

Ответы к заданиям

№ задания	Ответ
4	24
10	135
15	245
20	145
21	353
22	$(20,000 \pm 0,125)$

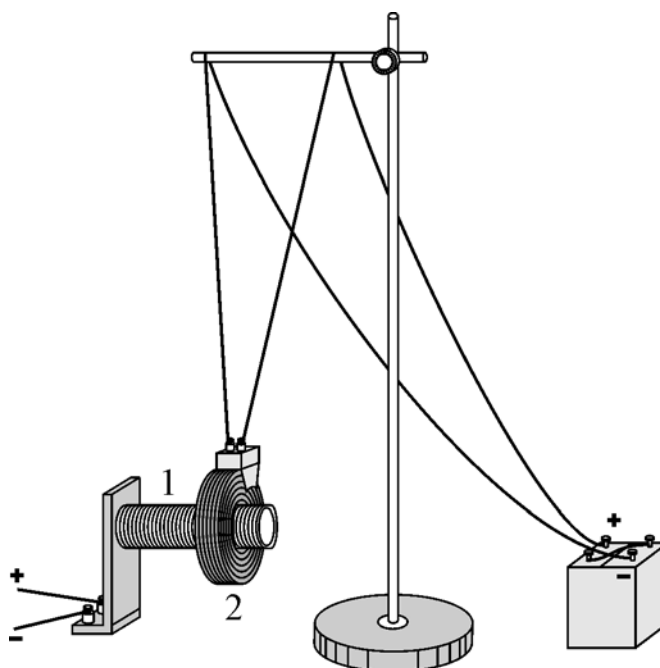
Ответы к заданиям

№ задания	Ответ
4	15
10	134
15	134
20	234
21	122
22	$(44,00 \pm 0,02)$

Критерии оценивания заданий с развёрнутым ответом

24

Для демонстрации магнитного взаимодействия двух катушек с протекающими в них электрическими токами профессор Московского университета А. А. Эйхенвальд предложил следующий опыт. Катушка № 1 обладает длинным цилиндрическим сердечником, на который намотано много витков изолированного провода. Эта катушка неподвижно крепится на столе так, чтобы ось её сердечника была расположена горизонтально. Катушка № 2 намотана на лёгкий кольцевой каркас, внутренний диаметр которого немного превышает диаметр сердечника катушки № 1. К катушке № 2 подсоединяются два тонких гибких провода, на которых она, подобно маятнику, подвешивается к штативу. Эти провода позволяют свободно висящей катушке № 2 вращаться вокруг вертикальной оси и совершать колебания. Длина проводов и расположение штатива подбираются так, чтобы катушка № 2 висела вблизи торца сердечника катушки № 1 и могла свободно надеваться на эту катушку. При этом горизонтальные оси катушек совсем немного не совпадают друг с другом.



Сначала через эти две катушки пропускают постоянные электрические токи таким образом, чтобы между ними возникли силы магнитного притяжения. В результате этого катушка № 2 притягивается к катушке № 1 и надевается на неё (см. рис.). Затем направление протекания тока в катушке № 1 изменяют на противоположное, а ток, текущий через катушку № 2, оставляют прежним. Опишите, что после этого будет происходить с катушкой № 2. Ответ поясните, указав, какие физические закономерности Вы использовали для объяснения.

Возможное решение

1) При протекании постоянного электрического тока через катушки каждая из них ведёт себя как постоянный магнит. Полюса этих магнитов расположены на торцах катушек. В исходном положении между катушками

действуют силы магнитного притяжения. Следовательно, катушки ориентированы друг к другу разноимёнными магнитными полюсами, то есть токи в катушках текут в одном направлении.

2) После изменения направления тока, текущего в катушке № 1, её магнитные полюса поменяются местами. Поэтому катушки окажутся ориентированными друг к другу одноименными магнитными полюсами, и между катушками возникнет отталкивание. Под действием силы отталкивания катушка № 2 «снимется» с сердечника катушки № 1, приобретя при этом некоторую скорость.

3) Затем катушка № 2 начнёт колебаться на своих проводах в магнитном поле катушки № 1, удаляясь от неё. Однако, положение двух постоянных магнитов, при котором их одноименные магнитные полюса ориентированы навстречу друг другу, является неустойчивым. Поскольку оси катушек немного не совпадают друг с другом, а магнитное поле, создаваемое катушкой № 1 вблизи торца сердечника, является неоднородным, в процессе колебаний катушка № 2 будет немного поворачиваться вокруг вертикальной оси. Даже при небольшом повороте на катушку № 2 начнёт действовать со стороны магнитного поля катушки № 1 момент сил, под действием которого катушка № 2 будет продолжать разворачиваться вокруг вертикальной оси, и в итоге она развернется на 180° . После этого катушки снова окажутся ориентированными друг к другу разноимёнными магнитными полюсами.

4) В результате катушки вновь начнут притягиваться друг к другу, и катушка № 2 опять наденется на катушку № 1. Это расположение катушек будет устойчивым.

Критерии оценивания выполнения задания	Баллы
Приведено полное правильное решение, включающее полное верное объяснение (в данном случае: п. 1, 2, 3) с указанием наблюдаемых явлений и законов (в данном случае: <i>эквивалентность постоянного магнита и катушки с постоянным током, закономерности притяжения и отталкивания магнитов при различном относительном расположении магнитных полюсов, смена магнитных полюсов при изменении направления протекания тока в катушке, неустойчивость положения двух катушек при их ориентации одноименными полюсами навстречу друг другу</i>) и правильный ответ (в данном случае – п. 4).	3
Дан правильный ответ, и приведено объяснение, но в решении имеется один или несколько из следующих недостатков. В объяснении не указано или не используется одно из физических явлений, свойств, определений или один из законов (формул), необходимых для полного верного объяснения. (Утверждение, лежащее в основе объяснения, не подкреплено соответствующим законом, свойством, явлением, определением и т.п.) И (ИЛИ) Указаны все необходимые для объяснения явления и законы,	2

<p>закономерности, но в них содержится один логический недочёт. И (ИЛИ) В решении имеются лишние записи, не входящие в решение (возможно, неверные), которые не отделены от решения и не зачёркнуты. И (ИЛИ) В решении имеется неточность в указании на одно из физических явлений, свойств, определений, законов (формул), необходимых для полного верного объяснения</p>	
<p>Представлено решение, соответствующее одному из следующих случаев. Дан правильный ответ на вопрос задания, и приведено объяснение, но в нём не указаны два явления или физических закона, необходимых для полного верного объяснения. ИЛИ Указаны все необходимые для объяснения явления и законы, закономерности, но имеющиеся рассуждения, направленные на получение ответа на вопрос задания, не доведены до конца. ИЛИ Указаны все необходимые для объяснения явления и законы, закономерности, но имеющиеся рассуждения, приводящие к ответу, содержат ошибки. ИЛИ Указаны не все необходимые для объяснения явления и законы, закономерности, но имеются верные рассуждения, направленные на решение задачи</p>	1
<p>Все случаи решения, которые не соответствуют вышеуказанным критериям выставления оценок в 1, 2, 3 балла</p>	0
<i>Максимальный балл</i>	3

25

Школьник сел в электробус, чтобы доехать до школы. На улице накрапывал дождик, но на вертикальные лобовые стекла кабины водителя капли во время остановки не попадали. Когда электробус тронулся и начал ускоряться, на лобовые стекла кабины капли дождя стали попадать, и тем чаще, чем выше становилась скорость электробуса, что заставляло водителя периодически включать «дворники». Сколько капель дождя попало на эти стекла за время $t = 25$ с равноускоренного разгона электробуса от остановки до скорости $V = 45$ км/ч, если площадь стекол равна $S = 1,5$ м², а концентрация капель в воздухе составляла $n = 300$ м⁻³? Можно считать, что до столкновения со стеклом кабины скорость капель остаётся такой же, как и вдалеке от электробуса.

Возможное решение

1. Из условия следует, что капли падали вертикально во все время разгона электробуса, а их концентрация в воздухе не менялась.
2. Число ΔN капель, попадающих на стекла кабины за малый промежуток времени Δt , равно произведению их концентрации n на объём слоя воздуха, «заметаемый» стеклами. Этот объём равен произведению площади S стекол на перемещение электробуса $\Delta x = u\Delta t$, равное его пути, пройденному за это время со скоростью u : $\Delta N = nSu\Delta t = nS\Delta x$.
3. Полное число попавших на стекла капель при движении в одном направлении, таким образом, пропорционально полному пути x , то есть $N = nSx$.
4. Для равноускоренного разгона точки от нулевой начальной скорости до скорости V справедливо следующее кинематическое соотношение для полного пути: $x = Vt/2$.
5. Таким образом, искомое число капель равно $N = nSVt/2$.
6. Переводя численные данные для скорости в систему СИ ($V = 45 \text{ км/ч} = 12,5 \text{ м/с}$), используя остальные данные из условия и подставляя их в полученное выражение, получим окончательно:

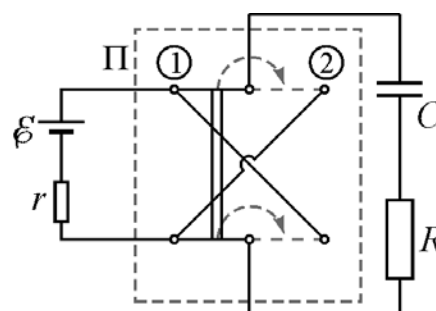
$$N = nSVt/2 = 300 \cdot 1,5 \cdot 12,5 \cdot 25/2 = 70312,5 \approx 70300.$$

Критерии оценивания выполнения задания	Баллы
<p>Приведено полное решение, включающее следующие элементы:</p> <p>I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, <u>применение которых необходимо</u> для решения задачи выбранным способом (в данном случае: <i>связь числа частиц с их концентрацией и объёмом, который они занимают; кинематическая формула для связи пройденного пути и времени при равномерном прямолинейном движении; кинематическая формула для связи пройденного пути, конечной скорости и времени для равноускоренного движения в одном направлении</i>);</p> <p>II) описаны все вновь вводимые в решении буквенные обозначения физических величин (за исключением обозначений констант, указанных в варианте КИМ, обозначений, используемых в условии задачи, и стандартных обозначений величин, используемых при написании физических законов);</p> <p>III) представлены необходимые математические преобразования и расчёты (подстановка числовых данных в конечную формулу), приводящие к правильному числовому ответу (допускается решение «по частям» с промежуточными вычислениями);</p> <p>IV) представлен правильный ответ с указанием единиц измерения искомой величины</p>	2
<p>Правильно записаны все необходимые положения теории, физические законы, закономерности, и проведены преобразования, направленные на решение задачи, но имеется один или несколько из следующих недостатков.</p>	1

<p>Записи, соответствующие пункту II, представлены не в полном объёме или отсутствуют.</p> <p style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>В решении имеются лишние записи, не входящие в решение (возможно, неверные), которые не отделены от решения и не зачёркнуты.</p> <p style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>В необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) в математических преобразованиях/вычислениях пропущены логически важные шаги.</p> <p style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>Отсутствует пункт IV, или в нём допущена ошибка (в том числе в записи единиц измерения величины)</p>	
<p>Все случаи решения, которые не соответствуют вышеуказанным критериям выставления оценок в 1 или 2 балла</p>	0
<i>Максимальный балл</i>	2

26

На рисунке показана схема электрической цепи, состоящей из батареи с ЭДС $\mathcal{E} = 9\text{ В}$ и внутренним сопротивлением $r = 1\text{ кОм}$, конденсатора ёмкостью $C = 4\text{ мкФ}$, резистора с сопротивлением $R = 4\text{ кОм}$ и переключателя Π полярности источника питания. Вначале переключатель был в положении 1, а конденсатор был полностью заряжен от батареи, и ток в цепи отсутствовал. Какое количество теплоты Q_R выделится в резисторе R за большое время после перевода переключателя в положение 2?



Возможное решение

- Из закона сохранения энергии для замкнутой электрической цепи имеем: $\mathcal{E}\Delta q = \Delta Q_{\text{Дж-Л}} + \Delta W_{\text{эл}} + \Delta A_{\text{мех}}$, то есть работа источника $\mathcal{E}\Delta q$ (Δq – заряд, протекший по цепи) расходуется на выделение в резисторах количества теплоты $\Delta Q_{\text{Дж-Л}}$ по закону Джоуля-Ленца, изменение электростатической энергии $\Delta W_{\text{эл}}$ заряженного конденсатора и на механическую работу $\Delta A_{\text{мех}}$, если части цепи перемещаются.
- Как видно из схемы цепи, изображённой на рисунке, после «переплюсовки» батареи переключателем Π конденсатор зарядится до такого же по модулю заряда $q = C\mathcal{E}$, но противоположного знака, и его энергия $W_{\text{эл}} = q^2/(2C)$ не изменится, так что $\Delta W_{\text{эл}} = 0$. Механическая работа не совершается, поэтому $\Delta A_{\text{мех}} = 0$.
- При перезарядке конденсатора по цепи протечет заряд $\Delta q = 2q = 2C\mathcal{E}$, работа батареи полностью преобразуется в количество теплоты и будет равна $\mathcal{E}\Delta q = 2C\mathcal{E}^2 = \Delta Q_{\text{Дж-Л}}$.

4. Поскольку резисторы в цепи соединены последовательно и токи I через них одинаковы, то по закону Джоуля-Ленца полная рассеиваемая мощность равна $I^2(R + r)$, а в резисторе R выделяется доля общей мощности, равная $R/(R + r)$. Такая же доля полного количества теплоты выделится и в резисторе R .

5. Таким образом, искомое значение $Q_R = 2C \mathcal{E}^2 R / (R + r)$.

6. Подставляя численные данные в системе СИ из условия задачи, окончательно получаем:

$$Q_R = 2C \mathcal{E}^2 R / (R + r) = 2 \cdot 4 \cdot 10^{-6} \cdot 9^2 \cdot 4 / 5 = 518,4 \text{ мкДж.}$$

Критерии оценивания выполнения задания	Баллы
<p>Приведено полное решение, включающее следующие элементы:</p> <p>I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, <u>применение которых необходимо</u> для решения задачи выбранным способом (в данном случае: <i>закон сохранения энергии для замкнутой электрической цепи, выражение для работы батареи, закон Джоуля-Ленца, выражение для энергии заряженного конденсатора, правило расчёта сопротивления при последовательном соединении проводников, выражение для мощности тока</i>);</p> <p>II) описаны все вновь вводимые в решении буквенные обозначения физических величин (<i>за исключением обозначений констант, указанных в варианте КИМ, обозначений, используемых в условии задачи, и стандартных обозначений величин, используемых при написании физических законов</i>);</p> <p>III) представлены необходимые математические преобразования и расчёты (подстановка числовых данных в конечную формулу), приводящие к правильному числовому ответу (допускается решение «по частям» с промежуточными вычислениями);</p> <p>IV) представлен правильный ответ с указанием единиц измерения искомой величины</p>	2
<p>Правильно записаны все необходимые положения теории, физические законы, закономерности, и проведены преобразования, направленные на решение задачи, но имеется один или несколько из следующих недостатков.</p> <p>Записи, соответствующие пункту II, представлены не в полном объёме или отсутствуют.</p> <p style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>В решении имеются лишние записи, не входящие в решение (возможно, неверные), которые не отделены от решения и не зачёркнуты.</p> <p style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>В необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) в математических преобразованиях/вычислениях пропущены логически важные шаги.</p>	1

И (ИЛИ)	
Отсутствует пункт IV, или в нём допущена ошибка (в том числе в записи единиц измерения величины)	
Все случаи решения, которые не соответствуют вышеуказанным критериям выставления оценок в 1 или 2 балла	0
<i>Максимальный балл</i>	2

27

Вертикальный цилиндр объёмом $V_0 = 15$ л, заполненный воздухом с температурой $T = 20$ °С при атмосферном давлении $p_A = 10^5$ Па, закрыли сверху поршнем массой $m = 10$ кг и площадью $S = 250$ см², который может перемещаться по вертикали без трения. После того, как в системе установилось равновесие при той же постоянной температуре, в дне цилиндра образовалась течь. Через неё воздух начал медленно выходить наружу, в атмосферу, со скоростью потери числа N молекул в цилиндре, пропорциональной разности давлений $(p - p_A)$ в цилиндре и в окружающей атмосфере и равной $\Delta N/\Delta t = \alpha(p - p_A)$, где коэффициент пропорциональности $\alpha = 2,58 \cdot 10^{16}$ (Па·с)⁻¹. Процесс вытекания газа можно считать изотермическим, происходящим при той же температуре $T = 20$ °С. Через какое время t из цилиндра выйдет весь воздух?

Возможное решение

- 1) Поскольку процесс медленный, то вес поршня mg уравнивается разностью сил давления воздуха на него снизу и сверху: $mg = (p - p_A) \cdot S$, откуда $p - p_A = mg/S = \text{const}$.
- 2) Таким образом, скорость потери числа молекул в цилиндре $\Delta N/\Delta t = \alpha(p - p_A) = \alpha mg/S = \text{const}$.
- 3) За малый промежуток времени Δt убыль числа молекул в цилиндре равна $\Delta N = (\alpha mg/S) \cdot \Delta t$.
- 4) За все время t из цилиндра вытечет число молекул $N_0 = (\alpha mg/S) \cdot t$, где начальное число молекул N_0 можно найти из основного уравнения МКТ $p = nkT$, зная их начальную концентрацию $n = N_0/V_0$, начальное давление p_A и температуру T : $N_0 = nV_0 = p_A V_0/kT$.
- 5) Подставляя это выражение для N_0 в выведенную выше формулу, получаем: $p_A V_0/kT = (\alpha mg/S) \cdot t$, откуда искомое время равно $t = p_A V_0 S / (\alpha k T m g)$.
- 6) Переводя численные данные из условия в систему СИ и подставляя их в формулу для t , окончательно находим:

$$t = p_A V_0 S / (\alpha k T m g) = 10^5 \cdot 15 \cdot 10^{-3} \cdot 250 \cdot 10^{-4} / (2,58 \cdot 10^{16} \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 293 \cdot 10 \cdot 10) =$$

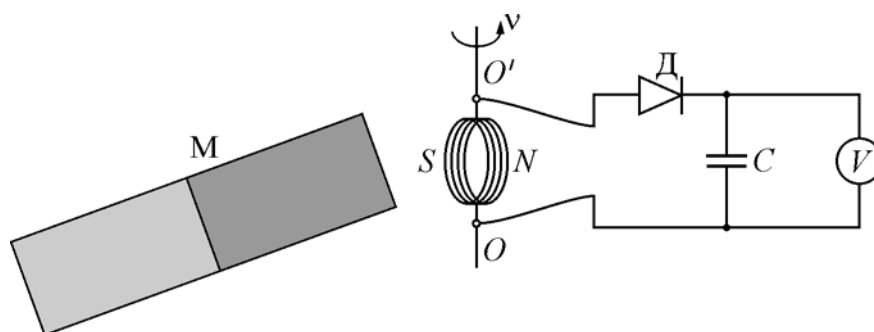
$$= 3594,7 \text{ с} \approx 59,9 \text{ мин} \approx 1 \text{ час.}$$

Критерии оценивания выполнения задания	Баллы
Приведено полное решение, включающее следующие элементы: I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, <u>применение которых необходимо</u> для решения задачи выбранным способом (в данном случае: <i>формула для силы давления, условие равновесия тяжёлого поршня, основное уравнение</i>	3

<p><i>МКТ, формула для концентрации молекул);</i></p> <p>II) описаны все вновь вводимые в решении буквенные обозначения физических величин (за исключением обозначений констант, указанных в варианте КИМ, обозначений величин, используемых в условии задачи, и стандартных обозначений величин, используемых при написании физических законов);</p> <p>III) представлены необходимые математические преобразования и расчёты (подстановка числовых данных в конечную формулу), приводящие к правильному числовому ответу (допускается решение «по частям» с промежуточными вычислениями);</p> <p>IV) представлен правильный ответ</p>	
<p>Правильно записаны все необходимые положения теории, физические законы, закономерности, и проведены необходимые преобразования, но имеется один или несколько из следующих недостатков.</p> <p>Записи, соответствующие пункту II, представлены не в полном объёме или отсутствуют.</p> <p style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>В решении имеются лишние записи, не входящие в решение (возможно, неверные), которые не отделены от решения и не зачёркнуты.</p> <p style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>В необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) в математических преобразованиях/вычислениях пропущены логически важные шаги.</p> <p style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>Отсутствует пункт IV, или в нём допущена ошибка</p>	2
<p>Представлены записи, соответствующие одному из следующих случаев.</p> <p>Представлены только положения и формулы, выражающие физические законы, применение которых необходимо и достаточно для решения данной задачи, без каких-либо преобразований с их использованием, направленных на решение задачи.</p> <p style="text-align: center;">ИЛИ</p> <p>В решении отсутствует ОДНА из исходных формул, необходимая для решения данной задачи (или утверждение, лежащее в основе решения), но присутствуют логически верные преобразования с имеющимися формулами, направленные на решение задачи.</p> <p style="text-align: center;">ИЛИ</p> <p>В ОДНОЙ из исходных формул, необходимых для решения данной задачи (или в утверждении, лежащем в основе решения), допущена ошибка, но присутствуют логически верные преобразования с имеющимися формулами, направленные на решение задачи</p>	1
<p>Все случаи решения, которые не соответствуют вышеуказанным критериям выставления оценок в 1, 2, 3 балла</p>	0
<p><i>Максимальный балл</i></p>	3

28

Для измерения модуля индукции B постоянного магнитного поля иногда применяют магнитометр с вращающейся с известной частотой ν маленькой катушкой с известным числом витков N и площадью витка S , которую помещают в исследуемую область поля. К катушке через скользящие контакты подключают измерительную цепь (см. рисунок), состоящую из последовательно соединенных идеального диода D и конденсатора ёмкостью C , к которому подключён параллельно почти идеальный вольтметр V с достаточно большим сопротивлением. Объясните, как должна располагаться ось OO' вращения катушки относительно вектора \vec{B} поля (например, создаваемого постоянным магнитом M), чтобы можно было правильно найти величину B . Вычислите B для случая, когда $\nu = 100$ Гц, $N = 50$, $S = 20$ мм², а показания вольтметра $U = 0,5$ В.



Возможное решение

1. Для того, чтобы изменение магнитного потока через катушку при её вращении имело максимальную амплитуду, пропорциональную B , необходимо расположить ось вращения OO' перпендикулярно линиям индукции \vec{B} (в нашем случае – поперек длинной оси магнита M).
2. Полный поток вектора магнитной индукции Φ через катушку при этом будет изменяться при её вращении с частотой ν в пределах от $+BNS$ до $-BNS$ по закону $\Phi(t) = BNS \cos(2\pi\nu t + \varphi)$, где φ – некоторая начальная фаза, определяемая начальным положением катушки.
3. По закону электромагнитной индукции Фарадея в катушке будет возникать при этом ЭДС индукции $\mathcal{E} = -d\Phi/dt = 2\pi\nu BNS \sin(2\pi\nu t + \varphi)$.
4. Под действием этой ЭДС в замкнутой цепи с диодом по закону Ома возникнет «пульсирующий» ток, график зависимости силы которого от времени будет представлять последовательность верхних полупериодов синуса (нижние полупериоды, соответствующие отрицательным значениям силы тока, будут «отрезаться» диодом, поскольку он пропускает ток только в положительном направлении). Этот «пульсирующий» ток зарядит конденсатор до постоянного амплитудного значения ЭДС, равного $U_{\max} = 2\pi\nu BNS$, которое и измеряется вольтметром. Если в дальнейшем B будет изменяться (например, уменьшаться из-за удаления магнита от катушки), то через большое сопротивление вольтметра «лишний» заряд с конденсатора сможет медленно стекать, и будут устанавливаться новые показания вольтметра.

5. Таким образом, искомое значение B можно определить по формуле:
 $B = U/(2\pi\nu NS)$.

6. Подставляя численные данные из условия задачи в системе СИ, получаем:
 $B = 0,5/(2 \cdot 3,14 \cdot 100 \cdot 50 \cdot 20 \cdot 10^{-6}) \approx 0,796 \text{ Тл} \approx 0,8 \text{ Тл}$.

Критерии оценивания выполнения задания	Баллы
<p>Приведено полное решение, включающее следующие элементы:</p> <p>I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, <u>применение которых необходимо</u> для решения задачи выбранным способом (в данном случае: <i>выражение для потока вектора магнитной индукции, закон электромагнитной индукции Фарадея, закон Ома для замкнутой цепи, свойства идеального диода</i>);</p> <p>II) описаны все вновь вводимые в решении буквенные обозначения физических величин (<i>за исключением обозначений констант, указанных в варианте КИМ, обозначений величин, используемых в условии задачи, и стандартных обозначений величин, используемых при написании физических законов</i>);</p> <p>III) проведены необходимые математические преобразования и расчёты (подстановка числовых данных в конечную формулу), приводящие к правильному числовому ответу (допускается решение «по частям» с промежуточными вычислениями);</p> <p>IV) представлен правильный ответ с указанием единиц измерения искомой величины</p>	3
<p>Правильно записаны все необходимые положения теории, физические законы, закономерности, и проведены необходимые преобразования, но имеется один или несколько из следующих недостатков.</p> <p>Записи, соответствующие пункту II, представлены не в полном объёме или отсутствуют.</p> <p style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>В решении имеются лишние записи, не входящие в решение (возможно, неверные), которые не отделены от решения и не зачёркнуты.</p> <p style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>В необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) в математических преобразованиях/вычислениях пропущены логически важные шаги.</p> <p style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>Отсутствует пункт IV, или в нём допущена ошибка (в том числе в записи единиц измерения величины)</p>	2
<p>Представлены записи, соответствующие <u>одному</u> из следующих случаев.</p> <p>Представлены только положения и формулы, выражающие физические законы, применение которых необходимо для решения</p>	1

данной задачи, без каких-либо преобразований с их использованием, направленных на решение задачи. ИЛИ В решении отсутствует ОДНА из исходных формул, необходимая для решения данной задачи (или утверждение, лежащее в основе решения), но присутствуют логически верные преобразования с имеющимися формулами, направленные на решение задачи. ИЛИ В ОДНОЙ из исходных формул, необходимых для решения данной задачи (или в утверждении, лежащем в основе решения), допущена ошибка, но присутствуют логически верные преобразования с имеющимися формулами, направленные на решение задачи	
Все случаи решения, которые не соответствуют вышеуказанным критериям выставления оценок в 1, 2, 3 балла	0
<i>Максимальный балл</i>	3

29

Воздушная призма с преломляющим углом $\alpha = 0,1^\circ$, ограниченная двумя тонкими стеклянными пластинками, лежит на горизонтальной зачерненной плоскости. Сверху, из воздуха, на её переднюю наклонную грань падает вертикальный параллельный пучок монохроматического света с длиной волны $\lambda_1 = 546$ нм (зелёная линия ртути). После отражения света от призмы на её верхней поверхности наблюдается система светлых и тёмных полос, параллельных ребру призмы. На сколько изменится расстояние между соседними светлыми полосами, если для их наблюдения начать использовать свет с длиной волны $\lambda_2 = 589$ нм (жёлтая линия натрия)?

Возможное решение

- 1) Светлые и тёмные полосы, наблюдаемые на верхней поверхности призмы, возникают из-за интерференции лучей, отражённых от верхней и нижней стеклянных пластинок призмы.
- 2) Условие наблюдения светлой полосы на расстоянии x от ребра призмы имеет вид $\Delta_{\text{св}} = m\lambda$, тёмной – $\Delta_{\text{т}} = (m + 1/2)\lambda$, следующей светлой – $\Delta_{\text{св}} = (m + 1)\lambda$, так что на периоде полос разность хода Δ лучей меняется на λ .
- 3) Ввиду малости преломляющего угла α воздушной призмы с показателем преломления $n \approx 1$ и малой толщины стеклянных пластинок, образующих её грани, можно считать, что $\Delta \approx 2d$, где толщина слоя воздуха d между пластинками пропорциональна расстоянию от ребра призмы: $d \approx \alpha x$.
- 4) Отсюда получаем, что изменение разности хода лучей на периоде полос равно $2\alpha \delta x = \lambda$, и период полос равен $\delta x = \lambda / (2\alpha)$.
- 5) Изменение ширины интерференционных полос при замене источника света со ртутного на натриевый равно, таким образом, $\delta x_2 - \delta x_1 = (\lambda_2 - \lambda_1) / (2\alpha)$.
- 6) Окончательно получаем, подставляя численные данные из условия (с учётом того, что $\alpha = 0,1^\circ = \pi / 1800 \approx 1,7444 \cdot 10^{-3}$):

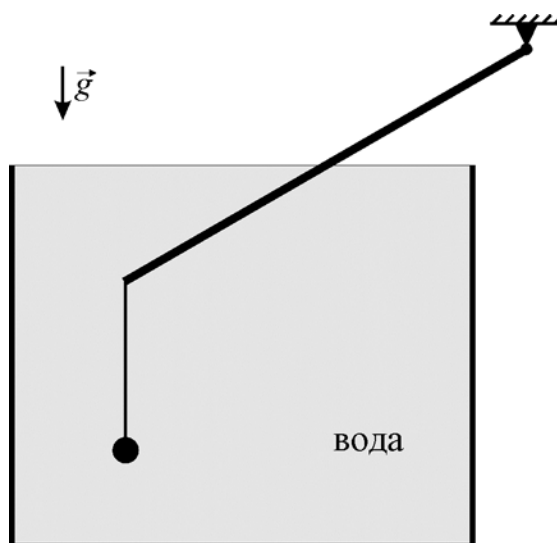
$$\delta x_2 - \delta x_1 = (\lambda_2 - \lambda_1)/(2\alpha) \approx (589 - 546) \cdot 10^{-9} / (2 \cdot 1,7444 \cdot 10^{-3}) \approx 12,3 \text{ мкм.}$$

Критерии оценивания выполнения задания	Баллы
<p>Приведено полное решение, включающее следующие элементы:</p> <p>I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, <u>применение которых необходимо</u> для решения задачи выбранным способом (в данном случае: <i>причина возникновения интерференционной картины, условие наблюдения максимума интерференционной картины, преломление света на призме с малым преломляющим углом</i>);</p> <p>II) описаны все вновь вводимые в решении буквенные обозначения физических величин (<i>за исключением обозначений констант, указанных в варианте КИМ, обозначений величин, используемых в условии задачи, и стандартных обозначений величин, используемых при написании физических законов</i>);</p> <p>III) представлены необходимые математические преобразования и расчёты (подстановка числовых данных в конечную формулу), приводящие к правильному числовому ответу (допускается решение «по частям» с промежуточными вычислениями);</p> <p>IV) представлен правильный ответ</p>	3
<p>Правильно записаны все необходимые положения теории, физические законы, закономерности, и проведены необходимые преобразования, но имеется один или несколько из следующих недостатков.</p> <p>Записи, соответствующие пункту II, представлены не в полном объёме или отсутствуют.</p> <p style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>В решении имеются лишние записи, не входящие в решение (возможно, неверные), которые не отделены от решения и не зачёркнуты.</p> <p style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>В необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) в математических преобразованиях/вычислениях пропущены логически важные шаги.</p> <p style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>Отсутствует пункт IV, или в нём допущена ошибка</p>	2
<p>Представлены записи, соответствующие <u>одному</u> из следующих случаев.</p> <p>Представлены только положения и формулы, выражающие физические законы, применение которых необходимо и достаточно для решения данной задачи, без каких-либо преобразований с их использованием, направленных на решение задачи.</p> <p style="text-align: center;">ИЛИ</p> <p>В решении отсутствует ОДНА из исходных формул, необходимая для решения данной задачи (или утверждение, лежащее в основе</p>	1

решения), но присутствуют логически верные преобразования с имеющимися формулами, направленные на решение задачи. ИЛИ В ОДНОЙ из исходных формул, необходимых для решения данной задачи (или в утверждении, лежащем в основе решения), допущена ошибка, но присутствуют логически верные преобразования с имеющимися формулами, направленные на решение задачи	
Все случаи решения, которые не соответствуют вышеуказанным критериям выставления оценок в 1, 2, 3 балла	0
<i>Максимальный балл</i>	3

30

Изготовленная из соснового дерева тонкая прямая однородная палочка объёмом $V_0 = 27,2 \text{ см}^3$ закреплена за свой верхний конец на горизонтальной оси, вокруг которой она может вращаться в вертикальной плоскости. К нижнему концу этой палочки на тонкой лёгкой нити привязан алюминиевый шарик. Шарик и нижняя часть палочки погружены в сосуд с водой, причём ниже уровня воды располагается ровно половина палочки, и шарик не касается дна сосуда. При этом палочка наклонена под некоторым углом к горизонту, и вся система находится в равновесии. Сделайте рисунок с указанием сил, действующих на палочку и на шарик. Найдите объём V шарика. Обоснуйте применимость используемых законов к решению задачи.



Возможное решение

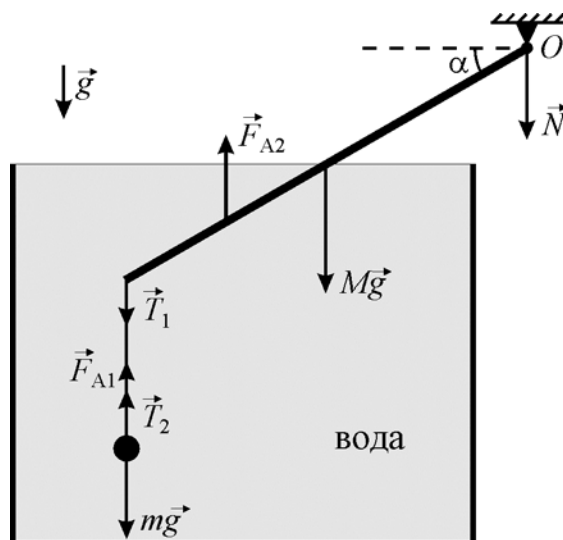
Обоснование

1. Систему отсчёта, связанную с Землёй, будем считать инерциальной (ИСО).
2. Будем считать палочку абсолютно твёрдым телом. Условие равновесия твёрдого тела, которое может вращаться вокруг некоторой оси – равенство нулю суммы моментов всех сил, приложенных к телу, относительно этой оси.
3. Палочка тонкая, поэтому объём погруженной в воду части палочки можно считать прямо пропорциональным длине этой части.

4. Нить тонкая, поэтому можно пренебречь действующей на неё силой Архимеда.
5. Нить лёгкая, поэтому модуль силы натяжения нити в любой её точке одинаков, в частности: $|\vec{T}_1| = |\vec{T}_2| = T$ (см. рисунок в решении).
6. Груз не касается дна сосуда, поэтому на него со стороны этого дна не действует сила реакции.

Решение

1. Покажем на рисунке силы, действующие на палочку и на шарик. На палочку массой M действуют приложенная к её середине сила тяжести $M\vec{g}$, приложенная к середине погруженной части сила Архимеда \vec{F}_{A2} , сила натяжения нити \vec{T}_1 , и сила реакции оси \vec{N} (направление этой силы может быть противоположным, но для решения данной задачи это несущественно). На шарик массой m действуют сила тяжести $m\vec{g}$, сила Архимеда \vec{F}_{A1} и сила натяжения нити \vec{T}_2 .



2) Направим ось Ox вниз и запишем условие равновесия шарика (второй закон Ньютона) в проекции на эту ось: $mg = F_{A1} + T$. Учтем, что $F_{A1} = \rho_0 g V$ и $m = \rho_1 V$, где V – искомый объём шарика, $\rho_0 = 1 \text{ г/см}^3$ – плотность воды, $\rho_1 = 2,7 \text{ г/см}^3$ – плотность алюминия.

3) Пусть палочка длиной L в равновесном состоянии составляет с горизонтом угол α . Запишем для палочки уравнение моментов относительно её оси вращения O , считая положительным направлением вращения поворот против часовой стрелки:

$$Mg \frac{L}{2} \cos \alpha + TL \cos \alpha - F_{A2} \frac{3L}{4} \cos \alpha = 0.$$

Учтем, что $M = \rho_2 V_0$, где $\rho_2 = 0,4 \text{ г/см}^3$ – плотность соснового дерева и $F_{A2} = \rho_0 g V_0 / 2$.

4) Выражая силу натяжения нити $T = gV(\rho_1 - \rho_0)$, и подставляя её в уравнение моментов, получим:

$$\frac{1}{2} \rho_2 V_0 + V(\rho_1 - \rho_0) - \frac{3}{4} \cdot \frac{\rho_0 V_0}{2} = 0.$$

Отсюда

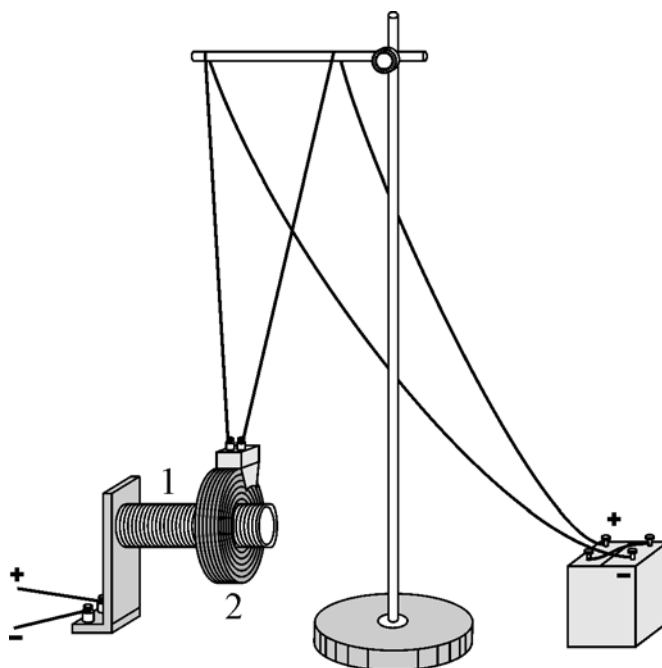
$$V = \frac{3\rho_0 - 4\rho_2}{8(\rho_1 - \rho_0)} V_0 = \frac{3 \cdot 1 - 4 \cdot 0,4}{8 \cdot (2,7 - 1)} \cdot 27,2 = 2,8 \text{ см}^3.$$

Критерии оценивания выполнения задания	Баллы
Критерий 1	
Верно обоснована возможность использования законов (закономерностей). В данном случае: выбор инерциальной системы отсчёта, модель твёрдого тела, учёт следствий тонкости палочки, тонкости и невесомости нити.	1
В обосновании отсутствует один или несколько из элементов. ИЛИ В обосновании допущена ошибка. ИЛИ Обоснование отсутствует	0
Критерий 2	
I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, <u>применение которых необходимо</u> для решения задачи выбранным способом (в данном случае: второй закон Ньютона для шарика, уравнение моментов сил для палочки, выражение для модуля силы Архимеда, связь между массой, объёмом и плотностью); II) сделан правильный рисунок с указанием сил, действующих на тела; III) описаны все вновь вводимые в решении буквенные обозначения физических величин (за исключением обозначений констант, указанных в варианте КИМ, обозначений величин, используемых в условии задачи, и стандартных обозначений величин, используемых при написании физических законов); IV) проведены необходимые математические преобразования и расчёты (подстановка числовых данных в конечную формулу), приводящие к правильному числовому ответу (допускается решение «по частям» с промежуточными вычислениями); V) представлен правильный ответ с указанием единиц измерения искомой величины.	3
Правильно записаны все необходимые положения теории, физические законы, закономерности, и проведены необходимые преобразования, но имеется один или несколько из следующих недостатков. Записи, соответствующие пунктам II и III, представлены не в полном объёме или отсутствуют. И (ИЛИ) В решении имеются лишние записи, не входящие в решение (возможно, неверные), которые не отделены от решения и не зачёркнуты.	2

<p style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>В необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) в математических преобразованиях/вычислениях пропущены логически важные шаги.</p> <p style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>Отсутствует пункт V, или в нём допущена ошибка (в том числе в записи единиц измерения величины)</p>	
<p>Представлены записи, соответствующие одному из следующих случаев.</p> <p>Представлены только положения и формулы, выражающие физические законы, применение которых необходимо для решения данной задачи, без каких-либо преобразований с их использованием, направленных на решение задачи.</p> <p style="text-align: center;">ИЛИ</p> <p>В решении отсутствует ОДНА из исходных формул, необходимая для решения данной задачи (или утверждение, лежащее в основе решения), но присутствуют логически верные преобразования с имеющимися формулами, направленные на решение задачи.</p> <p style="text-align: center;">ИЛИ</p> <p>В ОДНОЙ из исходных формул, необходимых для решения данной задачи (или в утверждении, лежащем в основе решения), допущена ошибка, но присутствуют логически верные преобразования с имеющимися формулами, направленные на решение задачи</p>	1
<p>Все случаи решения, которые не соответствуют вышеуказанным критериям выставления оценок в 1, 2, 3 балла</p>	0
<i>Максимальный балл</i>	<i>4</i>

Критерии оценивания заданий с развёрнутым ответом**24**

Для демонстрации магнитного взаимодействия двух катушек с протекающими в них электрическими токами профессор Московского университета А. А. Эйхенвальд предложил следующий опыт. Катушка № 1 обладает длинным цилиндрическим сердечником, на который намотано много витков изолированного провода. Эта катушка неподвижно крепится на столе так, чтобы ось её сердечника была расположена горизонтально. Катушка № 2 намотана на лёгкий кольцевой каркас, внутренний диаметр которого немного превышает диаметр сердечника катушки № 1. К катушке № 2 подсоединяются два тонких гибких провода, на которых она, подобно маятнику, подвешивается к штативу. Эти провода позволяют свободно висящей катушке № 2 вращаться вокруг вертикальной оси и совершать колебания. Длина проводов и расположение штатива подбираются так, чтобы катушка № 2 висела вблизи торца сердечника катушки № 1 и могла свободно надеваться на эту катушку. При этом горизонтальные оси катушек совсем немного не совпадают друг с другом.



Сначала через эти две катушки пропускают постоянные электрические токи таким образом, чтобы между ними возникли силы магнитного притяжения. В результате этого катушка № 2 притягивается к катушке № 1 и надевается на неё (см. рис.). Затем направление протекания тока в катушке № 2 изменяют на противоположное, а ток, текущий через катушку № 1, оставляют прежним. Опишите, что после этого будет происходить с катушкой № 2. Ответ поясните, указав, какие физические закономерности Вы использовали для объяснения.

Возможное решение

1) При протекании постоянного электрического тока через катушки каждая из них ведёт себя как постоянный магнит. Полюса этих магнитов расположены на торцах катушек. В исходном положении между катушками

действуют силы магнитного притяжения. Следовательно, катушки ориентированы друг к другу разноимёнными магнитными полюсами, то есть токи в катушках текут в одном направлении.

2) После изменения направления тока, текущего в катушке № 2, её магнитные полюса поменяются местами. Поэтому катушки окажутся ориентированными друг к другу одноименными магнитными полюсами, и между катушками возникнет отталкивание. Под действием силы отталкивания катушка № 2 «снимется» с сердечника катушки № 1, приобретя при этом некоторую скорость.

3) Затем катушка № 2 начнёт колебаться на своих проводах в магнитном поле катушки № 1, удаляясь от неё. Однако, положение двух постоянных магнитов, при котором их одноименные магнитные полюса ориентированы навстречу друг другу, является неустойчивым. Поскольку оси катушек немного не совпадают друг с другом, а магнитное поле, создаваемое катушкой № 1 вблизи торца сердечника, является неоднородным, в процессе колебаний катушка № 2 будет немного поворачиваться вокруг вертикальной оси. Даже при небольшом повороте на катушку № 2 начнёт действовать со стороны магнитного поля катушки № 1 момент сил, под действием которого катушка № 2 будет продолжать разворачиваться вокруг вертикальной оси, и в итоге она развернется на 180° . После этого катушки снова окажутся ориентированными друг к другу разноимёнными магнитными полюсами.

4) В результате катушки вновь начнут притягиваться друг к другу, и катушка № 2 опять наденется на катушку № 1. Это расположение катушек будет устойчивым.

Критерии оценивания выполнения задания	Баллы
Приведено полное правильное решение, включающее полное верное объяснение (в данном случае: п. 1, 2, 3) с указанием наблюдаемых явлений и законов (в данном случае: <i>эквивалентность постоянного магнита и катушки с постоянным током, закономерности притяжения и отталкивания магнитов при различном относительном расположении магнитных полюсов, смена магнитных полюсов при изменении направления протекания тока в катушке, неустойчивость положения двух катушек при их ориентации одноименными полюсами навстречу друг другу</i>) и правильный ответ (в данном случае – п. 4).	3
Дан правильный ответ, и приведено объяснение, но в решении имеется один или несколько из следующих недостатков. В объяснении не указано или не используется одно из физических явлений, свойств, определений или один из законов (формул), необходимых для полного верного объяснения. (Утверждение, лежащее в основе объяснения, не подкреплено соответствующим законом, свойством, явлением, определением и т.п.) И (ИЛИ)	2

<p>Указаны все необходимые для объяснения явления и законы, закономерности, но в них содержится один логический недочёт.</p> <p style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>В решении имеются лишние записи, не входящие в решение (возможно, неверные), которые не отделены от решения и не зачёркнуты.</p> <p style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>В решении имеется неточность в указании на одно из физических явлений, свойств, определений, законов (формул), необходимых для полного верного объяснения</p>	
<p>Представлено решение, соответствующее одному из следующих случаев.</p> <p>Дан правильный ответ на вопрос задания, и приведено объяснение, но в нём не указаны два явления или физических закона, необходимых для полного верного объяснения.</p> <p style="text-align: center;">ИЛИ</p> <p>Указаны все необходимые для объяснения явления и законы, закономерности, но имеющиеся рассуждения, направленные на получение ответа на вопрос задания, не доведены до конца.</p> <p style="text-align: center;">ИЛИ</p> <p>Указаны все необходимые для объяснения явления и законы, закономерности, но имеющиеся рассуждения, приводящие к ответу, содержат ошибки.</p> <p style="text-align: center;">ИЛИ</p> <p>Указаны не все необходимые для объяснения явления и законы, закономерности, но имеются верные рассуждения, направленные на решение задачи</p>	1
<p>Все случаи решения, которые не соответствуют вышеуказанным критериям выставления оценок в 1, 2, 3 балла</p>	0
<i>Максимальный балл</i>	3

25

Школьник сел в электробус, чтобы доехать до школы. На улице накрапывал дождик, но на вертикальные лобовые стекла кабины водителя капли во время остановки не попадали. Когда электробус тронулся и начал ускоряться, на лобовые стекла кабины капли дождя стали попадать, и тем чаще, чем выше становилась скорость электробуса, что заставляло водителя периодически включать «дворники». До какой скорости V разогнался электробус за время $t = 30$ с при равноускоренном движении от остановки, если за время разгона на лобовые стекла попало $N = 62500$ капель дождя, площадь стекол равна $S = 1,5$ м², а концентрация капель в воздухе составляла $n = 250$ м⁻³? Можно считать, что до столкновения со стеклом кабины скорость капель остаётся такой же, как и вдалеке от электробуса.

Возможное решение

1. Из условия следует, что капли падали вертикально во все время разгона электробуса, а их концентрация в воздухе не менялась.
2. Число ΔN капель, попадающих на стекла кабины за малый промежуток времени Δt , равно произведению их концентрации n на объём слоя воздуха, «заметаемый» стеклами. Этот объём равен произведению площади S стекол на перемещение электробуса $\Delta x = u\Delta t$, равное его пути, пройденному за это время со скоростью u : $\Delta N = nSu\Delta t = nS\Delta x$.
3. Полное число попавших на стекла капель при движении в одном направлении, таким образом, пропорционально полному пути x , то есть $N = nSx$.
4. Для равноускоренного разгона точки от нулевой начальной скорости до скорости V справедливо следующее кинематическое соотношение для полного пути: $x = Vt/2$.
5. Таким образом, полное число капель равно $N = nSVt/2$, а скорость $V = 2N/(nSt)$.
6. Подставляя данные из условия в полученное выражение, имеем окончательно с учётом того, что $1 \text{ м/с} = 3,6 \text{ км/ч}$:

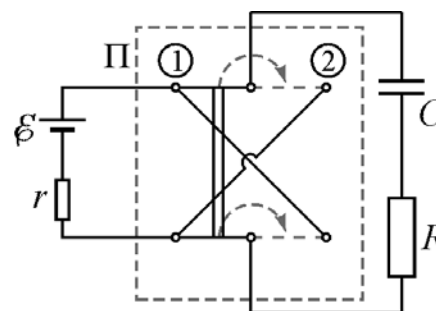
$$V = 2N/(nSt) = 2 \cdot 62500 / (250 \cdot 1,5 \cdot 30) \approx 11,11 \text{ м/с} \approx 40 \text{ км/ч}.$$

Критерии оценивания выполнения задания	Баллы
<p>Приведено полное решение, включающее следующие элементы:</p> <p>I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, <u>применение которых необходимо</u> для решения задачи выбранным способом (в данном случае: <i>связь числа частиц с их концентрацией и объёмом, который они занимают; кинематическая формула для связи пройденного пути и времени при равномерном прямолинейном движении; кинематическая формула для связи пройденного пути, конечной скорости и времени для равноускоренного движения в одном направлении</i>);</p> <p>II) описаны все вновь вводимые в решении буквенные обозначения физических величин (за исключением обозначений констант, указанных в варианте КИМ, обозначений, используемых в условии задачи, и стандартных обозначений величин, используемых при написании физических законов);</p> <p>III) представлены необходимые математические преобразования и расчёты (подстановка числовых данных в конечную формулу), приводящие к правильному числовому ответу (допускается решение «по частям» с промежуточными вычислениями);</p> <p>IV) представлен правильный ответ с указанием единиц измерения искомой величины</p>	2
Правильно записаны все необходимые положения теории, физические законы, закономерности, и проведены преобразования, направленные на решение задачи, но имеется один или несколько	1

из следующих недостатков. Записи, соответствующие пункту II, представлены не в полном объёме или отсутствуют. И (ИЛИ) В решении имеются лишние записи, не входящие в решение (возможно, неверные), которые не отделены от решения и не зачёркнуты. И (ИЛИ) В необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) в математических преобразованиях/вычислениях пропущены логически важные шаги. И (ИЛИ) Отсутствует пункт IV, или в нём допущена ошибка (в том числе в записи единиц измерения величины)	
Все случаи решения, которые не соответствуют вышеуказанным критериям выставления оценок в 1 или 2 балла	0
<i>Максимальный балл</i>	2

26

На рисунке показана схема электрической цепи, состоящей из батареи с ЭДС $\mathcal{E} = 12$ В и внутренним сопротивлением $r = 0,8$ кОм, конденсатора ёмкостью $C = 5$ мкФ, резистора с сопротивлением $R = 4,2$ кОм и переключателя П полярности источника питания. Вначале переключатель был в положении 1, а конденсатор был полностью заряжен от батареи, и ток в цепи отсутствовал. Какое количество теплоты Q_r выделится во внутреннем сопротивлении r батареи за большое время после перевода переключателя в положение 2?



Возможное решение

- Из закона сохранения энергии для замкнутой электрической цепи имеем: $\mathcal{E}\Delta q = \Delta Q_{\text{Дж-Л}} + \Delta W_{\text{эл}} + \Delta A_{\text{мех}}$, то есть работа источника $\mathcal{E}\Delta q$ (Δq – заряд, протекший по цепи) расходуется на выделение в резисторах количества теплоты $\Delta Q_{\text{Дж-Л}}$ по закону Джоуля-Ленца, изменение электростатической энергии $\Delta W_{\text{эл}}$ заряженного конденсатора и на механическую работу $\Delta A_{\text{мех}}$, если части цепи перемещаются.
- Как видно из схемы цепи, изображённой на рисунке, после «переплюсовки» батареи переключателем П конденсатор зарядится до такого же по модулю заряда $q = C\mathcal{E}$, но противоположного знака, и его энергия $W_{\text{эл}} = q^2/(2C)$ не изменится, так что $\Delta W_{\text{эл}} = 0$. Механическая работа не совершается, поэтому $\Delta A_{\text{мех}} = 0$.
- При перезарядке конденсатора по цепи протечет заряд $\Delta q = 2q = 2C\mathcal{E}$, работа батареи полностью преобразуется в количество теплоты и будет равна

$$\mathcal{E}\Delta q = 2C\mathcal{E}^2 = \Delta Q_{\text{Дж-Л.}}$$

4. Поскольку резисторы в цепи соединены последовательно и токи I через них одинаковы, то по закону Джоуля-Ленца полная рассеиваемая мощность равна $I^2(R + r)$, а на внутреннем сопротивлении r батареи выделяется доля общей мощности, равная $r/(R + r)$. Такая же доля полного количества теплоты выделится и в сопротивлении r .

5. Таким образом, искомое значение $Q_R = 2C\mathcal{E}^2r/(R + r)$.

6. Подставляя численные данные в системе СИ из условия задачи, окончательно получаем:

$$Q_r = 2C\mathcal{E}^2r/(R + r) = 2 \cdot 5 \cdot 10^{-6} \cdot 12^2 \cdot 0,8/5 \approx 230,4 \text{ мкДж.}$$

Критерии оценивания выполнения задания	Баллы
<p>Приведено полное решение, включающее следующие элементы:</p> <p>I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, <u>применение которых необходимо</u> для решения задачи выбранным способом (в данном случае: <i>закон сохранения энергии для замкнутой электрической цепи, выражение для работы батареи, закон Джоуля-Ленца, выражение для энергии заряженного конденсатора, правило расчёта сопротивления при последовательном соединении проводников, выражение для мощности тока</i>);</p> <p>II) описаны все вновь вводимые в решении буквенные обозначения физических величин (<i>за исключением обозначений констант, указанных в варианте КИМ, обозначений, используемых в условии задачи, и стандартных обозначений величин, используемых при написании физических законов</i>);</p> <p>III) представлены необходимые математические преобразования и расчёты (подстановка числовых данных в конечную формулу), приводящие к правильному числовому ответу (допускается решение «по частям» с промежуточными вычислениями);</p> <p>IV) представлен правильный ответ с указанием единиц измерения искомой величины</p>	2
<p>Правильно записаны все необходимые положения теории, физические законы, закономерности, и проведены преобразования, направленные на решение задачи, но имеется один или несколько из следующих недостатков.</p> <p>Записи, соответствующие пункту II, представлены не в полном объёме или отсутствуют.</p> <p style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>В решении имеются лишние записи, не входящие в решение (возможно, неверные), которые не отделены от решения и не зачёркнуты.</p> <p style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p>	1

В необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) в математических преобразованиях/вычислениях пропущены логически важные шаги. И (ИЛИ) Отсутствует пункт IV, или в нём допущена ошибка (в том числе в записи единиц измерения величины)	
Все случаи решения, которые не соответствуют вышеуказанным критериям выставления оценок в 1 или 2 балла	0
<i>Максимальный балл</i>	2

27

Вертикальный цилиндр объёмом $V_0 = 20$ л, заполненный воздухом с температурой $T = 20$ °С при атмосферном давлении $p_A = 10^5$ Па, закрыли сверху поршнем массой $m = 12$ кг и площадью $S = 300$ см², который может перемещаться по вертикали без трения. После того, как в системе установилось равновесие при той же постоянной температуре, в дне цилиндра образовалась течь. Через неё воздух начал медленно выходить наружу, в атмосферу, со скоростью потери количества вещества v в цилиндре, пропорциональной разности давлений $(p - p_A)$ в цилиндре и в окружающей атмосфере и равной $\Delta v/\Delta t = \alpha(p - p_A)$, где коэффициент пропорциональности $\alpha = 4,3 \cdot 10^{-8}$ моль/(Па·с). Процесс вытекания газа можно считать изотермическим, происходящим при той же температуре $T = 20$ °С. Через какое время t из цилиндра выйдет весь воздух?

Возможное решение

- 1) Поскольку процесс медленный, то вес поршня mg уравнивается разностью сил давления воздуха на него снизу и сверху: $mg = (p - p_A) \cdot S$, откуда $p - p_A = mg/S = \text{const}$.
- 2) Таким образом, скорость потери количества вещества в цилиндре $\Delta v/\Delta t = \alpha(p - p_A) = \alpha mg/S = \text{const}$.
- 3) За малый промежуток времени Δt убыль числа молей воздуха в цилиндре равна $\Delta v = (\alpha mg/S) \cdot \Delta t$.
- 4) За все время t из цилиндра вытечет число молей $v_0 = (\alpha mg/S) \cdot t$, где начальное число молей v_0 можно найти из уравнения Клапейрона – Менделеева $pV = \nu RT$, зная начальный объём V_0 , начальное давление p_A и температуру T : $v_0 = p_A V_0/RT$.
- 5) Подставляя это выражение для v_0 в выведенную выше формулу, получаем: $p_A V_0/RT = (\alpha mg/S) \cdot t$, откуда искомое время равно $t = p_A V_0 S/(\alpha RTmg)$.
- 6) Переводя численные данные из условия в систему СИ и подставляя их в формулу для t , окончательно находим:

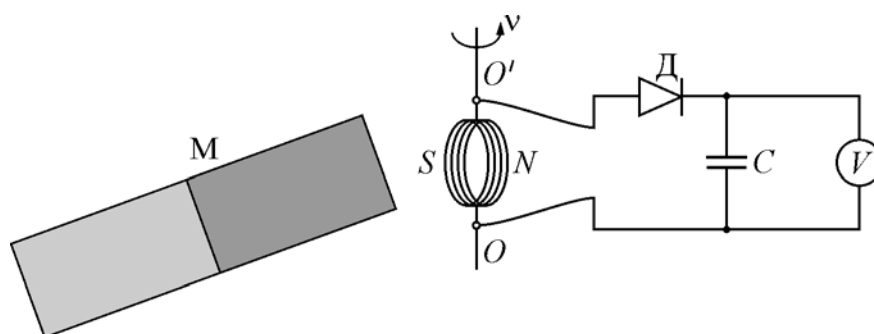
$$t = p_A V_0 S/(\alpha RTmg) = 10^5 \cdot 20 \cdot 10^{-3} \cdot 300 \cdot 10^{-4} / (4,3 \cdot 10^{-8} \cdot 8,31 \cdot 293 \cdot 12 \cdot 10) \approx 4775,7 \text{ с} \approx 80 \text{ мин} = 1 \text{ час } 20 \text{ мин.}$$

Критерии оценивания выполнения задания	Баллы
<p>Приведено полное решение, включающее следующие элементы:</p> <p>I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, <u>применение которых необходимо</u> для решения задачи выбранным способом (в данном случае: <i>формула для силы давления, условие равновесия тяжёлого поршня, уравнение Клапейрона – Менделеева</i>);</p> <p>II) описаны все вновь вводимые в решении буквенные обозначения физических величин (<i>за исключением обозначений констант, указанных в варианте КИМ, обозначений величин, используемых условию задачи, и стандартных обозначений величин, используемых при написании физических законов</i>);</p> <p>III) представлены необходимые математические преобразования и расчёты (подстановка числовых данных в конечную формулу), приводящие к правильному числовому ответу (допускается решение «по частям» с промежуточными вычислениями);</p> <p>IV) представлен правильный ответ</p>	3
<p>Правильно записаны все необходимые положения теории, физические законы, закономерности, и проведены необходимые преобразования, но имеется один или несколько из следующих недостатков.</p> <p>Записи, соответствующие пункту II, представлены не в полном объёме или отсутствуют.</p> <p style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>В решении имеются лишние записи, не входящие в решение (возможно, неверные), которые не отделены от решения и не зачёркнуты.</p> <p style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>В необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) в математических преобразованиях/вычислениях пропущены логически важные шаги.</p> <p style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>Отсутствует пункт IV, или в нём допущена ошибка</p>	2
<p>Представлены записи, соответствующие <u>одному</u> из следующих случаев.</p> <p>Представлены только положения и формулы, выражающие физические законы, применение которых необходимо и достаточно для решения данной задачи, без каких-либо преобразований с их использованием, направленных на решение задачи.</p> <p style="text-align: center;">ИЛИ</p> <p>В решении отсутствует ОДНА из исходных формул, необходимая для решения данной задачи (или утверждение, лежащее в основе решения), но присутствуют логически верные преобразования с имеющимися формулами, направленные на решение задачи.</p>	1

ИЛИ	
В ОДНОЙ из исходных формул, необходимых для решения данной задачи (или в утверждении, лежащем в основе решения), допущена ошибка, но присутствуют логически верные преобразования с имеющимися формулами, направленные на решение задачи	
Все случаи решения, которые не соответствуют вышеуказанным критериям выставления оценок в 1, 2, 3 балла	0
<i>Максимальный балл</i>	3

28

Для измерения модуля индукции B постоянного магнитного поля иногда применяют магнитометр с вращающейся с известной частотой ν маленькой катушкой с известным числом витков N и площадью витка S , которую помещают в исследуемую область поля. К катушке через скользящие контакты подключают измерительную цепь (см. рисунок), состоящую из последовательно соединенных идеального диода D и конденсатора ёмкостью C , к которому подключён параллельно почти идеальный вольтметр V с достаточно большим сопротивлением. Объясните, как должна располагаться ось OO' вращения катушки относительно вектора \vec{B} поля (например, создаваемого постоянным магнитом M), чтобы можно было правильно найти величину B . Что будет показывать вольтметр в случае, когда $\nu = 80$ Гц, $N = 100$, $S = 25$ мм², а $B = 0,64$ Тл?



Возможное решение

- Для того, чтобы изменение магнитного потока через катушку при её вращении имело максимальную амплитуду, пропорциональную B , необходимо расположить ось вращения OO' перпендикулярно линиям индукции \vec{B} (в нашем случае – поперек длинной оси магнита M).
- Полный поток вектора магнитной индукции Φ через катушку при этом будет изменяться при её вращении с частотой ν в пределах от $+BNS$ до $-BNS$ по закону $\Phi(t) = BNS \cos(2\pi\nu t + \varphi)$, где φ – некоторая начальная фаза, определяемая начальным положением катушки.
- По закону электромагнитной индукции Фарадея в катушке будет возникать при этом ЭДС индукции $\mathcal{E} = -d\Phi/dt = 2\pi\nu BNS \sin(2\pi\nu t + \varphi)$.
- Под действием этой ЭДС в замкнутой цепи с диодом по закону Ома возникнет «пульсирующий» ток, график зависимости силы которого от времени будет представлять последовательность верхних полупериодов

синуса (нижние полупериоды, соответствующие отрицательным значениям силы тока, будут «отрезаться» диодом, поскольку он пропускает ток только в положительном направлении). Этот «пульсирующий» ток зарядит конденсатор до постоянного амплитудного значения ЭДС, равного $U_{\max} = 2\pi\nu BNS$, которое и измеряется вольтметром. Если в дальнейшем B будет изменяться (например, уменьшаться из-за удаления магнита от катушки), то через большое сопротивление вольтметра «лишний» заряд с конденсатора сможет медленно стекать, и будут устанавливаться новые показания вольтметра.

5. Таким образом, искомое значение U можно определить по формуле: $U = 2\pi\nu BNS$.

6. Подставляя численные данные из условия задачи в системе СИ, получаем: $U = 2 \cdot 3,14 \cdot 80 \cdot 0,64 \cdot 100 \cdot 25 \cdot 10^{-6} \approx 0,8 \text{ В}$.

Критерии оценивания выполнения задания	Баллы
<p>Приведено полное решение, включающее следующие элементы:</p> <p>I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, <u>применение которых необходимо</u> для решения задачи выбранным способом (в данном случае: <i>выражение для потока вектора магнитной индукции, закон электромагнитной индукции Фарадея, закон Ома для замкнутой цепи, свойства идеального диода</i>);</p> <p>II) описаны все вновь вводимые в решении буквенные обозначения физических величин (<i>за исключением обозначений констант, указанных в варианте КИМ, обозначений величин, используемых в условии задачи, и стандартных обозначений величин, используемых при написании физических законов</i>);</p> <p>III) проведены необходимые математические преобразования и расчёты (подстановка числовых данных в конечную формулу), приводящие к правильному числовому ответу (допускается решение «по частям» с промежуточными вычислениями);</p> <p>IV) представлен правильный ответ с указанием единиц измерения искомой величины</p>	3
<p>Правильно записаны все необходимые положения теории, физические законы, закономерности, и проведены необходимые преобразования, но имеется один или несколько из следующих недостатков.</p> <p>Записи, соответствующие пункту II, представлены не в полном объёме или отсутствуют.</p> <p style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>В решении имеются лишние записи, не входящие в решение (возможно, неверные), которые не отделены от решения и не зачёркнуты.</p> <p style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p>	2

В необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) в математических преобразованиях/вычислениях пропущены логически важные шаги. И (ИЛИ) Отсутствует пункт IV, или в нём допущена ошибка (в том числе в записи единиц измерения величины)	
Представлены записи, соответствующие одному из следующих случаев. Представлены только положения и формулы, выражающие физические законы, применение которых необходимо для решения данной задачи, без каких-либо преобразований с их использованием, направленных на решение задачи. ИЛИ В решении отсутствует ОДНА из исходных формул, необходимая для решения данной задачи (или утверждение, лежащее в основе решения), но присутствуют логически верные преобразования с имеющимися формулами, направленные на решение задачи. ИЛИ В ОДНОЙ из исходных формул, необходимых для решения данной задачи (или в утверждении, лежащем в основе решения), допущена ошибка, но присутствуют логически верные преобразования с имеющимися формулами, направленные на решение задачи	1
Все случаи решения, которые не соответствуют вышеуказанным критериям выставления оценок в 1, 2, 3 балла	0
<i>Максимальный балл</i>	<i>3</i>

29

Воздушная призма с преломляющим углом $\alpha = 0,05^\circ$, ограниченная двумя тонкими стеклянными пластинками, лежит на горизонтальной зачерненной плоскости. Сверху, из воздуха, на её переднюю наклонную грань падает вертикальный параллельный пучок монохроматического света ртутной лампы с длиной волны $\lambda_1 = 436$ нм. После отражения света от призмы на её верхней поверхности наблюдается система светлых и тёмных полос, параллельных ребру призмы. На сколько изменится расстояние между соседними темными полосами, если для наблюдения картины начать использовать свет с длиной волны $\lambda_2 = 691$ нм?

Возможное решение

- 1) Светлые и тёмные полосы, наблюдаемые на верхней поверхности призмы, возникают из-за интерференции лучей, отражённых от верхней и нижней стеклянных пластинок призмы.
- 2) Условие наблюдения тёмной полосы на расстоянии x от ребра призмы имеет вид $\Delta_T = (m - 1/2)\lambda$, светлой – $\Delta_{св} = m\lambda$, следующей тёмной – $\Delta_T = (m + 1/2)\lambda$, так что на периоде полос разность хода Δ лучей меняется на λ .

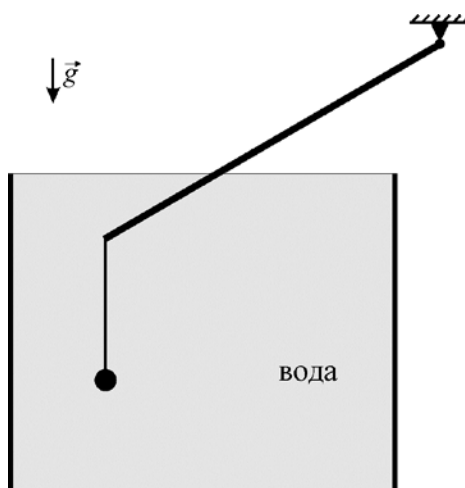
- 3) Ввиду малости преломляющего угла α воздушной призмы с показателем преломления $n \approx 1$ и малой толщины стеклянных пластинок, образующих её грани, можно считать, что $\Delta \approx 2d$, где толщина слоя воздуха d между пластинками пропорциональна расстоянию от ребра призмы: $d \approx \alpha x$.
- 4) Отсюда получаем, что изменение разности хода лучей на периоде полос равно $2\alpha \delta x = \lambda$, и период полос равен $\delta x = \lambda / (2\alpha)$.
- 5) Изменение ширины интерференционных полос при замене источника света равно, таким образом, $\delta x_2 - \delta x_1 = (\lambda_2 - \lambda_1) / (2\alpha)$.
- 6) Окончательно получаем, подставляя численные данные из условия (с учётом того, что $\alpha = 0,05^\circ = \pi / 3600 \approx 0,8722 \cdot 10^{-3}$ радиана):
- $$\Delta \delta_2 - \delta x_1 = (\lambda_2 - \lambda_1) / (2\alpha) \approx (691 - 436) \cdot 10^{-9} / (2 \cdot 0,8722 \cdot 10^{-3}) \approx 146,2 \text{ мкм}$$

Критерии оценивания выполнения задания	Баллы
<p>Приведено полное решение, включающее следующие элементы:</p> <p>I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, <u>применение которых необходимо</u> для решения задачи выбранным способом (в данном случае: <i>причина возникновения интерференционной картины, условие наблюдения минимума интерференционной картины, преломление света на призме с малым преломляющим углом</i>);</p> <p>II) описаны все вновь вводимые в решении буквенные обозначения физических величин (<i>за исключением обозначений констант, указанных в варианте КИМ, обозначений величин, используемых в условии задачи, и стандартных обозначений величин, используемых при написании физических законов</i>);</p> <p>III) представлены необходимые математические преобразования и расчёты (подстановка числовых данных в конечную формулу), приводящие к правильному числовому ответу (допускается решение «по частям» с промежуточными вычислениями);</p> <p>IV) представлен правильный ответ</p>	3
<p>Правильно записаны все необходимые положения теории, физические законы, закономерности, и проведены необходимые преобразования, но имеется один или несколько из следующих недостатков.</p> <p>Записи, соответствующие пункту II, представлены не в полном объёме или отсутствуют.</p> <p style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>В решении имеются лишние записи, не входящие в решение (возможно, неверные), которые не отделены от решения и не зачёркнуты.</p> <p style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>В необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) в математических преобразованиях/вычислениях пропущены логически важные шаги.</p>	2

И (ИЛИ)	
Отсутствует пункт IV, или в нём допущена ошибка	
<p>Представлены записи, соответствующие <u>одному</u> из следующих случаев.</p> <p>Представлены только положения и формулы, выражающие физические законы, применение которых необходимо и достаточно для решения данной задачи, без каких-либо преобразований с их использованием, направленных на решение задачи.</p> <p style="text-align: center;">ИЛИ</p> <p>В решении отсутствует ОДНА из исходных формул, необходимая для решения данной задачи (или утверждение, лежащее в основе решения), но присутствуют логически верные преобразования с имеющимися формулами, направленные на решение задачи.</p> <p style="text-align: center;">ИЛИ</p> <p>В ОДНОЙ из исходных формул, необходимых для решения данной задачи (или в утверждении, лежащем в основе решения), допущена ошибка, но присутствуют логически верные преобразования с имеющимися формулами, направленные на решение задачи</p>	1
Все случаи решения, которые не соответствуют вышеуказанным критериям выставления оценок в 1, 2, 3 балла	0
<i>Максимальный балл</i>	3

30

Изготовленная из соснового дерева тонкая прямая однородная палочка закреплена за свой верхний конец на горизонтальной оси, вокруг которой она может вращаться в вертикальной плоскости. К нижнему концу этой палочки на тонкой лёгкой нити привязан алюминиевый шарик объёмом $V = 1,4 \text{ см}^3$. Шарик и нижняя часть палочки погружены в сосуд с водой, причём ниже уровня воды располагается ровно $1/3$ часть палочки, и шарик не касается дна сосуда. При этом палочка наклонена под некоторым углом к горизонту, и вся система находится в равновесии. Сделайте рисунок с указанием сил, действующих на палочку и на шарик. Найдите объём V_0 палочки. Обоснуйте применимость используемых законов к решению задачи.



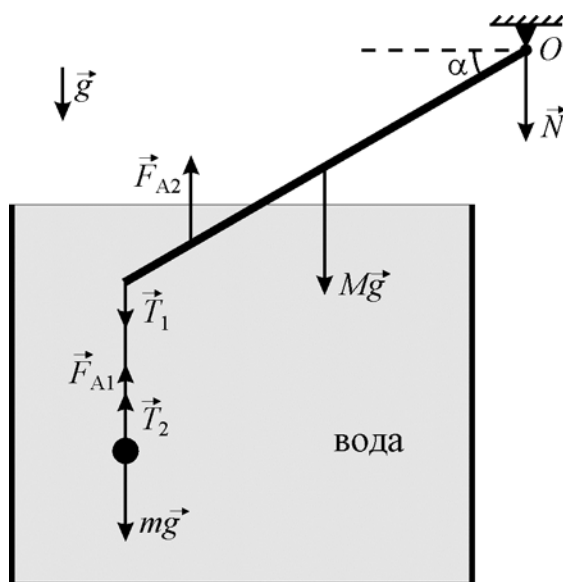
Возможное решение

Обоснование

1. Систему отсчёта, связанную с Землёй, будем считать инерциальной (ИСО).
2. Будем считать палочку абсолютно твёрдым телом. Условие равновесия твёрдого тела, которое может вращаться вокруг некоторой оси – равенство нулю суммы моментов всех сил, приложенных к телу, относительно этой оси.
3. Палочка тонкая, поэтому объём погруженной в воду части палочки можно считать прямо пропорциональным длине этой части.
4. Нить тонкая, поэтому можно пренебречь действующей на неё силой Архимеда.
5. Нить лёгкая, поэтому модуль силы натяжения нити в любой её точке одинаков, в частности: $|\vec{T}_1| = |\vec{T}_2| = T$ (см. рисунок в решении).
6. Груз не касается дна сосуда, поэтому на него со стороны этого дна не действует сила реакции.

Решение

1. Покажем на рисунке силы, действующие на палочку и на шарик. На палочку массой M действуют приложенная к её середине сила тяжести $M\vec{g}$, приложенная к середине погруженной части сила Архимеда \vec{F}_{A2} , сила натяжения нити \vec{T}_1 , и сила реакции оси \vec{N} (направление этой силы может быть противоположным, но для решения данной задачи это несущественно). На шарик массой m действуют сила тяжести $m\vec{g}$, сила Архимеда \vec{F}_{A1} и сила натяжения нити \vec{T}_2 .



2) Направим ось Ox вниз и запишем условие равновесия шарика (второй закон Ньютона) в проекции на эту ось: $mg = F_{A1} + T$. Учтем, что $F_{A1} = \rho_0 g V$ и $m = \rho_1 V$, где $\rho_0 = 1 \text{ г/см}^3$ – плотность воды, $\rho_1 = 2,7 \text{ г/см}^3$ – плотность алюминия.

3) Пусть палочка длиной L в равновесном состоянии составляет с горизонтом угол α . Запишем для палочки уравнение моментов относительно её оси

вращения O , считая положительным направлением вращения поворот против часовой стрелки:

$$Mg \frac{L}{2} \cos \alpha + TL \cos \alpha - F_{A2} \frac{5L}{6} \cos \alpha = 0.$$

Учтем, что $M = \rho_2 V_0$, где V_0 – искомый объём палочки, $\rho_2 = 0,4 \text{ г/см}^3$ – плотность соснового дерева и $F_{A2} = \rho_0 g V_0 / 3$.

4) Выражая силу натяжения нити $T = gV(\rho_1 - \rho_0)$, и подставляя её в уравнение моментов, получим:

$$\frac{1}{2} \rho_2 V_0 + V(\rho_1 - \rho_0) - \frac{5}{6} \cdot \frac{\rho_0 V_0}{3} = 0.$$

Отсюда

$$V_0 = \frac{18(\rho_1 - \rho_0)}{5\rho_0 - 9\rho_2} V = \frac{18 \cdot (2,7 - 1)}{5 \cdot 1 - 9 \cdot 0,4} \cdot 1,4 = 30,6 \text{ см}^3.$$

Критерии оценивания выполнения задания	Баллы
Критерий 1	
Верно обоснована возможность использования законов (закономерностей). <i>В данном случае: выбор инерциальной системы отсчёта, модель твёрдого тела, учёт следствий тонкости палочки, тонкости и невесомости нити.</i>	1
В обосновании отсутствует один или несколько из элементов. ИЛИ В обосновании допущена ошибка. ИЛИ Обоснование отсутствует	0
Критерий 2	
I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, <u>применение которых необходимо</u> для решения задачи выбранным способом (в данном случае: <i>второй закон Ньютона для шарика, уравнение моментов сил для палочки, выражение для модуля силы Архимеда, связь между массой, объёмом и плотностью</i>); II) сделан правильный рисунок с указанием сил, действующих на тела; III) описаны все вновь вводимые в решении буквенные обозначения физических величин (за исключением обозначений констант, указанных в варианте КИМ, обозначений величин, используемых в условии задачи, и стандартных обозначений величин, используемых при написании физических законов); IV) проведены необходимые математические преобразования и расчёты (подстановка числовых данных в конечную формулу), приводящие к правильному числовому ответу (допускается решение «по частям» с промежуточными вычислениями); V) представлен правильный ответ с указанием единиц измерения искомой величины.	3

<p>Правильно записаны все необходимые положения теории, физические законы, закономерности, и проведены необходимые преобразования, но имеется один или несколько из следующих недостатков.</p> <p>Записи, соответствующие пунктам II и III, представлены не в полном объёме или отсутствуют.</p> <p style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>В решении имеются лишние записи, не входящие в решение (возможно, неверные), которые не отделены от решения и не зачёркнуты.</p> <p style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>В необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) в математических преобразованиях/вычислениях пропущены логически важные шаги.</p> <p style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>Отсутствует пункт V, или в нём допущена ошибка (в том числе в записи единиц измерения величины)</p>	2
<p>Представлены записи, соответствующие одному из следующих случаев.</p> <p>Представлены только положения и формулы, выражающие физические законы, применение которых необходимо для решения данной задачи, без каких-либо преобразований с их использованием, направленных на решение задачи.</p> <p style="text-align: center;">ИЛИ</p> <p>В решении отсутствует ОДНА из исходных формул, необходимая для решения данной задачи (или утверждение, лежащее в основе решения), но присутствуют логически верные преобразования с имеющимися формулами, направленные на решение задачи.</p> <p style="text-align: center;">ИЛИ</p> <p>В ОДНОЙ из исходных формул, необходимых для решения данной задачи (или в утверждении, лежащем в основе решения), допущена ошибка, но присутствуют логически верные преобразования с имеющимися формулами, направленные на решение задачи</p>	1
<p>Все случаи решения, которые не соответствуют вышеуказанным критериям выставления оценок в 1, 2, 3 балла</p>	0