Группа 18. Физика

Дата: 29.10.2021

Уроки № 25, 26

Тип урока: комбинированный урок

Темы уроков:

Кинетическая энергия и её изменение. Потенциальная энергия.

Задание:

Ознакомиться с текстом по теме занятия. Написать в тетради краткий конспект. Ответить на контрольные вопросы

План конспекта:

1. **Энергия**
2. **Кинетическая энергия**
3. **Изменение кинетической энергии**
4. **Работа силы тяжести**
5. **Консервативные силы**
6. **Работа силы упругости**
7. **Потенциальная энергия**

Энергия. Кинетическая энергия

Вспомните, когда мы можем сказать, что у тела есть энергия.

Какие физические величины определяют механическую энергию тела?

Какие виды механической энергии вы знаете?

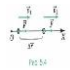
Если система тел может совершить работу, то мы говорим, что она обладает энергией.

Важно Энергия характеризует способность тела (или системы тел) совершать работу.

Совершая механическую работу, тело или система тел переходят из одного состояния в другое, в котором их энергия минимальна. Груз опускается, пружина распрямляется, движущееся тело останавливается. При совершении работы энергия постепенно расходуется. Для того чтобы система опять приобрела способность совершать работу, надо изменить её состояние: увеличить скорости тел, поднять тела вверх или деформировать. Для этого внешние силы должны совершить над системой положительную работу.

Энергия в механике — величина, определяемая состоянием системы — положением тел или частей тела и их скоростями.

Запомни
Кинетическая энергия — это энергия, которой обладает движущееся тело.



Подсчитаем работу постоянной силы $\vec{F}$, действующей на материальную точку массой m при его прямолинейном движении. Пусть направление силы совпадает с направлением скорости материальной точки. В этом случае направления вектора перемещения Дс и вектора силы совпадают (рис. 5.4). Поэтому работа силы $\Delta\vec{r}$:

$$A = F|\Delta\vec{r}|.$$

Выберем координатную ось OX так, чтобы векторы $\vec{F}$, $\vec{v}_1$, $\vec{v}_2$ и $\Delta\vec{r}$ были направлены в сторону положительного направления этой оси. Тогда $\Delta r_x = \Delta_x$, и формулу для работы можно записать так:

$$A = F\Delta_x. \qquad (5.6)$$

Согласно второму закону Ньютона

$$F = ma. \qquad (5.7)$$

Так как точка движется с постоянным ускорением, то изменение её координаты Δx при переходе из начального положения в конечное можно найти по известной нам из кинематики формуле

$$\Delta x = v_1 t + \frac{at^2}{2} = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2a}. \qquad (5.8)$$

Повторите кинематику и выведите самостоятельно формулу (5.8).

Подставляя формулы (5.7) и (5.8) в формулу (5.6), получаем

$$A = ma\frac{v_2^2 - v_1^2}{2a} = \frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2}. \qquad (5.9)$$

Таким образом, работа силы при перемещении точки из начального положения в конечное равна изменению $\frac{mv^2}{2}$, величины называемой *кинетической энергией* (от греческого слова «кинема» — движение).

Запомни
Кинетическая энергия материальной точки — это величина, равная половине произведения массы материальной точки на квадрат её скорости:

$$E_к = \frac{mv^2}{2}. \qquad (5.10)$$

Энергия выражается в тех же единицах, что и работа. Учитывая равенство (5.10), уравнение (5.9) можно записать так:

$$A = E_{к2} - E_{к1} = \Delta E_к.$$

Равенство (5.11) выражает *теорему об изменении кинетической энергии*.

Важно
Изменение кинетической энергии материальной точки при её перемещении равно работе, совершённой силой, действующей на точку при этом перемещении.

Если на точку действует несколько сил, то изменение её кинетической энергии равно алгебраической сумме работ всех сил, действующих на неё:

$$\Delta E_к = A_1 + A_2 + \dots .$$

Кинетическая энергия тел зависит только от их масс и скоростей.

Почему мы говорим об алгебраической сумме работ? Пусть изменение кинетической энергии тела равно нулю. Могут ли при этом работы сил, действующих на него, быть отличны от нуля?

Важно
Изменение кинетической энергии материальной точки зависит от начальной и конечной скоростей точки и не зависит от того, каким образом изменялась её скорость, под действием каких сил происходило это изменение.

Работа силы тяжести и силы упругости. Консервативные силы

По какой формуле можно вычислить работу силы?

Что общего между работой силы тяжести и силы упругости?

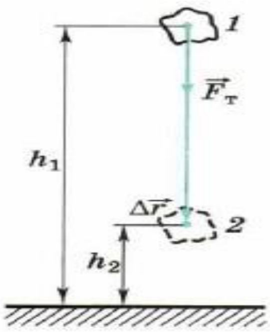


Рис. 5.8

Работа силы тяжести

Вычислим работу силы тяжести при падении тела (например, камня) вертикально вниз. В начальный момент времени тело находилось на высоте hх над поверхностью Земли, а в конечный момент времени — на высоте h_2 (рис. 5.8). Модуль перемещения тела $|\Delta \vec{r}| = h_1 - h_2$.

Направления векторов силы тяжести $\vec{F}_Т$ и перемещения $\Delta\vec{r}$ совпадают. Согласно определению работы (см. формулу (5.2)) имеем

$$A = |\vec{F}_Т| \, |\Delta \vec{r}| \cos 0° = mg(h_1 - h_2) = mgh_1 - mgh_2. \qquad (5.12)$$

Пусть теперь тело бросили вертикально вверх из точки, расположенной на высоте h_1 над поверхностью Земли, и оно достигло высоты h_2 (рис. 5.9). Векторы $\vec{F}_Т$ и $\Delta\vec{r}$ направлены в противоположные стороны, а модуль перемещения $|\Delta \vec{r}| = h_2 - h_1$. Работу силы тяжести запишем так:

$$A = |\vec{F}_T|\,|\Delta \vec{r}|\cos 180° = -mg(h_2 - h_1) = mgh_1 - mgh_2. \qquad (5.13)$$

Предположите, что тело перемещается между точками 1 и 2 (см. рис. 5.10) по ломаной линии. Покажите, что работа силы тяжести и в этом случае определяется выражением (5.13).

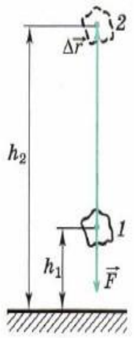


Рис. 5.9

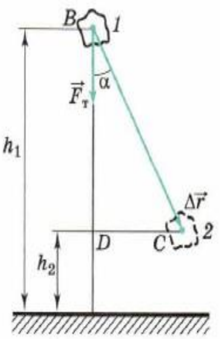


Рис. 5.10

Если же тело перемещается по прямой так, что направление перемещения составляет угол а с направлением силы тяжести (рис. 5.10), то работа силы тяжести равна:

$$A = |\vec{F}_T|\,|\Delta \vec{r}|\cos\alpha = mg|BC|\cos\alpha.$$

Из прямоугольного треугольника BCD видно, что $|BC|\cos\alpha = BD = h_1 — h_2$. Следовательно,

$$A = mg(h_1 - h_2) = mgh_1 - mgh_2. \qquad (5.14)$$

Это выражение совпадает с выражением (5.12).

Формулы (5.12), (5.13), (5.14) дают возможность подметить важную закономерность. При прямолинейном движении тела работа силы тяжести в каждом случае равна разности двух значений величины, зависящей от положений тела, определяемых высотами h_1 и h_2 над поверхностью Земли.

Более того, работа силы тяжести при перемещении тела массой т из одного положения в другое не зависит от формы траектории, по которой движется тело. Действительно, если тело перемещается вдоль кривой ВС (рис. 5.11), то, представив эту кривую в виде ступенчатой линии, состоящей из вертикальных и горизонтальных участков малой длины, увидим, что на горизонтальных участках работа силы тяжести равна нулю, так как сила перпендикулярна перемещению, а сумма работ на вертикальных участках равна работе, которую совершила бы сила тяжести при перемещении тела по вертикальному отрезку длиной $h_1 - h_2$. Таким образом, работа силы тяжести при перемещении вдоль кривой ВС равна:

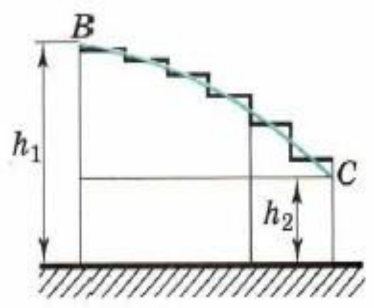


Рис. 5.11

$$A = mgh_1 - mgh_2.$$

Важно

Мы показали, что работа силы тяжести не зависит от формы траектории, а зависит только от положений начальной и конечной точек траектории.

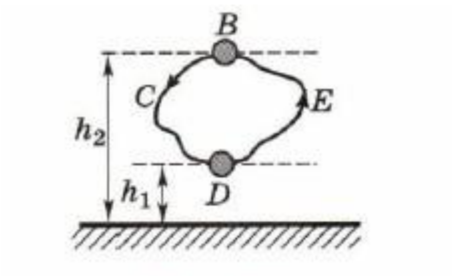


Рис. 5.12

Определим работу A при перемещении тела по замкнутому контуру, например по контуру BCDEB (рис. 5.12). Работа A_1 силы тяжести при перемещении тела из точки B в точку D по траектории BCD: $A_1 = mg(h_2 - h_1)$, по траектории DEB: $A_2 = mg(h_1 - h_2)$.

Тогда суммарная работа $A = A_1 + A_2 = mg(h_2 - h_1) + mg(h_1 - h_2) = 0$.

Важно
При движении тела по замкнутой траектории работа силы тяжести равна нулю.

Итак, работа силы тяжести не зависит от формы траектории тела; она определяется лишь начальным и конечным положениями тела. При перемещении тела по замкнутой траектории работа силы тяжести равна нулю.

Запомни
Силы, работа которых не зависит от формы траектории точки приложения силы и по замкнутой траектории равна нулю, называют **консервативными силами**.

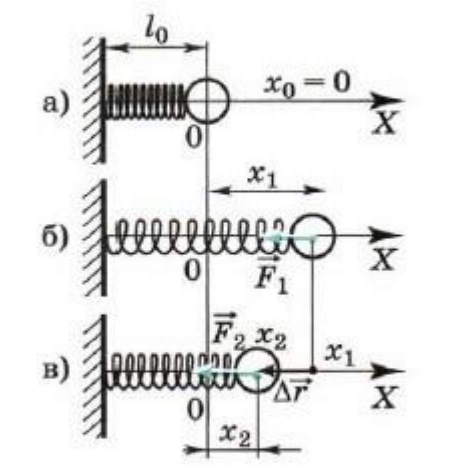


Рис. 5.13

Работа силы упругости. Вычислим работу, которую совершает сила упругости при перемещении некоторого груза.

На рисунке 5.13, а показана пружина, у которой один конец закреплён неподвижно, а к другому концу прикреплён шар. Совместим начало координат с центром шара, тогда координата шара будет равна удлинению пружины. Если пружина растянута, то она действует на шар с силой $\vec{F}_1$ (рис. 5.13, б), направленной к положению равновесия шара, в котором пружина не деформирована. Начальное удлинение пружины равно x_1.

Вычислим работу силы упругости при перемещении шара из точки с координатой x_1 в точку с координатой x_2. Из рисунка 5.13, в видно, что модуль перемещения равен:

$$|\Delta \vec{r}| = x_1 - x_2. \qquad (5.15)$$

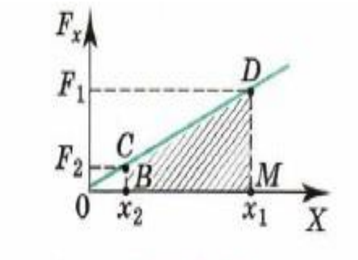


Рис. 5.14

Мы рассматриваем случай, когда направления силы упругости и перемещения тела совпадают.

Для вычисления работы переменной силы упругости воспользуемся графиком зависимости модуля силы упругости от координаты шара (рис. 5.14).

В § 40 мы показали, что работа может быть определена по графику зависимости F_x от x и что эта работа численно равна площади заштрихованной фигуры (см. рис. 5.3, б).

В нашем примере работа силы упругости на перемещении $x_1 - x_2$ точки её приложения численно равна площади трапеции BCDM. Следовательно,

$$A = \frac{F_1 + F_2}{2}(x_1 - x_2) = \frac{F_1 + F_2}{2}|\Delta \vec{r}|. \qquad (5.16)$$

Согласно закону Гука значения сил упругости $F_1 = kx_1$ и $F_2 = kx_2$. Подставляя эти выражения в уравнение (5.16) и учитывая, что $|\Delta \vec{r}| = x_1 - x_2$, получаем

$$A = \frac{kx_1 + kx_2}{2}(x_1 - x_2) = \frac{k(x_1^2 - x_2^2)}{2}.$$

Или окончательно

$$A = \frac{kx_1^2}{2} - \frac{kx_2^2}{2} > 0. \qquad (5.17)$$

Работа силы упругости при растяжении пружины, т. е. когда направление силы противоположно перемещению тела: $A = -\frac{kx_1^2}{2} + \frac{kx_2^2}{2} < 0.$

Важно
Если начальное и конечное состояния пружины совпадают, то суммарная работа силы упругости при деформации пружины равна нулю.

Попробуйте доказать самостоятельно, что сила тяготения также консервативна.

Во всех случаях движения тела под действием силы упругости мы пришли бы к той же формуле (5.17) для работы, т. е. работа силы упругости зависит лишь от удлинения или сжатия пружины в начальном и конечном состояниях.

Таким образом, работа силы упругости не зависит от формы траектории и, так же как и сила тяжести, сила упругости является консервативной.

Потенциальная энергия

Вспомните, какая связь существует между работой силы тяжести и потенциальной энергией.

Почему работа силы упругости определяется её средним значением?

Согласно теореме об изменении кинетической энергии работа силы, действующей на тело, равна изменению его кинетической энергии:

$$A = \frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2} = \Delta E_к. \qquad (5.18)$$

Если же силы взаимодействия между телами являются консервативными, то, используя явные выражения для сил, мы показали (см. § 43), что работу таких сил можно также представить в виде разности двух значений некоторой величины, зависящей от взаимного расположения тел (или частей одного тела):

$$A = mgh_1 - mgh_2 \text{ (для силы тяжести)},$$
$$A = \frac{kx_1^2}{2} - \frac{kx_2^2}{2} \text{ (для силы упругости)}. \qquad (5.19)$$

Здесь высоты h_1 и h_2 определяют взаимное расположение тела и поверхности Земли, а удлинения x_1 и x_2 — взаимное расположение частей тела, например витков деформированной пружины.

Из формул (5.18) и (5.19) следует, что

$$\frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2} = mgh_1 - mgh_2 \quad \text{и} \quad \frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2} = \frac{kx_1^2}{2} - \frac{kx_2^2}{2}.$$

Запомни

Величину, равную произведению массы m тела на ускорение свободного падения g и на высоту h тела над поверхностью Земли, называют **потенциальной энергией тела в поле силы тяжести** и обозначают $E_п$:

$$E_п = mgh. \qquad (5.20)$$

Запомни

Величину, равную половине произведения коэффициента упругости k тела на квадрат удлинения или сжатия x, называют **потенциальной энергией упруго деформированного тела**:

$$E_п = \frac{kx^2}{2}. \qquad (5.21)$$

Введя понятие потенциальной энергии, мы получаем возможность выразить работу любых консервативных сил через изменение потенциальной энергии. Под изменением величины понимают разность между её конечным и начальным значениями, поэтому $E_п = E_{п2} - E_{п1}$.

Следовательно, оба уравнения (5.19) можно записать так:

$$A = E_{п1} - E_{п2} = -(E_{п2} - E_{п1}) = -\Delta E_п, \qquad (5.22)$$

откуда $\Delta E_п = -A$.

Важно
Изменение потенциальной энергии тела равно работе консервативной силы, взятой с обратным знаком.

Например, при падении камня на Землю его потенциальная энергия убывает ($\Delta E_п < 0$), но сила тяжести совершает положительную работу ($A > 0$). Следовательно, A и $\Delta E_п$ имеют противоположные знаки в соответствии с формулой (5.22).

Нулевой уровень потенциальной энергии. Согласно уравнению (5.22) работа консервативных сил определяет не саму потенциальную энергию, а её изменение.

Поскольку работа определяет лишь изменение потенциальной энергии, то только изменение энергии в механике имеет физический смысл. Поэтому

Важно
можно произвольно выбрать состояние системы, в котором её потенциальная энергия считается равной нулю. Этому состоянию соответствует нулевой уровень отсчёта потенциальной энергии.

Приведите примеры выбора нулевого уровня отсчёта потенциальной энергии, относительно которого потенциальная энергия тела будет иметь отрицательные значения.

Ни одно явление в природе или технике не определяется значением самой потенциальной энергии. Важна лишь разность значений потенциальной энергии в конечном и начальном состояниях системы тел.

Выбор нулевого уровня производится по-разному и диктуется условиями данной задачи. Обычно в качестве состояния с нулевой потенциальной энергией выбирают состояние системы с минимальным значением энергии. Тогда потенциальная энергия всегда положительна или равна нулю.

Итак, потенциальная энергия системы «тело — Земля» — величина, зависящая от положения тела относительно Земли, равная работе консервативной силы при перемещении тела из точки, где оно находится, в точку, соответствующую нулевому уровню потенциальной энергии системы.

У пружины потенциальная энергия минимальна в отсутствие деформации, а у системы «камень — Земля» — когда камень лежит на поверхности Земли. Поэтому в первом случае $E_п = \frac{kx^2}{2}$, а во втором случае $E_п = mgh$.

Но к данным выражениям можно добавить любую постоянную величину C. При этом изменение потенциальной энергии, определяемое работой консервативной силы, останется прежним.

Обсудите с товарищем, как изменится положение нулевого уровня потенциальной энергии, если считать $C = mgh_0$.

Важно
Изолированная система тел стремится к состоянию, в котором её потенциапьная энергия минимальна.

Если не удерживать тело, то оно падает на землю ($h = 0$); если отпустить растянутую или сжатую пружину, то она вернётся в недеформированное состояние ($x = 0$).

Контрольные вопросы:

1. Как выглядит график изменения кинетической энергии материальной точки в зависимости от модуля её скорости? Начертите его.

2. Какую работу совершила сила, действующая на точку, если направление её скорости изменилось на противоположное, а модуль её остался без изменения?

3. Три тела массами m_1, m_2 и m_3 имеют скорости υ_1, υ_2 и υ_3, направленные под углом друг к другу. Запишите выражение для кинетической энергии системы этих трёх тел.

4. Зависит ли кинетическая энергия материальной точки от выбора системы отсчёта?

5. Может ли кинетическая энергия иметь отрицательное значение?

6. Чему равна работа силы тяжести и силы упругости при перемещении тела по замкнутой траектории?

7. Какие силы называют консервативными? Каково их общее свойство?

8. В чём состоит сходство кинетической энергии тела с потенциальной?

9. В чём состоит различие между кинетической энергией и потенциальной?

10. Может ли потенциальная энергия быть отрицательной?

Литература:

Мякишев Г. Я. Физика 10 класс. Учебник для общеобразовательных учреждений. М., 2010. §§ 46-49