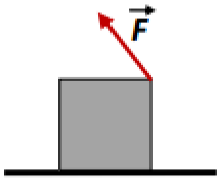
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ «ПОКОРИ ВОРОБЬЕВЫ ГОРЫ!» ПО ФИЗИКЕ.
2020/21 учебный год, ЗАДАНИЕ ЗАОЧНОГО ТУРА. 7,8 и 9 классы.

Часть I . Тестовое задание. Пример варианта.

Вопрос 1 (9 баллов):

Однородный куб массой 400 г покоится на горизонтальной поверхности. Коэффициент трения между кубиком и поверхностью равен 0,24. К середине одного из его верхних ребер прикладывают силу, линия действия которой лежит в одной вертикальной плоскости с центром куба (см. рисунок). При какой минимальной величине этой силы возможно, что куб начнет вращаться вокруг оси, проходящей через его нижнее ребро, причем эта ось не будет перемещаться? Ответ запишите в ньютонах, с точностью до сотых, без указания единиц измерения. Ускорение свободного падения считать равным 9,80 м/с^2.

ОТВЕТ: 1,48.



Комментарий: Пусть α – угол наклона линии действия силы $\vec{F}$ к горизонтали. Тогда требование отсутствия скольжения куба означает, что сила трения $F_{mp} = F\cos(\alpha)$, а сила нормальной реакции поверхности $N = mg - F\sin(\alpha)$, и при этом $F_{mp} \le \mu N$. Значит, $\dfrac{mg}{F} \ge \dfrac{\cos(\alpha)+\mu\sin(\alpha)}{\mu}$. С другой стороны, в момент начала отрыва куба от поверхности при повороте вокруг ребра, точка приложения силы нормальной реакции смещается на это ребро, и для переворота момент силы $\vec{F}$ относительно ребра должен быть не меньше момента силы тяжести: $F \cdot a\sqrt{2}\cos\left(\alpha - \dfrac{\pi}{4}\right) \ge mg \cdot \dfrac{a}{2}$, и поэтому $\dfrac{mg}{F} \le 2[\cos(\alpha)+\sin(\alpha)]$. Как видно, при каждом значении α величина $\dfrac{mg}{F}$ должна принадлежать заданному этими неравенствами интервалу значений, а минимальное возможное значение F соответствует максимальному значению $\dfrac{mg}{F}$, достигаемому для $\alpha > 45°$ при совпадении границ интервалов, то есть при значении угла, определяемого из уравнения $2[\cos(\alpha)+\sin(\alpha)] = \dfrac{\cos(\alpha)+\mu\sin(\alpha)}{\mu}$. Значит, $tg(\alpha) = \dfrac{1-2\mu}{\mu}$ (отметим, что во всех вариантах было $\mu < \dfrac{1}{3}$, так что соответствующее $\alpha > 45°$). Подставляя это значение угла в любое из «пограничных» выражений для силы, находим, что (при $\mu < \dfrac{1}{3}$) $F_{\min} = \dfrac{\sqrt{1-4\mu+5\mu^2}}{2(1-\mu)}mg$. При $\mu \ge \dfrac{1}{3}$ ответ был бы $F_{\min} = \dfrac{mg}{2\sqrt{2}}$.

Вопрос 2 (8 баллов):

Межпланетная станция движется по эллиптической орбите вокруг Солнца. Афелий (самая далекая от Солнца точка ее орбиты) находится на расстоянии 4,2 а.е. от центра Солнца, и станция проходит его со скоростью 7,3 км/с. Перигелий (ближайшая к Солнцу точка ее орбиты) находится на расстоянии 0,6 а.е. от центра Солнца. С какой скоростью станция проходит перигелий? Ответ запишите в км/с, с точностью до десятых, без указания единиц измерения. 1

а.е. – единица измерения расстояний, используемая в астрономии и примерно равная среднему радиусу орбиты Земли.

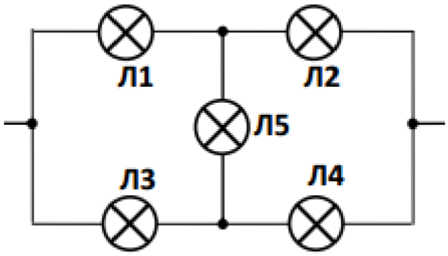
ОТВЕТ: 51,1.

Комментарий: Афелий и перигелий – симметричные точки эллиптической орбиты небесного тела, движущегося вокруг Солнца, поэтому радиусы кривизны орбиты в этих точках одинаковы. Пусть этот одинаковый радиус равен R. Тогда уравнения для центростремительных компонент ускорения небесного тела массой m в этих точках имеют вид $m\frac{v_{A,P}^2}{R}=\frac{Gm_S m}{r_{A,P}^2}$ (m_S – масса Солнца), откуда следует, что $v_P=\frac{r_A}{r_P}v_A$.

Вопрос 3 (8 баллов):

Пять разных лампочек соединены по схеме, показанной на рисунке. Лампочки являются нелинейными элементами – для всех пяти сила тока через лампу примерно пропорциональна корню квадратному из приложенного напряжения (но с разными коэффициентами). Оказалось, что при подключении этой схемы к источнику постоянного напряжения четыре лампы (с номерами 1-4 на схеме) работают в номинальном режиме, а лампа 5 вовсе не горит и даже не греется. Номинальная мощность лампы 1 равна 4,5 Вт, лампы 2 – 4 Вт, лампы 3 – 7,2 Вт. Чему равна номинальная мощность лампы 4? Ответ запишите в ваттах, с точностью до десятых, без указания единиц.

ОТВЕТ: 6,4.



Комментарий: Ясно, что ток через Л5 не течет, поэтому $I_2=I_1$ и $I_4=I_3$. Кроме того, напряжение на Л5 равно нулю, поэтому $U_3=U_1$ и $U_4=U_2$. Лампа 4 работает в номинальном режиме, поэтому ее номинальная мощность $P_4=U_4I_4=U_2I_3=\frac{U_2I_2}{I_1}\frac{U_3I_3}{U_1}=\frac{P_2P_3}{P_1}$.

Часть II. *ВОЗМОЖНЫЕ РЕШЕНИЯ И ОТВЕТЫ.*

Внимание! *В задании было указано, что необходимо предоставлять* ***решение*** *каждой задачи части II. Поэтому в работах, в которых представлены* ***только ответы****, в случае их правильности, ставились* ***только*** *баллы, предусмотренные критериями за эти ответы.*

1. («**Речной круиз**») Братья-близнецы Иван и Петр летом после 7 класса отправились в путешествие на теплоходе. Когда теплоход шел по каналу (как сказал братьям помощник капитана – с постоянной скоростью), они обратили внимание на старые кирпичные столбы, равномерно расставленные вдоль канала. Иван и Петр решили измерить расстояние между столбами. Для этого они придумали следующий способ. Мальчики расположились на площадке верхней палубы, и в тот момент, когда с ними поравнялся очередной столб, один из них пошел от «кормового» конца площадки к «носовому». Как только он дошел до «носового» конца, вслед за ним отправился второй, а первый тем временем бегом вернулся обратно, чтобы снова пойти вслед за вторым. Таким образом, они, стараясь все время шагать в одном и том же ритме, успели совершить ровно 11 переходов до того, как с точкой старта поравнялся следующий столб. Затем они повторили процедуру, только теперь они ходили от «носового» конца площадки к «кормовому», шагая в том же ритме. Теперь они совершили ровно 13 переходов. Из вывешенного в коридоре плана братья узнали, что длина площадки верхней палубы равна 14,9 м. Чему равно расстояние между столбами?

Возможное решение:

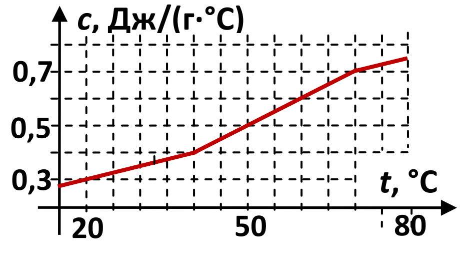
Пусть v – скорость движения теплохода относительно берега, а u – скорость движения братьев относительно палубы во время переходов. По предположениям, сделанным в условии, эти скорости постоянны. Поэтому ясно, что время, потраченное братьями на N переходов, равно $t_N = N\frac{L}{u}$ (L – длина площадки верхней палубы), независимо от направления их движения. С другой стороны, точка «старта» («носовой» или «кормовой» конец площадки) перемещается относительно берега со скоростью v независимо от направления движения братьев. Таким образом, расстояние между столбами в обоих «экспериментах» братьев равно $D = N\frac{v}{u}L$. Поэтому разные количества переходов указывают на то, что расстояния между столбами на самом деле не являются постоянными (либо неверно предположение о постоянстве скоростей)! В любом случае ясно, что на основании данных этих двух «экспериментов» невозможно дать однозначный ответ на вопрос, интересовавший братьев.

ОТВЕТ: однозначный ответ на поставленный вопрос дать невозможно, так как использованная братьями модель явления противоречит данным их измерений.

КРИТЕРИИ ПРОВЕРКИ:

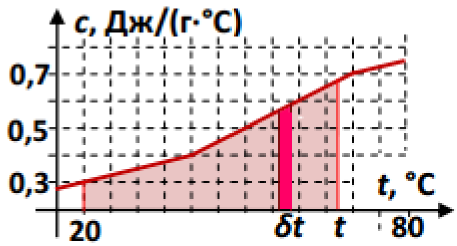
действие	**макс.балл**
Показано, что время движения братьев не зависит от направления	**2**
Указано (используется в решении), что скорость движения точки старта относительно берега не зависит от движения братьев	**2**
Получено выражение для расстояния между столбами, эквивалентное $D = N\frac{v}{u}L$	**2**
Сделан вывод о несовместимости предположений модели явления, использованной братьями (в любой форме)	**3**
Дан ответ о невозможности получить ответ на вопрос задачи (в любой форме)	**1**
ВСЕГО	**10**

2. («**Переменная теплоемкость**») В легком калориметре находится 500 г необычной жидкости, удельная теплоемкость которой зависит от температуры. Эта зависимость представлена на графике. Температура жидкости равна 20°С. В калориметр опускают груз массой 275 г из материала с удельной теплоемкостью 3 Дж/(г·°С) с температурой 80°С. Найти температуру содержимого калориметра после установления равновесия. Теплоемкостью калориметра и теплообменом его содержимого с окружающей средой можно пренебречь. С какой точностью получен результат?



Возможное решение:

Из условия теплового баланса ясно, что количество теплоты $Q_+ = c_г m_г (t_2 - t)$, отданное остывающим грузом (здесь $c_г$ и $m_г$ – удельная теплоемкость и масса груза, t_2 – его начальная температура, t – искомая температура), должно равняться количеству теплоты Q_-, поглощенному нагревающейся жидкостью. Для нагревания жидкости при очень маленьком изменении ее температуры (на δt) требуется количество теплоты $\delta Q_- = c(t_{ср})m_{ж}\delta t$, где $t_{ср}$ – это средняя температура на участке δt. Нетрудно заметить, что для графика величина $c(t_{ср})\delta t$ равна площади трапеции между участком графика и участком оси температур δt. Поэтому Q_- можно вычислить (см. рисунок) как площадь под графиком удельной теплоемкости на участке от начальной до конечной температуры жидкости, умноженную на массу жидкости.



Как видно, для нагрева жидкости от $t_1 = 20°\text{C}$ до температуры 40°С потребуется количество теплоты $Q_1 = 500\text{г}\cdot\dfrac{0{,}3+0{,}4}{2}\dfrac{\text{Дж}}{\text{г}\cdot°\text{C}}\cdot(40-20)°\text{C} = 3500\text{Дж}$, что заметно меньше, чем выделится при остывании груза до 40°С. Аналогично можно убедиться, что для нагревания жидкости до 70°С потребуется большее количество теплоты, чем выделит груз в этом случае. Поэтому искомая температура находится на участке от 40°С до 70°С. Пусть $t = 40°\text{C} + \tau$. Уравнение прямой, описывающей поведение удельной теплоемкости на нужном участке можно записать в виде $c(\tau) = 0{,}4\dfrac{\text{Дж}}{\text{г}\cdot°\text{C}} + 0{,}01\dfrac{\text{Дж}}{\text{г}\cdot(°\text{C})^2}\cdot\tau$. Уравнение теплового баланса для установления равновесия имеет вид: $Q_1 + m_{ж}\cdot\dfrac{c(0)+c(\tau)}{2}\tau = m_{г}\cdot c_{г}(t_2 - t)$. После подстановки числовых значений для величины $x \equiv \dfrac{\tau}{1°\text{C}}$ получаем квадратное уравнение $x^2 + 410x - 11800 = 0$. Положительный корень этого уравнения $x = \sqrt{53825} - 205 \approx 27{,}002$. Таким образом, $t \approx 67°\text{C}$. Сами вычисления являются точными (кроме последнего округления, вносящего ошибку менее 0,01%), поэтому неточность результата связана с использованием данных, извлеченных из графика. Изучение графика показывает, что ошибки в определении удельной теплоемкости в точках «излома» графика (а именно их мы использовали для составления уравнения) не превышают $5\cdot10^{-3}$ Дж/(г·°С), в то время как среднее значение теплоемкости жидкости на нужном нам интервале чуть меньше 0,5 Дж/(г·°С). Поэтому вносимую ошибку можно оценить в 1%. Ясно, что примерно такой же должна быть и ошибка в определении τ, и она примерно равна 0,3°С. Значит, $t = (67{,}0 \pm 0{,}3)°\text{C}$.

ОТВЕТ: $t = (67{,}0 \pm 0{,}3)°\text{C}$.

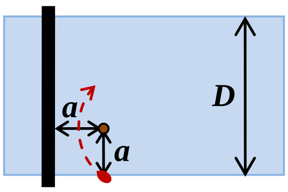
Примечание: Помимо вычисления количества теплоты через площадь, можно использовать и другие методы – например, аналогию между связью координаты и скорости при неравномерном движении по прямой $v(t) = \left.\dfrac{\Delta x}{\Delta t}\right|_{\Delta t\to 0}$ и связью количества теплоты и переменной теплоемкостью $m\cdot c(t) = \left.\dfrac{\Delta Q}{\Delta t}\right|_{\Delta t\to 0}$. Тогда по аналогии с формулой изменения координаты при равноускоренном движении $v(t) = v(0) + at \Rightarrow x(t) - x(0) = v(0)t + \dfrac{a}{2}t^2$ можно записать формулу для количества теплоты при линейной зависимости теплоемкости от температуры: $c(\tau) = c(0) + k\tau \Rightarrow Q(\tau) = m\cdot\left(c(0)\tau + \dfrac{k}{2}\tau^2\right)$. Также допустимы другие способы оценки погрешности (например, интервальный метод). Однако при этом оценка погрешности возрастет.

КРИТЕРИИ ПРОВЕРКИ:

действие	**макс.балл**
Записано выражение, эквивалентное $Q_+ = c_г m_г (t_2 - t)$	**2**
Предложен корректный метод вычисления количества теплоты, полученного жидкостью (при линейной зависимости теплоемкости от температуры)	**4**
Установлено, что искомая температура находится на участке от 40°C до 70°C	**3**
Записана (используется в решении) правильная аналитическая формула для зависимости удельной теплоемкости от температуры на нужном участке	**2***
Получено правильное уравнение для искомой температуры, не содержащее неизвестных величин	**3**
Правильно найдена итоговая температура	**4**
Правильно оценена точность результата (ошибка результата указана в интервале от 0,1°C до 1°C)	**2**
ВСЕГО	**20**

*если использовался, например, метод «стрельбы» для подбора нужной температуры (то есть считались Q_+ и Q_- – по площади – для разных t и сравнивались до совпадения с хорошей точностью) без явного использования формулы зависимости, то этот пункт засчитывается <u>при правильном результате</u>.

3. («**На равных расстояниях**») Через реку на ее почти прямолинейном участке шириной D = 170 м сооружен мост, перпендикулярный реке. На расстоянии a = 50 м и от берега, и от моста расположен почти неподвижный небольшой бакен. Катер стартует из точки напротив бакена с ближайшего к нему берега (см. рисунок) и движется таким образом, что он все время находится на равных расстояниях от моста и бакена.



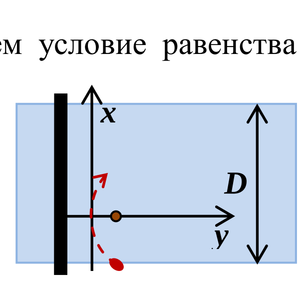
Кроме того, проекция его скорости на направление, перпендикулярное течению, все время остается постоянной. Катер достигает другого берега за 34 с.

3.1. На каком расстоянии от моста катер причалит к другому берегу?

3.2. Чему равны максимальная и минимальная величина ускорения катера относительно берега за время движения?

Возможное решение:

Введем систему координат (x, y), показанную на рисунке, и запишем условие равенства расстояний (начало координат совмещено с ближайшей к мосту точкой траектории катера, и ясно, что эта точка находится на расстоянии $\frac{a}{2}$ и от моста, и от бакена): $y + \frac{a}{2} = \sqrt{x^2 + \left(y - \frac{a}{2}\right)^2}$. Из этого условия



находим уравнение траектории катера: $y(x) = \frac{x^2}{2a}$, то есть катер движется по <u>параболе</u>. Из этого уравнения сразу получаем ответ на первый вопрос: при $x = D - a$ координата точки причаливания $y = \frac{(D-a)^2}{2a}$, то есть эта точка находится на расстоянии $L = y + \frac{a}{2} = \frac{(D-a)^2 + a^2}{2a} = 169$ м от моста. Далее заметим, что, согласно условию, вдоль оси x

катер движется с постоянной скоростью $v_x = \dfrac{D}{T}$ (T – время переправы). Поэтому ускорение катера все время направлено по оси y ($a_x \equiv 0$). Кроме того, ясно, что $x(t) = -a + \dfrac{D}{T}t$, и поэтому $y(t) = \dfrac{a}{2} - \dfrac{D}{T}t + \dfrac{D^2}{aT^2}\dfrac{t^2}{2}$. Из закона движения видно, что движение по оси y – равноускоренное с ускорением $a_y \equiv \dfrac{D^2}{aT^2}$. Таким образом, величина ускорения катера постоянна, и поэтому максимальная и минимальная величина ускорения катера относительно берега равны друг другу: $|\vec{a}|_{\max} = |\vec{a}|_{\min} = \dfrac{D^2}{aT^2} = 0{,}5\,\text{м/с}^2$.

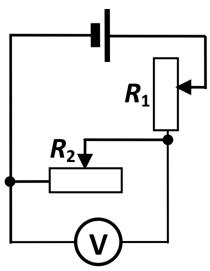
ОТВЕТЫ: на расстоянии $L = \dfrac{(D-a)^2 + a^2}{2a} = 169$ м, максимальная и минимальная величина ускорения катера относительно берега равны друг другу: $|\vec{a}|_{\max} = |\vec{a}|_{\min} = \dfrac{D^2}{aT^2} = 0{,}5\,\text{м/с}^2$.

Примечание: На самом деле решение может быть построено и на основании других соображений. Например, можно сразу утверждать, что траектория является параболой, так как заданное в условии свойство траектории является одним из определяющих свойств параболы как кривой, все точки которой находятся на одинаковом расстоянии от некоторой точки (*фокуса* параболы) и некоторой прямой (*директрисы* параболы). То, что ускорение постоянно, можно понять из аналогии между движением катера и движением тела, брошенного в отсутствие сопротивления воздуха под углом к горизонту: именно в этом случае движение с постоянной скоростью вдоль оси *x* и с постоянным ускорением вдоль оси *y* дают параболическую траекторию.

КРИТЕРИИ ПРОВЕРКИ:

действие	**макс.балл**
Обосновано (любым способом), что траектория катера является параболой	**4**
Правильно найдено численное значение расстояния от моста до точки причаливания	**2+2=4**
Показано, что ускорение направлено по оси y (вдоль реки)	**3**
Показано, что величина ускорения постоянна	**4**
Сделан вывод, что $\|\vec{a}\|_{\max} = \|\vec{a}\|_{\min}$	**1**
Правильно найдена численная величина ускорения	**4**
ВСЕГО	**20**

4. («**Косвенные измерения**») В схеме, показанной на рисунке, реостаты проградуированы таким образом, что их сопротивления определяются с ошибкой не более 0,1 Ом. Цена деления шкалы вольтметра равна 0,1 В. Показания вольтметра при различных значениях сопротивлений реостатов показаны в таблице ниже. Определите на основании этих данных ЭДС и внутреннее сопротивление источника. Укажите для каждой величины возможную ошибку ее вычисления.



↓$\boldsymbol{R_1}$\$\boldsymbol{R_2}$→	24,0 Ом	42,0 Ом
10,0 Ом	23,1 В	26,8 В
18,0 Ом	18,6 В	22,8 В

Возможное решение:

Обозначим искомые величины $\mathcal{E}$ и r, а величину внутреннего сопротивления вольтметра R_V, и выразим через них величину напряжения для на вольтметре: сила тока в ветви с источником $I = \dfrac{\mathcal{E}}{r + R_1 + R_V R_2 /(R_V + R_2)} = \dfrac{\mathcal{E}(R_V + R_2)}{(r + R_1)(R_V + R_2) + R_V R_2}$, и поэтому нужное нам напряжение $U = \dfrac{R_2 R_V}{R_V + R_2} I = \dfrac{\mathcal{E} R_V R_2}{(r + R_1)(R_V + R_2) + R_V R_2}$. Таким образом, результаты измерений дают нам 4 независимых уравнения, содержащих 3 неизвестных ($\mathcal{E}$, r и R_V), среди которых – обе искомые величины. Ясно, что есть много разных способов их вычисления, и среди них есть неэквивалентные. Рассмотрим для примера один из них. Можно обратить внимание, что величина, обратная напряжению на вольтметре, является линейной функцией от $\dfrac{1}{R_2}$: $\dfrac{1}{U} = a + \dfrac{b}{R_2}$, где $a \equiv \dfrac{1}{\mathcal{E}} + \dfrac{1}{\mathcal{E}} \dfrac{r + R_1}{R_V}$ и $b \equiv \dfrac{r + R_1}{\mathcal{E}}$. Для каждого из значений сопротивления первого реостата ($R_1' = 10$Ом и $R_1'' = 18$Ом) мы знаем два значения функции $\dfrac{1}{U}$ для двух значений аргумента $\dfrac{1}{R_2}$, что позволяет найти коэффициенты зависимости:

$$\begin{cases} \dfrac{1}{23{,}1\,\text{В}} = a' + \dfrac{b'}{24\,\text{Ом}} \\ \dfrac{1}{26{,}8\,\text{В}} = a' + \dfrac{b'}{42\,\text{Ом}} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} a' = \dfrac{2725}{92862} \dfrac{1}{\text{В}} \approx 0{,}029345 \dfrac{1}{\text{В}} \\ b' = \dfrac{740}{2211} \dfrac{1}{\text{А}} \approx 0{,}33469 \dfrac{1}{\text{А}} \end{cases},$$

$$\begin{cases} \dfrac{1}{18{,}6\,\text{В}} = a'' + \dfrac{b''}{24\,\text{Ом}} \\ \dfrac{1}{22{,}8\,\text{В}} = a'' + \dfrac{b''}{42\,\text{Ом}} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} a'' = \dfrac{325}{10602} \dfrac{1}{\text{В}} \approx 0{,}03065 \dfrac{1}{\text{В}} \\ b'' = \dfrac{980}{1767} \dfrac{1}{\text{А}} \approx 0{,}55461 \dfrac{1}{\text{А}} \end{cases}.$$

Теперь заметим, что можно вычислить $\mathcal{E} = \dfrac{R_1'' - R_1'}{b'' - b'} \approx 36{,}377$В. С какой точностью определена эта величина? Отметим, что данные задачи даны с довольно высокой точностью: ошибка в определении сопротивлений не превосходит 1% (для большинства значений – несколько десятых долей процента), а ошибка измерения напряжений не более $\dfrac{0{,}05}{18{,}6} \approx 0{,}3\%$. Однако в процессе вычислений мы использовали <u>вычитание</u> величин, известных нам приближенно, а при таком действии относительная ошибка может увеличиваться. Например, при нахождении b' было произведено вычитание $\dfrac{1}{23{,}1\,\text{В}} - \dfrac{1}{26{,}8\,\text{В}} \approx 0{,}00598 \dfrac{1}{\text{В}}$. Если посмотреть максимально возможную $\dfrac{1}{(23{,}1 - 0{,}05)\,\text{В}} - \dfrac{1}{(26{,}8 + 0{,}05)\,\text{В}} \approx 0{,}00614 \dfrac{1}{\text{В}}$ и минимально возможную $\dfrac{1}{(23{,}1 + 0{,}05)\,\text{В}} - \dfrac{1}{(26{,}8 - 0{,}05)\,\text{В}} \approx 0{,}00581 \dfrac{1}{\text{В}}$ величину этой разности, то мы обнаружим, что крайние значения отклоняются от среднего не на 0,2% (ошибка в определении этих напряжений), а на 2,8%! Поэтому ошибка в определении величины ЭДС может достигать 1В. Таким образом, в нашем способе $\mathcal{E} \approx (36{,}4 \pm 1{,}0)$В. Далее выражаем $r = b'\mathcal{E} - R_1' \approx 2{,}175$Ом и аналогично $r = b''\mathcal{E} - R_1'' \approx 2{,}175$Ом. Как видно, результат достаточно стабилен, и ошибка в вычислении внутреннего сопротивления определяется ошибками определения входящих в это выражение величин и тем, что в этой формуле производится вычитание близких величин. Анализ интервальным методом показывает, что ошибка может достигать 0,7 Ом. Таким образом, $r \approx (2{,}2 \pm 0{,}7)$ Ом.

ОТВЕТЫ: $\mathcal{E} \approx (36{,}4 \pm 1{,}0)$ В, $r \approx (2{,}2 \pm 0{,}7)$ Ом.

Примечание: С точки зрения более строгого подхода, оценки погрешностей, производимые «интервальным» методом, являются несколько завышенными – на самом деле в рамках данного метода $\mathcal{E} \approx (36{,}4 \pm 0{,}7)$ В и $r \approx (2{,}2 \pm 0{,}4)$ Ом, но для «школьных» решений такая оценка считается приемлемой. Кроме того, как было отмечено, результат не вполне однозначен из-за «избыточности» системы уравнений. Следует также обратить внимание, что «пошаговые» вычисления с «грубыми» округлениями промежуточных результатов из-за упомянутого увеличения относительной ошибки при вычитаниях близких величин могут привести к численному ответу с очень низкой точностью, даже при использовании правильных формул. Поэтому (см. критерии проверки) допустимы ответы, несколько отличающиеся от полученных в предложенном решении. При этом решения с большими отклонениями считаются следствием неаккуратного анализа системы уравнений, и поэтому соответствующие ответы не засчитывались (на самом деле при аккуратном анализе все разумные способы дают, например, для ЭДС значение от 35 В до 37 В). Отметим, что, получив некоторое приближенное решение, можно провести «корректировку» полученных значений, подставляя их в исходную систему и слегка изменяя для лучшего согласия (в этом случае, конечно, необходимо найти и третью неизвестную – внутреннее сопротивление вольтметра; например, в нашем методе $R_V \approx (180 \pm 50)$ Ом). Такая корректировка позволяет увеличить точность результатов, но значительно увеличивает объем вычислений. Также можно обратить внимание, что использование в формуле значений $\mathcal{E} = 36$ В, $r = 2$ Ом и $R_V = 200$ Ом позволяет (при округлении до соответствующего разряда) «воспроизвести» приведенные в таблице результаты без отклонений.

КРИТЕРИИ ПРОВЕРКИ:

действие	**макс.балл**
Получена правильная формула для измеряемого напряжения через параметры схемы	**5**
Используется корректный метод, позволяющий выразить $\mathcal{E}$ и r из данных измерений (записана полная система уравнений и искомые величины выражаются из нее)	**4**
Получено значение ЭДС в интервале от 34,5 В до 37,5 В	**4***
Указана ошибка в определении ЭДС в интервале от 0,4 В до 2 В и значение 36 В находится внутри полученного диапазона	**4***
Получено значение внутреннего сопротивления источника в интервале от 1 Ом до 3 Ом	**4***
Указана ошибка в определении r в интервале от 0,3 Ом до 1 Ом и значение 2 Ом находится внутри полученного диапазона	**4***
ВСЕГО	**25**

*за эти пункты частичные баллы не ставятся! Если в работе использовался метод «корректировки» результатов, то ошибки могут быть немного меньше – до 0,2 В и 0,2 Ом, но тогда ответы должны находиться в интервале от 35,8 В до 36,2 В и от 1,8 Ом до 2,2 Ом соответственно – в этом случае за задачу ставится полный балл.