

## Второй закон Ньютона. Две тележки

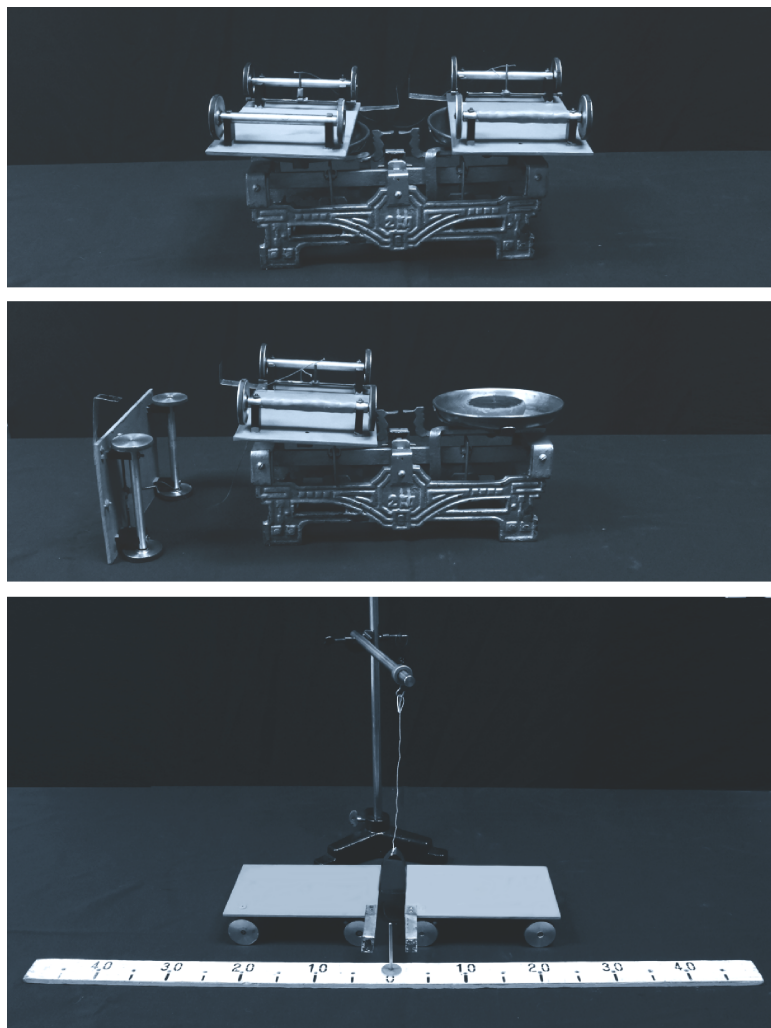


Рис. 1: Демонстрация второго закона Ньютона

### Оборудование:

1. Пара тележек равной массы (снабженные тормозным механизмом)
2. Штатив с подвешенной к нему тонкой стальной пластинкой
3. Нитяное кольцо (3 штуки)
4. Метровая линейка
5. Груз с массой равной массе одной из тележек
6. Спички

## Основные определения:

В ходе опытов можно показать, что ускорения, приобретаемые телами под действием заданной внешней силы, обратно пропорциональны массам тел:

$$a \sim \frac{1}{m}.$$

Поэтому если рассмотреть два тела с массами  $m_1$  и  $m_2$ , то абсолютные значения ускорений  $a_1$  и  $a_2$ , которые будут приобретать эти тела под действием одной и той же силы  $\mathbf{F}$ , всегда будут относиться между собой как

$$\frac{a_1}{a_2} = \frac{m_2}{m_1}.$$

Зная связь между ускорениями и действующими силами:  $a \sim F$ ; во-вторых, связь между ускорением любого тела и его массой:  $a \sim 1/m$ . Если объединить эти две зависимости, то получится соотношение

$$a \sim \frac{F}{m},$$

которое выражает физическое содержание второго закона Ньютона.

После этого можно сформулировать второй закон Ньютона в следующем виде:

*ускорения в движении тел прямо пропорциональны действующим силам и обратно пропорциональны массам движущихся тел.*

При правильном выборе единиц формулу второго закона Ньютона можно записать в обеих системах (СГС или СИ) в виде простого равенства:

$$\mathbf{a} = \frac{\mathbf{F}}{m}$$

или

$$\mathbf{F} = m\mathbf{a}$$

Здесь уже учтено, что направления ускорений совпадают с направлениями сил. Поэтому второй закон Ньютона записан в векторной форме.

## Краткое описание демонстрации:

В данной демонстрации используются две тележки на колесах одинаковой массы (рис.1). Тележки имеют «механический» тормоз и буфер. Перед тележками помещается демонстрационная линейка с ценой деления 10 см. Между тележками, связанными ниткой, помещается сжатая пружина.

После пережигания нити спичкой пружина распрямляется, толкая тележки в противоположных направлениях с одинаковой силой. Так как изначально массы тележек равны, то пружина сообщает им одинаковые ускорения, в результате чего тележки за равный промежуток времени перемещаются относительно начального положения на одно и то же расстояние (рис.2,б).

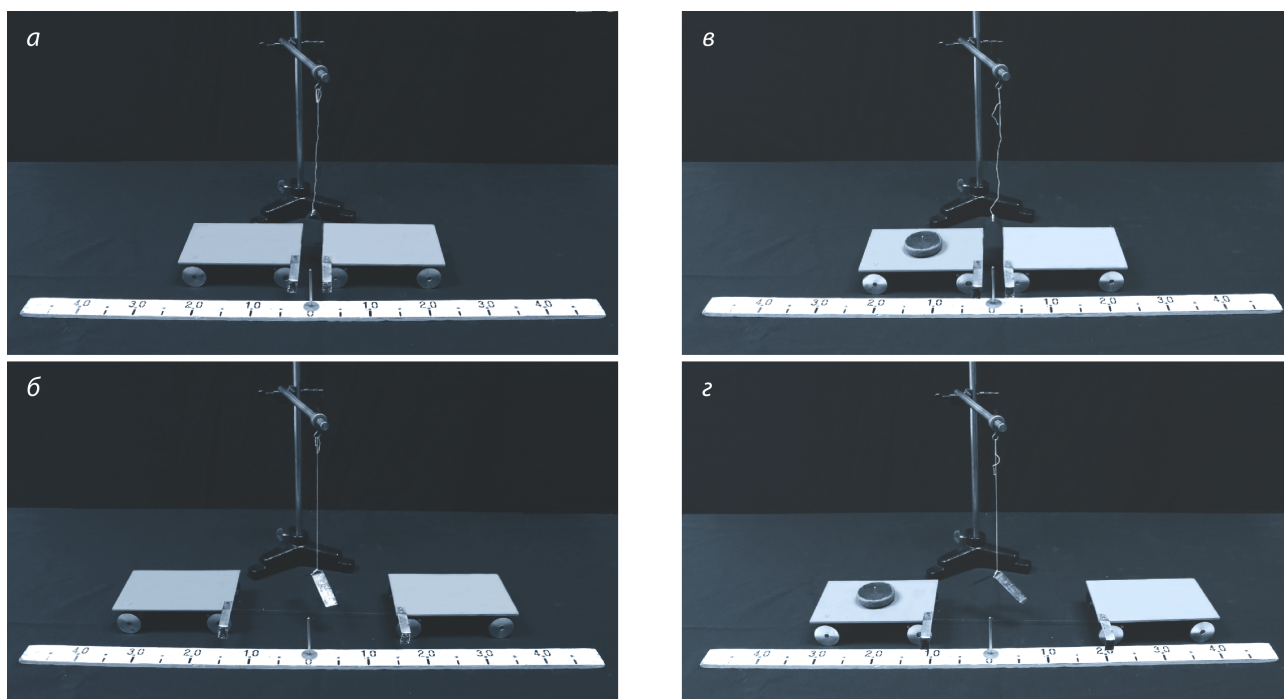


Рис. 2: Демонстрация с двумя тележками: *а* — начальное состояние системы, когда между тележками в сжатом состоянии располагается металлическая полоска; *б* — после пережигания нити тележки равной массы разъезжаются под действием одной и той же силы на одинаковые расстояния; *в, г* — при удвоении массы одной из тележек за счет дополнительного груза расстояние, которая она пройдет после пережигания нити, окажется вдвое меньше расстояния, пройденного ненагруженной тележкой

Если же теперь на одну тележку поместить груз массой  $m = M$  (рис.2,в), ее масса возрастет вдвое. После пережигания нити и распрям-

ления металлической пластины одинаковые силы сообщат тележкам различные ускорения. Таким образом, скорость тележки с большой массой окажется меньше скорости тележки без груза, а значит будет отличаться и пройденный путь за равные промежутки времени (рис.2,г).

## Теория:

Тележки останавливаются, когда полностью натягивается нить, соединяющая рычаги тормозов. Следовательно, время движения каждой тележки считается одинаковым, поэтому можно записать следующее равенство:

$$t = \frac{l}{v_1 + v_2} \quad (1)$$

где  $l$  — длина нити,  $v_1, v_2$  — скорости тележек. Учитывая это соотношение, рассчитаем перемещение каждой тележки.

$$s_1 = v_1 t = \frac{v_1 l}{v_1 + v_2}, \quad s_2 = v_2 t = \frac{v_2 l}{v_1 + v_2} \quad (2)$$

Следовательно,

$$\frac{s_1}{s_2} = \frac{v_1}{v_2} \quad (3)$$

Считая, что выпрямление зажатой пружины, которая расталкивает тележки, происходит почти мгновенно, можно воспользоваться законом сохранения импульса:

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = 0. \quad (4)$$

Отсюда получим соотношение

$$\frac{m_2}{m_1} = \frac{v_1}{v_2}. \quad (5)$$

Таким образом, пройденный тележками путь и их массы находятся в следующей зависимости:

$$\frac{s_1}{s_2} = \frac{m_2}{m_1}. \quad (6)$$

В этом состоит один из способов измерения массы тела, если одну из масс принять за эталон. Например, если  $m_1 = 1$  кг, то  $m_2 = s_1/s_2$ ).