Действие закона сохранения количества движения мы постоянно наблюдаем в повседневной жизни. Если лодка пристает носом к берегу, а пассажир находится на корме, то когда пассажир начнет идти по лодке со скоростью $\mathbf{v}_1$ к берегу, лодка получит скорость $\mathbf{v}_2$ в обратном направлении и отплывает от берега. Когда за счет действия пороховых газов в стволе орудия происходит выстрел, то количество движения вылетающего снаряда $m_1\mathbf{v}_1$ равно по величине и обратно по знаку количеству движения $m_2\mathbf{v}_2$ откатывающегося назад орудия.

Для уменьшения отката орудия необходимо увеличивать его массу m_2 по сравнению с массой снаряда m_1. В этом отношении значительным преимуществом обладают реактивные снаряды. В ракете или реактивном снаряде происходит постепенное сгорание порохового заряда и истечение горячих пороховых газов назад через соответствующие отверстия (д ю з ы). Рассматривая ракету и вытекающие из нее газы как единую механическую систему, мы можем применить к ней закон сохранения количества движения. Так как вытекающие газы обладают количеством движения, направленным назад, то основная часть ракеты получает движение вперед. Таким образом, всю отдачу при выстреле ракеты воспринимают вытекающие газы, и для запуска реактивного снаряда большого калибра вместо массивного ствола достаточно простой и легкой направляющей рамы.

Принцип реактивного движения ныне широко применяется для полетов. Мысль о возможности такого применения реактивного движения была впервые высказана в 1881 г. казненным царским правительством известным революционером Кибальчичем.

Дальнейшее развитие эта мысль получила в работах «пионера звездных дорог» К. Э. Циолковского.

Современные реактивные самолеты уже достигли сверхзвуковых скоростей полета. С помощью ракет запускаются искусственные спутники Земли и космические корабли, имеющие еще большие начальные скорости 8—11 км/с.

§ 5. Работа сил и кинетическая энергия

За бесконечно малый промежуток времени Δt материальная точка M пройдет элементарный путь Δs по траектории и переместится в пространстве на величину $\Delta\mathbf{r}$. На этом участке на точку может действовать сила $\mathbf{F}$, направленная под некоторым углом α к перемещению $\Delta\mathbf{r}$ (рис. 1.16).

Скалярное произведение вектора силы на вектор перемещения называется элементарной р а б о т о й с и л ы $\mathbf{F}$ на бесконечно малом перемещении $\Delta\mathbf{r}$:

$$\Delta A = \mathbf{F}\cdot\Delta\mathbf{r}\ ^{*}). \qquad (5.1)$$

*) Здесь и далее символ Δ перед буквой A означает не приращение работы (как для остальных величин), а указывает лишь на малость элементарной работы.

Скалярное произведение двух векторов равно произведению абсолютных значений этих векторов на косинус угла между ними, и

$$\Delta A = F\,|\Delta \mathbf{r}|\cos\alpha. \qquad (5.2)$$

Если угол α — острый, то $\cos\alpha > 0$ и работа, совершаемая силой при перемещении точки, положительна. При $\alpha = \pi/2$, когда сила перпендикулярна к перемещению, $\cos(\pi/2) = 0$; такая сила работы не совершает. Если угол α — тупой, то сила действует против направления перемещения $\Delta\mathbf{r}$, $\cos\alpha < 0$ и работа силы отрицательна.

Выражения (5.1) и (5.2) можно переписать в виде

$$\Delta A = F\cos\alpha\,|\Delta\mathbf{r}| = F_{\text{к}}\,|\Delta\mathbf{r}|, \qquad (5.3)$$

где $F_{\text{к}} = F\cos\alpha$ есть проекция силы F на направление перемещения. В пределе (при $\Delta t \to 0$) величина перемещения $|\Delta\mathbf{r}|$ согласно (1.3) стремится к отрезку дуги Δs, пройденному движущейся точкой, а направление перемещения $\Delta\mathbf{r}$ стремится к направлению касательной к траектории. Поэтому выражение (5.3) можно переписать в виде

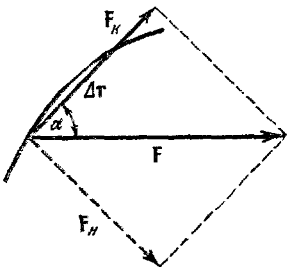

Рис. 1.16.

$$\Delta A = F_{\text{к}}\,\Delta s. \qquad (5.4)$$

Раскладывая, как показано на рис. 1.16, вектор силы на две взаимно перпендикулярные составляющие:

$$\mathbf{F} = \mathbf{F}_{\text{к}} + \mathbf{F}_{\text{н}}, \qquad (5.5)$$

мы видим, что в пределе вектор $\mathbf{F}_{\text{к}}$ направлен по касательной, а вектор $\mathbf{F}_{\text{н}}$ — соответственно по нормали к траектории. Из приведенного выше определения работы следует, что ее совершает лишь касательная составляющая силы $\mathbf{F}_{\text{к}}$, а работа нормальной составляющей $\mathbf{F}_{\text{н}}$ равна нулю.

Из определения работы (5.2) можно установить единицы ее измерения. В системе СГС единица работы 1 эрг = 1 дин·1 см = = 1 г·см^2/с^2. В системе СИ единица работы 1 джоуль (дж) = = 1 Н·1 м = 10^5 дин·10^2 см = 10^7 эрг. Наконец, в технической системе единиц — единица работы 1 кгс·м = 1 кгс·1 м = 9,81 Дж.

Работа, совершаемая в единицу времени, называется *мощностью*:

$$N = \frac{\Delta A}{\Delta t}. \qquad (5.6)$$

Единица мощности в системе СИ — 1 ватт (Вт) = 1 Дж/с = = 10^7 эрг/с.

Перейдем теперь к определению новой важной физической величины — *кинетической энергии* материальной точки.

По второму закону Ньютона $\mathbf{F} = m\mathbf{w}$. Следовательно, входящая в выражение (5.4) касательная составляющая силы равна по величине

$$F_{\text{к}} = mw_{\text{к}} = m\frac{\Delta v}{\Delta t}, \tag{5.7}$$

где согласно (2.11) $w_{\text{к}} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ — касательное ускорение. Подставляя (5.7) в (5.4), получаем для элементарной работы выражение

$$\Delta A = m\frac{\Delta v}{\Delta t}\cdot\Delta s = m\frac{\Delta s}{\Delta t}\cdot\Delta v = mv\cdot\Delta v. \tag{5.8}$$

Рассмотрим теперь конечный промежуток времени t. Как на рис. 1.13, разобьем время и путь на достаточно малые элементарные интервалы. Обозначим аналогично соответствующие значения величины скорости в моменты t_i через v_i ($i = 0, 1, 2, \ldots, n$). Среднее значение величины скорости на данном интервале $\bar{v}_i = \frac{v_i + v_{i-1}}{2}$, а ее приращение $\Delta v_i = v_i - v_{i-1}$. Тогда выражение (5.8) для элементарной работы на этом участке может быть приведено к виду

$$\Delta A_i = m\bar{v}_i\cdot\Delta v_i = m\frac{v_i + v_{i-1}}{2}(v_i - v_{i-1}) = \\ = \frac{mv_i^2}{2} - \frac{mv_{i-1}^2}{2} = \Delta\left(\frac{mv_i^2}{2}\right). \tag{5.9}$$

Символом Δ здесь обозначено приращение величины $^1/_2\,mv^2$ на i-м интервале пути. Эта величина носит название **кинетической энергии** движущейся материальной точки и будет нами обозначаться буквой K:

$$K = \frac{mv^2}{2}. \tag{5.10}$$

На элементарном малом перемещении имеем

$$\Delta A = \Delta\left(\frac{mv^2}{2}\right) = \Delta K. \tag{5.11}$$

Для нахождения полного изменения величины скорости от значения v_0 до значения v_n на всем пути определим полную работу силы на этом пути $A_{0,n}$ как алгебраическую сумму всех элементарных работ

$$A_{0,n} = \sum_0^n \Delta A_i = \sum_0^n F_{\text{к},i}\cdot\Delta s_i. \tag{5.12}$$

При известной зависимости касательной составляющей силы $F_{\text{к}}$ от пути s эта сумма может быть вычислена графически, как на рис. 1.14, или, более точно, методами интегрального исчисления. Используя выражения (5.9) для элементарных работ и сокращая, как при выводе выражения (4.5), все промежуточные члены $\pm^1/_2\, mv_i^2$, получим окончательно:

$$A_{0,\,n}=\frac{mv_n^2}{2}-\frac{mv_0^2}{2}=K_n-K_0, \qquad (5.13)$$

т. е. *полная работа силы на некотором пути численно равна разности кинетических энергий материальной точки в конечном и начальном ее положениях*. Очевидно, что единицы измерения кинетической энергии те же, что и единицы измерения работы (эрг, Дж, кгс·м), хотя это — *различные* физические величины.

Уравнение (5.13) показывает, что работа, совершенная внешними силами, действующими на тело (материальную точку), затрачивается на *приращение* его кинетической энергии. Если работа положительна $A_{0,n}>0$, то приращение $K_n-K_0>0$, т. е. $K_n>K_0$, и кинетическая энергия тела возрастает. Если же работа отрицательна (действие сил направлено против движения тела и тормозит его), то приращение кинетической энергии отрицательно и кинетическая энергия убывает. Как видно из (5.10), кинетическая энергия материальной точки (тела) зависит только от ее массы m и величины скорости v. От положения материальной точки в пространстве кинетическая энергия не зависит.

§ 6. Потенциальная энергия. Закон сохранения и превращения энергии

В рассмотренном выше случае работа силы $\mathbf{F}$, приложенной к материальной точке, затрачивалась на изменение кинетической энергии движущейся точки. Однако кроме кинетической энергии — энергии движения — существует еще один вид механической энергии, обусловленный взаимным расположением тел, действующих друг на друга. Эта энергия носит название п о т е н ц и а л ь н о й э н е р г и и.

Сила $\mathbf{F}$, приложенная к материальной точке M, является всегда результатом воздействия на эту точку других окружающих ее тел. В зависимости от расположения точки M относительно воздействующих на нее тел эта сила может быть различна. В этом случае мы говорим о п о л е с и л, создаваемых данными телами. Так, например, сила земного притяжения, действующая на материальную точку с массой m, на разных расстояниях от земли различна и по величине и по направлению. Вокруг земного шара имеется поле сил тяготения, действующих на точку M. Аналогичный характер носит поле электрических сил при взаимодействии электрически заряженных тел.

Поместим материальную точку M в силовое поле и обозначим ее радиус-вектор через $\mathbf{r}$. В данном положении на точку M будет действовать определенная сила $\mathbf{F}$ (рис. 1.17). Чтобы точка M не