Муниципальный этап всероссийской олимпиады школьников по физике. 2024-25 учебный год. 9 класс. Максимальный балл – 50.

Задача №1

Два тела начинают движение из состояния покоя. Первое тело движется равномерно со скоростью $v_1 = 36$ км/ч, второе – равноускоренно с ускорением $a_2 = 1$ м/с^2. Определите:

Вопрос №1. Через какое время t_1 после начала движения скорости тел станут равны.

Вопрос №2. Через какое время t_2 после начала движения пути, пройденные телами, будут отличаться в 2 раза.

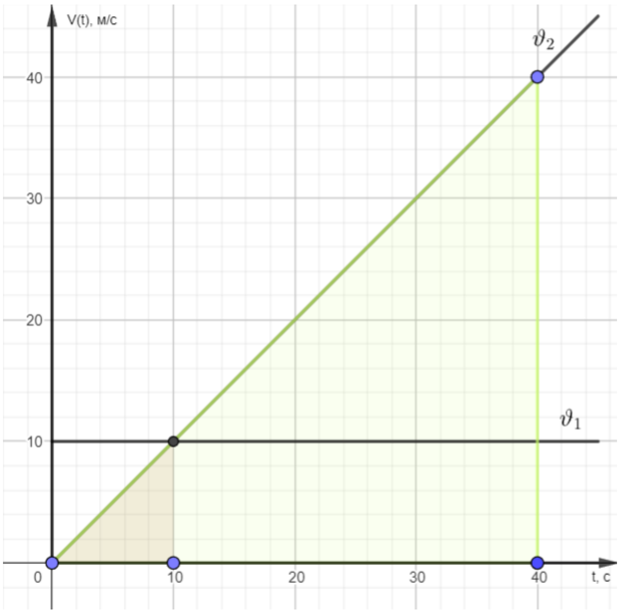
Вопрос №3. Среднюю путевую скорость второго тела в момент времени t_2.

Вопрос №4. Среднюю скорость второго тела на всём участке, где средние скорости тел, вычисленные с момента начала движения, будут отличаться менее, чем в 4 раза?

Возможное решение

Вариант 1. Графический

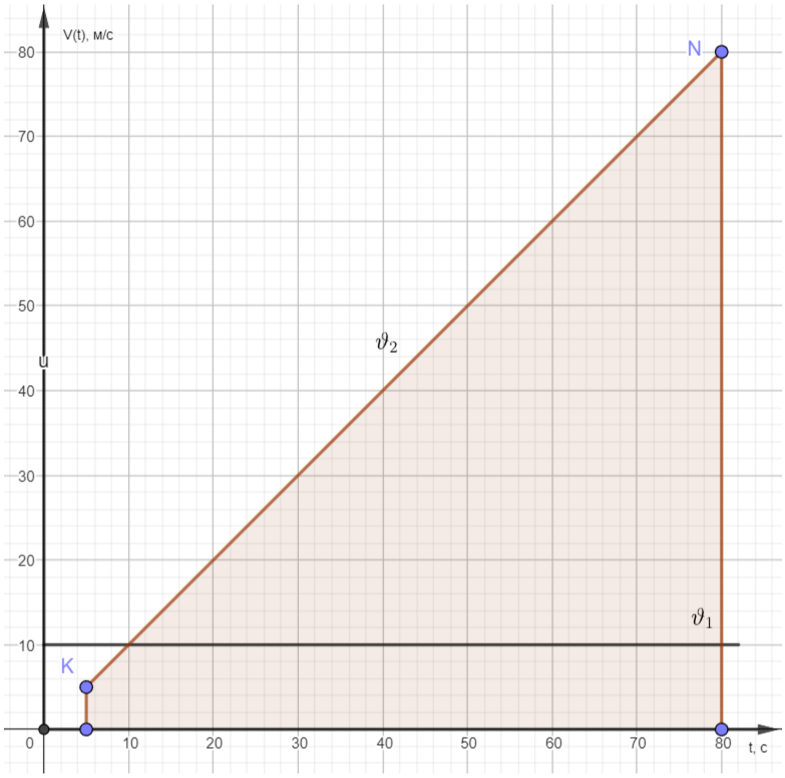
Построим графики зависимостей модулей скоростей тел от времени.



1. По графикам видно, что скорости станут равны, спустя t_1=10 с;
2. Путь можно определить как площадь под графиком зависимости модуля скорости от времени. По построенным графикам видно, что возможны 2 варианта решения (площади зеленого и коричневого треугольников – пути, пройденные вторым телом за 10 и 40 секунд соответственно) – путь первого тела больше пути второго в 2 раза (путь второго – площадь коричневого треугольника) и путь второго тела больше пути первого в 2 раза (путь второго – площадь зеленого треугольника). Значит ответы:
   - $t_{2\,1}$ = 10 с;
   - $t_{2\,2}$ = 40 с;
3. Поскольку таких вариантов два, то и решений тоже два. По определению средней путевой скорости: $\vartheta_{\text{ср}\,2} = \frac{L}{t}$; значит ответы:
   - $\vartheta_{\text{ср}\,2\,1} = 5$ м/с;
   - $\vartheta_{\text{ср}\,2\,2} = 20$ м/с;

4. Средние скорости отличаются в 4 раза в точках, где пути отличаются в 4 раза. Найдем эти точки, это K и N, для которых:

- $t_{3\,1}$ = 5 с;
- $t_{3\,2}$ = 80 с.



Средняя скорость на этом промежутке времени будет равна $\vartheta_{\text{ср}\,2\,3} = \frac{L_{KN}}{t_{3\,2} - t_{3\,1}}$;

Путь L = 3187,5 м – как площадь под графиком соответствующей области (выделена цветом на рисунке);

Отсюда $\vartheta_{\text{ср}\,2\,3} = \frac{3187{,}5 \text{ м}}{80 \text{ с} - 5 \text{ с}} = 42{,}5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

Вариант 2. Аналитический

1. Запишем законы изменения скоростей для 1 и 2 тела:

$$\vartheta_1(t) = \vartheta_{0\,1} + a_1 \cdot t = 10;$$
$$\vartheta_2(t) = \vartheta_{0\,2} + a_2 \cdot t = t;$$

Скорости станут равны спустя t_1=10 с.

2. Пути, пройденные телами за время t, в любой момент времени могут быть определены для 1 и 2 тела как:

$$L_1(t) = 10t;$$
$$L_2(t) = 0{,}5t^2;$$

По условию $L_1 = 2L_2$ или $L_2 = 2L_1$;

Получим $10t_{2\,1} = t^2_{2\,1}$ или $20t_{2\,1} = 0{,}5t^2_{2\,1}$;

Отсюда: $t_{2\,1}$ = 10 с;

$t_{2\,2}$ = 40 с.

3. Поскольку таких вариантов два, то и решений тоже два. По определению средней путевой скорости: $\vartheta_{\text{ср}\,2} = \frac{L}{t}$; значит ответы:

- $\vartheta_{\text{ср}\,2\,1} = 5$ м/с;

- $\vartheta_{ср\ 2\ 2} = 20$ м/с.

4. Средние скорости отличаются в 4 раза в точках, где пути отличаются в 4 раза. Найдем такие моменты времени аналогично п.2:

- $t_{3\ 1} = 5$ с;
- $t_{3\ 2} = 80$ с.

Средняя скорость на этом промежутке времени будет равна $\vartheta_{ср\ 2\ 3} = \frac{L_2(t_{3\ 2}) - L_2(t_{3\ 1})}{t_{3\ 2} - t_{3\ 1}}$;

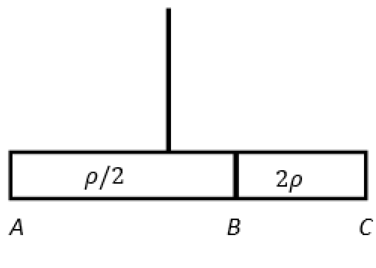
Отсюда $\vartheta_{ср\ 2\ 3} = \frac{3187{,}5\ м}{80\ с - 5\ с} = 42{,}5\frac{м}{с}$.

Критерии оценивания.

№	Критерий	Кол-во баллов
1	Верно определено время t_1 (t_1=10 с)	1
2	Указано, что моментов времени, когда скорость средние скорости тел будут отличаться в 2 раза два	1
3	Верно определены моменты времени $t_{2\ 1}$ = 10 с (0,5 балла) и $t_{2\ 2}$ = 40 с (0,5 балла)	0,5+0,5
4	Верно определены средние скорости второго тела за 10 с и 40 с соответственно. $\vartheta_{ср\ 2\ 1} = 5$ м/с (1 балл); $\vartheta_{ср\ 2\ 2} = 20$ м/с (1 балл)	1+1
5	Указано, что моментов времени, когда скорость средние скорости тел будут отличаться в 4 раза два	1
6	Верно определены моменты времени $t_{3\ 1}$ = 5 с (0,5 балла) и $t_{3\ 2}$ = 80 с (0,5 балла)	0,5+0,5
7	Предложена верная методика расчета средней скорости в промежутке времени от 5 до 80 с (графический, аналитический или альтернативный способы)	2
8	Верно определена средняя скорость $\vartheta_{ср\ 2\ 3} = 42{,}5\frac{м}{с}$ (с указанием единиц измерения)	1
	ИТОГО	10

Задача №2

Цилиндрический стержень длиной $L = 50$ см, состоящий из двух частей разной плотности, висит на нити горизонтально. Часть АВ стержня длиной $4/5L$ состоит из материала плотностью $\rho/2$. Оставшаяся часть стержня ВС состоит из материала плотностью 2ρ. Радиусы обеих частей стержня одинаковы.



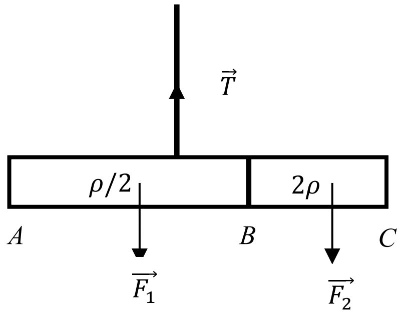
__Вопрос №1.__ На каком расстоянии x от левого конца стержня АВ закреплена нить?

__Вопрос №2.__ Стержень погружают в жидкость плотностью ρ. Сможет ли он плавать в жидкости, если нить никуда не тянуть?

__Вопрос №3.__ Найдите, на каком новом расстоянии от левого конца стержня АВ должна быть закреплена нить, чтобы стержень был полностью погружен в жидкость плотностью ρ и располагался горизонтально. В какую сторону (вверх или вниз) ее нужно тянуть.

Возможное решение:

<u>Вопрос №1:</u>



Рассмотрим стержень как систему, состоящую из двух частей AB и BC. Обозначим одну пятую часть стержня за l, т.е. BC = l = 10 см, тогда AB = $4l$. На стержень действуют три силы: $\vec{F_1}$ - сила тяжести, действующая на часть AB, $\vec{F_2}$ - сила тяжести, действующая на часть BC и $\vec{T}$ - сила натяжения нити. Обозначим площадь поперечного сечения стержня за S. Тогда:

$$F_1 = m_1 g = \frac{\rho}{2} S4lg = 2\rho Slg$$
$$F_2 = m_2 g = 2\rho Slg$$

Так как стержень расположен горизонтально, то есть находится в равновесии, то

$$T = F_1 + F_2 = 2\rho Slg + 2\rho Slg = 4\rho Slg$$

Запишем правило моментов относительно левого конца стержня: $M_1 + M_2 = M$, где M_1 – момент силы тяжести, действующей на часть AB, M_2 – момент силы тяжести, действующей на часть BC, M – момент силы натяжения T. Тогда:

$$M_1 = F_1 \cdot 2l = 2\rho Slg \cdot 2l = 4\rho Sgl^2$$
$$M_2 = F_2 \cdot \left(4l + \frac{1}{2} l\right) = 2\rho Slg \cdot \frac{9}{2} l = 9\rho Sgl^2$$
$$M = T \cdot x = 4\rho Slg \cdot x$$

Подставим в правило моментов: $4\rho Sgl^2 + 9\rho Sgl^2 = 4\rho Slg \cdot x$.

Приводя подобные слагаемые, получаем: $13\rho Sgl^2 = 4\rho Slg \cdot x$.

Следовательно, $13l = 4x$, $x = \frac{13}{4} l = \frac{13}{4} \cdot 10см = 32{,}5\ см$

<u>Вопрос №2:</u>

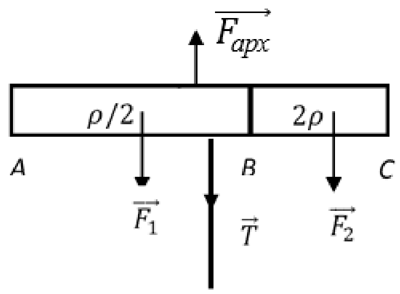
Определим среднюю плотность стержня. $\rho_{ср} = \frac{\frac{\rho}{2} S4l + 2\rho Sl}{5Sl} = \frac{4}{5}\rho$. Если плотность жидкости больше средней плотности стержня, то он сможет плавать в ней без натяжения нити, если средняя плотность стержня равна плотности жидкости, то он будет плавать погруженным в нее полностью.

<u>Вопрос №3:</u>

Так как средняя плотность стержня меньше плотности жидкости, то для того, чтобы стержень полностью погрузился в жидкость его необходимо тянуть за нить вниз.

Найдем силу Архимеда $F_{\text{арх}} = 5\rho g S l$

Из условия равновесия цилиндра по вертикальной оси получаем: $F_{\text{арх}} = F_1 + F_2 + T$, откуда $T = F_{\text{арх}} - F_1 - F_2 = 5\rho g S l - 2\rho g S l - 2\rho g S l = \rho g S l$



Запишем равенство моментов сил, действующих на стержень, относительно его левого конца.

$$2\rho S l g \cdot 2l + 2\rho S l g \cdot \frac{9}{2} l + \rho g S l \cdot x' = 5\rho g S l \cdot \frac{5}{2} l$$

$$4l + 9l + x' = 12{,}5l$$

Откуда: $x' = -0{,}5l$. Знак минус означает, что нить должна быть привязана левее левого края стержня, что невозможно. Ситуация, описанная в третьем вопросе невозможна.

Критерии оценивания.

№	Критерий оценивания	Кол-во баллов
1	Определены величины сил тяжести F_1 и F_2	1
2	Записано условие равновесия стержня для сил и определена сила натяжения $T = 4\rho S l g$ + записано равенство моментов сил относительно любой из осей ИЛИ Записано равенство моментов сил относительно точки крепления нити	1+1 ИЛИ 2
3	Найдено $x = \frac{13}{20} L = 32{,}5$ см (формула + число)	1+1
4	Определена средняя плотность стрежня или сила Архимеда, действующая на полностью погруженный стержень	1
5	Написано условие, при котором стержень будет плавать	1
6	Указано, что в третьем вопросе стержень нужно тянуть вниз	1
7	Записаны условия равновесия стержня	1
8	Сделан вывод, что такое невозможно	1
	ИТОГО	10

Задача №3

Для изготовления лекарства больному необходимо медленно смешивать его в определенных пропорциях с физиологическим раствором при строго определенном температурном режиме.

В медицинский стакан емкостью 260 мл медсестра наливает доверху лекарство при температуре 27°C. Оказалось, что стакан с лекарством остывает на 2°C за одиннадцать минут. Для того, чтобы поддерживать температуру постоянной, она капает в стакан теплый физиологический раствор температурой 55°C. Известно, что объём одной капли равен 0,2 мл.

Вопрос №1. Сколько капель в минуту необходимо ей капать, чтобы поддерживать температуру в стакане неизменной?

Вопрос №2. С какой частотой (капель в минуту) нужно капать физраствор, чтобы температура содержимого стакана увеличивалась на 0,5°C в минуту?

Считать теплоемкость и плотность лекарства равной теплоемкости и плотности обычной воды. Удельная теплоемкость физраствора 3900 Дж/кг·°C, плотность 1010 кг/м^3. Лишнее лекарство выливается из носика стакана, а физраствор оседает на дне стакана.

Возможное решение

Вопрос №1:

Потери тепла стакана с лекарством за 11 минут

$$Q_{охл} = c_л \cdot \rho_{лек} \cdot V_{ст} \cdot \Delta t \qquad (1)$$

Будем считать, что как только капля физраствора попадает в стакан, из его носика сразу же падает капля лекарства, и далее в теплообмене не участвует.

Для поддержания температуры необходимо добавить физраствор, который сообщит:
$Q_{кап} = c_{физ\ р} \cdot n \cdot m_к(t_{физ\ р} - t_{лек})$, где $m_к$ –масса капли физраствора, n – их количество.
Так как другие потери не учитываются, то: $Q_{охл} = Q_{кап}$

$$c_л \cdot \rho_{лек} \cdot V_{ст} \cdot \Delta t = c_{физ\ р} n m_к(t_{физ\ р} - t_{лек})$$

$$4200 \cdot 0{,}26 \cdot 2 = 3900 \cdot n \cdot m_к(55 - 27)$$

$$n \cdot m_к = 0{,}02 \text{ кг}$$

Количество капель при этом

$$n = \frac{0{,}02}{\rho_л \cdot V_{кап}} = \frac{0{,}02}{1{,}01 \cdot 2 \cdot 10^{-4}} = 99, \text{ где } V_{кап} \text{ – объем одной капли}$$

Так как капать надо в течение 11 минут, то в 1 минуту – $n_к = 9$ капель.

<u>Вопрос №2:</u> Чтобы увеличить температуру содержимого необходимо увеличить частоту капель в 1 минуту.

Необходимо за 1 минуту увеличивать температуру на 0,5°С, тогда на нагревание необходимо энергии: $Q'_{нагр} = c_л \cdot \rho_{лек} \cdot V_{ст} \cdot 0{,}5°\text{C} = 4200 \cdot 0{,}26 \cdot 0{,}5 = 546$ Дж

За это же время потери энергии составят $Q'_{пот} = \frac{c_л \cdot \rho_{лек} \cdot V_{ст} \cdot \Delta t}{11} = \frac{4200 \cdot 0{,}26 \cdot 2}{11} = 198{,}5$ Дж

В таком случае физраствор должен отдать энергию $Q'_{охл} = Q'_{нагр} - Q'_{пот} = 546 - 198{,}5 = 347{,}5$ Дж

С другой стороны эта энергия равна $Q'_{охл} = c_{физ\ р} n' m_к\left(t_{физ\ р} - t_{лек}\right) = 3900 \cdot n' \cdot m_к(55 - 27)$, откуда $n' m_к = 0{,}0032$ кг. $n' = \frac{0{,}0032}{\rho_л \cdot V_{кап}} = \frac{0{,}0032}{1{,}01 \cdot 2 \cdot 10^{-4}} = 15{,}8$ капель/мин

Критерии оценивания

№	Критерий	Кол-во баллов
1	Найдены (выражены) потери тепла стаканом с лекарством за некоторое время	1
2	Выражено количество теплоты, отданное физраствором для поддержания постоянной температуры содержимого стакана	1
3	Записано уравнение теплового баланса	2
4	Выражено общее количество капель физраствора, необходимое на поддержание постоянной температуры в течение 11 минут	1
5	Найдено количество капель за 1 минуту	1
6	Определено сколько энергии нужно подводить к стакану в единицу времени, чтобы его температура росла на пол градуса в минуту	1
7	Учтены потери тепла за счет остывания	1
8	Записано уравнение теплового баланса	1
9	Определена частота капель во втором вопросе	1
	ИТОГО	10

Задача №4

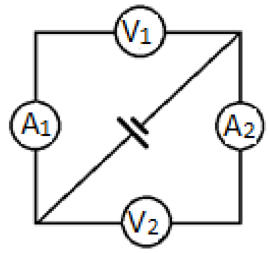
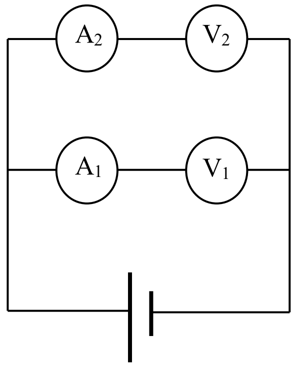


Схема состоит из двух разных амперметров и двух одинаковых вольтметров. Источник тока создаёт напряжение 20 В. Первый амперметр показывает силу тока 20 мА, первый вольтметр показывает напряжение 18 В, второй амперметр показывает силу тока 16 мА.

<u>Вопрос №1.</u> Какое напряжение покажет второй вольтметр?

<u>Вопрос №2.</u> Каковы сопротивления первого и второго амперметров?

Возможное решение.



Прежде всего, начертим эквивалентную схему. Теперь видно, что амперметры соеденены последоваельно с вольтметрами, и находятся на паралельных участках цепи. Из этого следует, что сила тока, которую показывают амперметры, это сила тока, протекающая через вольтметры. Тогда легко найти сопротивление первого вольтметра $R_v = \frac{U_1}{I_1} = 900$ Ом. Так как сказано, что вольтметры одинаковые, это означает что у них одинаковое сопротивление. Теперь можно вычислить напряжение на втором вольтметре: $U_2 = R_v \cdot I_2 = 14{,}4$ В.

Общее напряжение на участке, содержащем амперметр и вольтметр, равно напряжению источника. Тогда напряжение на амперметре: $U_A = U_{\text{ист}} - U_V$.

Таким образом напряжение на первом амперметре – 2 В, а на втором – 5,6 В.

Теперь не трудно вычислить сопротивления амперметров: $R_A = U_A/I_A$. Получается, что сопротивление первого амперметра – 100 Ом, второго – 350 Ом.

Критерии оценивания.

№	Критерий	Кол-во баллов
1	Записан и использован закон Ома для участка цепи	1
2	Записаны и использованы законы последовательного и параллельного соединения	1
3	Правильно получено сопротивление вольтметра $R_v = \frac{U_1}{I_1}$ (может не вычисляться численно)	2
4	Правильно получено значение напряжения на втором вольтметре $U_2 = 14{,}4$ В	2
5	Правильно получено сопротивление первого амперметра 100 Ом	2
6	Правильно получено сопротивление второго амперметра 350 Ом	2
	ИТОГО	10

Задача №5

Оборудование:

Лист бумаги формата А4 с напечатанным прямоугольником в клетку, ножницы, кусок нити, гайка.

Клетки внутри прямоугольника являются квадратными с размерами 5 х 5 мм. Поверхностная плотность бумаги (отношение массы бумаги к площади ее поверхности) равна $\sigma = 80$ г/м^2.

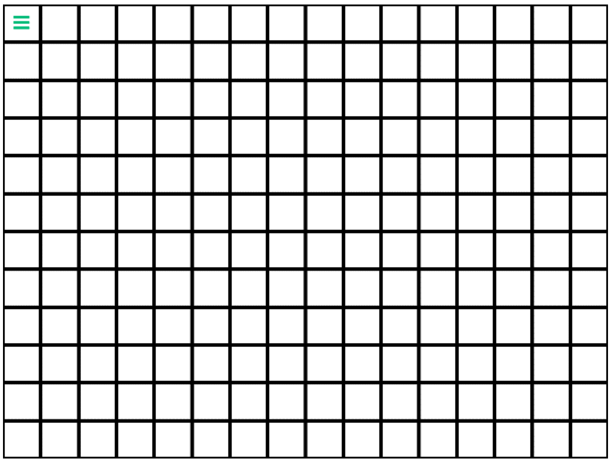
<u>Вопрос №1</u>. Определите размеры (ширину и длину в сантиметрах) выданного вам листа, на котором напечатан прямоугольник в клетку.

<u>Вопрос №2</u>. Определите массу выданной вам гайки.

ВАЖНО!!! При решении задачи можно использовать только указанное в задаче оборудование. Если вы будете использовать оборудование, отсутствующие в списке, то ваше решение будет оценено в ноль баллов. При оформлении решения опишите какие опыты вы выполняли, как выглядела ваша установка, приведите измерения, необходимые формулы и результаты расчетов. Выданный вам лист вы можете использовать как угодно, в том числе резать его, делать на нем пометки и т.д., **НО** помните, что новый лист вам не выдадут!

Часть оборудования к задаче №5 девятого класса.

Печатается на отдельном листе формата А4, плотностью 80 г/м^2



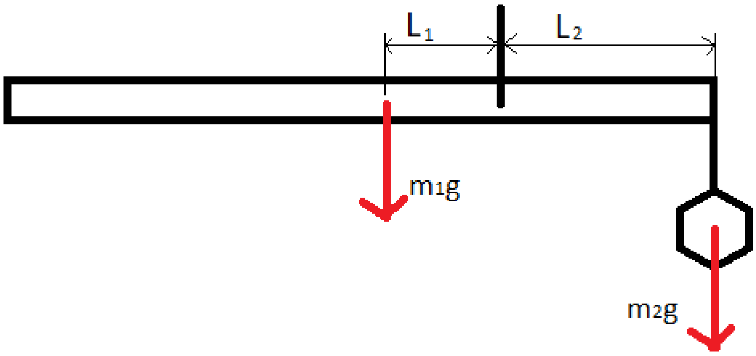
Возможное решение

Аккуратно вырежем из листа бумаги прямоугольник, расчерченный в клетку. Зная, что размер каждой его клеточки равен 5 мм, будем использовать его в качестве линейки. Для удобства можно вдоль одного из его длинных краев нарисовать шкалу в сантиметрах. Прикладывая его несколько раз к длинной, а затем короткой стороне листа, измерим длины его сторон.

$L_1 = 21$ см, $L_2 = 29{,}5$ см

Для определения массы гайки отрежем половину листа вдоль длинной стороны, получим лист размерами $\frac{L_1}{2}\ x\ L_2$. Массу этого листа определим, зная поверхностную плотность. $m_л = \frac{\sigma L_2 L_1}{2} = 2{,}48$ г.

Для определения массы гайки свернем половинку листа в трубочку вдоль длинной стороны и будем использовать в качестве рычага, подвесив на второй конец гайку.



Сила тяжести, действующая на лист бумаги приложена к его центру тяжести. Для определения центра тяжести для начала уравновесим лист на нити без гайки. Отметим точку подвеса нити, при которой лист оказывается в равновесии, эта точка и будет центром тяжести. Теперь подвесим на конец листа гайку и вновь уравновесим лист. Измерим плечи L_1 и L_2 и запишем условие равновесия

$m_1 g L_1 = m_2 g L_2$, откуда $m_2 = m_1 \frac{L_1}{L_2}$.

Возможны разные варианты конструкций с рычагом, так можно подвесить рычаг за середину, на один конец подвесить гайку, а на другой конец остатки листа и добиваться равновесия, либо сдвигая гайку, либо меняя массу подвешенного листа, которую можно определить через его площадь.

В решении не приводятся численные значения, так как оборудование в разных точках проведения могло отличаться. Для получения эталонных значений жюри необходимо проделать описанные эксперименты.

Критерии оценивания.

№	Критерий	Кол-во баллов
1	Предложено использовать клетчатую часть листа в качестве линейки	1
2	Определены длины сторон с погрешностью не более 0,5 см	1+1
3	Определена масса листа или его части через поверхностную плотность	1
4	Идея использования листа в качестве рычага	2
5	Записано условие равновесия рычага	1
6	Выполнены необходимые измерения	1
	Определена масса гайки с отклонением от истинного значения: - не более 10% - не более 20%	 2 1
	ИТОГО	10