

## Лабораторная работа № 13

### Изучение законов сохранения в механике.

- Цель:**
1. Определить коэффициент трения скольжения, опираясь на законы сохранения импульса и механической энергии.
  2. Сравнить полученные результаты с результатом измерения коэффициента трения скольжения классическим способом.
  3. Используя значение коэффициента трения скольжения, полученного классическим способом, проверить выполнение закона сохранения импульса.
  4. Определить потерю кинетической энергии системы при ударе. Найти значение КПД удара.

**Оборудование:** штатив, деревянный брусок, груз на нити, динамометр, линейка демонстрационная, линейка ученическая.

#### **Введение.**

Важнейшей задачей в освоении раздела механики является изучение основных законов – законов сохранения импульса и механической энергии. На примере изучения закономерностей упругого и неупругого соударения тел можно ознакомиться с этими важнейшими законами.

Процесс удара можно разделить на две фазы.

Первая – деформация: сближаются центры масс тел, при этом скорость сближения убывает до нуля.

Вторая фаза – восстановление формы тел.

При абсолютно упругом ударе на первой фазе происходит упругая деформация тел; возникают силы упругости и часть кинетической энергии переходит в энергию упруго деформированного тела. На второй фазе работа упругих сил приводит к обратному переходу энергии упругой деформации в кинетическую энергию взаимодействующих тел.

При абсолютно неупругом ударе реализуется только первая фаза, происходит сближение центров масс и деформация тел, но не происходит восстановление формы тел.

Таким образом должны выполняться законы сохранения импульса и механической энергии при абсолютно упругом ударе, а при абсолютно неупругом ударе – только закон сохранения импульса.

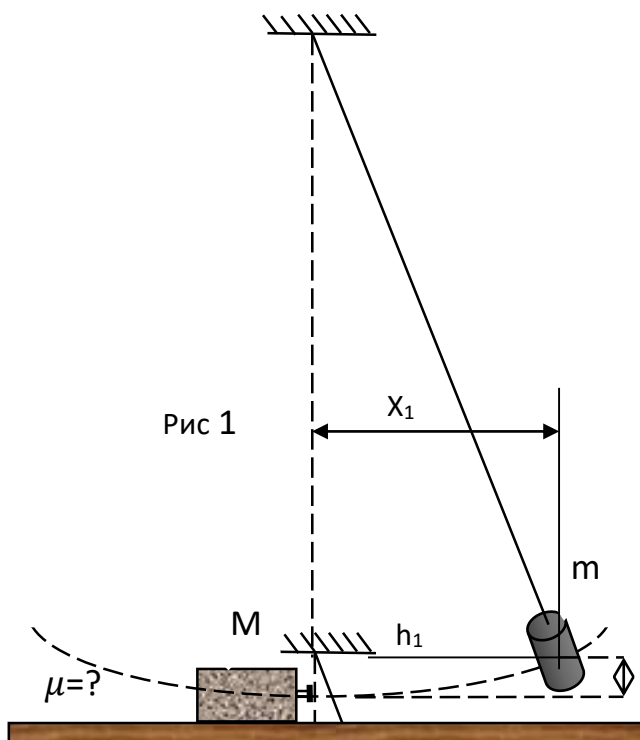
Реальные удары тел при их столкновениях являются промежуточными между абсолютно упругим и абсолютно неупругим ударами.

Лабораторная работа подразумевает выполнение нескольких экспериментальных задач., основанных на законах сохранения импульса и сохранения и изменения механической энергии систем.

## Содержание и метод выполнения работы

Груз, свободно подвешенный на нити, одновременно взаимодействует с Землёй (находится в поле тяготения планеты) и упругой нитью (со стороны нити на груз действует сила упругости, удерживая его от свободного падения). Отсюда следует, что он обладает потенциальной энергией в гравитационном поле  $E_{П\text{ грав}} = mgh$ , и потенциальной энергией упругого взаимодействия  $E_{П\text{ упр}} = [k_{\text{нити}}(\Delta l_{\text{нити}})^2]/2$ . Для малых углов отклонений груза от положения равновесия мы имеем право пренебречь деформацией (удлинением) нити (и не только деформацией нити, но и чем?), считая нить нерастяжимой, а следовательно пренебречь изменением энергии упругого взаимодействия.

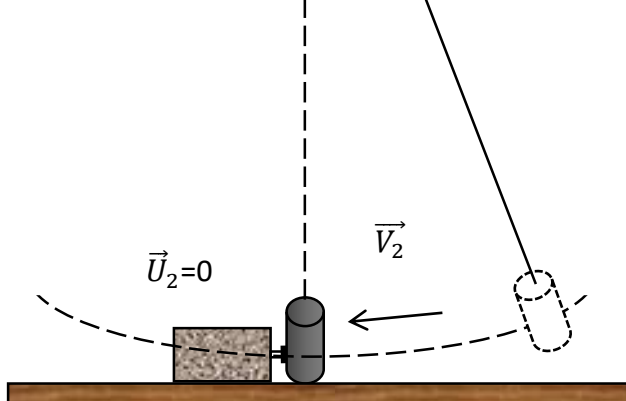
1. Рассмотрим начальное состояние системы (рис 1) .



Груз находится в отклоненном состоянии на высоте  $h$  относительно условного нулевого уровня его потенциальной энергии. Его потенциальная энергия  $E_{П1} = mgh_1$ .

Отпускаем груз и в процессе движения к положению равновесия его потенциальная энергия взаимодействия с Землей превращается в кинетическую энергию движения  $E_{K2} = \frac{mV_2^2}{2}$ .

Рис 2



2. В момент перед ударом (рис 2) мы имеем право (почему?) приравнять энергии в состояниях 1 и 2  $E_1 = E_2$  (т.е. применить закон сохранения механической энергии к системе):

$$E_1 = E_2 = mgh_1 = \frac{mV_2^2}{2}.$$

Откуда нетрудно выразить скорость тела перед ударом:  $V_2 = \sqrt{2gh_1}$

3. Временем удара мы можем пренебречь (по сравнению с чем?), а следовательно можно пренебречь изменением импульса системы: тело + брусок (почему?), т.е. считать эту систему замкнутой. (или квазизамкнутой? почему?).

Почему к процессу соударения тел нельзя (в данном случае) применить закон сохранения механической энергии?

Непосредственно перед ударом вектор импульса системы определяется только вектором импульса движущегося тела  $mV_2$ . Сразу после удара вектор импульса системы представляется векторной суммой импульсов движущихся по отдельности тела и бруска:  $mV_3 + MU_3$ . (рис.3) Исходя из замкнутости системы, можно записать векторное уравнение закона сохранения импульса:

$$mV_2 = mV_3 + MU_3;$$

Проецируя на ось получим: ОХ:  $mV_2 = mV_3 + MU_3$ . Но в последнем уравнении оказались 2 неизвестных:  $V_3$  и  $U_3$ .

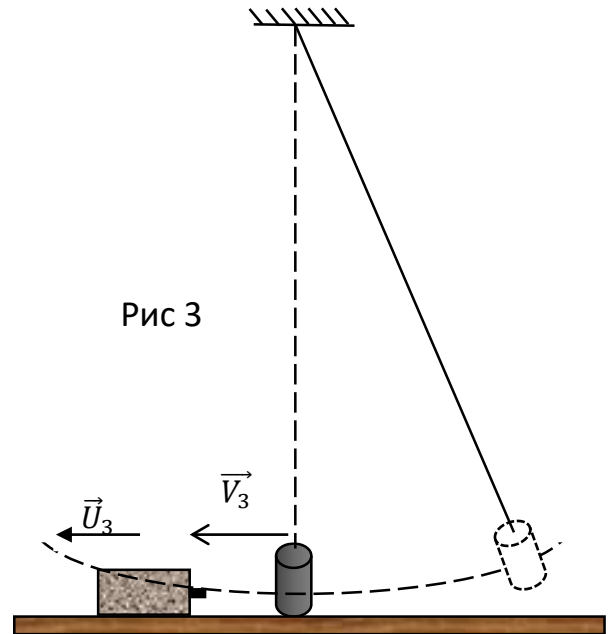


Рис 3

4. Рассмотрим дальнейшее движение тел отдельно друг от друга (рис 4),

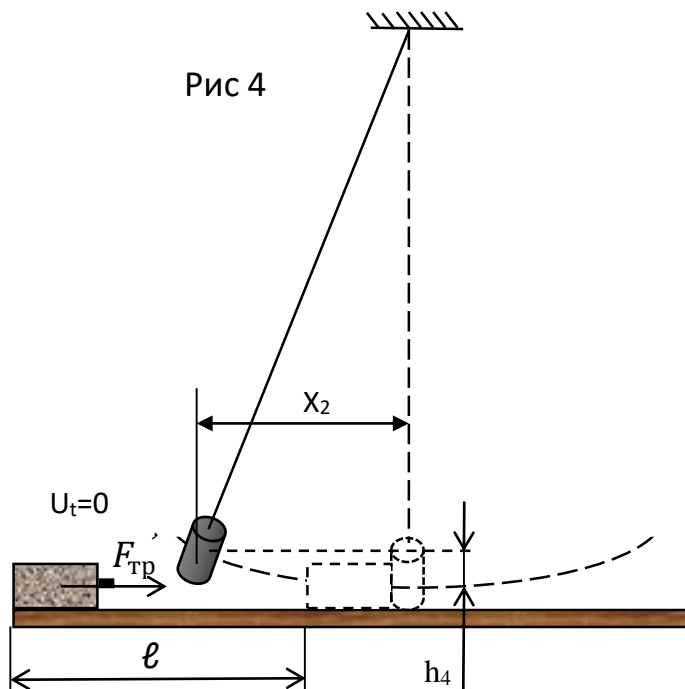


Рис 4

как несвязанные системы тел.

4а. Тело на нити, передав некоторую часть механической энергии бруску, продолжает двигаться по той же окружности и в начальный момент его энергия представляется кинетической энергией :  $E_3^m = \frac{mV_3^2}{2}$

В процессе движения тело поднимается на новую высоту  $h_4$ , которую можно измерить, и, следовательно, определить новое значение потенциальной энергии

гравитационного взаимодействия:

$$E_4^m = mgh_4$$

По аналогии с п.1 и 2 , но в обратном порядке, можно определить значение  $V_3$ :

$$E_4^m = E_3^m \rightarrow V_3 = \sqrt{2gh_4}$$

Значения  $h_1$  и  $h_4$  можно выразить через длину нити  $L$  и угол отклонения груза  $\alpha_i$  от состояния равновесия:

$$h_i = L (1 - \cos \alpha_i) = 2L \sin^2(\alpha_i/2)$$

При малых углах значение синуса,  $\sin \alpha_i = x_i/L$ , можно считать равным величине угла, выраженного в радианах, тогда

$$h_i \approx 2L (\alpha_i/2)^2, \text{ где } \alpha_i \approx x_i/L.$$

$$h_i \approx x_i^2/(2L).$$

Осталось доказать, что углы отклонения груза в нашем исследовании можно считать малыми.

4б. Рассмотрим движение бруска после удара.

Из уравнения п.3 можно выразить значение  $U_3$ , и кинетической энергии бруска в начале своего перемещения по поверхности опоры.

$$U_3 = \frac{m(V_2 - V_3)}{M} = \frac{m(\sqrt{2gh_1} - \sqrt{2gh_4})}{M} = \frac{m\sqrt{2g}(\sqrt{h_1} - \sqrt{h_4})}{M}$$

$$E_3^M = \frac{MU_3^2}{2}.$$

Далее, двигаясь по поверхности, на брусок вдоль оси ОХ действует сила трения скольжения, вплоть до его остановки. Это неконсервативная диссипативная сила, работа которой уменьшает механическую энергию бруска, превращая её во внутреннюю энергию бруска и опоры. По величине изменения механической энергии можно определить работу силы трения (почему?).

$$E_4^M = 0; \Delta E_{43}^M = -A_{\text{тр}} = -\mu Mg \ell$$

Откуда можно выразить значение коэффициента трения скольжения.

$$-\mu Mg \ell = -\frac{M^2}{2}. \quad \Rightarrow \quad \mu = \frac{U_3^2}{2g\ell}.$$

5. Значение коэффициента трения скольжения можно определить и классическим способом, измеряя значение силы трения скольжения при равномерном перемещении бруска по поверхности с помощью динамометра.

Зная коэффициент трения, можно произвести расчет  $U_3$  и проверить выполнение закона сохранения импульса при соударении тел.

Так же, используя значение коэффициента трения скольжения, можно определить потерю кинетической энергии системы груз + брусок при их соударении и вычислить КПД удара.

### Порядок выполнения работы

1. Изобразите таблицу, для записи значений измеренных величин:

№ п/п	Масса гири, $m$ , кг	Масса бруска, $M$ , кг	Длина подвеса, $L$ , м	Отклонение $X_1$ , м	Отклонение $X_2$ , м	Длина пути бруска $l$ , м
1				0,3		
2						
3						
4				0,4		
5						
6						

- С помощью динамометра определите вес бруска, равный  $Mg$ .
- Измерьте длину подвеса  $L$ .
- Отцентрируйте систему тел гири + брусок. Для этого слегка прикоснитесь деревянным бруском, находящемся на горизонтальной поверхности трибометра, к висящей на нити гире. Вдоль направления движения тел (оси  $OX$ ) уложите демонстрационную линейку.
- Отклоните гирьку, подвешенную на нити, на  $x_1$  вправо вдоль горизонтальной оси  $OX$  от положения равновесия (рис. 1). Это позволит рассчитать высоту гири  $h_1$  над поверхностью стола по значению отклонения  $x_1$  и длине подвеса  $L$ .
- Отпустите гирьку. Внимательно следите за тем, чтобы удар был центральным. Потренируйтесь, прежде чем проводить измерения. Как минимум, необходимо выполнить по три измерения величин с одним значением отклонения  $x_1$ , чтобы уменьшить ошибку на «не центральность» удара.
- Первое, что необходимо измерить после соударения тел, координату отклонения  $x_2$  гири (рис.4), после прохождения состояния равновесия, что позволит рассчитать высоту  $h_4$ , по аналогии с п.5.
- Деревянный брусок после соударения с гирькой отъедет по поверхности стола на расстояние  $\ell$ . Измерьте  $\ell$ .

9. Повторите серию измерений для второго значения  $x_1$ .
10. По полученным результатам измерений необходимо произвести расчеты искомых величин и проверить выполнение законов сохранения и изменения импульса и механической энергии.
11. Последним действием вы определили значение коэффициента трения скольжения в обеих сериях измерений. Необходимо сравнить полученные значения коэффициентов трения скольжения.
12. Для проведения самоконтроля дополнительно измерьте коэффициент трения скольжения известным вам классическим способом с помощью динамометра на той же поверхности трибометра.
13. Проведите проверку законов сохранения импульса и энергии.
  14. Найдите значение КПД удара.