

Автор:

Черненко Владислав Дмитриевич

ученик 11 класса

Научный руководитель:

Лопушнян Герда Анатольевна

канд. пед. наук, учитель физики

МБОУ гимназия №7 г. Балтийска

г. Балтийск, Калининградская область

DOI 10.21661/r-485946

ПРИМЕНЕНИЕ ЗАКОНА СОХРАНЕНИЯ ЭНЕРГИИ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ПО ЭЛЕКТРОСТАТИКЕ

Аннотация: в статье рассматриваются примеры решения задач по электростатике с применением закона сохранения энергии.

Ключевые слова: закон сохранения энергии, электростатика, решение задач по физике.

При подготовке к экзамену по физике я обнаружил, что достаточно большое количество задач решается на основе закона сохранения энергии, однако не всегда этот закон имеет вид $mgh_1 + \frac{mv_1^2}{2} = mgh_2 + \frac{mv_2^2}{2}$. Особенно это касается задач по электростатике. Я решил разобраться с решением таких задач.

Цель работы: научиться решать физические задачи по электростатике с применением закона сохранения энергии.

Задачи исследования:

1. Расширить свои теоретические знания по теме «Электростатика».
2. Научиться решать задачи по электростатике, решение которых сводится к применению закона сохранения энергии.

Задача 1. Два одинаковых шарика, имеющих заряды по 400 нКл, соединены пружиной и находятся на гладком горизонтальном столе. Шарики колеблются так, что расстояние между ними меняется от L до $4L$. Найдите жесткость

пружины, если известно, что ее длина в свободном состоянии равна $2L$, где $L = 2 \text{ см}$, $k = 9 \cdot 10^9$

$$\frac{\Phi}{\text{м}}.$$

Решение:

Сделаем модель задачи, пружина не деформирована (рис. 1), пружина деформирована и растянута, ее длина $4L$ (рис. 2), пружина деформирована и сжата, ее длина L (рис. 3).

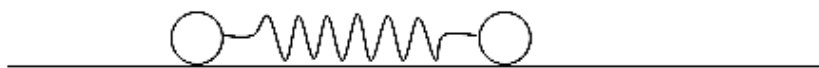


Рис. 1

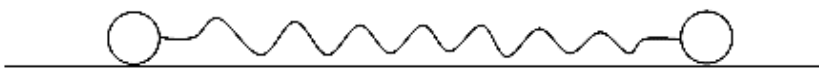


Рис. 2



Рис. 3

Применим закон сохранения энергии (сравним количество энергии у тел на рис. 2 с количеством энергии у тел на рис. 3):

$$E_{k_2} + E_{n_2} = E_{k_3} + E_{n_3} \quad (1);$$

Найдем величины, входящие в уравнение (1). Движение тел обусловлено наличием у них зарядов, т.е. электрические силы совершают работу над телами в результате чего те приобретают кинетическую энергию, тогда можно записать $A = E_k$, где $A = Fs \cos \alpha$; в нашем случае $\alpha = 0$, а $S_1 = 4L$ (ситуация рис. 2), а $S_2 = L$

(ситуация рис. 3), $F_2 = \frac{k|q||q|}{(4L)^2}$; $F_3 = \frac{k|q||q|}{L^2}$, $E_{k_2} = \frac{kq^2}{4L}$, а $E_{k_3} = \frac{kq^2}{L}$; $E_n = \frac{K\Delta x^2}{2}$,

где $\Delta x_1 = 2L$, $\Delta x_2 = L$.

Подставляя полученные выражения в уравнение (1), получим:

$$\frac{kq^2}{4L} + \frac{K(2L)^2}{2} = \frac{kq^2}{L} + \frac{KL^2}{2} \quad (2),$$

упростим полученное выражение:

$$3KL^2 = \frac{3kq^2}{2L}, K = \frac{kq^2}{2L^3} = 90 \frac{H}{\text{м}}.$$

Ответ: $90 \frac{H}{m}$.

Задача 2. По тонкому закрепленному кольцу радиусом 6 см распределен заряд 40 нКл. В центр помещают частицу с зарядом 12 нКл и массой 9 мг и отпускают. Чему будет равна скорость частицы на большом расстоянии от кольца?

Решение:

С одной стороны $A = \frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2}$, $V_1 = 0$, т.к. частица начинала свое движение из состояния покоя, с другой стороны $A = q(\varphi_2 - \varphi_1)$. По закону сохранения энергии приравняем эти два уравнения, получаем: $q(\varphi_2 - \varphi_1) = \frac{mv_2^2}{2}$ (1).

Так как по условию $r \rightarrow \infty$, то потенциал $\varphi_2 = \frac{kq}{r}$, следовательно $\varphi_2 \rightarrow 0$.

Найдем потенциал φ_1 , воспользуемся принципом суперпозиции:

$\varphi_1 = \sum k \frac{\Delta Q_i}{R}$, т.к. все заряды кольца находятся на одинаковом расстоянии до центра окружности, то $\varphi_1 = k \frac{\sum \Delta Q_i}{R}$. Сумма отдельно взятых зарядов кольца равна его общему заряду, тогда $\varphi_1 = k \frac{Q}{R}$. Подставим найденное значение

потенциала в выражение (1), получим $\frac{kQq}{R} = \frac{mv_2^2}{2}$, тогда $v_2 = \sqrt{\frac{2kQq}{mR}} = 4 \frac{m}{c}$

Ответ: $4 \frac{m}{c}$.

Задача 3. Источник постоянного напряжения с ЭДС 100 В подключен через резистор к конденсатору переменной емкости, расстояние между пластинами которого можно изменять. Пластины медленно раздвинули. Какое количество теплоты выделилось за время движения пластин на резисторе, если против сил притяжения пластин была совершена работа 60 мкДж и заряд конденсатора изменился на 1 мКл?

Решение:

Из-за работы внешних сил и источника тока изменилась энергия конденсатора и выделилась теплота. По закону сохранения энергии: $W_{\text{до движения пластин}} =$

$W_{\text{после движения пластин}}$ или $W_{\text{н}} + A_{\text{бат}} + A = W_{\text{к}} + Q$, где $W_{\text{н}}$ – энергия электрического поля конденсатора в начале процесса, $W_{\text{к}}$ – энергия электрического поля конденсатора в конце процесса, $A_{\text{бат}}$ – работа электродвижущих сил батарейки, а A – работа против сил притяжения пластин, Q – количество теплоты выделилось за время движения пластин на резисторе. Выведем расчетную формулу $Q = W_{\text{н}} + A_{\text{бат}} + A - W_{\text{к}}$, упростим закон $Q = \Delta W + A_{\text{бат}} + A$ (1). Найдем значения величин, входящих в уравнение (1): изменение энергии конденсатора за время движения пластин $\Delta W = \frac{\varepsilon q_2}{2} - \frac{\varepsilon q_1}{2} = -\frac{\varepsilon \Delta q}{2}$, работа электродвижущих сил батарейки $A_{\text{бат}} = -\varepsilon \Delta q$, минус показывает, что количество заряда в батарейке уменьшилось. Выведем расчетную формулу $A - \frac{\varepsilon \Delta q}{2} = Q$. Подставив данные из условия, получаем числовой ответ $Q = 10 \cdot 10^{-6}$ Дж.

Ответ: 10 мкДж.

Задача 4. Отрицательно заряженная пластина, создающая вертикально направленное однородное электрическое поле напряженностью $E = 10^4 \frac{\text{В}}{\text{м}}$, укреплена на горизонтальной плоскости. На нее с высоты $h = 10$ см падает шарик массой 20 г, имеющий положительный заряд $q = 10^{-5}$ Кл. Какой импульс шарик передаст пластине при абсолютно упругом ударе с ней?

Решение:

Сделаем чертеж к задаче, расставим силы

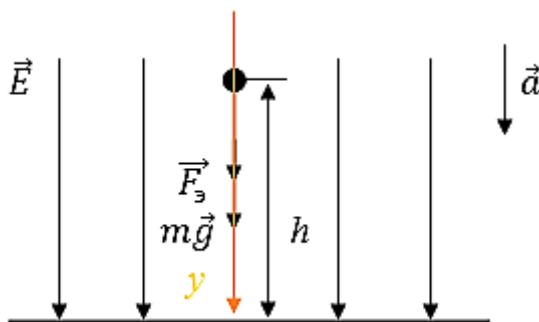


Рис. 4

Для решения данной задачи воспользуемся законом сохранения энергии:

$W_{\text{было}} = W_{\text{стало}}$ (1). В начале шарик имел потенциальную энергию относительно

нулевого уровня (пластины) и энергию электрического поля, которую ему сообщает отрицательно заряженная пластина. Тогда выражение (1) можно записать так $W_{\Pi} + W_{\text{э}} = W_{\text{к}}$ (2), где $W_{\Pi} = mgh$; $W_{\text{э}} = qEd$, $d = h$, так как расстояние между двумя взаимодействующими заряженными телами по условию равно h .

Закон сохранения энергии примет вид $mgh + qEh = \frac{mv^2}{2}$, выразим скорость $v =$

$\sqrt{\frac{2h(mg+qE)}{m}}$. Так как по условию удар неупругий, то $\Delta p = 2mv$, расчетная формула примет $\Delta p = \sqrt{2mh(mg + qE)}$, $p = 0.07 \frac{\text{кг*м}}{\text{с}}$.

Ответ: $p = 0.07 \frac{\text{кг*м}}{\text{с}}$.

Представленные в работе задачи по электростатике решались на основе закона сохранения энергии. Закон сохранения энергии был составлен в соответствии с условиями задач и имел различные формы записи: в задаче №1

$\frac{kq^2}{4L} + \frac{K(2L)^2}{2} = \frac{kq^2}{L} + \frac{KL^2}{2}$, в задаче №2 $\frac{kQq}{R} = \frac{mv_2^2}{2}$, в задаче №3 $W_{\Pi} +$

$A_{\text{бат}} + A = W_{\text{к}} + Q$, в задаче №4 $mgh + qEh = \frac{mv^2}{2}$.

Список литературы

1. ЕГЭ 2009. Физика. Федеральный банк экзаменационных материалов / Авт.-сост. М.Ю. Демидова, И.И. Нурминский. – М.: Эксмо, 2009. – 368 с.
2. Черноуцан А.И. 1000 задач и решений. Физика: Учебное пособие для поступающих в вузы – М.: Книжный дом «Университет», 2000. – С. 157.
3. Зорин Н.И. ЕГЭ 2009. Физика. Решение задач частей В и С. Сдаем без проблем! / Н.И. Зорин. – М.: Эксмо, 2009. – С. 197.