

Закон сохранения импульса при многократных неупругих столкновениях на демонстрационной дорожке со счетчиком 4-4



Физика

Механика

Энергосбережение и импульс



Уровень сложности

средний



Кол-во учеников

2



Время подготовки

10 Минут



Время выполнения

20 Минут

This content can also be found online at:

<http://localhost:1337/c/5f6a2e0cb07c92000385c6ed>

PHYWE

Общая информация

Описание

PHYWE

Экспериментальная установка

В случае неупругого столкновения кинетическая энергия выводится из системы и преобразуется во внутреннюю энергию, которая больше не доступна для движения.

Таким образом, кинетическая энергия уменьшается с каждым столкновением. Тела обычно деформируются, а затем движутся вместе с импульсом, который соответствует сумме отдельных импульсов до соударения.

Дополнительная информация (1/2)



предварительные знания



Принцип



Учащиеся должны рассмотреть законы сохранения импульса и энергии при неупругом столкновении.

Для нескольких последовательных неупругих столкновений применяется следующее:

$$p_1 + p_2 + p_3 + \dots = p' + p_3 + \dots = p'' + \dots$$

Энергия всей системы с учетом энергий деформации $\Delta E^{(i)}$ равна:

$$E_{kin} = E'_{kin} + \Delta E' = E''_{kin} + \Delta E_1 + \Delta E'' = \dots$$

Дополнительная информация (2/2)



Цель



Задачи



Если две тележки сталкиваются при неупругом столкновении, то они движутся вместе с одинаковой скоростью в одном направлении. Импульс движения равен сумме отдельных импульсов до соударения.

1. Определение импульсов до и после двух неупругих столкновений движущейся тележки с двумя неподвижными тележками.
2. Определение кинетической энергии до и после двух неупругих столкновений движущейся тележки с двумя неподвижными тележками.

Инструкции по технике безопасности



К этому эксперименту применяются общие инструкции по безопасному проведению экспериментов при преподавании естественных наук.

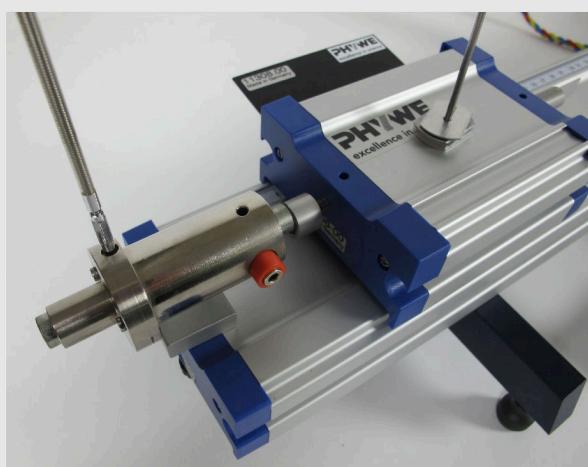
Материал

Позиция	Материал	Пункт №.	Количество
1	Демонстрационная дорожка трек, алюминиевая, длина 1,5 м	11305-00	1
2	Тележка с малым коэффициентом трения, с сапфирными подвесками	11306-00	3
3	Запирающая пластина для тележки, ширина 100 мм	11308-00	3
4	Игла со штекером	11202-06	3
5	Трубка со штекером	11202-05	3
6	Пластилин, 10 брусков	03935-03	1
7	Гиря для тележки, 400 г	11306-10	3
8	Гиря, 10 г, черная	02205-01	4
9	Гиря, 50 г, черная	02206-01	3
10	Запирающий держатель насадка для демонстрационной дорожки	11305-12	1
11	Пусковая система для демонстрационной дорожки	11309-00	1
12	Магнит со штекером	11202-14	1
13	Световой барьер, компактный	11207-20	3
14	Держатель для светового барьера	11307-00	3
15	Таймер 4-4	13604-99	1
16	Соединительный проводник, 1000 мм, красный	07363-01	3
17	Соединительный проводник, 1000 мм, желтый	07363-02	3
18	Соединительный проводник, 1000 мм, синий	07363-04	3
19	Портативные весы, OHAUS CR2200	48914-00	1
20	Гиря, 10 г,	02205-02	4
21	Гиря, 50 г, серебро/ бронза	02206-02	3
22	Гиря с прорезью, 1 г, сталь	03916-00	20



Подготовка и выполнение работы

Подготовка (1/4)



Пусковое устройство

1. Демонстрационную дорожку следует установить под углом с помощью регулировочных винтов на ножках для устранения незначительных эффектов трения тележки, чтобы измерительная тележка не начинала просто катиться вправо.

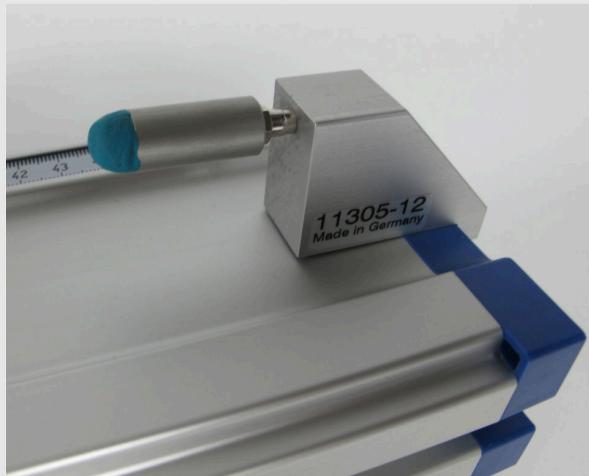
Для регулировки можно также прокатить измерительную тележку с начальным импульсом и сравнить время затенения световых барьеров.

2. Пусковое устройство должно быть установлено на левом конце дорожки.

Пожалуйста, обратите внимание, что для запуска тележки с начальным импульсом пусковое устройство должно быть смонтировано таким образом, чтобы тележка получала импульс от удара (пуансона).

Подготовка (2/4)

PHYWE



Трубка с пластилином прикрепляется к запирающему держателю-насадке

3. Трубка, заполненная пластилином, прикрепляется к запирающему держателю-насадке на правом конце демонстрационной дорожки, чтобы замедлить движение тележки без сильного удара.

4. Три вилочных световых барьера установлены на проезжей части демонстрационной дорожки с держателями световых барьеров и расположены на разметке на 30 см, 70 см и 110 см.

Световой барьер, находящийся ближе к пусковому устройству, называется световым барьером 1, средний - световым барьером 2, а расположенный рядом с торцевым держателем - световым барьером 3.

Подготовка (3/4)

PHYWE

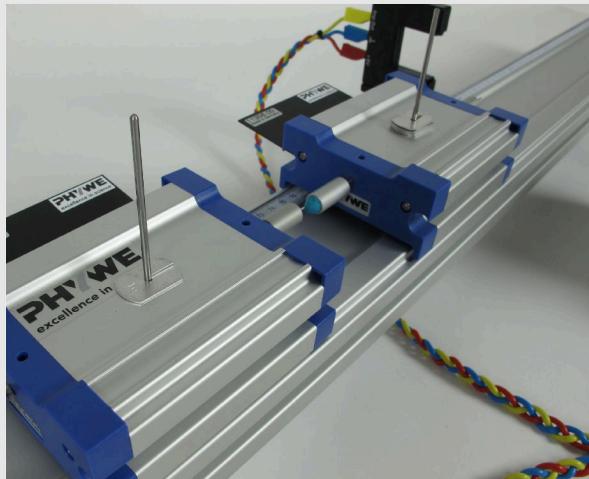


Подключение световых барьеров

5. Световой барьер 1 подключается к разъемам в поле "1", световой барьер 2 - к разъемам в поле "3" таймера. Желтые гнезда световых барьеров подключаются к желтым гнездам измерительного прибора, красные гнезда - к красным, а синие гнезда световых барьеров - к белым гнездам таймера (см. рисунок).

6. Два ползунковых переключателя на таймере устанавливаются в правое положение - «задний (спадающий) фронт» (▼) для выбора фронта триггера.

Подготовка (4/4)



Прерванный сигнал соударения перед световым барьераом

7. Три измерительные тележки размещаются на демонстрационной дорожке:

- Левая тележка, находящаяся ближе к пусковому устройству (тележка 1 со скоростью v_1), оснащена удерживающим магнитом с заглушкой в направлении пускового устройства стартера и иглой с заглушкой в направлении движения.
- По бокам средней тележки (тележка 2 с v_2) и правой тележки (тележка 3) вставлены трубы, с пластилином в направлении тележки 1 и иглы с залушкой в направлении движения.
- На обеих тележках задерживающие пластины длиной ($b = 100\text{мм}$) защелкиваются со стороны, на которой должны быть расположены вилочные световые барьеры.

Выполнение работы (1/3)



1. В начале измерения массы тележек определяются с помощью весов. Масса тележек может незначительно варьироваться из-за различных установленных элементов. Однако в этом эксперименте все три массы тележек должны быть примерно одинаковыми, поэтому небольшие поправки следует вносить, используя грузики с прорезью по 1 г.
2. Для этого таймер необходимо переключить в режим 1 "v(s)" (1 2 3 4). Определяется время затенения вилочных световых барьеров, из которого рассчитывается средняя скорость тележки в течение соответствующего прохождения по длине запирающей пластины.
3. Перед началом каждого эксперимента нажмите кнопку "Сброс", чтобы сбросить показания дисплея.

Выполнение работы (2/3)



4. Тележка 1 помещается в пусковое устройство. Тележка 2 располагается между световыми барьерами 1 и 2 вблизи светового барьера 2. Тележка 3 располагается за световым барьером 2 непосредственно перед световым барьером 3.

Необходимо следить за тем, чтобы соответствующее соударение осуществлялось только тогда, когда предыдущий световой барьер уже полностью пройден (передней) тележкой, и чтобы удар был завершен, когда толкающая тележка движется в направлении следующего светового барьера.

5. При срабатывании пускового устройства тележка 1 ускоряется в направлении тележки 2.

Таким образом, она получает начальную скорость v_1 и толкает тележку 2.

Оба тележки соединяются друг с другом и движутся с общей скоростью v' . Затем они толкают тележку 3 и катятся вместе со скоростью v'' через задний световой барьер.

После первого соударения измерялся размер с одним покрытием, после второго - с двойным.

Выполнение работы (3/3)



6. Прерывание световых барьеров фиксируют только время затенения запирающей пластины на передней тележке.

Однако, поскольку тележки, соединены между собой и движутся с одинаковой скоростью, то это время затенения действует для всех тележек.

7. Скорости $v_i = b / t_i$ должны определяться из трех значений времени затенения t_i с длиной запирающей пластины $b = 100\text{мм}$.

8. Время измерения должно регистрироваться и усредняться до пяти повторений. Затем измерение повторяется как для различных масс тележек, так и для различных соотношений масс.

Оценка (1/11)



Наблюдения

Тележки сталкиваются друг с другом и продолжают двигаться в том же направлении. Скорость с каждым соударением уменьшается.

Оценка (2/11)



Пример измерения для одинаковых масс $m_1 = m_2 = m_3$

$m, \text{кг}$	$t_1, \text{с}$	$t_2', \text{с}$	$t_3'', \text{с}$
0,4	0,163	0,331	0,508
0,52	0,19	0,39	0,611
0,8	0,243	0,507	0,859

Оценка (3/11)

PHYWE

Пример измерения для одинаковых масс $m_1 = m_2 = m_3$

v_1 , м/с	v' , м/с	v'' , м/с	p_1 кг·м/с	p' , кг·м/с	p'' кг·м/с
0,613	0,303	0,197	0,245	0,242	0,236
0,528	0,257	0,164	0,274	0,267	0,256
0,412	0,197	0,116	0,329	0,316	0,28

Оценка (4/11)

PHYWE

Пример измерения для одинаковых масс $m_1 = m_2 = m_3$

$(p' - p_1)/p_1$, %	$(p'' - p')/p'$, %	$(p'' - p_1)/p_1$, %
-1,4	-2,4	-3,7
-2,7	-4,3	-6,9
-4,0	-11,5	-15,1

Оценка (5/11)

Пример измерения для различных масс автомобилей

m_1 , кг	m_2 , кг	m_3 , кг	t_1 , с	t_2' , с	t_3'' , с
0,8	0,6	0,4	0,241	0,435	0,57
0,4	0,6	0,8	0,162	0,413	0,78
0,4	0,55	0,45	0,162	0,394	0,596
0,4	0,45	0,55	0,164	0,354	0,599
0,5	0,8	0,43	0,186	0,499	0,695

Оценка (6/11)

Пример измерения для различных масс автомобилей

$(p' - p_1)/p_1$, %	$(p'' - p')/p'$, %	$(p''' - p_1)/p_1$, %
-3,1	-1,9	-5,0
-1,9	-4,7	-6,5
-2,2	-2,7	-4,9
-1,9	-2,6	-4,4
-3,2	-4,5	-7,6

Оценка (7/11)

Пример измерения для различных масс автомобилей

E_1 кг·м ² /с ²	E' кг·м ² /с ²	E'' кг·м ² /с ²	$\Delta E_g/E_1$ %	$(E'' - E_1)/E_1$ %
0,0692	0,0371	0,0277	-56	-60
0,0762	0,0293	0,0148	-78	-81
0,0762	0,0307	0,0197	-71	-74
0,0748	0,0339	0,0195	-71	-74
0,0727	0,0262	0,0179	-71	-75

Оценка (8/11)

1. Для отдельных измерений, импульсы p_1 до столкновения и $p' = (m_1 + m_2) \cdot v'$ после первого и $p'' = (m_1 + m_2 + m_3) \cdot v''$ после второго соударения рассчитываются на основе масс тележек и скоростей. Поскольку после неупругого удара тележки остаются вместе, их можно рассматривать как тележку с большей массой.

2. Для центральных столкновений с тремя массами закон сохранения импульса применяется до и после каждого столкновения:

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 + m_3 v_3 = (m_1 + m_2) v' + m_3 v_3 = (m_1 + m_2 + m_3) v''. \quad (1)$$

При начальных условиях $v_2 = v_3 = 0$ закон сохранения количества движения в этом эксперименте упрощается следующим образом:

$$m_1 v_1 = (m_1 + m_2) v' = (m_1 + m_2 + m_3) v''. \quad (2)$$

Оценка (9/11)

PHYWE

- 3.** Сравнение измеренных импульсов (см. пример измерения) подтверждает закон сохранения импульсов в пределах ожидаемой погрешности.

Из-за трения импульс тележки уменьшается при прохождении большего расстояния. В примере измерения общий импульс между двумя световыми барьерами уменьшается примерно на 2-4%. При большой общей массе отклонения увеличиваются из-за низкой скорости тележки. Это особенно ясно из примера измерения с тремя тяжелыми тележками по 800 г каждая, где общее снижение импульса составляет более 15%.

- 4.** Рассчитываются кинетические энергии E_1 до столкновения и E' и E'' после соответствующих столкновений. Сравнение кинетических энергий показывает, что кинетическая энергия значительно уменьшается после каждого удара (см. Пример измерения). После двух столкновений кинетическая энергия уменьшилась и составила менее 50% от исходной кинетической энергии (см. $(E'' - E_1) / E_1$).

Оценка (10/11)

PHYWE

- 5.** Однако в закрытой системе энергия должна сохраняться и не может быть потеряна. Причина этого в том, что во время ударов расходуется энергия на деформацию пластилина. Полная энергия деформации $\Delta E_g = \Delta E' + \Delta E'' + \dots$ складывается из энергий деформации отдельных столкновений и приводит к снижению кинетической энергии. Закон сохранения энергии таков:

$$\begin{aligned} & \frac{1}{2}m_1v_1^2 + \frac{1}{2}m_2v_2^2 + \frac{1}{2}m_3v_3^2 \\ &= \frac{1}{2}(m_1 + m_2)v'^2 + \Delta E' + \frac{1}{2}m_3v_3^2 = \frac{1}{2}(m_1 + m_2 + m_3)v''^2 + \Delta E' + \Delta E''. \end{aligned} \quad (3)$$

Оценка (11/11)

PHYWE

6. Принимая во внимание закон сохранения импульса (2), закон сохранения энергии (3) приводят с учетом ожидаемой полной энергии деформации

$$\Delta E_g = -\frac{1}{2}m_1 v_1^2 \cdot \frac{m_2+m_3}{m_1+m_2+m_3}$$

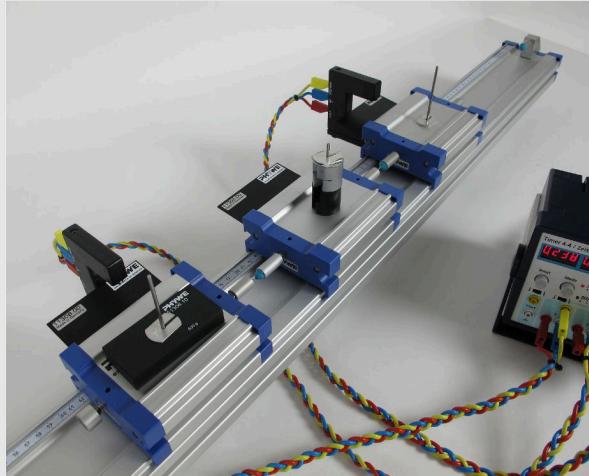
Энергия деформации зависит только от масс отдельных тележек и начальной скорости. Сравнение теоретических значений с измеренными показывает очень хорошее соответствие.

Примечания (1/2)

PHYWE

1. Чтобы ускорить тележку 1 с помощью пускового устройства, пуансон вдавливается до фиксации. Поскольку пусковое устройство предусматривает три ступени разного размера, то необходимо обеспечить, чтобы для каждого эксперимента использовалось одинаковое запирающее устройство, которое передавало одинаковую силу при срабатывании пускового устройства.
2. Тележки не движутся полностью без трения, возникает остаточное трение и общий импульс немного уменьшается. Это также вызывает потерю энергии, так что разница между кинетическими энергиями до и после столкновения не полностью соответствует энергии деформации ΔE пластилина.
3. Перед каждым измерением необходимо проверять правильность посадки обоих запирающих пластин на тележках, так как они могут соскользнуть из-за резкого торможения.

Примечания (2/2)



Прерывание сигнала барьеров после второго соударения

4. При необходимости, следует переделывать пластилин, чтобы воздействие тележки всегда было как можно более амортизованным.

5. Световые барьера рисуют на снимке только одну продолжительность прерывания, например, отображают ситуацию сразу после второго удара.

Световой барьер 2 и световой барьер 3 прерываются.

В то время как световой барьер 3 регистрирует время затенения передней тележки, световой барьер 2 больше не активен, так как время затенения средней тележки было измерено до второго удара.