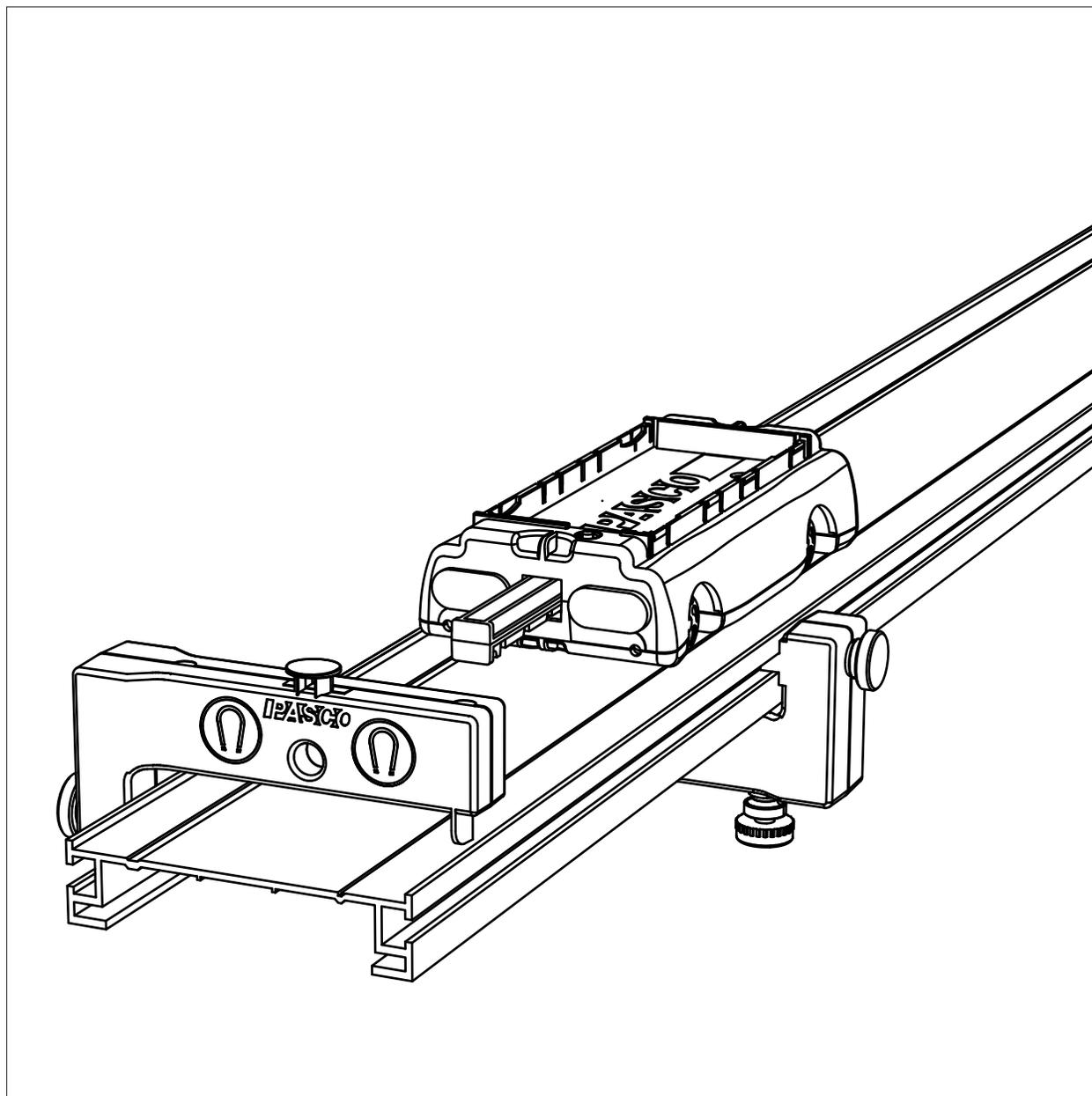


# Расширенная динамическая система 2,2 м PAScar ME-9432

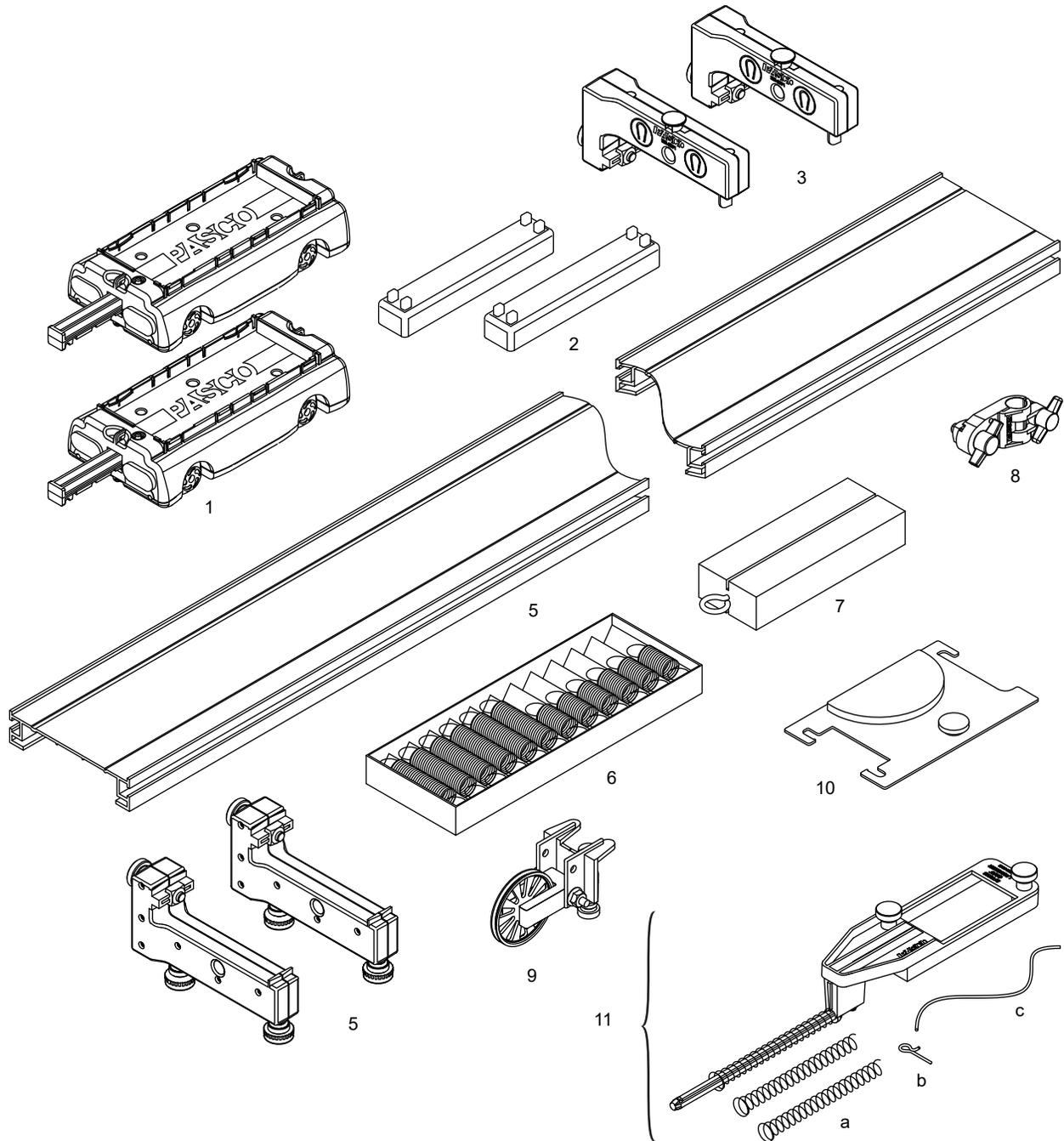


# Содержание

Оборудование в комплекте . . . . .	4
Введение. . . . .	4
Об этом оборудовании . . . . .	5
Запасные части . . . . .	8
Об экспериментах . . . . .	8
Эксперимент 1. Сохранение импульса при взрыве . . . . .	9
Эксперимент 2. Сохранение импульса при соударении. . . . .	11
Эксперимент 3. Простой гармонический осциллятор. . . . .	13
Эксперимент 4. Колебания при движении по наклонной плоскости . . . . .	17
Эксперимент 5. Последовательное и параллельное соединение пружин . . . . .	21
Эксперимент 6. Начальная скорость . . . . .	23
Эксперимент 7. Второй закон Ньютона . . . . .	25
Эксперимент 8. Движение под уклон с ускорением . . . . .	27
Эксперимент 9. Сохранение энергии . . . . .	31
Рекомендуемые дополнительные эксперименты . . . . .	35
Техническая поддержка. . . . .	37

# Расширенная динамическая система 2,2 м PAScar

ME-9432



Оборудование в комплекте	Кол-во	Артикул запасной части
1. Тележка PAScar (2 шт.)	1	ME-6950
2. Груз для тележки (250 г)	2	ME-6756
3. Регулируемые стопы	2	ME-8971 (2 шт.)
4. Дорожка для опытов по динамике длиной 2,2 м	1	ME-9779
5. Регулируемые опоры	2	ME-8972 (2 шт.)
6. Набор пружин (12 шт.)	1	ME-8999
7. Груз-брусоч для изучения силы трения	1	ME-9807
8. Муфта для штатива	1	ME-9836 (2 шт.)
9. Подвижный блок с креплением	1	ME-9448A
10. Угломер	1	ME-9495A
11. Пружинное пусковое устройство, включая:		ME-6843
а. пружины, работающие на сжатие;	3	} ME-6847 (6 пружин, 4 спусковых крючка)
б. спусковой крючок;	2	
в. струну.	1 м	

## Введение

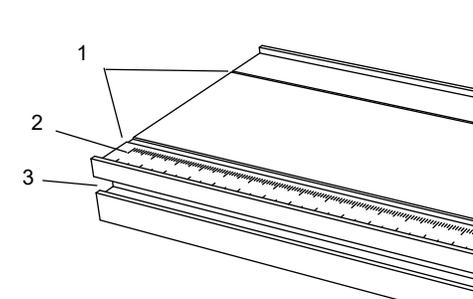
Система Расширенная динамическая система 2,2 м PAScar включает все необходимое для проведения различных опытов и демонстраций. Ее также можно использовать в сочетании с другими системами PASCO (как обычными, так и компьютерными) для расширения области применения.

В данном руководстве описывается оборудование, входящее в комплект, приводятся подробные инструкции по проведению девяти основных экспериментов, а также десяти дополнительных.

## Сведения об используемом оборудовании

**Дорожка.** Алюминиевая дорожка длиной 2,2 м с двумя пазами, которые служат направляющими для колес тележки, шкалой для определения положения тележки и Т-образными прорезями по обеим сторонам для крепления стопоров, опор и других принадлежностей.

*Совет.* Дорожка рассчитана на вес тележек и сопутствующих принадлежностей. Помещение на дорожку слишком тяжелых предметов может привести к ее изгибанию. Не кладите на дорожку тяжелые предметы, помещая ее на хранение.

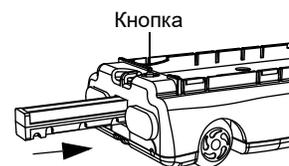


**Конструкция дорожки**

1. Пазы. 2. Шкала. 3. Т-образная прорезь.

**Тележка PAScar (2 шт.).** Тележки, которые движутся по дорожке на колесах с низким коэффициентом трения.

Каждая тележка PAScar оборудована пружинным пускателем, который может отгаливовать тележку от стопора или другой тележки. Пускатель можно задвигать внутрь до первого, второго или третьего щелчка (соответственно, тележка будет двигаться с низкой, средней или высокой скоростью). Для срабатывания пускателя необходимо нажать пусковую кнопку. Когда пускатель не используется, следует задвигать его внутрь до упора (четвертая позиция).

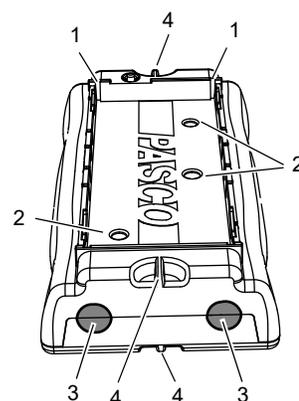


**Пускатель тележки PAScar**

1. Задвиньте пускатель.  
2. Нажмите пусковую кнопку.

Для моделирования упругих и неупругих соударений обе тележки оснащены амортизаторами-«липучками» на одном конце и магнитными амортизаторами на другом. Когда тележки сталкиваются сторонами с амортизаторами-«липучками», они прилипают друг к другу. При соударении тележек сторонами с магнитными амортизаторами, тележки отталкиваются, не касаясь друг друга. Магнитные амортизаторы также отталкиваются от магнитов на стопорах.

Верхняя часть каждой тележки представляет собой площадку, на которую можно класть грузы, входящие в комплект. На верхней и нижней стороне обоих концов площадки расположены места для крепления струны. Также на тележках имеются резьбовые отверстия для крепления дополнительных приспособлений и датчиков, а также слоты для установки перегородки (например, PASCO ME-9804) или угломера (входит в комплект).

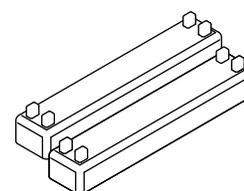


**Строение тележки**

1. Гнездо. 2. Резьбовое отверстие. 3. Амортизатор. 4. Место крепления.

*Дополнительные сведения см. в руководствах к тележкам.*

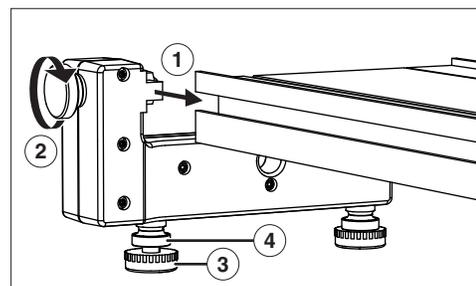
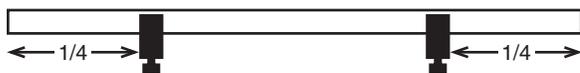
**Грузы для тележек.** 250-граммовые грузы, которые помещаются на верхнюю площадку тележки PAScar.



**Грузы для тележек**

**Регулируемые опоры.** Опоры крепятся к дорожке, как показано на рисунке. С помощью винтов на опорах регулируется горизонтальный уровень дорожки, после чего они фиксируются контргайками.

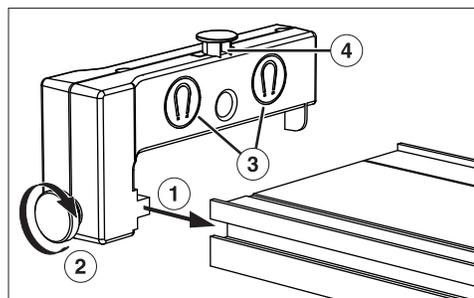
Для достижения максимальной устойчивости опоры следует устанавливать на расстоянии прилб. 1/4 длины дорожки от ее концов.



**Регулируемые опоры**

1. Вставьте выступы в Т-образные прорези.
2. Затяните барашковые винты, чтобы закрепить опоры.
3. Отрегулируйте уровень дорожки с помощью винтов на опорах.
4. Затяните контргайки, чтобы зафиксировать винты на опорах.

**Регулируемые стопоры.** Стопоры крепятся к дорожке, как показано на рисунке. Они оборудованы магнитами, которые отталкивают магнитные амортизаторы тележек. Также на стопорах имеется выступ для крепления пружины.



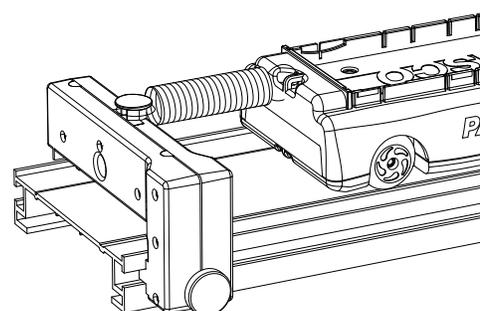
**Регулируемый стопор**

1. Вставьте выступ в Т-образную прорезь сбоку дорожки.
2. Затяните барашковые винты, чтобы закрепить стопор.
3. Магниты для отталкивания магнитных амортизаторов тележки.
4. Выступ для крепления пружины.

**Набор пружин.** Идеально подходит для изучения гармонических колебаний тележек на ровной или наклонной дорожке. Пружины вставляются в отверстия по концам тележек PAScar и крепятся к выступам на стопорах.

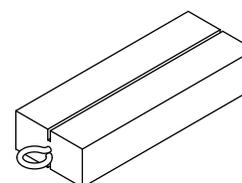
В набор входит 12 пружин с коэффициентом жесткости порядка 3,4 Н/м (три длинных и три коротких пружины) и 6,8 Н/м (три длинных и три коротких пружины).

Пружины упакованы в специальный футляр.



**Пружина, стопор и тележка PAScar**

**Груз-брусок для изучения силы трения.** Груз-брусок для изучения силы трения имеет поверхности двух различных типов (деревянная и войлочная) и грани двух различных площадей для изучения трения. Груз-брусок для изучения силы трения снабжен шурупом с кольцом для крепления струны и пазами на обеих широких сторонах для установки перегородки (например, PASCO ME-9804) или угломера (входит в комплект).



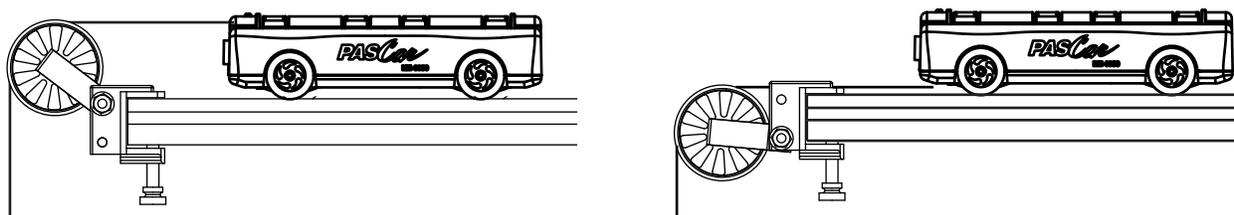
**Груз-брусок для изучения силы трения**

**Муфта для штатива.** Муфта для штатива крепится к Т-образной прорези на дорожке, как показано на рисунке, для поднятия одного из концов дорожки с помощью штатива.



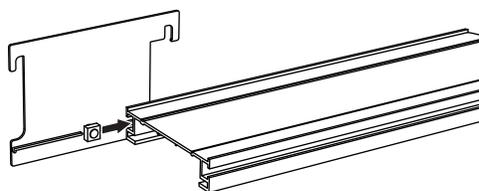
**Подвижный блок с креплением.** Малоинерционный блок с низким коэффициентом трения, предназначенный для крепления на конце дорожки. Струна привязывается к отверстию на конце тележки PAScar и пропускается через блок. Путем регулировки высоты блока можно добиться того, чтобы струна шла параллельно дорожке.

При необходимости блок можно закрепить в нижнем положении, как показано на рисунке. Струна в этом случае привязывается к противоположному концу тележки PAScar и пропускается под ней. Когда шкив закреплен в нижнем положении, струну можно пропустить под стопором, другой тележкой PAScar или датчиком движения.

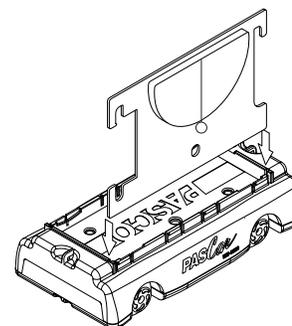


Подвижный блок со струной в нормальном положении (слева) и в нижнем положении (справа)

**Угломер.** Угломер присоединяется к дорожке, как показано на рисунке. Также можно открутить соединительный винт и вставить угломер в гнездо на тележке PAScar или в паз груза-бруска для изучения силы трения. Угол наклона измеряется по отвесной нити.

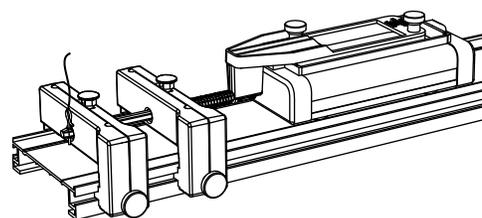


Угломер на дорожке



Угломер на тележке PAScar

**Пружинное пусковое устройство.** Это устройство предназначено для изучения силы и движения, потенциальной энергии, закона сохранения энергии, теоремы об изменении кинетической энергии, закона Гука и коэффициентов жесткости пружин. С его помощью можно запускать тележки PAScar, сжимая, а затем отпуская пружину (доступны три сменных пружины). Благодаря спусковому крючку (входит в комплект) и двум стопорам можно добиться одинаковой степени сжатия пружины в нескольких опытах.



Пружинное пусковое устройство

Дополнительные сведения см. в описании эксперимента 9 на стр. 31 и в руководстве к пусковому устройству.

## Запасные части

При необходимости вы можете заказать любые основные компоненты системы, воспользовавшись списком запасных частей в таблице на стр. 4. Также доступны перечисленные ниже комплекты более мелких частей.

**Комплект запасных частей IDS (ME-9823).** Включает различные барашковые винты, квадратные гайки и пружинные маятники.

**Комплект пружин для пускового устройства (ME-6847).** Включает четыре пружины, работающие на сжатие, и четыре спусковых крючка для пускового устройства.

За помощью в определении номера детали обращайтесь в службу технической поддержки PASCO (см. стр. 4).

## Об экспериментах

С помощью оборудования, включенного в данную систему, и другого оборудования, имеющегося в любой физической лаборатории начального уровня, можно провести описанные ниже девять экспериментов. Точный список необходимого оборудования для каждого эксперимента см. в его описании.

1. **Сохранение импульса при взрыве** (стр. 9). Демонстрация закона сохранения импульса при столкновении двух тележек.
2. **Сохранение импульса при соударении** (стр. 11). Демонстрация закона сохранения импульса при упругих и неупругих соударениях.
3. **Простой гармонический осциллятор** (стр. 13). Изучение зависимости периода колебаний системы от ее массы.
4. **Колебания при движении по наклонной плоскости** (стр. 17). Изучение колебаний тележки, присоединенной к пружине, на наклонной дорожке.
5. **Последовательное и параллельное соединение пружин** (стр. 21). Изучение периода колебаний тележки при последовательном и параллельном соединении пружин.
6. **Начальная скорость** (стр. 23). Качественная демонстрация зависимости конечной скорости тележки от ее массы и начального сжатия пружины пускателя.
7. **Второй закон Ньютона** (стр. 25). Количественное определение зависимости ускорения тележки от ее массы и результирующей силы.
8. **Движение под уклон с ускорением** (стр. 27). Определение ускорения свободного падения ( $g$ ) посредством измерения ускорения тележки при движении по наклонной дорожке.
9. **Сохранение энергии** (стр. 31). Запуск тележки вверх по наклонной дорожке с помощью пружинного пускового устройства. Сравнение потенциальной энергии пружины в начале опыта с максимальной потенциальной энергией тележки в поле силы тяжести Земли.

**Рекомендуемые дополнительные эксперименты** (стр. 35). Многие из этих опытов являются немного измененными вариантами вышеописанных экспериментов. Для некоторых из них потребуется дополнительное оборудование и тележки.

# Эксперимент 1. Сохранение импульса при взрыве

## Необходимое оборудование из системы Dynamics System

Дорожка с регулируемыми опорами и стопорами

Тележки PAScar (2 шт.)

Грузы для тележек

Прочее необходимое оборудование	Рекомендуемый артикул
Набор грузов	ME-8979

## Цель

Цель данного эксперимента — демонстрация закона сохранения импульса при отталкивании двух тележек друг от друга.

## Теория

Когда две тележки отталкиваются друг от друга (и в системе нет результирующей силы), суммарный импульс сохраняется. Если изначально система покоится, итоговые импульсы двух тележек будут равны по величине и противоположны по направлению. Таким образом, суммарный импульс системы будет равен нулю:

$$0 = m_1 v_1 - m_2 v_2 = 0$$

Соответственно, отношение конечных скоростей тележек будет равно отношению их масс.

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{m_1}{m_2}$$

В целях упрощения эксперимента начальная точка для покоящихся тележек выбирается таким образом, чтобы обе тележки достигли концов дорожки одновременно. Для определения скорости (которая рассчитывается как расстояние, деленное на время) можно просто измерить пройденное тележками расстояние, так как время их движения будет одинаковым.

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{\left(\frac{\Delta x_1}{\Delta t}\right)}{\left(\frac{\Delta x_2}{\Delta t}\right)} = \frac{\Delta x_1}{\Delta x_2}$$

Таким образом, отношение расстояний равно отношению масс:

$$\frac{\Delta x_1}{\Delta x_2} = \frac{m_1}{m_2}$$

## Описание эксперимента

1. Установите дорожку на опоры и выровняйте ее горизонтально. По концам дорожки установите стопоры, повернув их магнитными сторонами *от* центра дорожки.

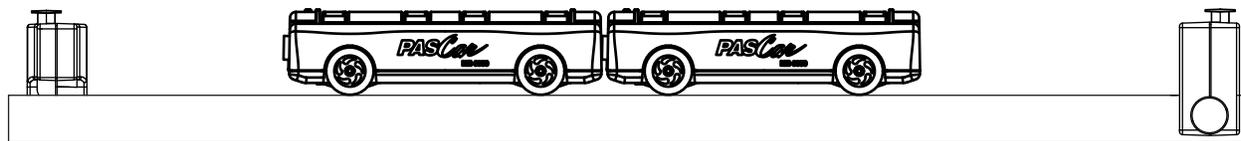


Рис. 1.1

2. Для каждого случая в табл. 1.1 расположите две тележки PAScar напротив друг друга, задвинув пускатель одной из них внутрь до упора (см. рис. 1.1).
3. Нажмите пусковую кнопку пускателя короткой палочкой и наблюдайте за движением тележек к концам дорожки. Проведите опыты с различными начальными положениями тележек и добейтесь того, чтобы тележки достигли концов дорожки одновременно. Измерьте массу тележек. Запишите значения массы и начального положения в табл. 1.1.

Таблица 1.1. Результаты

Дополнительный груз на тележке № 1	Дополнительный груз на тележке № 2	$m_1$	$m_2$	Начальное положение	$x_1$	$x_2$	$x_1/x_2$	$m_2/m_1$
0	0							
250 г	0							
500 г	0							
500 г	250 г							

## Анализ данных

1. Для каждого случая рассчитайте расстояние, пройденное тележкой от начальной точки до конца дорожки. Запишите результат в табл. 1.1.
2. Рассчитайте отношение расстояний и запишите результат в таблицу.
3. Рассчитайте отношение масс и запишите результат в таблицу.

## Вопросы

1. Совпадает ли отношение расстояний с отношением масс для каждого случая? Другими словами, сохраняется ли импульс системы?
2. Когда тележки различной массы отталкиваются друг от друга, у какой из них импульс больше?
3. Когда тележки различной массы отталкиваются друг от друга, у какой из них кинетическая энергия больше?
4. Зависит ли начальное положение тележек от того, у какой из них используется пускатель? Почему?

## Эксперимент 2. Сохранение импульса при соударении

### Необходимое оборудование из системы РДС 2,2 м PAScar

Дорожка с опорами

Тележки PAScar (2 шт.)

### Прочее необходимое оборудование

Бумага (для построения диаграмм)

### Цель

Цель данного эксперимента — изучить закон сохранения импульса в качественном выражении для упругих и неупругих соударений.

### Теория

Когда две тележки сталкиваются, их суммарный импульс остается неизменным вне зависимости от типа соударения.

Упругим называется соударение, когда тележки отталкиваются друг от друга без потери кинетической энергии. В данном эксперименте магнитные амортизаторы минимизируют потери энергии из-за трения при соударении. На самом деле это «упругое» соударение не совсем упругое.

Абсолютно неупругое соударение — это соударение, при котором тележки прилипают друг к другу. В нашем эксперименте для этого используются амортизаторы-«липучки».

### Часть I. Упругие соударения

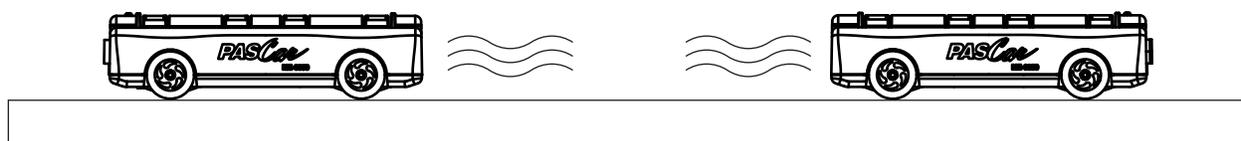


Рис. 2.1

1. Установите дорожку на опоры и выровняйте ее горизонтально.
2. Расположите две тележки PAScar на дорожке, повернув их магнитными амортизаторами друг к другу.
3. Проведите эксперимент для описанных ниже случаев А1–А3 и В1–В3. Нарисуйте две диаграммы (одну — до соударения и вторую — после) для каждого случая. На каждой диаграмме изобразите вектор скорости для каждой тележки, так чтобы его длина приблизительно равнялась относительной скорости тележки.

#### А. Тележки равной массы

**Случай А1.** Поместите одну тележку на середине дорожки. Другой тележке сообщите начальную скорость по направлению к первой.

**Случай А2.** Поместите тележки на разных концах дорожки. Сообщите им приблизительно одинаковую скорость по направлению друг к другу.

**Случай А3.** Поместите тележки на одном конце дорожки. Сообщите первой тележке небольшую скорость, а второй — относительно большую, чтобы она могла догнать первую.

### **В. Тележки различной массы**

Положите на одну из тележек PAScar два грузовых бруска, чтобы ее масса (3М) стала примерно в три раза больше массы другой тележки (1М).

**Случай В1.** Поместите тележку 3М на середине дорожки. Другой тележке сообщите начальную скорость по направлению к первой.

**Случай В2.** Поместите тележку 1М на середине дорожки. Тележке с трехкратной массой (3М) сообщите начальную скорость по направлению к первой.

**Случай В3.** Поместите тележки на разных концах дорожки. Сообщите им приблизительно одинаковую скорость по направлению друг к другу.

**Случай В4.** Поместите тележки на одном конце дорожки. Сообщите первой тележке небольшую скорость, а второй — относительно большую, чтобы она могла догнать первую. Проведите этот эксперимент в двух вариантах: с тележкой 1М впереди и с тележкой 3М впереди.

## **Часть II. Абсолютно неупругие соударения**

1. Расположите две тележки PAScar на дорожке, повернув их амортизаторами-«липучками» друг к другу. Задвиньте пускатель внутрь до упора, чтобы он не мешал соударению.
2. Проведите эксперимент для случаев А1–А3 и В1–В3 и нарисуйте диаграммы для каждого случая.

## **Вопросы**

1. Если две тележки, имеющие одинаковую массу и одинаковую скорость, сталкиваются и прилипают друг к другу, они останавливаются. Сохраняется ли при этом импульс?
2. Если две тележки, имеющие одинаковую массу и одинаковую скорость, сталкиваются и упруго отскакивают друг от друга, каков их конечный суммарный импульс?

## Эксперимент 3. Простой гармонический осциллятор

### Необходимое оборудование из системы Dynamics System

Дорожка с опорами и стопорами

Тележка PAScar

Подвижный блок с креплением

Пружинный маятник (2 шт.)

Груз для тележки (250 г)

Прочее необходимое оборудование	Рекомендуемый артикул
Подвеска для грузов и набор грузов	ME-8979
Секундомер	ME-1234
Противовес	SE-8723
Струна (прибл. 2 м)	
Бумага для построения графиков	

### Цель

Цель данного эксперимента — измерить период колебаний пружины и системы грузов и сравнить его с теоретическим значением.

### Теория

Для груза, прикрепленного к пружине, теоретический период колебаний рассчитывается по формуле

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$$

где  $T$  — это время одного полного перемещения вперед и назад,  $m$  — масса колеблющегося тела и  $k$  — коэффициент жесткости пружины.

По закону Гука сила  $F$ , создаваемая пружиной, пропорциональна длине  $x$ , на которую она сжимается или растягивается:  $F = kx$ , где  $k$  — коэффициент жесткости пружины. Таким образом, коэффициент жесткости пружины можно измерить экспериментальным путем, растягивая пружину с различной силой на различную длину. Если построить график зависимости силы от расстояния, тангенс угла наклона полученной прямой будет равен  $k$ .

### Описание эксперимента

#### Измерения для определения коэффициента жесткости пружины и теоретического периода колебаний

1. Измерьте массу тележки PAScar и запишите ее в табл. 3.1.
2. Установите дорожку на опоры и выровняйте ее горизонтально.
3. Установите стопоры на расстоянии примерно 1 м друг от друга.

4. Укрепите блок с помощью зажима на одном конце дорожки.
5. Поместите тележку PAScar на дорожку и присоедините пружину к каждому ее концу. Присоедините другой конец каждой пружины к стопору (см. рис. 3.1).
6. Привяжите струну к концу тележки (дальней от блока). Протащите струну под тележкой, затем под одним стопором и над блоком, как показано на рис. 3.1. К другому концу струны прикрепите подвеску для грузов. Отрегулируйте блок так, чтобы струна шла параллельно дорожке.
7. Груз должен висеть свободно. Дождитесь, пока тележка остановится. Запишите массу подвески и равновесное положение покоя каждой тележки в табл. 3.1.
8. Наденьте на подвеску один груз. Запишите массу груза и новое равновесное положение покоя тележки в табл. 3.1. Повторите эти действия для пяти различных грузов. Будьте внимательны: не допустите чрезмерного растяжения пружины.

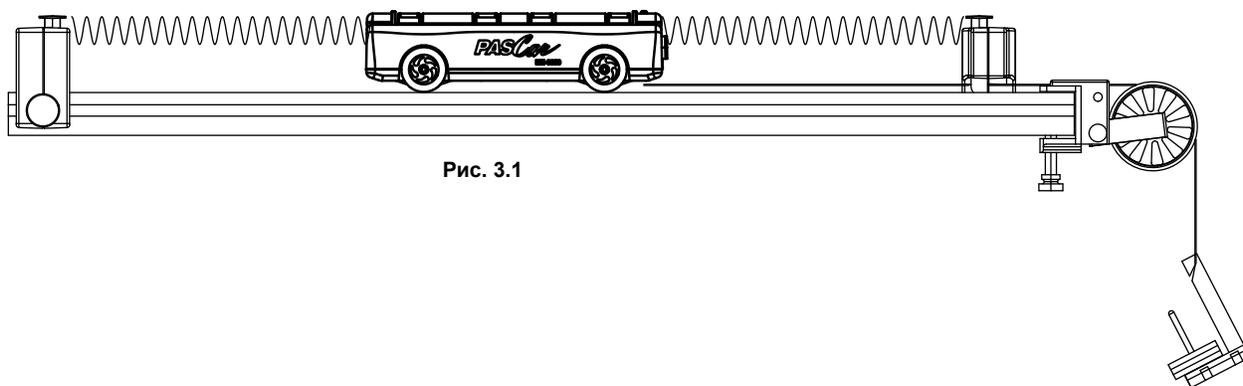


Рис. 3.1

Таблица 3.1. Данные и анализ

Масса тележки = _____		
Масса подвешенного груза	Положение	Сила

### Измерение экспериментального периода колебаний

1. Переместите тележку PAScar от положения равновесия и отпустите ее. Измерьте время пяти колебаний и запишите его в табл. 3.2.
2. Повторите этот опыт пять раз с одинаковым первоначальным смещением тележки.
3. Положите на тележку груз массой 250 г и повторите шаги 1 и 2.

## Расчеты

### Коэффициент жесткости пружины и теоретический период колебаний

1. Рассчитайте силы, создаваемые подвешенным грузом, и запишите их в табл. 3.1.
2. По данным из табл. 3.1 постройте график зависимости силы от положения. Проведите прямую линию по точкам данных на графике (максимально близко к точкам) и определите тангенс угла наклона. Он будет равен коэффициенту жесткости пружины  $k$ .

$k =$  \_\_\_\_\_

3. Зная массу тележки и коэффициент жесткости пружины, рассчитайте теоретический период колебаний тележки с грузом и без груза.

Теоретический период колебаний тележки без груза \_\_\_\_\_

Теоретический период колебаний тележки с грузом \_\_\_\_\_

### Экспериментальный период колебаний

1. На основе данных в табл. 3.2 рассчитайте среднее время пяти колебаний тележки без груза и тележки с грузом 250 г.
2. Рассчитайте период колебаний, разделив полученное среднее время на 5. Запишите результат в табл. 3.2.

Таблица 3.2. Экспериментальные данные

Опыт	Время пяти колебаний	Период
1		Период колебаний тележки без груза
2		
3		
4		
5		
Среднее		
1		Период колебаний тележки с грузом 250 г
2		
3		
4		
5		
Среднее		

## Сравнение

Рассчитайте разницу между измеренным и теоретическим значениями в процентах:

Разница в процентах для тележки без груза = \_\_\_\_\_

Разница в процентах для тележки с грузом = \_\_\_\_\_

## Вопросы

1. Увеличивается или уменьшается период колебаний с увеличением массы тележки? Быстрее или медленнее колеблется более тяжелая тележка?
2. Изменится ли период колебаний при изменении начального смещения тележки от положения равновесия (т. е. при изменении амплитуды)? Проведите такой опыт.

## Эксперимент 4. Колебания при движении по наклонной плоскости

### Необходимое оборудование из системы Dynamics System

Дорожка со стопором

Тележка PAScar

Муфта для штатива

Пружинный маятник

Прочее необходимое оборудование	Рекомендуемый артикул
Штатив с основанием	ME-9355
Подвеска для грузов и набор грузов	ME-8979
Секундомер	ME-1234
Противовес	SE-8723

### Цель

Цель данного эксперимента — измерить период колебаний пружины и системы грузов при движении по наклонной плоскости под разными углами и сравнить его с теоретическим значением.

### Теория

Для груза, прикрепленного к пружине, теоретический период колебаний рассчитывается по формуле

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$$

где  $T$  — это время одного полного перемещения вперед и назад,  $m$  — масса колеблющегося тела и  $k$  — коэффициент жесткости пружины.

По закону Гука сила, создаваемая пружиной, пропорциональна длине  $x$ , на которую она сжимается или растягивается:  $F = kx$ , где  $k$  — коэффициент пропорциональности (коэффициент жесткости пружины). Коэффициент жесткости пружины можно измерить экспериментальным путем, растягивая пружину с различной силой на различную длину. Если построить график зависимости силы от расстояния, тангенс угла наклона полученной прямой будет равен  $k$ .

### Описание эксперимента

#### Измерения для определения коэффициента жесткости пружины и теоретического периода колебаний

1. Измерьте массу тележки PAScar и запишите ее в табл. 4.1.
2. Установите стопор недалеко от конца дорожки.
3. Поместите тележку на дорожку и присоедините пружину к одному из концов тележки. Присоедините другой конец пружины к стопору (см. рис. 4.1).

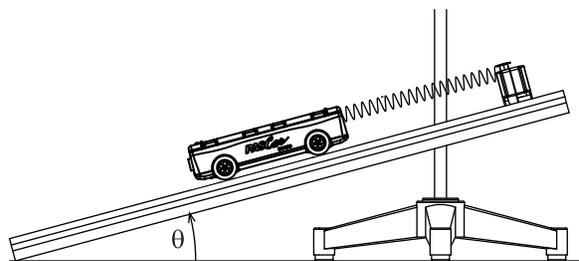


Рис. 4.1. Настройка оборудования

4. Наклоните дорожку, приподняв тот ее конец, к которому крепится пружина. Пружина при этом должна растянуться. Добейтесь такого угла наклона, чтобы пружина растягивалась не более чем на 50 см. Зафиксируйте дорожку в этом положении на штативе при помощи муфты. Измерьте получившийся угол и запишите его в табл. 4.1.
5. Дождитесь, пока тележка придет в равновесие. Запишите равновесное положение в табл. 4.1.
6. Положите на тележку груз и запишите новое положение равновесия. Повторите эти действия для пяти различных грузов. Будьте внимательны: не допустите чрезмерного растяжения пружины.

Таблица 4.1. Измерения для определения теоретического периода колебаний

Начальное положение (без груза) = _____		
Масса тележки = _____		
Угол наклона = _____		
Масса груза	Положение	Сила

#### Измерение экспериментального периода колебаний

7. Снимите с тележки все грузы.
8. Переместите тележку на определенное расстояние от положения равновесия и отпустите ее. Измерьте время трех колебаний и запишите его в табл. 4.2.
9. Повторите этот опыт как минимум пять раз с одинаковым первоначальным смещением тележки.
10. Измените угол наклона дорожки и повторите шаги 8 и 9. Повторите шаги 8 и 9 для трех различных углов наклона.

#### Расчеты

##### Коэффициент жесткости пружины и теоретический период колебаний

1. На основе данных в табл. 4.1 рассчитайте силу, создаваемую силой тяжести тележки:  $F = mg \sin \theta$ , где  $\theta$  — это угол наклона.
2. Постройте график зависимости силы от положения. Проведите прямую линию по точкам данных на графике (максимально близко к точкам) и определите тангенс угла наклона. Он будет равен коэффициенту жесткости пружины  $k$ .

$$k = \underline{\hspace{2cm}}$$

3. Зная массу тележки и коэффициент жесткости пружины, рассчитайте период колебаний тележки по теоретической формуле.

$$T = \underline{\hspace{2cm}}$$

**Экспериментальный период колебаний**

1. На основе данных в табл. 4.2 рассчитайте среднее время для трех колебаний.
2. Рассчитайте период колебаний, разделив полученное среднее время на 3. Запишите результат в табл. 4.2.

**Таблица 4.2. Экспериментальный период колебаний**

Угол	Время трех колебаний					Среднее	Период
	Опыт 1	Опыт 2	Опыт 3	Опыт 4	Опыт 5		

**Вопросы**

1. Изменяется ли период колебаний при изменении угла наклона?
2. Отличаются ли экспериментальные значения от теоретических?
3. Изменяется ли равновесное положение при изменении угла наклона?
4. Чему будет равен период колебаний, если угол наклона будет составлять 90°?



# Эксперимент 5. Последовательное и параллельное соединение пружин

## Необходимое оборудование из системы Dynamics System

Дорожка со стопорами

Тележка PAScar

Муфта для штатива

Пружинный маятник (2 шт.)

Прочее необходимое оборудование	Рекомендуемый артикул
---------------------------------	-----------------------

Штатив с основанием	ME-9355
---------------------	---------

Секундомер	ME-1234
------------	---------

Противовес	SE-8723
------------	---------

## Цель

Цель данного эксперимента — измерить и сравнить периоды колебаний тележки, к которой присоединены различные комбинации пружин.

## Теория

Для груза, прикрепленного к пружине, теоретический период колебаний рассчитывается по формуле

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$$

где  $T$  — это время одного полного перемещения вперед и назад,  $m$  — масса колеблющегося тела и  $k$  — коэффициент жесткости пружины. Измерив период колебаний, можно рассчитать коэффициент жесткости по следующей формуле:

$$k = \frac{4\pi^2 m}{T^2}$$

Коэффициент жесткости пружины определяется с помощью значений измерения периода колебаний и массы тележки, присоединенной к пружине. Таким же способом рассчитывается коэффициент жесткости двух одинаковых пружин, соединенных последовательно и параллельно. Для каждого типа соединения определяется отношение коэффициента жесткости одной пружины к коэффициенту жесткости соединенных пружин.

## Описание эксперимента

### Измерение коэффициента жесткости одной пружины

1. Измерьте массу тележки PAScar. Запишите значение в верхней части табл. 5.1.
2. Установите стопор недалеко от конца дорожки.
3. Поместите тележку на дорожку и присоедините пружину к одному из концов тележки. Присоедините другой конец пружины к стопору (см. рис. 5.1).

- Наклоните дорожку, приподняв тот ее конец, к которому крепится пружина. Пружина при этом должна растянуться. Добейтесь такого угла наклона, чтобы пружина растягивалась не более чем на 50 см. Зафиксируйте дорожку в этом положении на штативе при помощи муфты.
- Переместите тележку от положения равновесия и отпустите ее. Измерьте время двух колебаний и запишите его в табл. 5.1. Повторите этот опыт как минимум пять раз с одинаковым первоначальным смещением тележки.

### Измерение коэффициента жесткости различных комбинаций пружин

- Добавьте вторую пружину, присоединив ее последовательно, как показано на рис. 5.2, и повторите шаг 5.
- Присоедините две пружины параллельно, как показано на рис. 5.3, и повторите шаг 5.
- Присоедините две пружины, как показано на рис. 5.4, и повторите шаг 5.

### Расчеты

- На основе данных в табл. 5.1 рассчитайте среднее время для двух колебаний.
- Рассчитайте период колебаний, разделив полученное среднее время на 2. Запишите результат в табл. 5.1.
- Зная периоды колебаний и массу тележки, рассчитайте коэффициенты жесткости.

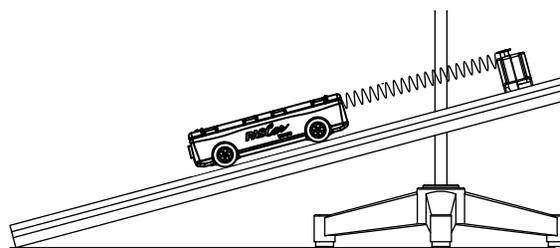


Рис. 5.1. Одна пружина

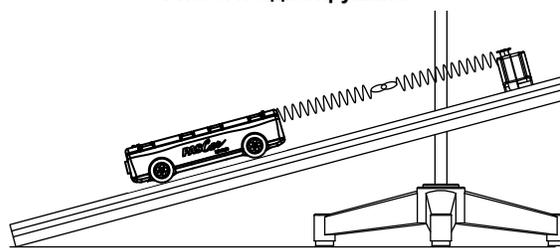


Рис. 5.2. Пружины, соединенные последовательно

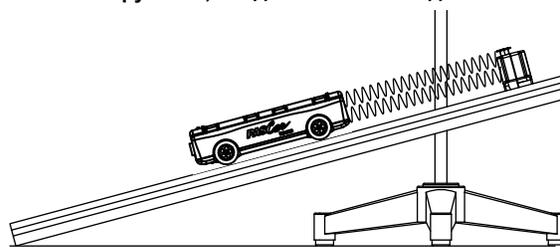


Рис. 5.3. Пружины, соединенные параллельно

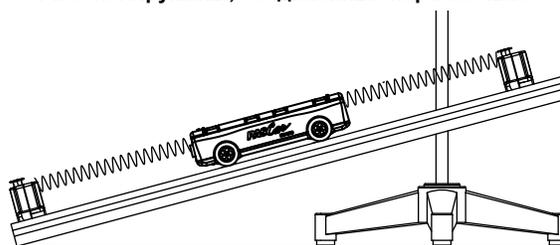


Рис. 5.4. Пружины, прикрепленные к разным концам

Таблица 5.1. Экспериментальный период колебаний

Пружины	Время двух колебаний					Среднее	Период
	Опыт 1	Опыт 2	Опыт 3	Опыт 4	Опыт 5		
Одна							
Последовательное соединение							
Параллельное соединение							
Противоположные концы							

### Вопросы

- При каком типе соединения (последовательном или параллельном) коэффициент жесткости пружин составляет  $2k$ ?
- При каком типе соединения (последовательном или параллельном) коэффициент жесткости пружин составляет  $k/2$ ?
- Какой тип соединения используется в опыте с пружинами на разных концах тележки — последовательный или параллельный?

## Эксперимент 6. Начальная скорость

### Необходимое оборудование из системы Dynamics System

---

Дорожка с опорами и стопорами

Тележка PAScar

Муфта для штатива

Грузы для тележек

### Цель

Цель данного эксперимента — качественно продемонстрировать зависимость конечной скорости тележки от ее массы и начального сжатия пружины пускателя.

### Описание эксперимента

1. Установите дорожку на опоры и выровняйте ее горизонтально.
2. Установите стопоры на обоих концах дорожки.
3. Задвиньте пускатель тележки внутрь до первой, второй или третьей позиции. Поставьте тележку на дорожку, повернув ее пускателем в сторону стопора. Нажмите пусковую кнопку пускателя, чтобы запустить тележку.
4. **Изменение степени сжатия пружины.** Повторите шаг 3 три раза. При первом запуске задвиньте пускатель внутрь до первой позиции (наименьшее сжатие), затем проведите еще два опыта, увеличивая силу, действующую на тележку, за счет увеличения силы сжатия пружины пускателя.
5. **Изменение массы.** Для этих опытов всегда задвигайте пускатель внутрь до упора. Понаблюдайте за относительным ускорением тележки, когда на нее положен дополнительный груз 250 г, 500 г, 750 г и 1000 г.

### Вопросы

1. Когда на тележку действует сила, создаваемая пружиной? В какой момент результирующая сила, действующая на тележку (если не учитывать силу трения), равна нулю?
2. Увеличивается или уменьшается конечная скорость тележки с увеличением начального сжатия пружины?
3. Увеличивается или уменьшается конечная скорость тележки с увеличением массы тележки?



## Эксперимент 7. Второй закон Ньютона

### Необходимое оборудование из системы Dynamics System

Дорожка с опорами и стопором

Тележка

Подвижный блок с креплением

Груз для тележки (250 г)

#### Прочее необходимое оборудование

#### Рекомендуемый артикул

Секундомер

ME-1234

Подвеска для грузов и набор грузов

ME-8979

Противовес

SE-8723

Струна (прибл. 2 м)

### Цель

Цель данного эксперимента — проверить на практике второй закон Ньютона:  $F = ma$ .



### Теория

Согласно второму закону Ньютона,  $F = ma$ , где  $F$  — это результирующая сила, действующая на тело массой  $m$ , и  $a$  — это суммарное ускорение тела.

Для тележки массой  $m_1$  на горизонтальной дорожке с присоединенной к ней пружинной, ко второму концу которой через блок подвешен груз массой  $m_2$  (см. рис. 7.1), результирующая сила  $F$  для всей системы (тележка + груз) будет равна весу груза,  $F = m_2g$  (если допустить, что силой трения можно пренебречь).

Согласно второму закону Ньютона, эта результирующая сила должна быть равна  $ma$ , где  $m$  — суммарная масса тела, движущегося с ускорением, то есть в данном случае  $m_1 + m_2$ . Цель эксперимента — проверить равенство  $m_2g = (m_1 + m_2)a$ , которое будет означать, что опытные данные согласуются с теорией.

Для измерения ускорения необходимо отпустить тележку, находящуюся в состоянии покоя, и измерить время ( $t$ ), за которое она пройдет определенное расстояние ( $d$ ). Поскольку  $d = (1/2)at^2$ , ускорение можно рассчитать по формуле  $a = 2d/t^2$ .

### Описание эксперимента

1. Установите дорожку на опоры и выровняйте ее горизонтально.
2. Установите стопор недалеко от одного конца дорожки, повернув его магнитами от центра дорожки.
3. Измерьте массу тележки PASCar и запишите ее в табл. 7.1.
4. Присоедините блок и стопор к дорожке, как показано на рис. 7.1. Поместите тележку на дорожку. Привяжите струну к концу тележки (дальней от блока). Протащите струну под тележкой. К другому концу струны прикрепите подвеску для грузов. Пропустите струну под стопором и над блоком. Отрегулируйте блок так, чтобы струна шла параллельно дорожке. Струна должна быть такой длины, чтобы тележка доезжала до стопора, до того как подвеска для грузов опустится до пола.

5. Переместите тележку обратно, чтобы подвеска для грузов поднялась до блока. Запишите это начальное положение в табл. 7.1. Оно будет одинаковым для всех опытов. Проведите пробный опыт, чтобы узнать, сколько грузов требуется надеть на подвеску, чтобы тележка доезжала до стопора примерно за 2 секунды. Если тележка будет ехать слишком быстро, погрешность возрастет из-за ограниченной скорости реагирования человека. Если тележка будет ехать слишком медленно, погрешность возрастет из-за увеличенной силы трения. Запишите массу груза в табл. 7.1.
6. Поместите тележку у стопора с блоком и запишите ее конечное положение в табл. 7.1.
7. Снова переместите тележку в начальное положение. Отпустите ее и засекайте время, за которое она достигнет стопора. Запишите результат в табл. 7.1.
8. Повторите измерения не менее пяти раз с одинаковой массой и запишите полученные значения в табл. 7.1.

Таблица 7.1. Экспериментальный период колебаний

Начальное положение = _____							
Конечное положение = _____							
Пройденное расстояние ( $d$ ) = _____							
Масса тележки	Масса подвешенного груза	Время					Среднее время
		Опыт 1	Опыт 2	Опыт 3	Опыт 4	Опыт 5	

9. Положите на тележку груз массой 250 г и повторите опыт.

## Анализ данных

1. Рассчитайте среднее время и запишите его в табл. 7.1.
2. Запишите пройденное расстояние (от начального до конечного положения) в табл. 7.1.
3. Рассчитайте ускорение и запишите его в табл. 7.2.
4. Для каждого случая рассчитайте величину  $(m_1 + m_2)a$  и запишите ее в табл. 7.2.
5. Для каждого случая рассчитайте результирующую силу  $F_{\text{NET}}$  и запишите ее в табл. 7.2.
6. Для каждого случая рассчитайте разницу между  $F_{\text{NET}}$  и  $(m_1 + m_2)a$  в процентах и запишите ее в табл. 7.2.

Таблица 7.2.

Масса тележки	Ускорение	$(m_1 + m_2)a$	$F_{\text{NET}} = m_2g$	Разница в %

## Вопросы

1. Подтверждают ли результаты эксперимента формулу  $F = ma$ ?

2. Почему масса в формуле  $F = ma$  должна представлять собой суммарную массу тележки и подвешенного груза?



# Эксперимент 8. Движение под уклон с ускорением

## Необходимое оборудование из системы Dynamics System

Дорожка со стопором

Тележка PAScar

Муфта для штатива

### Прочее необходимое оборудование

### Рекомендуемый артикул

Штатив с основанием

ME-9355

Секундомер

ME-1234

Бумага для построения графиков

## Цель

Цель данного эксперимента — изучить зависимость ускорения тележки, катящейся под уклон, от угла наклона дорожки. На основе полученных данных рассчитывается ускорение тела при свободном падении.

## Теория

Тележка массой  $m$  скатывается по наклонной дорожке под действием силы тяжести. Сила тяжести ( $mg$ ) направлена строго вниз, как показано на рис 8.1. Один из компонентов этой силы параллелен наклонной дорожке и равен  $mg \sin \theta$ .

Для измерения ускорения необходимо отпустить тележку, находящуюся в состоянии покоя, и измерить время ( $t$ ), за которое она пройдет определенное расстояние ( $d$ ). Поскольку  $d = (1/2)at^2$ , ускорение можно рассчитать по формуле  $a = 2d/t^2$ .

График зависимости  $a$  от  $\sin \theta$  будет представлять собой прямую линию, тангенс угла наклона которой будет равен ускорению свободного падения  $g$ .

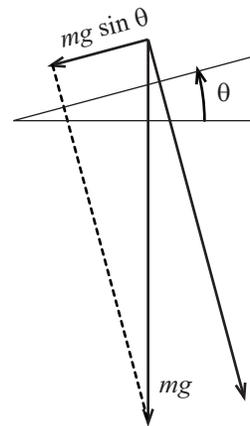


Рис. 8.1

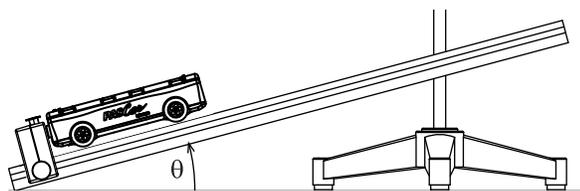


Рис. 8.2

## Описание эксперимента

1. Закрепите дорожку на штативе с помощью муфты, как показано на рис. 8.2. Приподнимите один конец дорожки примерно на 10 см.
2. Поставьте тележку PAScar на дорожку возле стопора и запишите ее конечное положение в табл. 8.1. (Стопор должен быть повернут к тележке немагнитной стороной, чтобы она могла коснуться его.)
3. Передвиньте тележку к верхнему концу дорожки и запишите ее начальное положение, из которого она будет начинать движение.

- Отпустите тележку и с помощью секундомера засекайте время, за которое она достигнет стопора. Отпускать тележку и управлять секундомером должен один человек. Повторите опыт 10 раз (каждый раз засекают время должны разные люди). Запишите все значения в табл. 8.1.
- Опустите верхний конец дорожки на 1 см и повторите шаг 4. Начальное положение не должно меняться.
- Повторите шаг 4 семь раз для различных углов наклона, каждый раз опуская верхний конец дорожки еще на 1 см.

Таблица 8.1. Данные

		Начальное положение = _____ Конечное положение = _____ Пройденное расстояние ( $d$ ) = _____						
		Высота верхней точки дорожки						
		10 см	9 см	8 см	7 см	6 см	5 см	4 см
Время	Опыт 1							
	Опыт 2							
	Опыт 3							
	Опыт 4							
	Опыт 5							
	Опыт 6							
	Опыт 7							
	Опыт 8							
	Опыт 9							
	Опыт 10							
	Среднее							

### Анализ данных

- Рассчитайте среднее время для каждого угла и запишите его в табл. 8.1.
- Рассчитайте пройденное расстояние  $d$  (от начального до конечного положения).
- Зная пройденное расстояние и среднее время, рассчитайте ускорение для каждого угла наклона и запишите его в табл. 8.2.

Таблица 8.2. Анализ

Высота	Ускорение	$\sin \theta$
10 см		
9 см		
8 см		
7 см		
6 см		
5 см		
4 см		

- Измерьте длину гипотенузы треугольника, образованного дорожкой, и рассчитайте  $\sin \theta$  для каждого угла наклона.

Гипотенуза = \_\_\_\_\_

- Постройте график зависимости ускорения от  $\sin \theta$ . Проведите прямую линию по точкам данных на графике (максимально близко к точкам) и определите тангенс угла наклона. Рассчитайте разницу в процентах между этим тангенсом и  $g = 9,8 \text{ м/с}^2$ .

Тангенс = \_\_\_\_\_

Разница в % = \_\_\_\_\_

## Вопросы

- Когда время вашей реакции при работе с секундомером вызывает более высокую погрешность: при малом или большом угле наклона дорожки?
- Как повлияет на результаты удвоение массы тележки? Проведите такой опыт.



## Эксперимент 9. Сохранение энергии

### Необходимое оборудование из системы Dynamics System

Дорожка с опорами и стопорами

Тележка PAScar

Муфта для штатива

Пружинное пусковое устройство для тележки (с пружиной и спусковым крючком)

Подвижный блок с креплением

### Прочее необходимое оборудование

### Рекомендуемый артикул

Штатив с основанием

ME-9355

Подвеска для грузов и набор грузов

ME-8979

Бумага для построения графиков

Струна (40 см)

### Цель

Цель данного эксперимента — определить коэффициент жесткости пружины, работающей на сжатие, и использовать ее для запуска тележки вверх по наклонной дорожке. При этом потребуются сравнить потенциальную энергию пружины в начале опыта с максимальной потенциальной энергией тележки в поле силы тяжести Земли.

### Теория

Коэффициент жесткости пружины рассчитывается по формуле

(формула 1) 
$$k = \frac{F_x}{x}$$
 Коэффициент жесткости пружины

где  $F_x$  — это сила, которая действует на пружину, а  $x$  — длина, на которую сжимается пружина.

Потенциальная энергия пружины рассчитывается по формуле

(формула 2) 
$$U_{\text{пруж}} = \frac{1}{2}kx^2$$
 Потенциальная энергия пружины

Изменение потенциальной энергии тележки в поле силы тяжести Земли, движущейся вверх по дорожке, рассчитывается по формуле

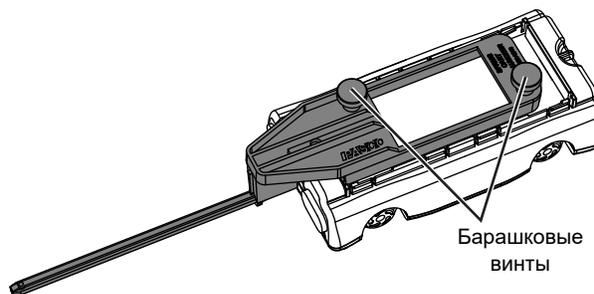
(формула 3) 
$$\Delta U_{\text{гравит}} = mg\Delta s \sin\theta$$
 Потенциальная энергия тележки, движущейся

где  $m$  — масса тележки,  $g = 9,8 \text{ м/с}^2$ ,  $\Delta s$  — расстояние, пройденное тележкой вверх по дорожке, и  $\theta$  — угол наклона дорожки.

## Часть I. Коэффициент жесткости пружины

### Описание эксперимента

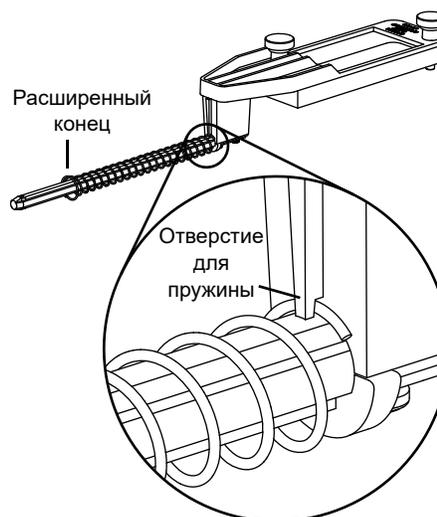
1. Закрепите пружинное пусковое устройство на тележке, как показано на рисунке. Зафиксируйте его винтами.
2. Выберите одну из пружин, входящих в комплект. Наденьте ее на стержень пускового устройства расширенным концом наружу. Поверните пружину, чтобы зафиксировать ее в специальном отверстии, как показано на рисунке.



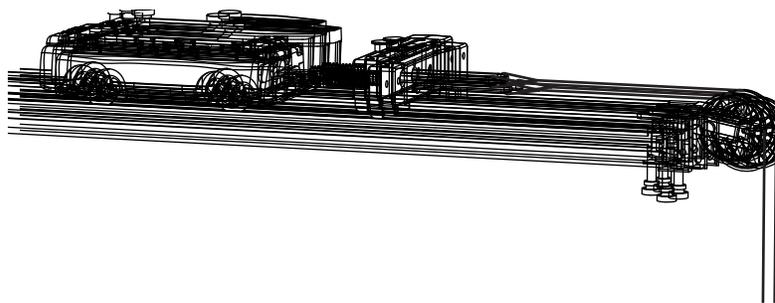
3. Привяжите струну к спусковому крючку.



4. Установите стопор на расстоянии примерно 20 см от конца дорожки.
5. Укрепите блок на том же конце дорожки.
6. Расположите дорожку таким образом, чтобы подвешенный груз мог свободно свешиваться через край лабораторного стола.
7. Выровняйте дорожку горизонтально, чтобы тележка не скатывалась самопроизвольно.



8. Поместите тележку на дорожку, продев стержень пускового устройства сквозь отверстие в стопоре.



9. Привяжите кусок струны (ок. 40 см длиной) к стержню пускового устройства. Пропустите струну над блоком и подвесьте к ней груз массой 100 г.
10. Отрегулируйте блок таким образом, чтобы струна проходила горизонтально между блоком и стержнем пускового устройства.
11. Запишите в таблицу положение тележки и общую массу груза, висящего на струне.
12. Добавьте к подвешенному грузу еще 100 г.
13. Повторяйте шаги 11 и 12, пока общая масса груза не достигнет прибл. 500 г.

## Анализ данных

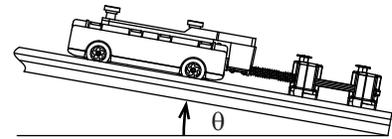
1. Рассчитайте силу, действующую на пружину на каждом этапе:  $F_x = m_h g$ , где  $m_h$  — масса подвешенного груза, а  $g = 9,8 \text{ м/с}^2$ .
2. Постройте график зависимости  $F_x$  от положения тележки.
3. Проведите прямую линию по точкам данных на графике (максимально близко к точкам). Тангенс угла наклона этой линии будет равен коэффициенту жесткости пружины  $k$ .

Отвяжите струну от стержня и снимите блок для следующего опыта.

## Часть II. Потенциальная и кинетическая энергия пружины

### Описание эксперимента

1. Установите на дорожку второй стопор на расстоянии примерно 8 см позади первого.
2. Приподнимите один конец дорожки примерно на 20 см.
3. Тележка должна удерживаться посредством стержня пускового устройства, продетого в отверстие первого стопора, а пружина должна слегка касаться стопора (она не должна быть сжата). Запишите это положение тележки как  $x_1$ .
4. Проденьте стержень через оба стопора и вставьте спусковой крючок в стержень. Спусковой крючок должен касаться второго стопора. Запишите это положение тележки как  $x_2$ .
5. Резким движением вытащите спусковой крючок.
6. Понаблюдайте, как тележка будет подниматься по дорожке. Запишите высшую точку, до которой она доберется. Постарайтесь определить эту точку с точностью до сантиметра. Запишите это положение тележки как  $x_3$ .



### Анализ данных

1. Рассчитайте сжатие пружины:  $x = x_1 - x_2$
2. Зная  $x$  и величину  $k$  из предыдущей части, рассчитайте по уравнению 2 начальную потенциальную энергию пружины.
3. Рассчитайте расстояние, пройденное тележкой:  $\Delta s = x_3 - x_2$
4. Измерьте массу  $m$  тележки вместе с пусковым устройством и присоединенной пружиной.
5. Измерьте угол наклона дорожки  $\theta$ .
6. По уравнению 3 рассчитайте изменение гравитационной потенциальной энергии тележки.
7. Сравните начальную потенциальную энергию пружины с максимальной потенциальной энергией тележки в поле силы тяжести Земли. Равны ли они? Если нет, чем может объясняться различие?



## Рекомендуемые дополнительные эксперименты

### Сохранение движения центра масс

Установите дорожку, как показано на рис. 1.1 для эксперимента 1, но под ее среднюю часть подложите брусок массой 250 г, который будет служить опорой. Расположите брусок таким образом, чтобы тележки PAScar и дорожка были уравновешены. Для начала возьмите две тележки равной массы. Активируйте пускатель и наблюдайте за движением тележек к концам дорожки. Поскольку центр масс системы не движется, дорожка остается уравновешенной. Повторите опыт с тележками различной массы.

### Типы колебаний двух тележек с тремя пружинами

Поместите на дорожку две тележки PAScar одинаковой массы. Соедините их между собой пружиной, затем каждую тележку присоедините к своему стопору с помощью пружины. Оттяните тележки друг от друга, а затем отпустите и наблюдайте за их колебаниями. После этого передвиньте обе тележки в одном направлении и повторите опыт с таким начальным положением тележек. Добавьте на одну из тележек груз массой 250 г и повторите опыт.

### Второй закон Ньютона: ускорение при движении в подъем

Повторите эксперимент 7, наклонив дорожку таким образом, чтобы блок располагался наверху, а тележка PAScar двигалась с ускорением вверх.

### Затухающие колебания

Наклоните дорожку и установите стопор на нижнем конце. Отпустите тележку PAScar сверху, отмерив определенное расстояние. При этом тележки должны быть повернуты к стопорам магнитными амортизаторами, чтобы при приближении к ним они отталкивались обратно. При каждом отскоке запишите время и положение тележки, когда она находится в самой высокой точке. Постройте график зависимости амплитуды движения от времени.

### Запуск тележки PAScar с помощью воздушного шара

Привяжите к задней части тележки PAScar надутый, но не завязанный воздушный шар, так чтобы отверстие шара было направлено от тележки. Наблюдайте за тем, как выходящий из шара воздух приводит тележку в движение.

*Для описанных далее экспериментов рекомендуется использовать дорожку длиной 2,2 м (например, модель ME-9779).*

### Типы колебаний трех тележек PAScar с четырьмя пружинами

Поместите на дорожку три тележки PAScar одинаковой массы. Соедините их между собой пружинами, затем две концевые тележки присоедините к стопорам с помощью пружин. Оттяните две концевые тележки от центральной, а затем отпустите и наблюдайте за их колебаниями. Оттяните две тележки слева от крайней правой, а затем отпустите и наблюдайте за их колебаниями. Оттяните центральную тележку, а затем отпустите и наблюдайте за их колебаниями.

## Множественные упругие соударения

Возьмите три тележки PAScar. Присоедините магнитный амортизатор (входит в набор принадлежностей для PAScar ME-6952) к «липучкам» на одной из тележек PAScar, чтобы на обоих ее концах оказались магниты. Поместите три тележки на дорожку, так чтобы тележка PAScar с магнитами на обоих концах оказалась в середине. Две другие тележки поверните магнитами в сторону средней тележки PAScar. Направьте левую тележку к средней, которая в свою очередь должна столкнуться с правой. Запишите итоговую конечную скорость каждой тележки. Проведите этот эксперимент с тележками одинаковой, а затем разной массы.

## Множественные неупругие соударения

Возьмите две тележки PAScar и одну тележку для соударений (ME-9454) со снятыми магнитами. Расположите тележку для соударений между двумя тележками PAScar, повернув тележки PAScar амортизаторами-«липучками» в сторону тележки для столкновений. Направьте левую тележку к средней, которая в свою очередь должна столкнуться с правой. Все тележки прилипнут друг к другу. Запишите итоговую конечную скорость тележек.

## Отделение ступеней ракеты

Возьмите три или больше тележек PAScar, чтобы смоделировать выброс топлива из ракеты. Задвиньте внутрь пускатели всех тележек и соедините тележки между собой в одну линию. При помощи клейкой ленты сцепите тележки друг с другом (но не слишком прочно). Расположите тележки на одном конце дорожки. Первая тележка будет представлять саму ракету, а остальные — топливо. Последовательно активируйте пускатели всех тележек, начиная с последней (дальней от «ракеты»), слегка ударя линейкой по спусковой кнопке. При срабатывании пускателя тележки будут по одной отделяться от остальных. Запишите конечную скорость тележки-«ракеты» и сравните ее со скоростью, которую она приобретает, если активировать пускатели всех тележек одновременно.

## Продольная волна

Возьмите шесть или больше тележек PAScar. К каждой из них присоедините магнитные амортизаторы (входят в набор принадлежностей для PAScar ME-6952). По концам дорожки установите стопоры, повернув их магнитными сторонами к центру дорожки. Поместите тележки на дорожку через равные промежутки. Сместите одну из тележек, чтобы послать продольную волну. Тележки будут отталкиваться друг от друга и от стопоров. Смещайте крайнюю тележку, чтобы поддерживать продольную волну вдоль всей дорожки.

## Техническая поддержка

Для получения технической поддержки по любому продукту PASCO обращайтесь в компанию PASCO:

Адрес: PASCO scientific  
10101 Foothills Blvd.  
Roseville, CA 95747-7100 (США)

Телефон: 916-786-3800 (в любой стране мира)  
800-772-8700 (США)

Факс: (916) 786-7565

Веб-сайт: [www.pasco.com](http://www.pasco.com)

E-mail: [support@pasco.com](mailto:support@pasco.com)

### Ограниченная гарантия

Описание гарантийных обязательств в отношении продукта см. в каталоге PASCO.

### Авторское право

Наименование PASCO scientific 012-12004A 1.2 □ *PAScar Expanded Dynamics System Instruction Manual* защищено авторскими правами. Некоммерческим образовательным учреждениям предоставляется разрешение на воспроизведение настоящего руководства в любой его части, при условии что копии будут использоваться исключительно в лабораториях и учебных классах этих организаций и не будут распространяться на коммерческой основе. Воспроизведение на других условиях без письменного согласия компании PASCO scientific запрещено.

### Товарные знаки

PASCO и PASCO scientific являются товарными знаками или зарегистрированными товарными знаками компании PASCO scientific в США и (или) других странах. Все остальные наименования брендов, продукции или услуг являются или могут быть товарными знаками или знаками обслуживания и соответственно используются для идентификации продукции или услуг их владельцев. Дополнительные сведения см. на странице [www.pasco.com/legal](http://www.pasco.com/legal).

Авторы: Энн Хэнкс (Ann Hanks)  
Йон Хэнкс (Jon Hanks)  
Эрик Айярс (Eric Ayars)  
Алек Огстон (Alec Ogston)

