

Уравнение движения тела переменной массы имеет вид

$$ma = F + F_p, \quad (2.17)$$

где $a = \frac{dv}{dt}$ — ускорение тела, а дополнительную силу

$$F_p = (v_1 - v) \frac{dm}{dt} = u \cdot \frac{dm}{dt}, \quad (2.17')$$

обусловленную переменностью массы тела, называют **реактивной силой**.

9. Идея применения реактивной силы для создания летательных аппаратов высказывалась уже давно. Так, в 1881 г. революционер-народоволец Н. И. Кибальчич, находясь в Петропавловской крепости перед казнью за участие в убийстве царя Александра II, составил проект реактивного летательного аппарата. Однако этот проект, затерявшийся в тюремных архивах, был обнаружен лишь после Великой Октябрьской социалистической революции. Вся жизнь выдающегося ученого и изобретателя К. Э. Циолковского была посвящена вопросам ракетной техники и применению ракет для межпланетных сообщений. Уже в 1903 г. он опубликовал статью, в которой была рассмотрена теория движения ракеты и впервые были даны основы теории жидкостного реактивного двигателя. Теория воздушно-реактивного двигателя впервые была опубликована в 1929 г. академиком Б. С. Стечкиным.

Из-за ряда технических трудностей широкое развитие реактивной и ракетной техники началось лишь в период второй мировой войны и особенно после ее окончания. Применение реактивных двигателей в авиации позволило во много раз увеличить скорости самолетов. Например, скорость современного транспортного самолета ТУ-144 в четыре раза превосходит скорость истребителей с поршневыми двигателями внутреннего сгорания, применявшихся в период второй мировой войны и составляет около 2500 км/ч. Ракетная техника явилась той базой, на основе которой стали возможными запуски искусственных спутников Земли, пилотируемых космических кораблей и автоматических орбитальных, лунных и межпланетных станций.

§ 2.5. Закон сохранения импульса

1. Механическую систему называют **замкнутой**, или **изолированной**, если на нее не действуют внешние силы, т. е. если она не взаимодействует с внешними телами. Строго говоря, каждая реальная система тел всегда не замкнута, так как подвержена, например, тяготению со стороны внешних тел. Однако если внутренние силы в системе во много раз превосходят внешние, то такую систему приближенно можно считать замкнутой. Например, наша Солнечная система находится на таких гигантских расстояниях даже до ближайших к ней звезд, что их тяготение не играет практически никакой роли в движении планет. Оно определяется взаимодействием планет с Солн-

цем и, в значительно меньшей степени, друг с другом. Поэтому с довольно большой степенью точности можно считать Солнечную систему замкнутой. При выстреле из орудия силы взаимодействия орудия и снаряда намного превосходят все внешние силы, действующие на орудие и снаряд. Поэтому в процессе выстрела можно рассматривать систему орудие — снаряд как замкнутую.

2. Для замкнутой системы главный вектор внешних сил тождественно равен нулю. Поэтому из (2.15) вытекает следующий закон, называемый **законом сохранения импульса**: *импульс замкнутой системы не изменяется с течением времени, т. е.*

$$\frac{dK}{dt} \equiv 0 \quad \text{и} \quad K = \sum_{i=1}^n m_i v_i = \text{const}, \quad (2.18)$$

где m_i и v_i — масса и скорость i -й материальной точки системы, а n — общее число материальных точек, входящих в состав системы. Так как согласно (2.12) $K = mv_C$, где m — масса всей системы, а v_C — скорость ее центра инерции, то из (2.18) следует, что *при любых процессах, происходящих в замкнутой системе, скорость ее центра инерции сохраняется неизменной.*

3. Закон сохранения импульса является одним из основных законов природы. Мы получили его как следствие законов Ньютона. Однако это вовсе не означает, что закон сохранения импульса справедлив лишь в тех пределах, в каких выполняются законы Ньютона и построенная на них классическая ньютоновская механика. Например, процессы, происходящие в микромире, описываются не ньютоновской, а квантовой механикой. Между тем эксперименты убедительно свидетельствуют о том, что закон сохранения импульса в равной мере справедлив как для замкнутой системы макроскопических тел, так и для замкнутой системы микрочастиц. Этот фундаментальный закон природы, как показывается в теоретической физике, является следствием определенного физического свойства пространства — его однородности. Однородность пространства означает, что параллельный перенос в нем замкнутой системы как целого (иначе говоря, изменение выбора начала системы координат) не должно отражаться на физических свойствах системы и законах ее движения.

4. Если система не замкнутая, но главный вектор внешних сил $F = 0$, то в соответствии с уравнением (2.15) импульс системы остается постоянным так же, как если бы внешних сил не было совсем.

Обычно приходится иметь дело с незамкнутыми системами, для которых главный вектор внешних сил $F \neq 0$ и импульс $K \neq \text{const}$. Однако, как видно из уравнений (2.15'), *если проекция главного вектора внешних сил на какую-либо ось, неподвижную относительно инерциальной системы отсчета, тождественно равна нулю, то проекция на эту же ось вектора импульса системы не зависит от времени.* Например, если $F_x \equiv 0$, то

$$\frac{dK_x}{dt} \equiv 0 \quad \text{и} \quad K_x = \text{const}.$$

Этот закон называют **законом сохранения проекции импульса**. Его можно продемонстрировать с помощью тяжелого маятника, установленного на тележке, которая имеет возможность свободно перемещаться по горизонтальным рельсам практически без всякого трения (рис. 2.2). Если, придерживая тележку, отклонить маятник от положения равновесия, а затем одновременно отпустить маятник и тележку, то они оба приходят в движение. Скорость тележки всегда противоположна по направлению горизонтальной составляющей скорости центра инерции маятника. В те моменты времени, когда при колебаниях шар маятника проходит через положения наибольших отклонений и имеет нулевую скорость, тележка также останавливается.

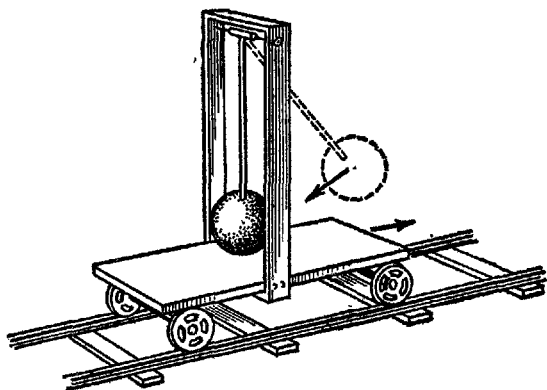


Рис. 2.2.

4. Рассмотрим применение закона сохранения импульса к расчету абсолютно неупругого прямого центрального удара двух тел. **Ударом** называют явление изменения скоростей тел на конечные

величины за очень малый промежуток времени, происходящее при их столкновениях. В процессе удара возникают кратковременные ударные силы взаимодействия между сталкивающимися телами, причем величина этих сил во много раз превосходит величины всех остальных сил, действующих на тела, например, их сил тяжести. Поэтому в процессе удара систему соударяющихся тел можно считать замкнутой и применять к ней закон сохранения импульса. Общую нормаль к поверхностям соударяющихся тел в точке их соприкосновения называют **линией удара**. Удар называют **прямым**, если перед ударом скорости центров инерции соударяющихся тел параллельны линии удара. Удар называют **центральной**, если центры инерции соударяющихся тел лежат на линии удара. Прямой центральный удар называют **абсолютно неупругим**, если после удара тела движутся как одно целое, т. е. с одной и той же скоростью.

Если скорости тел до удара равны v_1 и v_2 , а их массы равны m_1 и m_2 , то в соответствии с законом сохранения импульса общая скорость u тел после абсолютно неупругого прямого центрального удара равна

$$u = \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2}{m_1 + m_2}. \quad (2.19)$$

Скорости v_1 и v_2 могут быть направлены как в одну и ту же, так и в противоположные стороны. Об этом нужно помнить при определении численного значения скорости u .