**7, 8 и 9 классы.**

***Задания, возможные решения, ответы и критерии проверки.***

Задание отборочного тура состояло из двух частей. В части I использовались индивидуальные варианты для каждого участника, составленные из сходных заданий одного уровня, при этом проверялись и оценивались только ответы участников. В части II использовались творческие задачи высокого уровня сложности, требующие нестандартных подходов к решению, и в этом случае проверялись и оценивались решения.

**Часть I : пример варианта.**

**Вопрос 1 (6 баллов):**

Небольшой камешек брошен вертикально вверх с поверхности Земли. Наблюдатель, стоящий на балконе, определил, что камень пролетел мимо него дважды – первый раз спустя 1,4 с и второй раз спустя 3,6 с после броска. Пренебрегая сопротивлением воздуха, найдите начальную скорость камня. Ответ дайте в м/с, при необходимости округлив до ближайшего целого значения. Ускорение свободного падения считать равным примерно 10 м/с$^2$.

**Решение:** Закон движения камня, брошенного вертикально вверх с поверхности Земли $x(t) = v_0 t - \frac{gt^2}{2}$. Указанные моменты времени для балкона на высоте $h$ – корни квадратного уравнения $t^2 - \frac{2v_0}{g}t + \frac{2h}{g} = 0$, то есть, согласно теореме Виета, $v_0 = \frac{g}{2}(t_1 + t_2) \approx 25$ м/с.

**Ответ: 25.**

**Вопрос 2 (9 баллов):**

В термосе находится вода с температурой $t_0 = 20°C$. Туда доливают немного горячей воды с температурой $t = 80°C$, и после установления теплового равновесия температура содержимого термоса стала равна $t_1 = 30°C$. Затем в термос долили еще одну «порцию» горячей воды – точно такую же, как первую (той же массы и температуры). Какой станет температура содержимого термоса? Ответ запишите в градусах Цельсия, при необходимости округлив до ближайшего целого значения.

**Решение:** Пусть $C_T$ – теплоемкость термоса с водой до доливания первой порции, а $C_B$ – теплоемкость одной порции воды. Тогда $C_T(t_1 - t_0) = C_B(t - t_1) \Rightarrow C_T = 5C_B$. Для второго доливания $(C_T + C_B)(t_2 - t_1) = C_B(t - t_2) \Rightarrow 7t_2 = 6t_1 + t$, откуда $t_2 \approx 37{,}14°C$.

**Ответ: 37.**

**Вопрос 3 (10 баллов):**

К батарейке, создающей на своих клеммах напряжение 12 В, подключили цепь из последовательно соединенных резистора и амперметра. Амперметр показал силу тока в цепи, равную 0,48 А. Затем параллельно амперметру подключили еще один амперметр. После этого оба амперметра показали одинаковую силу тока 0,25 А. Найдите внутреннее сопротивление первого амперметра. Ответ запишите в Омах.

**Решение:** Поскольку параллельно соединенные амперметры показывали одинаковую силу тока, то их внутренние сопротивления были одинаковы. Значит, при подключении одного амперметра сумма сопротивлений резистора и амперметра $R + r = \frac{U}{I_1} = 25$ Ом, а для подключения двух (когда общий ток равен $2I_2 = 0{,}5\,\text{А}$) – $R + \frac{r}{2} = \frac{U}{2I_2} = 24\,\text{Ом}$. Вычитая эти соотношения, находим, что $\frac{r}{2} = \frac{U}{I_1} - \frac{U}{2I_2} = 1\text{Ом}$. Таким образом, $r = 2\,\text{Ом}$.

**Ответ: 2.**

**Максимальная оценка за часть I: 25 баллов.**

**Часть II (творческое задание).**

1. («**Параллелепипед**») Герметичная емкость, имеющая форму прямоугольного параллелепипеда, снабжена на каждой из внутренних граней маленьким датчиком давления, сигнал которого передается наружу. В емкость налили $m = 240$ г воды и расположили вдоль вертикали своей самой длинной стороной. Датчик на нижней грани показал, что давление столба воды составило $p_1 = 294$ Па. Затем емкость по очереди расположили вдоль вертикали другими сторонами, и обнаружили, что соответствующие давления равны $p_2 = 245$ Па и $p_3 = 196$ Па. Сколько еще воды можно долить в емкость до ее заполнения? Плотность воды $\rho = 1\,\text{г/см}^3$, для лучшей точности вычислений ускорение свободного падения следует считать равным $g \approx 9{,}8\,\text{м/с}^2$.

**Решение:** Обозначим длины сторон внутренних граней параллелепипеда (в порядке возрастания) $a$, $b$ и $c$. Давление столба воды над гранью площадью $S$ равно $p = \frac{mg}{S}$, поэтому $ab = \frac{mg}{p_1}$, $ac = \frac{mg}{p_2}$ и $bc = \frac{mg}{p_3}$. Из этих соотношений находим, что $c = \sqrt{\frac{ac \cdot bc}{ab}} = \sqrt{\frac{mg\,p_1}{p_2\,p_3}}$, и аналогично $a = \sqrt{\frac{mg\,p_3}{p_2\,p_1}}$ и $b = \sqrt{\frac{mg\,p_2}{p_1\,p_3}}$. Значит, внутренний объем емкости $V = mg\sqrt{\frac{mg}{p_1 p_2 p_3}}$. В эту емкость еще можно долить воду массой не более

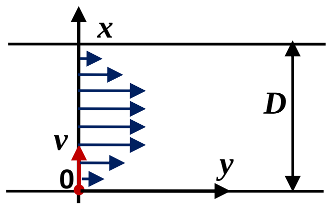
$$\Delta m = \rho V - m = m\left[\rho g\sqrt{\frac{mg}{p_1 p_2 p_3}} - 1\right] = 3m = 720\,\text{г}.$$

ОТВЕТ: 720 г.

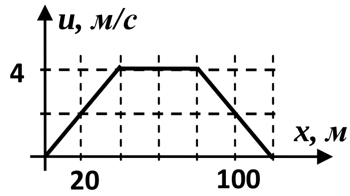
**Критерии проверки:**

| | |
|---|---|
| Верная запись связи давления с площадью грани | 4 |
| Верное вычисление сторон емкости через площади граней | 6 |
| Нахождение внутреннего объема емкости | 3 |
| Получение ответа | 2 |
| МАКСИМАЛЬНЫЙ БАЛЛ | **15** |

2. («**Переправа**») Моторная лодка переправляется через прямолинейный участок




канала шириной $D = 120$ м. Рулевой держит направление движения относительно воды строго перпендикулярно руслу канала с постоянной скоростью $v = 5$ м/с. Скорость течения воды в канале не




одинакова: в средней части потока она максимальна ($u_m = 4$ м/с), а к берегам спадает до нуля. График зависимости скорости течения от координаты $x$, отсчитываемой от одного берега до другого поперек течения (см. рисунок слева), показан на рисунке справа. Найдите расстояние, на которую снесет лодку по течению (ось $y$ на рисунке справа) за время переправы.

**Решение:** Движение лодки по оси $x$ равномерное: $x(t) = vt$, поэтому представленный график можно рассматривать как график зависимости скорости перемещения вдоль оси $y$ от времени (120 м соответствуют 24 с). Поэтому движение вдоль $y$ от $t = 0$ до $t_1 = 8$ с – равноускоренное с ускорением $a_1 = 0{,}5$ м/с$^2$. Путь, пройденный за это время вдоль $y$ равен $s_1 = \dfrac{a_1 t_1^2}{2} = 16$ м. От $t_1 = 8$ с до $t_2 = 16$ с движение – равномерное со скоростью $u_2 = 4$ м/с, и $s_2 = u_2(t_2 - t_1) = 32$ м. Наконец, от $t_2 = 16$ с до $t_3 = 24$ с движение происходит с постоянным ускорением $a_3 = -0{,}5$ м/с$^2$, и $s_3 = u_2(t_3 - t_2) + \dfrac{a_3(t_3 - t_2)^2}{2} = 16$ м. Полная величина сноса $s = s_1 + s_2 + s_3 = 64$ м.

ОТВЕТ: 64 м.

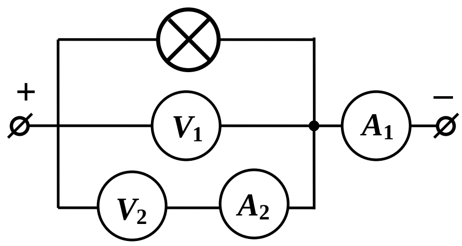
Примечание: Можно вычислить путь как площадь под графиком $u(t)$. Тогда сразу:

$$s = \frac{1}{2} 8\text{с} \cdot 4\text{м/с} + 8\text{с} \cdot 4\text{м/с} + \frac{1}{2} 8\text{с} \cdot 4\text{м/с} = 64\text{ м}.$$

**Критерии проверки:**

| | |
|---|---|
| Предложен способ перехода к графику скорости от времени, или проведен анализ этой зависимости | 5 |
| Правильное вычисление пути на каждом из трех участков | по 3 |
| Получение ответа | 1 |
| МАКСИМАЛЬНЫЙ БАЛЛ | **15** |

3. («**Замените вольтметры!**») Однажды некий любознательный школьник собрал схему из лампочки, двух одинаковых вольтметров и двух одинаковых амперметров. Приборы оказались довольно точными, но их внутренние сопротивления были далеки от идеальных. После подключения схемы к источнику постоянного напряжения лампочка загорелась, и показания приборов были следующими: вольтметры показывали напряжения




$U_1 = (76{,}00 \pm 0{,}05)$ В и $U_2 = (75{,}60 \pm 0{,}05)$ В, а амперметры – токи $I_1 = (262{,}0 \pm 0{,}5)$ мА и $I_2 = (36{,}0 \pm 0{,}5)$ мА. Какими станут показания приборов, если вольтметры заменить на новые – с такой же точностью измерений, но с внутренним сопротивлением, в 800 раз больше, чем у старых? Укажите точность, с которой Вы можете предсказать их показания. Считать, что напряжение источника при замене вольтметров практически не изменится.

**Решение:** Начнем с определения параметров схемы, и будем для каждого параметра оценивать возможную ошибку. Сопротивление вольтметров можно найти по току и напряжению для $V_2$: $R_V = \frac{U_2}{I_2} \approx 2100$ Ом. Так как $U_2$ нам известно с точностью $\frac{0{,}05}{76} \approx 0{,}07$ %, а $I_2$ - точностью $\frac{0{,}5}{36} \approx 1{,}4\,\%$, то точность результата очевидно будет соответствовать худшей из этих точностей, и $R_V \approx (2100 \pm 30)$ Ом. Кроме того, можно найти, что напряжение на $A_2$ равно $U_1 - U_2 \approx (0{,}4 \pm 0{,}1)$ В, причем точность этого результата не очень хорошая (ошибка около 25%!): возможный разброс значений этой разности равен сумме возможных отклонений вычитаемых напряжений. Сопротивление амперметров определяется с такой же «плохой» точностью: $R_A = \frac{U_1 - U_2}{I_2} \approx (11{,}1 \pm 2{,}8)$ Ом (в промежуточных выражениях будем сохранять при округлениях «лишний» порядок – хотя значение третьей значащей цифры в величине сопротивления амперметра нам на самом деле неизвестно, так как ошибка есть уже во второй, мы ее пока сохраняем, чтобы не увеличивать существенно ошибку округления). Теперь можно найти напряжения источника: $U = U_1 + R_A I_1 \approx (78{,}9 \pm 0{,}8)$ В (здесь ошибка в основном – это ошибка во втором слагаемом). Наконец, определим сопротивление лампы: поскольку $I_1 = I_2 + \frac{U_1}{R_V} + \frac{U_1}{R_Л}$, то $R_Л = \frac{U_1 U_2}{U_2(I_1 - I_2) - U_1 I_2} \approx (400 \pm 3)$ Ом (ошибка связана в основном с ошибкой значений токов в знаменателе – полная ошибка знаменателя примерно 8% от его величины).

Теперь рассмотрим схему после увеличения сопротивлений вольтметров. Их новые сопротивления $R'_V = 800 R_V \approx 1{,}68$ Мом, и поэтому токи в ветвях с вольтметрами при том же напряжении источника не превосходят $\frac{U}{R_V} \approx 47$ мкА! Эта величина значительно меньше приборной ошибки амперметров (0,5 мА=500 мкА), поэтому влиянием этих токов на показания амперметров можно пренебречь. Значит, про показания второго амперметра можно сказать только то, что в пределах приборной ошибки они не отличаются от нулевых, а показания первого амперметра определяются током по контуру «лампа-$A_1$», то есть $I'_1 \approx \frac{U}{R_Л + R_A} \approx (192 \pm 5)$ мА. Ошибка здесь оценивается следующим образом: $U$ нам известно с точностью около 1%, а $R_Л + R_A \approx (411 \pm 6)$ Ом – около 1,5%. Ошибка их отношения должна быть около 2,5%: $\frac{a \pm \Delta a}{b \pm \Delta b} = \frac{a}{b} \cdot \frac{1 \pm \Delta a / a}{1 \pm \Delta b / b} \approx \frac{a}{b} \cdot \left(1 \pm \frac{\Delta a}{a} \mp \frac{\Delta b}{b}\right)$. Напряжением на $A_2$ также можно пренебречь, и напряжения на обоих новых вольтметрах одинаковы в пределах приборной ошибки и равны $U'_1 \approx U'_2 \approx U - R_A I'_1 \approx (76{,}8 \pm 1{,}4)$ В. Заметим, что вычисление этих напряжений через напряжение на лампе приводит к несколько худшей точности. На самом деле, при использовании более строгой «теории ошибок», некоторые стандартные отклонения получаются несколько меньше приведенных оценок, но на школьном уровне построенные оценки являются разумными. В связи с этим не слишком большие вариации величин ошибок (не более чем в два раза) конечных результатов не должны влиять на зачет решения.

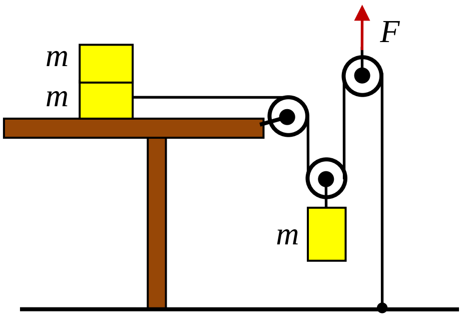
ОТВЕТ: $U_1' \approx U_2' \approx (76{,}8 \pm 1{,}4)$ В, $I_1' \approx (192 \pm 5)$ мА, $I_2'$ нельзя отличить от нуля в пределах приборной ошибки.

**Критерии проверки:**

| | |
|---|---|
| Определены сопротивления вольтметров и амперметров (с учетом ошибок) | **по 1 (+1) за $R_V$ и $R_A$** |
| Определено напряжение источника (с учетом ошибки) | **1 (+2)** |
| Определено сопротивление лампы (с учетом ошибки) | **1 (+2)** |
| Показано, что после увеличения сопротивления вольтметров токи в их ветвях не влияют на результаты измерений | **2** |
| Получены ответы для напряжений и токов (с учетом ошибок) | **по 1 (+1)** |
| МАКСИМАЛЬНЫЙ БАЛЛ | **20** |

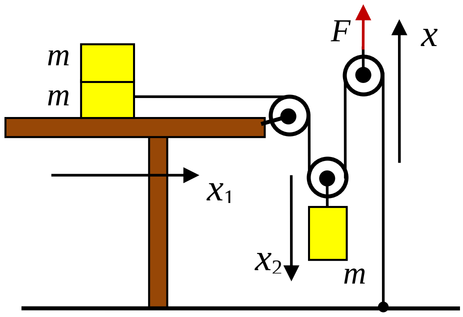
(как видно, правильные результаты без анализа ошибок или с существенно неправильным указанием ошибок приносят не более 10 баллов).

4. («**Тянем-потянем**») На горизонтальном столе сложили «стопкой» два одинаковых груза массой $m = 500$ г. Нижний груз легкой почти нерастяжимой нитью соединили с полом, перекинув нить через три блока (см. рисунок). Все три блока очень легкие и вращаются без трения, и нить по ним не скользит. К нижнему подвижному блоку прикрепили еще один груз – такой же массы, и натянули нить, прикладывая направленную вверх силу $F$ к оси верхнего подвижного блока. Сначала системе не позволяют двигаться (удерживая нижний из грузов, лежащих на столе и висящий груз), затем грузы отпускают, продолжая тянуть верхний блок с той же силой $F$. Наблюдения показали, что при величине этой силы $F_1 = 3$ Н верхний блок начинает двигаться вниз с ускорением $a_1 = (4{,}0 \pm 0{,}1)$ м/с$^2$, при $F_2 = 6$ Н – вверх с ускорением $a_2 = (2{,}5 \pm 0{,}1)$ м/с$^2$, а при $F_3 = 9$ Н – вверх с ускорением $a_2 = (9{,}5 \pm 0{,}1)$ м/с$^2$. Силы и массы грузов определены с очень высокой точностью. Из приведенных данных определите коэффициенты трения $\mu_1$ (между нижним грузом и поверхностью стола) и $\mu_2$ (между верхним и нижним грузами). В ответе укажите точность, с которой Вы нашли эти величины.




**Решение:** Проанализируем движение системы в зависимости от величины $F$. Так как верхний подвижный блок считается невесомым, и движется с конечным ускорением, то сумма приложенных к нему сил равна нулю. Следовательно, сила натяжения нити всегда равна половине приложенной к блоку силы: $T = \frac{F}{2}$. Уравнение движения нижнего подвижного блока с грузом в проекции на ось $x_2$, направленную вниз (см. рисунок), $mA_2 = mg - 2T$

позволяет найти его ускорение: $A_2 = g - \frac{F}{m}$. Характер движения грузов на столе зависит от величины $F$. Если силы натяжения нити недостаточно для начала скольжения грузов (то есть $T \le \mu_1 2mg$, или $F \le 4\mu_1 mg$), то эти грузы покоятся, и ускорение нижнего из них $A_1 = 0$. Если же $F > 4\mu_1 mg$, но ускорение грузов меньше $\mu_2 g$, то эти грузы скользят




вместе. В этом случае $2mA_1 = T - 2\mu_1 mg \Rightarrow A_1 = \frac{F}{4m} - \mu_1 g$. Если же $A_1 > \mu_2 g$, то верхний груз начинает скользить по нижнему. Этот режим достигается при $\frac{F}{4m} - \mu_1 g > \mu_2 g$, то есть при $F > 4(\mu_1 + \mu_2)mg$, и в нем $mA_1 = T - 2\mu_1 mg - \mu_2 mg \Rightarrow A_1 = \frac{F}{2m} - (2\mu_1 + \mu_2)g$. Ускорение верхнего подвижного блока определяется условиями связи (нерастяжимостью нити):если нижний груз на столе сдвинется на $\Delta x_1$, а нижний подвижный груз – на $\Delta x_2$, то блок сместится вдоль вертикальной оси $x$ на $\Delta x = \frac{1}{2}\Delta x_1 - \Delta x_2$. Так как это соотношение выполняется для смещений в любой момент времени, то такое же соотношение выполняется для мгновенных скоростей и ускорений, то есть ускорение блока $a = \frac{1}{2}A_1 - A_2$. В результате зависимость ускорения верхнего подвижного блока в проекции на ось $x$ как функция силы $F$ описывается выражением:

$$a = \begin{cases} \frac{F}{m} - g \quad , & F \le 4\mu_1 mg \\ \frac{9F}{8m} - \left(1 + \frac{\mu_1}{2}\right)g, & 4\mu_1 mg < F \le 4(\mu_1 + \mu_2)mg \\ \frac{5F}{4m} - \left(1 + \mu_1 + \frac{\mu_2}{2}\right)g, & F > 4(\mu_1 + \mu_2)mg \end{cases}.$$

Теперь нам нужно подобрать значения параметров системы, при которых эти формулы описывают экспериментальные данные из условия. В первую очередь отметим, что в полученных формулах <u>три</u> неизвестных величины – это $\mu_{1,2}$ и $g$. Ускорение свободного падения в условии не задано, а оно тоже может несколько изменяться в зависимости от места проведения опыта. Кроме того, нам нужно выяснить, к каким областям значений силы $F$ относятся $F_{1,2,3}$ (далее будем называть «первой областью» интервал $F \le 4\mu_1 mg$, «второй» – $4\mu_1 mg < F \le 4(\mu_1 + \mu_2)mg$, «третьей» – $F > 4(\mu_1 + \mu_2)mg$). Для этого заметим, что $F_1$ и $F_2$ не могут относиться к одной области. Экспериментальное значение $(a_2 - a_1)_э = (6{,}5 \pm 0{,}2)$ м/с$^2$ – даже при самом «грубом» предположении об ошибке – а теоретическое при подобном предположении рассчитывается с «очень высокой точностью»: для первой области $(a_2 - a_1)_m = \frac{F_2 - F_1}{m} = 6$ м/с$^2$, для второй $(a_2 - a_1)_m = \frac{9(F_2 - F_1)}{8m} = 6{,}75$ м/с$^2$, для третьей $(a_2 - a_1)_m = \frac{5(F_2 - F_1)}{4m} = 7{,}5$ м/с$^2$. Ни одно из этих значений не подходит. Теперь ясно, что $F_1$ не может относиться к третьей области (иначе $F_2$ тоже относится к третьей), и не может относиться ко второй (иначе $F_2$ и $F_3$ вместе относятся к третьей, и $(a_3 - a_2)_m = \dfrac{5(F_3 - F_2)}{4m} = 7{,}5$ м/с$^2$, в то время как $(a_3 - a_2)_э = (7{,}0 \pm 0{,}2)$ м/с$^2$). Наконец, $F_3$ не может вместе с $F_2$ относиться ко второй области, так как в этом случае было бы $(a_3 - a_2)_m = \dfrac{9(F_3 - F_2)}{8m} = 6{,}75$ м/с$^2$. Итак, $F_1$ обязательно относится к первой области, $F_2$ – ко второй, а $F_3$ – к третьей. Это обстоятельство приводит к ограничению на область поиска значений параметров: так как $F_1 < 4\mu_1 mg < F_2 < 4(\mu_1 + \mu_2)mg < F_3$, то $1{,}5\ \text{м/с}^2 < \mu_1 g < 3\ \text{м/с}^2 < (\mu_1 + \mu_2)g < 4{,}5\ \text{м/с}^2$.

Перейдем к подбору значений $\mu_{1,2}$ и $g$. Нетрудно заметить, что $\dfrac{F_1}{m} = 6$ м/с$^2$ (как утверждается в условии, с высокой точностью), и первое выражение описывает экспериментальное значение ускорения $a_1 = -(4{,}0 \pm 0{,}1)$ м/с$^2$, если $g \approx (10{,}0 \pm 0{,}1)$ м/с$^2$. Это, конечно, означает, что в месте проведения наблюдений существует некоторая гравитационная аномалия, но это следует из экспериментальных данных. Поэтому в дальнейшем будет использовать это значение ускорения свободного падения. Считая (поскольку $F_2$ относится ко второй области) $a_2 = \dfrac{9F_2}{8m} - \left(1 + \dfrac{\mu_1}{2}\right)g$, найдем: $\mu_1 = \dfrac{9F_2 - 8m(g + a_2)}{4mg} \approx 0{,}20 \pm 0{,}02$. Ошибка здесь в основном определяется ошибкой определения числителя – второе слагаемое известно нам с точностью до ошибок порядка 0,4, а величина числителя этой дроби примерно равна 4 (что и отвечает погрешности около 10%). Отметим, что для полученного значения $4\mu_1 mg \approx 4$ Н, и это согласуется с предположением, что $F_1 < 4\mu_1 mg$, а $F_2 > 4\mu_1 mg$. Для следующего значения силы следует записать $a_3 = \dfrac{5F_3}{4m} - \left(1 + \mu_1 + \dfrac{\mu_2}{2}\right)g$, откуда $\mu_2 = \dfrac{5F_3 - 4m[(1+\mu_1)g + a_3]}{2mg} \approx 0{,}2 \pm 0{,}1$. Здесь точность довольно низкая – из-за множества возможных отклонений числитель этой дроби (в Ньютонах) равен $45 - (43 \pm 1) = 2 \pm 1$, что и приводит к такому печальному результату. С другой стороны, при таком значении этого коэффициента трения $4(\mu_1 + \mu_2)mg \approx 8$ Н, и действительно $F_3 > 4(\mu_1 + \mu_2)mg$.

Если теперь провести анализ того, как полученные зависимости описывают экспериментальные данные, то обнаруживается, что оценка ошибок, проведенная по возможным отклонениям в ходе расчетов – несколько завышенная. На самом деле для «крайних» отклонений ошибка в какой-нибудь из точек всегда превышает заданную для экспериментальных данных. В качестве примера приведем таблицу расчетных значений ускорений для некоторых допустимых значений:

| **параметры** | $a_1$ | $a_2$ | $a_3$ |
|---|---|---|---|
| $g = 10$ м/с$^2$, $\mu_1 = 0{,}2$, $\mu_2 = 0{,}2$ | **– 4,00 м/с$^2$** | **2,50 м/с$^2$** | **9,50 м/с$^2$** |
| $g = 9{,}9$ м/с$^2$, $\mu_1 = 0{,}21$, $\mu_2 = 0{,}23$ | **– 3,90 м/с$^2$** | **2,56 м/с$^2$** | **9,38 м/с$^2$** |
| $g = 10{,}1$ м/с$^2$, $\mu_1 = 0{,}19$, $\mu_2 = 0{,}17$ | **– 4,10 м/с$^2$** | **2,44 м/с$^2$** | **9,62 м/с$^2$** |

Отметим, что увеличение отклонения любого параметра во второй и третьей строке от «наиболее вероятных» значений (приведенных в первой строке) при неизменных значениях других параметров ухудшает согласование. К тому же ограничения на возможные значения $\mu_1$ и $\mu_2$ связаны между собой: например, при $g = 9{,}9$ м/с$^2$ $\mu_1 = 0{,}22$ $\mu_2$ уже не может принимать значение $\mu_2 = 0{,}24$ (которое для других $\mu_1$ в принципе допустимо), так тогда нарушается требование $(\mu_1 + \mu_2)g < 4{,}5$ м/с$^2$, установленное с высокой точностью.

В результате можно заключить, что: $\mu_1 = 0{,}20 \pm 0{,}02$, $\mu_2 = 0{,}20 \pm 0{,}04$, так как выход за эти ограничения наверняка приводит к некорректному описанию экспериментальных данных.

Участники могли проводить оценку ошибок любым способом – и по оценке возможных ошибок при вычислениях, и путем анализа влияний вариации значения каждого параметра на корректность описания данных. Кроме того, как и в задаче 3, считалось (с учетом того, что школьники не обязаны знать «теорию ошибок» как раздел математической статистики), что «небольшие» (не более чем в два раза) вариации указанных ошибок не являются основанием для снижения оценки.

ОТВЕТ: $\mu_1 = 0{,}20 \pm 0{,}02$, $\mu_2 = 0{,}20 \pm 0{,}04$.

**Критерии проверки:**

| | |
|---|---|
| Определена связь силы натяжения нити с $F$ | **1** |
| Найдено ускорение нижнего подвижного блока $A_2$ при любом $F$ | **1** |
| Найдены возможные значения ускорения $A_1$ | **3** |
| Проведен правильный анализ зависимости $a(F)$ в любой форме | **5** |
| Подобрано значение $g$ (с определением возможной ошибки) | **2(+1)*** |
| Найдено значение $\mu_1$ (с определением возможной ошибки) | **4(+2)*** |
| Найдено значение $\mu_2$, считая, что верхний груз в «стопке» скользит по нижнему (с определением возможной ошибки) | **4(+2)*** |
| МАКСИМАЛЬНЫЙ БАЛЛ | **25** |

*Полный балл в этих пунктах ставится за обоснованное нахождение каждого параметра. Например, использование для каждого ускорения формулы своего интервала должно быть корректно обосновано. Отсутствие такого обоснования снижает оценку каждого пункта на 2 балла.

Конечно, анализ ошибок можно провести и более строго – с использованием профессиональных методов обработки результатов эксперимента, но такой путь не очень подходит для школьников 7-9 классов. Возможно проводить анализ и графически, подбирая коэффициенты трения таким образом, чтобы теоретическая зависимость (на графике представляемая ломаной линий) наилучшим образом проходила через допустимые интервалы значений ускорения. На практике такой анализ довольно сложен, так как эти интервалы «узкие», и вариации значений параметров небольшие, поэтому графики «перестраиваются» очень незначительно.