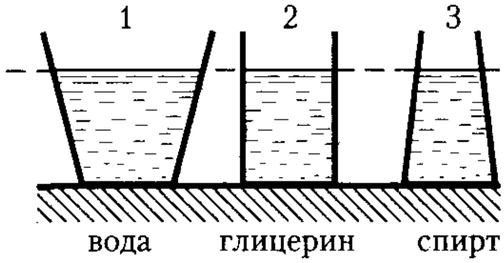
Часть А

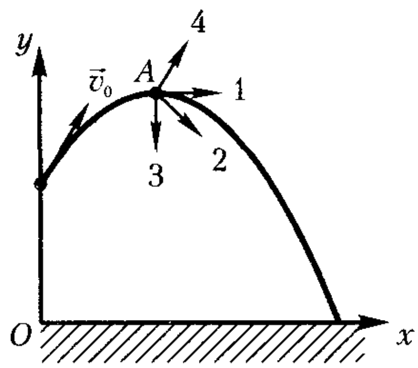
К каждому заданию части А даны варианты ответов, среди которых <u>только один</u> верный. Выполните задание, выберите ответ, <u>ближайший</u> к вашему, и <u>его номер</u> отметьте крестиком (×) в бланке ответов.

А1. В три сосуда до одного и того же уровня (см. рис.) налиты вода ($\rho_1 = 1{,}0\,\frac{г}{см^3}$), глицерин ($\rho_2 = 1{,}2\,\frac{г}{см^3}$) и спирт ($\rho_3 = 0{,}8\,\frac{г}{см^3}$). Гидростатическое давление на дно будет наименьшим в сосуде, обозначенном цифрой



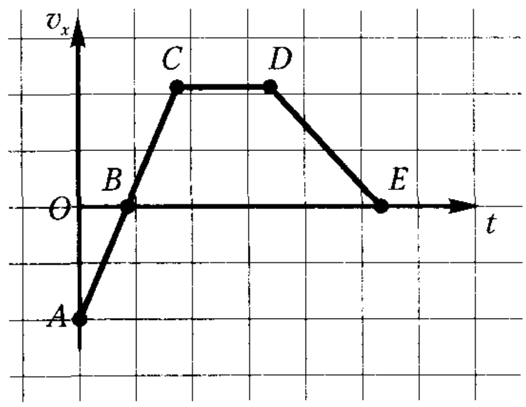
1) 1
2) 2
3) 3
4) гидростатическое давление на дно во всех сосудах одинаковое

А2. Траектория движения тела, брошенного с балкона под углом к горизонту, изображена на рисунке. Направление импульса $\vec{p}$ этого тела в точке A обозначено цифрой



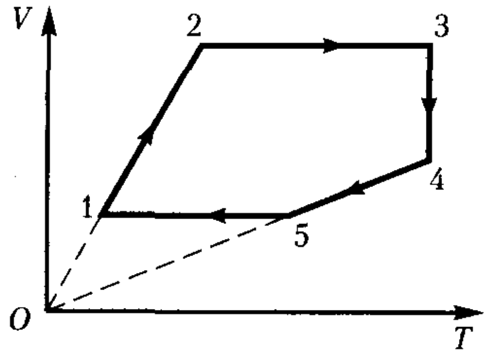
1) 1 2) 2 3) 3 4) 4

А3. График зависимости проекции скорости v_x материальной точки, движущейся вдоль оси Ox, на эту ось от времени t изображен на рисунке. Проекция на ось Ox равнодействующей R_x всех сил, приложенных к этой точке, равна нулю на участке



1) AB 2) BC 3) CD 4) DE

А4. Диаграмма зависимости объема V идеального газа от температуры T изображена на рисунке. Если количество вещества газа постоянно, то изохорному нагреванию соответствует участок графика



1) $1 \to 2$ 2) $2 \to 3$ 3) $3 \to 4$ 4) $4 \to 5$ 5) $5 \to 1$

А5. ЭДС самоиндукции в СИ измеряется в

1) фарадах 2) генри 3) теслах 4) вольтах

А6. На рисунке 1 изображены силовые линии электростатического поля, созданного точечными зарядами q_1 и q_2. Направление силы, действующей со стороны поля на электрон, находящийся в точке A, обозначено на рисунке 2 цифрой

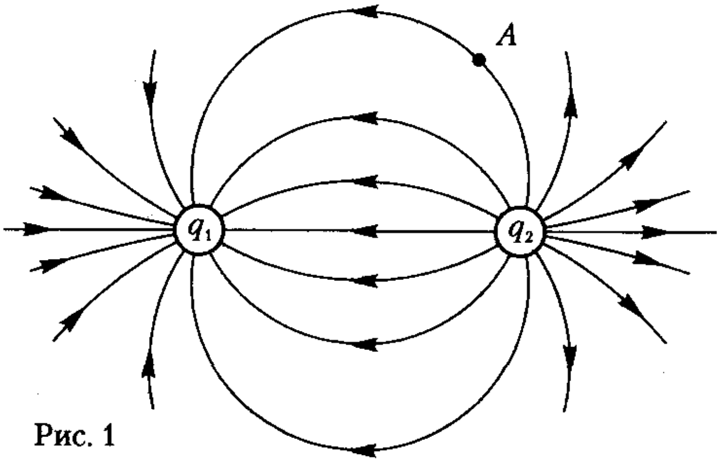


Рис. 1

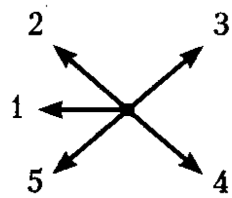
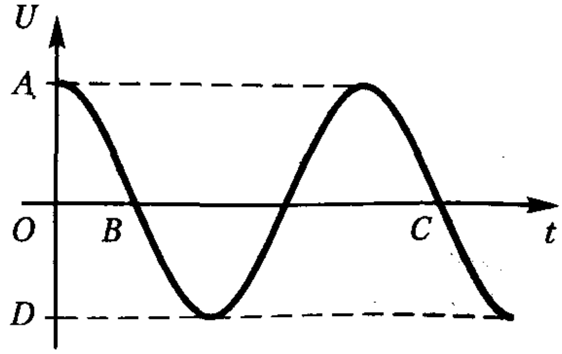


Рис. 2

1) 1 2) 2 3) 3 4) 4 5) 5

А7. На рисунке приведен график зависимости напряжения U на конденсаторе идеального LC-контура от времени t. Амплитудному значению напряжения соответствует длина отрезка

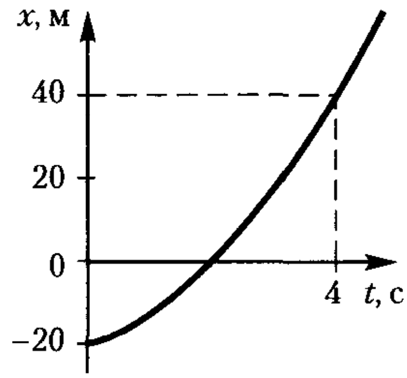


1) OA 3) BC
2) OB 4) AD

А8. По параллельным прямолинейным участкам двухколейной железной дороги навстречу друг другу равномерно движутся два поезда: пассажирский и товарный. Поезда проходят мимо друг друга в течение промежутка времени $\Delta t = 20$ с. Модуль скорости пассажирского поезда $v_1 = 90 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$, а его длина $l_1 = 140$ м. Если длина товарного поезда $l_2 = 560$ м, то модуль его скорости v_2 равен

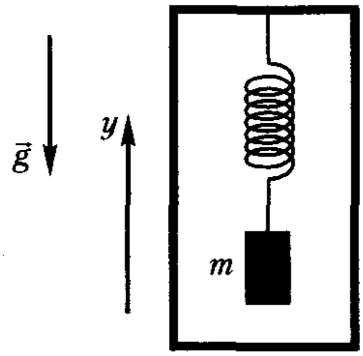
1) $30 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$ 2) $36 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$ 3) $42 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$ 4) $54 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$ 5) $72 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$

А9. График зависимости координаты x материальной точки, которая движется равноускоренно вдоль оси Ox, от времени t приведен на рисунке. Если в момент начала отсчета времени модуль скорости точки $v_0 = 4{,}0 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, то модуль ее ускорения a равен



1) $0{,}5 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ 2) $3 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ 3) $5 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ 4) $5{,}5 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ 5) $7{,}5 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$

А10. К потолку лифта, движущегося равноускоренно, на невесомой пружине ($k = 440 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$) подвешен груз массой $m = 1{,}2$ кг, покоящийся относительно кабины лифта (см. рис.). Если во время движения длина пружины на $\Delta l = 3{,}0$ см больше ее длины в недеформированном состоянии, то проекция ускорения a_y лифта на ось Oy равна

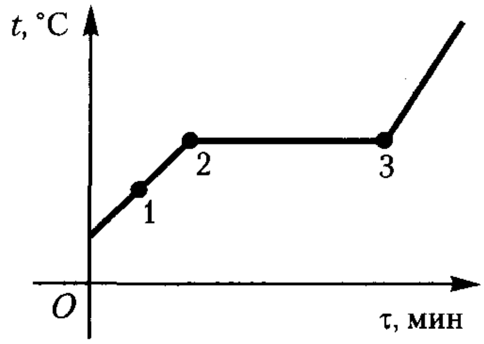


1) $2{,}5 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ 2) $2{,}0 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ 3) $1{,}5 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ 4) $1{,}0 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ 5) $0{,}5 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$

А11. Ксенон ($M = 131 \frac{\text{г}}{\text{моль}}$) находится в баллоне при температуре $T = 350$ К. Среднеквадратичная скорость $\langle v_{\text{кв}} \rangle$ движения молекул газа равна

1) $238 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ 2) $258 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ 3) $278 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ 4) $318 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ 5) $398 \frac{\text{м}}{\text{с}}$

А12. Чайник с водой поставили на газовую горелку в момент времени $\tau = 0$ мин. Зависимость температуры t вещества в чайнике от времени τ изображена на рисунке. Средние значения кинетических энергий молекулы воды в чайнике в состояниях 1, 2 и 3 связаны соотношением

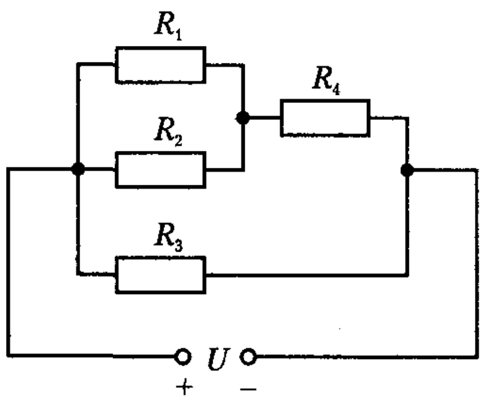


1) $\langle E_{к1} \rangle < \langle E_{к2} \rangle < \langle E_{к3} \rangle$
2) $\langle E_{к1} \rangle < \langle E_{к2} \rangle = \langle E_{к3} \rangle$
3) $\langle E_{к1} \rangle > \langle E_{к2} \rangle = \langle E_{к3} \rangle$
4) $\langle E_{к1} \rangle = \langle E_{к2} \rangle > \langle E_{к3} \rangle$
5) $\langle E_{к1} \rangle > \langle E_{к2} \rangle > \langle E_{к3} \rangle$

А13. В баллоне вместимостью $V = 500$ л под давлением $p_1 = 254$ кПа находится кислород ($M = 32{,}0\ \frac{\text{г}}{\text{моль}}$). После того как в баллон добавили $\Delta m = 400$ г кислорода, давление газа увеличилось на $\Delta p = 75{,}0$ кПа. Если конечная температура кислорода в баллоне $T_2 = 302$ К, то начальная температура T_1 газа в нем была равна

1) 243 К 2) 252 К 3) 278 К 4) 288 К 5) 300 К

А14. В электрической цепи, схема которой приведена на рисунке, сопротивления резисторов $R_1 = 300$ Ом, $R_2 = 600$ Ом, $R_3 = 300$ Ом и $R_4 = 400$ Ом. Если сила тока в резисторе R_3 составляет $I_3 = 60$ мА, то напряжение U_4 на резисторе R_4 равно

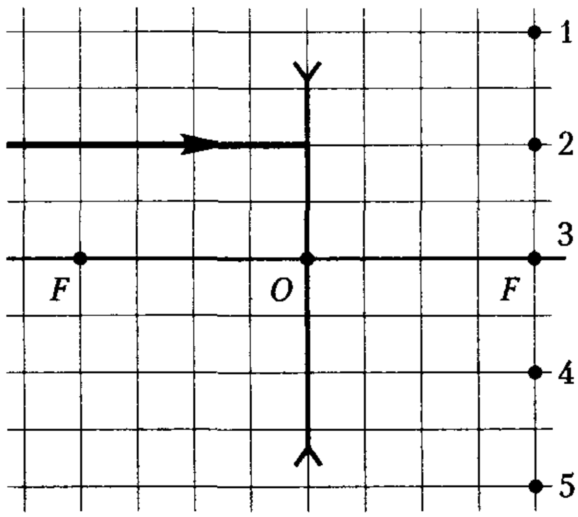


1) 3 В 2) 6 В 3) 12 В 4) 27 В 5) 54 В

А15. Протон движется в однородном магнитном поле по окружности, радиус которой $R = 10$ мм. Если модуль скорости протона $v = 160\frac{\text{км}}{\text{с}}$, то модуль магнитной индукции $\boldsymbol{B}$ равен

1) 0,27 Тл 2) 0,17 Тл 3) 0,12 Тл 4) 0,085 Тл 5) 0,054 Тл

А16. На рисунке изображен луч света, падающий на тонкую линзу. После преломления в линзе этот луч пройдет через точку, обозначенную цифрой



1) 1 3) 3 5) 5
2) 2 4) 4

А17. Если красной границе фотоэффекта для некоторого металла соответствует длина волны электромагнитного излучения $\lambda_к = 530$ нм, то работа выхода $A_{вых}$ электрона из этого металла равна

1) $3{,}2 \cdot 10^{-19}$ Дж 3) $4{,}0 \cdot 10^{-19}$ Дж 5) $8{,}0 \cdot 10^{-19}$ Дж
2) $3{,}7 \cdot 10^{-19}$ Дж 4) $4{,}3 \cdot 10^{-19}$ Дж

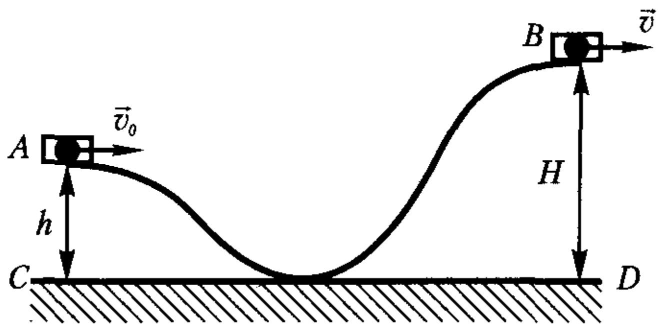
А18. Если ядро радиоактивного изотопа тория $^{230}_{90}Th$ испытывает четыре α-распада и один β^--распад, то в результате образуется ядро изотопа

1) $^{218}_{85}At$ 2) $^{214}_{83}Bi$ 3) $^{218}_{86}Rn$ 4) $^{214}_{84}Po$ 5) $^{210}_{81}Tl$

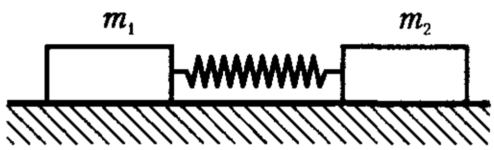
Часть В

В заданиях В1–В12 искомые величины обозначены <u>многоточием</u>, они должны быть вычислены <u>в единицах, указанных в заданиях</u>. Если в результате вычислений получается не целое число, округлите его до целого, пользуясь правилами приближенных вычислений, и в бланк ответов запишите округленное число, при этом каждую цифру и знак минуса (если число отрицательное) необходимо записывать в отдельном окошечке. <u>Наименования величин</u> (градусы, проценты, метры, тонны и т. д.) <u>не пишите</u>.

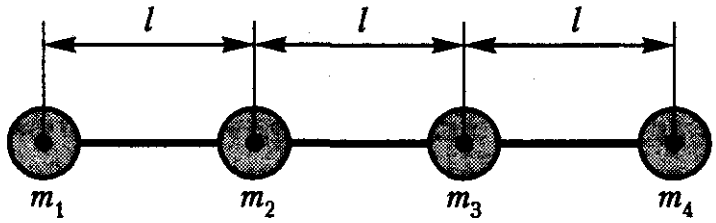
B1. Точки A и B криволинейной шероховатой поверхности находятся на высотах h и H относительно горизонтальной поверхности CD (см. рис.). При движении бруска массой $m = 800$ г из точки A в точку B по этой поверхности сила трения совершила работу $A_{тр} = -4{,}0$ Дж, а модуль скорости бруска изменился от $v_0 = 5{,}5\,\frac{м}{с}$ до $v = 1{,}5\,\frac{м}{с}$. Если высота $H = 1{,}1$ м, то высота h равна ... **см.**



B2. Два бруска массами $m_1 = 345$ г и $m_2 = 500$ г, прикрепленные к концам невесомой пружины, удерживают на гладкой горизонтальной поверхности так, что пружина сжата, причем ее абсолютное удлинение $|\Delta l_1|$. Сначала отпускают только брусок массой m_1, а в тот момент, когда пружина не деформирована, отпускают второй брусок. Если максимальное значение абсолютного удлинения пружины в процессе дальнейшего движения брусков $\Delta l_2 = 10$ см, то $|\Delta l_1|$ было равно ... **см.**



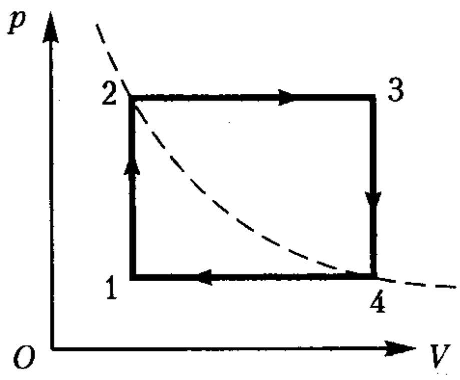
B3. Четыре однородных шара, массы которых $m_1 = 1{,}0$ кг, $m_2 = 5{,}0$ кг, $m_3 = 7{,}0$ кг и $m_4 = 3{,}0$ кг, закреплены на невесомом жестком стержне так, что расстояния между их центрами $l = 20$ см (см. рис.). Расстояние d между центром масс этой системы и центром шара массой m_1 равно ... **см.**



B4. В U-образной трубке постоянного поперечного сечения находится ртуть ($\rho_0 = 13{,}6\,\frac{г}{см^3}$). В одно из колен трубки долили слой керосина ($\rho_1 = 0{,}8\,\frac{г}{см^3}$), а в другое — слой масла

($\rho_2 = 0{,}9\frac{г}{см^3}$). Если высота слоя керосина $h_1 = 19$ см, а высота слоя масла $h_2 = 4{,}8$ см, то в колене трубки с керосином уровень ртути по сравнению с первоначальным понизился на Δh ... **мм.**

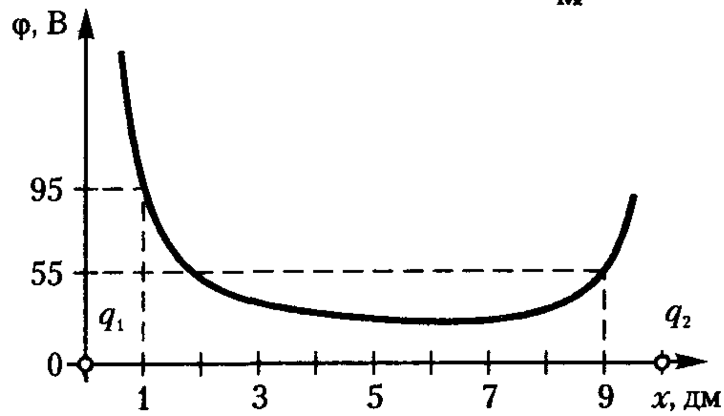
В5. С идеальным газом, количество вещества которого $\nu = 0{,}200$ моль, совершают замкнутый циклический процесс. Точки 2 и 4 этого процесса находятся на одной изотерме, участки 1→2 и 3→4 являются изохорами, а участки 2→3 и 4→1 — изобарами (см. рис.). Работа газа за цикл $A = 166$ Дж. Если в точке 3 температура газа $T_3 = 1024$ К, то в точке 1 его температура T_1 равна ... **К.**



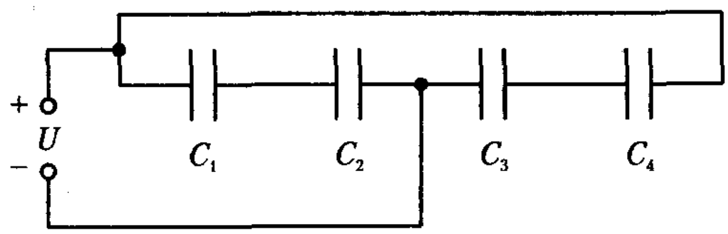
В6. Для определения поверхностного натяжения жидкости использовали вертикально расположенную пипетку, радиус отверстия которой $r = 1{,}00$ мм. Общая масса $N = 50$ капель, вытекших из пипетки, $m = 6{,}28$ г. Если считать, что в момент отрыва от пипетки диаметр шейки капли равен диаметру отверстия, то поверхностное натяжение σ жидкости равно ... $\frac{\textbf{мН}}{\textbf{м}}$.

В7. Два заряженных шарика, гравитационным взаимодействием между которыми можно пренебречь, находящиеся в вакууме на расстоянии, значительно превышающем их размеры, притягиваются друг к другу с силой, модуль которой F_1. В начальном состоянии заряды шариков $|q_1| = |q_2|$. Не изменяя расстояния между шариками, половину заряда с одного из них перенесли на другой. Если в результате модуль силы электростатического взаимодействия между шариками изменился на $\Delta F = 66$ мН, то модуль силы F_1 был равен ... **мН.**

В8. На рисунке приведен график зависимости потенциала φ электростатического поля, созданного в вакууме точечными зарядами q_1 и q_2, от координаты x. Заряды размещены на оси Ox в точках с координатами $x_1 = 0{,}0$ м и $x_2 = 1{,}0$ м соответственно. Проекция напряженности E_x этого поля на ось Ox в точке с координатой $x = 0{,}50$ м равна ... $\frac{\textbf{В}}{\textbf{м}}$.



B9. Четыре конденсатора, емкости которых $C_1 = 1{,}0$ мкФ, $C_2 = 4{,}0$ мкФ, $C_3 = 2{,}0$ мкФ и $C_4 = 3{,}0$ мкФ, соединены в батарею (см. рис.). Если батарея подключена к источнику, напряжение на клеммах которого $U = 100$ В, то энергия W электростатического поля батареи конденсаторов равна ... **мДж.**



B10. Два резистора, сопротивления которых $R_1 = 0{,}98$ Ом и $R_2 = 2{,}0$ Ом, соединяют первый раз последовательно, а второй — параллельно и после соединения поочередно подключают к источнику постоянного тока. В обоих случаях мощности, выделяющиеся на внешних участках цепи, одинаковые. Если сила тока при коротком замыкании этого источника $I_к = 10$ А, то максимальная полезная мощность P_{max} источника равна ... **Вт.**

B11. Идеальный колебательный контур радиоприемника настроен на радиостанцию, частота которой $\nu = 3{,}00$ МГц. Если емкость конденсатора увеличить в четыре раза, то этот контур будет настроен на радиостанцию, работающую на волне длиной λ, равной ... **м.**

B12. На дифракционную решетку нормально падает параллельный пучок монохроматического света длиной волны

$\lambda = 720$ нм. Если период решетки $d = 5$ мкм, то максимальный порядок k_{max} дифракционного спектра равен ....

Результат выполнения теста можно оценить с помощью таблицы 1, в которой два вида информации: эталонные ответы (ключи) и процент участников тестирования, ответивших на данное задание неверно. Например, если задание А3 не смогли выполнить 28,81 %, то коэффициент сложности этого задания невысок. Если же и вы не справились с ним, то вам необходимо обратить внимание на тот раздел школьной программы, элементы которого проверяются посредством данного задания.

Таблица 1

Задание	А1	А2	А3	А4	А5	А6	А7	А8	А9	А10
Эталонный ответ	3	1	3	2	4	4	1	2	4	4
Коэффициент сложности	40,94	49,36	28,81	57,21	56,40	88,93	83,11	59,38	75,76	67,51
Результат										

Задание	А11	А12	А13	А14	А15	А16	А17	А18	В1	В2
Эталонный ответ	2	2	4	3	2	1	2	2	20	13
Коэффициент сложности	66,99	41,70	75,13	50,75	65,51	71,69	63,56	68,25	90,00	90,00
Результат										

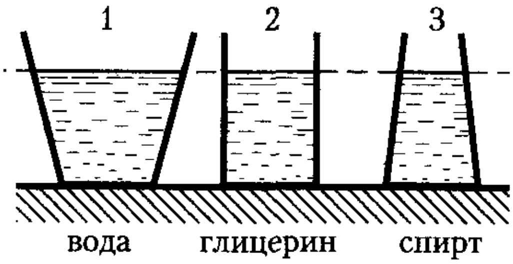
Задание	В3	В4	В5	В6	В7	В8	В9	В10	В11	В12
Эталонный ответ	35	4	484	200	88	18	10	35	200	6
Коэффициент сложности	86,76	90,00	90,00	90,00	90,00	90,00	78,67	90,00	90,00	90,00
Результат										

$$\boldsymbol{M = 2176{,}43}$$

Для того, чтобы рассчитать свой тестовый балл, воспользуйтесь предложенным алгоритмом.

Задание А1

В три сосуда до одного и того же уровня (см. рис.) налиты вода ($\rho_1 = 1{,}0\ \frac{г}{см^3}$)*, глицерин* ($\rho_2 = 1{,}2\ \frac{г}{см^3}$) *и спирт* ($\rho_3 = 0{,}8\ \frac{г}{см^3}$). *Гидростатическое давление на дно будет наименьшим в сосуде, обозначенном цифрой*



1) 1
2) 2
3) 3
4) *гидростатическое давление на дно во всех сосудах одинаковое*

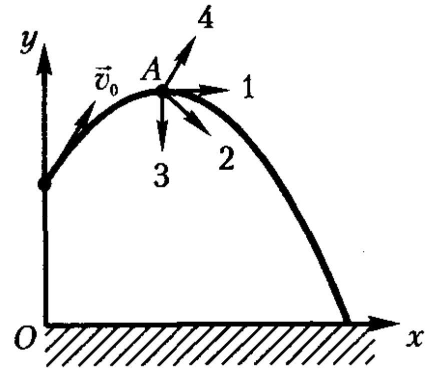
Данное задание предназначено для оценки умения выпускников устанавливать причинно-следственные связи между физическими величинами, входящими в формулу гидростатического давления ([1], § 35).

❗ При выполнении задания необходимо помнить: гидростатическое давление жидкости на дно не зависит от формы сосуда, а определяется только высотой уровня жидкости и ее плотностью ($p = \rho g h$, где ρ — плотность жидкости, h — высота столба жидкости).

Группа	I	II	III
Выполнение, %	49,77	81,07	94,65

Задание А2

Траектория движения тела, брошенного с балкона под углом к горизонту, изображена на рисунке. Направление импульса $\vec{p}$ этого тела в точке А обозначено цифрой



1) 1 2) 2 3) 3 4) 4

Данное задание предназначено для оценки владения основным понятийным аппаратом механики (понимание смысла физических величин ($\vec{v}$, $\vec{p}$ или $\vec{a}$)) и умения интерпретировать физическую информацию, представленную в графической форме ([3], § 15, 17, 18, 34).

! При выполнении задания необходимо помнить:

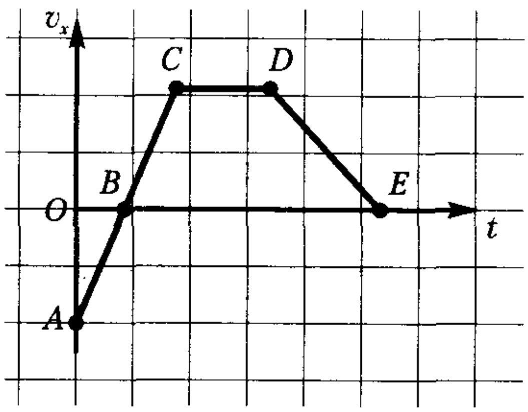
- если взаимодействие тела с воздухом не учитывать (см. инструкцию к тесту), то тело движется только под действием силы тяжести, обусловленной его взаимодействием с гравитационным полем Земли, т. е. совершает свободное падение с ускорением $\vec{a} = \vec{g}$;
- траектория движения тела зависит от направления и модуля начальной скорости. Если начальная скорость тела равна нулю или параллельна силе тяжести, то тело движется по прямолинейной траектории; если начальная скорость тела направлена под углом к силе тяжести, то тело будет двигаться по параболе. В обоих этих случаях тело совершает свободное падение;
- при криволинейном движении тела мгновенная скорость ($\vec{v}$) направлена по касательной к траектории движения в той ее точке, где находится тело в данный момент времени;

- импульс ($\vec{p}$) тела совпадает по направлению со скоростью тела в данный момент времени.

Группа	I	II	III
Выполнение, %	42,93	79,01	99,54

Задание А3

График зависимости проекции скорости v_x материальной точки, движущейся вдоль оси Ox, на эту ось от времени t изображен на рисунке. Проекция на ось Ox равнодействующей R_x всех сил, приложенных к этой точке, равна нулю на участке



1) AB 2) BC **3) CD** 4) DE

Данное задание предназначено для оценки умения применять законы Ньютона в конкретной ситуации, используя графическую информацию ([3], § 19, 21).

При выполнении задания необходимо помнить: согласно I закону Ньютона поступательно движущееся тело сохраняет свою скорость постоянной (или покоится), если на него не действуют другие тела или действие других тел скомпенсировано (равнодействующая всех сил равна нулю) в системе отсчета, называемой инерциальной.

Решение

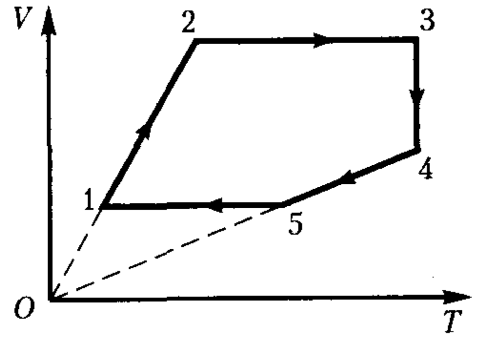
Из анализа выражения «проекция на ось Ox равнодействующей R_x всех сил, приложенных к точке, равна нулю» следует, что согласно I закону Ньютона $v_x = \text{const}$.

Из графика видно, что $v_x = \text{const}$ на участке CD.

Группа	I	II	III
Выполнение, %	61,12	89,82	99,77

Задание А4

Диаграмма зависимости объема V идеального газа от температуры T изображена на рисунке. Если количество вещества газа постоянно, то изохорному нагреванию соответствует участок графика



1) $1 \to 2$ 3) $3 \to 4$ 5) $5 \to 1$

2) $2 \to 3$ 4) $4 \to 5$

Данное задание предназначено для оценки умения извлекать и интерпретировать информацию, представленную в графической и текстовой форме для качественного анализа изопроцессов в идеальном газе ([5], § 21).

При выполнении задания необходимо помнить: термодинамические процессы, проходящие в идеальном газе при фиксированном значении одного из макропараметров (температура (T), давление (p) или объем (V)), называют изопроцессами.

Процесс, происходящий при постоянной температуре называется изотермическим, при постоянном давлении — изобарическим, при постоянном объеме — изохорическим.

Если, кроме того, в ходе изопроцесса количество вещества газа остается постоянным ($\nu = \text{const}$), то выше названные процессы описываются следующими законами:

- закон Бойля — Мариотта $pV = \text{const}$ $(T, \nu = \text{const})$;
- закон Шарля $\frac{V}{T} = \text{const}$ $(p, \nu = \text{const})$;
- закон Гей-Люссака $\frac{p}{T} = \text{const}$ $(V, \nu = \text{const})$.

Решение

Изохорному (т. е. $V = \text{const}$) нагреванию (т. е. T газа увеличивается) соответствует участок графика **$2 \to 3$**.

Группа	I	II	III
Выполнение, %	30,28	88,77	99,30

Задание А5

ЭДС самоиндукции в СИ измеряется в

1) *фарадах* 2) *генри* 3) *теслах* **4) *вольтах***

Данное задание предназначено для проверки знания единиц физических величин в СИ из раздела «Основы электродинамики».

Группа	I	II	III
Выполнение	38,83	88,68	98,83

Задание А6

На рисунке 1 *изображены силовые линии электростатического поля, созданного точечными зарядами* q_1 *и* q_2. *Направление силы, действующей со стороны поля на электрон, находящийся в точке А, обозначено на рисунке* 2 *цифрой*

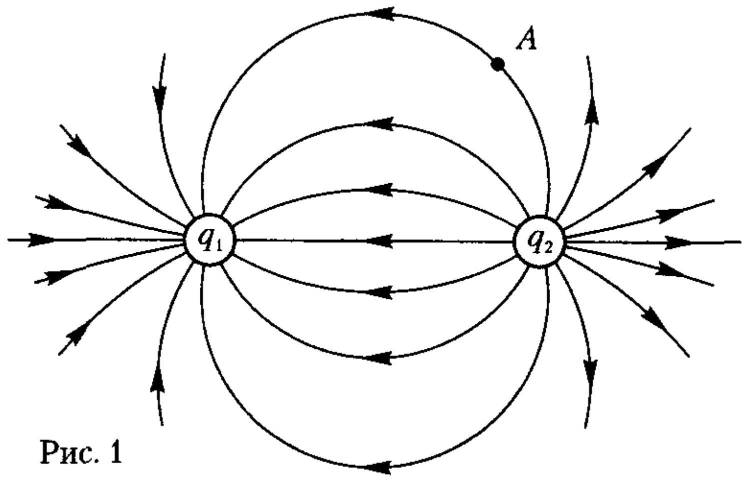


Рис. 1

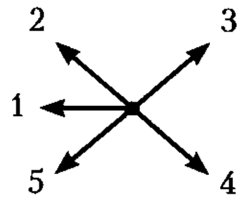


Рис. 2

1) 1 2) 2 3) 3 **4) 4** 5) 5

Данное задание предназначено для оценки усвоения наиболее важных физических понятий и законов из раздела «Основы электродинамики» и умения работать с различного рода физической информацией ([4], § 3).

При выполнении задания необходимо помнить:

- поле, создаваемое неподвижными электрическими зарядами, называется электростатическим;
- электростатическое поле исследуют, используя пробный заряд, который условились считать положительным;

- напряженность электростатического поля — это физическая векторная величина, определяемая отношением силы, которая действует со стороны поля на пробный точечный заряд, помещенный в данную точку поля, к этому заряду: $\vec{E} = \dfrac{\vec{F}}{q}$;
- электростатическое поле можно изобразить графически при помощи линий напряженности (силовых линий), т. е. воображаемых линий, касательные к которым в каждой точке поля совпадают с напряженностью;
- линии напряженности начинаются на положительных зарядах и заканчиваются на отрицательных либо уходят в бесконечность, если заряд положительный, или приходят из бесконечности, если заряд отрицательный.

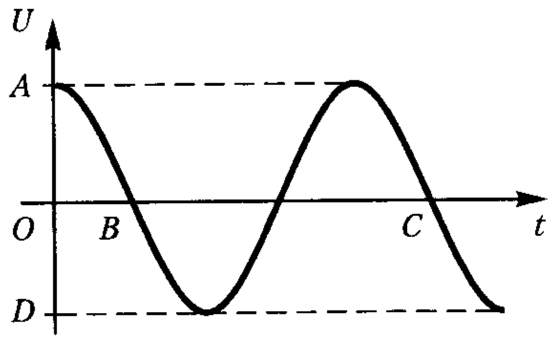
Решение

Из определения напряженности имеем: в случае положительного заряда сила и напряженность сонаправлены ($\vec{F} \uparrow\uparrow \vec{E}$), в случае отрицательного заряда — направлены противоположно ($\vec{F} \uparrow\downarrow \vec{E}$). Т. к. электрон — отрицательно заряженная частица, то направление силы на рисунке 2 обозначено цифрой 4.

Группа	I	II	III
Выполнение, %	13,89	25,01	85,93

Задание А7

На рисунке приведен график зависимости напряжения U на конденсаторе идеального LC-контура от времени t. Амплитудному значению напряжения соответствует длина отрезка

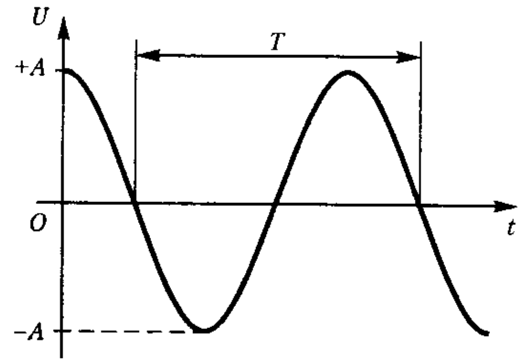


1) OA 2) OB 3) BC 4) AD

Данное задание предназначено для оценки
умения определять основные характеристики (амплитуда и период) электромагнитных колебаний, используя графическую информацию ([4], § 35, 39).

При выполнении задания необходимо помнить:

- электрическая цепь, состоящая из конденсатора и катушки индуктивности, называется колебательным LC-контуром;
- если омическое сопротивление соединяющих проводов и катушки равно нулю, то LC-контур называют идеальным;



- свободные электромагнитные колебания в LC-контуре — это периодические изменения заряда и напряжения на конденсаторе, силы тока в контуре, происходящие без потребления энергии от внешних источников;
- наименьший промежуток времени, в течение которого LC-контур возвращается в исходное состояние, называется периодом (T) свободных электромагнитных колебаний в контуре;
- максимальное значение (модуль) заряда и напряжения на конденсаторе, силы тока в контуре называется амплитудой (A) заряда, напряжения или силы тока соответственно.

Группа	I	II	III
Выполнение, %	40,88	80,51	98,60

Задание А8

По параллельным прямолинейным участкам двухколейной железной дороги навстречу друг другу равномерно движутся два поезда: пассажирский и товарный. Поезда проходят мимо друг друга в течение промежутка времени $\Delta t = 20$ с. *Модуль скорости пассажирского поезда* $v_1 = 90\frac{\text{км}}{\text{ч}}$, *а его длина* $l_1 = 140$ м. *Если длина товарного поезда* $l_2 = 560$ м, *то модуль его скорости* v_2 *равен*

1) $30\ \frac{\text{км}}{\text{ч}}$ **2)** $\mathbf{36\ \frac{\text{км}}{\text{ч}}}$ 3) $42\ \frac{\text{км}}{\text{ч}}$ 4) $54\ \frac{\text{км}}{\text{ч}}$ 5) $72\ \frac{\text{км}}{\text{ч}}$

Данное задание предназначено для оценки умения решать стандартные задачи на применение закона сложения скоростей ([3], § 9).

! При выполнении задания необходимо помнить:

- кинематические характеристики механического движения зависят от выбора системы отсчета;
- для пересчета их значений при переходе от одной системы отсчета к другой используется закон сложения скоростей;
- согласно закону сложения скоростей скорость тела $\vec{v}$ относительно неподвижной системы отсчета равна геометрической сумме скорости тела $\vec{v}_1$ относительно подвижной системы отсчета и скорости $\vec{v}_2$ подвижной системы относительно неподвижной $\left(\vec{v} = \vec{v}_1 + \vec{v}_2\right)$.

Дано:	Решение:
$\Delta t = 20$ с $v_1 = 25\,\frac{\text{м}}{\text{с}}$ $l_1 = 140$ м $l_2 = 560$ м ——— $\vec{v}_2$ — ?	неподвижную систему отсчета свяжем с поверхностью Земли, подвижную — с пассажирским поездом, за положительное направление оси Ox выберем направление движения пассажирского поезда. Закон сложения скоростей для нашего случая будет иметь вид $\vec{v}_2 = \vec{v}_0 + \vec{v}_1$ или в скалярном виде $v_0 = v_1 + v_2$, где $v_0 = \frac{l_1 + l_2}{\Delta t}$.

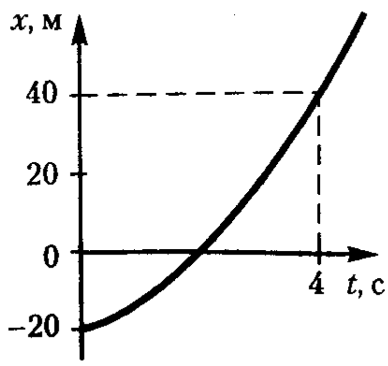
Приравняв правые части этих двух выражений, определим модуль скорости товарного поезда: $v_2 = \frac{l_1 + l_2}{\Delta t} - v_1$.

Численно: $v_2 = \frac{140 + 560}{20} - 25 = 10\left(\frac{\text{м}}{\text{с}}\right) = 36\left(\frac{\text{км}}{\text{ч}}\right)$.

Группа	I	II	III
Выполнение, %	29,58	85,85	99,77

Задание А9

График зависимости координаты x материальной точки, которая движется равноускоренно вдоль оси Ox, от времени t приведен на рисунке. Если в момент начала отсчета времени модуль скорости точки $v_0 = 4{,}0\,\frac{\text{м}}{\text{с}}$, *то модуль ее ускорения a равен*



1) $0{,}5\ \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ 2) $3\ \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ 3) $5\ \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ **4) $5{,}5\ \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$** 5) $7{,}5\ \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$

Данное задание предназначено для оценки умения применять кинематические законы равноускоренного прямолинейного движения при решении задач с использованием информации, представленной в различной форме ([3], §13).

При выполнении задания необходимо помнить:

- из кинематического закона равноускоренного прямолинейного движения в векторной форме $\vec{r} = \vec{r}_0 + \vec{v}_0\Delta t + \frac{\vec{a}\Delta t^2}{2}$, или в координатной (скалярной) $x = x_0 + v_{0x}\Delta t + \frac{a_x\Delta t^2}{2}$ следует, что координата является функцией времени в квадрате. График зависимости координаты от времени представляет собой параболу (или ее ветвь, как частный случай). Причем, если $a_x > 0$, то ветви параболы направлены вверх, если $a_x < 0$ — вниз.

Дано:	Решение:
$v_0 = 4{,}0\,\frac{\text{м}}{\text{с}}$	из анализа графика следует, что проекция на ось Ox ускорения материальной точки $a_x > 0$, ее начальная координата $x_0 = -20$ м, а координата через промежуток времени $\Delta t = 4{,}0$ с составляет $x = 40$ м.
a — ?	

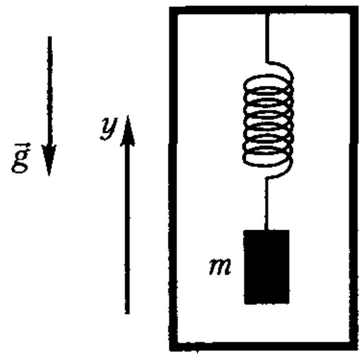
Подставив значения координат и промежутка времени в кинематический закон (в координатной форме) прямолинейного равноускоренного движения данной точки, получим, что проекция ускорения $a_x = 5{,}5\,\frac{\text{м}}{\text{с}^2}$.

Поскольку $a_x > 0$, то модуль ускорения $a = a_x = 5{,}5\,\frac{\text{м}}{\text{с}^2}$.

Группа	I	II	III
Выполнение, %	18,84	69,02	97,56

Задание A10

К потолку лифта, движущегося равноускоренно, на невесомой пружине ($k = 440\,\frac{\text{Н}}{\text{м}}$) *подвешен груз массой* $m = 1{,}2$ кг, *покоящийся относительно кабины лифта (см. рис.). Если во время движения длина пружины на* $\Delta l = 3{,}0$ см *больше ее длины в недеформированном состоянии, то проекция ускорения* a_y *лифта на ось Oy равна*



1) $2{,}5\ \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ 2) $2{,}0\ \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ 3) $1{,}5\ \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ **4)** $\mathbf{1{,}0\ \frac{м}{с^2}}$ 5) $0{,}5\ \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$

Данное задание предназначено для оценки умения применять законы Ньютона и законы для частных сил при решении динамической части основной задачи механики в ситуации, содержащей некоторые элементы новизны ([3], § 22, 25, 26).

При выполнении задания необходимо помнить:

1) тестовые задания по данной теме представляют собой стандартные задачи на применение II закона Ньютона для расчета кинематических и динамических характеристик при движении тела под действием нескольких сил. При их выполнении следует:
   - выбрать систему отсчета (тело отсчета, систему координат и часы) и ввести ее идеальную модель: инерциальную систему отсчета. Система координат может быть выбрана произвольно. Однако целесообразно одну из осей выбирать так, чтобы ее направление совпадало с направлением ускорения;
   - выяснить, с какими телами (полями) взаимодействует движущееся тело, ввести соответствующие этим взаимодействиям силы и обозначить изображающие их векторы на схематическом рисунке (строго говоря, на схематическом рисунке показывают не сами силы, а векторы, являющиеся их изображением);
   - записать аналитическое выражение II закона Ньютона в векторной форме;

• спроецировать векторные величины на оси координат и перейти к скалярной форме записи II закона Ньютона;

2) поскольку в качестве модели тела в механике рассматривается материальная точка, то на схематических рисунках можно все внешние силы, действующие на тело, прилагать к одной точке. Это облегчает проведение математических операций.

Дано:

$k = 440\,\frac{\text{Н}}{\text{м}}$

$m = 1{,}2$ кг

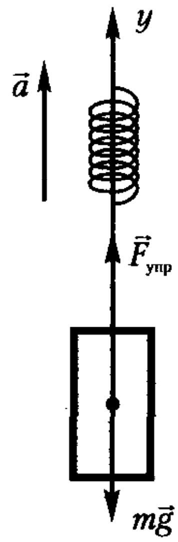
$\Delta l = 3{,}0 \cdot 10^{-2}$ м

a_y — ?

Решение:

из анализа условия задания и приведенных ответов следует, что проекция ускорения лифта на ось Oy положительная $\left(a_y > 0\right)$.

Так как груз по отношению к лифту покоится, то $\vec{a}_{\text{лифта}} = \vec{a}_{\text{груза}}$.



Аналитическое выражение II закона Ньютона в векторном виде:

$$\vec{F}_{\text{упр}} + m\vec{g} = m\vec{a},$$

в проекции на ось координат: $F_{\text{упр}} - mg = ma_y$ (см. рис.).

Модуль силы упругости, согласно закону Гука, $F_{\text{упр}} = k\Delta l$.

Искомая величина: $a_y = \dfrac{k\Delta l - mg}{m}$.

Численно: $a_y = \dfrac{440 \cdot 3{,}0 \cdot 10^{-2} - 1{,}2 \cdot 10}{1{,}2} = 1{,}0\left(\dfrac{\text{м}}{\text{с}^2}\right)$.

Группа	I	II	III
Выполнение, %	23,20	81,66	98,73

Задание A11

Ксенон ($M = 131\,\frac{\text{г}}{\text{моль}}$) *находится в баллоне при температуре* $T = 350$ К. *Среднеквадратичная скорость* $\langle v_{\text{кв}} \rangle$ *движения молекул газа равна*

1) $238\,\frac{\text{м}}{\text{с}}$ **2)** $\mathbf{258\,\frac{м}{с}}$ 3) $278\,\frac{\text{м}}{\text{с}}$ 4) $318\,\frac{\text{м}}{\text{с}}$ 5) $398\,\frac{\text{м}}{\text{с}}$

Данное задание предназначено для оценки умения применять основное уравнение МКТ идеального газа и формулу для нахождения среднеквадратичной скорости поступательного движения его молекул при решении конкретных задач ([5], § 36, 37).

При выполнении задания необходимо помнить:

- среднеквадратичную скорость движения молекул идеального газа можно определить по формуле: $\langle v_{кв} \rangle = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}}$, где k — постоянная Больцмана, $m_0 = \frac{M}{N_A}$ — масса одной молекулы, N_A — постоянная Авогадро; или по формуле $\langle v_{кв} \rangle = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$, где R — универсальная газовая постоянная, M — молярная масса газа;
- основное уравнение МКТ идеального газа имеет вид: $p = \frac{1}{3} nm \langle v^2 \rangle$ или $p = \frac{2}{3} n \langle E_к \rangle$, где $\langle E_к \rangle$ — средняя кинетическая энергия поступательного движения отдельной молекулы.

Дано:

$M = 131 \cdot 10^{-3}\ \frac{кг}{моль}$

$T = 350\ К$

$\langle v_{кв} \rangle$ — ?

$k = 1{,}38 \cdot 10^{-23}\ \frac{Дж}{К}$

$N_А = 6{,}02 \cdot 10^{23}\ моль^{-1}$

Решение:

среднеквадратичная скорость движения молекул идеального газа:

$$\langle v_{кв} \rangle = \sqrt{\frac{3kN_AT}{M}}.$$

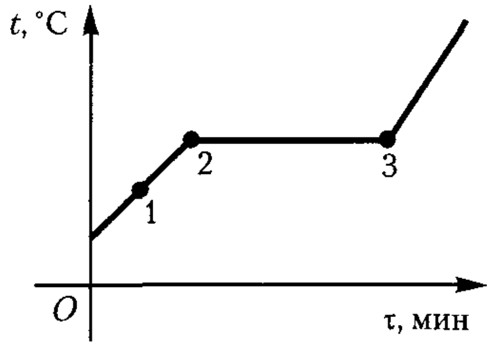
Численно:

$$\langle v_{кв} \rangle = \sqrt{\frac{3 \cdot 1{,}38 \cdot 10^{-23} \cdot 6{,}02 \cdot 10^{23} \cdot 350}{131 \cdot 10^{-3}}} = 258 \left(\frac{м}{с}\right).$$

Группа	I	II	III
Выполнение, %	18,95	75,89	99,54

Задание А12

Чайник с водой поставили на газовую горелку в момент времени $\tau = 0$ мин. *Зависимость температуры* t *вещества в чайнике от времени* τ *изображена на рисунке. Средние значения кинетических энергий молекулы воды в чайнике в состояниях* 1, 2 *и* 3 *связаны соотношением*



1) $\langle E_{к1}\rangle < \langle E_{к2}\rangle < \langle E_{к3}\rangle$
2) $\boldsymbol{\langle E_{к1}\rangle < \langle E_{к2}\rangle = \langle E_{к3}\rangle}$
3) $\langle E_{к1}\rangle > \langle E_{к2}\rangle = \langle E_{к3}\rangle$
4) $\langle E_{к1}\rangle = \langle E_{к2}\rangle > \langle E_{к3}\rangle$
5) $\langle E_{к1}\rangle > \langle E_{к2}\rangle > \langle E_{к3}\rangle$

Данное задание предназначено для оценки умения исследовать качественную сторону и выделять существенные признаки явления ([2], § 3, 10, 12, 13).

! При выполнении задания необходимо помнить:

- изменение внутренней энергии тела при его нагревании или охлаждении связано с изменением как потенциальной энергии взаимодействия частиц вещества, так и их средней кинетической энергии;
- температура является мерой средней кинетической энергии поступательного движения молекул вещества;
- при переходе вещества из одного агрегатного состояния в другое (плавление (кристаллизация) при температуре плавления и парообразование (конденсация) при температуре кипения) температура вещества не изменяется. Поэтому изменение внутренней энергии в этих процессах связано только с изменением потенциальной энергии взаимодействия частиц вещества.

Решение

Из анализа условия и приведенного графика видно, что $T_1 < T_2 = T_3$, следовательно $\langle E_{к1}\rangle < \langle E_{к2}\rangle = \langle E_{к3}\rangle$.

Группа	I	II	III
Выполнение, %	47,60	76,69	88,26

Задание А13

В баллоне вместимостью $V = 500$ л *под давлением* $p_1 = 254$ кПа *находится кислород* ($M = 32{,}0\ \frac{\text{г}}{\text{моль}}$). *После того как в баллон добавили* $\Delta m = 400$ г *кислорода, давление газа увеличилось на* $\Delta p = 75{,}0$ кПа. *Если конечная температура кислорода в баллоне* $T_2 = 302$ К, *то начальная температура* T_1 *газа в нем была равна*

1) 243 К 2) 252 К 3) 278 К **4) 288 К** 5) 300 К

Данное задание предназначено для оценки умения решать стандартные задачи на применение уравнения состояния идеального газа (уравнения Клапейрона—Менделеева) к реальным газам ([5], § 22).

При выполнении задания необходимо помнить:

- одной из основных задач МКТ является выявление количественных соотношений между макроскопическими и микроскопическими параметрами физической системы. Самой простой физической системой в молекулярной физике является газ, находящийся в сосуде в состоянии теплового равновесия. Моделью этого газа в МКТ является идеальный газ;
- состояние идеального газа полностью описывается уравнением Клапейрона–Менделеева $\left(pV = \frac{m}{M}RT\right)$, где p — давление, V — объем, T — абсолютная температура газа, $\frac{m}{M} = \nu$ — количество вещества;
- реальные газы удовлетворяют уравнению состояния идеального газа при не слишком высоких давлениях (пока собственный объем молекул бесконечно мал по сравнению с объемом сосуда, в котором находится газ) и при не слишком низких температурах (пока потенциальная энергия межмолекулярного взаимодействия пренебрежительно мала по сравнению с кинетической энергией теплового движения молекул).

Дано:	Решение:
$V = 500\cdot 10^{-3}$ м^3 $p_1 = 254\cdot 10^3$ Па $M = 32\cdot 10^{-3}\ \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$ $\Delta m = 0{,}4$ кг $\Delta p = 75{,}0\cdot 10^3$ Па $T_2 = 302$ К T_1 — ? $R = 8{,}3\frac{\text{Дж}}{\text{моль}\cdot\text{К}}$	применим уравнение Клапейрона — Менделеева к состоянию кислорода в первом и во втором случаях: $p_1V_1 = \frac{m_1}{M}RT_1$ — начальное состояние кислорода, $(p_1+\Delta p)V_2 = \frac{m_1+\Delta m}{M}RT_2$ — конечное состояние кислорода. Решив совместно эти два уравнения, с учетом того, что $V_1 = V_2 = V$, определим начальную температуру газа:

$$T_1 = \frac{p_1VM}{Rm_1},\ \text{где}\ m_1 = \frac{(p_1+\Delta p)VM}{RT_2} - \Delta m.$$

Численно:

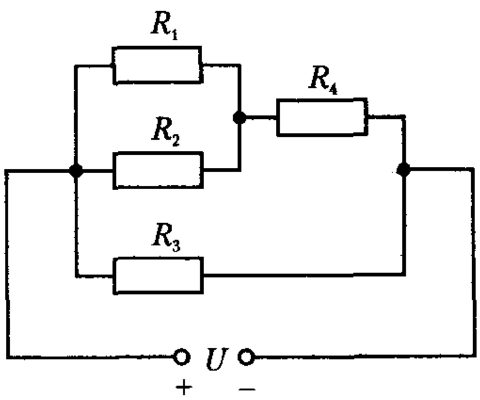
$$m_1 = \frac{\left(254\cdot 10^3 + 75{,}0\cdot 10^3\right)\cdot 500\cdot 10^{-3}\cdot 32\cdot 10^{-3}}{8{,}3\cdot 302} - 0{,}4 = 1{,}7\,(\text{кг}),$$

$$T_1 = \frac{254\cdot 10^3\cdot 500\cdot 10^{-3}\cdot 32\cdot 10^{-3}}{8{,}3\cdot 1{,}7} = 288\,(\text{К}).$$

Группа	I	II	III
Выполнение, %	24,35	73,49	99,07

Задание А14

В электрической цепи, схема которой приведена на рисунке, сопротивления резисторов $R_1 = 300$ Ом, $R_2 = 600$ Ом, $R_3 = 300$ Ом *и* $R_4 = 400$ Ом. *Если сила тока в резисторе* R_3 *составляет* $I_3 = 60$ мА, *то напряжение* U_4 *на резисторе* R_4 *равно*



1) 3 В **3) 12 В** 5) 54 В
2) 6 В 4) 27 В

Данное задание предназначено для оценки умения рассчитывать физические характеристики простейших электрических цепей с использованием закона Ома для однородного участка цепи и закономерностей последовательного и параллельного соединения проводников ([4], § 14, 15).

При выполнении задания необходимо помнить:

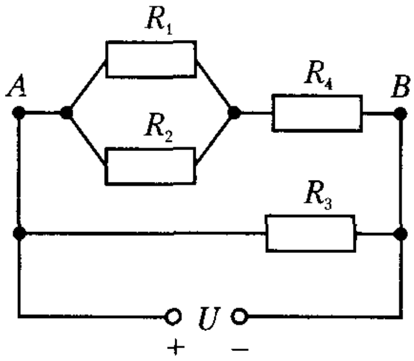
- законы последовательного и параллельного соединения потребителей (резисторов) имеют вид:

Последовательное соединение	Параллельное соединение
$I_о = I_1 = I_2 = ... = I_n$	$U_о = U_1 = U_2 = ... = U_n$
$U_о = U_1 + U_2 + ... + U_n$	$I_о = I_1 + I_2 + ... + I_n$
$R_о = R_1 + R_2 + ... + R_n$	$\frac{1}{R_о} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + ... + \frac{1}{R_n}$

где $I_о$ — общая сила тока на участке цепи, $U_о$ — общее напряжение участка цепи, $R_о$ — общее сопротивление участка цепи;

- непосредственное применение приведенных выше законов и формул возможно только в случае простейших цепей постоянного тока;
- если в задании используется схема цепи, состоящая из источника тока и нескольких соединенных между собой различных резисторов, то целесообразно последовательно преобразовать ее в эквивалентную схему, состоящую из источника тока и одного резистора;
- в процессе преобразования схемы электрической цепи целесообразно на каждом этапе рассчитать эквивалентное сопротивление (если известны сопротивления различных резисторов, то численно, а если нет — в общем виде);
- дальнейшее решение задачи сводится к расчету характеристик исходной схемы, который осуществляется в обратном направлении;
- закон Ома для участка цепи имеет вид: $I = \frac{U}{R}$, где I — сила тока в однородном металлическом проводнике (резисторе), U — напряжение между концами проводника, $R = \rho\frac{l}{S}$ — сопротивление проводника.

Дано:	Решение:
$R_1 = 300$ Ом $R_2 = 600$ Ом $R_3 = 300$ Ом $R_4 = 400$ Ом $I_3 = 60 \cdot 10^{-3}$ А	для удобства расчетов преобразуем схему, приведенную в условии задания. Рассчитаем эквивалентные сопротивления.
U_4 — ?	



$$\frac{1}{R_{1,2}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}, \quad R_{1,2} = 200\,\text{Ом}.$$

$$R_{AB} = R_{1,2} + R_4, \quad R_{AB} = 600\,\text{Ом}.$$

Напряжение на участке цепи AB: $U_{AB} = U_3 = I_3 \cdot R_3$, $U_{AB} = 18$ В.

Сила тока на участке AB: $I_{AB} = \dfrac{U_{AB}}{R_{AB}}$, $I_{AB} = 3 \cdot 10^{-2}$ А.

Искомое напряжение $U_4 = I_{AB} \cdot R_4 = 12$ В.

Группа	I	II	III
Выполнение, %	26,49	71,44	98,73

Задание А15

Протон движется в однородном магнитном поле по окружности, радиус которой $R = 10$ мм. *Если модуль скорости протона* $v = 160\ \frac{\text{км}}{\text{с}}$, *то модуль магнитной индукции B равен*

1) 0,27 Тл **2) 0,17 Тл** 3) 0,12 Тл 4) 0,085 Тл 5) 0,054 Тл

Данное задание предназначено для оценки умения решать основную задачу механики кинематико-динамическим методом с учетом силы Лоренца. ([3] § 16, [4] § 27).

При выполнении задания необходимо помнить:

- если пренебречь взаимодействием свободной заряженной частицы с гравитационным, электрическим и магнитным полями Земли, а также ее собственными электрическим и магнитным полями, то остается взаимодействие только с внешним магнитным полем. Это взаимодействие может быть описано силой Лоренца ($F_Л = Bqv\sin\alpha$);

- под действием силы Лоренца свободные заряженные частицы движутся в магнитном поле по криволинейным траекториям, вид которых определяется углом между скоростью частицы и индукцией магнитного поля. Так, например, если $\alpha = 90°$, то траектория — окружность;
- движение тела по окружности с постоянной по модулю линейной скоростью характеризуется центростремительным (нормальным) ускорением ($a_n = \frac{v^2}{R}$).

Дано:

$R = 10 \cdot 10^{-3}$ м

$v = 160 \cdot 10^3 \frac{\text{м}}{\text{с}}$

B — ?

$m_p = 1{,}7 \cdot 10^{-27}$ кг

$q_p = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл

Решение:

по II закону Ньютона $\vec{F}_Л = m\vec{a}_n$ или $Bqv\sin\alpha = ma_n$.

С учетом того, что $a_n = \frac{v^2}{R}$ и $\alpha = 90°$ (траекторией движения частицы является окружность), получим: $Bqv = \frac{mv^2}{R}$.

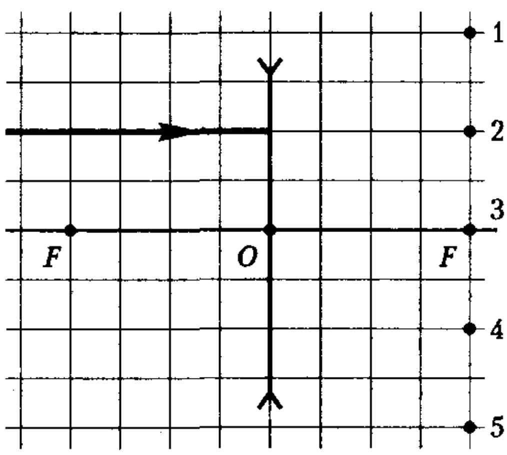
Окончательно: $B = \frac{mv}{Rq}$.

Численно: $B = \frac{1{,}7 \cdot 10^{-27} \cdot 160 \cdot 10^3}{10 \cdot 10^{-3} \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19}} = 0{,}17\,(\text{Тл})$.

Группа	**I**	**II**	**III**
Выполнение, %	17,80	71,86	100,00

Задание А16

На рисунке изображен луч света, падающий на тонкую линзу. После преломления в линзе этот луч пройдет через точку, обозначенную цифрой

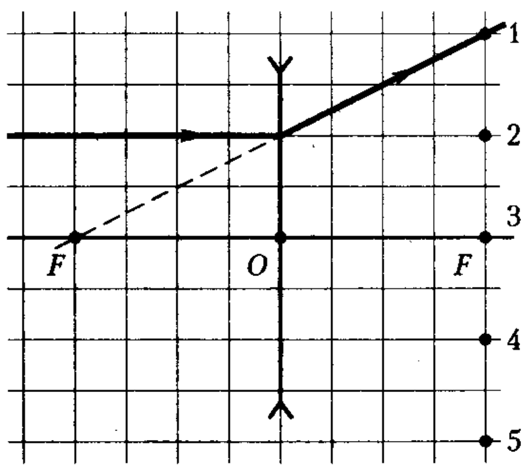


1) 1 3) 3 5) 5
2) 2 4) 4

Данное задание предназначено для оценки качества усвоения понятийного аппарата темы «Геометрическая оптика», умения работать с различного рода физической информацией ([4], § 58).

При выполнении задания необходимо помнить:

1) каждая тонкая линза (далее просто линза) имеет два главных фокуса, так как она может преломлять световые пучки, падающие на нее с двух сторон. Фокус линзы, расположенный со стороны лучей света, падающих на нее, называется передним, а фокус со стороны преломленных в линзе лучей — задним;
2) если линза расположена в оптически однородной среде, то оба главных фокуса линзы находятся на одинаковом расстоянии от ее оптического центра;
3) линза, преобразующая падающий на нее параллельный пучок в сходящийся, называется собирающей;
4) линза, преобразующая падающий на нее параллельный пучок в расходящийся, называется рассеивающей;
5) для построений в линзах используют три характерных (стандартных) луча:
   - луч, идущий через оптический центр линзы, не испытывает преломления;
   - луч, параллельный главной оптической оси, после преломления в собирающей линзе проходит через задний фокус линзы; после преломления в рассеивающей линзе этот луч идет так, что его продолжение проходит через передний фокус;
   - луч, проходящий через передний фокус собирающей линзы или в направлении на задний фокус рассеивающей линзы, после преломления в линзе идет параллельно главной оптической оси линзы.



Решение

Так как линза рассеивающая, то луч, параллельный главной оптической оси, после преломления идет через точку, обозначенную цифрой 1 (продолжение луча проходит через передний фокус).

Группа	I	II	III
Выполнение, %	29,19	70,43	93,95

Задание А17

Если красной границе фотоэффекта для некоторого металла соответствует длина волны электромагнитного излучения $\lambda_к = 530$ нм, *то работа выхода* $A_{вых}$ *электрона из этого металла равна*

1) $3{,}2 \cdot 10^{-19}$ Дж
2) **$3{,}7 \cdot 10^{-19}$ Дж**
3) $4{,}0 \cdot 10^{-19}$ Дж
4) $4{,}3 \cdot 10^{-19}$ Дж
5) $8{,}0 \cdot 10^{-19}$ Дж

Данное задание предназначено для оценки умения применять уравнение Эйнштейна для внешнего фотоэффекта и законы внешнего фотоэффекта в стандартной ситуации ([5] § 2, 3).

! При выполнении задания необходимо помнить:

- фотон — это элементарная частица, энергия которой $E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$;
- согласно первому закону фотоэффекта максимальное число фотоэлектронов, вырываемых из катода за единицу времени (фототок насыщения), прямо пропорционально интенсивности падающего света;
- согласно второму закону фотоэффекта максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов пропорциональна частоте света и не зависит от его интенсивности;
- согласно третьему закону фотоэффекта для каждого вещества существует красная граница фотоэффекта, т. е. минимальная частота ν_{min}, при которой еще возможен внешний фотоэффект;
- уравнение Эйнштейна для внешнего фотоэффекта имеет вид: $E = A_{вых} + E_{к\,max}$, где $A_{вых} = h\nu_{min}$ — работа выхода, $E_{к\,max} = \frac{mv_{max}^2}{2} = eU_з$ — максимальная кинетическая энергия фотоэлектрона.

Дано:	Решение:
$\lambda_к = 530 \cdot 10^{-9}$ м	работа выхода электрона для некоторого металла $A_{вых} = h\nu_{min} = \dfrac{hc}{\lambda_к}$.
$A_{вых}$–?	
$c = 3{,}0 \cdot 10^8 \ \dfrac{м}{с}$	Численно:

$$A_{вых} = \frac{3{,}0 \cdot 10^8 \cdot 6{,}62 \cdot 10^{-34}}{530 \cdot 10^{-9}} = 0{,}037 \cdot 10^{-17} = 3{,}7 \cdot 10^{-19} \text{ (Дж)}.$$

Группа	**I**	**II**	**III**
Выполнение, %	30,73	86,41	99,20

Задание А18

Если ядро радиоактивного изотопа тория $^{230}_{90}\mathrm{Th}$ *испытывает четыре* α*-распада и один* β^-*-распад, то в результате образуется ядро изотопа*

1) $^{218}_{85}\mathrm{At}$ **2)** $\mathbf{^{214}_{83}Bi}$ 3) $^{218}_{86}\mathrm{Rn}$ 4) $^{214}_{84}\mathrm{Po}$ 5) $^{210}_{81}\mathrm{Tl}$

Данное задание предназначено для оценки умения применять законы сохранения электрического заряда и массового числа для исследования закономерностей радиоактивного распада при решении задач ([5], § 61).

! При выполнении задания необходимо помнить:

- ядерные реакции и процессы радиоактивного распада сопровождаются превращением ядер одних элементов периодической системы химических элементов Д. И. Менделеева в другие. При этом выполняются законы сохранения зарядового и массового чисел;
- α-распад сопровождается испусканием ядер гелия $\left(^4_2\mathrm{He}\right)$;
- β^--распад сопровождается испусканием электронов $\left(^{0}_{-1}e\right)$.

Решение

$$^{230}_{90}\mathrm{Th} \to 4\ ^4_2\mathrm{He} + {}^{0}_{-1}e + {}^{A}_{Z}\mathrm{X}.$$

$$\begin{cases} 230 = 4 \cdot 4 + 0 + A \text{ (по закону сохранения массового числа)} \\ 90 = 4 \cdot 2 + (-1) + Z \text{ (по закону сохранения зарядового числа),} \end{cases}$$

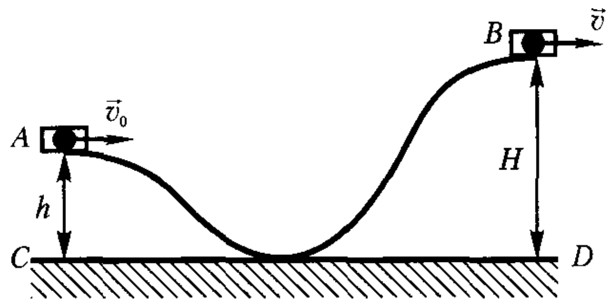
следовательно, $A = 214$, $Z = 83$.

Искомый элемент ${}^{214}_{83}Bi$.

Группа	I	II	III
Выполнение, %	24,21	81,17	98,60

Часть В

Задание В1



Точки A и B криволинейной шероховатой поверхности находятся на высотах h и H относительно горизонтальной поверхности CD (см. рис.). При движении бруска массой $m = 800$ г *из точки A в точку B по этой поверхности сила трения совершила работу* $A_{тр} = -4{,}0$ Дж, *а модуль скорости бруска изменился от* $v_0 = 5{,}5\,\frac{м}{с}$ *до* $v = 1{,}5\,\frac{м}{с}$. *Если высота* $H = 1{,}1$ м, *то высота h равна ...* **см.**

Ответ: **20**.

Данное задание предназначено для оценки
умения применять теорему о кинетической энергии для нахождения работы конкретных сил ([3], § 38, 39, 42).

При выполнении задания необходимо помнить:

- если тела, входящие в физическую систему, движутся и, кроме того, взаимодействуют друг с другом, то система обладает одновременно и кинетической $\left(E_к = \frac{mv^2}{2}\right)$ и потенциальной $(E_п = mgh)$ энергией;
- согласно теореме о кинетической энергии работа равнодействующей всех внешних сил, действующих на тело, в качестве идеальной модели которого можно принять материальную точку, равна изменению кинетической энергии этого тела, которое произошло за время действия этих сил;

- работа силы тяжести не зависит от формы траектории, а определяется начальным и конечным положениями тела, поэтому сила тяжести — потенциальная сила;
- работа силы тяжести равна изменению потенциальной энергии, взятой с противоположным знаком ($A_{тяж} = -mg\Delta h$);
- работа силы трения зависит от формы траектории движения тела, поэтому сила трения — непотенциальная сила.

Дано:

$m = 800 \cdot 10^{-3}$ кг

$A_{тр} = -4{,}0$ Дж

$v_0 = 5{,}5\ \dfrac{м}{с}$

$v = 1{,}5\ \dfrac{м}{с}$

$H = 1{,}1$ м

h — ?

Решение:

в нашем случае внешними силами являются сила тяжести, сила трения скольжения и сила нормальной реакции опоры, обусловленные взаимодействием бруска с гравитационным полем Земли и поверхностью. Согласно теореме о кинетической энергии тела:

$$\Delta E_к = A_{тяж} + A_{тр} + A_N,$$

где $A_{тяж} = -mg(H - h)$ — работа силы тяжести,

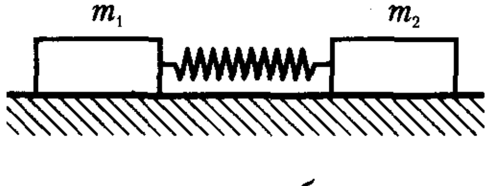
$\Delta E_к = \dfrac{mv^2}{2} - \dfrac{mv_0^2}{2}$ — изменение кинетической энергии бруска.

Таким образом: $\dfrac{mv^2}{2} - \dfrac{mv_0^2}{2} = -mg(H - h) + A_{тр}$.

Подставив числовые значения, получим $h = 0{,}2$ м $= 20$ см.

Группа	I	II	III
Выполнение, %	0,59	17,82	84,44

Задание В2



Два бруска массами $m_1 = 345$ г *и* $m_2 = 500$ г, *прикрепленные к концам невесомой пружины, удерживают на гладкой горизонтальной поверхности так, что пружина сжата, причем ее абсолютное удлинение* $|\Delta l_1|$. *Сначала отпускают только брусок массой* m_1, *а в тот момент, когда пружина не деформирована, отпуска-*

ют второй брусок. Если максимальное значение абсолютного удлинения пружины в процессе дальнейшего движения брусков $\Delta l_2 = 10$ см, *то* $|\Delta l_1|$ *было равно* **... см.**

Ответ: **13**.

Данное задание предназначено для оценки умения применять законы сохранения импульса и механической энергии в новой ситуации ([3], § 34, 35, 40, 42).

! При выполнении задания необходимо помнить:

- согласно закону сохранения импульса геометрическая сумма импульсов тел, входящих в замкнутую систему, остается неизменной при любых движениях и взаимодействиях тел системы $\left(\vec{p} = \sum_{i=1}^{n} \vec{p}_i\right)$;
- согласно закону сохранения полной механической энергии энергия замкнутой физической системы при наличии только консервативных сил сохраняется ($E = \text{const}$);
- полная механическая энергия физической системы представляет собой сумму кинетических энергий всех тел системы и потенциальной энергии их парного взаимодействия $\left(E = \sum_{i=1}^{n} E_{\text{к}(i)} + \sum_{i=1}^{n} E_{\text{п}(i)}\right)$;
- кинетическая энергия тела определяется по формуле $\left(E_\text{к} = \dfrac{mv^2}{2}\right)$;
- потенциальная энергия упруго деформированного тела (пружины) определяется по формуле $\left(E_\text{п} = \dfrac{k(\Delta l)^2}{2}\right)$.

Дано:	Решение:
$m_1 = 345 \cdot 10^{-3}$ кг $m_2 = 500 \cdot 10^{-3}$ кг $\Delta l_2 = 10 \cdot 10^{-2}$ м	внешние воздействия на физическую систему, состоящую из двух брусков и пружины, скомпенсированы. Поэтому она является замкнутой.
$\lvert\Delta l_1\rvert$ — ?	Следовательно, для определения $\lvert\Delta l_1\rvert$ целе-

сообразно использовать законы сохранения, согласно которым механическая энергия системы и ее полный импульс сохраняются.

Выберем:

1) начальное состояние системы в момент, когда отпустили брусок массой m_1;
2) промежуточное состояние — в момент времени, когда пружина не деформирована, брусок массой m_2 неподвижен, а модуль скорости бруска массой m_1 составляет v_1;
3) конечное состояние — в момент времени, когда абсолютное удлинение Δl_2 пружины максимально. В этом состоянии система движется по поверхности как одно целое, и скорости обоих брусков одинаковые: $\vec{v_1'} = \vec{v_2'} = \vec{v}$.

Согласно закону сохранения энергии для состояний 1 и 2 выполняется равенство

$$\frac{k|\Delta l_1|^2}{2} = \frac{m_1 v_1^2}{2}, \qquad (1)$$

а для состояний 2 и 3 – равенство

$$\frac{m_1 v^2}{2} + \frac{m_2 v^2}{2} + \frac{k|\Delta l_2|^2}{2} = \frac{k|\Delta l_1|^2}{2} \qquad (2)$$

и

$$m_1 v_1 = m_1 v + m_2 v. \qquad (3)$$

Решая совместно уравнения 1, 2, 3 относительно $|\Delta l_1|$ получим:

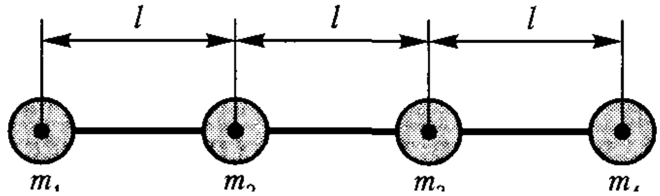
$$|\Delta l_1| = \Delta l_2 \cdot \sqrt{\frac{m_1 + m_2}{m_2}}.$$

Численно: $|\Delta l_1| = 0{,}13$ м = 13 см.

Группа	I	II	III
Выполнение, %	1,02	2,89	45,68

Задание В3

Четыре однородных шара, массы которых $m_1 = 1{,}0$ кг, $m_2 = 5{,}0$ кг, $m_3 = 7{,}0$ кг *и* $m_4 = 3{,}0$ кг, *закреплены на невесомом жестком стержне так, что расстояния между их центрами* $l = 20$ см (*см. рис.*). *Расстояние* d *между центром масс этой системы и центром шара массой* m_1 *равно* ... **см.**



Данное задание предназначено для оценки умения применять условия равновесия тела (физической системы) под действием внешних сил для решения стандартных задач ([3], § 44, 45).

! При выполнении задания необходимо помнить: задачи по статике в общем случае решаются на основе двух условий равновесия твердого тела под действием сил.

- Геометрическая сумма всех внешних сил, действующих на тело, равна нулю $\left(\sum_{i=1}^{n}\vec{F_i}=\vec{0}\right)$.
- Геометрическая сумма моментов всех действующих на тело сил относительно произвольной точки O равна нулю $\left(\sum_{i=1}^{n}\vec{M_i}=\vec{0}\right)$.

Если все силы лежат в одной плоскости, то векторное уравнение легко преобразуется в скалярное, так как моменты этих сил перпендикулярны плоскости, в которой действуют силы.

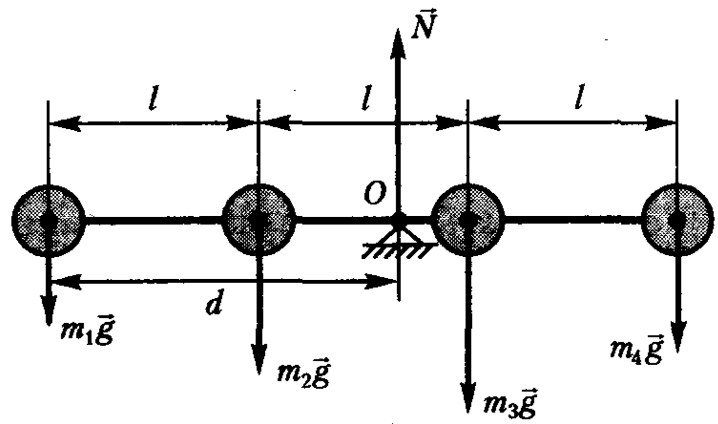
Если силы, действующие на абсолютно твердое тело, способное вращаться вокруг закрепленной оси, лежат в одной плоскости, то оно будет находиться в равновесии при условии, что алгебраическая сумма моментов этих сил относительно любой точки, лежащей в плоскости вращения, равна нулю. Обычно в качестве этой точки выбирают точку на оси вращения.

Дано:

$m_1 = 1{,}0$ кг
$m_2 = 5{,}0$ кг
$m_3 = 7{,}0$ кг
$m_4 = 3{,}0$ кг
$l = 20 \cdot 10^{-2}$ м

d — ?

Решение:



Предположим, что центр тяжести (центр масс) системы находится в точке O (см. рис.). Следовательно, система должна находиться в равновесии относительно этой точки, если

$$M_O(m_1\vec{g}) + M_O(m_2\vec{g}) + M_O(m_3\vec{g}) + M_O(m_4\vec{g}) + M_O(\vec{N}) = \vec{0}$$

или

$$m_1 d + m_2 \cdot (d - l) = m_3 \cdot (2l - d) + m_4 \cdot (3l - d).$$

Подставим числовые значения и определим искомую величину: $d = 35$ см.

Группа	I	II	III
Выполнение, %	6,95	66,74	99,77

Задание B4

В U-образной трубке постоянного поперечного сечения находится ртуть ($\rho_0 = 13{,}6\ \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$). *В одно из колен трубки долили слой керосина* ($\rho_1 = 0{,}8\ \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$), *а в другое — слой масла* ($\rho_2 = 0{,}9\ \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$). *Если высота слоя керосина* $h_1 = 19$ см, *а высота слоя масла* $h_2 = 4{,}8$ см, *то в колене трубки с керосином уровень ртути по сравнению с первоначальным понизился на* Δh **… мм.**

Ответ: 4.

Данное задание предназначено для оценки
умения использовать понятия гидростатики и законы сообщающихся сосудов для конкретной ситуации ([1], § 34, 35, 36, 38).

! При выполнении задания необходимо помнить:

1) если внешнее давление на поверхность жидкости в открытых сообщающихся сосудах одинаковое, то в состоянии равновесия
   - однородная жидкость устанавливается на одном уровне;
   - разнородные жидкости устанавливаются так, что их высоты над уровнем раздела, ниже которого жидкость однородна, обратно пропорциональны плотностям жидкостей;
   - давление жидкости на одном горизонтальном уровне, ниже которого жидкость однородна, в обоих коленах одинаковое;

2) согласно условию несжимаемости жидкости объем жидкости, вытесненной из сосуда сечением S_1, равен объему жидкости, прибывшей в сосуд S_2: ($V_1 = V_2$ или $h_1 S_1 = h_2 S_2$), где h_1 и h_2 — высоты вытесненного и прибывшего столбов этих жидкостей.

Дано:

$\rho_0 = 13{,}6 \cdot 10^3 \ \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$

$\rho_1 = 0{,}8 \cdot 10^3 \ \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$

$\rho_2 = 0{,}9 \cdot 10^3 \ \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$

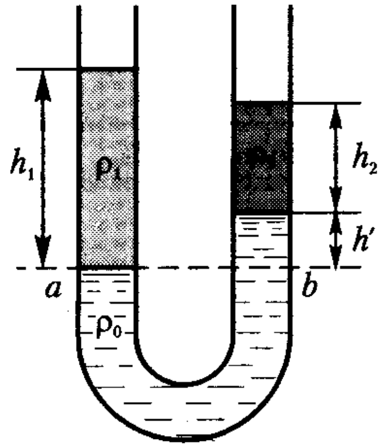
$h_1 = 19 \cdot 10^{-2}$ м

$h_2 = 4{,}8 \cdot 10^{-2}$ м

Δh — ?

Решение:

в состоянии равновесия давление жидкости в обоих коленах на уровне ab (см. рис.) одинаковое:



$$p_a = p_b$$

или

$$\rho_1 g h_1 = \rho_0 g h' + \rho_2 g h_2 = \rho_0 g 2\Delta h + \rho_2 g h_2 .$$

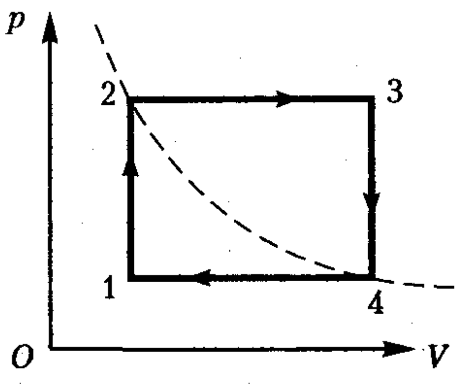
Искомая величина: $\Delta h = \dfrac{\rho_1 h_1 - \rho_2 h_2}{2\rho_0}$.

Численно:

$$\Delta h = \frac{0{,}8 \cdot 10^3 \cdot 19 \cdot 10^{-2} - 0{,}9 \cdot 10^3 \cdot 4{,}8 \cdot 10^{-2}}{2 \cdot 13{,}6 \cdot 10^3} = 0{,}004\,(\text{м}) = 4\,(\text{мм}).$$

Группа	**I**	**II**	**III**
Выполнение, %	2,88	31,52	92,91

Задание В5

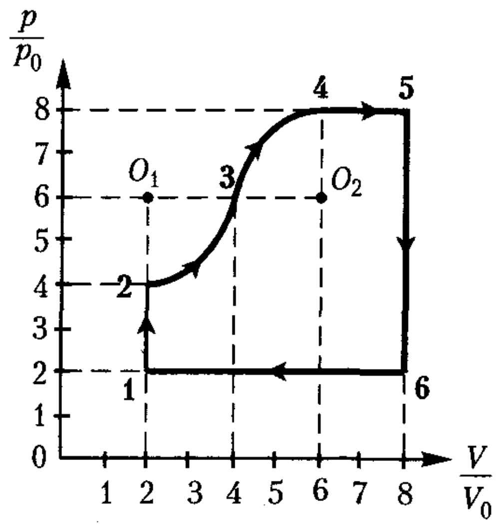


С идеальным газом, количество вещества которого $\nu = 0{,}200$ моль, *совершают замкнутый циклический процесс. Точки* 2 *и* 4 *этого процесса находятся на одной изотерме, участки* 1→2 *и* 3→4 *являются изохорами, а участки* 2→3 *и* 4→1 — *изобарами (см. рис.). Работа газа за цикл* $A = 166$ Дж. *Если в точке* 3 *температура газа* $T_3 = 1024$ К, *то в точке* 1 *его температура* T_1 *равна* **... К.**

Ответ: **484**.

Данное задание предназначено для оценки умения применять первый закон термодинамики к циклическим процессам с использованием графической информации ([5], § 22, 23, 27).

При выполнении задания необходимо помнить: подобные задания часто используются на ЦТ по физике. Проведем поиск и составление плана решения одного из них.



С одним молем идеального одноатомного газа проводят замкнутый циклический процесс. Участки 2→3 *и* 3→4 *этого цикла являются дугами окружностей с центрами в точках* O_1 *и* O_2, *а остальные участки – частями горизонтальных и вертикальных прямых* (*см. рис.*). *Если количество теплоты, сообщаемое газу нагревателем за один цикл,* $Q = 27{,}0$ кДж, *то температура* T *газа в точке* 6 *равна* ... **К.**

Дано:	Решение:
$\nu = 1$ моль $Q = 27{,}0 \cdot 10^3$ Дж	температуру газа в точке 6 можно определить из уравнения Клапейрона–Менделеева: $p_6V_6 = \nu RT_6$.
T_6 – ?	

В соответствии с данными, приведенными на рисунке, $\dfrac{V_6}{V_0} = 8$, $\dfrac{p_6}{p_0} = 2$, следовательно, $V_6 = 8V_0$, $p_6 = 2p_0$.

С учетом этого имеем:

$$T_6 = \frac{16p_0V_0}{\nu R}, \qquad (1)$$

причем произведение (p_0V_0) неизвестно. Таким образом, решение задачи сводится к его нахождению.

Найти произведение (p_0V_0) можно двумя способами:

1) рассчитав работу, совершенную газом за один цикл. На p-V-диаграмме работа численно равна площади фигуры, ограниченной графиком цикла – рис. (a);

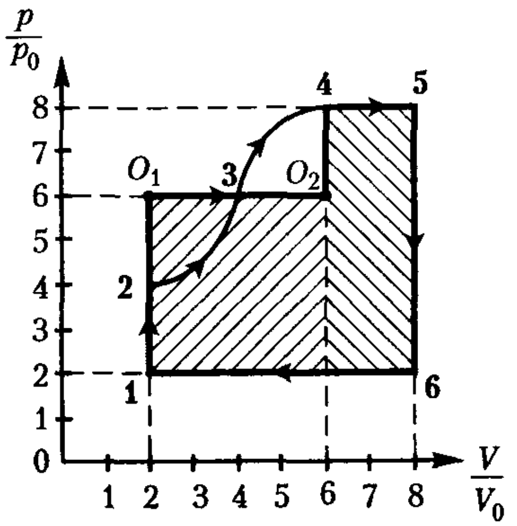


Рис. (*а*)

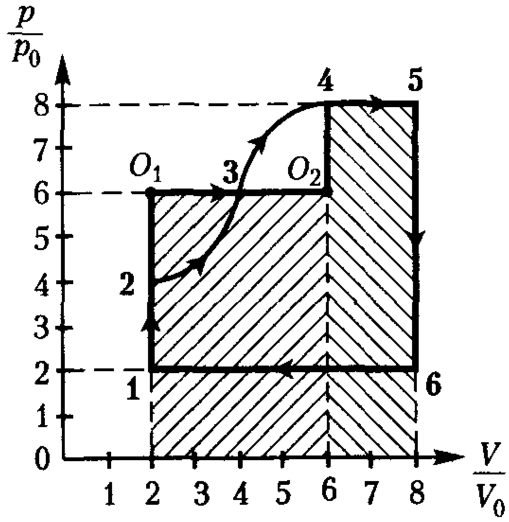


Рис. (*б*)

2) вычислив изменение внутренней энергии и работу газа на участке 1—5. Изменение внутренней энергии на этом участке $\Delta U = U_5 - U_1$. Работа газа на этом участке численно равна площади фигуры под графиком — рис. (*б*).

1-й способ

По условию задачи известно количество теплоты (Q), сообщаемое газу нагревателем за один цикл, которое можно определить как сумму работы (A), совершенной газом за один цикл, и количества теплоты (Q'), переданного окружающей среде за этот цикл:

$$Q = Q' + A \qquad (2)$$

Для подсчета работы газа исходный цикл преобразуем в цикл, изображенный на рисунке (*а*). Работа газа, совершенная за цикл, численно равна площади заштрихованной фигуры:

$$A = 28 p_0 V_0 \qquad (3)$$

(подсчитайте это самостоятельно).

Количество теплоты, переданное в окружающую среду:

$$Q' = Q_{56} + Q_{61}, \qquad (4)$$

где $Q_{56} = \Delta U_{56}$ ($V = \text{const}$), $Q_{61} = \Delta U_{61} + A_{61}$ ($p = \text{const}$).

Так как $\Delta U = \frac{3}{2}\nu R \Delta T = \frac{3}{2}\Delta(pV)$, а при $p = \text{const}$ $A = p\Delta V$, то

$$Q_{56} = \frac{3}{2} \cdot \Delta p_{56} V_{56} = \frac{3}{2} \cdot (8-2) p_0 \cdot 8V_0 = 72 p_0 V_0,$$

$$Q_{61} = \frac{3}{2}p_{61}\Delta V_{61} + p_{61}\Delta V_{61} =$$

$$= \frac{5}{2}p_{61}\Delta V_{61} = \frac{5}{2}\cdot 2p_0 \cdot (8-2)V_0 = 30p_0V_0.$$

Следовательно:

$$Q' = 102p_0V_0. \tag{5}$$

В итоге, с учетом (5) и (3), получим

$$Q = 28p_0V_0 + 102p_0V_0 = 130p_0V_0.$$

2-й способ

Количество теплоты (Q), сообщаемое газу нагревателем за один цикл, $Q = Q_{1-5} = A_{1-5} + \Delta U_{1-5}$, так как на участке 5—1 количество теплоты передается окружающей среде.

Для подсчета работы A_{1-5} газа исходный цикл преобразуем в цикл, изображенный на рис. (*б*).

Работа газа численно равна площади заштрихованной фигуры:

$$A_{1-5} = 40p_0V_0$$

(подсчитайте это самостоятельно).

$$\Delta U_{1-5} = U_5 - U_1 = \frac{3}{2}(p_5V_5 - p_1V_1) =$$

$$= \frac{3}{2}(8p_0\cdot 8V_0 - 2p_0\cdot 2V_0) = 90p_0V_0.$$

Таким образом, $Q = Q_{1-5} = 130p_0V_0$, т. е. приходим к тому же результату, что и в 1-м случае.

Следовательно, $p_0V_0 = \dfrac{Q}{130}$.

Таким образом: $T_6 = \dfrac{16Q}{130\cdot \nu R}$.

Численно: $T_6 = \dfrac{16\cdot 27{,}0\cdot 10^3}{130\cdot 1\cdot 8{,}3} = 400{,}4 \approx 400(\text{К})$.

Ответ: $T_6 = 400$ К.

Решите задание В5 самостоятельно, используя рассуждения, приведенные выше.

Дано:	Решение:
$\nu = 0{,}200$ моль $A = 166$ Дж $T_2 = T_4 = T$ $T_3 = 1024$ К	рассчитаем работу, совершенную газом за один цикл: $A = A_{12} + A_{23} + A_{34} + A_{41}$ или с учетом того, что $A = p\Delta V = \nu R\Delta T$, получим $A = \nu R(T_3 - 2T + T_1)$.
T_1 — ?	Для дальнейшего решения задачи необходимо определить значение температуры T.

Запишем уравнение Клапейрона для состояний 2 и 3 и состояний 1 и 4:

$$\begin{cases} \dfrac{p_2V_2}{T} = \dfrac{p_3V_3}{T_3} \\ \dfrac{p_1V_1}{T_1} = \dfrac{p_4V_4}{T} \end{cases}.$$

С учетом того, что $p_2 = p_3$, $p_1 = p_4$ и $V_1 = V_2$, $V_4 = V_3$ получим:

$$\begin{cases} \dfrac{V_2}{V_3} = \dfrac{T}{T_3} \\ \dfrac{V_2}{V_3} = \dfrac{T_1}{T} \end{cases}$$

Решив полученную систему относительно температуры T, получим: $T = \sqrt{T_1T_3}$.

Таким образом: $A = \nu R\left(T_3 - 2\sqrt{T_1T_3} + T_1\right)$.

После несложных математических преобразований и подстановки числовых значений получим, что $T_1 = 484$ К.

Группа	I	II	III
Выполнение, %	0,09	1,96	64,03

Задание В6

Для определения поверхностного натяжения жидкости использовали вертикально расположенную пипетку, радиус от-

верстия которой $r = 1{,}00$ мм. *Общая масса* $N = 50$ *капель, вытекших из пипетки,* $m = 6{,}28$ г. *Если считать, что в момент отрыва от пипетки диаметр шейки капли равен диаметру отверстия, то поверхностное натяжение* σ *жидкости равно ...* $\frac{\text{мН}}{\text{м}}$.

Ответ: **200.**

Данное задание предназначено для оценки умения синтезировать информацию из различных разделов курса физики для решения конкретных заданий ([3] § 22, [5] § 50).

При выполнении задания необходимо помнить:

- поверхностное натяжение жидкости численно равно силе поверхностного натяжения, действующей на единицу длины границы раздела жидкости $\left(\sigma = \frac{F_{\text{пов}}}{l}\right)$;
- в момент отрыва капельки сила поверхностного натяжения уравновешивает силу тяжести, действующую на данную капельку $\left(F_{\text{пов}} = mg\right)$.

Дано:	Решение:
$r = 1{,}00 \cdot 10^{-3}$ м $N = 50$ $m = 6{,}28 \cdot 10^{-3}$ кг	из условия равновесия капельки $F_{\text{пов}} = \frac{mg}{N}$ или $\sigma \cdot l = \frac{mg}{N}$, где $l = 2\pi r$ — длина окружности пипетки.
σ — ?	

Таким образом: $\sigma = \frac{mg}{2N\pi r}$.

Численно: $\sigma = \frac{6{,}28 \cdot 10^{-3} \cdot 10}{2 \cdot 50 \cdot 3{,}14 \cdot 1{,}00 \cdot 10^{-3}} = 0{,}2\left(\frac{\text{Н}}{\text{м}}\right) = 200\left(\frac{\text{мН}}{\text{м}}\right)$.

Группа	I	II	III
Выполнение, %	2,54	20,68	93,59

Задание B7

Два заряженных шарика, гравитационным взаимодействием между которыми можно пренебречь, находящиеся в вакуу-

ме на расстоянии, значительно превышающем их размеры, притягиваются друг к другу с силой, модуль которой F_1. В начальном состоянии заряды шариков $|q_1| = |q_2|$. Не изменяя расстояния между шариками, половину заряда с одного из них перенесли на другой. Если в результате модуль силы электростатического взаимодействия между шариками изменился на $\Delta F = 66$ мН, то модуль силы F_1 был равен ... **мН.**

Ответ: **88**.

Данное задание предназначено для оценки
умения применять закон Кулона и закон сохранения заряда при решении стандартных задач ([4] § 1, 2).

При выполнении задания необходимо помнить:

- при взаимодействии одноименные заряды отталкиваются, разноименные — притягиваются;
- в любой электроизолированной системе алгебраическая сумма электрических зарядов остается постоянной $\left(q = \sum_{i=1}^{n} q_i\right)$;
- сила взаимодействия между двумя неподвижными точечными электрическими зарядами в вакууме прямо пропорциональна произведению величин этих зарядов, обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними и направлена вдоль прямой, соединяющей эти заряды $\left(F_1 = \dfrac{kq_1q_2}{r_1^2}\right)$.

Дано:	Решение:
$\lvert q_1\rvert = \lvert q_2\rvert = q$ $\Delta F = 66 \cdot 10^{-3}$ Н $r_1 = r_2 = r$	в начальном состоянии модуль силы электростатического взаимодействия между шариками $F_1 = \dfrac{kq_1q_2}{r_1^2} = \dfrac{kq^2}{r^2}$.
F_1 — ?	

Так как в начальном состоянии шарики притягиваются друг к другу, их заряды разноименные.

После того как половину заряда с одного из шариков перенесли на другой, заряды на шариках остались разноименными, причем: $|q_1'| = |q_2'| = \dfrac{q}{2}$, а модуль силы электростатического взаимодействия между ними стал: $F_2 = \dfrac{k \cdot \dfrac{q}{2} \cdot \dfrac{q}{2}}{r_2^2} = \dfrac{kq^2}{4r^2} = \dfrac{1}{4}F_1$.

Так как $\Delta F = |F_2 - F_1|$, то $\Delta F = F_1 - \frac{1}{4}F_1 = \frac{3}{4}F_1$.

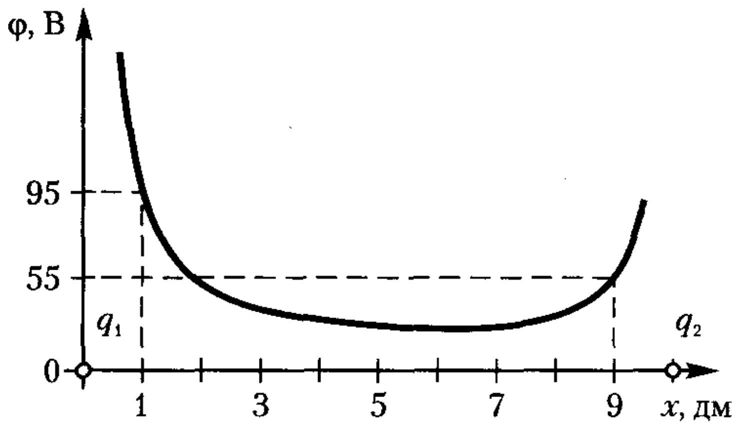
Откуда: $F_1 = \frac{4}{3}\Delta F$.

Численно: $F_1 = \frac{4}{3} \cdot 66 \cdot 10^{-3}(\text{Н}) = 88(\text{мН})$.

Группа	I	II	III
Выполнение, %	1,35	37,48	89,07

Задание В8

На рисунке приведен график зависимости потенциала φ электростатического поля, созданного в вакууме точечными зарядами q_1 и q_2, от координаты x. Заряды размещены на оси Ох в точках с координатами $x_1 = 0{,}0$ м *и* $x_2 = 1{,}0$ м *соответственно. Проекция напряженности* E_x *этого поля на ось Ох в точке с координатой* $x = 0{,}50$ м *равна ...* $\frac{\text{В}}{\text{м}}$.



Ответ: **18**.

Данное задание предназначено для оценки
умения составлять математическую модель задачи, используя физическую информацию, представленную в различной форме (текст, график), для решения задач с нестандартной подачей информации ([4] § 3, 5).

! При выполнении задания необходимо помнить:

- напряженность электростатического поля, созданного системой зарядов, равна геометрической сумме напряженностей полей, создаваемых в данной точке каждым из зарядов: $\vec{E} = \sum_{i=1}^{n} \vec{E}_i$. Если все заряды являются точечными, то

$E_i = \dfrac{kq_i}{r_i^2}$ — модуль напряженности электростатического поля, созданного точечным зарядом q_i в точке пространства, находящейся на расстоянии r_i от этого заряда;

- потенциал электростатического поля, созданного системой зарядов, равен алгебраической сумме потенциалов полей, создаваемых в данной точке каждым из зарядов: $\varphi = \sum_{i=1}^{n} \varphi_i$. Если все заряды являются точечными, то $\varphi_i = \dfrac{kq_i}{r_i}$ — потенциал электростатического поля, созданного точечным зарядом q_i в точке пространства, находящейся на расстоянии r_i от этого заряда.

Дано:	Решение:
$x_1 = 0{,}0$ м $x_2 = 1{,}0$ м $x = 0{,}50$ м	согласно принципу суперпозиции: $\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$. Из анализа графика видно, что $\varphi > 0$, следовательно: $q_1 > 0$, $q_2 > 0$.
E_x — ?	Поэтому в точке с координатой $x = 0{,}50$ м проекция напряженности на ось Ox

$$E_x = E_{1x} - E_{2x} = \frac{kq_1}{x^2} - \frac{kq_2}{x^2} = \frac{k}{x^2}(q_1 - q_2).$$

Согласно принципу суперпозиции потенциал поля в рассматриваемой точке: $\varphi = \varphi_1 + \varphi_2$.

Из рисунка видно, что потенциал поля в точке, находящейся на расстоянии $x_1' = 1$ дм от заряда q_1 и на расстоянии $x_2' = 9$ дм от заряда q_2 составляет $\varphi_{\text{I}} = 95$ В (см. рис.). Следовательно, $\varphi_{\text{I}} = \dfrac{kq_1}{x_1'} + \dfrac{kq_2}{x_2'}$.

Составим систему $\begin{cases} E_x = \dfrac{kq_1}{x^2} - \dfrac{kq_2}{x^2} \\ \varphi_{\text{I}} = \dfrac{kq_1}{x_1'} + \dfrac{kq_2}{x_2'} \end{cases}$.

Так как число уравнений меньше числа неизвестных, необходимо составить дополнительное уравнение.

Потенциал поля в точке, находящейся на расстоянии $x_1'' = 9$ дм от заряда q_1 и на расстоянии $x_2'' = 1$ дм от заряда q_2 составляет $\varphi_{\text{II}} = 55$ В (см. рис.).

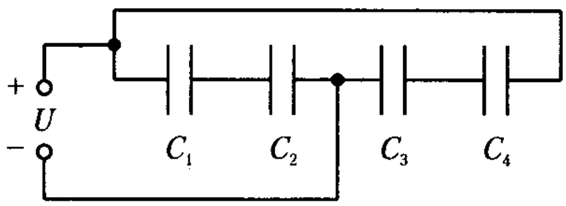
Следовательно, $\varphi_{II} = \dfrac{kq_1}{x_1''} + \dfrac{kq_2}{x_2''}$.

Таким образом: $\begin{cases} E_x = \dfrac{kq_1}{x^2} - \dfrac{kq_2}{x^2} \\ \varphi_I = \dfrac{kq_1}{x_1'} + \dfrac{kq_2}{x_2'} \\ \varphi_{II} = \dfrac{kq_1}{x_1''} + \dfrac{kq_2}{x_2''} \end{cases}$.

Подставив числовые значения и решив систему уравнений, получим, что в точке с координатой $x = 0{,}50$ м проекция на ось Ox напряженности этого поля $E_x = 18\,\dfrac{\text{В}}{\text{м}}$.

Группа	I	II	III
Выполнение, %	0,18	0,70	51,97

Задание В9



Четыре конденсатора, емкости которых $C_1 = 1{,}0$ мкФ, $C_2 = 4{,}0$ мкФ, $C_3 = 2{,}0$ мкФ *и* $C_4 = 3{,}0$ мкФ, *соединены в батарею (см. рис.). Если батарея подключена к источнику, напряжение на клеммах которого* $U = 100$ В, *то энергия* W *электростатического поля батареи конденсаторов равна* ... **мДж.**

Ответ: **10**.

Данное задание предназначено для оценки качества усвоения знаний о закономерностях последовательного и параллельного соединения конденсаторов и умения применять их для расчета энергии электростатического поля заряженного конденсатора (батареи конденсаторов) ([4] § 10, 11, 12).

! При выполнении задания необходимо помнить:

1) при параллельном соединении конденсаторов:
   - напряжение на всех конденсаторах одинаковое
   $$U_1 = U_2 = U_3 = ... = U_n \ (U = \text{const});$$

- общий заряд батареи конденсаторов равен алгебраической сумме зарядов каждого из конденсаторов

$$q = q_1 + q_2 + q_3 + ... + q_n;$$

- общая емкость батареи конденсаторов равна сумме емкостей отдельных конденсаторов

$$C = C_1 + C_2 + C_3 + ... + C_n;$$

2) при последовательном соединении конденсаторов:
- общий заряд батареи конденсаторов равен заряду каждого из конденсаторов $q_1 = q_2 = q_3 = ... = q_n$ ($q = \text{const}$);
- общее напряжение на батарее конденсаторов равно сумме напряжений на каждом конденсаторе

$$U = U_1 + U_2 + U_3 + ... + U_n;$$

- величина, обратная общей емкости батареи конденсаторов, равна сумме величин, обратных емкостям отдельных конденсаторов

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + ... + \frac{1}{C_n};$$

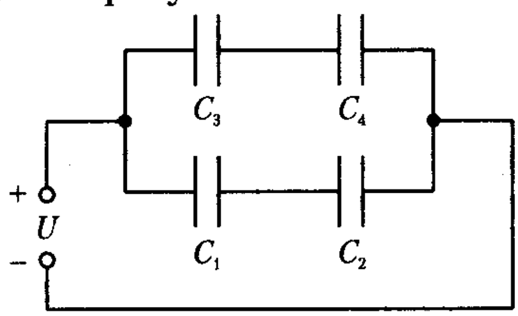
3) энергию электростатического поля заряженного конденсатора можно определить по одной из формул:

$$W = \frac{qU}{2} = \frac{q^2}{2C} = \frac{CU^2}{2}.$$

Дано:
$C_1 = 1{,}0 \cdot 10^{-6}$ Ф
$C_2 = 4{,}0 \cdot 10^{-6}$ Ф
$C_3 = 2{,}0 \cdot 10^{-6}$ Ф
$C_4 = 3{,}0 \cdot 10^{-6}$ Ф
$U = 100$ В

W – ?

Решение:
преобразуем исходную схему в схему, изображенную на рисунке.



Энергию батареи конденсаторов определим из формулы $W = \frac{CU^2}{2}$, где U – напряжение на клеммах источника, $C = C_{12} + C_{34} = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2} + \frac{C_3 \cdot C_4}{C_3 + C_4}$ – общая емкость батареи конденсаторов.

Численно $C = 2{,}0 \cdot 10^{-6}$ Ф,

$$W = \frac{2{,}0 \cdot 10^{-6} \cdot 100^2}{2} = 0{,}01(\text{ Дж}) = 10\ (\text{мДж}).$$

Группа	I	II	III
Выполнение, %	2,95	30,63	94,29

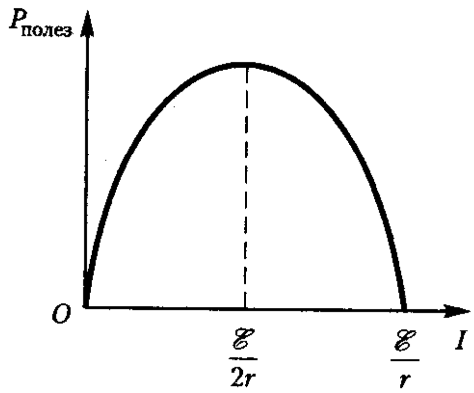
Задание В10

Два резистора, сопротивления которых $R_1 = 0{,}98$ Ом *и* $R_2 = 2{,}0$ Ом, *соединяют первый раз последовательно, а второй — параллельно и после соединения поочередно подключают к источнику постоянного тока. В обоих случаях мощности, выделяющиеся на внешних участках цепи, одинаковые. Если сила тока при коротком замыкании этого источника* $I_к = 10$ А, *то максимальная полезная мощность* P_{max} *источника равна ...* **Вт.**

Ответ: **35.**

Данное задание предназначено для оценки умения использовать теоретические знания, полученные при изучении темы «Законы постоянного тока», для решения нестандартных задач ([4], § 15, 19).

При выполнении задания необходимо помнить:



- наибольшую полезную мощность от источника можно получить в том случае, когда сопротивление внешнего участка цепи равно внутреннему сопротивлению источника $R = r$;
- мощность P, развиваемую источником тока, можно представить в виде двух слагаемых: $P_{полезн}$ и $P_{тер}$, где $P_{полезн}$ — мощность, которая выделяется на внешнем участке цепи, $P_{тер}$ — бесполезная мощность, выделяемая внутри источника тока.

Следовательно, $P = P_{полезн} + P_{тер}$.

Принимая во внимание, что $P = I\mathscr{E}$, $P_{тер} = I^2 r$, получим

$$P_{полез} = I\mathscr{E} - I^2 r \qquad (1)$$

Таким образом, мощность является функцией силы тока в квадрате.

Из курса математики известно, что:

- графиком функции (1) является парабола, ветви которой направлены вниз (см. рис.);
- точки пересечения графика с осью абсцисс ($P_{полез} = 0$): $I_1 = 0$ и $I_2 = \frac{\mathscr{E}}{r}$;
- вершина параболы имеет абсциссу $I_о = \frac{\mathscr{E}}{2r}$.

Таким образом, полезная мощность максимальна при силе тока

$$I_о = \frac{\mathscr{E}}{2r}. \qquad (2)$$

Подставив (2) в (1) получим, что

$$P_{полезн\ max} = \frac{\mathscr{E}^2}{4r}.$$

Дано:	Решение:
$R_1 = 0{,}98$ Ом $R_2 = 2{,}0$ Ом $I_к = 10$ А	при последовательном соединении резисторов: $R_{о1} = R_1 + R_2$, следовательно
P_{max} — ?	

$$P_{полез\ 1} = \frac{\mathscr{E}^2 R_{о1}}{(R_{о1} + r)^2}; \qquad (1)$$

при параллельном — $R_{о2} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$, следовательно

$$P_{полез\ 2} = \frac{\mathscr{E}^2 R_{о2}}{(R_{о2} + r)^2}. \qquad (2)$$

Решая совместно уравнения 1 и 2 получим, что

$r = \sqrt{R_{о1} \cdot R_{о2}} = \sqrt{R_1 \cdot R_2}$ (получите самостоятельно).

Максимальная полезная мощность источника: $P_{max} = \frac{\mathscr{E}^2}{4r}$.

С учетом того, что $I_к = \frac{\mathscr{E}}{r}$, получим

$$P_{max} = \frac{I_к^2 r}{4}. \qquad (3)$$

Следовательно, $P_{max} = \dfrac{I_к^{\,2}\sqrt{R_1 \cdot R_2}}{4}$.

Численно $P_{max} = \dfrac{100 \cdot 1{,}4}{4} = 35\,(\text{Вт})$.

Группа	I	II	III
Выполнение, %	1,37	2,55	62,76

Задание В11

Идеальный колебательный контур радиоприемника настроен на радиостанцию, частота которой ν = 3,00 МГц. *Если емкость конденсатора увеличить в четыре раза, то этот контур будет настроен на радиостанцию, работающую на волне длиной* λ, *равной* **... м.**

Ответ: **200**.

Данное задание предназначено для оценки умения определять параметры идеального колебательного контура с использованием формулы для расчета периода (частоты) собственных электромагнитных колебаний (формула Томсона) ([4], § 35, 39, 51).

При выполнении задания необходимо помнить:

- если колебательный контур радиоприемника настроен на радиостанцию, то частота его собственных колебаний совпадает с частотой колебаний передатчика радиостанции (резонанс). Следовательно, $\nu_{контура} = \nu_{станции}$.

Дано:

$\nu_1 = 3{,}00 \cdot 10^6$ Гц
$C_2 = 4C_1$
$L_1 = L_2 = L$

λ_2 — ?

Решение:

для решения данного задания воспользуемся формулой Томсона $T = 2\pi\sqrt{LC}$ и формулами, связывающими между собой частоту и период электромагнитных колебаний $\nu = \dfrac{1}{T}$, а также длину волны и частоту колебаний $\lambda = \dfrac{c}{\nu}$, для двух случаев, рассмотренных в условии задачи.

$$\begin{cases} \nu_1 = \dfrac{1}{2\pi\sqrt{LC_1}} \\ \nu_2 = \dfrac{1}{2\pi\sqrt{L \cdot 4C_1}} \\ \lambda_2 = \dfrac{1}{\nu_2} \end{cases}.$$

Решив данную систему, найдем искомую длину волны.

$$\lambda_2 = 200\ \text{м}.$$

Группа	I	II	III
Выполнение, %	1,20	44,48	97,09

Задание B12

На дифракционную решетку нормально падает параллельный пучок монохроматического света длиной волны $\lambda = 720$ нм. *Если период решетки* $d = 5$ мкм, *то максимальный порядок* k_{max} *дифракционного спектра равен ....*

Ответ: **6**.

Данное задание предназначено для оценки умения использовать формулу дифракционной решетки для решения конкретных задач ([4], § 54).

! При выполнении задания необходимо помнить:

- уравнение дифракционной решетки имеет вид $k\lambda = d\sin\varphi$;
- максимальный порядок спектра определяется из условия $k_{max} = \dfrac{d}{\lambda}$;
- дифракционный спектр на экране, который находится на конечном расстоянии от решетки, можно получить только при условии, что $\sin\varphi_{max} < 1$ $(\varphi_{max} < 90°)$. Поэтому, если при вычислениях значение максимального порядка k_{max} дифракционного спектра получится не целым, например $k_{max} = 3{,}9$, то в качестве k_{max} следует взять целую часть полученного числа ($k_{max} = 3$).

Дано:	Решение:
$\lambda = 720 \cdot 10^{-9}$ м $d = 5 \cdot 10^{-6}$ м	$k_{max} = \dfrac{d}{\lambda}$.
k_{max} — ?	Численно: $k_{max} = \dfrac{5 \cdot 10^{-6}}{720 \cdot 10^{-9}} = 6{,}9 = 6$.

Округлять по правилам округления ни в коем случае нельзя. При таком округлении (в нашем случае $k_{max} = 6{,}9 = 7$) получим, что $\sin\varphi_{max} > 1$ (убедитесь в этом самостоятельно), что не имеет смысла.

Группа	**I**	**II**	**III**
Выполнение, %	2,75	57,74	99,07

Министерство образования Республики Беларусь | Міністэрства адукацыі Рэспублікі Беларусь
УО "Республиканский институт контроля знаний" | УА "Рэспубліканскі інстытут кантролю ведаў"

БЛАНК ОТВЕТОВ №
БЛАНК АДКАЗАЎ

Кириллица А Б В Г Д Е Ж З И І Й К Л М Н О П Р С Т У Ў Ф Х Ц Ч Ш Щ Ъ Ы Ь Э Ю Я ' Цифры 1 2 3 4 5
Кірыліца Образец метки ☒ Узор меткі Лічбы 6 7 8 9 0

Область регистрации / Вобласць рэгістрацыі

Код пункта тестирования / Код пункта тэсціравання	Корпус / Корпус	Номер аудитории / Нумар аўдыторыі	Код предмета / Код прадмета	Название предмета / Назва прадмета

Сведения об участнике тестирования / Звесткі аб удзельніку тэсціравання

Фамилия / Прозвішча

Имя / Імя

Отчество / Імя па бацьку

Номер варианта теста / Нумар варыянта тэсту

Документ / Дакумент Серия / Серыя Номер / Нумар

Область ответов / Вобласць адказаў

Часть А / Частка А

Номера вариантов ответа / Нумары варыянтаў адказу

A1 A2 A3 A4 A5 A6 A7 A8 A9 A10 A11 A12 A13 A14 A15 A16 A17 A18 A19 A20 A21 A22 A23 A24 A25 A26 A27 A28 A29 A30

1 2 3 4 5

A31 A32 A33 A34 A35 A36 A37 A38 A39 A40 A41 A42 A43 A44 A45 A46 A47 A48 A49 A50 A51 A52 A53 A54 A55 A56 A57 A58 A59 A60

1 2 3 4 5

Отмена ошибочных меток / Адмена памылковых метак

№ вопроса / № пытання	№ метки / № меткі
A	-
A	-
A	-
A	-
A	-
A	-

Часть В / Частка В

B1 B2 B3 B4 B5 B6 B7 B8 B9 B10 B11 B12

Замена ошибочных ответов части В / Замена памылковых адказаў часткі В

В —

В —

Дата тестирования / Дата тэсціравання

День / Дзень . Месяц / Месяц . Год / Год

Совпадение номера варианта теста с номером варианта теста в бланке ответов подтверждаю/ Супадзенне нумару варыянта тэсту з нумарам варыянта тэсту ў бланку адказаў пацвярджаю

Подпись тестируемого строго внутри окошка / Подпіс тэсціруемага строга ўнутры акенца

Номер варианта теста / Нумар варыянта тэсту