

Импульс силы. Гиря и две нити

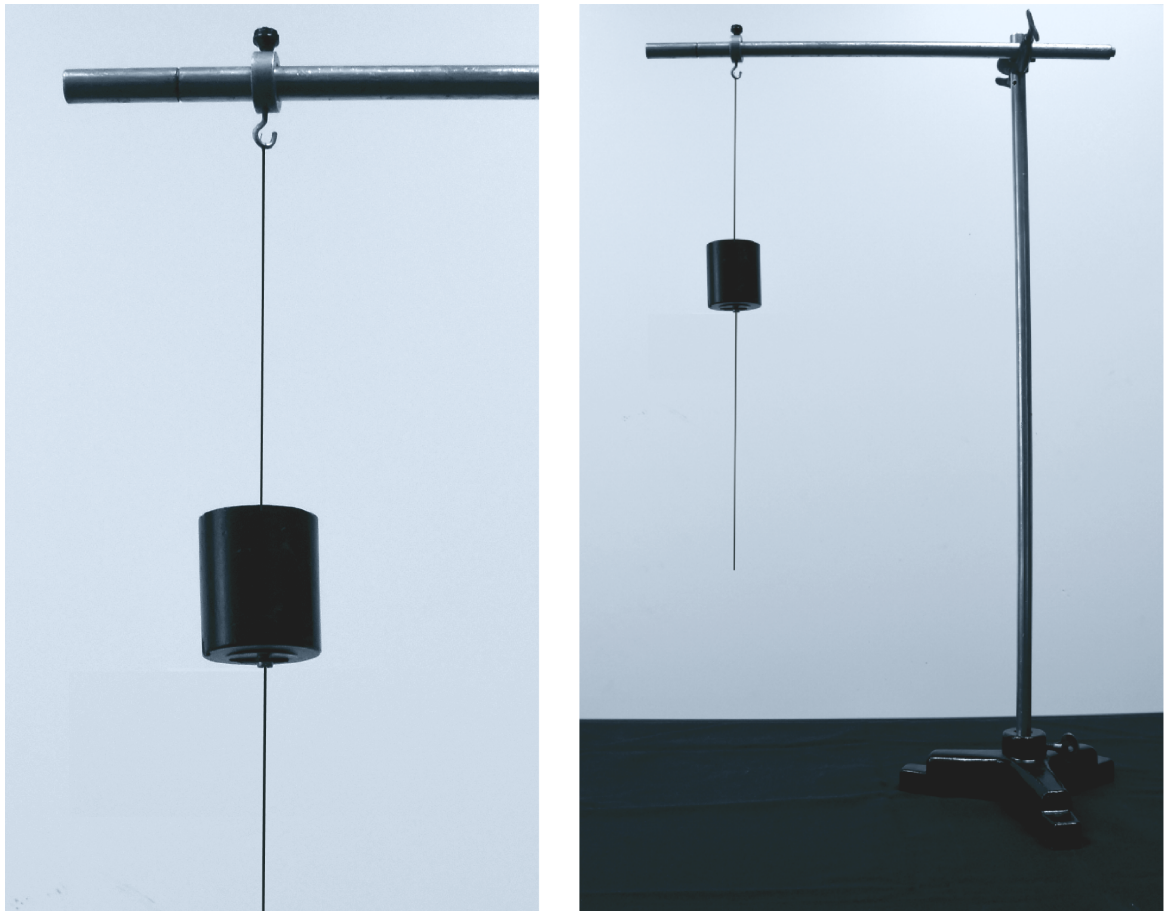


Рис. 1: Демонстрация явления инерции

Оборудование:

1. Штатив
2. Гиря с крючками, ввинченными в верхний и нижний торцы
3. Несколько нитей одинаковой толщины и длины
4. Резиновый коврик, используемый для амортизации удара

Основные определения:

Величина, количественно определяющая те действия тел друг на друга, которые вызывают ускорения, называется силой. С одной стороны, сила есть количественная мера действий тел друг на друга. С другой стороны, сила есть количественная мера тех действий, которые вызывают ускорения.

Конечная скорость движения тел определяется не только самой силой, но и временем действия этой силы.

Импульсом называется мера механического движения, равная для материальной точки произведению ее массы m на скорость \mathbf{v} . Такая величина как импульс $\mathbf{p} = m\mathbf{v}$ — является векторной, направленной так же, как скорость точки. Импульс \mathbf{P} механической системы равен геометрической сумме импульсов всех ее точек, или произведению массы всей системы на скорость \mathbf{V}_c её центра масс:

$$\mathbf{P} = \sum m_i \mathbf{v}_i = M \mathbf{V}_c.$$

При действии силы \mathbf{F} импульс точки изменяется в общем случае и численно и по направлению; это изменение определяется вторым (основным) законом динамики. Изменение импульса системы происходит под действием только внешних сил, то есть сил, действующих на систему со стороны тел, в эту систему не входящих.

Импульс силы \mathbf{S} — это сложная физическая величина, которая одновременно учитывает влияние модуля, направления и времени действия силы на изменение состояния движения тела. Импульс силы $\mathbf{S} = \mathbf{F}\Delta t$ является вектором, по направлению совпадающим с направлением вектора силы \mathbf{F} . Импульс системы — величина векторная и направлен он в ту же сторону, что и вектор результирующей силы \mathbf{F}_p .

В новых понятиях второй закон Ньютона можно прочитать следующим образом:

изменение импульса тела равно импульсу всех сил, действовавших на него:

$$\mathbf{F}\Delta t = m\mathbf{v}_2 - m\mathbf{v}_1 \text{ или } \mathbf{F}\Delta t = \Delta(m\mathbf{v})$$

Именно в таком виде закон был впервые сформулирован самим И. Ньютоном

Краткое описание демонстрации:

К штативу, установленному на ровной поверхности, при помощи тонкой нити подвешивается тело (цилиндр массой 200 г). Прочность нитей подбирается так, чтобы верхняя нить могла только удерживать тело, не разрываясь. В нижнюю часть этого цилиндра ввинчивается крючок с привязанным к нему такой же нитью. Для амортизации удара на стол кладется резиновый коврик.

Если во время опыта нижнюю нить резко с большой силой дернуть, то она разорвется, а верхняя как бы не «почувствует» сильного рывка (точка 2 на рис.2). Причина кроется в том, что большая сила F действует на груз в течение очень короткого времени Δt . Это время затрачивается только на создание деформации нижней нити во время рывка. Тело массой m получает незначительный импульс силы, поэтому не успевает набрать скорость и сдвинуться с места. По этой причине в верхней нити не возникают дополнительных деформации, и она остается целой.

Если нижнюю нить потянуть плавно с небольшой силой, то верхняя нить оборвется (точка 1 на рис.2) и груз упадет. Это объясняется тем, что действие небольшой силы F за счет продолжительности взаимодействия, т.е. большого Δt , приводит к тому, что телу сообщается существенный импульс силы $F\Delta t$. За рассматриваемый промежуток времени скорость, а, соответственно, импульс тела успевает измениться. Это приводит к небольшому смещению тела, из-за чего в верхней нити возникает дополнительная деформация. Благодаря тому, что в опыте используется тонкая нить, деформации быстро достигают предела прочности и верхняя нить обрывается.

Теория:

В рассматриваемом эксперименте движение гири определяется следующим уравнением (второй закон Ньютона в векторной форме)

$$\mathbf{F}_H + \mathbf{F}_B + m\mathbf{g} = m\mathbf{a}, \quad (1)$$

где \mathbf{F}_H , \mathbf{F}_B — векторы сил натяжения нижней и верхней нити соответственно, $m\mathbf{g}$ — вектор силы тяжести, \mathbf{a} — ускорение груза.

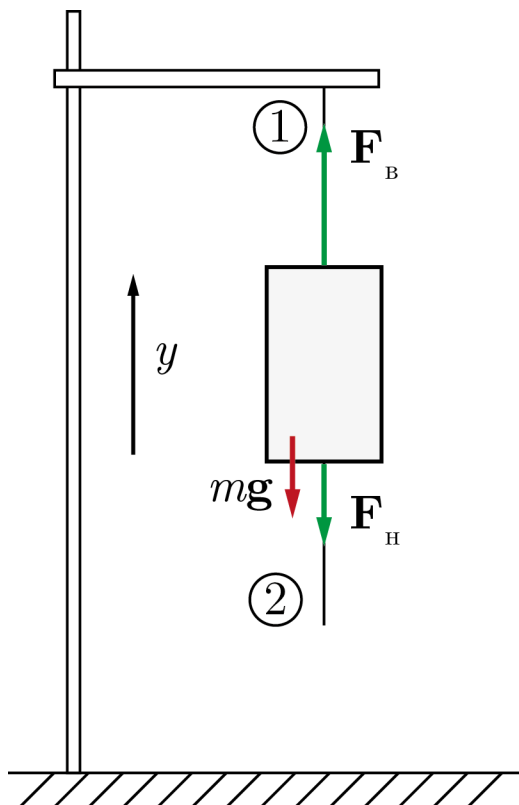


Рис. 2: Схематичное изображение подвешенного на нити груза

При медленном натяжении имеет место «статическое» распределение сил (ускорение мало или $a \rightarrow 0$), проекции которых на ось y связаны следующим соотношением:

$$F_H - F_B = mg, F_B > F_H \quad (2)$$

то есть сила натяжения верхней нити всегда превышает силу натяжения со стороны нижней нити на величину mg .

Для быстрого натяжения имеем

$$F_B - F_H = mg + ma \quad (3)$$

или $F_B > F_H$, поэтому в первую очередь обрывается верхняя нить.

Из формулы (3) видно, что при значительном ускорении a (резкий рывок) для сил натяжения справедливо условие: $F_{\text{н}} > F_{\text{в}}$. Отсюда следует, что разница в обрыве нижней или верхней нитей обуславливается присутствием в системе тела большой массы, подвешенного за верхнюю нить. Таким образом, в случае резкого рывка смещение гири в силу ее инертности оказывается малым, поэтому характерное время растяжения верхней нити значительно превышает время растяжения нижней. Поэтому для нижней нити разрывное натяжение «наступает» раньше.