Лекция 2

Тема: РАБОТА И ЭНЕРГИЯ. ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ ЭНЕРГИИ В МЕХАНИКЕ.

Содержание лекции:

Введение

1. Работа
2. Мощность
3. Кинетическая энергия тела
4. Потенциальная энергия
5. Консервативные силы
6. Закон сохранения полной механической энергии
7. Удар шаров

Введение

Существует экспериментальный факт: вечное движение механических устройств и машин невозможно.

Недопустимость вечного движения говорит о том, что есть некая физическая величина, сохраняющаяся со временем.

Эта величина в физике получила название *энергии.*

Энергия – общая количественная мера движения и взаимодействия всех видов материи.

Энергия не возникает из ничего и не исчезает, она может переходить из одной формы в другую-**закон сохранения энергии.**

Этот закон налагает строгие ограничения на возможности преобразования и использования энергии.

Закон сохранения энергии связан с однородностью времени, т.е. с тем фактом, что все моменты времени эквивалентны и физические законы не меняются со временем.

Закон сохранения энергии для механических процессов установлен Лейбницем в 1686 г., для немеханических явлений Майером в 1845 г., Джоулем в 1843 и Гельмгольцем в 1847.

Работа

Сила, действующая на движущееся тело, совершает над ним работу.

Количественно совершаемая силой работа равна произведению составляющей силы в направлении движения на пройденное расстояние

Например, на **рис.1** человек перемещает санки с детьми на расстояние r, прилагая к веревке постоянную силу F.

Работа, которую производит человек над санками, равна произведению $F_r r$, где F_r – составляющая полной силы F в направлении r.

$A = Fr\cos\alpha$, r – пройденный путь

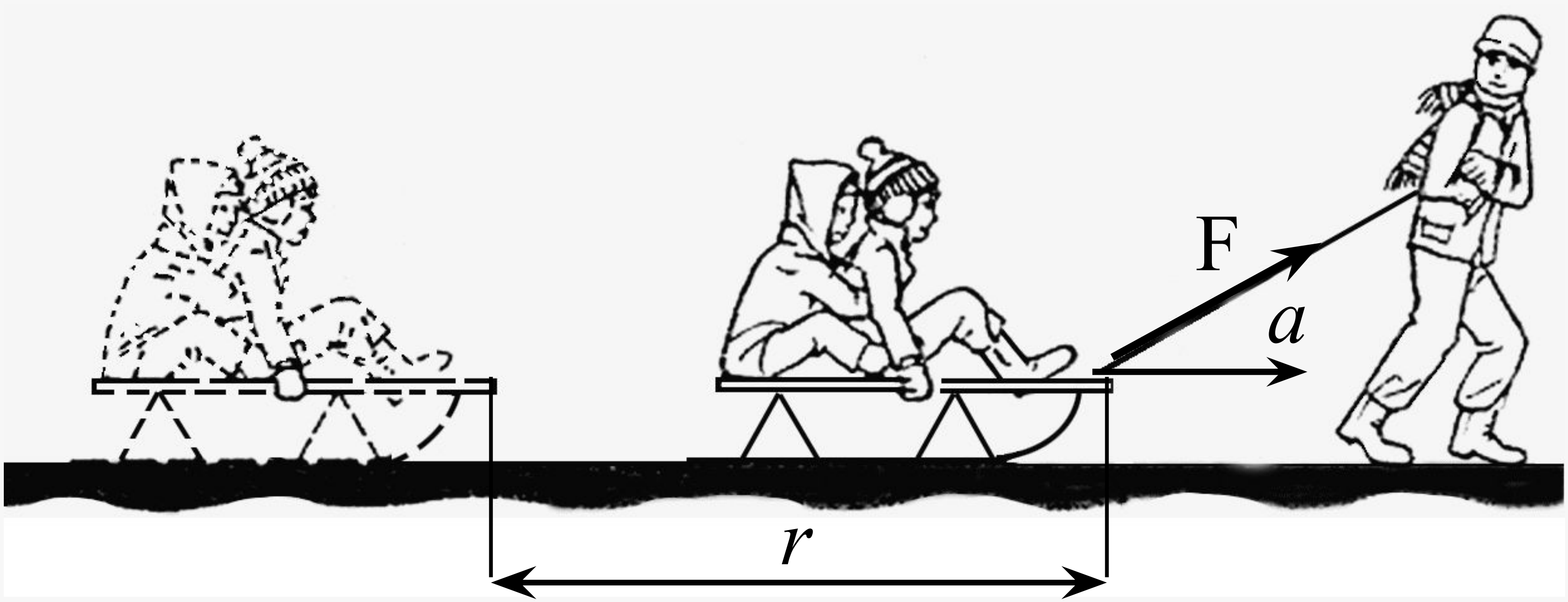


Рис. 1

Работа равна скалярному произведению

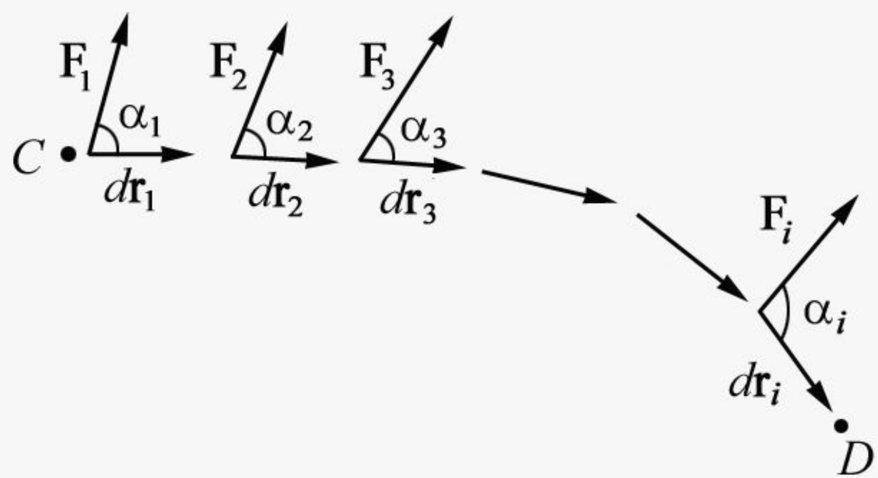
$$A = (\mathbf{F}, \mathbf{r}).$$

Если сила не постоянна, то работа на бесконечно малом отрезке пути $d\mathbf{r}$ запишется в виде

$$dA = (\mathbf{F}, d\mathbf{r}).$$

Полная работа, производимая при перемещении тела из точки C в точку D, равна

$$A = \int_C^D (\mathbf{F}, d\mathbf{r})$$



В механике работа служит мерой передачи движения от одного тела к другому, или мерой перехода энергии от одного тела к другому.

Когда сила действует на движущееся тело и нап равление силы и скорости движения совпадают, то работу силы считают **положительной.**

Если же направление силы и перемещение тела противоположны, то работа силы считается **отрицательной.**

Работа и энергия измеряются в СИ в единицах произведения силы на расстояние, т.е. в ньютонах на метр $(Н \cdot м)$.

Эта единица нашла довольно широкое употребление и называется **джоулем (Дж).**

В атомной и ядерной физике в качестве единицы измерения энергии широко используется электроновольт (эВ):

$$1 \text{ эВ} = 1{,}6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}.$$

Пример 1. Пусть,на рис.1 угол $\alpha = 30°$ и человек идет с постоянной скоростью 1,5 м/с и производит ежесекундно работу 100 Дж.

Найдем силу F, с которой человек тянет веревку. Поскольку ежесекундно преодолевается путь $r = 1{,}5$ м, из определения работы получаем

$$F \cdot r \cdot \cos\alpha = A;$$

$$F = \frac{A}{r\cos\alpha} = \frac{100\ \text{Дж}}{(1{,}5\ \text{м})(0{,}866)} = 77\ \text{Н}$$

Работа совершается со скоростью, соответствующей ежесекундному поднятию тела массой 10 кг на высоту около 1 м. Это, безусловно, тяжелая работа.

Пример 2. Определим работу, необходимую для того, чтобы растянуть пружину на длину *x*.

Подставим в выражение $A = \int(\mathbf{F}, d\mathbf{r})$ вместо силы F величину kx (линейная зависимость силы от x называется законом Гука) и заменим dr на dx.

Таким образом,

$$A = \int_0^{x_0} kx dx = k\int_0^{x_0} x dx = k\left[\frac{x^2}{2}\right]_0^{x_0} = \frac{1}{2}kx_0^2$$

При интегрировании мы использовали табличный интеграл

$$\int x^N dx = \frac{1}{N+1}x^{N+1} + C$$

Пример 3. Определим работу, совершаемую силой тяжести при падении снаряда массой m с высоты h, летящего со скоростью $\boldsymbol{v}$.

Для этого вычислим интеграл $A = \int_C^D (\mathbf{F}, d\mathbf{r})$

Заметим, что угол α между векторами **F**, **r** непрерывно меняется. В этом случае элементарная работа дается выражением

$$Fdr = mg(dr\cos\alpha).$$

Из рис.   имеем $(dr\cos\alpha) = dy$. Совершив эту подстановку и вычислив интеграл, получим

$$\int_C^D (\mathbf{F}, d\mathbf{r}) = \int_C^D (-mg)dy = -mg\int_C^D dy = mgh$$

Следовательно, $A = mgh$ – работа, которую совершает сила тяжести (h – начальная высота), не зависит от траектории падения тела.

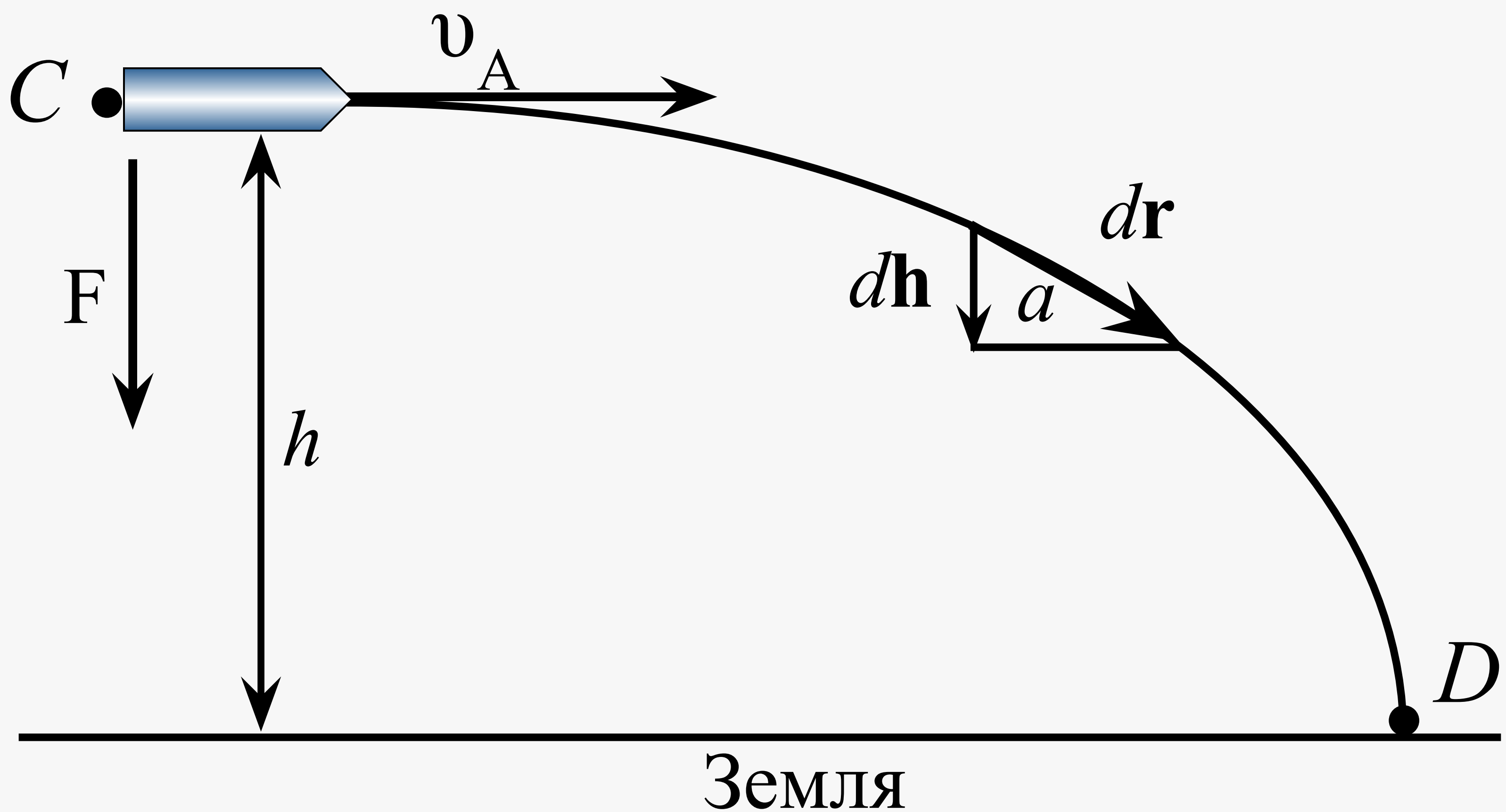


Рис. 2

Мощность

Скорость совершения работы (передачи энергии) называется мощностью и обозначается W.

Согласно определению можем записать

$$W \equiv dA/dt.$$

Величина W характеризует мгновенное значение скорости передачи энергии.

В СИ единицей измерения мощности является джоуль в секунду (Дж/с).

Единица измерения - Ватт (Вт).

Электрическая лампочка мощностью 100 Вт расходует 100 Дж/с.

Произведение мощности на время дает энергию. Широко используется единица энергии киловатт $\cdot$ час (к Вт $\cdot$ ч):

$$1\ кВт \cdot ч = 10^3\ Вт \cdot 3600\ с = 3{,}6 \cdot 10^6\ Дж.$$

Понятие мощности является одной из важнейших характеристик различных машин и механизмов.

Мощность показывает, насколько быстро могут совершить одну и ту же работу различные механические устройства.

Так, экскаватор способен выкопать котлован под фундамент дома за сутки.

Человек на ту же работу будет вынужден затратить год.

Двигатели автомобиля, катера, самолета должны обладать большой мощностью, чтобы они могли преодолевать действующую силу сопротивления движению, когда движение происходит с большой скоростью

$$W = (\mathbf{F}, \boldsymbol{v})$$

- скалярное произведение

Кинетическая энергия тела

Движущееся тело представляет собой самую простейшую форму движения материи.

Мерой величины этого движения является *кинетическая энергия.*

Величину кинетической энергии тела можно определить по величине работы, которую необходимо совершить, чтобы вызвать данное движение тела.

Пусть сила F действует на тело массой m и вызывает его движение из точки C в точку D.

В точке C тело покоилось, в точке D тело имеет скорость v.

Работа силы F на пути CD пошла на увеличение кинетической энергии тела.

Эта работа записывается в виде

$$A = \int_C^D (\mathbf{F}, d\,\mathbf{r})$$

Заменим теперь **F** на $m(d\mathbf{v}/dt)$, а $d\mathbf{r}$ – на $\mathbf{v}dt$:

$$\int_C^D (\mathbf{F}, d\mathbf{r}) = \int_C^D \left(m \frac{d\mathbf{v}}{dt} \right) \cdot (\mathbf{v}\, dt)$$

Заменим $(d\mathbf{v}/dt) \cdot \mathbf{v}$ на $\mathbf{v} \cdot (d\mathbf{v}/dt$:

$$\int_C^D (\mathbf{F}, d\mathbf{r}) = \quad m \int_C^D \left(\mathbf{v}, \frac{d\mathbf{v}}{dt} \right) dt = m \int_C^D v \left(\frac{dv}{dt} dt \right)$$

Таким образом,

$$\int_C^D (\mathbf{F}, d\,\mathbf{r}) = m\int_C^D \mathrm{v}\,d\mathrm{v} = m\left[\frac{1}{2}\mathrm{v}^2\right]_C^D = \frac{1}{2}m\mathrm{v}_D^2 - \frac{1}{2}m\mathrm{v}_C^2$$

Окончательно получаем:

$$\int_C^D (\mathbf{F}, d\,\mathbf{r}) = K_D - K_C\,.$$

Совершаемая работа силой при перемещении тела из точки C в точку D равна разности кинетических энергий в этих точках.

Кинетическая энергия тела массой m, движущегося со скоростью v, равна

$$K = mv^2/2.$$

Размерность кинетической энергии K совпадает с размерностью работы (Дж).

Использование понятия энергии при решении многих задач механики является наиболее рациональным.

В этом случае отпадает необходимость прослеживать траектории движения частиц, детали взаимодействия тел, обмена энергией и импульсом.

Пример: Пусть 30-метровый водопад расходует m=10 кг воды в секунду. Найдем количество выделяющейся ежесекундно энергии.

Согласно соотношению $\Delta K = mgh,$

поток падающей воды ежесекундно приобретает кинетическую энергию

$$\Delta K = (10\ \text{кг})(9{,}8\ \text{м/с}^2)(30\ \text{м}) = 2{,}9\ \text{кДж}.$$

Если эти 2,9 кДж/с преобразовать в электричество с КПД 100%, то мы могли бы получить 2,9 кВт электроэнергии.

Потенциальная энергия

Для многих видов сил, *называемых консервативными,* интеграл

$$\int_C^D (\mathbf{F}, d\mathbf{r})$$

не зависит от пути интегрирования между точками C и D, а определяется только начальным и конечным положением точек C и D.

По определению, если F – консервативная сила, то (рис. 3)

$$\int_A^B (\mathbf{F}, d\,\mathbf{r}) = \int_A^B (\mathbf{F}, d\,\mathbf{r}) = \int_A^B (\mathbf{F}, d\,\mathbf{r})$$

Путь 1 Путь 2 Путь 3

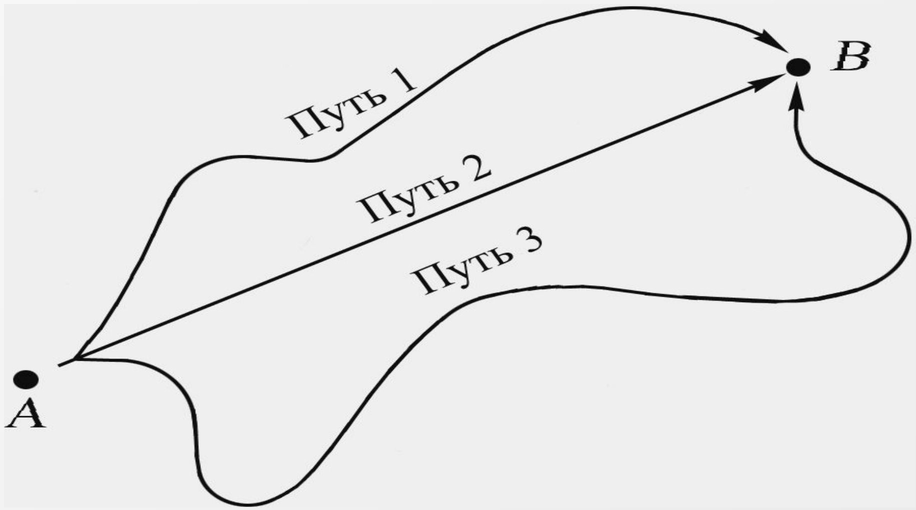


Рис. 3

Работа, совершаемая консервативной силой, не зависит от пути, по которому тело перемещается из произвольной точки А в точку В.

Математически эквивалентно следующее утверждение: в поле консервативных сил интеграл $\oint (\mathbf{F}, d\mathbf{r})$, вычисленный по любому замкнутому пути, равен нулю.

Следовательно, в случае консервативных сил нельзя непрерывно приобретать (или терять) энергию, повторяя один и тот же замкнутый путь.

Для обладающих таким свойством сил, интеграл называют потенциальной энергией и обозначают буквой U:

$$U = -\int(\mathbf{F}, d\mathbf{r})$$

Потенциальную энергию можно представить себе как энергию, запасенную для дальнейшего использования.

Все четыре типа фундаментальных сил, действующих между элементарными частицами, консервативные.

Примером неконсервативной силы является трение.

В этом случае $\mathbf{F}$ и $d\mathbf{r}$ всегда направлены в противоположные стороны и интеграл $\oint(\mathbf{F},d\mathbf{r})$ по замкнутому пути всегда отрицателен (тело непрерывно теряет энергию).

Определим потенциальную энергию массы m на расстоянии h над поверхностью Земли.

Согласно закону всемирного тяготения Ньютона

$$F = -mg$$

(Знак минус указывает направление силы.)

По определению

$$\mathrm{U} = -\int(\mathbf{F}, d\mathbf{r}) = \mathrm{mgh}$$

Закон сохранения полной механической энергии

Закон сохранения энергии – один из центральных Законов физики и техники.

Этот закон налагает строгие ограничения на возможности извлечения энергии и ее преобразования из одной формы в другую.

Закон сохранения энергии запрещает существование вечных двигателей.

Согласно этому закону, сумма кинетической и потенциальной энергий всех тел в любой замкнутой консервативной системе остается постоянной.

Под замкнутой мы понимаем систему, в которой отсутствуют любые внешние силы.

Консервативность означает, что все силы взаимодействия в системе консервативны.

Закон сохранения энергии для системы *n* материальных точек в поле консервативных сил

$$E=\sum_{j=1}^{n}\frac{m_j \mathbf{v}_j^2}{2}+U(\mathbf{r}_1,\mathbf{r}_2\ldots,\mathbf{r}_n)=\text{const}$$

Из закона изменения импульса F=dP/dt (закон Ньютона) вытекает следующий важный закон, называемый законом сохранения импульса:

Импульс замкнутой системы не изменяется с течением времени

$$dP/dt=0;\ P=\text{const}$$

Удар шаров

Удар шаров рассматривается в двух приближениях – абсолютно упругий удар и абсолютно неупругий.

При абсолютно упругом ударе не происходит потерь кинетической энергии, связанной с движением шаров

$$\frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 v_2^2}{2} = \frac{m_1 (v_1')^2}{2} + \frac{m_2 (v_2')^2}{2}.$$

Здесь m_1, m_2 – массы сталкивающихся шаров, v_1, v_2 – их скорости до удара, v'_1, v'_2 – скорости шаров после удара.

Будем считать, что удар не только упругий, но и центральный, т.е. скорости шаров v_1 и v_2 до удара направлены вдоль одной прямой (рис. 4).

В этом случае легко записать и закон сохранения импульса для сталкивающихся шаров:

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 v'_1 + m_2 v'_2.$$

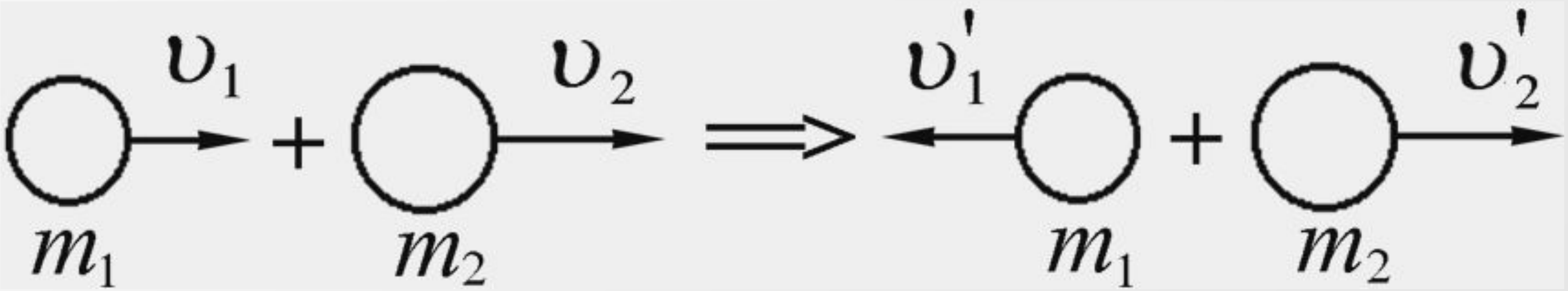


Рис. 4

Полученные два уравнения позволяют найти две неизвестные скорости шаров v'_1 и v'_2 после удара. Для этого перепишем первое и второе уравнения в виде

$$m_1[v_1^{\,2} - (v'_1)^2] = m_2[(v'_2)^2 - v_2^{\,2}],$$

$$m_1[v_1 - v'_1] = m_2[v'_2 - v_2].$$

Разделив первое уравнение на второе при условии, что скорости шаров изменяются при ударе, находим

$$v_1 + v'_1 = v_2 + v'_2$$

Полученное уравнение, наряду с законом сохранения импульса, составляют систему двух линейных уравнений:

$$\left.\begin{aligned} m_1 v_1 + m_2 v_2 &= m_1 v'_1 + m_2 v'_2. \\ v_1 + v'_1 &= v_2 + v'_2. \end{aligned}\right\}$$

Решив систему, получаем

$$v_1' = -v_1 + 2\frac{m_1 v_1 + m_2 v_2}{m_1 + m_2},$$

$$v_2' = -v_2 + 2\frac{m_1 v_1 + m_2 v_2}{m_1 + m_2}.$$

Если второй шар был до удара неподвижен ($v_2 = 0$), то получаем

$$v_1' = v_1 \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2}, \quad v_2' = v_1 \frac{2m_1}{m_1 + m_2}.$$

При $m_1 > m_2$ первый шар будет двигаться в первоначальном направлении, при $m_1 < m_2$ шар отскочит в противоположном направлении,

при $m_1 = m_2$ первый шар остановится, а второй будет двигаться вперед со скоростью $v'_2 = v_1$ – первого шара до удара.

И, в общем случае, при столкновении двух одинаковых шаров $(m_1 = m_2)$

$$v'_1 = v_2, \quad v'_2 = v_1$$

шары просто обмениваются скоростями.

При *абсолютно неупругом* ударе двух шаров массами m_1 и m_2 после столкновения они начинают двигаться как единое целое с массой $(m_1 + m_2)$,

(рис. 5.)

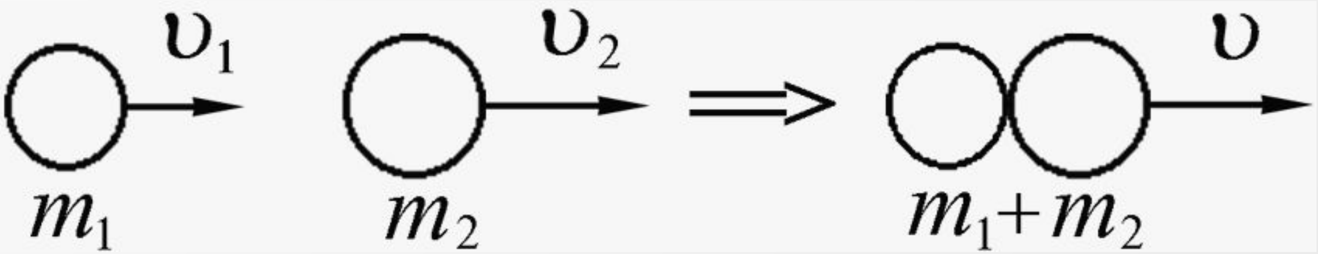


Рис. 5

Если шары двигаются вдоль одной прямой – центральный удар, то при неупругом столкновении сохраняется импульс

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = (m_1 + m_2) v.$$

Скорость движения после неупругого удара равна

$$v = \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2}{m_1 + m_2}.$$

Потеря кинетической энергии в системе при неупругом ударе равна разности кинетических энергий до и после удара:

$$\Delta K = \frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 v_2^2}{2} - \frac{(m_1 + m_2) v^2}{2} = \frac{(v_1^2 - v_2^2) m_1 m_2}{2(m_1 + m_2)}.$$

За счет потери кинетической энергии происходит увеличение внутренней энергии системы сталкивающихся шаров, сопровождающееся разрушением тел при столкновении и их нагревом.

Рассмотрим лобовое соударение грузовика массой m_1 и легкового автомобиля массой m_2, двигавшихся навстречу друг другу со скоростью 100 км/ч.

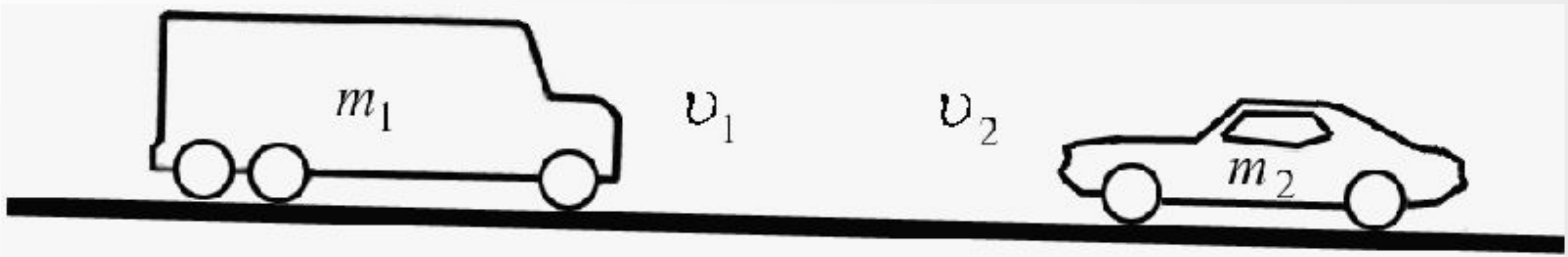


Рис. 6

При $v_1 = -v_2 = 100$ км/ч, $m_1 = 15$ т, $m_2 = 1{,}5$ т, то

$$V = \frac{(15 \cdot 10^3)(100) + (1{,}5 \cdot 10^3)(-100)}{16{,}5 \cdot 10^3} \text{ км/ч} = 81{,}8 \text{ км/ч}$$

Грузовик теряет лишь около 20% своей скорости, тогда как легковой автомобиль меняет направление движения и сминается вдоль оси.

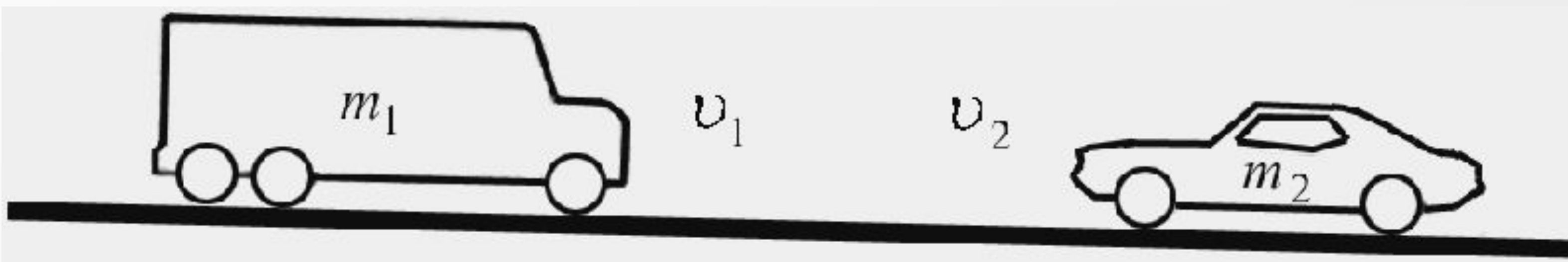


Рис. 6

Это одна из причин, по которой столкновение обычно оказывается относительно безопасным для более тяжелой машины.

Синквейн — это методический прием, который резюмирует, подводит итог по изученному учебному материалу.

Структура синквейна

Синквейн состоит из 5 строк

Его форма напоминает ёлочку

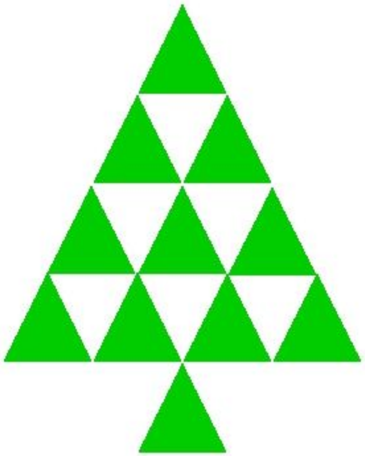
1 слово

2 слова

3 слова

4 слова

1 слово



1 строка – Название предмета (существительное или местоимение).

2 строка – Слова-признаки (прилагательные)

3 строка – Слова-действия (глаголы)

4 строка – Предложение из четырех слов (фраза, в которой выражается личное мнение к предмету разговора)

5 строка – Обобщающее слово

(ассоциация - существительное)

Например:

1. Самолѐт.
2. Быстрый, металлический.
3. Взлетает, летит, перевозит.
4. Я люблю летать на самолете.
5. Воздушный транспорт.

СИНКВЕЙН

РАБОТА	МОЩНОСТЬ	ЭНЕРГИЯ