

Физика 9–11

Публикуемая ниже заметка «Рычажные весы» предназначена девятиклассникам, «Молекулы, сосиски и алмазы» – десятиклассникам и «Небо синее, Солнце красное» – одиннадцатиклассникам.

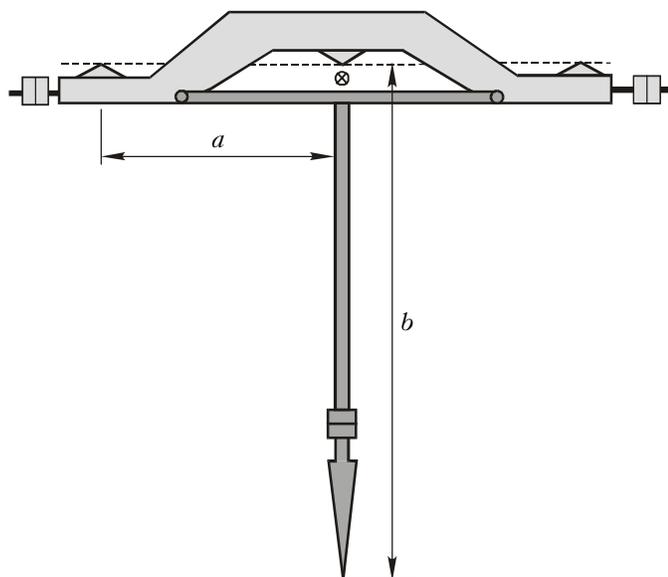
Рычажные весы

С.ВАРЛАМОВ

КАЖЕТСЯ, ЧТО МОЖЕТ БЫТЬ ПРОЩЕ, ЧЕМ РЫЧАЖНЫЕ равноплечие весы? Опора, коромысло да две чашки. Однако говорят, что есть весы точные и грубые, чувствительные и не очень. Что такое чувствительность весов? Это способность коромысла изменить свое положение – повернуться на заметный невооруженным глазом угол – при изменении величины груза на одной из уравновешенных чашек. Чем меньший груз вызывает заметный поворот коромысла, тем выше чувствительность весов. Минимальная масса, вызывающая такой заметный поворот, является количественной характеристикой чувствительности весов. Например, школьные рычажные весы обычно имеют чувствительность 10 миллиграмм, при этом конец стрелки, прикрепленной к коромыслу, смещается относительно опоры (или шкалы, размещенной на опоре) на расстояние порядка 1 миллиметра.

Чтобы сделать хорошие, т.е. чувствительные, весы и обеспечить независимость их чувствительности от массы измеряемого груза, нужно выполнить ряд условий (см. рисунок).

Первое условие. Коромысло с грузом, уравновешенным набором гирь, или без груза должно иметь положение устойчивого равновесия. Это обеспечивается тем обстоя-



ством, что центр масс коромысла (на рисунке он изображен крестиком в кружочке) находится ниже, чем линия опоры коромысла на подпятник (ось вращения коромысла).

Второе условие. Мгновенная ось вращения коромысла не должна перемещаться относительно подставки. Это достигается выполнением опоры коромысла в виде хорошо заточенной призмы. Опоры чашек на коромысло тоже выполняются в виде заточенных призм, исходя из тех же соображений: оси вращения чашек не должны перемещаться относительно коромысла. При малой площади контакта опоры и подпятника (того места, на которое опирается призма) давление на материал подпятника и на материал самой призмы становится больше.

Третье условие. Подпятники и призмы не должны деформироваться при наличии нагрузки на коромысло. Для этого призмы и подпятники изготавливаются из материалов, обладающих высокой твердостью. В ход идут рубины, алмазы и более дешевые, но твердые материалы.

Четвертое условие. Чувствительность весов не должна зависеть от наличия на чашках уравновешенных грузов. Это обеспечивается конструктивной особенностью весов: мгновенные оси вращения чашек относительно коромысла должны находиться на одинаковом расстоянии от оси вращения коромысла относительно подставки (равноплечие рычажные весы) и, кроме того, все эти три оси должны находиться в одной плоскости. Если это условие выполнено, то любые одинаковые грузы, лежащие на разных чашках, создают относительно оси вращения коромысла суммарный момент сил тяжести, равный нулю. Причем этот момент сил остается равным нулю при любом повороте коромысла относительно подставки весов. Это означает, что положение равновесия коромысла не нарушится, если на обе чашки весов положить одинаковые грузы. И при любых величинах уравновешенных грузов поочередное помещение на каждую из чашек некоторого перегрузка вызовет поворот коромысла на один и тот же угол. Это и соответствует независимости чувствительности весов от груза на чашках.

Заметим, что от суммарной массы грузов зависит период колебаний весов около положения равновесия – чем больше масса, тем больше период. Если, например, суммарная масса грузов на чашках весов равна массе коромысла, период колебаний возрастает примерно вдвое по сравнению с периодом колебаний без грузов на чашках. (Проверьте это самостоятельно и постарайтесь объяснить.)

Для регулировки весов используются несколько пар гаек на стержнях с резьбой, прикрепленных к коромыслу. Перемещение гаек на концах коромысла позволяет изменять положение центра масс по горизонтали. Одна из пар гаек перемещается вдоль стрелки, прикрепленной к коромыслу, и обеспечивает изменение расстояния от оси вращения коромысла до центра масс коромысла.

А теперь рассмотрим школьные равноплечие весы. Пусть масса их коромысла равна $M = 200$ г, расстояние от оси вращения каждой из чашек до оси вращения коромысла равно $a = 20$ см, а расстояние от оси вращения коромысла до кончика стрелки, прикрепленной к коромыслу, равно $b = 20$ см. Обсудим три конкретные задачи.

Задача 1. Предположим, что весы настроены так, что перегрузок $m = 10$ мг на одной из чашек весов вызывает поворот коромысла к новому положению равновесия, причем конец стрелки смещается относительно подставки весов на $l = 1$ мм. Каково расстояние x от центра масс коромысла до оси его вращения?

Угол поворота коромысла небольшой: $\alpha = l/b$. Плечо

силы тяжести Mg , действующей на коромысло, равно $x\alpha = xl/b$. Момент силы тяжести коромысла относительно оси вращения коромысла равен $Mgxl/b$. Этот момент уравновешивается моментом силы тяжести перегрузка относительно той же оси вращения, равным tga :

$$\frac{Mgxl}{b} = tga .$$

Отсюда

$$x = \frac{tab}{Ml} = 2 \text{ мм} .$$

Задача 2. Пара гаек, обеспечивающих настройку весов, имеет массу 1 г. Куда и на какое расстояние нужно переместить гайки, чтобы чувствительность весов стала равной 5 мг?

Масса коромысла 200 г, центр масс находится на расстоянии 2 мм от оси вращения, перемещение гаек должно сократить расстояние между осью вращения и центром масс до 1 мм (это следует из предыдущей задачи). Следовательно, пару гаек массой 1 г нужно переместить вверх на расстояние

200 мм.

Задача 3. Коромысло с чашками без грузов имеет положение равновесия, при котором стрелка отклонена от середины шкалы вправо на 10 мм. Пара регулировочных гаек имеет массу 1 г и в данный момент находится на расстоянии 20 см справа от оси вращения коромысла. В какую сторону и на какое расстояние нужно передвинуть регулировочные гайки, чтобы стрелка в положении равновесия находилась точно в середине шкалы?

Очевидно, что гайки, обозначим их массу m_r , следует передвинуть вправо. Это перемещение ΔL должно привести к изменению момента силы тяжести относительно оси вращения коромысла на величину, равную моменту сил, возникающему при помещении на чашку весов перегрузка массой $m = 100$ мг (мы воспользовались результатами задачи 1):

$$m_r g \Delta L = tga ,$$

откуда

$$\Delta L = \frac{ma}{m_r} = 2 \text{ см} .$$