**Группа 14. Физика**

**Дата: 18.11.2021**

**Уроки № 42, 43**

Тип урока: комбинированный урок

**Темы уроков:**

**Практическая работа №7: Решение задач по теме «Закон сохранения механической энергии»**
**Равновесие тел. Первое условие равновесия твёрдого тела.**

*Задание:*

*Ознакомиться с решением примерных задач. Решить задачи для самостоятельного решения. Ознакомиться с текстом по теме урока. Написать в тетради краткий конспект. Ответить на контрольные вопросы.*

---

**План конспекта:**

1. **Примеры решения задач**
2. **Самостоятельное решение задач**
3. **Равновесие тел**
4. **Статика**
5. **Твёрдое тело**
6. **Первое условие равновесия твёрдого тела**
7. **Ответы на контрольные вопросы**

---

## Примеры решения задач по теме «Закон сохранения механической энергии»

При применении закона сохранения механической энергии для решения задач надо, прежде всего, выяснить, какое состояние системы целесообразно считать начальным, а какое — конечным, затем записать выражение для начальной энергии системы и приравнять его выражению для конечной. При записи потенциальной энергии надо предварительно выбрать нулевой уровень отсчёта потенциальной энергии системы.

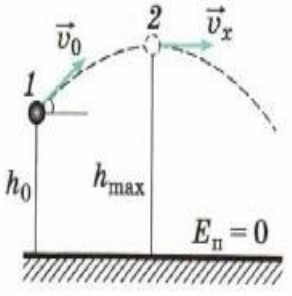


Рис. 5.16

*Задача 1.* Мяч брошен с высоты 1 м под углом 60° к горизонту со скоростью 4 м/с. Определите максимальную высоту подъёма мяча над поверхностью Земли. Силу сопротивления при движении мяча не учитывайте.

Р е ш е н и е. Выберем нулевой уровень потенциальной энергии на поверхности Земли (рис. 5.16). В момент броска в начальном положении 1 мяч обладает кинетической и потенциальной энергиями:

$$E_1 = E_{к1} + E_{п1} = \frac{m\upsilon_0^2}{2} + mgh_0.$$

В момент максимальной высоты $h_{max}$ подъёма скорость мяча направлена горизонтально. Горизонтальная составляющая скорости при движении мяча остаётся постоянной и равной $\upsilon_x = \upsilon_0 \cos\alpha$.

Механическая энергия в положении 2: $E_2 = E_{к2} + E_{п2} = (m\upsilon^2_0\cos^2\alpha)/2 + mgh_{max}$.

Так как по условию задачи силой сопротивления можно пренебречь, то считаем, что на мяч действует только консервативная сила — сила тяжести, и, следовательно, полная механическая энергия мяча сохраняется:

$$\frac{m\upsilon_0^2}{2} + mgh_0 = \frac{m\upsilon_0^2\cos^2\alpha}{2} + mgh_{max}.$$

Тогда максимальная высота $h_{max}$:

$$h_{max} = h_0 + \frac{\upsilon_0^2}{2g}\sin^2\alpha = 1{,}6 \text{ м}.$$

*Задача 2.* Недеформированную пружину растягивают на $\Delta l = 10$ см. Определите работу деформирующей пружину силы и силы упругости пружины, если для растяжения пружины на $\Delta l_0 = 1$ см требуется сила $F_0 = 2$ Н.

Р е ш е н и е. Абсолютные удлинения пружины выразим в единицах СИ: $\Delta l_0 = 0{,}01$ м, $\Delta l = 0{,}1$ м. Найдём жёсткость пружины. Из закона Гука $F_0 = k\Delta l_0$ следует: $k = F_0/\Delta l_0$. Работа деформирующей силы:

$$A = \frac{k(\Delta l)^2}{2} = \frac{F_0}{\Delta l_0}\frac{(\Delta l)^2}{2} = 1 \text{ Дж}.$$

Направление силы упругости противоположно направлению деформирующей силы, а по модулю эти силы равны, поэтому $A_{упр} = -1$ Дж.

*Задача 3.* На нити длиной l висит груз. На какую высоту необходимо поднять груз, отклоняя нить от вертикали, чтобы при движении груза вниз без начальной скорости в момент прохождения положения равновесия сила натяжения нити превышала в 2 раза силу тяжести, действующую на груз?

Р е ш е н и е. При прохождении нити через вертикальное положение на груз действуют сила натяжения нити $\vec{T}$ и сила тяжести $m\vec{g}$, лежащие на одной прямой (рис. 5.17). Поэтому ускорение $\vec{a}$ груза является центростремительным и направлено вертикально вверх.

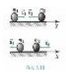
По второму закону Ньютона $m\vec{a} = \vec{T} + m\vec{g}$.

Запишем этот закон в проекции на ось OY (см. рис. 5.17): $T - mg = ma$, где $a = \upsilon^2/l$. Учитывая, что $T = 2mg$, получаем $mg = ma$, $\upsilon^2 = gl$.

Для определения h применим закон сохранения механической энергии, считая, что в положении 2 потенциальная энергия системы «тело—Земля» равна нулю. Тогда в положении 1 система имеет потенциальную энергию $E_п = mgh$, где h — высота тела относительно нулевого уровня. В положении 2 тело обладает лишь кинетической энергией $E_к = m\upsilon^2/2$.

По закону сохранения механической энергии $m\upsilon^2/2 = mgh$, $\upsilon^2 = 2gh$. Учитывая, что $\upsilon^2 = gl$, получаем $2gh = gl$, откуда $h = 1/2$.

*Задача 4.* Определите скорости двух шаров массами $m_1$ и $m_2$ после центрального абсолютно упругого удара. Скорости шаров до удара $\upsilon_1$ и $\upsilon_2$ соответственно.



Р е ш е н и е. Закон сохранения импульса системы имеет вид

$$m_1\vec{\upsilon}_1 + m_2\vec{\upsilon}_2 = m_1\vec{u} + m_2\vec{u}_2, \qquad (1)$$

где $\vec{u}_1$ и $\vec{u}_2$ — скорости шаров после удара.

Запишем уравнение (1) в проекции на ось X (рис. 5.18) (предположим, что шары после удара разлетаются в разные стороны):

$$m_1\upsilon_1 - m_2\upsilon_2 = - m_1u_1 + m_2u_2. \qquad (2)$$

Запишем закон сохранения энергии:

$$m_1\upsilon^2{}_1/2 + m_2\upsilon^2{}_2/2 = m_1u^2{}_1/2 + m_2u^2{}_2/2. \qquad (3)$$

Уравнения (2) и (3) образуют систему двух уравнений относительно двух неизвестных $u_1$ и $u_2$. Перенесём все члены системы, содержащие m1, в левую часть уравнения, а содержащие $m_2$, в правую: $m_1(\upsilon_1 + u_1) = m_2(\upsilon_2 + u_2)$, $m_1(\upsilon^2{}_1 - u^2{}_1) = m_2(u^2{}_2 - \upsilon^2{}_2)$.

Очевидно, что $u_1 \neq - \upsilon_1$ и $u_2 \neq - \upsilon_2$, так как скорости шаров после соударения должны измениться. Разделив левые и правые части равенств одно на другое, получим $\upsilon_1 — u_1 = \upsilon_2 - u_2$, откуда $u_2 = \upsilon_1 + \upsilon_2 - u_1$.

Подставив $u_2$ в уравнение (2), получим уравнение относительно $u_1$:

$$m_1\upsilon_1 - m_2\upsilon_2 = -m_1u_1 + m_2\upsilon_1 + m_2\upsilon_2 - m_2u_1.$$

Окончательно

$$u_1 = \frac{2m_2v_2 + v_1(m_2 - m_1)}{m_1 + m_2}; \qquad u_2 = \frac{2m_1v_1 + v_2(m_1 - m_2)}{m_1 + m_2}.$$

**Задачи для самостоятельного решения**

1. Определите суммарную работу сил, которая будет совершена, если сила, равная 3 Н, поднимет груз массой 100 г на высоту 5 м.

2. Груз массой 97 кг перемещают с помощью верёвки с постоянной скоростью по горизонтальной поверхности. Угол между верёвкой и этой поверхностью равен 30°.

Коэффициент трения равен 0,2. Определите работу силы натяжения верёвки на пути 100 м.

3. С какой скоростью двигался вагон массой 20 000 кг по горизонтальному пути, если при ударе о преграду каждая пружина буфера сжалась на 10 см? Известно, что для сжатия пружины буфера на 1 см требуется сила 10 000 Н. Вагон имеет два буфера.

4. Автомобиль, имеющий массу 1 т, трогается с места и, двигаясь равноускоренно, проходит путь 20 м за время 2 с. Какую мощность при этом развивает двигатель автомобиля?

## Равновесие тел

*Вспомните, что такое момент силы. При каких условиях тело находится в покое?*

Если тело находится в покое относительно выбранной системы отсчёта, то говорят, что это тело находится в равновесии. Здания, мосты, балки вместе с опорами, части машин, книга на столе и многие другие тела покоятся, несмотря на то что к ним со стороны других тел приложены силы. Задача изучения условий равновесия тел имеет большое практическое значение для машиностроения, строительного дела, приборостроения и других областей техники. Все реальные тела под влиянием приложенных к ним сил изменяют свою форму и размеры, или, как говорят, деформируются.

Во многих случаях, которые встречаются на практике, деформации тел при их равновесии незначительны. В этих случаях деформациями можно пренебречь и вести расчёт, считая тело *абсолютно твёрдым*.

Для краткости абсолютно твёрдое тело будем называть *твёрдым телом* или просто *телом*. Изучив условия равновесия твёрдого тела, мы найдём условия равновесия реальных тел в тех случаях, когда их деформации можно не учитывать.

Вспомните определение абсолютно твёрдого тела.

Запомни
Раздел механики, в котором изучаются условия равновесия абсолютно твёрдых тел, называется **статикой**.

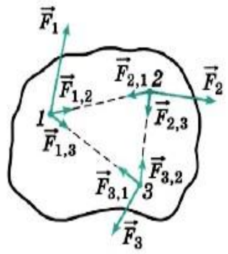


Рис. 7.1

В статике учитываются размеры и форма тел, в этом случае существенным является не только значение сил, но и положение точек их приложения.

Выясним вначале с помощью законов Ньютона, при каком условии любое тело будет находиться в равновесии. С этой целью разобьём мысленно всё тело на большое число малых элементов, каждый из которых можно рассматривать как материальную точку. Как обычно, назовём силы, действующие на тело со стороны других тел, внешними, а силы, с которыми взаимодействуют элементы самого тела, внутренними (рис. 7.1). Так, сила $\vec{F}_{1,2}$ — это сила, действующая на элемент 1 со стороны элемента 2. Сила же $\vec{F}_{2,1}$ действует на элемент 2 со стороны элемента 1. Это внутренние силы; к ним относятся также силы $\vec{F}_{1,3}$ и $\vec{F}_{3,1}$, $\vec{F}_{2,3}$ и $\vec{F}_{3,2}$. Очевидно, что геометрическая сумма внутренних сил равна нулю, так как согласно третьему закону Ньютона $\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$, $\vec{F}_{23} = -\vec{F}_{32}$, $\vec{F}_{31} = -\vec{F}_{13}$ и т.д.

> **Интересно** Статика — частный случай динамики, так как покой тел, когда на них действуют силы, есть частный случай движения ($\vec{v} = 0$).

На каждый элемент в общем случае может действовать несколько внешних сил. Под $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$, $\vec{F}_3$ и т. д. будем понимать все внешние силы, приложенные соответственно к элементам 1, 2, 3, ... . Точно так же через $\vec{F}'_1$, $\vec{F}'_2$, $\vec{F}'_3$ и т. д. обозначим геометрическую сумму внутренних сил, приложенных к элементам 2, 2, 3, ... соответственно (эти силы не показаны на рисунке), т. е. $\vec{F}'_1 = \vec{F}_{12} + \vec{F}_{13} + \ldots$, $\vec{F}'_2 = \vec{F}_{21} + \vec{F}_{22} + \ldots$, $\vec{F}'_3 = \vec{F}_{31} + \vec{F}_{32} + \ldots$ и т.д.

Если тело находится в покое, то ускорение каждого элемента равно нулю. Поэтому согласно второму закону Ньютона будет равна нулю и геометрическая сумма всех сил, действующих на любой элемент. Следовательно, можно записать:

$$\vec{F}1 + \vec{F}'1 = 0,\quad \vec{F}2 + \vec{F}'2 = 0,\quad \vec{F}3 + \vec{F}'3 = 0. \qquad (7.1)$$

Каждое из этих трёх уравнений выражает условие равновесия элемента твёрдого тела.

**Первое условие равновесия твёрдого тела.** Выясним, каким условиям должны удовлетворять внешние силы, приложенные к твёрдому телу, чтобы оно находилось в равновесии. Для этого сложим уравнения (7.1):

$$(\vec{F}1 + \vec{F}2 + \vec{F}3) + (\vec{F}'1 + \vec{F}'2 + \vec{F}'3) = 0.$$

В первых скобках этого равенства записана векторная сумма всех внешних сил, приложенных к телу, а во вторых — векторная сумма всех внутренних сил, действующих на элементы этого тела. Но, как известно, векторная сумма всех внутренних сил системы равна нулю, так как согласно третьему закону Ньютона любой внутренней силе соответствует сила, равная ей по модулю и противоположная по направлению. Поэтому в левой части последнего равенства останется только геометрическая сумма внешних сил, приложенных к телу:

$$\vec{F}1 + \vec{F}2 + \vec{F}3 + \ldots = 0. \qquad (7.2)$$

> Запомни
> В случае абсолютно твёрдого тела условие (7.2) называют **первым условием его равновесия**.

Оно является необходимым, но не является достаточным.

Важно
если твёрдое тело находится в равновесии, то геометрическая сумма внешних сил, приложенных к нему, равна нулю.

Если сумма внешних сил равна нулю, то равна нулю и сумма проекций этих сил на оси координат. В частности, для проекций внешних сил на ось OX можно записать:

$$F_{1x} + F_{2x} + F_{3x} + \ldots = 0. \qquad (7.3)$$

Такие же уравнения можно записать и для проекций сил на оси OY и OZ.

-----------------------------------------------------------------------------------------------------

**Контрольные вопросы:**

1. **Вспомните, что называется центром тяжести тела или системы тел.**
2. **Что такое абсолютно твёрдое тело?**
3. **Что необходимо для равновесия твёрдого тела?**

**-----------------------------------------------**

**Литература:**

Мякишев Г. Я. Физика 10 класс. Учебник для общеобразовательных учреждений. М., 2010. стр. 132-133, §52, §53