho_к \Delta T}{\rho_{ал}}\left(\beta_к - 3\alpha_{ал}\right) \approx 0{,}065$ Н

8.9. $\omega = \dfrac{1}{R}\sqrt{\dfrac{\sigma_{пр}}{\rho}}$

8.10. $P = P_A + \frac{4\sigma_{пр}\delta}{d} \approx 1{,}066 \cdot 10^5$ Па

8.11. $E \approx 2 \cdot 10^5$ Н/мм^2

8.12. $V = \frac{\Delta V}{\beta_{рт}\Delta T} \approx 166$ мм^3

8.13. От $-0{,}5 \cdot 10^8$ Па до 10^8 Па

9. Закон Кулона

9.1. 9 кН

9.2. $\approx 4 \cdot 10^{42}$

9.3. 28 кН

9.4. $q = l\sqrt{\frac{mg}{k}\operatorname{tg}\frac{\alpha}{2}} \approx 5 \cdot 10^{-8}$ Кл

9.5. $v = e\sqrt{\frac{k}{m_e r}} \approx 2{,}18 \cdot 10^6$ м/с; $\nu = \frac{v}{2\pi r} \approx 6{,}5 \cdot 10^{15}$ с$^{-1}$

9.6. –1/3 мкКл или –3 мкКл

9.7. Между зарядами на расстоянии 20 см от заряда q_1; $q_3 = -0{,}8 \cdot 10^{-7}$ Кл; равновесие неустойчиво.

9.8. $q_x = -\frac{q}{\sqrt{3}} \approx -0{,}58$ мкКл ; равновесие неустойчиво.

9.9. $\approx 1{,}9 \cdot 10^{-7}$ Кл; $\approx 2{,}85 \cdot 10^{-7}$ Кл; $\approx 4{,}56 \cdot 10^{-7}$ Кл

9.10. $\Delta F = k\frac{qq_0}{2\pi R^2} \approx 50{,}2$ Н

9.11. $l_0 = \frac{l_1^3 q_2^2 - l_2^3 q_1^2}{l_1^2 q_2^2 - l_2^2 q_1^2}$

9.12. $q = 3l\sqrt{\frac{2mg}{k}}$

9.13. $a_1 = \dfrac{a}{\sqrt[3]{4}} \approx 3{,}15$ см

9.14. 9q

9.15. 3

9.16. $q = l\sqrt{\dfrac{mg}{k}} = 3 \cdot 10^{-6}$ Кл

9.17. $v_0 = \sqrt{5gl - \dfrac{kq^2}{ml}} \approx 5$ м / с

9.18. $Q = -\dfrac{q\left(l^2 + 4h^2\right)^{3/2}}{4l^3} \approx -3{,}8 \cdot 10^{-6}$ Кл

9.19. $Q > \dfrac{2mgd^2}{kq} \approx 5{,}6 \cdot 10^{-6}$ Кл

9.20. $\alpha = 2\operatorname{arctg}\left(\dfrac{q}{Q}\right)^{2/3}$

9.21. $T = 2\pi \cdot \sqrt[4]{\dfrac{kqQ}{4mg^3}}$

10. Напряженность и потенциал. Энергия системы зарядов.

10.1. На расстоянии ≈ 25 см от второго заряда.

10.2. $E_C = \dfrac{4E_A E_B}{\left(\sqrt{E_A} + \sqrt{E_B}\right)^2}$

10.3. $E = \dfrac{kqQ(M+m)}{l^2(mQ+Mq)}$; $a = \dfrac{kqQ(Q-q)}{l^2(mQ+Mq)}$

10.4. $\omega_1 = 3{,}72$ с$^{-1}$; $T_1 = 0{,}14$ Н; $\omega_2 = 3{,}03$ с$^{-1}$; $T_2 = 0{,}092$ Н

10.5. $T = 2\pi\sqrt{\dfrac{ml\cos\alpha}{\sqrt{(mg)^2 + (qE)^2}}}$

10.6. $\varphi_C = \dfrac{2\varphi_A\varphi_B}{\varphi_A + \varphi_B}$

10.7. $E = \dfrac{kqd}{2\pi R^3} \approx 0{,}076$ В/м; $\varphi = k\dfrac{q}{R} \approx 5{,}94$ В

10.8. $E(r) = \dfrac{m_e\omega^2 r}{e}$; $\Delta\varphi = \dfrac{m_e\omega^2 R^2}{2e}$

10.9. $\Delta\varphi = \dfrac{2kq}{R}\left(1 - \dfrac{1}{\sqrt{1 + \left(l/R\right)^2}}\right) = 12$ кВ

10.10. $E = \dfrac{kqx}{\left(R^2 + x^2\right)^{3/2}}$; $E_\infty \approx k\dfrac{q}{x^2}$; $x_{max} = \dfrac{R}{\sqrt{2}}$

10.11. $v_{max} = q\sqrt{\dfrac{2}{3}\cdot\dfrac{k}{ma}}$

10.12. $v = \sqrt{\dfrac{2}{3}\cdot\dfrac{el}{m_e}\sqrt{E_1^2 + E_2^2}} = 4\cdot 10^5$ м/с

10.13. $A = kq(q_1 - q_2)\left(\dfrac{1}{b} - \dfrac{1}{\sqrt{a^2 + b^2}}\right)$

10.14. $v = \sqrt{\dfrac{\sqrt{3}}{6}l(2a - 5g)} \approx 0{,}66$ м / с

10.15. $T = mg\left(\cos\alpha - \mathrm{tg}\alpha\cdot\sin\alpha\right) \approx 8{,}7$ мН

10.16. $v_{max} = e\sqrt{\dfrac{k}{m_p l}\left(3 + \dfrac{3}{\sqrt{2}} + \dfrac{1}{\sqrt{3}}\right)} \approx 2{,}8$ м / с

10.17. $E = \dfrac{\sigma}{4\varepsilon_0}$

10.18. $H = h_1 + h_2 - g\left(\dfrac{l}{v}\right)^2$

10.19. $l_{min} = \dfrac{e^2}{\pi\varepsilon_0 m_e v^2}$

10.20. $E\sqrt{2}$

10.21. $E_3 = \sqrt{\dfrac{1}{7}\left(4E_2^{\,2} - E_1^{\,2}\right)}$

10.22. –2

10.23. $A = 2qEl$

10.24. $\varphi_1 = \dfrac{3kQ}{R}$; $\varphi_2 = \dfrac{5kQ}{2R}$; $\varphi_3 = \dfrac{2kQ}{R}$;

$E_1 = \dfrac{kQ}{R^2}$; $E_2 = \dfrac{3kQ}{4R^2}$; $E_3 = \dfrac{2kQ}{3R^2}$

10.25. $t = d\sqrt{\dfrac{2m_e m_p}{e\Delta\varphi(m_e + m_p)}} \approx d\sqrt{\dfrac{2m_e}{e\Delta\varphi}} \approx 7{,}8\cdot 10^{-9}$ с

10.26. Увеличилась в n раз.

10.27. $W_{min} = \dfrac{keQ(L-2R)}{LR(L-R)}$

10.28. $A = 3mgh$

10.29. $\Delta\varphi = \dfrac{mgd^2}{2ql\left(\sqrt{2}-1\right)^2}$

10.30. $F = \dfrac{q^2}{2\varepsilon_0 S} \approx 5{,}65\cdot 10^{-4}$ Н

10.31. В $\sqrt{2}$ раз.

10.32. $\Delta\varphi \geq \Delta\varphi_0 \dfrac{4d^2}{l^2}$

10.33. $k = \dfrac{q^2}{\varepsilon_0 S d}$

10.34. $\Delta\varphi \geq \dfrac{mgd^2}{2ql}$

10.35. $W = qEl\cos\alpha$

10.36. $v = \sqrt{v_0^2 - \dfrac{ql\Delta\varphi}{md}}$

11. Теорема Гаусса

11.1. $E = \dfrac{\sigma}{2\varepsilon_0}$

11.2. При $r < R$ $E = 0$; при $r > R$ $E(r) = \dfrac{\sigma R}{\varepsilon_0 r}$

11.3. При $r < R$ $E = 0$; при $r > R$ $E(r) = k\dfrac{Q}{r^2}$

11.4. При $r < R$ $E(r) = \dfrac{\rho r}{3\varepsilon_0}$; при $r > R$ $E(r) = \dfrac{\rho R^3}{3\varepsilon_0 r^2}$

11.5. При $x < h/2$ $E(x) = \dfrac{\rho x}{\varepsilon_0}$; при $x > h/2$ $E(x) = \dfrac{\rho h}{2\varepsilon_0}$

11.6. а) $E = 0$; б) $E = k\dfrac{Q_1}{r^2}$; в) $E = k\dfrac{Q_1 + Q_2}{r^2}$

11.7. $\sigma_1 = \varepsilon_0(E_A + E_B)$; $\sigma_2 = \varepsilon_0(E_B - E_A)$

11.8. $\Delta\varphi = \dfrac{\sigma b}{\varepsilon_0}$

11.9. $\rho = \frac{\varepsilon_0}{h}\left(E_2 - E_1\right) \approx -4{,}43 \cdot 10^{-13}$ Кл/м^3

11.10. $t = \frac{m_e v^2 r^2}{2kne^2 \Delta r}$

11.11. $E_A = \frac{\rho h}{6\varepsilon_0}$; $E_B = \frac{\rho h}{3\varepsilon_0}$

11.12. $E = \frac{\rho a}{3\varepsilon_0}$

11.13. $R = \sqrt[3]{\frac{q^2}{128\pi^2\varepsilon_0\sigma}}$

11.14. $\Delta\varphi = \frac{1}{2\varepsilon_0}\left(\sigma_2 a - \sigma_1 b\right) \approx 1{,}1$ кВ

11.15. $F = \frac{\sigma^2 l^2}{2\varepsilon_0}$

11.16. $d = \cos\alpha\sqrt{\frac{2W}{k\pi q\rho}}$

11.17. $E_B = \frac{E_0}{2\sin\alpha}$

12. Проводники и диэлектрики в электрическом поле

12.1. См. рис. 1 (для положительного заряда).

12.2. $F = k\frac{q^2}{(2a)^2}$

12.3. а) $\varphi = k\frac{q}{R}$; б) $\varphi = k\frac{q}{r}$

12.4. На внешних поверхностях: $\sigma_1' = \sigma_2' = \frac{1}{2}(\sigma_1 + \sigma_2)$;

на внутренних поверхностях: $\sigma_1'' = \frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_2)$,

$\sigma_2'' = \frac{1}{2}(\sigma_2 - \sigma_1)$

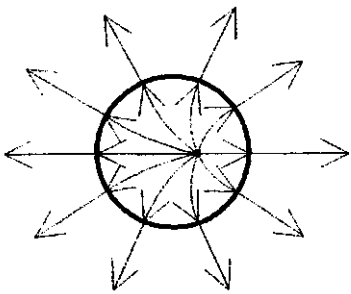

рис. 1

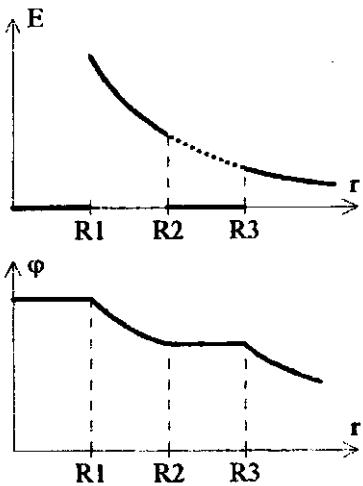

рис. 2

12.5. $\varphi_1 = \varphi \dfrac{R_1}{R_2}$

12.6. $\varphi_1 = \varphi\left(1 - \dfrac{R_1}{R_2}\right)$

12.7. $R = r\dfrac{\varphi}{\varphi_0} = 15$ см

12.8. См. рис. 2.

12.9. $q = 2(a - l\sin\alpha)\sqrt{\dfrac{mgtg\alpha}{k}} = 2 \cdot 10^{-8}$ Кл

12.10. $P = \dfrac{\sigma^2}{2\varepsilon_0}$

12.11. $h = \dfrac{q}{R + r}\sqrt{\dfrac{kRr}{mg}} \approx 21{,}2$ см

12.12. $q = \dfrac{2F}{E_2 - E_1} = 7 \cdot 10^{-5}$ Кл

12.13. $\varphi = \dfrac{\varphi_1 r_1 + \varphi_2 r_2}{r_1 + r_2}$

12.14. 2φ

12.15. $Q = -\dfrac{qR}{l}$

12.16. $\sigma_1 = -\sigma\dfrac{b}{a+b}$; $\sigma_2 = -\sigma\dfrac{b}{a+b}$

12.17. Ноль

12.18. Увеличилась

12.19. $\sigma = \pm\dfrac{\varepsilon_0 E(\varepsilon - 1)}{\varepsilon}$

12.20. $\approx E$

12.21. $E = E_0\sqrt{\frac{\cos^2\alpha}{\varepsilon^2} + \sin^2\alpha}$

12.22. $\varphi = kq\left(\frac{1}{R_2} + \frac{1}{\varepsilon R_1} - \frac{1}{\varepsilon R_2}\right)$; $q' = \pm q\frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon}$

12.23. При $r \le R_1$

$$E = 0,\ \varphi = kq\left(\frac{1}{R_1} - \frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon}\left(\frac{1}{R_2} - \frac{1}{R_3}\right)\right);$$

при $R_1 \le r \le R_2$

$$E = k\frac{q}{r^2},\ \varphi = kq\left(\frac{1}{r} - \frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon}\left(\frac{1}{R_2} - \frac{1}{R_3}\right)\right);$$

при $R_2 \le r \le R_3$

$$E = k\frac{q}{\varepsilon r^2},\ \varphi = \frac{kq}{\varepsilon}\left(\frac{1}{r} + \frac{\varepsilon - 1}{R_3}\right);$$

при $r \ge R_3$

$$E = k\frac{q}{r^2},\ \varphi = k\frac{q}{r}$$

12.24. 1,5

12.25. $k = \frac{q^2}{2\pi\varepsilon_0 h^3} = 450$ Н/м

12.26. $Q = q\frac{R}{\sqrt{r^2 + R^2}}$

12.27. Увеличится

12.28. $A = \frac{kq^2(\varepsilon - 1)(\varepsilon R - r)}{\varepsilon^2 rR}$

12.29. $\varphi_0 = \dfrac{\varphi_1\varphi_2(l_2 - l_1)}{\varphi_2 l_2 - \varphi_1 l_1} = 600$ В

12.30. $\sigma = \dfrac{\varepsilon_0 \Delta\varphi(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)}{\varepsilon_1\varepsilon_2(d_1 + d_2)}$

12.31. Не изменится

12.32. $r = R$

13. Электроемкость. Конденсаторы

13.1. $C = 4\pi\varepsilon_0 R$

13.2. $C = \dfrac{\varepsilon R_1 R_2}{k(R_2 - R_1)}$

13.3. $C = 2\pi\varepsilon\varepsilon_0 r$

13.4. $C = \dfrac{r}{k\left(1 + (\varepsilon - 1)\dfrac{r}{R}\right)} = 1{,}9$ пФ

13.5. $C = \dfrac{\varepsilon_0 S}{\dfrac{d_1}{\varepsilon_1} + \dfrac{d_2}{\varepsilon_2}}$

13.6. $C = \dfrac{\varepsilon_0 S(\varepsilon_1 a_1 + \varepsilon_2 a_2)}{d(a_1 + a_2)}$

13.7. $C = \dfrac{\varepsilon_0 S}{d - a}$

13.8. $C = \dfrac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$

13.9. $\varphi = \dfrac{C_1\varphi_1 + C_2\varphi_2}{C_1 + C_2}$

13.10. $\varphi = \dfrac{2\varphi_1\varphi_2}{\varphi_1 + \varphi_2} = 48$ В

13.11. $Q = \dfrac{C_1C_2(\varphi_1 - \varphi_2)^2}{2(C_1 + C_2)} = 12 \cdot 10^{-5}$ Дж

13.12. $Q = \dfrac{1}{2}\left(\sqrt{W_1} - \sqrt{W_2}\right)^2 = 2 \cdot 10^{-4}$ Дж

13.13. $A = \dfrac{q^2(\varepsilon - 1)}{2C}$

13.14. $A = \dfrac{q^2(\varepsilon - 1)}{2\varepsilon C}$

13.15. $\Delta\varphi = \dfrac{q}{2C}$

13.16. а) не изменится; б) уменьшится в 9 раз.

13.17. $q = \dfrac{q_0}{1 + \dfrac{kC}{r}}$

13.18. $q = \dfrac{q_0}{1 + r\left(\dfrac{1}{R} + \dfrac{1}{kC}\right)}$

13.19. $v = U\sqrt{\dfrac{C}{2m}}$

13.20. $v = U\sqrt{\dfrac{C}{m}}$

13.21. $I = \dfrac{Uvb\varepsilon_0(\varepsilon - 1)}{d}$

13.22. $F = \dfrac{q^2 d(\varepsilon - 1)}{2\varepsilon_0 b\left(a + x(\varepsilon - 1)\right)^2}$

13.23. $C = \frac{2\varepsilon_0 S}{d}$

13.24. $\Delta q = \frac{qx}{d}$

13.25. $C = \frac{3\varepsilon_0 S}{2d} \approx 0{,}29$ нФ

13.26. $U_{max} = \frac{2}{3} d \sqrt{\frac{2kd}{3\varepsilon_0 S}}$

13.27. $U = \frac{U_1(C_1 + C_2)}{C_2} = 9$ кВ

13.28. $\varphi_0 = \frac{C_1\varphi_1 + C_2\varphi_2 + C_3\varphi_3}{C_1 + C_2 + C_3}$

13.29. $C = C_1 + C_2 + C_3$

13.30. $C_x = \frac{1}{2} C\left(\sqrt{5} - 1\right)$

13.31. $C_x = \frac{3}{2} C$

13.32. $A = \frac{1}{3} CU^2$

13.33. $A = \frac{1}{4} CU^2$

13.34. $U_1 = \frac{C_2(\Delta\varphi_{AB} + \varepsilon)}{C_1 + C_2} = 10$ В;

$U_2 = \frac{C_1(\Delta\varphi_{AB} + \varepsilon)}{C_1 + C_2} = 5$ В

13.35. $U_1 = 1$ В; $U_2 = 2/3$ В; $U_3 = 1/3$ В

13.36. $q = |\varepsilon_1 - \varepsilon_2| \dfrac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$

13.37. 2 В

13.38. $\Delta\varphi_{AB} = \dfrac{1}{6} U$

13.39. $\varphi_A - \varphi_B = \dfrac{\varepsilon_2 C_2 - \varepsilon_1 C_1}{C_1 + C_2}$

13.40. $\varphi_A - \varphi_B = \dfrac{\varepsilon_2 C_2 - \varepsilon_1 C_1}{C_1 + C_2 + C_3}$

13.41. $Q = 4{,}5CU^2 = 0{,}243$ Дж

13.42. $Q = \dfrac{C\varepsilon^2 R}{2(R + r)}$

13.43. $C = C_1 + C_2 + C_3 + \ldots + C_n$

13.44. $\dfrac{1}{C} = \dfrac{1}{C_1} + \dfrac{1}{C_2} + \dfrac{1}{C_3} + \ldots + \dfrac{1}{C_n}$

13.45. а) не изменится; б) увеличится

13.46. $A = \dfrac{1}{4}\varepsilon_0 S E^2 d$

13.47. $E_1 = \dfrac{q l_2}{\varepsilon_0 S(l_1 + l_2)} = 6{,}3 \cdot 10^7$ В/м;

$E_2 = -\dfrac{q l_1}{\varepsilon_0 S(l_1 + l_2)} = -5 \cdot 10^7$ В/м

13.48. $F = \dfrac{q}{d_1 + d_2}\left(U + \dfrac{q(d_1 - d_2)}{2\varepsilon_0 S}\right)$

13.49. $Q = \dfrac{1}{5} CU^2$

13.50. а) не изменится; б) увеличится

13.51. Не изменяется

13.52. Не изменится

13.53. Почти ничего

13.54. Уменьшится

13.55. $\frac{1}{3}q$ и $\frac{2}{3}q$

13.56. Одинакова

13.57. а) увеличится в два раза; б) уменьшится почти до нуля.

13.58. $E(t) = \frac{ql}{\varepsilon_0 S(\varepsilon l - vt(\varepsilon - 1))}$

13.59. $C_x = \frac{5}{3}C$

13.60. $\varphi_A = \frac{\varepsilon_1 C_1 + \varepsilon_2 C_2}{C_1 + C_2} = 2{,}7$ В

13.61. $Q = \frac{C_1 C_2 I^2 R^2}{2(C_1 + C_2)} \approx 1{,}9 \cdot 10^{-3}$ Дж

13.62. $C_x = \frac{12}{13}C$

13.63. $\frac{12}{7}C$; $\frac{4}{3}C$; $\frac{6}{5}C$

13.64. $\frac{15}{8}C$

13.65. $\sigma = \pm\varepsilon_0 E$

13.66. $F = \frac{CU^2}{2\varepsilon d}$

13.67. $q_1 = U\dfrac{C_1(C_2 + C_3)}{C_1 + C_2 + C_3}$; $q_2 = U\dfrac{C_1C_2}{C_1 + C_2 + C_3}$;

$q_3 = U\dfrac{C_1C_3}{C_1 + C_2 + C_3}$

13.68. $\dfrac{1}{30}CU$

14. Постоянный электрический ток

14.1. $I = \dfrac{e^2}{2\pi r}\sqrt{\dfrac{k}{m_e r}} \approx 1{,}1$ мА

14.2. ≈ 4 мм/с

14.3. $I = 2\varepsilon_0 Edv = 0{,}13$ мА

14.4. $F = \dfrac{e\rho I}{S}$

14.5. $\tau = \dfrac{2m_e}{\rho n e^2}$

14.6. Увеличилось в 4 раза

14.7. 16

14.10. $\sigma = \varepsilon_0 j(\rho_2 - \rho_1)$

14.11. $\mathrm{tg}\alpha_2 = \dfrac{\rho_1}{\rho_2}\mathrm{tg}\alpha_1$

14.12. $\sigma = \varepsilon_0 j_1 \cos\alpha_1(\rho_2 - \rho_1)$

14.17. $I_1 = 1$ A, $I_2 = 0$, $I_3 = -1$ A

14.18. $I_1 = 2$ A, $I_2 = 1$ A

14.19. $\Delta\varphi = \varepsilon + Ir = 15$ В

14.20. $I_{к.з.} = \dfrac{\Delta\varphi_2 I_1 - \Delta\varphi_1 I_2}{\Delta\varphi_1 - \Delta\varphi_2} = 9$ A

14.21. Разность потенциалов

14.22. $I_3 = \frac{I_1 I_2}{I_1 + I_2} = 2$ А

14.23. На 50%

14.24. 3,6 А

14.25. $q = C(IR + \varepsilon_1 - \varepsilon_2)$

14.26. $R_2 = R_1 \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1}$

14.27. $\varepsilon_2 = \varepsilon_1 \left(\frac{R_3}{R_3 + R_4} - \frac{R_1}{R_1 + R_2} \right) = 10$ В

14.28. $\varphi_A - \varphi_B = \frac{\varepsilon_1 R_2 + \varepsilon_2 R_1}{R_1 + R_2} = 4$ В

14.29. 0,5 А

14.30. Нулю

14.31. Внутреннее сопротивление идеального источника тока должно быть значительно больше сопротивления нагрузки, а идеального источника напряжения - равно нулю.

14.32. 80 А

14.33. $U = \frac{U_0 \varepsilon R_2}{\varepsilon R_2 + U_0 R_1}$

14.34. 1,5

14.35. 20 мкКл

14.36. 0,25 А

14.37. а) $\frac{\varepsilon}{r}$; б) $\frac{\varepsilon}{R}$

14.38. $\varepsilon_0 = \frac{\varepsilon R}{R + r}$; $r_0 = \frac{Rr}{R + r}$

14.39. $\varepsilon_0 = \varepsilon_i$; $r_0 = 0$

14.40. $I_1 = I_3 = 10$ A; $I_2 = 0$

14.41. $\varepsilon = U_0 + \dfrac{I_1 I_2 R}{I_1 - I_2} = 150$ В

14.42. $U_3 = \dfrac{U_1 U_2 R_2}{U_1(R_1 + R_2) - U_2 R_1} = 12$ В

14.43. $I = \dfrac{1}{\alpha}$; $\Delta\varphi_{AB} = 0$

14.44. а) $\dfrac{mn-1}{m+n-2}$; б) $m+n-1$

14.45. $R_{AB} = r\dfrac{5+3\dfrac{r}{R}}{3+5\dfrac{r}{R}}$

14.46. $R = \dfrac{9}{10}r = 261$ Ом

14.47. а) добавочное сопротивление

$R = \dfrac{U - ni_0 r}{ni_0} \approx 200$ кОм;

б) шунт $R = \dfrac{ni_0 r}{I - ni_0} \approx 0{,}0625$ Ом

14.48. $U_2 = \sqrt{\dfrac{1}{4}U_3^{\,2} + U_3(U_1 + U_3)} - \dfrac{1}{2}U_3 \approx 8{,}65$ В

14.49. $q = \dfrac{2}{9}\varepsilon C$

14.50. $q = \dfrac{11}{6}\varepsilon C$

14.51. $R_x = R\left(\sqrt{3} - 1\right)$

14.52. $\frac{1}{2}r$

14.53. $R = r_2 - r_1$

14.54. $I = \left(\frac{a}{2R}\right)^2 \left(\sqrt{1 + \frac{4RU_0}{a^2}} - 1\right)^2$

14.55. ≈ 5 Ом

14.56. $I = \frac{\varepsilon_2(R_2 + R_3) + \varepsilon_1 R_3}{R(R_2 + R_3) + R_2 R_3} = 2{,}5$ А

14.57. $\frac{R_2}{R_1} = \frac{3}{5}$

14.58. См рис. 3

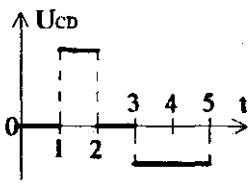

рис. 3

14.59. $R_{AB} = \frac{\pi R}{(\pi + 2)(\pi + 4)}$

14.60. $R_{AB} = \frac{5}{7}r$

14.61. 2,5 А; 5 А; 2 А; 7,5 А; 40 В

14.62. $U = \frac{U_0 \tau R}{Tr + \tau R}$

14.63. ≈ 1,67 кОм

14.64. $\alpha = \frac{R_2(R_2 + R_3)}{\varepsilon R_1 R_3^2} = 0{,}0125\ \text{А/В}^2$

14.65. $R \le 40$ кОм

14.66. 10 мкА, 3 кВ

14.67. $q = \frac{m_e \omega r S}{e \rho_м} \approx 4{,}15 \cdot 10^{-9}$ Кл

14.68. Потечет

14.69. $I = \dfrac{U_0 I_0}{RI_0 + U_0}$

14.70. $I = \dfrac{\varepsilon_1 R_2 - \varepsilon_2 R_1}{R_1 R_2}$

14.71. 3 А

14.72. $I = \dfrac{4\varepsilon}{r\left(\sqrt{5}+1\right)}$

14.73. Увеличится в 4 раза

14.74. При $R \le 2r$ $I = \dfrac{4\varepsilon R}{3R + 2r}$;

при $R \ge 2r$ $I = \dfrac{2\varepsilon R}{R + 2r}$

14.75. $I_3 = 1$ А, $I_4 = 4$ А, $I_R = 1$ А, $\dfrac{R_A}{R} = \dfrac{1}{5}$

15. Тепловое действие тока

15.1. Лампочки 1 увеличится, а лампочки 2 уменьшится.

15.2. В резисторе 2 Ом.

15.3. Во втором.

15.4. В лампе меньшей мощности в 2,4 раза.

15.5. Увеличится.

15.6. Увеличится.

15.10. $\eta = \dfrac{R}{R + r}$

15.11. $N = \dfrac{2\varepsilon^2}{2R + r}$

15.12. $\approx 22{,}78$ Вт

15.13. $n = \dfrac{U^2}{\varepsilon U - Nr}$; а) 45; б) нормальное горение лампы невозможно.

15.14. $\dfrac{1}{9}m$

15.15. $m = \dfrac{4\rho d L^2 N}{\alpha(1-\alpha)U^2} \approx 2{,}14 \cdot 10^3$ кг

15.16. $N_1 = \dfrac{\varepsilon_1(\varepsilon_1 \pm \varepsilon_2)}{R + r_1 + r_2}$; $N_2 = \dfrac{\varepsilon_2(\varepsilon_1 \pm \varepsilon_2)}{R + r_1 + r_2}$

15.17. $N = \dfrac{U^2 C}{\varepsilon\varepsilon_0\rho}$

15.18. $I_1 = \dfrac{IR_2}{R_1 + R_2}$; $I_2 = \dfrac{IR_1}{R_1 + R_2}$. Ток на самом деле так и делится.

15.19. $\eta_3 = \dfrac{\eta_1\eta_2}{\eta_1 + \eta_2 - \eta_1\eta_2}$

15.20. $Q = \dfrac{2\pi m_e{}^2\omega^2 R^3 S}{\rho e^2 t}$

15.21. $r = R_1\sqrt{\dfrac{R_2}{R_1 + R_2}} = 6$ Ом

15.22. $\Delta\varphi = \varepsilon_2 - \sqrt{Nr_2} = 7$ В;

$R = (\varepsilon_1 + \varepsilon_2)\sqrt{\dfrac{r_2}{N}} - r_1 - r_2 = 7$ Ом

15.23. $\dfrac{N_2}{N_1} = \dfrac{1}{2} \cdot \left(\dfrac{2\sqrt{2}+1}{\sqrt{2}+1}\right)^2 \approx 1{,}25$

15.24. $\frac{\eta_1}{\eta_2} = \frac{\left(U_1^2 - NR\right)U_2^2}{\left(U_2^2 - NR\right)U_1^2} = 1{,}5$

15.25. $R = r$

15.26. $N = \frac{\left(\varepsilon_1 + \varepsilon_2\right)^2}{4\left(R_1 + R_2\right)} = 1$ Вт

15.27. 9 Вт

15.28. 11,25 Вт и 1,25 Вт

15.29. $N_2' = \frac{N_1^2}{N_2} = 10$ Вт

15.30. $2\sqrt{2} \cdot I$

15.31. $T_2 = \frac{T_1 + 3T_0}{4} = 375$ K

15.32. $N = \frac{4\pi R\varphi^2}{\rho}$

15.33. $N = \frac{CU^2}{\rho\varepsilon\varepsilon_0}$

15.34. При полном затормаживании якоря.

15.35. $I = \frac{U}{2R}$; $N_{max} = \frac{U^2}{4R}$; $\eta = 0{,}5$

15.36. $u = \varepsilon\sqrt{\frac{v}{mgR}} - v$

15.37. ≈ 5 Вт

15.38. $Q = \frac{1}{2}C\left(U - U_0\right)^2$

15.39. $\eta = \frac{1}{2}\left(1 + \frac{R}{R+r}\right) \approx 0{,}545$;

$N = \frac{nC\varepsilon^2}{2}\left(1 + \frac{R}{R+r}\right) \approx 11$ Вт; уменьшится в ≈ 6 раз.

15.40. В случае а).

16. Магнитное поле

16.1. По окружности радиусом $R = \frac{mv}{qB}$ с периодом $T = \frac{2\pi m}{qB}$

16.2. $v = \frac{E}{B}$

16.3. $\Delta\varphi = Bvl = 0{,}1$ В

16.4. $M = IBS\sin\alpha$

16.5. Частица будет двигаться по спирали. Радиус спирали $R = \frac{mv\sin\alpha}{qB}$; шаг спирали $h = \frac{2\pi mv\cos\alpha}{qB}$; период обращения $T = \frac{2\pi m}{qB}$.

16.6. $\frac{IR}{Bvl} = 50$

16.7. $\frac{e}{m} = \frac{2U}{(BR)^2} \approx 1{,}76 \cdot 10^{11}$ Кл / кг

16.8. Этого не может быть.

16.9. $a = \frac{e}{m}\left(B\sqrt{2Eh\frac{e}{m}} - E\right) = 10^{12}$ м/с^2

16.10. $I_2 = I_1 \dfrac{\alpha_2 \sin\alpha_1}{\alpha_1 \sin\alpha_2} = 0{,}15$ А

16.11. $a = \dfrac{e}{m}\sqrt{(vB)^2 + E^2} \approx 2{,}5 \cdot 10^{13}$ м/с^2

16.12. $B = \dfrac{2\pi nm\cos\alpha}{el}$; n = 1, 2, 3, ...

16.13. $Z_n = \dfrac{2\pi^2 mEn^2}{eB^2}$; n = 1, 2, 3, ...

16.14. $v = \dfrac{mgR\sin\alpha}{(Bl\cos\alpha)^2}$

16.15. Ноль

16.16. $a_0 = \dfrac{\varepsilon Bl}{mR} - \mu g$; $v = \dfrac{\varepsilon}{Bl} - \dfrac{\mu mgR}{(Bl)^2}$

16.17. $q = \dfrac{FBlC\tau}{m + B^2 l^2 C} = 2 \cdot 10^{-3}$ Кл

16.18. $F = Bl\sqrt{\dfrac{N}{R}}$

16.19. $\alpha = \arcsin\left(\dfrac{eBl}{mv}\right)$

16.20. $\Delta\varphi = \dfrac{1}{2}B\omega L(L - 2l)$

16.21. $v = \dfrac{4mgR}{(Br)^2}$

16.22. $B = \dfrac{2{,}5U_2}{vl} = 0{,}25$ Тл

16.23. $v = \dfrac{mg}{qB}\sqrt{\sin^2\alpha - \mu^2\cos^2\alpha}$

16.24. $B_{min} = \frac{1}{d}\sqrt{\frac{2m_e U}{e}}$

16.25. $\alpha = 2\mathrm{arctg}\left(\frac{IBl}{mg}\right)$

16.26. $v = \frac{Ev_0}{\sqrt{E^2 + (Bv_0)^2}}$; $\alpha = \mathrm{arctg}\left(\frac{Bv_0}{E}\right)$

16.27. $v_{др} = \frac{2v|B_1 - B_2|}{\pi(B_1 + B_2)}$

16.28. $\Delta\nu = \frac{eB}{4\pi m}$

16.29. $N = \frac{R(BvdS\lambda)^2}{(d + R\lambda S)^2}$

16.30. $\Delta\varphi = Bvd\left(1 - \frac{1}{\varepsilon}\right)$

16.31. $N_{max} = \frac{\varepsilon^2}{4r}$

СОДЕРЖАНИЕ

1. Молекулярная физика.....3
2. Законы идеального газа.....7
3. Работа газа. Первое начало термодинамики.....18
4. Второе начало термодинамики.....28
5. Влажность.....31
6. Поверхностное натяжение.....35
7. Уравнение теплового баланса.
Фазовые переходы..... 42
8. Тепловое расширение. Деформации.....45
9. Закон Кулона.....48
10. Напряженность и потенциал.
Энергия системы зарядов.....52
11. Теорема Гаусса.....60
12. Проводники и диэлектрики
в электрическом поле.....64
13. Электроемкость. Конденсаторы.....71
14. Постоянный электрический ток.....84
15. Тепловое действие тока.....101
16. Магнитное поле.....110
Ответы.....119