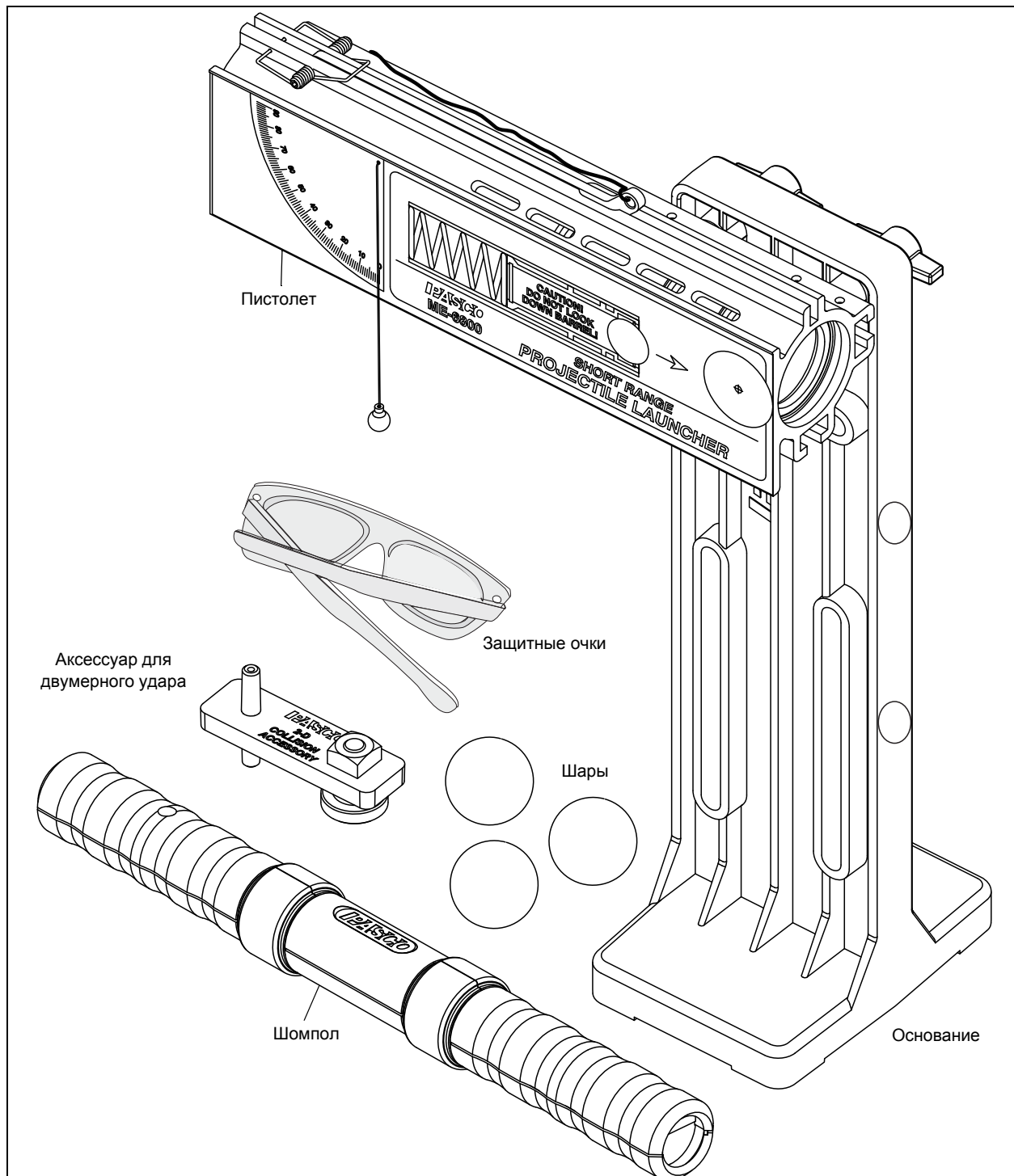




Баллистические пистолеты PASCO (малая дистанция и большая дистанция)

ME-6800 и ME-6801



На обложке изображён баллистический пистолет производства компании PASCO. Баллистический пистолет представлен в вариантах для выстрела снарядов на малую и большую дистанцию. У каждого варианта есть три настройки дальности выстрела: малая дистанция, средняя дистанция и большая дистанция. Угол выстрела в верхней позиции может меняться от 0 до 90 градусов, а высота выстрела является зафиксированной для любого угла выстрела. Баллистический пистолет также можно закрепить в горизонтальном положении с возможностью регулировки высоты. Баллистический пистолет спроектирован также для работы с баллистическим маятником ME-6831. В данном руководстве представлены готовые эксперименты и три демонстрации опытов по движению снарядов.

Содержание

Введение	5
Оборудование	5
Рекомендуемое оборудование	6
Принцип работы баллистического пистолета	7
Установка дополнительного кронштейна для фотозатворной рамки.	8
Установка дополнительного оборудования для двумерного удара	9
Ожидаемые результаты по экспериментам с баллистическим пистолетом	9
ЭКСПЕРИМЕНТЫ	
1. Движение снаряда	11
2. Движение снаряда при использовании фотозатворных рамок.	15
3. Зависимость дальности полёта снаряда от угла выстрела.	19
4. Путь снаряда	23
5. Сохранение энергии	27
6. Сохранение импульса тела.	31
7. Изменение угла для определения максимальной высоты подъёма снаряда	35
ДЕМОНСТРАЦИИ ОПЫТОВ	
8. Дальность снаряда при углах запуска 30° и 60°	37
9. Одновременный горизонтальный выстрел двумя шарами с разными скоростями	39
10. Стрельба через обручи.	41
Руководство для учителя.	43
Техническая поддержка, гарантия, авторское право	49

Баллистические пистолеты

ME-6800 и ME-6801

Введение

Баллистический пистолет PASCO разработан для проведения экспериментов по движению снарядов и демонстрации опытов с движением снарядов. Единственное требующееся дополнительное оборудование — это струбцина для монтажа установки на столе или любой другой устойчивой горизонтальной поверхности. Функциональные возможности баллистического пистолета:

- **Выстрел под любым углом:** шары могут быть запущены под любым углом от 0 до 90 градусов от горизонтальной поверхности (0 градусов). Угол можно легко отрегулировать при помощи винтов с накатанной головкой, а встроенный транспортир и свинцовый отвес позволяют точно измерить угол наклона.
- **Три настройки дальности:** для каждого варианта баллистического пистолета предусмотрено три настройки дальности. Баллистический пистолет для выстрела на малую дистанцию: приблизительно 1,2 м, 3 м и 5 м при угле выстрела 45°. Баллистический пистолет для выстрела на большую дистанцию: приблизительно 2,5 м, 5 м и 8 м. Баллистический пистолет для выстрела на большую дистанцию имеет более мощную пружину и подходит для демонстраций опытов в больших аудиториях.
- **Фиксированная высота вне зависимости от угла запуска:** баллистический пистолет поворачивается на одном конце дула так, что вертикальное положение шара при выходе из ствола не меняется при изменении угла. На основании предусмотрено два положения для установки баллистического пистолета. Верхние отсеки используются для изменения угла выстрела, а нижние два отсека используются для выстрела шара в горизонтальном направлении в цель, такую как ловушка на тележке PASCO или баллистический маятник.
- **Воспроизводимые результаты:** поршень предотвращает трение шара о внутреннюю поверхность ствола во время движения, и поэтому при выстреле шар не крутится. Когда основание закреплено на столе струбциной, отдача очень мала. Курок натягивается нитью для минимизации толчков.
- **Прицелы и меры предосторожности:** прицелы встроены в ствол баллистического пистолета. Смотрите в прицелы с дальнего конца ствола. ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ: никогда не заглядывайте в ствол спереди, так как он может быть заряжен. *Надевайте защитные очки.* Найдите жёлтый индикатор в одном из пяти отсеков в верхней части ствола: жёлтый индикатор показывает положения поршня. Если индикатор находится между первым и вторым отверстием относительно стороны дула, то поршень не находится во взведённом состоянии.
- **Можно использовать вместе с компьютером:** к баллистическому пистолету можно подсоединять как одну, так и две фотозатворные рамки при помощи Монтажного кронштейна для установки фотозатворной рамки ME-6821A. При использовании интерфейса PASCO и программного обеспечения для обработки данных фотозатворные рамки могут измерять дульную скорость шара. Следует использовать фотозатворную рамку и регистратор времени полета ME-6810 для измерения времени полета шара.
- **Компактное хранение:** баллистический пистолет занимает минимальное место, когда ствол сложен вертикально по отношению к основанию. Для шомпола и основания предусмотрен материал на липучке, что позволяет хранить шомпол на основании.



Используйте защитные очки

Оборудование

Баллистический пистолет (малая дистанция) ME-6800 включает в себя:

Комплектуемое оборудование	Номер компонента
Баллистический пистолет и основание (в сборе)	ME-6800 и ME-6801
Пластмассовые шары диаметром 25 мм (3 шт.)	см. ME-6802
Дополнительное оборудование для двумерного удара	см. ME-6802
Шомпол	см. ME-6802
Защитные очки (2 пары)	699-066

Требуемое оборудование	Номер компонента
Крепёжная скоба/зажим, большая	SE-7285

Рекомендуемое оборудование	Номер компонента
Набор запасных частей для баллистического пистолета*	ME-6802
Регистратор времени полета (дополнительное оборудование)	ME-6810
Ловушка для снарядов (дополнительное оборудование)	ME-9486
Монтажный кронштейн для установки фотозатворной рамки	ME-6821A
Набор аксессуаров для экспериментов по баллистике «Стрельба в мишень»	ME-6853
Фотозатворная рамка	ME-9498A
Лазерный прицел (дополнительное оборудование)	OS-8527A

*Набор запасных частей для баллистического пистолета ME-6802 включает в себя: шомпол (2 шт.), пластмассовые шары (10 шт. в упаковке), дополнительное оборудование для двумерного удара (2 шт.), прицелы (5 шт. в упаковке), свинцовый груз (24 шт. в упаковке), нейлоновая нить (1 катушка) и винты с накатанной головкой (10 шт.).

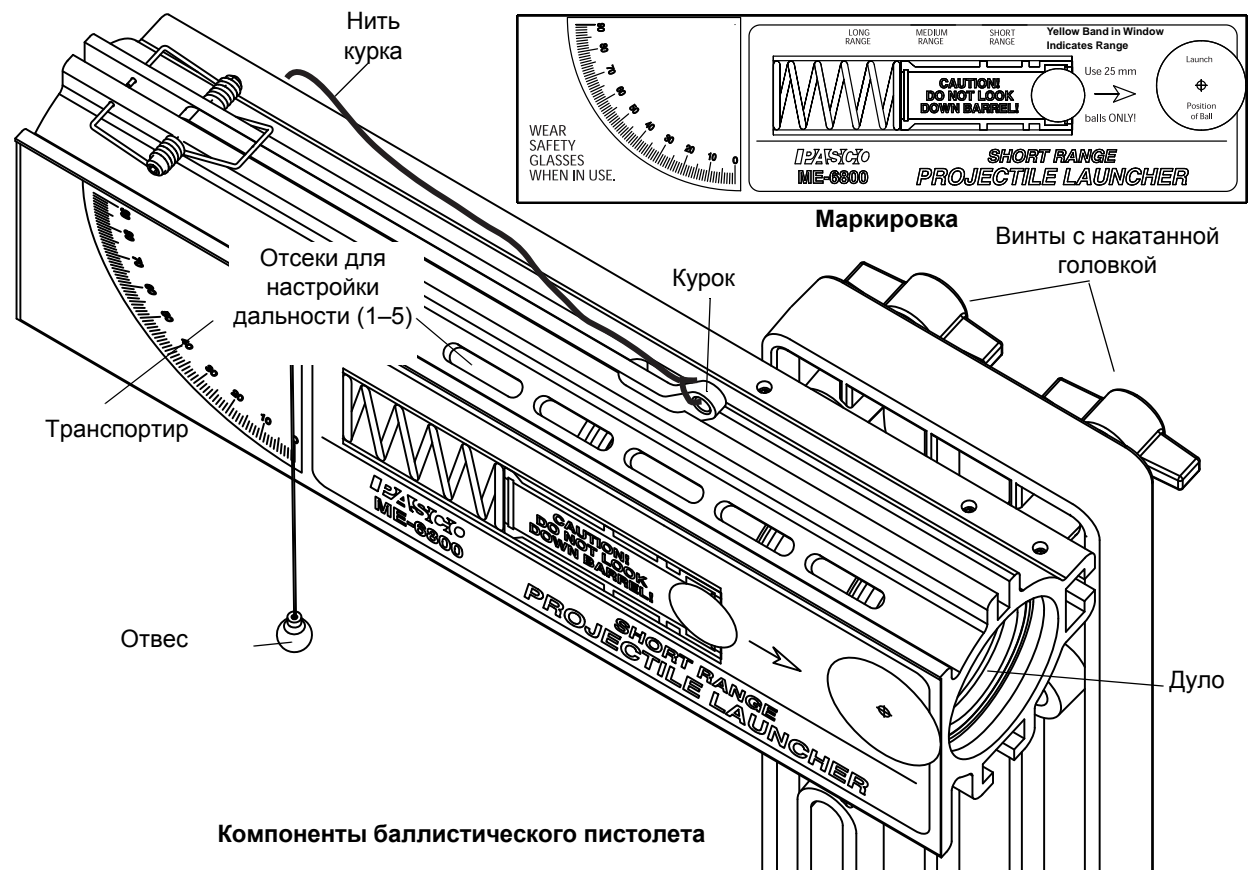
Для баллистического пистолета (большая дистанция) ME-6801 предусмотрено то же оборудование, что и для баллистического пистолета (малая дистанция). В баллистическом пистолете для выстрела на большую дистанцию используется более мощная пружина, что позволяет производить выстрелы на большее расстояние. В остальном этот пистолет аналогичен пистолету для выстрела на малую дистанцию.



Набор запасных частей для баллистического пистолета ME-6802

Принцип работы баллистического пистолета

Компоненты



Компоненты баллистического пистолета

Подготовка

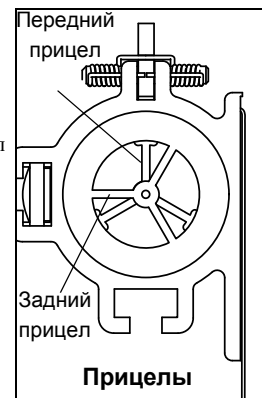
- Находясь в помещении, где размещён баллистический пистолет, необходимо всегда носить защитные очки.
- Основание баллистического пистолета должно быть крепко зафиксировано на устойчивом столе или другой поверхности. Во время фиксации на столе иногда удобно располагать сторону дула пистолета наравне с кромкой стола, чтобы можно было удобно наблюдать за полетом снаряда.
- Когда необходимо отрегулировать угол выстрела пистолета, он устанавливается на основание в отверстие и криволинейный отсек рядом с верхней частью основания. Баллистический пистолет может быть размещён в два нижних отсека основания, если необходимо производить выстрел в горизонтальном направлении, например, в ловец снарядов.



Прицеливание

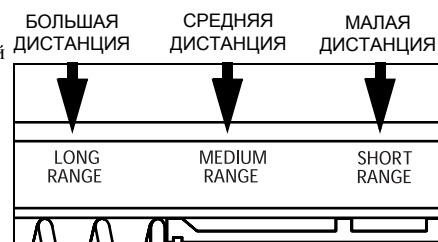
- Угол наклона над горизонтальной поверхностью регулируется посредством ослабления двух винтов с накатанной головкой и поворота ствола пистолета на требуемый угол. Используйте отвес и транспортир на маркировке для выбора угла. После того как угол будет установлен, затяните оба винта с накатанной головкой.

- Можно прицеливаться в мишень по стволу, например, в мишень «Стрельба в мишень» ME-6853. Посмотрите через обратную часть ствола при незаряженном баллистическом пистолете. На стволе установлено два прицела с тремя спицами: один прицел — на конце ствола, второй — на конце поршня (примерно на середине ствола). В центре каждого прицела находится диоптрический прицел. Ослабьте винты с накатанной головкой и струбцину и отрегулируйте угол и положение пистолета для наведения обоих прицелов на цель. Затяните винты с накатанной головкой и струбцину, когда пистолет будет нацелен.



Заряд

- Поместите шар в дуло пистолета. ПРИМЕЧАНИЕ: взводите поршень всегда с шаром внутри. Поршень можно повредить при использовании шомпола без шара в поршне.
- Извлеките шомпол из места его хранения на основании. Смотрите на отсеки для настройки дальности в верхней части пистолета и толкайте шар шомполом вниз по стволу до тех пор, пока курок не зацепится за кромку поршня, находящегося в положении для требуемой установки дальности. При установке на место курок щёлкнет.
- Когда жёлтая индикаторная лента на поршне видна в отсеке установки средней дальности, поршень находится в положении «МАЛАЯ ДИСТАНЦИЯ». Когда индикаторная лента на поршне видна в следующем слоте установки дальности (четвёртом от дула), поршень находится в положении «СРЕДНЯЯ ДИСТАНЦИЯ». Когда лента видна в последнем отсеке установки дальности, поршень находится в положении «БОЛЬШАЯ ДИСТАНЦИЯ».
- Извлеките шомпол и верните его в место хранения на основании.
- Когда баллистический пистолет заряжен, жёлтая индикаторная лента видна через один из отсеков установки дальности на верхней части ствола. Никогда не заглядывайте в ствол! Для проверки того, заряжен пистолет или нет, посмотрите на отсеки установки дальности на стволе.



Стрельба

- Перед стрельбой убедитесь, что на пути отсутствуют люди.
- Для выстрела потяните нить курка, закреплённую на курке, прямо вверх. Необходимо потянуть её приблизительно на один сантиметр.
- Курок автоматически вернётся в начальное положение после того, как нить будет отпущена.

Обслуживание и хранение

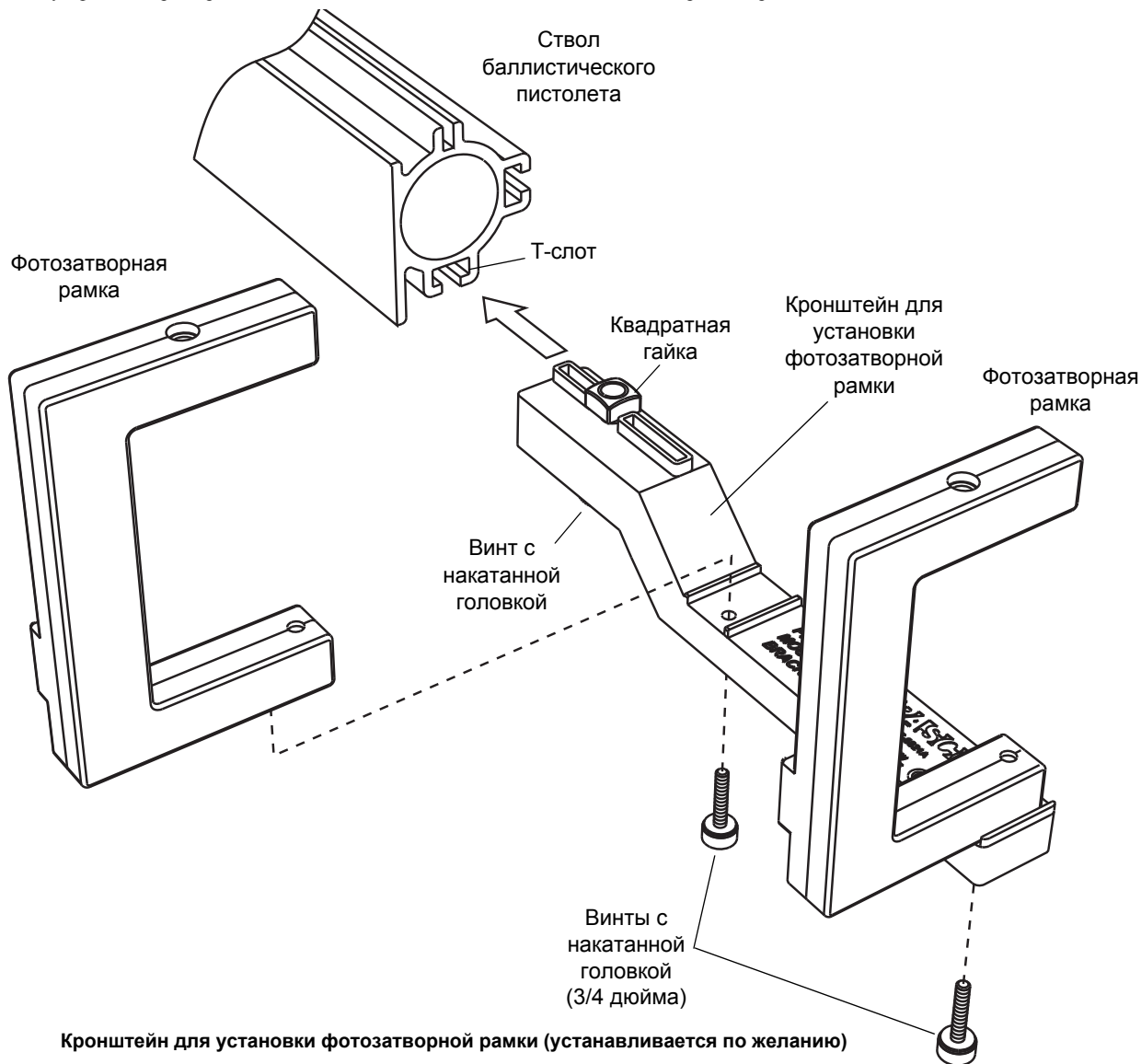
- Баллистический пистолет не требует специального технического обслуживания.
- Запрещено смазывать баллистический пистолет!
- Чтобы пистолет занимал минимальное место при хранении, необходимо ослабить винты с накатанной головкой и сложите ствол так, чтобы он был расположен параллельно основанию, т. е. угол необходимо установить на 90°. Затяните винты с накатанной головкой, удерживающие ствол на месте.

Установка дополнительного кронштейна для фотозатворной рамки (ME-6821A)

Кронштейн для фотозатворной рамки является дополнительным оборудованием, предназначенным для установки одной или двух фотозатворных рамок на баллистический пистолет, в целях измерения дульной скорости шара.

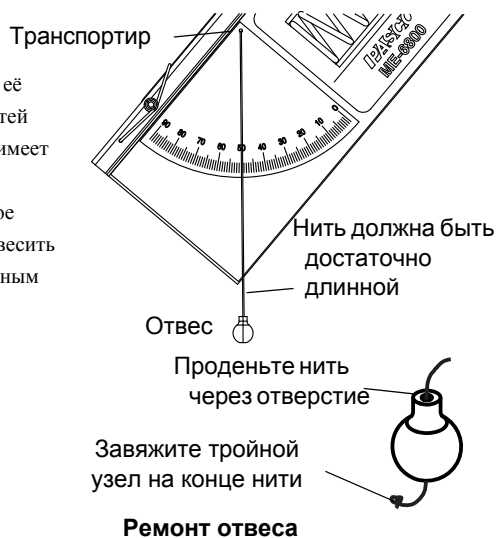
- Подготовьте кронштейн фотозатворной рамки, ослабив винты с накатанной головкой на конце кронштейна. Оставьте квадратную гайку на конце винта с накатанной головкой. Для установки одной или двух фотозатворных рамок на кронштейн воспользуйтесь винтами с накатанной головкой меньшего диаметра (0,75 дюймов). Винты хранятся в нижней части кронштейна

- Установите квадратную гайку кронштейна напротив T-слота в нижней части ствола пистолета и вдвигайте гайку в слот до тех пор, пока ближайшая к стволу фотозатворная рамка не будет находиться максимально близко к дулу, при этом не блокируя луч фотозатворной рамки. Затяните винты с накатанной головкой, чтобы закрепить кронштейн на месте.



Ремонт отвеса

Если нить, удерживающая отвес на транспортире пистолета, порвалась, замените её нейлоновой нитью аналогичной длины (например, нитью из набора запасных частей для баллистического пистолета ME-6802). Следует убедиться, что запасная нить имеет достаточную длину, чтобы при наклоне пистолета на угол 50°, нить свободно опускалась ниже пистолета. Осторожно проденьте запасную нить через небольшое отверстие у верхней части транспортира и завяжите её тройным узлом. Чтобы повесить отвес на нить, проденьте нить через отверстие в центре отвеса и завяжите её тройным узлом.



Установка дополнительного оборудования для двумерного удара

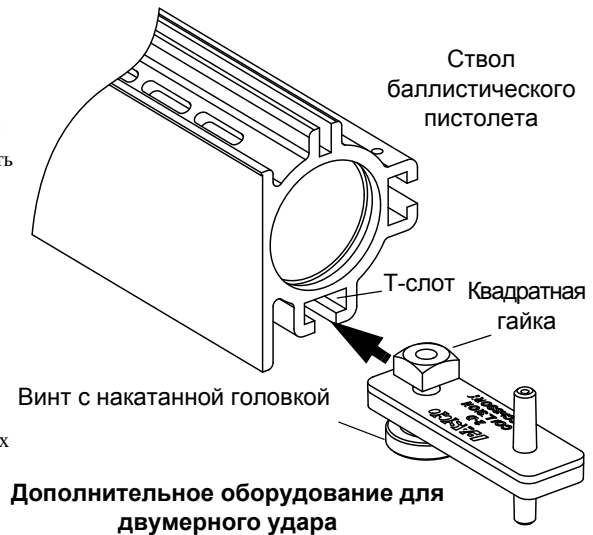
Введение

Дополнительное оборудование для двумерного удара — это пластиковая пластина с винтом с накатанной головкой и квадратной гайкой. Пластина оснащена стойкой, и для баланса можно разместить второй шар на стойке напротив дула. Когда шар сталкивается со вторым шаром, происходит двумерный удар.

Сборка

Чтобы собрать дополнительное оборудование для удара, вставьте винт с накатанной головкой в отверстие пластиковой пластины и навинтите квадратную гайку на винт с накатанной головкой. Не затягивайте квадратную гайку на винте с накатанной головкой до тех пор, пока дополнительное оборудование для удара не будет установлено на пистолет.

Чтобы установить дополнительное оборудование для удара на пистолет, вставьте квадратную гайку в Т-слот на нижней части ствола. Отрегулируйте положение дополнительного оборудования для удара, а затем затяните винт с накатанной головкой. Поместите шар на верхней части стойки, слегка ослабьте винт с накатанной головкой и поворачивайте дополнительное оборудование для удара в любую сторону до тех пор, пока шар на стойке не окажется на том месте, где по нему должен ударить под определённым углом запущенный шар.



Ожидаемые результаты по экспериментам с баллистическим пистолетом

- Дульная скорость будет немного изменяться в зависимости от угла. Разница между дульной скоростью при выстреле по горизонтали и по вертикали может составлять от 0 до 80 процентов в зависимости от настроек дальности.
- В то время как сторона с дулом баллистического пистолета не изменяет высоту при изменении угла, необходимо учитывать, что она находится на высоте около 30 сантиметров над уровнем стола. Если необходимо показать, что дальность выстрела снарядов, запускаемых с одной и той же дульной скоростью, но под различными углами, одинакова, то необходимо стрелять в горизонтальную цель, находящуюся на той же высоте, что и дуло.
- Разброс снарядов баллистического пистолета минимален при надёжном креплении пистолета на устойчивом столе. Любое колебание стола отразится на данных.
- Угол наклона может быть определён с точностью до 0,5 градуса.

Эксперимент 1. Движение снаряда

Необходимое оборудование

Элемент	Элемент
Баллистический пистолет и пластмассовый шар	Отвес и нить
Линейка	Копировальная бумага
Белая бумага	Клейкая лента

Цель

Цель эксперимента — расчёт и проверка дальности запуска шара, запущенного под определённым углом. Начальная скорость шара устанавливается посредством горизонтального выстрела шаром и измерения дальности выстрела шаром и высоты пистолета.

Теоретическая информация

Чтобы предположить то, куда приземлится шар после выстрела из пистолета под определённым углом над горизонталью, сначала необходимо определить начальную скорость (дульную скорость) шара. Её можно определить, выполнив горизонтальный выстрел шаром из пистолета и измерив расстояния по вертикали и горизонтали, которые проделал шар. Начальную скорость можно использовать для расчёта места приземления шара при запуске шара под углом над горизонталью.

Начальная горизонтальная скорость

Для шара, запущенного по горизонтали с начальной скоростью v_0 горизонтальное расстояние, пройденное шаром, определяется по формуле $x = v_0 t$, где t — это время нахождения шара в воздухе (без учета трения воздуха).

Вертикальное расстояние для шара — это дальность его падения за время t . Дальность определяется по формуле:

$$y = \frac{1}{2} g t^2$$

Начальная скорость может быть определена посредством измерения x и y . Время полета t шара можно определить по формуле:

$$t = \sqrt{\frac{2y}{g}}$$

Начальную горизонтальную скорость можно определить по формуле: $v_0 = \frac{x}{t}$.

Начальная скорость под углом

Чтобы рассчитать дальность x горизонтального выстрела для шара, запущенного с начальной скоростью v_0 под углом θ над горизонталью, сначала необходимо найти время полета из формулы для движения по вертикали:

$$y = y_0 + (v_0 \sin \theta)t - \frac{1}{2} g t^2,$$

где y_0 — это начальная высота шара, а y — это положение шара при падении на пол. Другими словами, необходимо решить квадратное уравнение для t , а затем воспользоваться уравнением $x = v_0 \cos \theta t$, где $v_0 \cos \theta$ — это горизонтальная составляющая начальной скорости.

Настройка

1. Зафиксируйте баллистический пистолет на устойчивом столе или любой другой горизонтальной поверхности. Пистолет следует располагать на одном конце стола.
2. Отрегулируйте угол наклона баллистического пистолета до нуля градусов, чтобы выполнить горизонтальный выстрел шаром.

Часть А. Определение начальной горизонтальной скорости шара

1. Поместите пластиковый шар в баллистический пистолет и взведите его в положение большой дистанции при помощи шомпола. Произведите один выстрел, чтобы проверить, куда упадет шар. Приклейте клейкой лентой лист белой бумаги к полу в этом месте. Поместите лист копировальной бумаги (копирующей стороной вниз) поверх белой бумаги и приклейте его с помощью ленты.
 - Когда шар упадет на копировальную бумагу на полу, на белой бумаге останется отпечаток.
2. Сделайте десять выстрелов.
3. Измерьте вертикальное расстояние от нижней части шара при выстреле, т. е. выходе шара из ствола. Запишите значение в таблицу данных.
 - Положение запуска шара в стволе отмечено на табличке с боковой стороны пистолета.
4. Используйте отвес для того, чтобы найти точку на полу, которая находится непосредственно под точкой выхода шара из ствола. Измерьте расстояние по горизонтали вдоль пола от точки выхода шара из ствола до передней кромки белой бумаги. Запишите расстояние в таблицу данных.
5. Осторожно уберите копировальную бумагу и измерьте расстояние от передней кромки белой бумаги до каждой из десяти точек. Запишите эти расстояния в таблицу данных и найдите среднее значение. Рассчитайте и запишите суммарное расстояние по горизонтали (расстояние до бумаги и среднее расстояние от кромки бумаги до точек)
6. Используя вертикальное расстояние y и суммарное расстояние по горизонтали x , рассчитайте время полета t и начальную горизонтальную скорость шара v_0 . Запишите время и скорость в таблицу данных.



Часть В. Расчёт дальности полета шара, запущенного под определённым углом

1. Отрегулируйте угол наклона баллистического пистолета на значения 30–60 градусов. Запишите значение угла во вторую таблицу данных.
2. Используя начальную скорость и вертикальное расстояние из первой части данного эксперимента, рассчитайте новое время полета и новое горизонтальное расстояние на основе предположения, что шар запущен под новым углом, выбранным вами. Запишите результаты расчётов во вторую таблицу данных.
3. Начертите линию, разделив лист белой бумаги пополам, и приклейте лист лентой к полу так, чтобы линия на бумаге находилась на предполагаемом горизонтальном расстоянии от баллистического пистолета. Накройте белую бумагу листом копировальной бумаги (копирующей стороной вниз) и приклейте клейкой лентой копировальную бумагу.
4. Выполните выстрел шарами десять раз.
5. Осторожно удалите копировальную бумагу. Измерьте расстояния до десяти точек падения и запишите расстояния во вторую таблицу данных.

Анализ

1. Рассчитайте процентную ошибку между вычисленным теоретическим расстоянием и реальным средним расстоянием при выстреле под углом.

$$\frac{| \text{теоретич.} - \text{фактич.} |}{\text{теоретич.}} \times 100$$

2. Оцените точность расчётной дальности. Сколько из 10 запущенных шаров приземлилось в пределах этой дальности?

Таблица данных А. Определение начальной скорости

Вертикальное расстояние = _____ Горизонтальное расстояние до кромки бумаги = _____

Расчётное время полёта = _____ Начальная скорость = _____

Испытание	Расстояние
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
Среднее	
Общее расстояние	

Таблица данных В. Предполагаемая дальность

Угол выше горизонтали = _____ Горизонтальное расстояние до кромки бумаги = _____

Расчётное время полёта = _____ Расчётная дальность = _____

Испытание	Расстояние
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
Среднее	
Общее расстояние	

Для заметок

Эксперимент 2. Движение снаряда при использовании фотозатворных рамок

Необходимое оборудование

Элемент	Элемент
Баллистический пистолет и пластмассовый шар	Отвес и нить
Фотозатворная рамка ME-9498A (2 шт.)	Монтажный кронштейн для установки фотозатворной рамки ME-6821A
Интерфейс PASCO или таймер*	Программное обеспечение для обработки данных PASCO*
Линейка	Копировальная бумага
Белая бумага	Клейкая лента

*Для получения информации об интерфейсах, таймерах и программном обеспечении для обработки данных PASCO посетите веб-сайт PASCO: www.pasco.com.

Цель

Цель эксперимента — расчёт и проверка дальности запуска шара, запущенного под определённым углом. Фотозатворные рамки используются для определения начальной скорости шара.

Теоретическая информация

Чтобы предположить то, куда приземлится шар после выстрела из пистолета под определённым углом над горизонталью, сначала необходимо определить начальную скорость (дульную скорость) шара. Скорость может быть определена посредством выстрела шаром и измерения времени при помощи фотозатворных рамок. Чтобы предположить дальность полёта x шара при выстреле с начальной скоростью под углом θ над горизонталью, сначала необходимо найти время полёта из формулы для вертикального движения:

$$y = y_0 + (v_0 \sin \theta)t - \frac{1}{2}gt^2$$

где y_0 — это начальная высота шара, а y — это положение шара при падении на пол. Чтобы получить время t , необходимо решить квадратное уравнение. Используйте формулу $x = (v_0 \cos \theta)t$ для расчёта дальности.

Настройка

1. Зафиксируйте баллистический пистолет на устойчивом столе или любой другой горизонтальной поверхности. Пистолет следует располагать на одном конце стола.
2. Отрегулируйте угол наклона баллистического пистолета до значения 30–60 градусов и запишите это значение угла.
3. Подсоедините кронштейн для установки фотозатворной рамки к баллистическому пистолету и установите две фотозатворные рамки на кронштейн. Проверьте, что расстояние между фотозатворными рамками составляет 0,10 м (10 см).
4. Подключите фотозатворные рамки к интерфейсу или таймеру.

Порядок действий

Часть А. Определение начальной скорости шара

1. Поместите пластиковый шар в баллистический пистолет и взведите его в положение большой дистанции при помощи шомпола.
2. Установите программное обеспечение для обработки данных или таймер для измерения времени между перекрытием шаром первой фотозатворной рамки и второй.
3. Выстрелите шарами три раза и рассчитайте среднее значение из величин этого времени. Запишите полученные значения в таблицу данных.
4. Рассчитайте начальную скорость шара, приняв во внимание, что между фотозатворными рамками расстояние равно 0,10 м. Запишите значение.

Таблица данных. Часть А

Таблица 2.1. Определение начальной скорости

Испытание	Время
1	
2	
3	
Среднее время	
Начальная скорость	

Часть В. Расчёт дальности полета шара, запущенного под определённым углом

- Угол баллистического пистолета должен остаться на начальном значении.
- Измерьте вертикальное расстояние от нижней части шара при выстреле, т. е. выходе шара из ствола. Запишите расстояние во вторую таблицу данных.
 - Положение запуска шара в стволе отмечено на табличке с боковой стороны пистолета.
- Для расчёта времени полета используйте вертикальное расстояние, угол и начальную скорость. Запишите значение.

$$y = y_0 + (v_0 \sin \theta)t - \frac{1}{2}gt^2$$

- Воспользуйтесь значениями времени полёта t , угла θ и начальной скорости v_0 для расчёта горизонтального расстояния по формуле $x = (v_0 \cos \theta)t$. Запишите расчётную дальность.
- Начертите линию, разделив лист белой бумаги пополам, и приклейте лист лентой к полу так, чтобы линия на бумаге находилась на предполагаемом горизонтальном расстоянии. Накройте белую бумагу листом копировальной бумаги и приклейте клейкой лентой копировальную бумагу.
- Используйте отвес для того, чтобы найти точку на полу, которая находится непосредственно под точкой выхода шара из ствола. Измерьте расстояние по горизонтали вдоль пола от точки выхода шара из ствола до передней кромки белой бумаги. Запишите расстояние в таблицу данных.
- Выполните выстрел шарами десять раз.
- Осторожно уберите копировальную бумагу и измерьте расстояние от передней кромки белой бумаги до каждой из десяти точек. Запишите эти расстояния в таблицу данных и найдите среднее значение. Рассчитайте и запишите суммарное расстояние по горизонтали (расстояние до бумаги и среднее расстояние от кромки бумаги до точек).

Угол выше горизонтали = _____ Горизонтальное расстояние до кромки бумаги = _____

Расчётное время полёта = _____ Расчётная дальность = _____



Таблица данных. Часть В

Таблица 2.2. Проверка расчётной дальности

Испытание	Расстояние
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
Среднее	
Общее расстояние	

Анализ

1. Рассчитайте процентную ошибку между вычисленным теоретическим расстоянием и реальным средним расстоянием при выстреле под углом.

$$\frac{| \text{теоретич.} - \text{фактич.} |}{\text{теоретич.}} \times 100$$

2. Оцените точность расчётной дальности. Сколько из 10 запущенных шаров приземлилось в пределах этой дальности?

Для заметок

Эксперимент 3. Зависимость дальности полёта снаряда от угла выстрела

Необходимое оборудование

Элемент	Элемент
Баллистический пистолет и пластмассовый шар	Отвес и нить
Линейка или измерительная лента	Коробка для регулировки высоты области приземления до высоты дула
Миллиметровая бумага	Копировальная бумага
Белая бумага	Клейкая лента

Цель

Целью эксперимента является определение зависимости дальности полёта шара от угла выстрела. Угол, при котором дальность выстрела наибольшая, определяется для двух опытов: для выстрела на ровной поверхности и для выстрела со стола.

Теоретическая информация

Дальность — это расстояние по горизонтали x между дулом пистолета и местом падения снаряда. Расстояние вычисляется по формуле $x = (v_0 \cos \theta) t$, где v_0 — это начальная скорость снаряда при выходе из дула, θ — это угол запуска по горизонтали, а t — это время полета (см. рисунок).

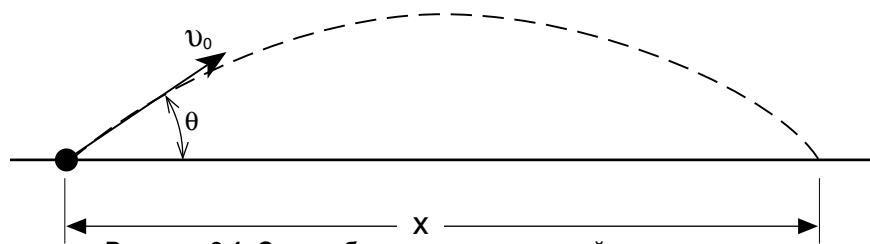


Рисунок 3.1. Стрельба на горизонтальной поверхности

Для опыта, когда снаряд падает на поверхность на высоте дула пистолета, общее время полета снаряда будет в два раза больше времени достижения снарядом максимальной высоты его траектории. В максимуме вертикальная скорость равна нулю. Следовательно:

$$v_y = 0 = (v_0 \sin \theta) - g t_{\text{макс}} ,$$

где v_0 — это начальная скорость снаряда. Решение уравнение для времени даёт уравнение для общего времени полета:

$$t = 2 t_{\text{макс}} = 2 \left(\frac{v_0 \sin \theta}{g} \right)$$

Для опыта, когда снаряд запускается под углом над горизонталью вертикального движения:

$$y = y_0 + (v_0 \sin \theta) t - \frac{1}{2} g t^2 ,$$

где y_0 — это начальная высота снаряда в пистолете, а y — это положение шара по вертикали при падении на пол.

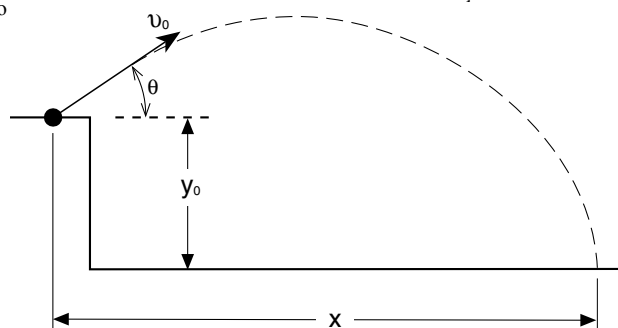


Рисунок 3.2. Стрельба со стола

Настройка

1. Зафиксируйте баллистический пистолет на устойчивом столе или любой другой горизонтальной поверхности. Поместите пистолет у одного конца стола и нацельте его в центр стола, а не от стола.

2. Установите угол наклона баллистического пистолета на 10 градусов.
3. Поместите пластиковый шар в баллистический пистолет и взведите его в положение средней или большой дистанции.
- Примечание: как правило, результаты эксперимента не будут точны для малой дальности выстрела, так как в таком случае дульная скорость будет варьироваться сильнее при изменении угла.
4. Произведите один выстрел, чтобы проверить, куда упадет шар. Поместите коробку или другую горизонтальную поверхность в это место так, чтобы шар падал на коробку, установленную на той же высоте, что и дуло пистолета.



Порядок действий

Часть А. Стрельба на горизонтальную поверхность

1. Произведите один выстрел, чтобы проверить, в каком месте шар упадет на коробку. Приклейте на это месте к коробке клейкой лентой лист белой бумаги. Приклейте лентой лист копировальной бумаги (копирующей стороной вниз) поверх белой бумаги.
- Когда шар упадет на копировальную бумагу, на белой бумаге останется его отпечаток.
2. Произведите пять выстрелов.
3. Измерьте расстояние по горизонтали от дула до передней кромки бумаги при помощи измерительной ленты. Если у вас нет измерительной ленты, то используйте отвес, чтобы найти точку на столе, находящуюся непосредственно под точкой выброса на стволе, и измерьте расстояние на столе от дула до передней кромки бумаги. Запишите расстояние в таблицу данных.
4. Осторожно удалите копировальную бумагу. Измерьте расстояние от передней кромки бумаги до каждой из пяти точек и запишите расстояния в таблицу данных.
5. Увеличьте угол выстрела на 10 градусов и повторите все шаги.
6. Повторяйте все шаги до 80 градусов включительно, увеличивая угол каждый раз на 10 градусов.

Таблица данных. Часть А

Таблица 3.1. Стрельба на горизонтальную поверхность

	Угол	10	20	30	40	50	60	70	80
Расстояние по горизонтали	1								
	2								
	3								
	4								
	5								
	Среднее значение								
	Расстояние до бумаги								
	Общее расстояние								

Часть В. Стрельба со стола

1. Поверните баллистический пистолет так, чтобы шары выстреливали на пол.

2. Повторите порядок действий и запишите данные в таблицу данных.

Таблица данных. Часть В

Таблица 3.2. Стрельба со стола

Расстояние по горизонтали	Угол	10	20	30	40	50	60	70	80
	1								
	2								
	3								
	4								
	5								
Среднее значение									
Расстояние до бумаги									
Общее расстояние									

Анализ

1. Найдите среднее значение для пяти расстояний для каждого опыта и запишите результаты в таблицы данных.
2. Прибавьте среднее расстояние к расстоянию от пистолета до передней кромки белой бумаги, чтобы получить общее расстояние (дальность) для каждого опыта. Запишите результаты в таблицы данных.
3. Для каждой таблицы данных составьте график зависимости дальности от угла и начертите сглаженную кривую через точки.

Вопросы

1. Согласно графику, при каком угле возникает максимальная дальность выстрела в каждом опыте?
2. Угол при максимальной дальности выстрела больше или меньше при стрельбе со стола?
3. Максимальное расстояние выстрела больше при стрельбе со стола или с горизонтальной поверхности?

Для заметок

Эксперимент 4. Путь снаряда

Необходимое оборудование

Элемент	Элемент
Баллистический пистолет и пластмассовый шар	Передвижная вертикальная мишень*
Линейка или измерительная лента	Клейкая лента
Миллиметровая бумага	Копировальная бумага
Белая бумага	

*Мишень должна находиться на высоте, равной расстоянию от дула до пола.

Цель

Целью данного эксперимента является определение соотношения вертикального расстояния при падении снаряда и расстояния, которое снаряд проходит по горизонтали, при условии, что снаряд выстреливает горизонтально.

Теоретическая информация

Дальность — это горизонтальное расстояние x между дулом баллистического пистолета и местом, куда падает снаряд, определяемое уравнением $x = v_0 t$, где v_0 — это начальная скорость снаряда при выходе из дула, а t — это время полета.

Если снаряд запущен горизонтально, то время полета снаряда составит

$$t = \frac{x}{v_0}$$

Вертикальное расстояние падения снаряда y , проходимое за время t , рассчитывается по формуле:

$$y = \frac{1}{2} g t^2,$$

где g — это ускорение свободного падения. При подстановке t во второе уравнение, получаем уравнение:

$$y = \left(\frac{g}{2v_0^2} \right) x^2$$

График зависимости y от x^2 представляет собой прямую наклонную линию. Наклон равен $\frac{g}{2v_0^2}$.

Настройка

1. Зафиксируйте баллистический пистолет на устойчивом столе или любой другой горизонтальной поверхности. Поместите пистолет на конец стола и нацельте пистолет от стола.
2. Установите угол наклона баллистического пистолета на ноль градусов, чтобы шар выстреливался горизонтально.
3. Сделайте один пробный выстрел со средней дальностью, чтобы определить начальное положение вертикальной мишени. Разместите мишень на полу так, чтобы шар ударялся о нижнюю часть мишени.

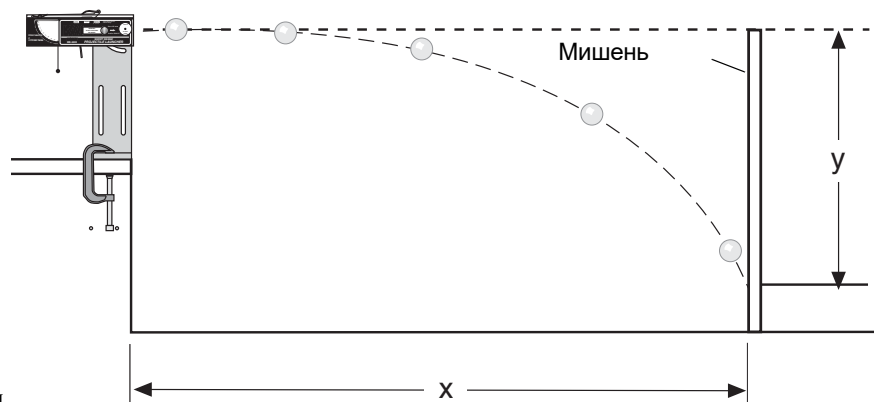


Рисунок 4.3. Настройка пистолета

4. Закройте мишень белой бумагой. Приклейте клейкой лентой копировальную бумагу поверх белой бумаги.

Порядок действий

1. Измерьте вертикальное расстояние от пола до дула и запишите эту высоту в таблицу данных. Отметьте эту высоту на мишени.
2. Измерьте горизонтальное расстояние от дула пистолета до мишени и запишите это значение в таблицу данных.
3. Выстрелите шаром.
4. Переместите мишень на 10–20 см ближе к пистолету.
5. Повторяйте шаги 2–4 до тех пор, пока шар не станет ударяться о мишень ниже дула на 10–20 см.

Таблица данных 4.1

Высота дула = _____

Таблица 4.1. Данные величин x и y

Горизонт. (x)	Вертик. (y)	x^2

Анализ

1. Измерьте вертикальные расстояния на мишени от высоты дула до отметок шара и запишите эти величины в таблицу 4.1.
2. Рассчитайте x^2 для всех точек данных и запишите их в таблицу данных.
3. Составьте график зависимости y от x^2 и начертите линию наилучшего соответствия по точкам из таблицы данных.
4. Рассчитайте наклон графика и запишите угол в таблицу 4.2.
5. Исходя из наклона графика, рассчитайте начальную скорость шара при выходе из дула. Запишите начальную скорость в таблицу 4.2.
6. Выберите любую точку данных с величинами x и y из таблицы 4.1. Используя расстояние по вертикали y , рассчитайте время t . Рассчитайте начальную скорость, используя найденное время и горизонтальное расстояние x . Запишите результаты в таблицу 4.2.

7. Рассчитайте разницу в процентах между двумя начальными скоростями, рассчитанными различными способами. Запишите разницу в процентах в таблицу 4.2. Для расчета разницы в процентах возьмите A как одно значение начальной скорости и B как другое значение начальной скорости.

$$\left| \frac{A - B}{\left(\frac{A + B}{2}\right)} \right| \times 100$$

Таблица данных 4.2

Таблица 4.2. Сравнение результатов вычисления начальной скорости различными способами

Элемент	Значение
Наклон графика	
Начальная скорость согласно наклону	
Время полета	
Начальная скорость согласно x и y	
Разница в процентах	

Вопросы

1. Исходя из построенного графика, была ли линия наилучшего соответствия прямой?
2. О чём говорит форма линии наилучшего соответствия зависимости y от x^2 о взаимосвязи y и x^2 ?
3. Чем график зависимости y от x отличается от графика зависимости y от x^2 ?
4. Как выглядит кривая пути снаряда?

Для заметок

Эксперимент 5. Сохранение энергии

Необходимое оборудование

Элемент	Элемент
Баллистический пистолет и пластмассовый шар	Отвес и нить
Линейка или измерительная лента	Клейкая лента
Белая бумага	Копировальная бумага
Фотозатворная рамка ME-9498A (2 шт.) — по желанию	Монтажный кронштейн для установки фотозатворной рамки ME-6821A — по желанию

**Для непосредственного измерения начальной скорости шара используйте фотозатворные рамки и кронштейн для установки фотозатворной рамки совместно с интерфейсом или таймером PASCO (см. эксперимент 2).*

Цель

Цель данного эксперимента — подтверждение того, что начальная кинетическая энергия снаряда, запущенного прямо вверх, преобразуется в равное количество потенциальной (гравитационной) энергии.

Теоретическая информация

Общая механическая энергия снаряда представляет собой сумму потенциальной и кинетической энергии. При отсутствии трения общая механическая энергия остаётся неизменной. Когда снаряд выстреливает прямо вверх, начальная потенциальная энергия E_n равна нулю. Начальная кинетическая энергия E_k зависит от массы снаряда m и начальной скорости:

$$E_k = \frac{1}{2}mv_0^2$$

Когда снаряд достигает максимальной высоты h , скорость снаряда равна нулю. Следовательно, кинетическая энергия равна нулю. Потенциальная энергия зависит от массы снаряда и высоты:

$$E_n = mgh$$

где g — это ускорение свободного падения. Если пренебречь трением воздуха, начальная кинетическая энергия должна быть равной потенциальной энергии в верхней точке (конечной потенциальной энергии).

Для расчета начальной кинетической энергии необходимо определить начальную скорость снаряда. Расчёт начальной скорости v_0 снаряда, запущенного горизонтально, предполагает, что горизонтальное расстояние, пройденное снарядом, составит $x = v_0t$, где t — это время нахождения снаряда в воздухе.

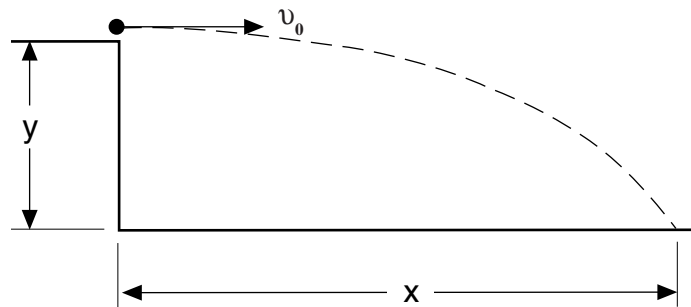
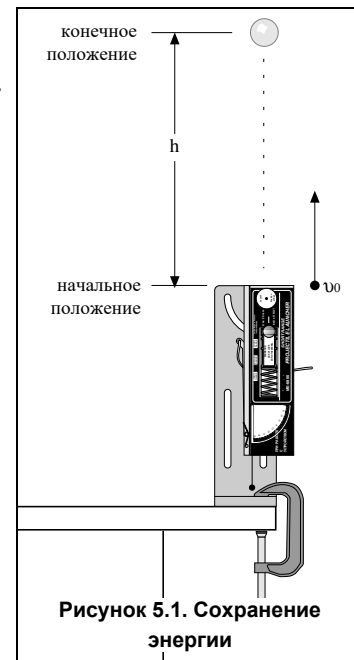
Расстояние вертикального падения снаряда за время t определяется уравнением:

$$y = \frac{1}{2}gt^2$$

Начальная скорость снаряда может быть рассчитана посредством измерения x и y . Затем необходимо использовать y для расчета времени t . Время полета снаряда можно рассчитать по формуле:

$$t = \sqrt{\frac{2y}{g}}$$

Начальную скорость можно найти по формуле: $v_0 = \frac{x}{t}$



Настройка

1. Зафиксируйте баллистический пистолет на устойчивом столе или любой другой горизонтальной поверхности. Поместите пистолет на конец стола и нацельте пистолет от стола.
2. Направьте пистолет прямо вверх и произведите пробный выстрел со средней дальностью, чтобы убедиться, что шар не заденет потолок. В ином случае используйте настройку малой дальности для данного эксперимента или разместите пистолет ближе к полу.
3. Установите угол наклона баллистического пистолета на ноль градусов, чтобы шар выстреливался горизонтально.

Порядок действий

Часть А. Определение начальной скорости (без фотозатворных рамок)

1. Поместите пластиковый шар в пистолет и взведите его в положение для средней дальности. Произведите один выстрел, чтобы проверить, куда упадет шар. Приклейте клейкой лентой лист белой бумаги к полу на этом месте. Поместите лист копировальной бумаги (копирующей стороной вниз) поверх белой бумаги и приклейте его с помощью ленты.
 - Когда шар упадет на копировальную бумагу, на белой бумаге останется его отпечаток.
2. Сделайте десять выстрелов.
3. Измерьте вертикальное расстояние от нижней части шара при выстреле, т. е. выходе шара из ствола. Запишите это расстояние в таблицу 5.1. Используя это расстояние, рассчитайте время полета и запишите его.
 - Положение запуска шара в стволе отмечено на табличке с боковой стороны пистолета.
4. Используйте отвес для того, чтобы найти точку на полу, которая находится непосредственно под точкой выхода шара из ствола. Измерьте расстояние по горизонтали вдоль пола от точки выхода шара из ствола до передней кромки белой бумаги. Запишите расстояние в таблицу 5.1.
5. Осторожно удалите копировальную бумагу. Измерьте расстояние от передней кромки бумаги до каждой из десяти точек и запишите эти расстояния в таблицу 5.1.
6. Найдите среднее значение для десяти расстояний и запишите его.
7. Рассчитайте начальную скорость шара, используя значения горизонтального расстояния и времени полета. Запишите полученную скорость.

Таблица данных 5.1

Таблица 5.1

Элемент	Значение	Элемент	Значение
Вертикальное расстояние		Расчётное время полёта	
Горизонтальное расстояние до кромки бумаги		Начальная скорость	

Испытание	Расстояние	Испытание	Расстояние
1		6	
2		7	
3		8	
4		9	
5		10	
		Среднее	
		Общее расстояние	

Альтернативный метод определения начальной скорости шара (с использованием фотозатворных рамок)

1. Подсоедините кронштейн для установки фотозатворной рамки к баллистическому пистолету и установите две фотозатворные рамки на кронштейн. Проверьте, что расстояние между фотозатворными рамками составляет 0,10 м (10 см).
2. Подключите фотозатворные рамки к интерфейсу или таймеру.
3. Установите угол наклона пистолета на 90 градусов (прямо вверх).
4. Поместите пластиковый шар в баллистический пистолет и, используя шомпол, взведите его в положение для средней дальности.
5. Установите программное обеспечение для обработки данных или таймер для измерения времени между перекрытием шаром первой фотозатворной рамки и второй.
6. Выстрелите шарами три раза и рассчитайте среднее значение из величин этого времени. Запишите данные в таблицу 5.2.
7. Рассчитайте начальную скорость шара, приняв во внимание, что между фотозатворными рамками расстояние равно 0,10 м. Запишите значение.

Таблица 5.2

Таблица 5.2. Начальная скорость с использованием фотозатворных рамок

Испытание	Время
1	
2	
3	
Среднее время	
Начальная скорость	

Часть В. Измерение высоты шара

1. Установите угол наклона пистолета на 90 градусов (прямо вверх).
2. Сделайте несколько выстрелов с настройкой средней дальности и измерьте максимальную высоту, достигнутую шаром. Запишите максимальную высоту в таблицу 5.3.
3. Определите массу шара и запишите её в таблицу 5.3.

Анализ

1. Рассчитайте начальную кинетическую энергию и запишите её в таблицу 5.3.
2. Рассчитайте конечную потенциальную энергию и запишите её в таблицу 5.3.
3. Рассчитайте разницу в процентах между начальной кинетической энергией и конечную потенциальную энергию и запишите разницу в таблицу 5.3.

$$\left| \frac{E_k - E_n}{E_k + E_n} \right| \times 100$$

$$2$$

Таблица 5.3. Результаты

Элемент	Значение
Максимальная высота шара	
Масса шара	
Начальная кинетическая энергия	
Конечная потенциальная энергия	
Разница в процентах	

Вопросы

1. Как начальная кинетическая энергия соотносится с конечной потенциальной энергией?
2. Влияет ли трение воздуха на сохранение энергии?
3. Когда пистолет взведён, он обладает эластичной потенциальной энергией. Если энергия сохранена, как должна соотноситься эластичная потенциальная энергия с начальной кинетической энергией?

Эксперимент 6. Сохранение импульса тела

Необходимое оборудование

Элемент	Элемент
Баллистический пистолет и 2 пластмассовых шара	Дополнительное оборудование для двумерного удара
Линейка или измерительная лента	Клейкая лента
Большой лист белой бумаги	Копировальная бумага (2 или 3 листа)
Транспортёр	Отвес и нить

Цель

Цель данного эксперимента — подтверждение того, что импульс тела сохраняется для упругих и неупругих ударов в двух измерениях.

Теоретическая информация

Шар выстреливает в направлении другого шара, изначально находящегося в состоянии покоя, что приводит к столкновению, после которого оба шара будут двигаться в разных направлениях. В системе, состоящей только из двух шаров, оба шара падают под действием силы тяжести. Поэтому импульс тела не сохраняется в вертикальном направлении. Однако в горизонтальной плоскости отсутствует результирующая сила (если пренебречь сопротивлением воздуха). Поэтому импульс тела сохраняется в горизонтальной плоскости.

Так как суммарный импульс тела направлен на шар № 1 (m_1) до столкновения, удобнее будет создать ось x параллельно этому направлению. Импульс тела до удара определяется по формуле:

$$\vec{p}_{до} = m_1 v_0 \hat{x},$$

где v_0 — это начальная скорость шара № 1 и основной вектор в направлении x . Импульсы тела двух шаров после столкновения содержат горизонтальную и вертикальную составляющие. Поэтому импульс тела после удара определяется по формуле:

$$\vec{p}_{после} = (m_1 v_{1x} + m_2 v_{2x}) \hat{x} + (m_1 v_{1y} + m_2 v_{2y}) \hat{y},$$

где $v_{1x} = v_1 \cos T_1$, $v_{1y} = v_1 \sin T_1$, $v_{2x} = v_2 \cos T_2$, и $v_{2y} = v_2 \sin T_2$.

Так как до удара импульс тела в направлении y отсутствует, результирующий импульс тела в направлении y после столкновения равен нулю. Следовательно:

$$m_1 v_{1y} = -m_2 v_{2y}$$

Равенство импульса тела в направлении x до удара и импульса тела в направлении x после столкновения даёт следующее выражение:

$$m_1 v_0 = m_1 v_{1x} + m_2 v_{2x}$$

При абсолютно упругом ударе сохраняется кинетическая энергия, а также импульс тела.

$$\frac{1}{2} m_1 v_0^2 = \frac{1}{2} m_1 v_1^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2^2$$

При сохранении энергии, пути двух шаров равной массы будут располагаться под прямым углом друг к другу сразу после столкновения.

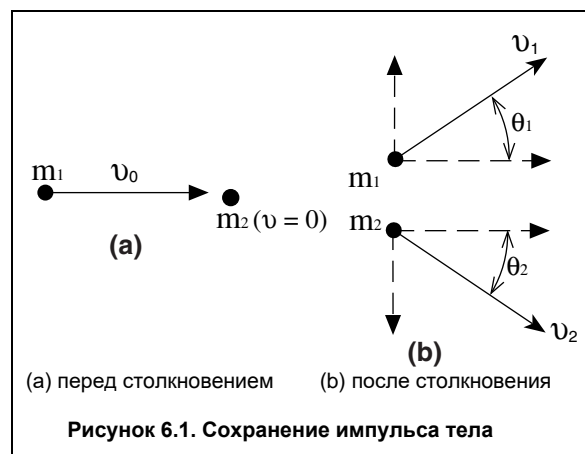


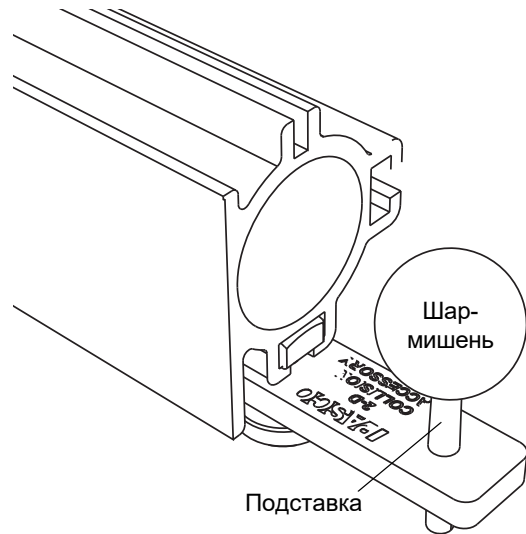
Рисунок 6.1. Сохранение импульса тела

Настройка

1. Зафиксируйте баллистический пистолет на устойчивом столе.
Поместите пистолет на конце стола и нацельте его в центр стола.
2. Установите угол наклона баллистического пистолета на ноль градусов, чтобы шар выстреливался горизонтально на стол.
3. Накройте стол белой бумагой (например, толстым пергаментом).

ПРИМЕЧАНИЕ: бумага должна доходить до основания пистолета.

4. Сделайте пробный выстрел с настройкой малой дальности, чтобы убедиться, что шар падает на стол. Приклейте клейкой лентой лист копировальной бумаги (копирующей стороной вниз) на место, куда упал шар.
5. Установите дополнительное оборудование для двумерного удара перед пистолетом.
Поместите шар-мишень на стойку (подставку) дополнительного оборудования.
6. Ослабьте винт с накатанной головкой и слегка поверните в сторону дополнительное оборудование для двумерного удара.
 - Подставка должна быть расположена таким образом, чтобы выстреленный шар не от ricoшетил в пистолет, а попал в шар-мишень так, чтобы оба шара одновременно упали на стол.
 - Затяните винт с накатанной головкой, фиксирующий дополнительное оборудование.
7. Зарядите баллистический пистолет и произведите пробный выстрел, чтобы проверить, что оба шара одновременно упадут на стол. Приклейте клейкой лентой лист копировальной бумаги на белую бумагу в местах, где каждый шар упал на стол.



Порядок действий

А. Без столкновения

1. Поместите шар № 1 в пистолет и взведите его в положение для малой дальности выстрела. Не помещайте шар-мишень на подставку.
2. Выстрелите вперёд шаром и повторите весь порядок действий пять раз.

В. Упругое столкновение

1. Используйте два шара. Поместите шар № 1 в пистолет с настройкой малой дистанции. Поместите шар № 2 на подставку дополнительного оборудования для двумерного удара.
2. Запустите шар № 1 так, чтобы он ударился о шар-мишень (шар № 2). Повторите порядок действий пять раз.

С. Неупругий удар

1. Используйте два шара. Поместите шар № 1 в пистолет с настройкой малой дистанции. Поместите небольшую петлю из клейкой ленты (клейкой стороной наружу) на шар № 2 и положите его на подставку.
2. Разместите шар № 2 так, чтобы запущенный шар (шар № 1) ударился о сторону с клейкой лентой, т. е. чтобы произошёл неупругий удар.
3. Сделайте пробный выстрел, чтобы проверить, куда упадёт каждый шар на стол. Приклейте клейкой лентой лист копировальной бумаги на белую бумагу.
4. Выстрелите шаром № 1: если оба шара склеятся и упадут мимо копировальной бумаги, то переместите копировальную бумагу и сделайте ещё один выстрел.

- Так как клейкая лента не позволяет воспроизвести одинаковый неупругий удар, результаты такого удара следует записать только один раз.
5. Используйте отвес, чтобы найти на бумаге место непосредственно под точкой контакта двух шаров. Отметьте данную точку на бумаге как точку контакта. Осторожно уберите копировальную бумагу с белой бумаги.

Анализ

Время полета шара для каждого выстрела одинаково, так как вертикальное расстояние, пройденное шарами, для каждого выстрела одинаково. Следовательно, каждый пройденный горизонтальный путь пропорционален скорости каждого шара. Так как массы шаров одинаковы, то длина каждого пути, пройденного по горизонтали, также пропорциональна импульсу шара.

А. Без столкновения

1. Начертите прямые линии от точки контакта до каждой точки, полученной в результате выстрелов без столкновения.
2. Измерьте каждую прямую линию и запишите длины этих линий. Найдите среднее значение для пяти длин и запишите эту длину в поле для начального импульса тела по оси x в таблицу 6.1 и таблицу 6.2. Например, если длина составляет 65 см, то запишите 65 в поле для начального импульса тела по оси x , но опустите единицу измерения.

В. Упругое столкновение

1. Начертите прямую линию от точки контакта через центр скопления группы точек, проставленных согласно выстрелам без столкновения. Получится центральная линия, от которой будут отмериваться все углы.
2. Прочертите прямые линии от точки контакта до каждой точки, полученной в результате выстрелов с упругим ударом. С каждой стороны центральной линии должно быть по пять линий.
3. Измерьте длину от точки контакта до каждой точки шара № 1. Найдите среднее значение для пяти длин. Прочертите прямую линию от точки контакта через центр скопления группы точек шара № 1.
4. Измерьте угол между центральной линией и прямой линией шара № 1. Используя данный угол и среднюю длину линии шара № 1, рассчитайте составляющую по оси x шара № 1 и составляющую по оси y шара № 1. Запишите эти значения.
5. Измерьте длину от точки контакта до каждой точки шара № 2. Найдите среднее значение для пяти длин. Прочертите прямую линию от точки контакта через центр скопления группы точек шара № 2.
6. Измерьте угол между центральной линией и прямой линией шара № 2. Используя данный угол и среднюю длину линии шара № 2, рассчитайте составляющую по оси x шара № 2 и составляющую по оси y шара № 2. Запишите эти значения.
7. Сложите импульс тела по оси x шара № 1 и импульс тела по оси x шара № 2 и запишите результат в таблицу 6.1 как конечный импульс тела по оси x .
8. Рассчитайте начальную кинетическую энергию шара № 1 и сумму кинетических энергий шара № 1 и шара № 2 после удара.
9. Вычислите разницу в процентах.

Таблица 6.1. Данные для упругих ударов

Элемент	Значение	Элемент	Значение	Разница в процентах
Начальный импульс тела по оси x . Шар № 1		Конечный импульс тела по оси x . Шар № 1 и шар № 2		
Конечный импульс тела по оси y . Шар № 1		Конечный импульс тела по оси y . Шар № 2		
Начальная кинетическая энергия. Шар № 1		Конечная кинетическая энергия. Шар № 1 и шар № 2		

С. Неупругий удар

1. Начертите прямые линии от точки контакта до точек, полученных в результате выстрела с неупругим столкновением (на графике должно быть две линии).
2. Измерьте длину от точки контакта до каждой точки, полученной в результате выстрела с неупругим столкновением.
3. Измерьте угол между центральной линией и прямой линией для каждой точки выстрела с неупругим столкновением.
4. Используя значения угла и длины линий для выстрела, рассчитайте составляющую по оси x и составляющую по оси y для каждого шара при выстреле с неупругим столкновением. Запишите эти значения.
5. После удара сложите импульс тела по оси x шара № 1 и импульс тела по оси x шара № 2 и запишите результат в таблицу 6.1 как конечный импульс тела по оси x .
6. Рассчитайте начальную кинетическую энергию шара № 1 и сумму кинетических энергий шара № 1 и шара № 2 после удара.
7. Вычислите разницу в процентах.

Вопросы

1. Был ли сохранен импульс тела по оси x для каждого типа столкновения?
2. Был ли сохранен импульс тела по оси y для каждого типа столкновения?
3. Была ли сохранена кинетическая энергия для упругого столкновения?
4. Была ли сохранена кинетическая энергия для неупругого столкновения?

Эксперимент 7. Изменение угла для определения максимальной высоты подъёма снаряда

Необходимое оборудование

Элемент	Элемент
Баллистический пистолет и пластмассовый шар	Панель для защиты стены
Линейка или измерительная лента	Клейкая лента
Большой лист белой бумаги	Копировальная бумага (несколько листов)
Отвес и нить	

Цель

Цель данного эксперимента — определение угла выстрела, при котором достигается максимальная высота на вертикальной стене, для снаряда, запущенного на определённом горизонтальном расстоянии от стены.

Теоретическая информация

При выстреле шаром под углом на определённом расстоянии x от цели, такой как вертикальная стена, шар ударяется о стену на высоте y , которую можно получить из уравнения:

$$y = y_0 + (v_0 \sin \theta)t - \frac{1}{2}gt^2,$$

где y_0 — это начальная высота шара, v_0 — это начальная скорость шара при выходе из дула, θ — это угол наклона по горизонтали, g — это ускорение свободного падения, а t — это время полёта. Дальность — это горизонтальное расстояние x между дулом пистолета и местом, куда попадает шар, которое можно рассчитать по формуле:

$$x = (v_0 \cos \theta)t$$

В результате решения данного уравнения для времени полёта t получаем формулу:

$$t = \frac{x}{v_0 \cos \theta}$$

При подстановке t в уравнение для y получаем уравнение:

$$y = y_0 + x \tan \theta - \frac{gx^2}{2v_0^2 \cos^2 \theta}$$

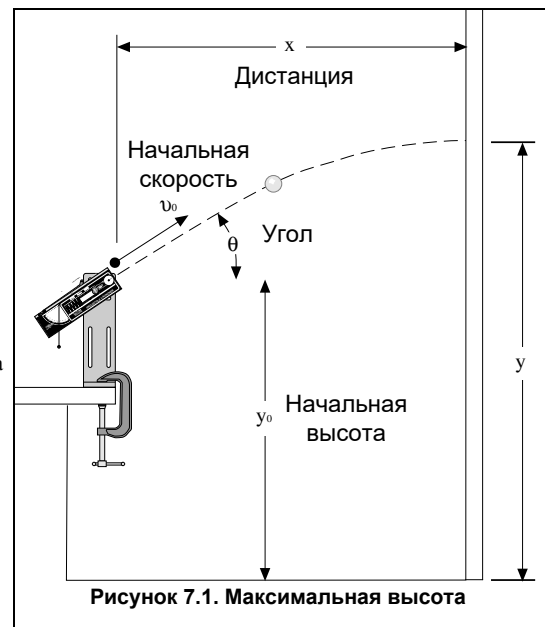
Чтобы найти угол θ , при котором достигается максимальная высота y , найдите первую производную уравнения для y и приравняйте её к нулю.

$$\frac{dy}{d\theta} = x \sec^2 \theta - \frac{gx^2 \tan \theta \sec^2 \theta}{v_0^2} = 0$$

Угол θ будет равен:

$$\tan \theta_{max} = \frac{v_0^2}{gx}$$

Так как вторая производная является отрицательной для θ_{max} , угол максимальный. Чтобы найти начальную скорость шара, используйте определённое расстояние x и максимальную высоту y_{max} . Найдите v_0 из уравнения с y и подставьте соответствующие значения y_{max} , θ_{max} и x .



Настройка

1. Зафиксируйте баллистический пистолет на устойчивом столе. Поместите пистолет на конце стола и нацельте его на стену, расположенную приблизительно в 2 м от стола.
2. Используйте вертикальную панель для защиты стены и закройте панель белой бумагой.
3. Произведите пробный выстрел, чтобы проверить, по какой части панели ударит шар, и приклейте клейкой лентой лист копировальной бумаги (копирующей стороной вниз) на это место.

Порядок действий

1. Производите выстрел шаром под разными углами и точно определите, при каком угле возникает максимальная высота подъёма снаряда, проверив отметки на белой бумаге. По необходимости перемещайте копировальную бумагу.
2. Измерьте угол, при котором возникает максимальная высота подъёма, и запишите его значение в таблицу 7.1.
3. Измерьте максимальную высоту и запишите её значение в таблицу данных.
4. Измерьте расстояние по горизонтали от дула до панели, расположенной вертикально, и запишите полученное значение.
5. Измерьте начальную высоту шара при выходе из дула и запишите полученное значение.

Анализ

1. Найдите начальную скорость, рассчитав v_0 из уравнения y , и подставьте соответствующие значения y_{max} , θ_{max} и x из таблицы 7.1.

Таблица 7.1. Данные и результаты

Элемент	Значение
Измеренный угол для максимальной высоты	
Максимальная высота	
Горизонтальное расстояние	
Начальная высота	
Рассчитанная начальная скорость	
Рассчитанный угол для максимальной высоты	
Разница в процентах между углами	

2. Рассчитайте угол, при котором возникает максимальная высота подъёма при помощи начальной скорости, рассчитанной на шаге 1, и горизонтального расстояния от стены до пистолета.
3. Рассчитайте разницу в процентах между измеренным углом и расчётным углом.
Пусть A будет одним углом, а B — другим.

$$\text{Разность} = \left| \frac{A - B}{\frac{A + B}{2}} \right| \times 100$$

Вопросы

1. Для угла выстрела, при котором достигается максимальная высота, находится ли шар во время удара о стену в самой верхней точке своей траектории?
2. На каком расстоянии от стены высота будет максимальной при угле запуска 45° ? Какова будет максимальная высота в этом случае?

Эксперимент 8 (демонстрационный). Одинакова ли дальность полёта снаряда при углах запуска 30° и 60°?

Необходимое оборудование

Элемент	Элемент
Баллистический пистолет и стальной шар	Коробка для установки высоты области приземления по высоте дула

Цель

Цель данной демонстрации — подтверждение того, что дальность полёта шара, запущенного под углом 30°, совпадает с дальностью полёта шара, запущенного под углом 60° в том случае, если шар приземляется на той же высоте, с которой он был запущен.

Теоретическая информация

Дальность — это расстояние по горизонтали x между дулом пистолета и местом падения снаряда. Расстояние вычисляется по формуле $x = (v_0 \cos \theta) t$, где v_0 — это начальная скорость шара при выходе из дула, θ — это угол запуска по горизонтали, а t — это время полета.

Если шар попадает в мишень, находящуюся на высоте дула пистолета, то время полета шара будет в два раза больше времени, необходимого шару для достижения максимума траектории, при котором вертикальная составляющая скорости достигает нуля.

$$t = 2t_{\text{макс}} = \frac{2v_0 \sin \theta}{g},$$

где g — это ускорение свободного падения. При подстановке t в уравнение для x получаем уравнение (t — это время полёта):

$$x = \frac{2v_0^2 \sin \theta \cos \theta}{g}$$

При использовании тригонометрического тождества получим:

$$x = \frac{v_0^2 \sin 2\theta}{g}$$

Дальности выстрелов для углов 30° и 60° одинаковы, так как $\sin 60^\circ = \sin 120^\circ$.

Настройка

1. Зафиксируйте баллистический пистолет на устойчивом столе. Поместите пистолет на конце стола и нацельте его в центр стола.
2. Установите угол наклона пистолета на 30°.
3. Поместите стальной шар в пистолет и взведите его в положение средней или большой дальности.

• ПРИМЕЧАНИЕ: как правило, результаты демонстрации опыта не будут точны для малой дальности выстрела, так как в таком случае дульная скорость будет варьироваться сильнее при изменении угла.

4. Произведите пробный выстрел, чтобы проверить, куда упадет шар. Поместите коробку перед этим местом так, чтобы следующий шар упал сверху на коробку.



Рисунок 8.1. Настройка для стрельбы на горизонтальную поверхность.

Порядок действий

1. Выстрелите шаром под углом 30°, чтобы показать, что шар падает на коробку.

2. Установите угол наклона пистолета на 60° и снова выстрелите шаром. Попросите обратить внимание на то, что шар снова приземлился на коробку (что подтверждает одинаковую дальность выстрела).
 3. Установите угол наклона на 45° и снова запустите шар, чтобы показать, что теперь шар приземляется дальше, т. е. мимо коробки.
 4. Задайте вопросы. Какие другие пары углов позволяют достичь одинаковой дальности полёта снаряда? Одинакова ли дальность полёта снаряда при углах запуска 20° и 70° ? Одинакова ли дальность полёта снаряда при углах запуска 35° и 55° ?
- Данная демонстрация опыта может быть проведена для любых двух углов, дополняющих друг друга до 90° .

Эксперимент 9 (демонстрационный). Одновременные выстрелы с разными скоростями

Необходимое оборудование

Элемент

Баллистический пистолет (2 шт.) и пластмассовый шар (2 шт.)

Цель

Цель данной демонстрации — подтверждение того, что независимо от начальной скорости горизонтально запущенных снарядов, эти снаряды упадут на пол одновременно.

Теоретическая информация

Производится горизонтальный выстрел двумя снарядами с одинаковой высоты y . Дульная скорость этих двух снарядов разная.

Горизонтальное и вертикальное движения снарядов не зависят друг от друга. Расстояние по горизонтали x , пройденное снарядом, зависит от начальной скорости v_0 и времени полета t . Расстояние $x = v_0 t$.

Время полёта зависит от вертикального расстояния, пройденного снарядом при падении.

$$t = \sqrt{\frac{2y}{g}}$$

где g — это ускорение свободного падения. Так как вертикальное расстояние одинаково для каждого снаряда, время полета одинаково для каждого снаряда.

Настройка

1. Зафиксируйте два баллистических пистолета рядом д
2. конец стола и нацельте их от стола так, чтобы шары Γ

Установите угол наклона пистолета на 0° , чтобы шары запускались горизонтально.

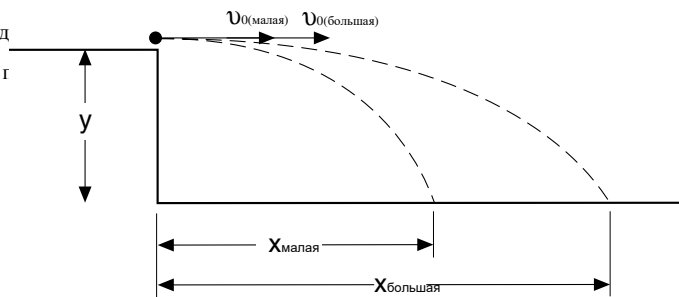


Рисунок 9.1. Одновременные выстрелы

Порядок действий

1. Поместите пластиковый шар в каждый пистолет. Введите один пистолет с настройкой малой дальности выстрела, а другой пистолет — с настройкой большой дальности выстрела.
2. Попросите аудиторию соблюдать тишину и прислушаться к звуку падения шаров.
 - ПРИМЕЧАНИЕ: если прозвучит только один удар, то это будет означать, что шары упали на пол одновременно.
3. Возьмите обе нити для спуска курка в одну руку и одновременно потяните их, чтобы запустить шары одновременно.
4. После того, как шары упадут на пол, спросите аудиторию, сколько ударов они слышали — один или два.

Эксперимент 10 (демонстрационный). Стрельба через обручи

Необходимое оборудование

Элемент	Элемент
Баллистический пистолет и пластмассовый шар	Кольцевой зажим на подставке (5 шт.)
Фотозатворная рамка ME-9498A (2 шт.) — по желанию	Двухметровая линейка
Линейка	Монтажный кронштейн для установки фотозатворной рамки ME-6821A — по желанию

Цель

Цель данной демонстрации — подтверждение того, что часть пройденного пути снаряда параболическая.

Теоретическая информация

Дальность — это горизонтальное расстояние x между дулом баллистического пистолета и местом, куда падает снаряд. Расстояние определяется по формуле:

$$x = v_0 t$$

где v_0 — это начальная скорость снаряда при выходе из дула, а t — это время полёта. Вертикальное положение снаряда y в момент времени t определяется уравнением:

$$y = y_0 - \left(\frac{1}{2}\right) g t^2 ,$$

где y_0 — это начальная высота снаряда, а g — это ускорение свободного падения.

Рассчитав t из уравнения x и подставив выражение в уравнение y , получаем:

$$y = y_0 - \left(\frac{1}{2}\right) g \left(\frac{x}{v_0}\right)^2 = ax^2 + b ,$$

где a и b — это константы. Уравнение y ($y = ax^2 + b$) справедливо для параболы.

Подготовка

До начала демонстрации найдите начальную скорость шара. Используйте две фотозатворные рамки и кронштейн для установки фотозатворной рамки совместно с интерфейсом или таймером PASCO или выполните горизонтальный выстрел шаром и измерьте значения x и y . Для расчета времени полёта воспользуйтесь величиной y (см. эксперименты 1 и 2).

Настройка

1. Зафиксируйте баллистический пистолет на одном конце стола и нацельте пистолеты от стола, чтобы шары падали на пол.
2. Установите угол наклона пистолета на 0° , чтобы шары запускались горизонтально.

Порядок действий

1. Измерьте и запишите начальную высоту шара y_0 на высоте дула.

2. Рассчитывайте и записывайте горизонтальное и вертикальное положения шара каждые 1/10 секунды до тех пор, пока вертикальное положение снаряда не станет равным нулю.

Таблица 10.1. Положения x и y

t (sec)	$x = v_0 t$ (cm)	$y = y_0 - (1/2)gt^2$ (cm)
0,1		
0,2		
0,3		
0,4		
0,5		

3. Положите двухметровую линейку на пол, направив её от пистолета. Удалите крепежный винт из задней части основания пистолета — задняя часть пистолета сможет поворачиваться вверх. Посмотрите через пистолет на конец двухметровой линейки. Установите конец линейки так, чтобы выровнять его с прицелами пистолета и путь шара при выстреле проходил параллельно линейке.
4. Замерьте расстояния x и y (от дула пистолета) и поместите кольцевой зажим на подставке в каждое положение, соответствующее 1/10 секунды (см. рисунок 10.1).
5. Выстрелите шаром так, чтобы он прошёл через кольца.
6. Задайте аудитории вопросы. Какую форму кривой образуют кольца? Каков путь снаряда?

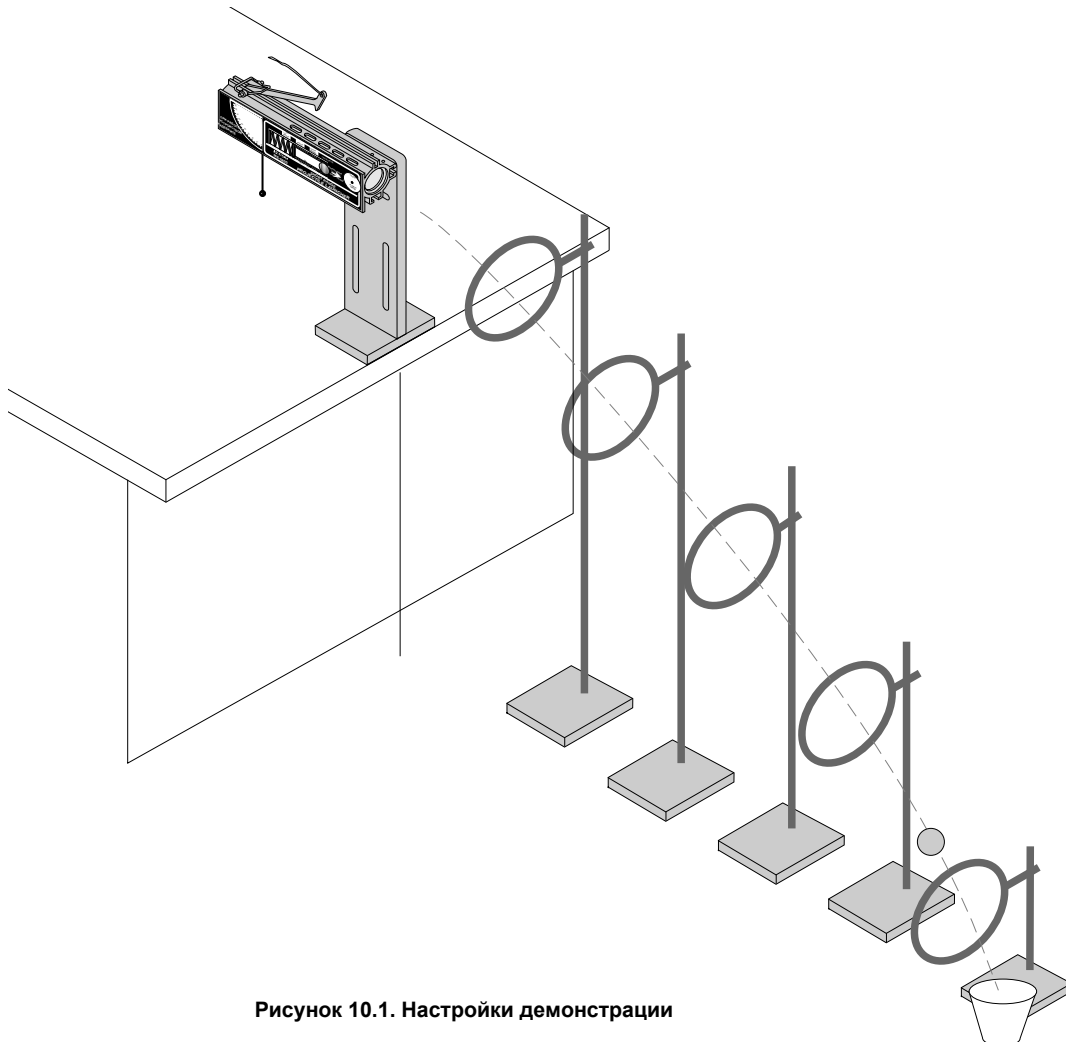


Рисунок 10.1. Настройки демонстрации

Руководство для учителя

Эксперимент 1. Движение снаряда

ПРИМЕЧАНИЕ: для получения более точных результатов убедитесь, что пистолет надёжно зафиксирован на устойчивом столе. Любое движение пистолета приведёт к значительному отклонению в результатах.

Дульная скорость пистолета, прошедшего испытания, составляла 6,5 м/с (с настройкой большой дальности выстрела).

Чтобы найти дальность выстрела при выбранном угле, необходимо решить квадратное уравнение, приведённое в теоретической части. Формула для решения:

$$t = \frac{v_0 \sin \theta + \sqrt{(v_0 \sin \theta)^2 + 2g(y_0 - y)}}{g}$$

Анализ

1. Разница зависит от угла выстрела пистолетом. В таблице представлены стандартные значения для дальности выстрела.

Угол	Расчётная дальность	Фактическая дальность	Процентная ошибка
30	5,22	5,19	0,57%
45	5,30	5,16	2,64%
60	4,35	4,23	2,87%
39	5,39	5,31	1,48%

ПРИМЕЧАНИЕ: в этом случае максимальный угол не равен 45°. Дальность выстрела при 60° не равна дальности выстрела при 30°. Это связано с тем, что начальная высота шара не соответствует высоте точке удара. Расчётная максимальная дальность для данной настройки (при размещении пистолета на высоте 1,15 м над землей) будет достигнута при 39°. Это было доказано экспериментально.

2. Ответы будут отличаться в зависимости от способа оценки точности. Первичным источником погрешности будет пренебрежение силой трения воздуха.

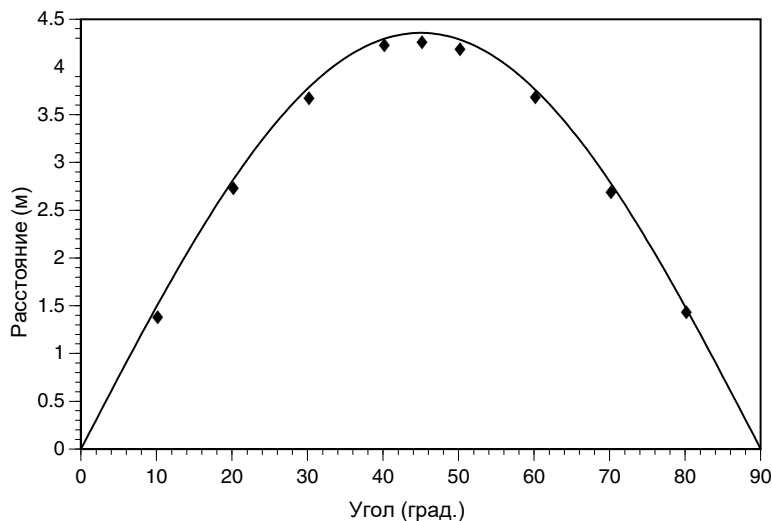
Эксперимент 2. Движение снаряда при использовании фотозатворных рамок

Данный эксперимент идентичен эксперименту 1, за исключением способа определения начальной скорости.

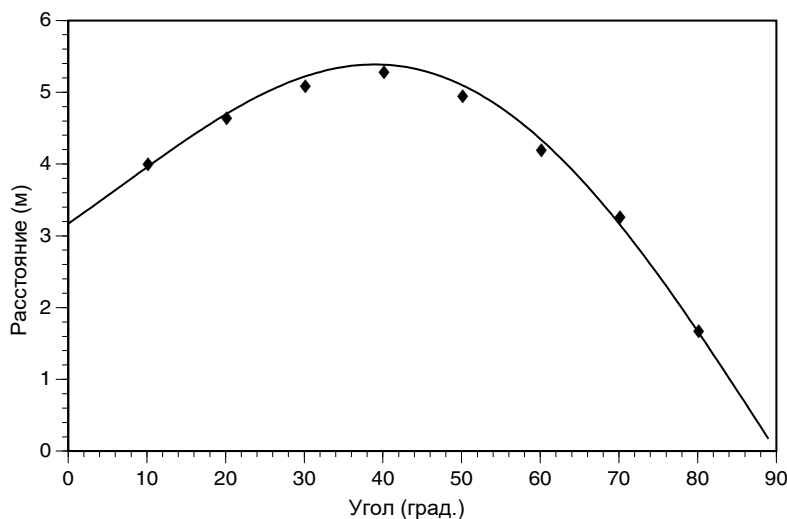
Эксперимент 3. Зависимость дальности полёта снаряда от угла выстрела

Порядок действий

- Стрельба с горизонтальной поверхности:



- Стрельба со стола:



- ПРИМЕЧАНИЕ: кривые показывают расчётные дальности для каждого опыта. Точки данных — это фактические измеренные дальности выстрелов.

Вопросы

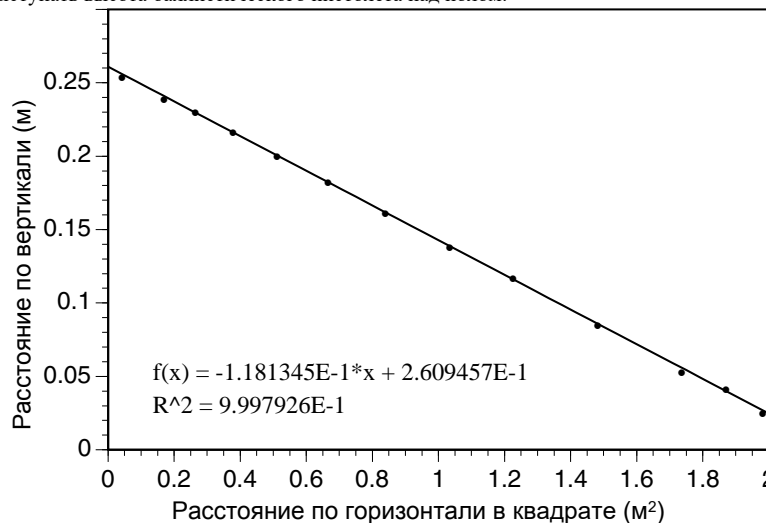
1. На горизонтальной поверхности максимальная дальность выстрела достигается при 45° . Для негоризонтальной поверхности угол для достижения максимальной дальности выстрела зависит от начальной высоты снаряда. Для настройки эксперимента при начальной высоте 1,15 м максимальная дальность выстрела достигается при 40° (теоретическое значение — 39°).
2. Угол максимальной дальности выстрела уменьшается пропорционально высоте стола.
3. Максимальная дальность увеличивается пропорционально высоте стола.

Эксперимент 4. Путь снаряда

Анализ

1. Альтернативный метод измерения дальности — от пола вверх.

2. На этом графике представлены значения расстояния по вертикали, измеренного от пола вверх. В данном случае отсекаемым отрезком будет выступать высота баллистического пистолета над полом.



3. Для этого примера угловой коэффициент (для измерения от пола) равен -0,118. При измерении вниз от начальной высоты будет получено такое же значение, но только положительное. В любом случае угловой коэффициент вычисляется по формуле:

$$\frac{g}{2v_0^2}$$

4. С помощью вычисленного в этом примере значения углового коэффициента получаем, что начальная скорость равна 6,44 м/с. Этот результат сопоставим со значениями скорости, вычисленными в экспериментах 1 и 2.

Вопросы

1. Да. Мы можем сказать, что y является функцией от x^2 .
2. График зависимости y от x должен представлять собой параболическую кривую, а не прямую.
3. Снаряд движется по параболической кривой (если пренебречь сопротивлением воздуха).

Эксперимент 5. Сохранение энергии

Анализ

1. С помощью фотозатворных рамок определяется значение начальной скорости шара, равное 4,93 м/с (с использованием баллистического пистолета (малая дистанция), настроенного на среднее расстояние). Масса шара равна 9,6 г. Следовательно общая кинетическая энергия равна 0,117 Дж.
2. Средняя высота полёта шара составляет 1,14 м (над дулом). Потенциальная энергия равна 0,107 Дж.
3. Разница в процентах от первоначальной кинетической энергии составляет 8,5 %.

Эксперимент 6. Сохранение импульса тела в двух измерениях

Настройка

- Если возможно, используйте настройку средней дальности вместо настройки малой дальности. В отличие от результатов, полученных при настройке малой дальности, результаты настройки средней дальности более близки к расчётным.

Анализ

- Результаты импульса тела для составляющей по оси x должны отклоняться от начальных значений в пределах 5 %. Суммарная составляющая по оси y должна быть очень небольшой по сравнению с составляющей по оси x .

Вопросы

1. Импульс тела сохраняется для обеих осей.
2. Кинетическая энергия практически сохраняется при упругом ударе. Небольшая часть энергии теряется, что означает, что удар не абсолютно упругий.
3. Импульс тела сохраняется для неупругого удара, а кинетическая энергия не сохраняется.
4. Угол должен быть равным почти 90° .
5. В случае неупругого столкновения угол должен быть меньше, чем при упругом ударе. Точное значение угла будет зависеть от степени неупругости, которая зависит от типа и количества использованной клейкой ленты.

Эксперимент 7. Изменение угла для определения максимальной высоты подъёма снаряда**Порядок действий**

1. Вы сможете измерить угол с точностью $\pm 2\%$ при достижении максимальной высоты.
2. Измерьте расстояние до передней точки шара.
3. Измерьте начальную высоту до центра шара.

Анализ

1. Начальная скорость должна быть примерно равна начальной скорости, определённой другими методами. Вы можете измерить начальную скорость способом, описанным в эксперименте 1, и использовать это значение в своих расчётах для остальной части эксперимента.
2. Измеренное и рассчитанное значения должны отклоняться в пределах 3% .

Вопросы

1. Шар должен уже пройти максимальную высоту ко времени достижения стены. Чтобы показать это, возьмите производную y относительно x :

$$y = y_0 + x \tan \theta_{max} - \frac{gx^2}{2v_0^2 \cos^2 \theta_{max}}$$

$$\frac{dy}{dx} = \tan \theta_{max} - \frac{gx}{v_0^2 \cos^2 \theta_{max}}$$

- Выполните подстановку:

$$\theta_{max} = \tan^{-1} \left(\frac{v_0^2}{gx_{max}} \right)$$

$$\frac{dy}{dx} = \frac{v_0^2}{gx_{max}} - \frac{gx}{v_0^2 \cos^2 \left(\tan^{-1} \left(\frac{v_0^2}{gx_{max}} \right) \right)}$$

- Выполните подстановку:

$$\cos \left(\tan^{-1} \left(\frac{a}{b} \right) \right) = \frac{b}{\sqrt{a^2 + b^2}}$$

- Упростите выражение:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{v_0^2}{gx_{max}} - \frac{gx}{v_0^2 \left(\frac{gx_{max}}{\sqrt{v_0^4 + g^2 x_{max}^2}} \right)^2} = \frac{v_0^2}{gx_{max}} - \frac{x(v_0^4 + g^2 x_{max}^2)}{v_0^2 gx_{max}^2}$$

$$\frac{dy}{dx} = \frac{v_0^2}{gx_{max}} - \frac{v_0^4 x}{v_0^2 gx_{max}^2} - \frac{gx}{v_0^2}$$

- Когда $x = x_{max}$, значение этой производной отрицательное.

$$\left. \frac{dy}{dx} \right|_{x_{max}} = -\frac{gx_{max}}{v_0^2}$$

- Таким образом, шар уже достиг максимальной высоты и падает.

2. Решите уравнение для максимального угла, чтобы найти x :

$$\tan \theta_{max} = \frac{v_0^2}{gx} \Rightarrow x = \frac{v_0^2}{g}$$

- Подставьте это значение в уравнение для y , чтобы определить максимальную высоту.

$$y = y_0 + \frac{v_0^2}{g} - \frac{g \left(\frac{v_0^2}{g} \right)^2}{v_0^2} = y_0 + \frac{v_0^2}{g} - \frac{v_0^2}{g}$$

$$y = y_0$$

Техническая поддержка

По всем вопросам, касающимся продуктов PASCO, вы можете обратиться в компанию PASCO.

Адрес:	PASCO scientific 10101 Foothills Blvd. Roseville, CA 95747-7100
Тел.:	+1-916-786-3800 (для любой страны) 800-772-8700 (США)
Факс:	(916) 786-7565
Веб-сайт:	www.pasco.com
E-mail:	support@pasco.com

Дополнительную информацию о баллистическом пистолете и последней версии данной инструкции можно найти на веб-сайте PASCO: www.pasco.com. Для этого введите «ME-6800» или «ME-6801» в строке поиска.

Ограниченная гарантия Описание гарантийных обязательств в отношении продукта содержится в каталоге PASCO.

Авторское право Руководство пользователя к баллистическому пистолету *PASCO scientific 012-05043G* защищено авторскими правами. Все права защищены. Некоммерческим образовательным учреждениям разрешается воспроизводить любую часть данного руководства для использования только в лабораториях и учебных классах, но не для продажи. Воспроизведение любой части руководства при любых других обстоятельствах без предварительного разрешения компании PASCO scientific запрещается.

Товарные знаки PASCO и PASCO scientific 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 являться товарными знаками или знаками обслуживания и используются для указания конкретных продуктов или услуг соответствующих владельцев. Для получения подробной информации посетите веб-сайт www.pasco.com/legal.

