

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

имени М. В. Ломоносова

Физический факультет

кафедра общей физики и физики конденсированного состояния

Методическая разработка

по общему физическому практикуму

Лаб. работа № 13

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ПУЛИ ПРИ
ПОМОЩИ БАЛЛИСТИЧЕСКОГО МАЯТНИКА**

Описание составила ст. преп. Шляхина Л.П.

Москва - 2012

Подготовил методическое пособие к изданию доц. Авксентьев Ю.И.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ПУЛИ ПРИ ПОМОЩИ БАЛЛИСТИЧЕСКОГО МАЯТНИКА

Цель работы: Опираясь на знание законов сохранения энергии и импульса, с помощью баллистического маятника определить скорость пули.

Приборы и приспособления: баллистический маятник в виде цилиндра на длинных нитях, измерительная шкала, пушка, весы, три пули, металлическая палочка, секундомер.

ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ

Баллистическим маятником называется твердое тело, способное совершать колебания и используемое для определения скорости быстро движущихся тел.

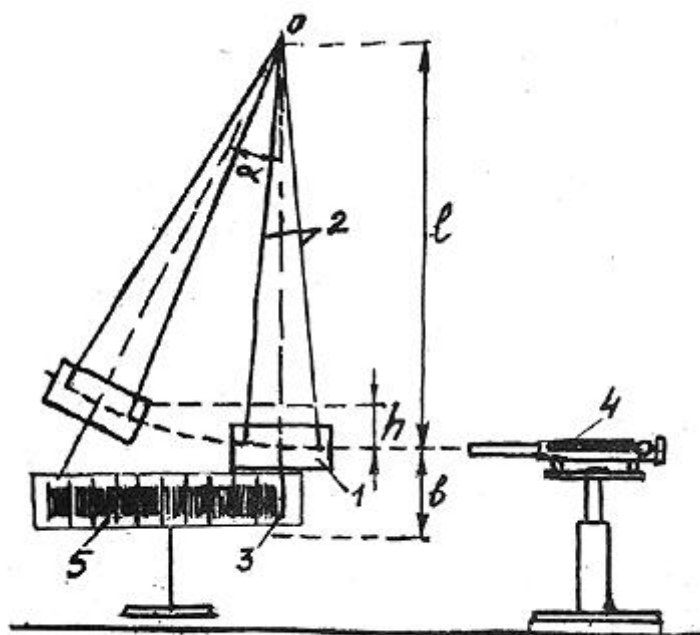


Рис. I

Экспериментальная установка (рис. I) состоит из баллистического маятника I, представляющего собой открытый с обоих концов металлический цилиндр, наполненный пластилином и подвешенный на четырех длинных нитях 2. К цилиндру прикреплена указательная стрелка 3. Выстрелы производятся из пружинной пушки 4 внутрь цилиндра. Пуля попадает в пластилин и застревает в нем, вызывая отклонение цилиндра от положения равновесия, которое можно измерить, наблюдая перемещение стрелки 3 вдоль шкалы 5.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ТЕОРИЯ

Длина нитей подвеса значительно больше размеров цилиндра, поэтому

маятник можно считать математическим. Для расчета величины скорости пули по экспериментальным данным применяются законы сохранения импульса и энергии.

1. Рассмотрим систему, состоящую из цилиндра и пули, которая летит горизонтально со скоростью V затем застревает в пластилине и начинает двигаться вместе с цилиндром - происходит абсолютно неупругий удар. Если время τ соударения пули с цилиндром много меньше периода T колебаний маятника (условие применимости баллистического метода), то за время τ маятник практически не успевает выйти из положения равновесия. В этом положении на цилиндр действует сила тяжести и силы натяжения нитей. На пулю непосредственно перед соударением действует только сила тяжести. Поскольку проекции всех этих сил на горизонтальное направление равны нулю, то справедлив закон сохранения импульса системы цилиндр-пуля для проекций на это направление.

Пусть m - масса пули, M - масса цилиндра с пластилином. Непосредственно перед соударением импульс цилиндра равен нулю, проекция импульса пули на горизонтальное направление равна mV . Сразу после соударения, когда пуля застряла внутри цилиндра, цилиндр и пуля движутся вместе с некоторой скоростью V_1 и имеют проекцию импульса на горизонтальное направление $(m + M)V_1$. Согласно закону сохранения импульса

$$mV = (m + M)V_1.$$

Отсюда находим скорость пули

$$V = \left[1 + \frac{M}{m}\right] \cdot V_1. \quad (1)$$

2. Примем момент времени сразу после остановки пули за начальный момент. Кинетическая энергия цилиндра с застрявшей пулей в этот момент равна

$$W = (m + M) V_1^2 / 2.$$

При этом цилиндр находится в своем нижнем положении и мы будем считать, что потенциальная энергия системы Земля-цилиндр в этом положении равна нулю. Потенциальная энергия здесь обусловлена силой тяжести и зависит от взаимного расположения цилиндра и Земли. Земля рассматривается как инерциальная система отсчета, следовательно, ее положение неизменно, а скорость равна нулю. Поэтому в начальный момент времени полная механическая энергия системы Земля-цилиндр равна ее кинетической энергии

$$E_1 = W = (m + M) V_1^2 / 2.$$

3. Пусть конечным моментом времени является момент, когда отклонение маятника наибольшее. В этот момент скорость цилиндра и, следовательно, его кинетическая энергия равны нулю. Потенциальная энергия U системы в этот момент определяется, как известно, высотой h , на которую поднялся центр масс цилиндра относительно положения, при котором потенциальная энергия была принята за нуль. Таким образом, в конечный момент времени механическая энергия системы

$$E_2 = U = (m + M) g h.$$

Для системы, состоящей из Земли и цилиндра, внешними силами являются силы натяжения нитей, а внутренней силой - сила тяжести (силой трения в подвесе и сопротивлением воздуха при движении маятника можно пренебречь). Внешние силы не совершают работы над телами системы (точка подвеса неподвижна, цилиндр движется по дуге и силы натяжения нитей перпендикулярны движению цилиндра). Внутренняя сила - сила тяжести - является потенциальной. Поэтому при движении маятника для системы цилиндр-Земля выполняется закон сохранения механической энергии, следовательно $E_1 = E_2$, т.е.

$$(m + M) V_1^2 / 2 = (m + M) g h. \quad (3)$$

Из выражений (1) и (3) найдем скорость пули

$$V = [1 + \frac{M}{m}] \cdot \sqrt{2gh}. \quad (4)$$

4. Величину h можно найти, измерив наибольшее отклонение маятника от положения равновесия. Как видно из рис.1,

$$h = l - l \cos \alpha = 2 \cdot l \cdot \sin^2 \frac{\alpha}{2} \quad (5)$$

где l - расстояние от центра масс цилиндра до точки подвеса, α - угол отклонения маятника от положения равновесия.

С другой стороны, если $R = l + b$ - расстояние от конца стрелки до точки подвеса, а n_0 - величина смещения конца стрелки вдоль шкалы, то, как видно из рис.1,

$$\sin \alpha = \frac{n_0}{R} = \frac{n_0}{l+b}$$

Так как угол отклонения маятника от положения равновесия мал, то

$$\alpha \approx \sin \alpha = \frac{n_0}{l+b}$$

Следовательно,

$$\sin \frac{\alpha}{2} \approx \frac{\alpha}{2} \approx \frac{n_0}{2(l+b)} \quad (6)$$

Отсюда, учтя (5) получаем

$$h = \frac{ln_0^2}{2(l+b)^2} \quad (7)$$

Для скорости пули из (4) и (7) получаем

$$V = \left[1 + \frac{M}{m}\right] \cdot \frac{n_0}{l+b} \cdot \sqrt{gl} \quad (8)$$

5. Поскольку цилиндр на нитях рассматривается как математический маятник, то находим из формулы для периода математического маятника

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}},$$

$$l = \frac{gT^2}{4\pi^2} \quad (9)$$

ИЗМЕРЕНИЯ

1. Устанавливают баллистический маятник таким образом, чтобы нити подвеса не перекрещивались.

2. Шкалу установить так, чтобы ее нулевое деление находилось против стрелки 3. При движении цилиндра стрелка не должна задевать шкалу.

3. Слегка отклонить цилиндр из положения равновесия и измерить при помощи секундомера время t десяти полных колебаний маятника ($n = 10$). Прodelать измерения пять раз. Используя среднее значение времени t , найти величину l [см. формулу (9)]

$$l = \frac{gt^2}{4\pi^2 n^2}.$$

4. Взвесить пулю на электронных весах (точность весов 0,01 г).

5. Зарядить пушку. Для этого оттянуть ручку пушки до конца и повернуть ее так, чтобы она зацепилась за выступ паза. Вставить в ствол пушки пулю и протолкнуть ее до упора металлической палочкой.

ВНИМАНИЕ! ПРИ ЗАРЯДКЕ ПУШКУ СЛЕДУЕТ ДЕРЖАТЬ СТОЛОМ К СТЕНЕ АУДИТОРИИ!

Установить пушку так, чтобы пуля могла попасть в центр цилиндра в пластилин. Произвести выстрел, нажимая на ручку пушки и выводя ручку из-за выступа паза. Отсчитать максимальное отклонение n_0 стрелки от положения равновесия. Вынуть пулю из цилиндра и проделать опыт еще четыре раза с этой же пулей. Найти среднее значение n_0 и рассчитать по формуле (8) скорость пули.

Масса цилиндра с пластилином и величина b указаны в таблице на столе.

Измерения провести для трех пуль с различными массами.

Для одной из пуль (с промежуточным значением массы) оценить погрешность измерения скорости и записать результат с учетом погрешности. При оценке погрешности измерения скорости можно принять во внимание, что $M \gg m$ и пренебречь единицей в формуле (8). Считая, что относительная погрешность измерения остается примерно одинаковой для всех пуль в данном методе, найти абсолютные погрешности и записать окончательные результаты измерений V для всех трех пуль с учетом погрешности.

Контрольные вопросы

1. Какой маятник можно назвать баллистическим?
2. Какие законы сохранения используются при выводе формулы для расчета скорости пули?
3. Сформулировать законы сохранения импульса и полной механической энергии. Почему импульс в замкнутой механической системе сохраняется и при наличии неконсервативных сил, действующих между телами этой системы?
4. Объясните, почему в условиях данной задачи предпочтительнее обеспечить условия взаимодействия пули с маятником по закону неупругого удара, а не по закону упругого.

ЛИТЕРАТУРА

1. Белов Д.В. «Механика», изд. Физический факультет МГУ им. М.В.Ломоносова 1998, глава III — Механика системы материальных точек, §§ 11 – 16.
2. Савельев И.В. «Курс общей физики» в 5-и книгах.
Книга I «Механика», 1998 г.,
гл. 3. Законы сохранения,
§ 3.2 Кинетическая энергия и работа,
§ 3.5 Потенциальная энергия во внешнем поле сил,
§ 3.7 Закон сохранения энергии.
§ 3.10 Закон сохранения импульса,
§ 3.11 Соударение двух тел.
3. Савельев И.В. «Курс физики». М.Наука 1989. Т.1 Механика и молекулярная физика, §§ 15, 16,17,21,24.