Занятие № 10м

Законы сохранения в механике.

(Закон сохранения импульса. Реактивное движение. Работа силы. Работа потенциальных сил. Мощность.)

Литература: Дмитриева В.Ф. **Физика для профессий и специальностей технического профиля:** учебник для студентов учреждений среднего профессионального образования. – М., Издательский центр "Академия", 2017г. ;стр.**70-78**.

Домашнее задание: Ответить на вопросы **1 - 12** для самоконтроля (стр**.91**).

Импульс тела **p** – векторная величина, равная произведению массы m те… скорость **v** поступательного движения:

$$\mathbf{p} = m\mathbf{v}. \qquad (2.$$

…сли материальная точка (тело) движется поступательно по инерции (**v** … …nst), то импульс не изменяется, т. е. остается постоянным ($\mathbf{p} = \text{const}$).

Произведение силы **F** *на время ее действия* Δt, т.е. $\mathbf{F}\Delta t$, *называю…* *…пульсом силы.*

Единица импульса силы — ньютон · секунда (Н · с).

1 Н · с равен импульсу силы 1 Н, действующей в течение 1 с.

Второй закон Ньютона можно сформулировать еще и следующим образом…

импульс силы, действующей на тело, равен изменению импульса тела

$$\Delta(m\mathbf{v}) = \mathbf{F}\Delta t \text{ или } \Delta\mathbf{p} = \mathbf{F}\Delta t,$$

***Третий закон Ньютона*:** **силы взаимодействия двух тел в инерциал…ной системе отсчета равны по модулю, противоположны по направлени… и действуют вдоль прямой, соединяющей эти тела:**

$$\mathbf{F}_{12} = -\mathbf{F}_{21}. \qquad (2.13$$

Закон сохранения импульса

Изменение импульса системы тел. Рассмотрим систему, состоящую из д
, например двух звезд.

Силы взаимодействия между телами, входящими в систему (между звез
), называются ***внутренними силами***. Внутренние силы будем обознач
иволом $\mathbf{F}_{ik}$. Здесь первый индекс i обозначает номер тела, на которое д
ует сила $\mathbf{F}_{ik}$, а второй индекс k – номер тела, со стороны которого действ
а $\mathbf{F}_{ik}$.

Силы воздействия на тела данной системы (две звезды) со стороны тел, не
дящих в эту систему (например, соседние космические тела), называютс
шними силами.

Равнодействующую всех внешних сил, действующих на i-е тело системы,
обозначать $\mathbf{F}_i$.

Для каждого тела, входящего в систему, запишем второй закон Ньютона (2

$$\frac{\Delta(m_1\mathbf{v}_1)}{\Delta t} = \mathbf{F}_{12} + \mathbf{F}_1; \qquad \frac{\Delta(m_2\mathbf{v}_2)}{\Delta t} = \mathbf{F}_{21} + \mathbf{F}_2. \qquad (3.2)$$

Сложив левые и правые части уравнений, получим

$$\frac{\Delta(m_1\mathbf{v}_1)}{\Delta t} + \frac{\Delta(m_2\mathbf{v}_2)}{\Delta t} = \mathbf{F}_{12} + \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_{21} + \mathbf{F}_2.$$

Учитывая, что $\mathbf{F}_{12} = -\mathbf{F}_{21}$, имеем

$$\frac{\Delta(m_1\mathbf{v}_1 + m_2\mathbf{v}_2)}{\Delta t} = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2, \quad \text{или} \quad \frac{\Delta\mathbf{p}}{\Delta t} = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2, \qquad (3.3)$$

$\mathbf{p} = m_1\mathbf{v}_1 + m_2\mathbf{v}_2$ — суммарный импульс системы двух тел.

Из соотношения (3.3) следует, что *изменение суммарного импульса с- емы тел определяется векторной суммой внешних сил, действу- х на эту систему.*

Внутренние силы, изменяя импульсы отдельных тел системы (3.2), не изм- т суммарный импульс системы (3.3).

Если система тел замкнута, то сумма всех внешних сил, действующих на с- у тел, равна нулю. Так как внешние силы не действуют ни на одно тело сис- то в уравнении (3.3) $\mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 = 0$, тогда $\Delta\mathbf{p} = 0, \Delta t \neq 0$.

Таким образом, независимо от продолжительности интервала времени ульс системы тел в начале и конце этого интервала времени будет один и следовательно, $\mathbf{p} = \text{const}$ или $m_1\mathbf{v}_1 + m_2\mathbf{v}_2 = \text{const}$.

Соотношение (3.4) выражает закон сохранения импульса.

***Закон сохранения импульса*: в инерциальной системе отсчета сумма- ный импульс замкнутой системы тел с течением времени не изменяется**

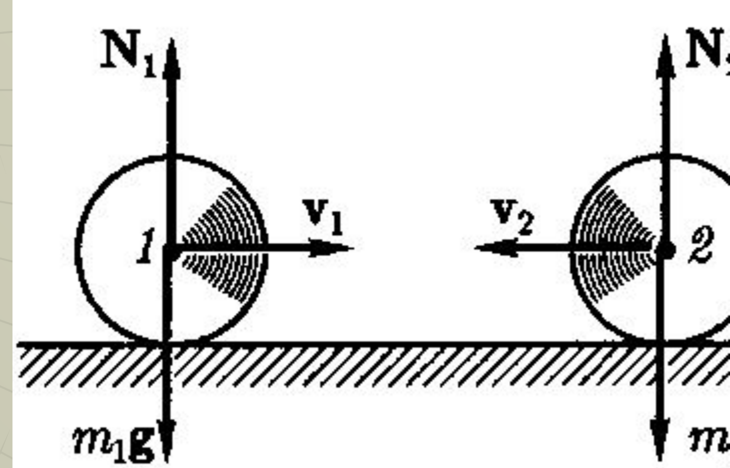
Импульс системы равен произведению массы m системы на скорость ее цен
масс $\mathbf{v}_C$ $\mathbf{p} = m\mathbf{v}_C$. (3.5)

ия замкнутой системы тел $\mathbf{p} = m\mathbf{v}_C = \mathrm{const}$, так как $m = \mathrm{const}$, следовательно

$\mathbf{v}_C = \mathrm{const}$. (3.6)

В инерциальной системе отсчета центр масс замкнутой сист тел движется прямолинейно и равномерно.

Все реальные системы не являются замкнутыми, потому что на тела системы д ют как силы тяжести, так и различные силы сопротивления, например трени В некоторых случаях закон сохранения импульса можно применять и для кнутых систем тел, если внешние силы, действующие на любое тело систе вновешиваются, т. е. сумма всех внешних сил на нулю. Например, при соударении двух например бильярдных шаров, можно при- ять закон сохранения импульса, так как ы тяжести $m_1\mathbf{g}_1$ и $m_2\mathbf{g}_2$ и силы реакции $\mathbf{N}_1$ и уравновешиваются (рис. 3.1). Силой трения ения можно пренебречь в силу ее малости.



Столкновение тел. Столкновения, или удары, тел подразделяют на абсол
неупругие и абсолютно упругие.

Абсолютно неупругий удар – столкновение тел, при котором между
ми действуют непотенциальные силы и после взаимодействия тела движут
единое целое.

Абсолютно упругий удар – столкновение тел, при котором силы вз
действия соударяющихся тел являются потенциальными и в результате вз
действия механическая энергия системы не изменяется.

Абсолютно неупругий и абсолютно упругий удары являются физическим
делями для описания реальных столкновений.

Рассмотрим в качестве примера абсолютно неупругого удара столкновени
зового автомобиля с песком M, движущегося со скоростью v_1, и пули m, лет
со скоростью v_2. После центрального неупругого удара (пуля застревает
ке) их общая скорость равна U (рис. 3.17). Определим эту скорость.

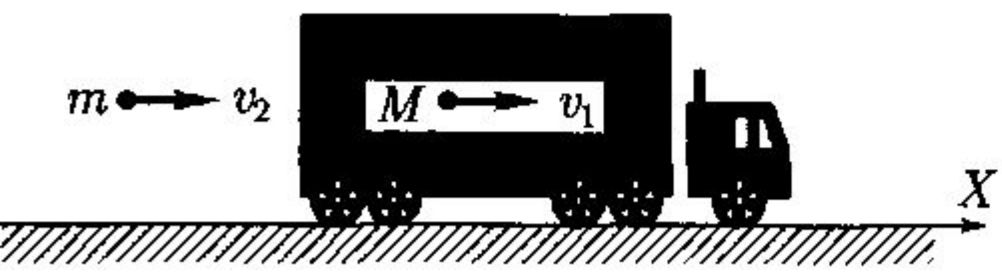


Рис. 3.17

$$Mv_1 + mv_2 = (M + m)U,$$

$$U = \frac{Mv_1 + mv_2}{M + m}. \qquad (3.32)$$

Абсолютно упругий удар. К абсолютно упругим ударам можно отнести ст
овение бильярдных шаров, удар шайбы о штангу ворот при игре в хоккей.
отрим центральное соударение двух шаров массами m_1 и m_2, движущихся
упательно вдоль оси X со скоростями $\mathbf{v}_1$ и $\mathbf{v}_2$ (рис. 3.18). Определим скоро
ров U_1 и U_2 после центрального упругого удара.

Для этой системы тел выполняется закон сохранения проекции импульса
ь X. С учетом направления векторов $\mathbf{v}_1$, $\mathbf{v}_2$ и оси X закон сохранения импу
пишем в виде:

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 U_1 + m_2 U_2.$$

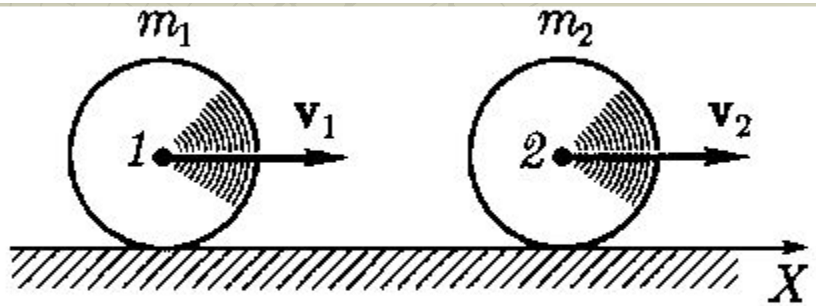


Рис. 3.18

Реактивное движение — движение, возникающее при отделении от т
которой его части с определенной скоростью относительно тела.

Примером реактивного движения является движение ракеты. При запус
кеты происходит истечение продуктов сгорания топлива с некоторой ско
о $\mathbf{v}_1$ относительно ракеты (рис 3.3). Импульс продуктов сгорания $\mathbf{p}_1$ нап
н «вниз». Согласно закону сохранения импульса, ракета будет иметь тако
модулю импульс $\mathbf{p}_2$, но направленный в противоположную сторону — «вв
юлете масса ракеты с течением времени убывает. Динамика тел переменн
ссы была создана в конце XIX в. русским профессором И. В. Мещерс
359 – 1935) и К. Э. Циолковским (1857 – 1935). Приведем без доказательс
рмулу Циолковского для определения максимальной скорости $v_{\max}$, кото
лучит ракета по израсходовании всего топлива:

$$v_{\max} = 2,3 v_1 \lg \frac{M_0}{M_1} \quad \text{или} \quad v_{\max} = v_1 \ln \frac{M_0}{M_1},$$

е v_1 — скорость истечения газов; M_0 — масса ракеты в момент старта,
. с полным запасом топлива; M_1 — масса ракеты без топлива.

Из этой формулы следует, что увеличить $v_{\max}$ можно, если:

- увеличить отношение $\dfrac{M_0}{M_1}$;
- увеличить v_1 — скорость истечения газов. Этот путь увеличения

орости ракеты был указан К. Э. Циолковским. Он предложил исполь-
вать многоступенчатые ракеты для полета в космос.

Элементарная работа силы. Элементарной работой ΔA силы $\mathbf{F}$ на элем
ном перемещении $\Delta\mathbf{r}$ называют скалярную физическую величину, равную с
ному произведению векторов силы $\mathbf{F}$ и перемещения $\Delta\mathbf{r}$:

$$\Delta A = (\mathbf{F}, \Delta\mathbf{r}). \qquad (3$$

Согласно определению скалярного произведения векторов:

$$\Delta A = F\Delta r\cos\alpha, \qquad (3.8)$$

α – угол между векторами $\mathbf{F}$ и $\Delta\mathbf{r}$ (рис. 3.4); F и Δr –
тветственно модули силы и перемещения.

***Работа силы $\mathbf{F}$ на перемещении $\Delta\mathbf{r}$ равна произве-
нию модулей этих векторов на косинус угла меж-
ними.***

Единица работы – джоуль (Дж), 1 Дж = 1 кг$\cdot$м^2/с^2.

1 Дж – работа, совершаемая силой 1 Н на перемещении
, если направления силы и перемещения совпадают.

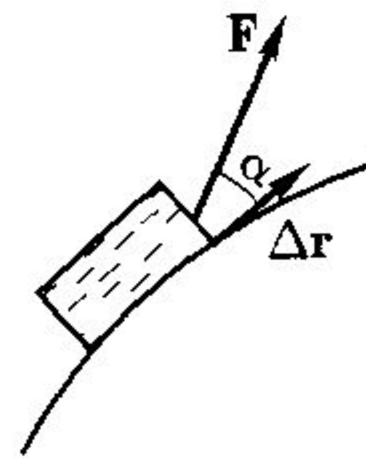


Рис. 3.4

Если на материальную точку (тело) одновременно действует несколько си
лементарная работа всех этих сил при перемещении точки (тела) на $\Delta\mathbf{r}$ ра

$$\Delta A = F_{\text{рез}}\Delta r\cos\alpha,$$

$F_{\text{рез}}$ – модуль результирующей (равнодействующей) всех сил, действующ
атериальную точку; α – угол между векторами $\mathbf{F}_{\text{рез}}$ и $\Delta\mathbf{r}$.

Потенциальные силы – это силы, работа которых зависит только от
ьного и конечного положений движущегося тела.

Следовательно, работа потенциальных сил не зависит от формы траектор
жения.

***Работа потенциальной силы при замкнутой траектории все
зна нулю.***

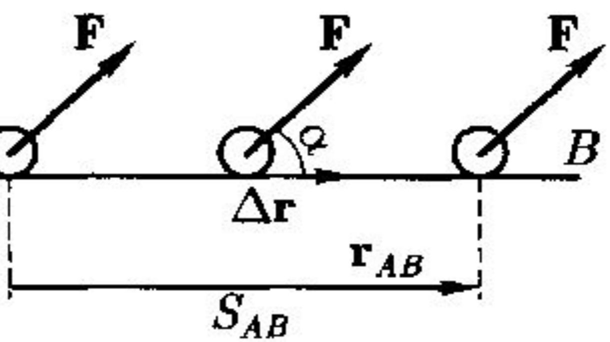


Рис. 3.5

Непотенциальные силы – это силы, раб которых зависит от формы траектории (наприм силы трения).

Если известен график зависимости $F_r = f(\Delta$ то работа силы на перемещении *1 – 2* равна пло ди фигуры *1ab2* (рис. 3.6 и 3.7).

Элементарной работе ΔA соответствует п щадь криволинейной трапеции с основанием (см. рис. 3.7).

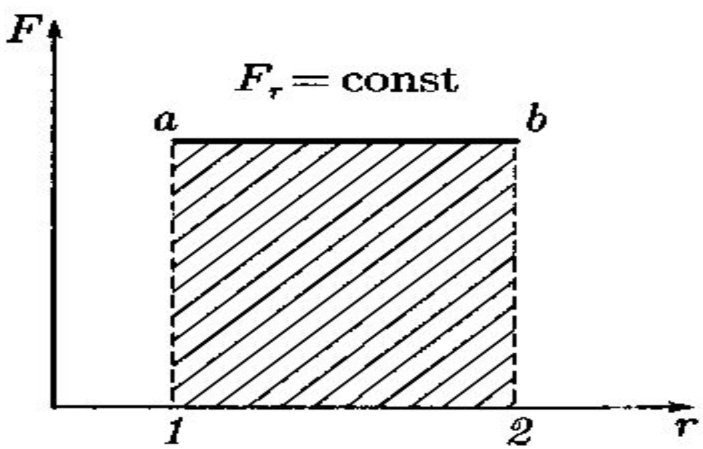


Рис. 3.6

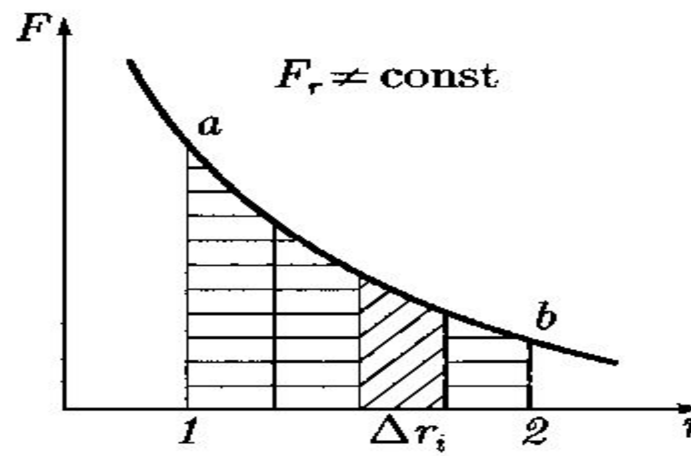


Рис. 3.7

едняя мощность. При конструировании и эксплуатации машин необходи
итывать не только работу, совершенную машиной, но и быстроту выполне
аботы. Величина, характеризующая скорость выполнения работы, называ
мощностью.

едняя мощность $N_{ср}$ численно равна отношению работы ΔA к проме
у времени Δt, за который она совершается:

$$N_{ср} = \frac{A}{\Delta t}. \qquad (3.14$$

иница мощности – ватт (Вт); $1\ Вт = 1\ \frac{кг \cdot м^2}{с}$.

Вт ***равен мощности, при которой работа*** 1 Дж ***совершается з***
я 1 с.

дставляя вместо работы A ее выражение, получаем

$$N_{ср} = \frac{F \Delta S \cos\alpha}{\Delta t} = F\frac{\Delta S}{\Delta t}\cos\alpha = F v_{ср} \cos\alpha, \qquad (3.15$$

$$_{\text{р}} = \frac{\Delta S}{\Delta t}.$$

Если машина работает неравномерно, т .е. мощность изменяется с течени
мени, то формула (3.14) будет определять среднюю мощность.

Мгновенная мощность. Мгновенная мощность – мощность в данный
нт – определяется по формуле:

$$N = Fv\cos\alpha, \qquad (3.$$

v – мгновенная скорость.

Мгновенная мощность равна произведению модуля вектора силы на
ь вектора мгновенной скорости и на косинус угла между направлениями
торов.

Мощность, как и работа, – величина скалярная.

Мощность различных двигателей, в том числе и автомобильных, до сих по
меряется в лошадиных силах: 1 л. с. = 735 Вт. Мощность человека ≈ 70 Вт

Занятие 11м

Законы сохранения в механике

(Энергия. Кинетическая энергия. Потенциальная энергия. Закон сохранения механической энергии. Применение законов сохранения.)

<u>Литература:</u> Дмитриева В.Ф. **Физика для профессий и специальностей технического профиля:** учебник для студентов учреждений среднего профессионального образования. – М., Издательский центр "Академия", 2017г.;стр.**78 - 90**.
<u>Домашнее задание:</u> Ответить на вопросы **13 - 23** для самоконтроля (стр**.91**).

Энергия

Виды энергии. ***Энергия*** – скалярная физическая величина, являющаяся единой мерой различных форм движения и взаимодействия материи.

В соответствии с различными формами движения материи говорят о разл
дах энергии – механической, внутренней, ядерной и др. В процессе вза
йствия тел форма движения материи может изменяться, например при тр
ла нагреваются, при этом изменяется и вид энергии, т.е. механическая эне
реходит во внутреннюю. Изменение вида энергии обусловлено действием
ло сил и связано с совершением работы.

***Энергия – физическая величина, характеризующая способно
ела или системы тел совершать работу.***

Единица энергии, как и единица работы, – джоуль (Дж).

Совершая механическую работу, тело или система тел переходят из одно
стояния в другое. Состояние механической системы определяется радиус
кторами или координатами тел и их скоростями. При изменении состоян
ла или системы тел их энергия меняется.

Работа A, совершенная телом или системой тел при этом, является ме
менения их энергии ΔE:

$$A = \Delta E \text{ или } A = E_2 - E_1. \quad (3$$

Запас энергии тела (системы тел) определяется наибольшей работой, к

Совершение работы силами связано с изменением энергии:

- если система тел совершает работу над внешними телами, то энергия си ы тел уменьшается. Например, механические (пружинные) часы работаю нение определенного промежутка времени, так как энергия пружины расх ся на совершение работы по преодолению сил трения колесиков, стрелок низма часов;
- если внешние силы (внешние тела) совершают работу над системой тел ергия системы тел увеличивается. Чтобы механические часы работали, их вести, т.е. внешние силы должны совершить работу по деформации пружи сов.

Механическая энергия – физическая величина, которая является ф ей скоростей и взаимного расположения тел.

Определение кинетической энергии. Кинетическая (от греч. *kinetikos* – дящий в движение) энергия $E_к$ материальной точки (тела) является мерой нического движения и зависит от скорости движения точки (тела) в данн ерциальной системе отсчета.

При движении тела переходят из одного состояния в другое, следовател меняется их энергия. Изменение энергии равно работе внешних сил.

Кинетическая энергия **при поступательном движении тела равна ловине произведения массы тела на квадрат его скорости**[1]**:**

$$E_к = \frac{mv^2}{2} \quad (3.20)$$

или

$$E_к = \frac{p^2}{2m}, \quad (3.21)$$

и

$$E_к \geq 0.$$

Потенциальная энергия

Определение потенциальной энергии. Тела, поднятые на некоторую высс
ад поверхностью Земли, при падении могут совершить работу (например,
при забивании сваи в грунт). Следовательно, такие тела обладают энерги
орая называется потенциальной.

Потенциальная энергия $E_п$ — это энергия, которая зависит от взаимн
положения тел или частей одного и того же тела.

Падающие на Землю тела совершают работу, потому что тело взаимодейст
: Землей. Упругодеформированная пружина способна совершить работу,
льку происходит взаимодействие между ее частями.

Потенциальная энергия — это энергия взаимодействия.

Когда говорят о потенциальной энергии одного тела, всегда имеют в виду д
тела, с которыми данное тело взаимодействует. Поэтому иногда ее назыв
имной потенциальной энергией, или энергией потенциальных взаимод
ий, например гравитационного взаимодействия.

*Понятие потенциальной энергии относится к системе взаимод
вующих объектов.*

Мерой изменения потенциальной энергии при переходе системы из од
состояния в другое является работа потенциальных сил, осуществляющ
имодействие между телами системы или частями одного и того же тела

Потенциальная энергия определяется взаимным расположением (расстоя
тел в системе или частей одного и того же тела. Расстояния между телами
исят от выбора системы отсчета, т. е. не изменяются при переходе от одно
темы отсчета к другой, поэтому и *потенциальная энергия не завис
выбора системы отсчета*.

Потенциальная энергия гравитационного взаимодействия. Работа грави
онной силы, согласно (3.11), по перемещению тела массой m из точки *1* в т
2, находящихся на расстоянии r_1 и r_2 от центра Земли (рис. 3.13), равна:

$$A = \frac{GM_{\oplus}m}{r_1} - \frac{GM_{\oplus}m}{r_2}. \qquad (3.$$

Работа гравитационной силы может быть определена как по формуле (3.2
и по формуле (3.25). Из сравнения этих формул следует:

$$E_{п1} = \frac{GM_{\oplus}m}{r_1}, \quad E_{п2} = \frac{GM_{\oplus}m}{r_2}.$$

Принято потенциальную энергию взаимодействия *относительно нуле
уровня отсчета считать положительной*, если при взаимодейств
а отталкиваются, например одноименно заряженные тела.

Закон сохранения полной механической энергии

Полная энергия тела. ***Полная механическая энергия тела (сист***
и тел) равна сумме кинетической и потенциальной энергий всех тел, вхо
х в систему, $E = E_к + E_п$. (3.29)

В зависимости от сил, действующих на тела, входящие в систему, различаю
сервативные и неконсервативные системы тел:

- если внутренние и внешние силы, действующие на тела системы, являют
енциальными (например, гравитационными или упругими силами), то с
у тел называют консервативной;
- если наряду с потенциальными действуют и непотенциальные силы (
мер, силы трения), то систему тел называют неконсервативной.

Предположим, что система тел является замкнутой и консервативной. Пр
им к этой системе тел теорему о кинетической энергии (3.23):

ΔA — работа потенциальных сил, равная убыли потенциальной энергии.

Следовательно, $E_{п1} - E_{п2} = E_{к2} - E_{к1}$ или $E_{п1} + E_{к1} = E_{п1} + E_{п2}$.

Учитывая, что $(E_{п1} + E_{к1}) = E_1$ — механическая энергия системы в начальн
тоянии, а $(E_{п2} + E_{к2}) = E_2$ — механическая энергия системы в конечном сос
и, получим: $E_1 = E_2$, или $E = \text{const}$. (3.30)

ормула (3.30) выражает *закон сохранения полной механической энерги*

**Полная механическая энергия замкнутой консервативной системы не из
меняется, т.е. сохраняется.**

Закон сохранения энергии – это универсальный закон природы.

Законы сохранения – фундаментальные законы природы.* Законы сохр
ия являются фундаментальными законами природы по следующим причи
• позволяют решать ряд сложных задач без рассмотрения действующих
ла сил и не прослеживая движения системы тел. К таким задачам относят
пример, задачи о столкновении тел. Применение законов сохранения упр
решение многих механических задач;
• выходят далеко за рамки механики (законы сохранения, открытые в м
ике). В тех случаях, когда законы Ньютона неприменимы, например для оп
ия движения электронов в атоме, законы сохранения механических величи
ряют своего значения. Механические величины – масса, импульс, энерги
ляются всеобщими в физике;
• «работают» в микро-, макро- и мегамире, т.е. применимы к системам
атериальных объектов, независимо от их размеров: элементарным частиц
акротелам (обычных для нас размеров) и к космическим телам. Законы со
ния играют центральную роль в физике, особенно при изучении атомов и
ентарных частиц;

Применение законов сохранения

Вторая космическая скорость. ***Вторая космическая скорость*** –
именьшая скорость, которую нужно сообщить телу, чтобы оно, преодолев
тационное притяжение Земли (Венеры, Марса, Луны или другого косми
го тела), удалилось от нее на бесконечно большое расстояние.

Определим вторую космическую скорость v_{II} ракеты массой m, стартовав
емли ($M_{\ominus}$) со скоростью v_0. Вблизи поверхности Земли механическая энер
кеты будет

По мере удаления от Земли потенциальная энергия ракеты увеличиваетс
нетическая – уменьшается. В точке, находящейся на расстоянии r от цен
мли, механическая энергия ракеты, движущейся со скоростью $v < v_0$, буде

$$= \frac{mv^2}{2} - G\frac{mM_{\ominus}}{r}.$$

а основании закона сохранения энергии

$$\frac{mv_0^2}{2} - G\frac{mM_{\oplus}}{R_{\oplus}} = \frac{mv^2}{2} - G\frac{mM_{\oplus}}{r}$$

Ракета преодолеет гравитационное притяжение Земли, если потенциал
нергия взаимодействия с Землей $E_{\text{п}} \to 0$, т.е.

$$-G\frac{mM_{\oplus}}{r} \to 0, \quad \text{при} \quad r \to \infty$$

В этом случае закон сохранения энергии имеет вид $\frac{mv_0^2}{2} - G\frac{mM_\oplus}{R_\oplus} = \frac{mv^2}{2}$

Скорость v_0 будет минимальна, т. е. будет являться второй космической с
тью $v_0 = v_{II}$, если подкоренное выражение будет иметь минимальное зна

, т.е. $\frac{mv^2}{2} = 0$, тогда $v_{II} = \sqrt{\frac{2GM_\oplus}{R_\oplus}}$. (3.37)

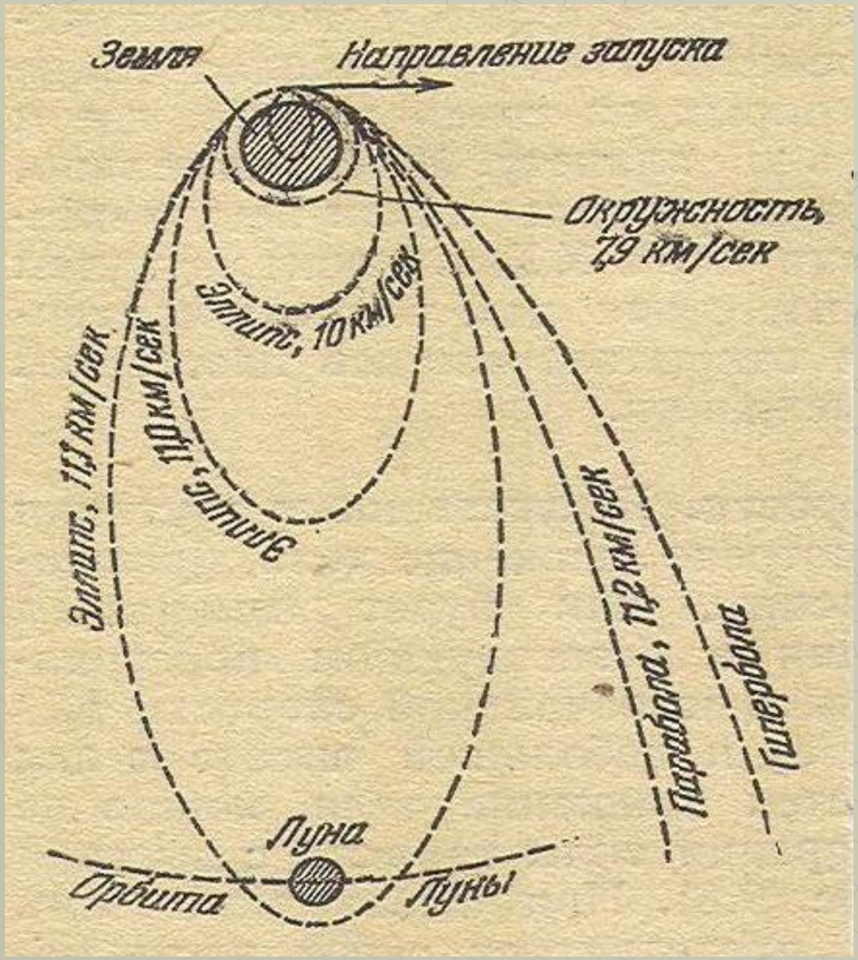
Вычислим по формуле (3.37) вторую космическую скорость

$$v_{II} = \sqrt{\frac{2 \cdot 6,67 \cdot 10^{-11}\ (\text{Н} \cdot \text{м}^2)/\text{кг}^2 \cdot 6 \cdot 10^{24}\ \text{кг}}{6,4 \cdot 10^6\ \text{м}}} \approx 11,2 \cdot 10^3\ \text{м/с}, \text{ или } v_{II} \approx 11,2\ \text{км/}$$

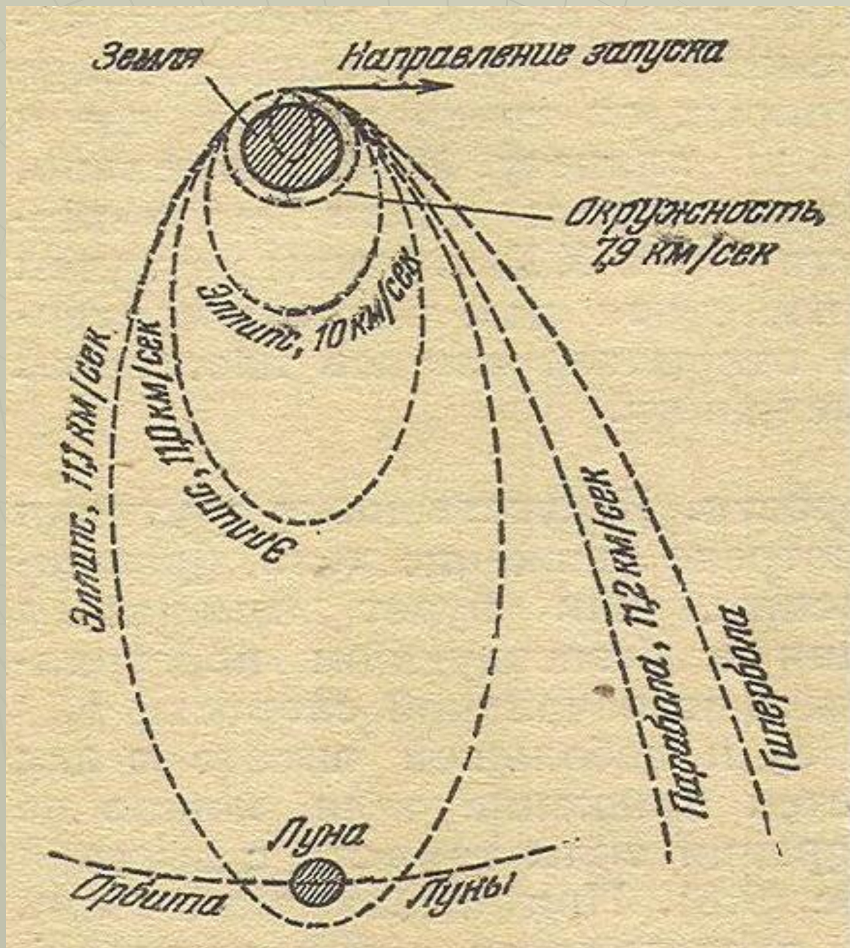
Согласно (2.19), $g = G\frac{M_\oplus}{R_\oplus^2}$, поэтому

$$v_{II} = \sqrt{2gR_\oplus}. \quad (3$$

Учитывая, что первая космическая скорость [см. (2.22)] $v_I = \sqrt{gR_\oplus} = 7,9$ к
рая космическая скорость больше первой космической в $\sqrt{2}$ раз, т.е. $v_{II} = \sqrt{}$
и $v_{II} \approx 1,41 v_I$.



- Скорость, которую нужно придать телу, чтобы оно преодолело притяжение Земли, называется *второй космической скоростью*.
- $V_{k2} = 11{,}19$ км/с ;
- Тело движется по параболе и становится спутником Солнца.



- Скорость, которую нужно придать телу, чтобы оно преодолело притяжение Солнца, называется *третьей космической скоростью*.
- $V_{к3}$ = 16,67 км/с ;
- Тело движется по гиперболе и уходит в Галактику.