84-я Московская олимпиада школьников по физике
2023 год
8 класс

1. Маятник (10 баллов)

Бычков А.И.

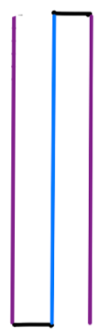
1a. Перечисленные в условии задачи параметры L, m и g в СИ измеряются в м, кг и м/с^2 соответственно. Период маятника T имеет размерность времени, которое измеряется в секундах. Существует лишь одна комбинация параметров L, m и g, которая даёт величину, измеряемую в секундах: $\sqrt{\frac{L}{g}}$. Следовательно, если уменьшить длину подвеса в 4 раза, то период колебаний уменьшится в 2 раза.

1b. Вследствие удлинения маятника при нагревании, увеличивается период его колебаний. Часы за сутки отстанут на время: $\Delta T = N(T_2 - T_1)$, где N – число колебаний маятника за сутки при температуре 25 ℃, а T_1 и T_2 – периоды колебаний маятника при температурах 5 ℃ и 25 ℃ соответственно. Найдём ΔT, воспользовавшись приближённой формулой, приведённой в условии задачи,

$$\Delta T = N(T_2 - T_1) = \frac{T}{T_2}(T_2 - T_1) = T\left(1 - \frac{T_1}{T_2}\right) = T\left(1 - \frac{\sqrt{L}}{\sqrt{L(1+\alpha\Delta t)}}\right) \approx T\frac{\alpha\Delta t}{2} = 10{,}8 \text{ с},$$

где $T = 86400$ с.

1c. Принципиальная схема устройства подвеса маятника приведена на рисунке. Коэффициенты линейного расширения фиолетовых и синего стержней равны α и 2α соответственно. Длины стержней одинаковы. Черные стержни имеют пренебрежимо малую длину.



Критерии оценивания

Верные, обоснованные ответы на вопросы задачи оцениваются полным баллом при любом способе решения. Промежуточные результаты, полученные в процессе решения, оцениваются по следующей схеме.

Высказывается в той или иной форме мысль о том, что период колебаний не зависит от массы тела – **1 балл**.

Найдено, что период колебаний уменьшится в 2 раза при уменьшении длины подвеса в 4 раза – **1 балл**.

Если написано выражение для отставания часов $\Delta T = N(T_2 - T_1)$, где N – число колебаний маятника за сутки при температуре 25 ℃, а T_1 и T_2 – периоды колебаний маятника при температурах 5 ℃ и 25 ℃ соответственно – **2 балла**.

Найден правильный ответ в общем виде к пункту **1b – 1,5 балла.**

Найден правильный числовой ответ к пункту **1b** – **0,5 балла**.

Если в пункте **1c** приведена правильная принципиальная схема устройства подвеса маятника без необходимых пояснений – **2 балла**.

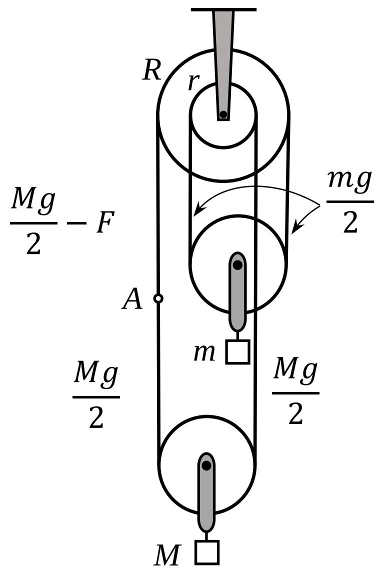
2. Равновесие системы блоков (7 баллов)

Бычков А.И.

2a. *Способ 1*. Предположим, что сила $\vec{F}$ направлена вверх. Запишем условия равновесия подвижных блоков:

$$2T_1 = Mg \quad \Longrightarrow \quad T_1 = \frac{Mg}{2},$$
$$2T_2 = mg \quad \Longrightarrow \quad T_2 = \frac{mg}{2},$$

где T_1 и T_2 – натяжения участков нити, примыкающих к нижнему и верхнему подвижным блокам соответственно. На рисунке указаны силы натяжения различных участков нити.



Найдем силу F из уравнения моментов для двухступенчатого блока относительно оси, на которую он насажен:

$$\frac{mg}{2}r + \left(\frac{Mg}{2} - F\right)R = \frac{Mg}{2}r + \frac{mg}{2}R \ \Rightarrow \ F = \frac{R-r}{2R}(M-m)g = 5 \text{ Н}.$$

Сила F оказалась положительной, следовательно, наше предположение на счёт её направления оказалось верным.

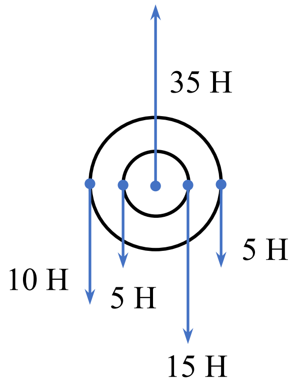
Способ 2. Запишем уравнение моментов относительно оси двухступенчатого блока для всей системы:

$$FR + mg\left(\frac{R+r}{2} - r\right) = Mg\left(\frac{R+r}{2} - r\right),$$

откуда находим

$$F = \frac{R-r}{2R}(M-m)g = 5 \text{ Н}.$$

2b. На двухступенчатый блок (и примыкающие к нему участки нити) действуют силы, изображенные на рисунке. Такое возможно, если между поверхностью блока и примыкающими участками нити действуют силы трения. При малых значениях коэффициента трения система не может находиться в состоянии покоя. Если точка A нити остаётся на месте (это возможно, если сильно сжать её), груз массой M движется вниз, массой m – вверх, а нить проскальзывает по поверхности двухступенчатого блока.



Ответ. **1a**. $F = \frac{R-r}{2R}(M-m)g = 5$ Н. **1b**. Невозможно.

Критерии оценивания

Верные, обоснованные ответы на вопросы задачи оцениваются полным баллом при любом способе решения. Промежуточные результаты, полученные в процессе решения, оцениваются по следующей схеме.

В пункте **2a** верно записаны условия равновесия подвижных блоков – за каждое уравнение по **0,5 балла**. Уравнение моментов для двухступенчатого блока относительно оси, на которую он насажен, – **2 балла**. Если верный ответ не был получен только вследствие вычислительных ошибок, то выставляется **2,5 балла** за этот пункт.

Если верный ответ в пункте **2b** никак не обосновывается, то выставляется **1,5 балла** за весь этот пункт.

3. Вода и масло (8 баллов)

Фольклор

3a. Количество масла в сосуде с течением времени увеличивается, следовательно, сила Архимеда, действующая на пластиковую игрушку со стороны масла, возрастает. Из-за этого уменьшается объём игрушки, погруженный в воду, и уровень воды в сосуде понижается. Значит, крестиками на графике обозначены измерения, связанные с водой, а кружочками – с маслом. В момент времени $t = 6$ мин уровень воды прекращает изменяться, а уровень масла повышается с постоянной скоростью, значит, объёмы воды и масла, вытесненные игрушкой, перестают изменяться. По графику определим изменение объёма масла за последние 4 минуты измерений: $\Delta V_{\text{м}} = 40$ мл. Скорость μ равна $\frac{\Delta V_{\text{м}}}{\Delta t}$, где $\Delta t = 4$ мин. Подставив числовые значения, находим $\mu = 10\,\frac{\text{мл}}{\text{мин}} = 0{,}17\,\frac{\text{мл}}{\text{с}}$.

3b. Обозначим объёмы игрушки, погруженные в воду, в начальный и конечный моменты времени, как V_1 и v_1 соответственно. Тогда $V_1 - v_1 \approx 243\text{ мл} - 100\text{ мл} = 143\text{ мл}$. Разность объёмов, измеренных в момент времени $t = 6$ мин, равна $\mu t + V_2$, где μt – объём масла в сосуде к моменту времени $t = 6$ мин, V_2 – объём, вытесненного масла. Откуда находим $V_2 = 245\text{ мл} - 10\,\frac{\text{мл}}{\text{мин}} \cdot 6\text{ мин} = 185\text{ мл}$.

Силу тяжести, действующую на игрушку, в начальный момент времени компенсирует сила Архимеда $\rho_{\text{в}} g V_1$, а в конечный момент $(\rho_{\text{м}} g V_2 + \rho_{\text{в}} g v_1)$, где $\rho_{\text{в}}$ и $\rho_{\text{м}}$ – плотности воды и масла соответственно. Следовательно, $\rho_{\text{м}} = \frac{V_1 - v_1}{V_2} \cdot \rho_{\text{в}} = 0{,}77$ г/см^3.

<u>Ответ</u>. **3a**. $\mu = 0{,}17$ мл/с. **3b**. $\rho_{\text{м}} = 0{,}77$ г/см^3.

Критерии оценивания

Верные, обоснованные ответы на вопросы задачи оцениваются полным баллом при любом способе решения. Промежуточные результаты, полученные в процессе решения, оцениваются по следующей схеме.

Если доказано, что крестиками на графике обозначены измерения, связанные с водой, а кружочками – с маслом, то ставиться **2 балла**.

Найдена скорость μ – **1 балл**.

Найдена разность $V_1 - v_1$, где V_1 и v_1 – объёмы игрушки, погруженные в воду, в начальный и конечный моменты времени – **2 балла**. Если в решении рассмотрен частный случай $v_1 = 0$ мл – **1 балл**.

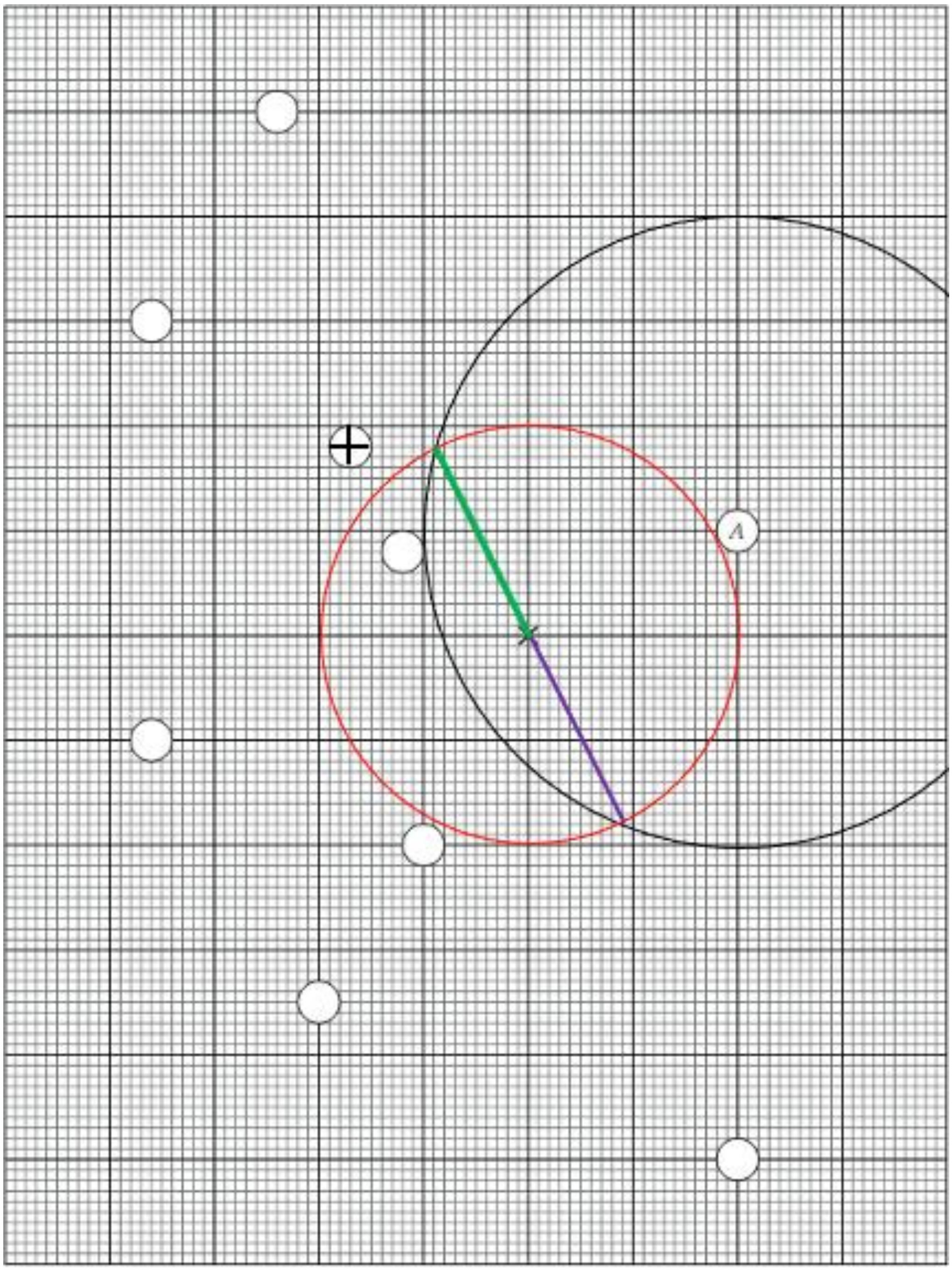
Найден объём, вытесненного масла в конечный момент времени, – **2,5 балла**.

Получен верный числовой ответ в пункте **3b** – **0,5 балла**.

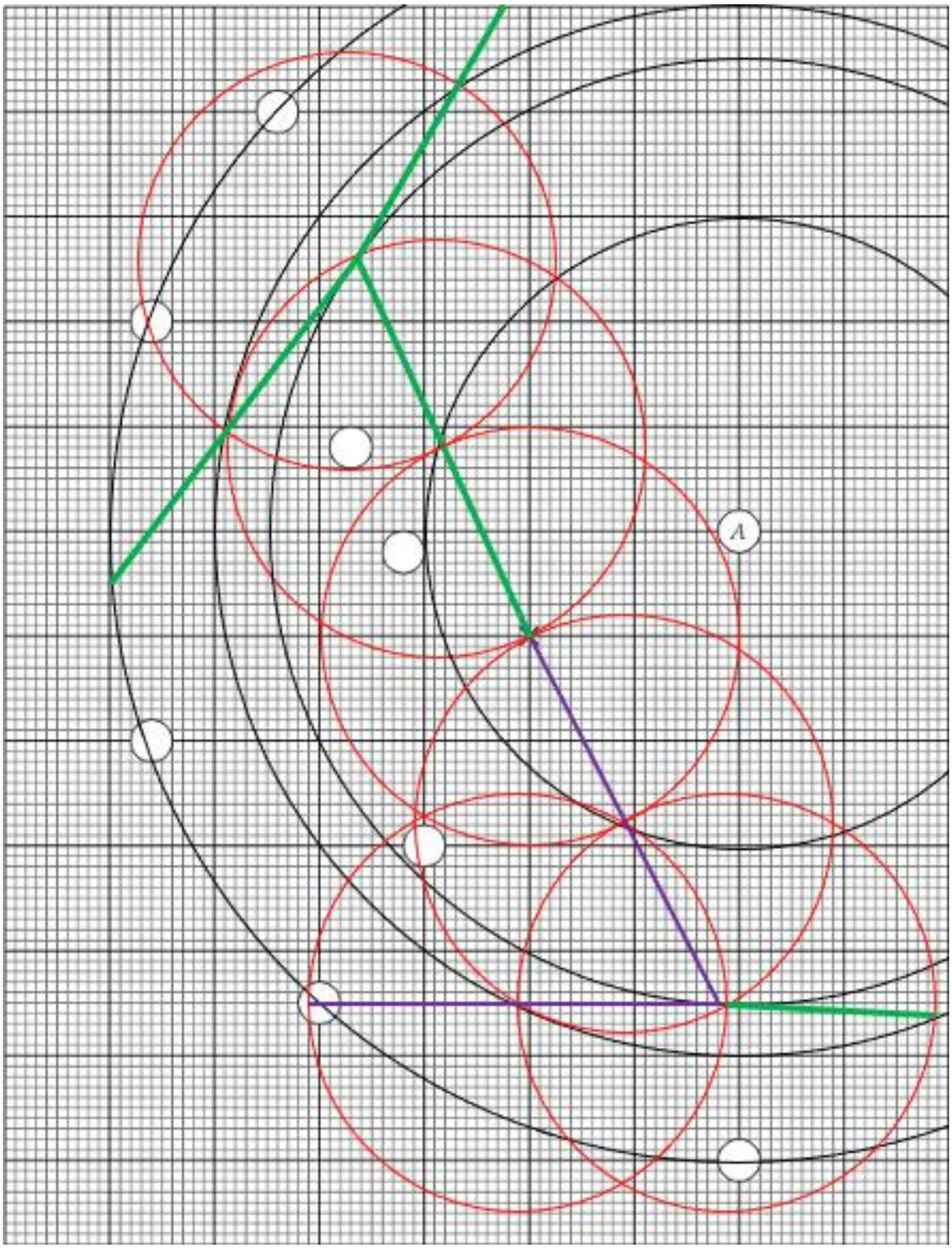
4. Передвижение самолёта (10 баллов)

Бычков А.И.

4a. Нарисуем окружность (чёрная) радиусом 150 км (30 маленьких клеточек), центр которой совпадает с центром пункта *A*. Изобразим ещё одну окружность (красная) радиусом 100 км (20 маленьких клеточек), центр которой совпадает с положением вертолёта в 12:00. Пересечения этих окружностей – это два возможных расположений вертолёта в момент времени 12:30. В пункт, который расположен ближе всего к одной из этих точек, вертолёт долетит за минимальное время. Этот пункт на рисунке отмечен крестиком. Расстояние от центра населенного пункта до положения вертолёта в 12:30 равно 8 клеточкам. Диаметр населённого пункта равен 4 клеточкам. Следовательно, вертолёт будет лететь над этим населённым пунктом с 12:39 до 12:45.



4b. На рисунке изображены 4 чёрные окружности радиусами 150 км, 225 км, 250 км и 300 км, центры которой совпадают с центром пункта *A*, и красные окружности радиусом 100 км, которые показывают, где мог бы оказаться вертолёт через 30 минут. Возможны 4 траектории перемещения вертолёта, одна из которых попадает в искомый населённый пункт. Данная траектория изображена фиолетовым цветом.



Критерии оценивания

Верные, обоснованные ответы на вопросы задачи оцениваются полным баллом при любом способе решения. Промежуточные результаты, полученные в процессе решения, оцениваются по следующей схеме.

Найден населённый пункт, фигурирующий в вопросе **4a**, – **2 балла**.

Время, найденное в пункте **4a**, попадает в промежуток с 12:39 до 12:45 – **1 балл**.

На рисунке указаны четыре возможных траектории вертолёта, которые соответствуют таблице, приведённой в условии задачи, – **4 балла**.

Найден населённый пункт, фигурирующий в вопросе **4b**, – **3 балла**.

Если идея решения задачи верна, но населённые пункты не найдены, тогда за всю задачу выставляется **4 балла**.