

Эквивалентность инерционной и гравитационной массы на демонстрационной дорожке со счетчиком 4-4



Физика

Механика

Энергосбережение и импульс



Уровень сложности

средний



Кол-во учеников

2



Время подготовки

20 Минут



Время выполнения

10 Минут

This content can also be found online at:

<http://localhost:1337/c/5f68a8771567aa000386a38b>

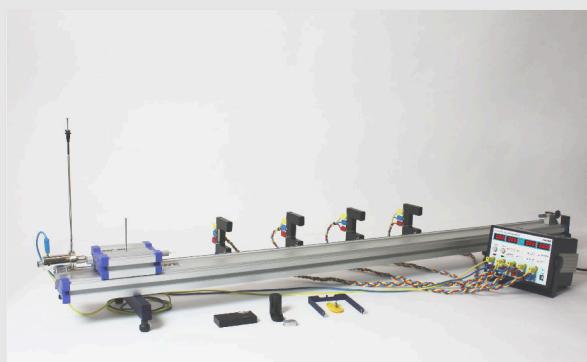
PHYWE



Общая информация

Описание

PHYWE



Экспериментальная установка

Массу тела можно определить различными способами: взвешивая гравитационную массу или измеряя ускорение при известной постоянной ускоряющей силе, в результате чего определяется инертная масса. Предполагается, что гравитационная и инертная массы эквивалентны.

В этом эксперименте тележка с разной гравитационной массой ускоряется на демонстрационной дорожке, а затем определяется ее инертная масса и вычисляется соотношение между гравитационной и инертной массами.

Дополнительная информация (1/2)



предварительные знания



Принципы



Студенты должны хорошо понимать классические уравнения движения и законы Ньютона.

До сих пор понятие "масса" использовалася всегда только при определении веса тела и характеристики его движения.

Гравитационная и инертная масса - это два различных свойства тела.

Между ними не делается никаких различий на основе их эквивалентности, но, тем не менее, следует обратить внимание на то, что это принципиально независимые свойства.

Дополнительная информация (2/2)



Цель



Следует определить четкое различие между двумя физическими характеристиками "вес" и "масса" тела.

Задачи



1. Определение общей гравитационной массы путем взвешивания.
2. Определение ускорения тележки и, исходя из этого, инертной массы системы.
3. Сравнение гравитационной и инертной массы.

Инструкции по технике безопасности



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

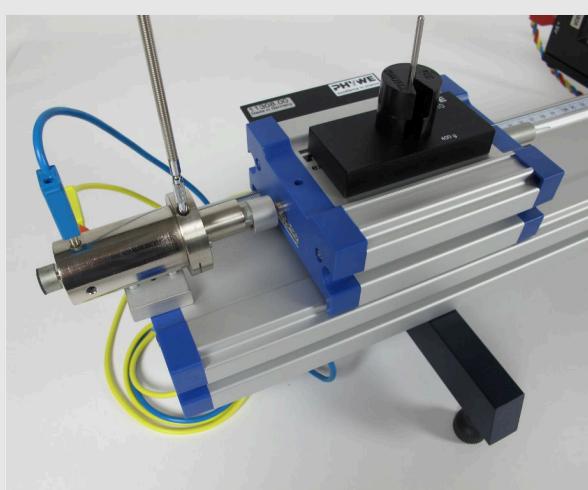
Материал

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	1
3	Запирающая пластина для тележки, ширина 100 мм	11308-00	1
4	Игла со штекером	11202-06	1
5	Трубка со штекером	11202-05	1
6	Пластилин, 10 брусков	03935-03	1
7	Запирающий держатель насадка для демонстрационной дорожки	11305-12	1
8	Пусковая система для демонстрационной дорожки	11309-00	1
9	Магнит со штекером	11202-14	1
10	Блок для демонстрационной дорожки	11305-10	1
11	Держатель для блока	11305-11	1
12	Гиря для тележки, 400 г	11306-10	1
13	Гиря, 50 г, черная	02206-01	3
14	Гиря, 10 г, черная	02205-01	4
15	Держатель для груза, серебро/бронза, 1 г	02407-00	1
16	Гиря с прорезью, 1 г, сталь	03916-00	20
17	нить	02412-00	1
18	Световой барьер, компактный	11207-20	4
19	Держатель для светового барьера	11307-00	4
20	Таймер 4-4	13604-99	1
21	Соединительный проводник, 1000 мм, красный	07363-01	4
22	Соединительный проводник, 1000 мм, желтый	07363-02	5
23	Соединительный проводник, 1000 мм, синий	07363-04	5
24	Портативные весы, OHAUS CR2200	48914-00	1



Подготовка и выполнение работы

Подготовка (1/6)



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.

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 пусковой механизм отходил от измерительной тележки при его срабатывании.

Подготовка (2/6)

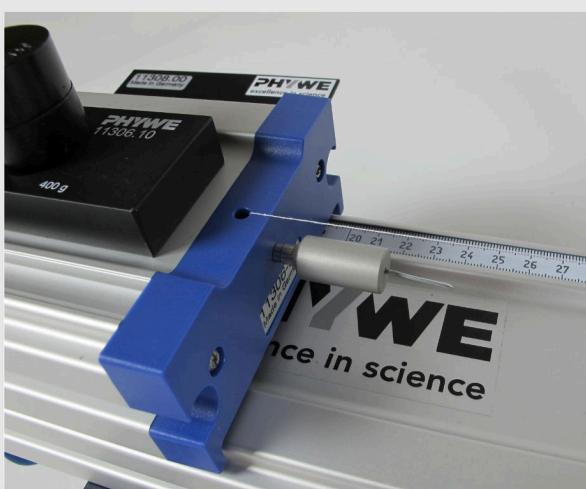



Трубка с пластилином прикрепляется к запирающему держателю-насадке

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

4. Направляющий блок крепится к правому краю дорожки с помощью держателя для блока и вставляется инкрементное колесо.

Подготовка (3/6)

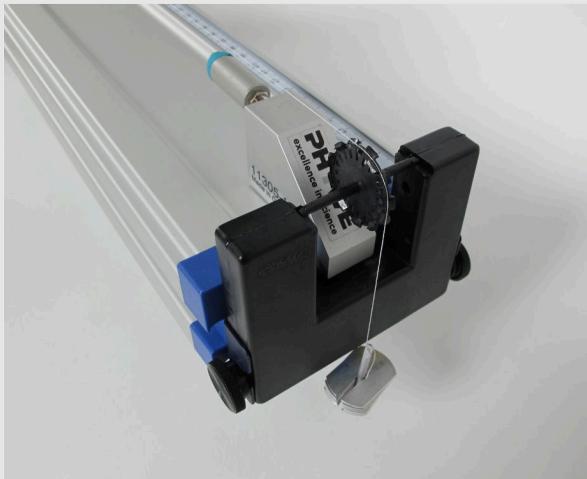



Прикрепление нити к тележке

5. Измерительная тележка снабжена удерживающим магнитом с заглушкой и запирающей пластиной для измерительной тележки ($b = 100$ мм).

6. Начало нити располагают сверху в заднем вертикальном отверстии торцевой крышки тележки и закрепляют, вставляя удерживающий магнит с заглушкой в горизонтальное отверстие.

Подготовка (4/6)

Расположение грузика

7. Нить надевается на инкрементное колесо блока, а конец завязывается на держателе для грузов так, чтобы он свободно свисал прямо под колесом, как показано на рисунке. Держатель для грузов и 5-20 грузиков с прорезями (по 1 г каждый) на нем служат постоянной ускоряющей силой. Важно следить за тем, чтобы нить проходила параллельно дорожке.

8. Масса тележки может быть изменена с помощью грузиков, окрашенных в черный цвет.

Подготовка (5/6)



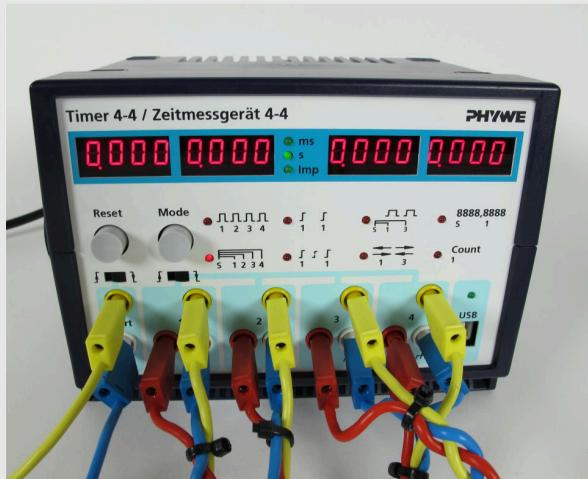

Прерывание сигнала во время прохождения запирающей пластины

9. Четыре вилочных световых барьера устанавливаются с помощью специальных держателей для световых барьеров на проезжей части демонстрационной дорожки и равномерно распределяются по измерительному участку.

10. Подключите четыре вилочных барьера последовательно слева направо к гнездам в полях "1" - "4" таймера.

Желтые гнезда световых барьеров подключаются к желтым гнездам измерительного прибора, красные гнезда - к красным, а синие гнезда световых барьеров - к белым гнездам таймера.

Подготовка (6/6)



Подключение световых барьеров и пускового устройства

11. Пусковое устройство должно быть подключено к двум гнездам "Пуск" таймера.

Убедитесь, что полярность правильная. Красный разъем пускового устройства подключается к желтому разъему таймера.

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

Выполнение работы (1/2)

1. Измерительная тележка освобождается стартером и испытывает постоянное ускорение до тех пор, пока держатель грузов не коснется пола. Затем она продолжает катиться с постоянной скоростью.

2. Определяются, в первую очередь, промежутки $t_1 \dots t_4$ между началом движения и соответствующим световым барьером, в режиме 2 ($\text{S } 1 2 3 4$). Затем в режиме 1 ($\text{L } 1 2 3 4$) выполняется измерение для определения соответствующих скоростей.

При выполнении этого измерения, определяется время затенения $\Delta t_1 \dots \Delta t_4$ четырех вилочных световых барьеров и вычисляется средняя скорость во время соответствующего прохода по длине по длине запирающей пластины (100 мм).

Выполнение работы (2/2)

3. Время измерения регистрируется до пяти раз для различных масс тележек при постоянной массе держателя грузов. Перед каждым запуском нажмите кнопку "Сброс". Перед началом новой серии измерений, общая гравитационная масса $m_s = m_W + m_A$ (масса тележки и ускоряющая масса привода) определяется с помощью весов.
4. Гравитационная масса тела пропорциональна силе тяжести, действующей на него F_g , и должна определяться для привода (m_A - держателя грузов с грузиками) с помощью весов.

Оценка (1/8)

Пример измерения для светового барьера 1

F_g , Н	m_s , кг	t_{1m} , с	Δt_{1m} , с	v_1 , м/с	a_1 , м/с ²
0,0981	0,41	1,235	0,293	0,341	0,276
0,0981	0,55	1,436	0,344	0,291	0,202
0,0981	0,81	1,781	0,43	0,233	0,131

Пример измерения для светового барьера 2

F_g , Н	m_s , кг	t_{2m} , с	Δt_{2m} , с	v_2 , м/с	a_2 , м/с ²
0,0981	0,41	1,776	0,22	0,454	0,256
0,0981	0,55	2,067	0,258	0,387	0,187
0,0981	0,81	2,573	0,323	0,309	0,12

Оценка (2/8)

Пример измерения для светового барьера 3

F_g , Н	m_s , кг	t_{3m} , с	Δt_{3m} , с	v_3 , м/с	a_3 , м/с ²
0,0981	0,41	2,202	0,185	0,541	0,245
0,0981	0,55	2,566	0,217	0,46	0,179
0,0981	0,81	3,2	0,273	0,367	0,115

Пример измерения для светового барьера 4

F_g , Н	m_s , кг	t_{3m} , с	Δt_{3m} , с	v_3 , м/с	a_3 , м/с ²
0,0981	0,41	2,555	0,163	0,613	0,24
0,0981	0,55	2,98	0,192	0,52	0,175
0,0981	0,81	3,722	0,243	0,412	0,111

Оценка (3/8)

Средние значения в примерах измерения

F_g , Н	m_s , кг	a_m , м/с ²	$1/a$, с ² /м
0,0981	0,41	0,254	3,94
0,0981	0,55	0,186	5,38
0,0981	0,81	0,119	8,4

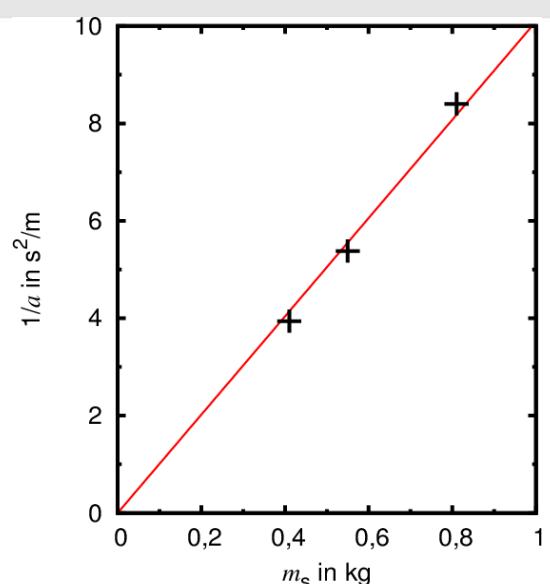
Оценка (4/8)

- Средние значения $t_{1m} \dots t_{4m}$ и $\Delta t_{1m} \dots \Delta t_{4m}$ должны быть определены по пяти измерениям $t_1 \dots t_4$ и $\Delta t_1 \dots \Delta t_4$.
- Время затенения используется для расчета скорости. $v_{im}(t_{im}) = b/\Delta t_{im}$ и ускорения $a_i = v_{im}(t_{im})/t_{im}$, где $b = 0,1$ м - длина запирающей пластины тележки.
- Четыре ускорения, связанные с серией измерений a_i усредняют. Из полученных значений a_m вычисляют обратные значения ускорения $1/a_m$ (см. пример измерения 1).

Оценка (5/8)

- В конце концов, величины обратного ускорения $1/a_m$ наносят на график в зависимости от общей гравитационной массы m_s тележки и массы привода в системе координат, и через эти точки определяют наклон прямой линии.

Для сравнения, примеры измерения показаны на рисунке.



Оценка (6/8)

5. Каждое тело обладает свойством гравитации. Из-за гравитационного притяжения оно испытывает ускоряющую силу, силу тяжести F_g , которая пропорциональна ее гравитационной массе m_s (закон всемирного тяготения Ньютона).

В этом эксперименте гравитационная масса $m_s = m_W + m_A$ состоит из массы тележки и массы привода.

6. Если на тело не действует сила, оно остается в состоянии движения (первый закон Ньютона). Когда к телу прилагается внешняя сила, оно сопротивляется изменению своего состояния движения, свойству инерции.

Чем больше его инертная масса m_t , тем больше силы нужно приложить для ускорения тела до определенного значения (второй закон Ньютона).

Оценка (7/8)

7. Значения системы координат ($1/a$, m_s), дают прямую линию, проходящую через начало координат. При постоянной ускоряющей силе гравитационная масса системы обратно пропорциональна ускорению тележки:

$$m : s \propto \frac{1}{a} \text{ для } F_g = \text{const.}$$

Чем больше гравитационная масса M_s , тем меньше ускорение a .

8. Согласно второго закона Ньютона $F_g = m_t \cdot a$, масса m_t тела обратно пропорциональна его ускорению a .

Если и гравитационная, и инертная массы обратно пропорциональны ускорению, то гравитационная и инертные массы должны быть пропорциональны друг другу:

$$m_s = k \cdot m_t.$$

Оценка (8/8)



9. Определение коэффициента пропорциональности k происходит через треугольник градиента на графике из слайда 20.

Значение градиента составляет $10,1 \text{ c}^2/(\text{кг}\cdot\text{м})$, а его обратное значение равно $0,0990 \text{ кг}\cdot\text{м}/\text{c}^2$ - это сила тяжести.

$F_g = 0,0981 \text{ кг}\cdot\text{м}/\text{c}^2$ (см. пример измерения 1).

Поэтому гравитационная и инертная массы должны быть идентичны:

$$m_s = m_t.$$

Примечания



1. Чтобы уменьшить расстояние между держателем груза и инкрементальным колесом, длину нити можно уменьшить, повернув иглу с заглушкой на тележке несколько раз и, таким образом, намотав нить.

2. Скорости v_i , вычисленные по Δt_i строго говоря, не являются мгновенными скоростями, поскольку ускорение продолжает действовать на тележку, когда ее запирающая пластина проходит через световой барьер.

Скорости, таким образом, являются результатом секанса наклона, а не наклона прямой на графике $s(t)$. При $\Delta s = 0,1 \text{ м}$ следует ожидать систематическую погрешность около 2 %.