

9 класс

Задача №1. Весы Роберваля

Максимальный балл за задание — 25 баллов.

Основой конструкции весов Роберваля является параллелограмм (рамка), состоящий из четырёх жёстких деревянных стержней (см. рисунок 1).

Обозначения на рисунке:

1 – основание весов;
2 – нижний центральный шарнир, жёстко соединённый с рамкой весов;

3 – верхний центральный шарнир, жёстко соединённый с основанием весов.

Средины двух противоположных (исходно горизонтальных) сторон параллелограмма шарнирно закреплены на вертикальном основании. При этом

две другие его стороны в любой конфигурации параллелограмма остаются вертикальными. Перпендикулярно к этим сторонам жёстко прикреплены «полки» весов, на которых располагаются взвешиваемые грузы (см. рисунок). Удивительным свойством этой механической системы является то, что, если массы грузов одинаковы, весы находятся в равновесии независимо от места расположения грузов. Возникает ощущение, что не выполняется правило моментов. Особенностью конструкции весов, используемых в данной работе, является большой размер нижнего отверстия в основании, обеспечивающий свободное перемещение в этом отверстии (наличие определённого люфта) нижнего центрального шарнира.

1. Запишите номер весов, указанный на нижней части основания. Установите весы на крае стола и закрепите их двумя зажимами. Измерьте в миллиметрах длины сторон параллелограмма a и b между центрами угловых шарниров.

Сбалансируйте весы. Для этого, устраняя трение в шарнирах лёгким постукиванием по нижней части основания, добейтесь устойчивости горизонтального положения верхней рейки параллелограмма, надевая дополнительные шайбы с диаметром отверстия 6 мм на шурупы верхних торцов вертикальных реек.

2. Только в рамках пунктов 1–3 задания считайте, что все силы трения скольжения данной конструкции сосредоточены в верхнем центральном шарнире радиусом R и создают в нём эффективный суммарный момент $M = F_{\text{тр}}R$ (в дру-

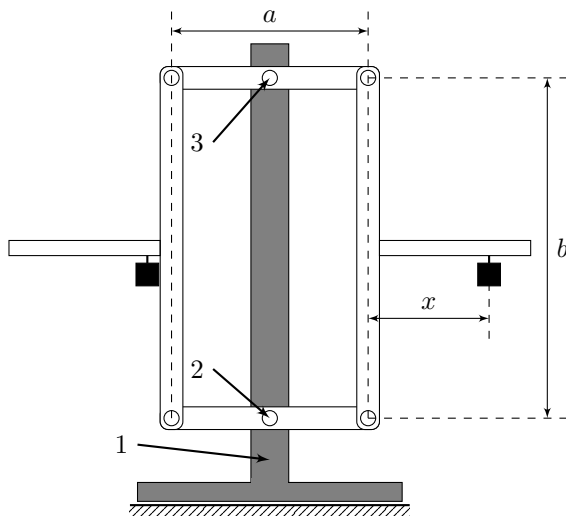


Рис. 1

гих пунктах указанную модель не используйте). Определите момент силы трения M_1 сбалансированных весов без нагрузки (до установки на них тяжелых грузов). Масса большой дополнительной шайбы (с диаметром отверстия 8 мм) $m_6 = 6$ г, масса малой дополнительной шайбы (с диаметром отверстия 5 мм) $m_m = 1$ г. Подробно опишите метод определения M_1 .

3. Установите тяжёлые грузы на левую и правую полки весов максимально близко к вертикальным рейкам параллелограмма. (**Внимание:** инструкция по установке и снятию грузов приведена в приложении к условию). Убедитесь в устойчивости горизонтального положения верхней рейки параллелограмма. Аналогично пункту 2 задания определите эффективный суммарный момент силы трения M_2 для нагруженных весов. Чему равно отношение $n = M_2/M_1$?

При выполнении пунктов 1–3 задания построение графиков не требуется.

4. Снимите зависимость горизонтальной силы F , действующей со стороны основания на нижний центральный шарнир, от расстояния x , на которое правый груз удалён от оси вертикальной рейки параллелограмма (см. рисунок 1).

Примечание: Левый груз при этом должен располагаться на прежнем месте, т.е. максимально близко к своей вертикальной рейке. Измерения проводите при горизонтальном положении верхней и нижней реек параллелограмма. В таблице измерений предусмотрите дополнительный столбец для дальнейших исследований.

5. Постройте график полученной зависимости.

6. Выведите формулу, связывающую F и x через массу грузов и геометрические размеры установки (см. рисунок 1).

7. Используя результаты, полученные в пунктах 4–6 задания, определите массу тяжёлых грузов m_0 . Оцените погрешность определения массы.

8. Проведя необходимое дополнительное измерение и используя результаты, полученные в пункте 4 задания, рассчитайте зависимость силы Q , действующей со стороны верхнего центрального шарнира на рамку весов, от расстояния x , на которое правый груз удалён от оси вертикальной рейки параллелограмма. Запишите формулу, использованную для расчета зависимости $Q(x)$.

9. Постройте график зависимости $Q(x)$. При выполнении пунктов 8 и 9 задания погрешность не рассчитывайте.

Оборудование: весы Роберваля, два больших груза одинаковой массой, два зажима, динамометр с пределом измерений 5 Н, линейка 40 см, дополнительные шайбы трёх типов по 5 шт (с диаметрами отверстий 5 мм, 6 мм и 8 мм). Ускорение свободного падения $g = 10$ м/с².

Приложение. Инструкция по установке больших грузов

1. Любые измерения с тяжёлыми грузами должны производиться только при **надёжном** креплении грузов, подвешенных к полкам весов с помощью винта, торчащего из крышки, и гайки М3, как показано на рисунке 2. В исходном состоянии на винт каждого груза (каждой бутылки с песком) навинчено по 3 гайки. Одна из них является основной, две другие – запасные. Каждую из них можно использовать при утере предыдущей. Дополнительные гайки М3, кроме имеющихся в Вашем распоряжении в начале эксперимента, выдаваться не будут.



Рис. 2

2. Левый груз устанавливается первым. Он при всех измерениях в данном задании располагается максимально близко к левой рейке параллелограмма. Его местоположение не изменяется. Удерживайте груз одной рукой ниже полки весов и, вставив винт в отверстие, другой рукой навинтите гайку таким образом, чтобы несколько витков резьбы винта **оказалось выше гайки**. Это обеспечит надёжность крепления. Имейте в виду, что падение груза на стол или на пол может привести к образованию трещин в бутылочке и высыпанию песка из неё.



Рис. 3

3. Закрепив левый груз, плавно опустите его рукой вместе с полкой весов вниз до упора (см. рисунок 3).

4. Аналогично установите правый груз в нужном месте правой полки. Плавно отпустите его и вручную переведите верхнюю и нижнюю рейки параллелограмма в горизонтальное положение (см. рисунок 4).

5. Перед снятием правого груза снова плавно переведите левый груз в нижнее положение. После этого изменяйте положение правого груза и вновь придавайте параллелограмму форму прямоугольника.

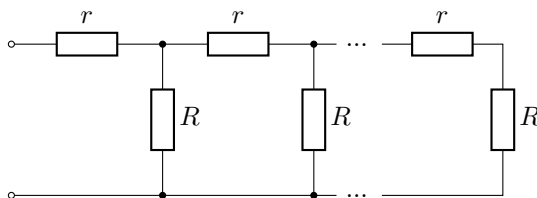


Рис. 4

Задача №2. Путь в бесконечность

Максимальный балл за задание — 15 баллов.

Впервые вычислить эквивалентное сопротивление электрической цепи (см. рисунок), состоящей из очень большого числа звеньев, было предложено участникам I Международной олимпиады по физике в 1967 году. С тех пор эта задача стала классической. Сегодня же вам предстоит экспериментально исследовать, как зависит сопротивление данной цепи от числа звеньев в ней.



1. Определите сопротивления всех резисторов и проверьте, что все резисторы r и все резисторы R ($r \ll R$) имеют одинаковые сопротивления в пределах точности измерений мультиметра. Считайте погрешность мультиметра в этом и последующих пунктах равной трём единицам последнего разряда. Если есть резисторы R , сопротивление которых отличается больше, чем на 1%, попросите их заменить. Вычислите средние значения R и r и их погрешности.

2. Снимите зависимость эквивалентного сопротивления цепи (см. рисунок) $\Omega(n)$ от числа звеньев n для $n = 1, 2, \dots, 7$. Для $n = 7$ начертите Вашу схему подключения резисторов, проводов и мультиметра на макетной плате. Для этого Вам выдан бланк с напечатанной схемой макетной платы. Резисторы сопротивлением R обозначайте на схеме в виде закрашенных прямоугольников, а резисторы сопротивлением r – в виде незакрашенных. Если схему для $n = 7$ собрать не удалось, то начертите схему подключения для цепи с максимальным числом звеньев. **Без начерченной схемы Ваши экспериментальные данные и расчеты не будут оцениваться.**

3. Используя средние значения r и R из первого пункта, рассчитайте теоретическое значение $\Omega(\infty)$ сопротивления цепи, состоящей из очень большого ($n \gg 1$) числа звеньев.

4. Нанесите точки снятой зависимости $\Omega(n)$ на график. Соедините эти точки гладкой линией. На этом же графике постройте горизонтальную прямую $\Omega = \Omega(\infty)$. Это тот предел (горизонтальная асимптота), к которой должны стремиться точки измеренной зависимости $\Omega(n)$.

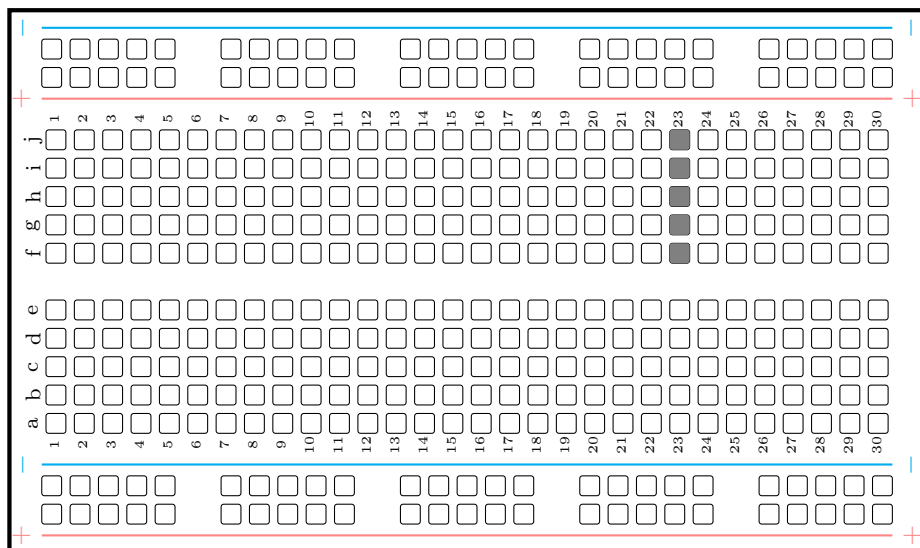
5. В приближении $n^2 r \ll R$ (считайте, что данное приближение верно для всех $n \leq 7$) зависимость эквивалентного сопротивления от количества звеньев принимает вид $\Omega(n) = F(R, n) + f(r, n)$, где $f(r, n)$ – небольшая добавка, равная

$f(r, n) = \frac{(2n+1)(n+1)}{6n}r$, а $F(R, n)$ – основной член, зависящий только от R и n . Чему равна функция $F(R, n)$?

6. С учётом теоретической зависимости, полученной в предыдущем пункте, подберите такие координаты, в которых измеренная Вами зависимость $\Omega(n)$ будет линейной. Постройте график линеаризованной зависимости.

7. Из графика, построенного в предыдущем пункте, определите сопротивление r и R и их погрешности. Сравните полученные значения R и r с результатами прямых измерений в пункте 1.

Примечание: макетная плата используется для соединения проводов и подключения различных элементов. Каждые пять соседних гнёзд макетной платы, расположенные в одном столбце, внутри платы соединены между собой. Например, соединены выводы, отмеченные серым на рисунке. Все гнёзда макетной платы, расположенные в двух крайних строках платы с каждой её стороны, промаркированные красным и синим цветами, также соединены между собой.



Оборудование: макетная плата, 7 пар резисторов r и R ($R \gg r$) в zip-пакете, мультиметр с проводами типа «банан–крокодил», пара соединительных проводов для макетной платы.