



Всероссийская олимпиада по физике  
имени Дж. К. Максвелла

Заключительный этап  
Экспериментальный тур

2022



Комплект задач подготовлен Центральной предметно-методической комиссией по физике Всероссийской олимпиады школьников

## Авторы задач

### 7 класс

1. Кармазин С.
2. Кармазин С.

### 8 класс

1. Кармазин С.
2. Замятнин М.

Общая редакция — Слободянин В., Киреев А., Заяц А.

Иллюстрации — Клепиков М.

Вёрстка — Клепиков М., Васенин Е.

## 7 класс

### Задача 7.1 Машина Атвуда

**Оборудование:** машина Атвуда с неподвижным массивным блоком, 7 перегрузков (гайки М5 массой 1 г каждая), 2 груза (по 4 гайки М10 каждый), 2 скрепки для крепления гаек, мерная лента, секундомер, нитка, миллиметровая бумага для построения графика.

**Задание:**

1. Перекиньте нить через блок и прикрепите к концам нити одинаковые грузы (по 4 гайки М10 на скрепках). Подберите длину нити так, чтобы обеспечить одному из грузов максимально возможную высоту для его движения. Убедитесь, что при размещении нескольких перегрузков (гайки М5) на одном из грузов, система приходит в движение.
2. Снимите зависимость средней скорости  $v$  грузов машины Атвуда от массы  $\Delta m$  перегрузков при движении с нулевой начальной скоростью.
3. Средняя скорость зависит от массы перегрузков по одному из двух законов:

$$(a) v = \frac{5h}{M_{\text{эфф}}} \Delta m; \quad (b) v^2 = \frac{5h}{M_{\text{эфф}}} \Delta m,$$

где  $h$  — высота опускания груза, на которой измеряется средняя скорость,  $5$  — коэффициент, имеющий соответствующую размерность в системе СИ. Каким из законов (а или б) описывается движение грузов? Ответ обоснуйте.

4. Определите значение коэффициента  $M_{\text{эфф}}$  для вашей установки. Параметр  $M_{\text{эфф}}$  имеет размерность массы.

### Задача 7.2 Трубка

**Оборудование:** трубка со стержнем, электронные весы, мерный стакан с водой, штатив, линейка, миллиметровая бумага для построения графика.

Внутри трубки длиной  $L$  закреплён стержень длиной  $l < L$ . Один торец стержня совпадает с торцом трубки. Стержень и трубка изготовлены из одного материала.

**Задание:**

1. Определите массу  $M$  трубки и массу  $m$  стержня.
2. Определите плотность  $\rho$  трубки и стержня.

**Примечание:** Оловянные заглушки с маленьким отверстием на торцах трубки увеличивают массу всей конструкции на  $\Delta m = 1$  г. Плотность воды  $\rho_0 = 1000$  кг/м<sup>3</sup>.

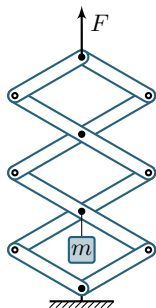
## 8 класс

### Задача 8.1 Ножничный механизм

**Оборудование:** реечная конструкция с металлическим основанием, две канцелярские клипсы, две нитки, динамометр, бутылка 0,5 л, шприц 20 мл, ёмкость с водой 0,5 л, миллиметровая бумага для построения графиков.

**Задание:**

1. Соберите установку, схематически изображённую на рисунке. Закрепите основание на краю стола двумя клипсами, привяжите пустую бутылку к нитке, другой конец нитки прикрепите к винту в верхнем углу нижнего ромба. При этом бутылка должна оказаться примерно посередине между полом и столом. Проверьте работоспособность подъёмного механизма, прикладывая силу  $F$  к верхнему винту (см. рисунок).



2. Выведите теоретическую зависимость КПД подъёмного механизма от массы груза  $m$ .
3. Измерьте экспериментально зависимость КПД подъёмного механизма от массы груза  $m$ .
4. Постройте теоретическую и экспериментальную зависимости на одном графике.
5. Сформулируйте гипотезу о причинах расхождения теоретической и экспериментальной зависимостей.

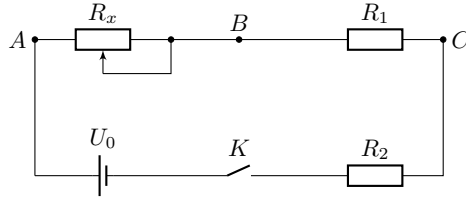
**Примечание:** масса металлического основания реечной конструкции  $m_0 = 15$  г.

### Задача 8.2 Три в одном

**Оборудование:** «серый ящик», мультиметр.

Внутри «серого ящика» находятся резисторы  $R_1$  и  $R_2$ , реостат, сопротивление

которого можно изменять от 0 до  $R_x$ , идеальный источник постоянного напряжения  $U_0$  и тумблер (ключ), соединённые так, как показано на схеме. На крышке ящика расположены два винта, соединённые с двумя из трёх точек ( $A$ ,  $B$ ,  $C$ ) цепи, регулировочная ручка реостата и рычаг тумблера.



Укажите № вашего серого ящика. Определите:

- 1) в каком положении (1 или 2) ключ  $K$  замкнут;
- 2) какие две точки электрической цепи из трёх ( $A$ ,  $B$ ,  $C$ ) соединены с винтами на внешней стороне «серого ящика»; опишите последовательность своих рассуждений;
- 3) сопротивления резисторов  $R_1$ ,  $R_2$ , максимальное сопротивление реостата  $R_x$  и напряжение  $U_0$  источника.

## 7 класс. Возможные решения

### Задача 7.1 Машина Атвуда

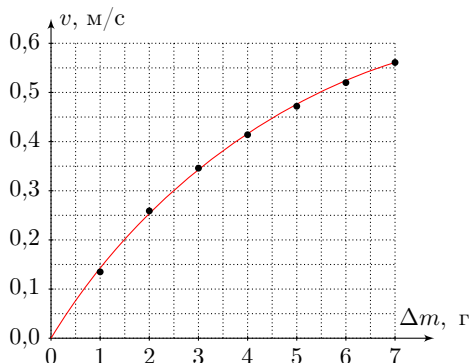
Перед началом работы к концам нити привяжем скрепки, на которые затем будем подвешивать грузы. Длину нити подбираем таким образом, чтобы обеспечить максимальную высоту, с которой груз будет опускаться на пол при перекинутой через блок нити.

Затем на скрепки подвесим одинаковое количество больших гаек (по 4 гайки М10 на каждую сторону). В этом состоянии система должна находиться в равновесии. При помощи мерной ленты замерим расстояние  $h$ , которое груз будет проходить от верхней точки до пола.

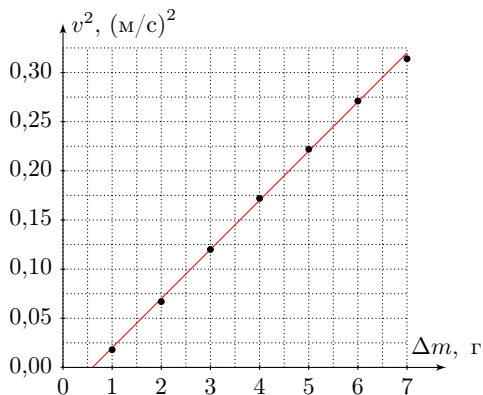
Затем на одну сторону системы (на левую или правую скрепку) по одному добавляем перегрузки. Для каждого количества перегрузков измеряем время опускания груза из верхней точки до пола. Повторяем измерения этого времени 7 – 9 раз. Полученные времена усредняем и вычисляем среднюю скорость движения груза для каждой массы перегрузков.

$n_{\text{гаек}}$	$\Delta m$ , г	$t_1$ , с	...	$t_{10}$ , с	$t_{\text{ср}}$ , с	$v$ , м/с	$v^2$ , (м/с) <sup>2</sup>
1	1	7,84	...	6,93	7,94	0,135	0,018
2	2	4,34	...	3,91	4,14	0,259	0,067
3	3	3,19	...	3,00	3,09	0,346	0,120
4	4	2,59	...	2,56	2,58	0,414	0,172
5	5	2,25	...	2,25	2,27	0,472	0,222
6	6	2,09	...	2,19	2,06	0,520	0,271
7	7	1,97	...	1,94	1,91	0,561	0,314

После чего построим график зависимости средней скорости от массы перегрузков.



Из графика видно, что зависимость средней скорости от массы перегрузков нелинейна. Построим график зависимости квадрата средней скорости от массы перегрузков.



Прямая линия подтверждает справедливость гипотезы о квадратичной зависимости скорости от массы перегрузков.

Из графика зависимости  $v^2(\Delta m)$  найдём угловой коэффициент  $k = \frac{5h}{M_{\text{эфф}}}$ , откуда получим  $M_{\text{эфф}}$ . Значение  $M_{\text{эфф}}$  получается в диапазоне от 100 г до 125 г в зависимости от характеристик блока.

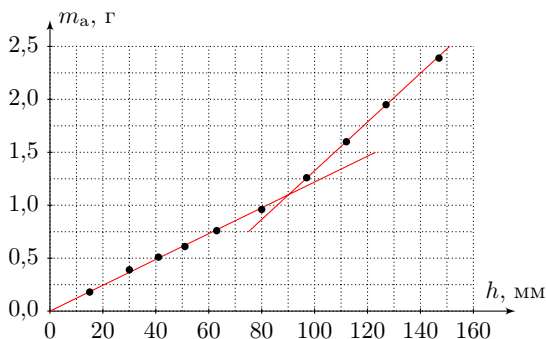
**Задача 7.2 Трубка** Взвесим трубку со стержнем:

$$M + m + \Delta m = 32,0 \text{ г.} \quad (1)$$

Измерим длину трубки  $L = 200$  мм. Мерный стакан с водой установим на весы и оттарирруем их. Трубку вертикально закрепим в штативе и будем постепенно погружать её в воду, снимая зависимость показания весов  $m_a$  от глубины погружения трубки  $h$ . Необходимо тщательно следить за тем, чтобы трубка не касалась стенок мерного стакана. Как известно, при гидростатическом взвешивании, показания весов равны силе Архимеда (в пересчёте на массу), действующей на тело, погружённое в жидкость. Результаты измерений приведены в таблице:



№	$h$ , мм	$m_a$ , г
1	15	0,18
2	30	0,39
3	41	0,51
4	51	0,61
5	63	0,76
6	80	0,96
7	97	1,26
8	112	1,60
9	127	1,95
10	147	2,39



По полученным данным построим график зависимости  $m_a(h)$  (см. рис.). Видно, что при  $h_1 = 85$  мм угловой коэффициент прямой линии изменяется. Начиная с этого момента вытеснение воды производится не только стенками трубки, но и находящимся внутри стержнем. Значит, длина стержня  $l = L - h_1 = 115$  мм. Зависимость показаний весов от глубины погружения на первом участке имеет вид  $m_a = \rho_0 S_{\text{тр}} h$ , где  $S_{\text{тр}}$  — площадь поперечного сечения стенки трубки. Следовательно, угловой коэффициент прямой на начальном участке  $\frac{\Delta m}{\Delta h} = \rho_0 S_{\text{тр}} = 0,0122$  г/мм. Угловой коэффициент на втором участке прямой  $\frac{\Delta m}{\Delta h} = \rho_0 (S_{\text{тр}} + S_{\text{ст}}) = 0,0225$  г/мм, где  $S_{\text{ст}}$  — площадь поперечного сечения стержня. Вычислим отношение масс трубки и стержня:

$$\frac{M}{m} = \frac{\rho L S_{\text{тр}}}{\rho l S_{\text{ст}}} = \frac{200 \cdot 0,0122}{115 \cdot (0,0225 - 0,0122)} = 2,06.$$

Окончательно, с учётом (1), находим  $m = 10,1$  г,  $M = 20,9$  г. Плотность материала трубки и стержня вычислим, например, по данным для трубки:

$$\rho = \frac{M}{V} = \frac{M}{L S_{\text{тр}}} = \frac{20,9}{20 \cdot 0,122} = 8,6 \text{ г/см}^3.$$

Материал трубки и стержня — медь. Табличного значения плотности меди —  $8,9 \text{ г/см}^3$ .

## 8 класс. Возможные решения

### Задача 8.1 Ножничный механизм

КПД данного подъёмного механизма меньше 100% по причине того, что посредством силы  $F$  мы поднимаем не только полезный груз, но и центр тяжести реечной конструкции. Кроме того, в любом механизме присутствует сила трения, которая в данном случае зависит ещё и от массы поднимаемого груза. Оценить вклад силы трения можно по разнице сил, которые необходимо прикладывать к механизму при медленном подъёме груза с постоянной скоростью и медленном его опускании. Так как в эксперименте указанная разность сил не превышает 0,1 Н, будем строить теоретическую модель расчёта КПД конструкции без учёта силы трения. Предположим, что приложив к верхнему винту конструкции силу  $F$ , мы переместили его вверх на расстояние  $\Delta x$ , совершив работу

$$A = F\Delta x. \quad (1)$$

В силу геометрии конструкции, груз массы  $m$  поднимется при этом на высоту  $\Delta x/3$ , а центр тяжести реечного механизма массой  $M$  поднимется на высоту  $\Delta x/2$ . Следовательно, потенциальная энергия системы увеличится на

$$\Delta E_{\text{п}} = mg\frac{\Delta x}{3} + Mg\frac{\Delta x}{2}. \quad (2)$$

Приравнявая (1) и (2), получаем

$$F = \frac{mg}{3} + \frac{Mg}{2}.$$

Будем считать полезной работой  $A_{\text{п}} = mg\Delta h$  — увеличение потенциальной энергии груза при его подъёме на высоту  $\Delta h$ . Для этого придётся совершить работу  $A_{\text{с}} = 3F\Delta h = mg\Delta h + \frac{3}{2}Mg\Delta h$ . По определению КПД:

$$\eta_{\text{т}} = \frac{A_{\text{п}}}{A_{\text{с}}} = \frac{m}{m + \frac{3M}{2}}. \quad (3)$$

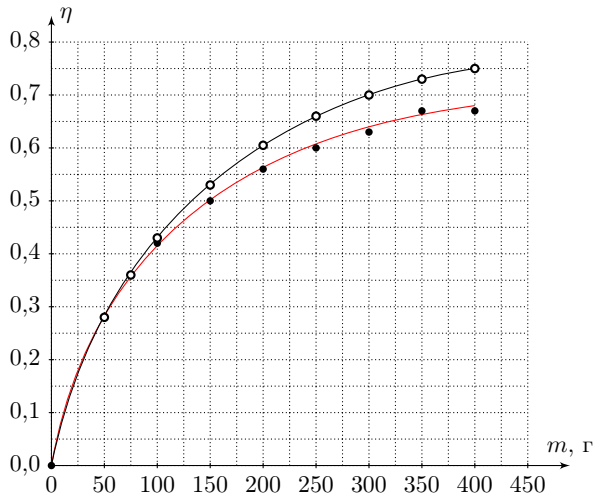
Выражение (3) представляет собой теоретическую зависимость КПД от массы груза, полученную без учёта силы трения. Для расчёта этой зависимости необходимо знать массу  $M$  реечной конструкции. С помощью динамометра определим, что вес конструкции вместе с основанием  $P = (M + m_0)g = 1,0$  Н, откуда  $M = 87$  г. Расчёт теоретической зависимости КПД от массы груза по формуле (3) представлен в таблице.

$m$ , г	$\eta_{\text{т}}$	$F$ , Н	$\eta_{\text{э}}$
0	0	0,4	0
50	0,28	0,6	0,28
75	0,36	0,7	0,36
100	0,43	0,8	0,42
150	0,53	1,0	0,50
200	0,61	1,2	0,56
250	0,66	1,4	0,60
300	0,70	1,6	0,63
350	0,73	1,8	0,67
400	0,75	2,0	0,67

Для определения реального КПД измерим силу  $F$  (см. табл.), которую необходимо приложить при различных массах груза для медленного (квазистатического) движения механизма вверх. Реальный (экспериментальный) КПД определим как

$$\eta_{\text{э}} = \frac{mg\Delta x}{3F\Delta x} = \frac{mg}{3F}.$$

Построим график зависимости теоретического ( $\circ$ ) и экспериментального ( $\bullet$ ) КПД от массы груза (см. рис.). Как и следовало ожидать, реальный КПД несколько меньше теоретического, так как наша модель была построена без учёта сил трения в механизме.



## Задача 8.2 Три в одном

Существует всего три варианта подключения винтов на крышке ящика: к точкам  $A$  и  $B$ , к  $B$  и  $C$ , или к  $A$  и  $C$ . Во всех вариантах при замкнутом ключе и  $R_x \neq 0$  мультиметр в режиме вольтметра должен показывать напряжение отличное от нуля.

Замыкая/размыкая ключ и вращая ручку реостата будем следить за показаниями прибора. Устанавливаем, что в положении «2» ключ замкнут. При этом, в зависимости от положения ручки реостата показания вольтметра изменяются в диапазоне примерно от 2,8 В до 6,0 В. Вывод: прибор точно не подключен к контактам  $A$  и  $B$ , иначе мы бы наблюдали уменьшение его показаний до 0.

Оставив ключ замкнутым, переведём мультиметр в режим амперметра. В этом состоянии его сопротивление пренебрежимо мало, поэтому прибор не должен реагировать на изменение сопротивления  $R_x$  при его подключении к контактам  $A$  и  $C$  или  $A$  и  $B$ . Мы же наблюдаем, что при изменении сопротивления  $R_x$  показания амперметра изменяются от 0,6 мА до 2,9 мА. Делаем вывод, что прибор подключён к контактам  $B$  и  $C$ .

Разомкнём ключ и прямым измерением с помощью омметра определим сопротивление резистора  $R_1 = 6,0$  кОм. Заметим, что при разомкнутом ключе показания омметра не изменяются при изменении  $R_x$ . Это подтверждает вывод, что прибор подключён к контактам  $B$  и  $C$ .

Чтобы определить три неизвестных величины —  $R_2$ ,  $R_x$  и  $U_0$ , — нужно составить три уравнения. Вновь переведём мультиметр в режим вольтметра. Установим  $R_x = 0$ . Тогда показание вольтметра

$$U_1 = \frac{U_0}{R_1 + R_2} R_1 \approx 6 \text{ В.} \quad (1)$$

Установим  $R_x$  на максимум. Тогда показание вольтметра

$$U_2 = \frac{U_0}{R_1 + R_2 + R_x} R_1 \approx 2,8 \text{ В.} \quad (2)$$

Переведём мультиметр в режим измерения силы тока. Установим  $R_x = 0$ . Тогда показание амперметра

$$I_1 = \frac{U_0}{R_2} \approx 3 \text{ мА.} \quad (3)$$

Установим  $R_x$  на максимум. Тогда показание амперметра

$$I_2 = \frac{U_0}{R_2 + R_x} \approx 0,7 \text{ мА.} \quad (4)$$

Поскольку нам достаточно трёх уравнений, воспользуемся соотношениями (1), (2) и (3). Выразим  $U_0$  из (3) и подставим в (1).

$$U_1 = \frac{I_1 R_2}{R_1 + R_2} R_1, \text{ откуда следует, что } R_2 = \frac{U_1 R_1}{I_1 R_1 - U_1} \approx 3 \text{ кОм.}$$

Подставив значение  $R_2$  в (1), найдём  $U_0 = \frac{R_1 + R_2}{R_1} U_1 \approx 9 \text{ В.}$

Наконец, из уравнения (4) определим  $R_x = \frac{U_0}{I_2} - R_2 \approx 10 \text{ кОм.}$

