

## Условие

### Задание 1. Столкновения!

В данном задании вам предстоит исследовать законы удара.

Оборудование: две направляющих, три линейки: 2 по 20 см, одна 30 см, пластилин.

#### Часть 1. Теоретическая

1.1 Покажите, что при абсолютно упругом центральном ударе (когда одно тело покоится, а второй движется) отношение скоростей тел после удара не зависит от начальной скорости движущегося тела, найдите это отношение.

1.2 Найдите как зависит путь, пройденный линейкой по столу, от ее начальной скорости.

#### Часть 2. Простые линейки.

Закрепите на столе две полоски так, чтобы между ними могли скользить линейки.

2.1 Пусть одна линейка покоится. Толкните вторую линейку так, чтобы она столкнулась с неподвижной. Силу удара изменяйте произвольным образом (не пытайтесь ее измерить!). После каждого удара измеряйте пути, пройденные линейками после столкновения ( $x_1$  ударяющей и  $x_2$  - изначально покоящейся). Не смущайтесь большого разброса данных! Набирайте статистику (не менее 30 ударов для каждого случая!) Постройте зависимости  $x_2$  от  $x_1$ . Проведите их усреднение. Сравните полученные результаты с результатами ваших теоретических расчетов. Дайте качественное объяснение имеющимся расхождениям. Измерения проведите для трех различных комбинаций ударяющихся линеек.

#### Часть 3. Сдвоенная линейка.

Соедините две линейки по 20 см, положив их одна на одну и скрепив кусочками пластилина.

3.1 Исследуйте удар линейки в 30 см по сдвоенной линейке (по описанной выше методике).

3.2 Дайте качественное объяснение полученным результатам. Укажите основную причину потерь механической энергии в этом случае.

## Решение

#### Часть 1. Теоретическая

1.1 Из законов сохранения импульса и механической энергии

$$m_1 u_0 = m_1 v_1 + m_2 v_2$$

$$\frac{m_1 u_0^2}{2} = \frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 v_2^2}{2}$$

Следует, что скорости тел после абсолютно упругого удара определяются по формулам

$$v_1 = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} u_0$$

$$v_2 = \frac{2m_1}{m_1 + m_2} u_0$$

Их отношение равно

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{2m_1}{m_1 - m_2} \quad (1)$$

Его удобно выразить через отношение масс сталкивающихся тел  $\eta = \frac{m_1}{m_2}$ :

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{2\eta}{\eta - 1} \quad (2)$$

1.2 Начальная кинетическая энергия тела равна работе силе трения, поэтому

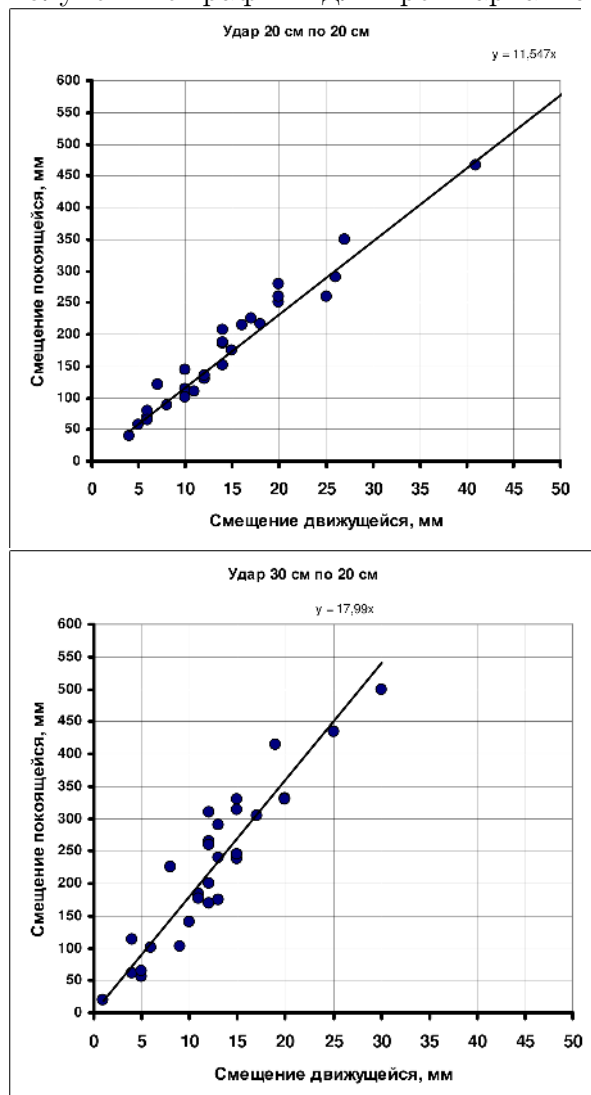
$$\frac{mv_0^2}{2} = \mu mgS,$$

Откуда следует, что путь, пройденный линейкой, пропорционален квадрату ее начальной скорости

$$S = \frac{v_0^2}{2\mu g}. \quad (3)$$

## Часть 2. Простые линейки.

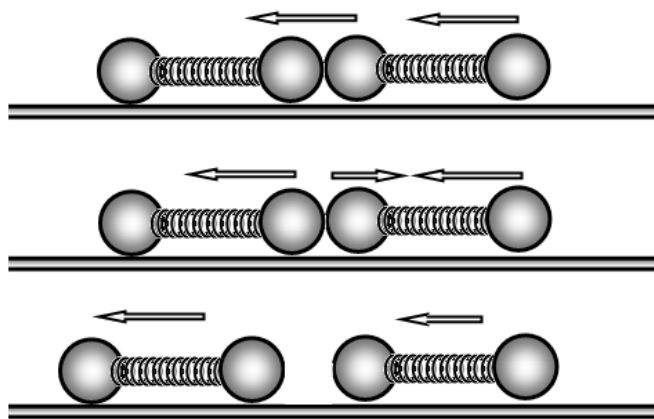
2.1 Действительно, наблюдается очень большой разброс данных, тем не менее, можно увидеть определенную корреляцию между смещениями линеек после удара. На рисунках приведены полученные графики для трех вариантов столкновений.



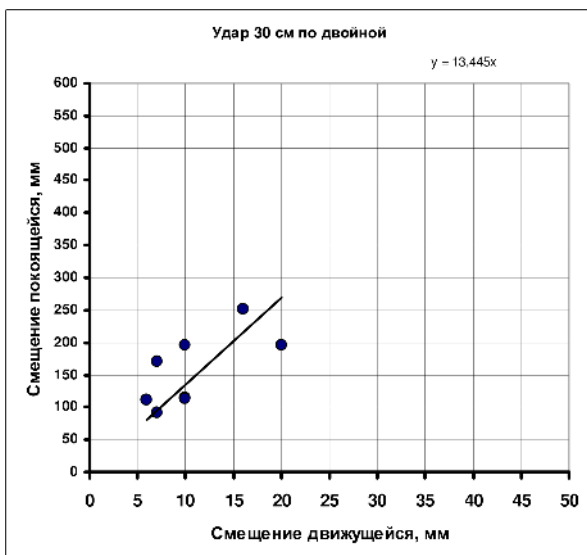
Результаты показывают, что удары линеек нельзя считать абсолютно упругими. Так теоретически отношение смещений линеек должно быть равно отношению квадратов их скоростей сразу после удара, то есть определяться формулой

$$\frac{S_2}{S_1} = \left( \frac{2\eta}{\eta - 1} \right)^2 \quad (2)$$

Так при ударе тридцатисантиметровой линейки по двадцатисантиметровой ( $\eta = 1,5$ ) отношение смещений должно равняться 36, в то же время экспериментально получено значение меньшее 20. Еще более существенные расхождения наблюдаются для удара одинаковых линеек – здесь теоретически ударяющая линейка должна останавливаться, а она продолжает движение в том же направлении. Аналогично и для удара более легкой линейки – она также продолжает двигаться в прежнем направлении, хотя при абсолютно упругом ударе должна двигаться в противоположном направлении. Таким образом, удар линеек нельзя считать абсолютно упругим. По-видимому, основной причиной этого (помимо потерь на необратимость деформаций) следует считать возникновение упругих волн в линейках во время удара. Простейшая модель линеек, позволяющая хотя бы качественно объяснить полученные результаты, является следующая. Заменим каждую линейку на пару упругих шариков, соединенных пружиной. Пусть в момент столкновения для шариков выполняются законы упругого удара. Тогда, даже если передний из ударяющих шариков получит скорость, направленную в противоположную сторону, скорость его центра масс может быть направлена в прежнем направлении, поэтому и ударяющая пара в целом будет продолжать движение в прежнем направлении.

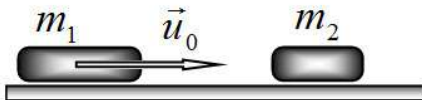


**Часть 3. Сдвоенная линейка.** На рисунке показаны результаты нескольких измерений линейки в 30 см по сдвоенной линейке. В этом случае ударяющая линейка (ее масса меньше) продолжает двигаться в прежнем направлении. Для качественного объяснения полученных результатов можно предложить следующую модель. Две части сдвоенной линейки слабо связаны между собой (пластилин пластичен!). Поэтому нижняя ее часть в момент удара приобретает скорость, такую же, как при ударе линейки в 30 см по линейке в 20 см. Далее этот импульс перераспределяется между двумя частями сдвоенной линейки, в результате чего ее скорость уменьшается в два раза. В этом случае



отношение пройденных путей должно быть в 4 раза меньше, чем в первом из рассмотренных во 2 части случаев. Однако в эксперименте получено отношение близкое к 2, что объясняется упрощенностью рассмотренной модели. Понятно, что дополнительная причина потерь механической энергии в этом случае – потери на неупругие деформации самого пластилина.

**до столкновения**



**после столкновения**

