

Всероссийская олимпиада школьников по физике
Муниципальный этап
2024-2025 учебный год

8 класс

Время выполнения - 3 часа (180 минут)
Максимальное количество баллов – 40

Задача 1. «Гонки по дороге».

Гонки машин на шоссе сопровождает инспектор ГИБДД, стартовав сразу за гонщиками. Через некоторое время инспектор получил сообщение, что один из гонщиков нарушает правила, перестроившись на полосу движения общественного транспорта и двигаясь со скоростью 90 км/ч.

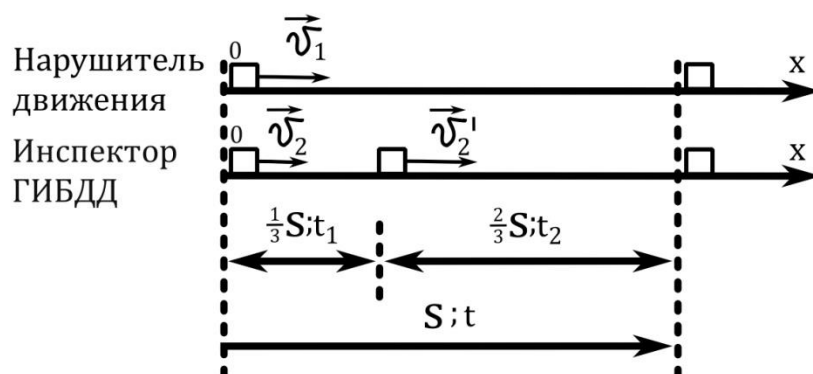
На сколько увеличил скорость инспектор, чтобы догнать нарушителя, если до встречи с ним инспектор проехал путь в 2 раза больше, чем в момент получения сообщения о нарушении? До получения сообщения инспектор ехал со скоростью 60 км/ч.

Возможное решение:

Определяется расстояние, пройденное машиной от начала движения, то есть значение средней скорости, умноженное на время движения t : $S = \vartheta \cdot t$.

К моменту встречи с инспектором нарушитель движения пройдет путь S со скоростью ϑ_1 (см. рисунок).

$$S = \vartheta_1 \cdot t \quad (1)$$



Такое же расстояние преодолет сотрудник ГИБДД со средней скоростью $\vartheta_{\text{ср.2}}$.

Составим систему уравнений и решаем их:

$$\left. \begin{array}{l} S = \vartheta_1 \cdot t \\ S = \vartheta_{\text{ср.2}} \cdot t \end{array} \right\} \Rightarrow \vartheta_1 = \vartheta_{\text{ср.2}} \quad (2)$$

Находим среднюю путевую скорость $\vartheta_{\text{ср.2}}$, с которой инспектор догоняет нарушителя на всём пути S . Примем для него: t_1 – время движения на первой трети пути, t_2 – время движения на двух третях пути, ϑ_2 – скорость движения на первой трети пути и ϑ_2' – скорость движения на оставшейся части пути.

$$\vartheta_{\text{ср.2}} = \frac{S}{t_1 + t_2} = \frac{S}{\frac{S}{3\vartheta_2} + \frac{2S}{3\vartheta_2'}} = \frac{3 \cdot \vartheta_2 \cdot \vartheta_2'}{2\vartheta_2 + \vartheta_2'} \quad (3)$$

Приравнявая выражения (2) и (3), находим скорость ϑ_2' , с которой автомобиль инспектора догонял машину нарушителя.

$$\vartheta_2' = \frac{2 \cdot \vartheta_1 \cdot \vartheta_2}{3\vartheta_2 - \vartheta_1} \quad (4)$$

Подставляя численные значения, получим:

$$\vartheta_2' = \frac{2 \cdot 90 \text{ км/ч} \cdot 60 \text{ км/ч}}{3 \cdot 60 \text{ км/ч} - 90 \text{ км/ч}} = 120 \text{ км/ч} \quad (5)$$

Следовательно, чтобы сотруднику ГИБДД на своей машине догнать транспортное средство с нарушителем дорожного движения, потребуется увеличить скорость с ϑ_2 до ϑ_2' на

$$\Delta\vartheta_2 = 120 \frac{\text{км}}{\text{ч}} - 60 \frac{\text{км}}{\text{ч}} = 60 \frac{\text{км}}{\text{ч}} \quad (6)$$

Критерии оценивания

Записано уравнение движения для нарушителя к моменту встречи (1) - 1 балл

Записано уравнение движения для инспектора к моменту встречи, или равенства средних скоростей двух тел (2) - 1 балл

Правильно проделаны математические преобразования для средней скорости инспектора (3) - 3 балла

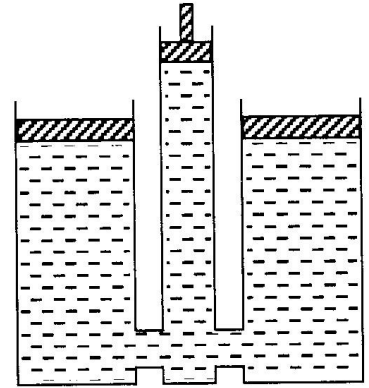
Правильно проделаны математические преобразования, приводящие к выражению (4) - 3 балла

Записано числовое выражение для скорости инспектора (5) на оставшейся части пути - 1 балл

Получен правильный ответ (6) - 1 балл

Задача 2. «Сообщающиеся сосуды».

Три сообщающихся сосуда с одним малым и двумя большими поршнями заполнены жидкостью (см. рисунок). Сверху на малый поршень поставили груз массой $m_1 = 40$ кг и под его весом поршень опустился на расстояние $1/10$ метра. При этом каждый большой поршень сместился на 2 см.



Чему равна сила давления жидкости на каждый из больших поршней?

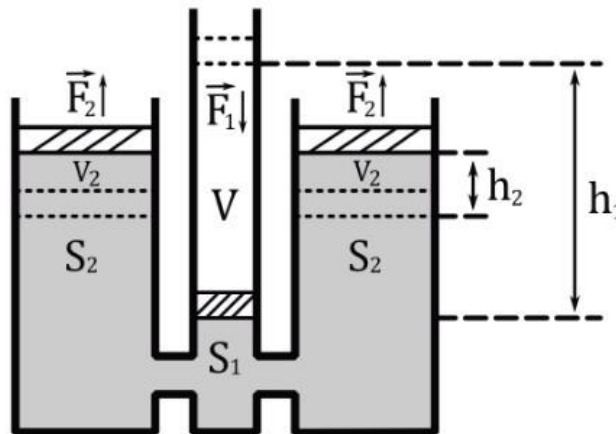
Трением пренебречь, жидкость считать несжимаемой.

Возможное решение:

По закону Паскаля давление в покоящихся жидкостях (и газах) передается во все стороны одинаково.

Малый поршень опускается на расстояние h_1 под весом груза F_1 , равным: $F_1 = m_1 \cdot g = 400$ Н. (1)

Значит, каждый большой поршень поднимется на одну и ту же высоту h_2 (см. рисунок).



Нетрудно сообразить, что вытесненный малым поршнем объём V несжимаемой жидкости, равен удвоенному объёму жидкости V_2 , поступившей под каждый большой поршень:

$$V = 2 \cdot V_2 \quad (2)$$

Обозначим площадь малого поршня через S_1 , площадь большого поршня – через S_2 . С учетом хода поршня, для малого – со значением $h_1 = 1/10$ м, для большого – со значением $h_2 = 2$ см.

Объёмы жидкости под поршнями будут записаны в виде:

$$\begin{cases} V = S_1 \cdot h_1; \\ V_2 = S_2 \cdot h_2; \end{cases} \Rightarrow S_1 = \frac{V}{h_1}; S_2 = \frac{V_2}{h_2} \quad (3)$$

На площадь каждого большого поршня действует снизу сила F_2 . Как следует из закона Паскаля, давления в коленах сообщающихся сосудов равны:

$$p_1 = p_2, \Rightarrow \frac{F_2}{F_1} = \frac{S_2}{S_1} \quad (4)$$

С учетом выражений (2), (3) и (4), находим силу F_2 .

$$F_2 = \frac{F_1 \cdot S_2}{S_1} = F_1 \cdot \frac{V_2 \cdot h_1}{h_2 \cdot V} = F_1 \cdot \frac{V_2 \cdot h_1}{h_2 \cdot 2V_2} = F_1 \cdot \frac{h_1}{h_2 \cdot 2} \quad (5)$$

Подставляя численные значения, получим:

$$F_2 = 400 \text{ Н} \cdot \frac{0,1 \text{ м}}{2 \cdot 0,02 \text{ м}} = 1000 \text{ Н}. \quad (6)$$

Критерии оценивания

Записана формула для веса груза (1)..... - 1 балл

Записано выражение для соотношения объёмов (2)..... - 2 балла

Записаны формулы для площадей поршней (3)..... - 1 балл

Записано условие равенства давлений в коленах (4) ...-.2 балла

Правильно проделаны математические преобразования (5)....-3 балла

Получен правильный ответ (6)..... - 1 балл

Задача 3. «Закалка стального сверла».

Сосуд с хорошей теплоизоляцией до краёв наполнен машинным маслом при температуре $t_m = 20^\circ\text{C}$ и имеет отверстие, закрытое крышкой. Сначала открыли крышку и в середину этого сосуда быстро, но аккуратно опустили стальное сверло с плотностью $\rho_{\text{ст}} = 7800 \text{ кг/м}^3$, нагретое до температуры $t_{\text{ст}} = 840^\circ\text{C}$, и закрыли крышкой. После установления теплового равновесия температура масла в сосуде равна $t_{\text{смеси } 1} = 70^\circ\text{C}$. Затем в этот же сосуд, наполненный до краёв маслом при температуре $t_m = 20^\circ\text{C}$, вновь быстро, но аккуратно опустили два таких же сверла, нагретых до той же температуры $t_{\text{ст}} = 840^\circ\text{C}$, и закрыли крышкой. В этом случае после установления в сосуде теплового равновесия температура масла стала равна $t_{\text{смеси } 2} = 117^\circ\text{C}$. Чему равно экспериментальное значение удельной теплоёмкости $c_{\text{эксп.}}$ металла, из которого изготовлены свёрла? Плотность машинного масла $\rho_m = 890 \text{ кг/м}^3$. Удельная теплоёмкость машинного масла $c_m = 2000 \text{ Дж/(кг} \cdot ^\circ\text{C)}$.

Указание. В задаче для упрощения математических преобразований следует в выражениях для разности температур подставлять числовые значения.

Возможное решение:

Для нахождения экспериментального значения удельной теплоёмкости $c_{\text{эксп.}}$ металла, из которого изготовлены свёрла, используем уравнение теплового баланса: в теплоизолированной системе тел алгебраическая сумма всех количеств теплоты, полученных и отданных системой, равны между собой.

Пусть объём налитого в сосуд масла равен $V_{\text{м}}$, а объём стального сверла, соответственно, $V_{\text{ст}}$. Учтём, что в первом случае оставшийся объём масла в сосуде равен $(V_{\text{м}} - V_{\text{ст}})$, а во втором случае – $(V_{\text{м}} - 2V_{\text{ст}})$. (1)

Запишем уравнения теплового баланса для случаев до и после установления теплового равновесия в сосуде.

$$c_{\text{эксп.}} \cdot \rho_{\text{ст}} \cdot V_{\text{ст}} \cdot (t_{\text{ст}} - t_{\text{смеси 1}}) = c_{\text{м}} \cdot \rho_{\text{м}} \cdot (V_{\text{м}} - V_{\text{ст}}) (t_{\text{смеси 1}} - t_{\text{м}}); \quad (2)$$

$$c_{\text{эксп.}} \cdot \rho_{\text{ст}} \cdot 2V_{\text{ст}} \cdot (t_{\text{ст}} - t_{\text{смеси 2}}) = c_{\text{м}} \cdot \rho_{\text{м}} \cdot (V_{\text{м}} - 2V_{\text{ст}}) (t_{\text{смеси 2}} - t_{\text{м}}). \quad (3)$$

В указании к задаче для упрощения математических преобразований следует в выражениях для разности температур подставлять числовые значения. С учётом этого, выражения (2) и (3) имеют вид:

$$c_{\text{эксп.}} \cdot \rho_{\text{ст}} \cdot V_{\text{ст}} \cdot 770 = c_{\text{м}} \cdot \rho_{\text{м}} \cdot (V_{\text{м}} - V_{\text{ст}}) \cdot 50 ;$$

$$c_{\text{эксп.}} \cdot \rho_{\text{ст}} \cdot 2V_{\text{ст}} \cdot 723 = c_{\text{м}} \cdot \rho_{\text{м}} \cdot (V_{\text{м}} - 2V_{\text{ст}}) \cdot 97 ;$$

После раскрытия скобок находим, к примеру, объём масла $V_{\text{м}}$ в сосуде:

$$\begin{aligned} c_{\text{эксп.}} \cdot \rho_{\text{ст}} \cdot V_{\text{ст}} \cdot 770 &= c_{\text{м}} \cdot \rho_{\text{м}} \cdot (V_{\text{м}} - V_{\text{ст}}) \cdot 50 ; \Rightarrow \\ \Rightarrow V_{\text{м}} &= \frac{c_{\text{ст}} \cdot \rho_{\text{ст}} \cdot V_{\text{ст}} \cdot 770 + c_{\text{м}} \cdot \rho_{\text{м}} \cdot V_{\text{ст}} \cdot 50}{c_{\text{м}} \cdot \rho_{\text{м}} \cdot 50} ; \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} c_{\text{эксп.}} \cdot \rho_{\text{ст}} \cdot 2V_{\text{ст}} \cdot 723 &= c_{\text{м}} \cdot \rho_{\text{м}} \cdot (V_{\text{м}} - 2V_{\text{ст}}) \cdot 97 ; \Rightarrow \\ \Rightarrow V_{\text{м}} &= \frac{c_{\text{ст}} \cdot \rho_{\text{ст}} \cdot 2V_{\text{ст}} \cdot 723 + c_{\text{м}} \cdot \rho_{\text{м}} \cdot 2V_{\text{ст}} \cdot 97}{c_{\text{м}} \cdot \rho_{\text{м}} \cdot 97} ; \end{aligned} \quad (5)$$

Приравниваем выражения (4) и (5), объём $V_{\text{ст}}$ сократится.

В результате алгебраических преобразований получим ответ для экспериментального значения удельной теплоёмкости $c_{\text{эксп.}}$ металла, из которого изготовлены свёрла:

$$c_{\text{эксп.}} = \frac{c_{\text{м}} \cdot \rho_{\text{м}} \cdot 97 \cdot 50}{\rho_{\text{ст}} \cdot 770 \cdot 97 - \rho_{\text{ст}} \cdot 2 \cdot 723 \cdot 50} \quad (6)$$

После подстановки числовых значений получаем окончательный ответ:

$$c_{\text{эксп.}} = \frac{2000 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}) \cdot 890 \text{ кг}/\text{м}^3 \cdot 97 \cdot 50}{7800 \text{ кг}/\text{м}^3 \cdot 770 \cdot 97 - 7800 \text{ кг}/\text{м}^3 \cdot 2 \cdot 723 \cdot 50} = 463,09 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}).$$

$$c_{\text{эксп.}} \approx 463 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}) \quad (7)$$

В случае решения задачи в общем виде, исключение объёма масла V_M , приводит к выражению и числовому ответу:

$$\frac{c_{\text{ст}} \cdot \rho_{\text{ст}} \cdot V_{\text{ст}} \cdot (t_{\text{ст}} - t_{\text{смеси 1}}) + c_M \cdot \rho_M \cdot V_{\text{ст}} \cdot (t_{\text{смеси 1}} - t_M)}{t_{\text{смеси 1}} - t_M} = \frac{c_{\text{ст}} \cdot \rho_{\text{ст}} \cdot 2V_{\text{ст}} \cdot (t_{\text{ст}} - t_{\text{смеси 2}}) + c_M \cdot \rho_M \cdot 2V_{\text{ст}} \cdot (t_{\text{смеси 2}} - t_M)}{t_{\text{смеси 2}} - t_M}; \quad (6')$$

$$c_{\text{эксп.}} = c_M \frac{\rho_M}{\rho_{\text{ст}}} \frac{1}{\left(\frac{t_{\text{ст}} - t_{\text{смеси 1}}}{t_{\text{смеси 1}} - t_M} - 2 \frac{t_{\text{ст}} - t_{\text{смеси 2}}}{t_{\text{смеси 2}} - t_M} \right)} \approx 463 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}) \quad (7')$$

Критерии оценивания

Записано условие(1), что в первом случае оставшийся объём масла в сосуде равен $(V_M - V_{\text{ст}})$, а во втором случае $-(V_M - 2V_{\text{ст}})$ - 2 балла

Записано уравнение теплового баланса (2) - 2 балла

Записано уравнение теплового баланса (3) - 2 балла

Правильно проделаны математические преобразования для нахождения удельной теплоёмкости $c_{\text{эксп.}}$ (4,5,6 или 4,5,6') ...- 3 балла

Получен правильный ответ с подстановкой чисел (7 или 7') - 1 балл

Задача 4– «псевдоэксперимент». «Шаг в науку».

Ученик Ваня Архимедов, изучив основы механики, решил провести исследование с целью изучить имеющиеся у него жидкости. Для этого в измерительный сосуд с вертикальными стенками налил керосин и глицерин – две несмешивающиеся жидкости с плотностями $\rho_1 = 800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ и $\rho_2 = 1260 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ соответственно. Поочередно опуская в сосуд одинаковые небольшие шарики, сделанные из одного материала, ученик наблюдал за их поведением в зависимости от размеров столбов жидкостей.

В первом эксперименте Ваня сумел определить толщины слоёв керосина и глицерина в случае, когда шарик, опущенный с поверхности жидкости, достигает дна сосуда с нулевой конечной скоростью.

Плотность керосина $\rho_1 = 800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, толщина слоя керосина $h_1 = 28,3$ см, плотность глицерина $\rho_2 = 1260 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, толщина слоя глицерина $h_2 = 10,0$ см.

Затем Ваня задумал мысленный эксперимент: если во втором эксперименте в измерительный сосуд, наполненный мёдом с плотностью $\rho_3 = 1350 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ осторожно, не перемешивая, добавить воду с плотностью $\rho_4 = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, то какими могут быть толщины слоев h_3 и h_4 этих жидкостей, чтобы этот же шарик, опущенный с поверхности жидкости, снова достиг дна с нулевой конечной скоростью?

Проанализируйте первый и второй опыты ученика, сделайте пояснительный рисунок к задаче. Определите плотность шарика, а также

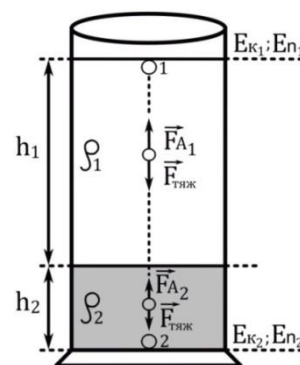
определите для мёда и воды толщины слоев h_3 и h_4 во втором опыте. Силы трения в любой жидкости не учитывать.

Возможное решение:

Первый опыт Вани.

Проанализируем первый опыт ученика. В измерительном сосуде слой керосина располагается над слоем глицерина, так как плотность ρ_1 керосина меньше плотности ρ_2 глицерина: $\rho_1 < \rho_2$. (1)

После опускания с поверхности керосина шарик начнет двигаться в первой жидкости, потому что его сила тяжести больше силы Архимеда: $F_{\text{тяж}} > F_{a1}$ (см. рисунок). Погрузившись на глубину h_1 , шарик приобретет кинетическую энергию за счет работы разности силы тяжести и выталкивающей силы. Во второй жидкости сила тяжести станет меньше силы Архимеда с условием $F_{\text{тяж}} < F_{a2}$, и так как в глицерине шарик остановится, то вся его кинетическая энергия пойдет на работу против разности сил Архимеда и силы тяжести.



$$E_k = (F_{a2} - F_{\text{тяж}}) \cdot h_2 \quad (2)$$

С поверхности жидкости в сосуд опускают тело без начальной скорости. В начальный момент 1 кинетическая энергия шарика равна нулю: $E_{k1} = 0$.

Рассматривается движение шарика в жидкости с учетом действующих сил: силы тяжести $\vec{F}_{\text{тяж}} = \vec{g}m$, выталкивающей силы – силы Архимеда $\vec{F}_a$ и силы сопротивления жидкости, направленной противоположно движению шарика (по условию задачи ее можно не учитывать).

Введём следующие обозначения: $m = \rho \cdot V$ – масса шарика, ρ – плотность шарика, V – объём шарика, h_1 – толщина слоя керосина, h_2 – толщина слоя глицерина, g – ускорение свободного падения.

В однородном поле тяжести на шарик действует выталкивающая сила, по закону Архимеда, равная весу жидкости (или газа), вытесненного этим телом: $F_a = g \cdot \rho_{\text{ж}} \cdot V$, где $\rho_{\text{ж}}$ – плотность жидкости, V – объём жидкости, вытесненной шариком (объём шарика). Когда на тело действуют силы и оно движется, то совершается механическая работа. Работу можно представить формулой: $A = F \cdot h$.

После опускания с поверхности жидкости и преодоления толщины h_1 слоя керосина небольшой шарик приобретет кинетическую энергию E_k за счет работы разности силы тяжести и силы Архимеда F_{a1} , равную

$$E_k = (F_{\text{тяж}} - F_{a1}) \cdot h_1 = (g \cdot m - g \cdot \rho_1 \cdot V) \cdot h_1 \quad (3)$$

В конечный момент 2, когда шарик достигает дна сосуда, из наблюдений Вани кинетическая энергия шарика становится равной нулю: $E_{k2} = 0$.

Поскольку во второй жидкости шарик проходит толщину h_2 слоя глицерина и останавливается, то вся его кинетическая энергия E_k пойдет на работу против разности силы Архимеда F_{a2} и силы тяжести:

$$E_k = (F_{a2} - F_{тяж}) \cdot h_2 = (g \cdot \rho_2 \cdot V - g \cdot m) \cdot h_2 \quad (4)$$

Из равенства левых частей уравнений (3), (4) после преобразований получаем равенство:

$$m \cdot (h_1 + h_2) = \rho_1 \cdot V \cdot h_1 + \rho_2 \cdot V \cdot h_2;$$

Так как масса шарика равна произведению плотности на объем, то получим такое выражение для плотности ρ шарика:

$$\rho = \frac{\rho_1 \cdot h_1 + \rho_2 \cdot h_2}{h_1 + h_2} \quad (5)$$

Второй подход к решению задачи: в начальный момент 1 шарик с плотностью ρ обладает потенциальной энергией $E_{п1}$ относительно дна сосуда, равной

$$E_{п1} = g \cdot m \cdot (h_1 + h_2), \quad (3')$$

В конечный момент 2, когда шарик достигает дна сосуда, потенциальная энергия тела станет равной нулю $E_{п2} = 0$, и, из наблюдений Вани, кинетическая энергия шарика тоже равна нулю $E_{к2} = 0$.

Запасённая потенциальная энергия поднятого над поверхностью керосина шарика полностью потрачена на совершение работы A по преодолению сил Архимеда F_a , действующих на тело, в каждой из несмешивающихся жидкостей. Можно получить выражение (5) для плотности ρ шарика с помощью закона сохранения и превращения энергии в механических процессах для начального и конечного положений шарика в измерительном сосуде в следующем виде:

$$E_{п1} = A = g \cdot \rho_1 \cdot V \cdot h_1 + g \cdot \rho_2 \cdot V \cdot h_2$$

$$(4') \Rightarrow \rho = \frac{\rho_1 \cdot h_1 + \rho_2 \cdot h_2}{h_1 + h_2} \quad (5)$$

Подставляя в формулу (5) численные значения, получим:

$$\rho = \frac{800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 28,3 \text{ см} + 1260 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 10 \text{ см}}{28,3 \text{ см} + 10 \text{ см}} = 920 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}. \quad (6)$$

Проанализируем полученное выражение (6).

Видим, что в двух несмешивающихся жидкостях – керосине и глицерине - достижение небольшим шариком дна сосуда в тот момент, когда его скорость становится равной нулю, возможно при следующем условии: $\rho_1 < \rho < \rho_2$.

Второй опыт Вани.

В измерительном сосуде слой воды располагается над слоем натурального мёда, так как $\rho_4 < \rho_3$. Однако расчёт плотности шарика и сравнение её с известными плотностями жидкостей во втором мысленном эксперименте приводит к невыполнимости нахождения толщины слоёв h_3 и h_4 : легкий шарик не начнет двигаться в первой жидкости (воде) и, следовательно, не достигнет дна сосуда. Он будет плавать в состоянии безразличного равновесия, исходя из условия, что $\rho < \rho_3$ и $\rho < \rho_4$. (7)

Критерии оценивания

1. Проведено сравнение плотностей жидкостей и указано, что слой керосина будет над слоем глицерина - 1 балл

2. Сделан пояснительный рисунок с указанием сил, действующих на тело, - 1 балл

Первый способ решения:

3. Проведен анализ поведения шарика в керосине и глицерине - 2 балла

4. Записана формула для приобретённой в конце h_1 кинетической энергии тела в керосине (3) - 1 балл

5. Записана формула для израсходованной в конце h_2 кинетической энергии тела в глицерине (4) - 1 балл

6. Получено выражение для плотности шарика - 1 балл

7. Вычислено правильное значение плотности шарика – 1 балл

8. Проведен анализ поведения шарика во втором эксперименте и сделан правильный вывод – 2 балла.

Второй способ решения:

3. Записана формула для потенциальной энергии шарика над поверхностью жидкости (3') - 1 балл

4. Указано, что потенциальная энергия израсходуется на работу против сил Архимеда в жидкостях и записана формула для работы сил Архимеда (4') - 2 балла

5. Получено выражение для плотности шарика - 2 балла

6. Вычислено правильное значение плотности шарика – 1 балл

7. Проведен анализ поведения шарика во втором эксперименте и сделан правильный вывод – 2 балла.