

Выдергивание листа бумаги из-под стакана

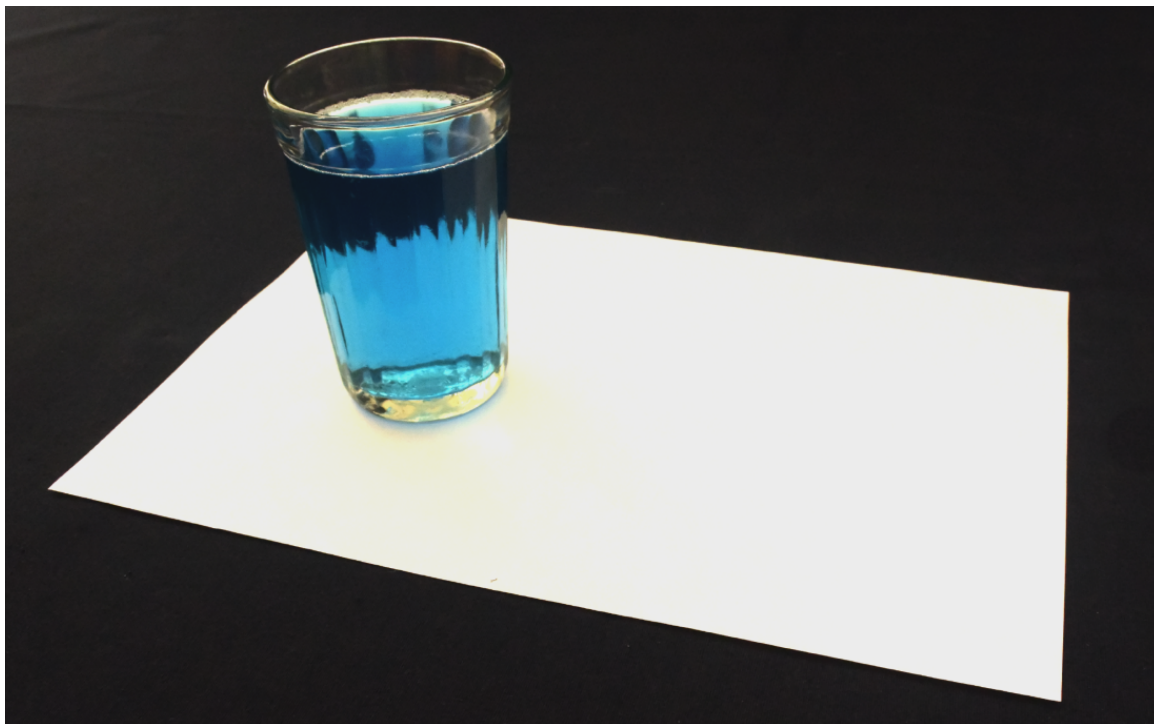


Рис. 1: Демонстрация явления инертности

Оборудование:

1. Лабораторный стол с гладкой поверхностью
2. Стакан с водой
3. Лист бумаги

Основные понятия:

Инерция, инертность (в механике) — свойство материальных тел, «сопротивляться» воздействию силы. Многочисленные опыты позволили Г. Галилею (1564–1642) впервые сформулировать свой знаменитый закон инерции:

тела, свободные от внешних воздействий (сил), сохраняют состояние покоя или равномерного прямолинейного движения относительно Земли

Впоследствии английский физик И. Ньютон (1643–1727) включил этот закон в число общих законов движения, поэтому закон инерции часто называют первым законом Ньютона. Все системы отсчета, для которых выполняется первый закон Ньютона, получили название инерциальных систем.

Когда внешние воздействия на тело (силы) отсутствуют или взаимно уравновешиваются, инертность проявляется в том, что тело сохраняет неизменным состояние своего движения или покоя по отношению к инерциальной системе отсчета. Если же на тело действует неуравновешенная система сил, то свойство инертности сказывается в том, что изменение состояния покоя или движения тела, т. е. изменение скоростей его точек, происходит постепенно, а не мгновенно; при этом движение изменяется тем медленнее, чем больше инертность тела. Величина, количественно определяющая инертные свойства тела, называется массой тела.

Краткое описание демонстрации:

Для демонстрации инертности тел стакан с водой располагают на ровной горизонтальной поверхности. Под стаканом необходимо поместить обычный лист бумаги. Если начать тянуть лист с такой силой, чтобы не возникало скольжения бумаги относительно стакана, то стакан станет двигаться вместе с бумагой. В этом случае сила трения, приложенная к стакану, действует длительное время и сообщает ему большой импульс. Стакан успевает приобрести необходимое количество движения и перемещается вместе с бумагой.

Если же бумажный лист резко с большой силой выдернуть, то он выскользнет из-под стакана, а сам стакан останется стоять на месте. Теперь время действия силы мало, причем оно равно времени прохождения конца бумажного листа под дном стакана. За это время сила успевает сообщить стакану только очень малый импульс, и стакан остается на месте.

Теория:

Используя второй закон Ньютона в проекции на горизонтальную ось x имеем:

$$\frac{\partial p_x}{\partial t} = F_x, \quad (1)$$

где $p_x = mv_x$ — проекция импульса на ось x . Так как проекция скорости v_x является производной координаты x по времени, получается следующее:

$$m \frac{\partial^2 x}{\partial t^2} = F_x, \quad (2)$$

или

$$m \frac{\Delta x}{\Delta t^2} \sim F_x \quad (3)$$

и тогда

$$\Delta x \sim \frac{F_x}{m} \Delta t^2. \quad (4)$$

Так как на стакан со стороны листа бумаги действует сила трения скольжения, равная $F_x = \mu mg$ (где через μ обозначен коэффициент трения между стаканом и листом), то уравнение (4) примет вид:

$$\Delta x \sim \mu g \Delta t^2. \quad (5)$$

Из уравнения (5) видно, что чем меньше время действия силы F на лист бумаги, тем меньше перемещение Δx стакана. Поэтому в пределе $t \rightarrow 0$ стакан остается неподвижным относительно поверхности стола.