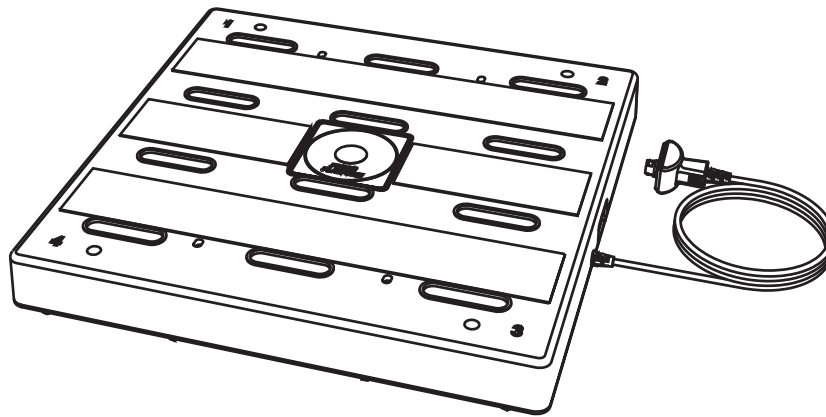


Силовая платформа

PS-2141



Комплектующее оборудование	Номер компонента
Силовая платформа	PS-2141
Требуемое оборудование	
Интерфейс PASPORT ¹	См. каталог PASCO или посетите сайт www.pasco.com
Дополнительное оборудование	
Комплект рукояток	PS-2548

¹ Совместимые интерфейсы PASPORT включают Powerlink (PS-2001), Explorer GLX (PS-2002), USB Link (PS-2100) и другие. Чтобы получить дополнительную информацию, см. каталог PASCO, посетите сайт www.pasco.com или обратитесь в техническую поддержку PASCO. Интерфейс Explorer (PS-2000) с прошивкой 1.14 или более ранних версий совместим в компьютерном (не требующем регистрации) режиме.

Введение

Силовая платформа PASPORT, используемая с интерфейсом PASPORT, постоянно измеряет силу (до 4 400 Н или 1 000 фунтов), приложенную человеком или объектом. Вы можете использовать силовую платформу для измерения веса человека, стоящего на ней, либо динамических вертикальных сил, возникающих при движении или прыжке. Она обладает измерительным диапазоном и силой, подходящими для людей с любым весом, и чувствительностью, подходящей для измерения малых сил, таких как вес мяча. Чтобы измерить вертикальную силу, поставьте платформу на пол или на поверхность стола, либо установите вертикально на стену. С помощью дополнительного набора рукояток вы можете использовать платформу для измерения как тянущего, так и толкающего усилия.

Как это работает

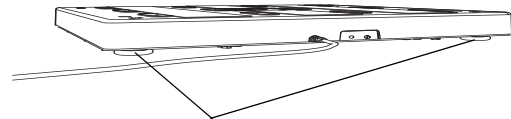
Объект, помещенный на силовую платформу, действует на нее с силой, перпендикулярной к поверхности; эта сила — вес объекта. Вследствие того, что силовая платформа не движется (значительно), сила, приложенная полом к ножке платформы усиливается на величину, равную весу объекта. Каждая из четырех ножек соединена с тензометрическим датчиком, посредством которого электроника платформы измеряет силу. Платформа вычисляет и выводит сумму всех четырех сил. Сила измеряется подобным образом даже если она не постоянная, например, сила, приложенная скачущим мячом или прыгающим человеком.

При воздействии суммы сил на четыре балки платформу можно настроить на вывод значений сил, измеренных отдельно *каждой* балкой. Инструкции о том, как посмотреть измерения, см. ниже.

Установка оборудования

На полу

Установите силовую платформу на пол. Лучше работать на жестком полу, например, плиточном или деревянном, чем на ковре, на котором платформа немного сдвигается, когда вы на нее наступаете. Если пол не идеально ровный, отрегулируйте ножки платформы, поворачивая их, чтобы выровнять платформу и сделать ее устойчивой. Все четыре ножки платформы должны стоять на полу, чтобы ничто не касалось плоской нижней поверхности.

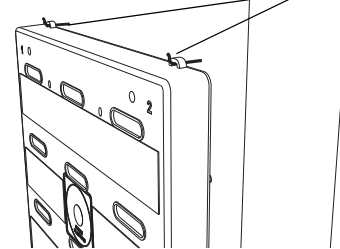


Поверните ножку, чтобы выровнять силовую платформу

На стене

Для измерения горизонтальной силы используйте петли на боковой стороне платформы, чтобы повесить ее на стену на пару болтов или крючков. Убедитесь, что все четыре ножки находятся в устойчивом контакте со стеной.

Повесьте силовую платформу, используя боковые петли

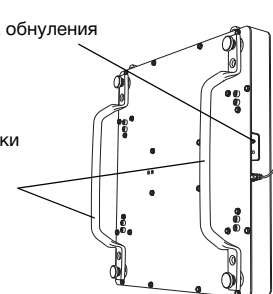


С дополнительным набором рукояток

Закрепите рукоятки в латунных вставках с резьбой в верхней части платформы, либо снимите ножки и закрепите рукоятки на нижней части платформы. С помощью рукояток вы можете измерять горизонтальную толкающую силу, прижимая платформу к стене. Если у вас есть две платформы с рукоятками (прикрепленными к нижней части), вы можете продемонстрировать третий закон Ньютона, давя платформами друг на друга. Обратите внимание, что платформа измеряет только перпендикулярные к поверхности составляющие силы.

Кнопка обнуления

Дополнительные ручки крепятся к нижней части силовой платформы



Интерфейс и установка программного обеспечения



Подключите кабель платформы к интерфейсу PASPORT. С боковой стороны платформы загорится зеленый индикатор, показывая, что элемент включен и готов к съемке показаний. Нажмите кнопку обнуления, чтобы установить выходное значение на ноль.

Использование силовой платформы с SPARKvue

Если вы используете компьютер, запустите SPARKvue. Нажмите кнопку «Пуск» (Start), чтобы начать снимать показания. По умолчанию платформа снимает показания со скоростью 10 измерений в секунду и отображает их в ньютонах (N). Эти установки можно

поменять в окне «Настройки эксперимента» (Experiment Setup). (Нажмите кнопку «Настройка» (Setup), чтобы открыть окно). Также в окне «Настройка» (Setup) вы можете установить отображение значений сил отдельно для каждой балки. Для получения дополнительных инструкций по использованию SPARKvue нажмите F1, чтобы открыть онлайн-страницу помощи SPARKvue.

Использование силовой платформы с Xplorer GLX

Если вы используете Xplorer GLX без компьютера, нажмите , чтобы начать снимать показания. По умолчанию платформа снимает показания со скоростью 10 измерений в секунду и отображает их в ньютонах (Н). Эти установки можно поменять в окне «Датчики» (Sensors). (Находясь на домашней странице нажмите , чтобы открыть страницу «Датчики» (Sensors)). Также в окне «Датчики» (Sensors) вы можете установить отображение значений сил отдельно для каждой балки. Дополнительные инструкции по использованию Xplorer GLX доступны в Руководстве пользователя GLX.

Безопасность



Учителя: Силовая платформа разработана для использования учениками под наблюдением учителя. Убедитесь, что все пользователи понимают эти правила и следуют им, прыгая или наступая на платформу.

- Не вставайте и не прыгайте со столов, стульев и других неподходящих предметов.
- Перед тем, как прыгать или наступать на платформу убедитесь, что она не будет скользить или двигаться, и что вы наступите одной или двумя ногами на платформу полностью, а не на ее угол.
- Используйте платформу вдали от объектов, которые могут помешать вашим движениям или травмировать вас при падении.
- Соблюдайте все прочие применимые правила и рекомендации по технике безопасности.

Предлагаемые действия

Время зависания

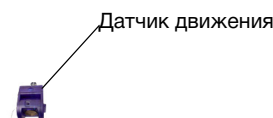
Встаньте на платформу и вертикально подпрыгните. Посмотрите на график изменения силы от времени, чтобы определить «время зависания», или сколько времени вы провели в воздухе. Зависит ли время зависания от того, насколько высоко вы прыгнули? Какие еще факторы влияют на время зависания?

Для более точных измерений времени используйте более высокую скорость измерений.

Вертикальные импульсы

Используйте датчик движения (PS-2103), чтобы измерять положение и скорость верхней части головы при прыжках на платформе. Каково значение вертикальной скорости в момент отрыва ног от платформы? Если предположить, что вы являетесь точечной массой, соотносится ли эта скорость со значением времени зависания? Почему нет?

Встаньте на платформу и нажмите кнопку обнуления. Согните колени и подпрыгните одним плавным движением. Площадь под графиком изменения силы от времени — это импульс. Сравните импульс прыжка с импульсом приземления. Используя измеренный импульс, вычислите значение стартовой скорости.



Сравните скорость, измеренную датчиком движения, со скоростью, вычисленную из импульса. Почему они не обязательно равны?

Горизонтальный импульс

Повесьте силовую платформу на стену. Нажмите кнопку обнуления. Сядьте в кресло на колесиках, кинестетическую тележку (SE-8747) или воздушную подушку (ME-9838) и оттолкнитесь от платформы. Измерьте импульс или площадь под графиком изменения силы от времени. Как этот импульс связан с вашим импульсом сразу после отталкивания?

Используйте датчик движения (PS-2103), чтобы измерить вашу скорость при отталкивании. Используйте скорость, чтобы вычислить ваш импульс, и сравните его с ранее полученным значением импульса. (Не забудьте учесть массу человека и стула, тележки или воздушной подушки).

Распределение сил (с одной платформой)

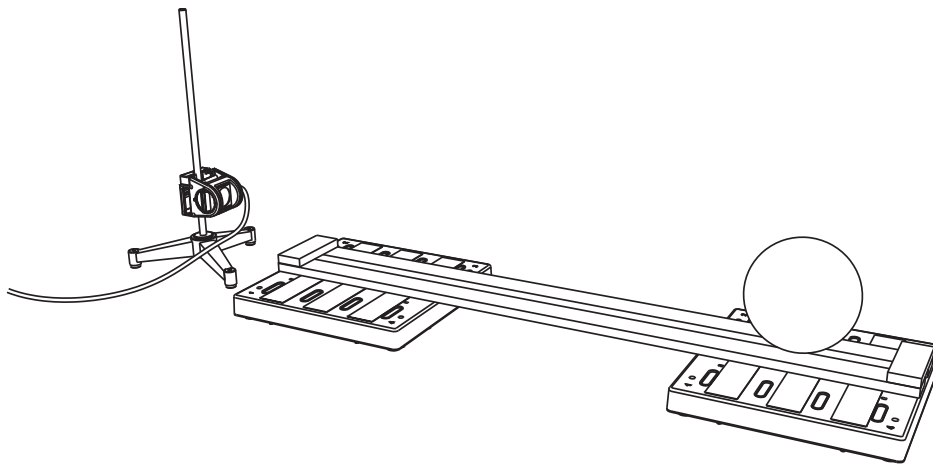
Отобразите на графике значения сил отдельно для каждой из четырех балок платформы. Встаньте на платформу и медленно перенесите вес с левой ноги на правую. Медленно перенесите вес с пятки на носки. Что происходит со значениями сил в четырех углах платформы? Что происходит с суммой этих сил?

Распределение сил (с двумя платформами)

Положите две силовые платформы на пол и расположите две параллельные планки (как показано на рисунке), чтобы получился мост. Нажмите кнопки обнуления. Положите на планки тяжелый мяч. Настройте датчик движения (PS-2103), чтобы измерить положение мяча. При снятии показаний толкните мяч, чтобы он покати́лся по планкам.

Как связано положение мяча и значение силы, измеренное каждой из платформ?
Как меняется сумма этих сил?

Вычислите изменяющийся момент сил, приложенный к планкам каждой из платформ и мячом во время его качения. Как меняется сумма моментов сил?



Эксперимент: Скачущий мяч

Требуемое оборудование	Номер компонента
Силовая платформа	PS-2141
Интерфейс PASPORT	См. каталог PASCO или посетите сайт www.pasco.com
Надутый резиновый мяч	

В этом эксперименте мяч бросают на силовую платформу, и он скачет на ней. В Части 1 вы будете изучать связь между импульсом одного скачка и временем между скачками. В Части 2 вы будете наблюдать, что происходит, когда мяч осуществляет серию скачков с уменьшающейся амплитудой и останавливается на платформе.

Теория

Когда мяч осуществляет на платформе серию скачков, он проходит две чередующиеся фазы.

Фаза 1: мяч в контакте с платформой

Эта фаза начинается, когда падающий мяч соприкасается с платформой, и заканчивается, когда мяч отрывается от платформы. В это время платформа прикладывает силу (измеренную платформой), которая приводит к изменению скорости ($v_{\text{up}} - v_{\text{down}}$) мяча, где v_{down} (отрицательное значение) — это скорость мяча в момент, когда он касается платформы, а v_{up} (положительное значение) — это скорость в момент, когда мяч отрывается от платформы. Изменение импульса (ΔP) мяча рассчитывается как

$$\text{(оборудование 1)} \quad \Delta P = m(v_{\text{up}} - v_{\text{down}})$$

, где m — это масса мяча. По второму закону Ньютона $F = dP/dt$, изменение импульса тела равно импульсу столкновения.

$$\Delta P = \text{impulse} = \int F dt$$

Таким образом ΔP также равно площади под графиком изменения силы от времени.

Фаза 2: мяч в свободном падении

Фаза, в которой мяч находится в свободном падении, происходит между скачками, когда мяч не соприкасается с платформой. (Несмотря на название — свободное «падение» — первую половину фазы мяч движется *вверх*). Если максимальная высота, на которую поднимается мяч, меньше одного метра, сопротивление воздуха мало, и мы можем предположить, что в свободном падении мяч движется с постоянным ускорением.

Если мяч отрывается от платформы в момент времени $t_0 = 0$ и движется (вверх) со скоростью v_0 , мы можем записать

$$\text{(оборудование 2)} \quad v = v_0 - gt$$

, где v — это скорость в некоторый более поздний момент времени t , а $g = 9,8 \text{ м/с}^2$. Если t равно времени, которое мяч проводит в воздухе между скачками («время зависания»), то $v = -v_0$. Другими словами, мяч падает на платформу с той же скоростью, с которой он ранее от нее оторвался. Таким образом

$$\text{(оборудование 3)} \quad v_0 = \frac{1}{2}gt$$

Измеряя время зависания до и после столкновения, мы можем вычислить скорости мяча непосредственно перед и после столкновения. (Обратите внимание, что мы *не* предполагаем, что эти скорости равны). Используя эти скорости, мы можем вычислить изменение импульса тела. Изменение импульса тела можно сравнить с импульсом силы, вычисленным с использованием площади под графиком изменения силы от времени.

Коэффициент восстановления

Коэффициент восстановления — это соотношение скоростей мяча непосредственно до и сразу после одного скачка (обе скорости измеряются как *положительные* значения). Это соотношение одинаково для всех скачков. Можно увидеть следствие этого снижения скорости, наблюдая уменьшение максимальной высоты после каждого последующего скачка. С помощью силовой платформы также можно наблюдать, что уменьшаются максимальная сила каждого скачка и время между скачками.

Идеальный мяч на идеальной поверхности скакал бы бесконечно долго, при этом значение максимальной высоты после каждого скачка асимптотически стремилось бы к нулю. Реальный мяч в конечном счете перестает скакать, но некоторое время до окончательной остановки продолжает колебаться, соприкасаясь с платформой.

Часть 1: Импульс силы и импульс тела

Порядок действий

1. Установите максимально высокую скорость измерений силовой платформы (либо 1 000 Гц, либо 2 000 Гц).
2. Нажмите кнопку обнуления.
3. Держите мяч на высоте около 0,5 м над платформой. Начните снимать показания и опустите мяч. Пусть мяч отскочит три раза. Остановите съем показаний.

При каждом скачке мяч должен падать на платформу близко от центра. Если это условие не выполнено, удалите данные и попробуйте еще раз.

Анализ

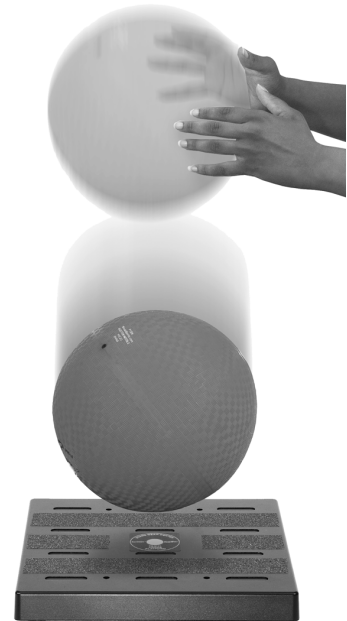
1. Измерьте время зависания между первым и вторым скачками (t_{before}).
2. Вычислите скорость мяча непосредственно перед вторым скачком.

$$v_{\text{down}} = -\frac{1}{2}gt_{\text{before}}$$

3. Измерьте время зависания между вторым и третьим скачками (t_{after}).
4. Вычислите скорость мяча непосредственно после второго скачка.

$$v_{\text{up}} = \frac{1}{2}gt_{\text{after}}$$

5. Для скорости измерения платформы установите значение 5 Гц. Нажмите кнопку обнуления. Установите мяч на платформу и снимайте показания в течение нескольких секунд. Используйте значение измеренной силы, чтобы вычислить массу мяча (m).



6. Вычислите изменение импульса мяча:

$$\Delta P = m(v_{\text{up}} - v_{\text{down}})$$

Если мяч отрывается от платформы медленнее, чем падает на нее, почему значение ΔP положительно?

7. На графике изменения силы по времени увеличьте изображение отрезка, соответствующего второму скачку. Измерьте площадь под кривой для временного интервала от момента касания мяча платформы и до момента отрыва мяча от платформы; это значение импульса. Сравните это значение с вашим ответом на этапе 6.

Часть 2: Коэффициент восстановления

Порядок действий

Повторите действия Части 1, но в этот раз отпустите мяч с более низкой высоты и позвольте ему скакать до полной остановки на платформе. Возможно, вам придется попробовать несколько раз.

Анализ

1. Каково максимальное значение силы, измеренной во время первого скачка? Как она сопоставляется с массой мяча? Каково значение силы, измеренной между скачками, когда мяч находится в воздухе?
2. Обратите внимание, что максимальная сила каждого скачка меньше предыдущего. Составьте простое уравнение, приблизительно моделирующее это уменьшение на протяжении всей серии скачков.
3. В некоторой точке графика мяч перестает скакать на платформе, но продолжает колебаться, сохраняя контакт с платформой. Можете ли вы определить эту точку?
4. Увеличьте область графика, соответствующую времени, когда мяч колеблется, но не скачет. Опишите, что происходит с минимальной силой, измеренной для каждого цикла колебания, когда мяч останавливается.
5. Каково окончательное значение силы, измеренной после остановки мяча на платформе? Как эта сила связана с массой мяча?

Дальнейшее исследование

1. Измерьте время зависания между несколькими последовательными скачками запишите их в таблицу. Используйте Уравнение 3, чтобы вычислить стартовую скорость мяча после каждого скачка. (Предположим, что стартовая скорость после скачка равна скорости столкновения перед следующим скачком). Постройте график этих скоростей и, используя для приближения экспоненциальную кривую, определите коэффициент восстановления.
2. Измерьте импульсы двух и более скачков. Можно ли найти коэффициент восстановления, используя только значения импульсов? (Подсказка: для любого скачка покажите, что ΔP пропорционально скорости столкновения).

Примерные результаты экспериментов

Часть 1

Мяч должен отскочить три раза. До второго скачка время зависания равно 0,832 с.

$$v_{\text{down}} = -\frac{1}{2}gt_{\text{before}} = -\frac{1}{2}(9,81 \text{ m/s}^2)(0,832 \text{ s}) = -4,08 \text{ m/s}$$

После второго скачка время зависания равно 0,730 с.

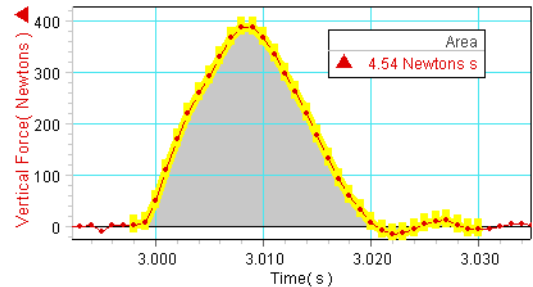
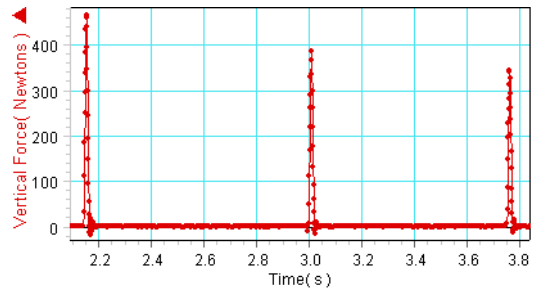
$$v_{\text{up}} = \frac{1}{2}gt_{\text{after}} = \frac{1}{2}(9,81 \text{ m/s}^2)(0,730 \text{ s}) = 3,58 \text{ m/s}$$

Вес мяча равен 5,74 Н; таким образом $m = 0,585 \text{ кг}$ и

$$\begin{aligned} \Delta P &= m(v_{\text{up}} - v_{\text{down}}) \\ &= (0,585 \text{ кг})(3,58 \text{ m/s} + 4,08 \text{ m/s}) = 4,48 \text{ Н}\cdot\text{с} \end{aligned}$$

Для второго скачка импульс силы, определенный как площадь под графиком изменения силы по времени, равен 4,54 Н·с. Отклонение от ранее вычисленного значения ΔP составляет около 1%.

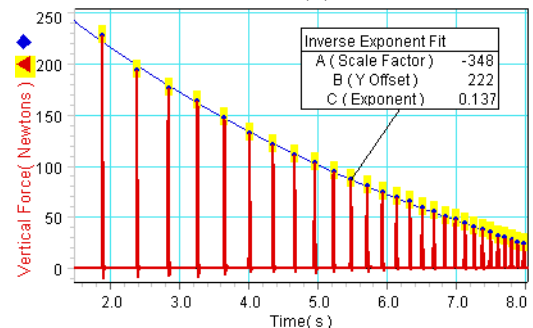
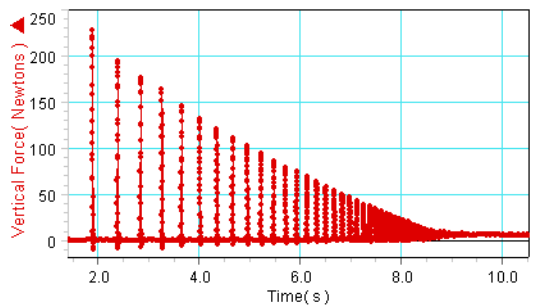
Площадь под кривой? это приблизительный способ измерения импульса, т.к. график показывает только силы, вызванные платформой, и не показывает результирующую силу, приложенную к мячу (которая включает силу тяжести). Более правильное измерение можно провести, выполнив обнуление платформы с находящимся на ней мячом, чтобы измеряемая сила была равна результирующей силе, приложенной к мячу; однако практическая разница будет мала.



Часть 2

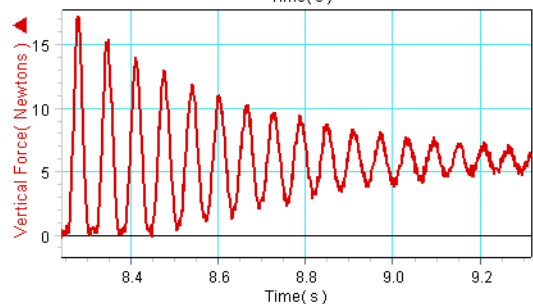
В данном случае максимальная сила в 40 раз больше веса мяча (результаты могут отличаться в зависимости от типа мяча и исходной высоты). Когда мяч в воздухе, значение измеряемой силы равно нулю.

Максимальная сила скачков затухает экспоненциально.



После того, как мяч перестает скакать, он колеблется на платформе. Сначала минимальная сила уменьшается почти до нуля, показывая, что мяч почти оторвался от платформы. С уменьшением амплитуды минимум каждого цикла приближается к статистическому весу мяча.

Когда мяч останавливается, измеряемая сила — это его вес, равный mg .



Спецификации

Диапазон	От -1 100 Н до +4 400 Н (от -250 фунтов до +1 000 фунтов)
Разрешение	0,1 Н
Максимальная скорость измерений	2 000 Гц с помощью Xplorer GLX, 1 000 Гц с помощью других интерфейсов PASPORT
Функция обнуления	Кнопка
Размер платформы	35 см x 35 см
Масса	4 кг
Защита от перегрузки	До 6 600 Н (1 500 фунтов; 1 700 Н или 375 фунтов на балку)

Техническая поддержка

По вопросам, касающимся любого продукта PASCO, обращайтесь в компанию PASCO:

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

Тел.: +916-786-3800 (для любой страны)
800-772-8700 (США)

Факс: + 916 786-3292

Web: www.pasco.com

Email: support@pasco.com

Ограниченная гарантия

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

Авторское право

Оборудование PASCO scientific 012-09118В *Силовая платформа Руководство пользователя* защищено авторскими правами. Некоммерческим образовательным учреждениям разрешается воспроизводить любую часть данного руководства для использования только в лабораториях и учебных классах, но не для продажи. Воспроизведение в любых других обстоятельствах без предварительного разрешения компании PASCO scientific запрещается.

Товарные знаки

PASCO, PASCO scientific, SPARKvue, PASPORT, Xplorer и Xplorer GLX являются товарными знаками или зарегистрированными товарными знаками PASCO scientific в США и/или других странах. Все другие торговые названия, продукты и названия услуг являются или могут быть товарными знаками или знаками обслуживания и используются для указания конкретных продуктов или услуг соответствующих владельцев. Чтобы получить более подробную информацию, посетите сайт www.pasco.com/legal.