

Лабораторная работа № 3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ПУЛИ МЕТОДОМ БАЛЛИСТИЧЕСКОГО МАЯТНИКА

Цель работы: научиться применять закон сохранения импульса системы тел при неупругом взаимодействии тел и закон сохранения и превращения энергии; ознакомиться с одним из методов измерения скорости быстро движущихся тел.

Приборы и принадлежности.

1. Баллистический маятник.
2. Пружинный пистолет.
3. Металлические пульки.
4. Линейка.
5. Весы.

1 ВВЕДЕНИЕ

Закон сохранения импульса (количества движения) является одним из основных законов физики. Понятие об импульсе тела (количестве движения) было использовано Ньютоном при формулировке основного закона динамики (второго закона Ньютона), который можно представить в виде уравнения

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a}, \quad (3.1)$$

где \vec{F} – равнодействующая сил.

Равнодействующей сил называют векторную сумму всех сил, действующих на тело.

$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n$$

Ускорение характеризует быстроту изменения скорости

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}. \quad (3.2)$$

С учетом (3.2) уравнение (3.1) запишется

$$\vec{F} = m \frac{d\vec{v}}{dt}.$$

Поскольку масса данного тела есть величина постоянная, то её можно ввести под знак дифференциала:

$$\vec{F} = \frac{d(m \cdot \vec{v})}{dt},$$

следовательно второй закон Ньютона можно представить в виде

$$\vec{F} = \frac{d(\vec{p})}{dt},$$

где \vec{p} - импульс тела.

Импульсом тела называется векторная физическая величина, равная произведению массы тела на его скорость:

$$\vec{p} = m \cdot \vec{v}.$$

Из определения следует, что импульс – величина векторная. Вектор импульса совпадает с направлением скорости. Элементарное изменение импульса тела равно элементарному импульсу действующей на него силы, т. е. произведению силы на время:

$$\Delta \vec{p} = \vec{F} \cdot \Delta t \text{ — закон изменения импульса тела.}$$

Рассмотрим *замкнутую систему тел*, т. е. совокупность тел, которые взаимодействуют между собой, но не подвергаются действию других тел, не входящих в данную систему. Таким образом, сумма внешних сил, действующих на такую систему равна

нулю. Силы, действующие между телами замкнутой системы, называются внутренними силами.

Закон сохранения импульса системы тел: полный импульс системы тел сохраняется, если система замкнута.

$$\vec{p}_c = \text{const} \quad \sum \vec{F}_i = 0.$$

Удар двух тел называется *абсолютно неупругим*, если после удара оба тела движутся как одно целое. Достаточно близки к абсолютно неупругому удару, например, такие процессы, как: удар молота копра по забиваемой им свае, попадание пули в тележку с песком, в котором пуля застревает. При неупругом ударе происходят различного рода процессы в соударяющихся телах (их пластические деформации, трение и др.), в результате которых кинетическая энергия системы частично преобразуется в ее внутреннюю энергию.

Удар двух тел называется *абсолютно упругим*, если при этом ударе механическая энергия системы не изменяется, т. е. тела являются абсолютно упругими.

Энергия характеризует состояние системы: способность системы к совершению работы при переходе из одного состояния в другое. Изменение энергии измеряется работой, которую может совершить система, переходя из данного состояния в другое:

$$\Delta A = W_0 - W_1,$$

где W_0 и W_1 – энергия системы в исходном и конечном состояниях.

Кинетической называется энергия, которой обладают тела вследствие своего движения:

$$W_k = \frac{m \cdot v^2}{2}.$$

где m - масса тела, v - скорость тела.

Потенциальная энергия – это энергия, которой обладает тело вследствие своего особого расположения.

Потенциальная энергия тела, поднятого над землей

$$W_n = mgh ,$$

где m - масса тела, g - ускорение свободного падения, h - высота.

Потенциальная энергия упругодеформированного тела

$$W_n = \frac{kx^2}{2} ,$$

где k - коэффициент упругости, x - смещение.

Механической энергией, или полной механической энергией, называется энергия механического движения и взаимодействия. Механическая энергия W системы материальных точек равна сумме их кинетической энергии W_k и потенциальной энергии W_n взаимодействия этих точек друг с другом и с внешними телами:

$$W = W_k + W_n .$$

Закон сохранения полной механической энергии системы тел: полная механическая энергия тел не изменяется, если система замкнута и внутренние силы консервативны

$$W = \text{const}.$$

2 ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ И МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЙ

Прямое измерение скорости полета пули (т. е. определение времени, за которое пуля проходит известное расстояние) является нелегкой задачей, т. к. эта скорость достигает значительной величины. Поэтому большое распространение получили различные косвенные методы измерения. К их числу относится метод баллистического маятника.

Баллистический маятник представляет собой массивный цилиндр, подвешенный на практически нерастяжимых нитях (рису-

нок 1). На некотором расстоянии от цилиндра по оси укреплен пневматический пистолет. При выстреле скорость пули направлена горизонтально.

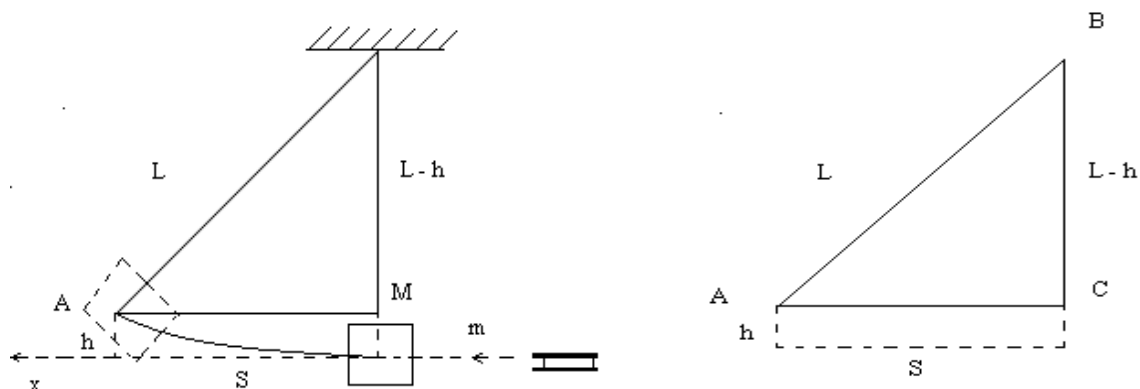


Рисунок 3.1 – Схема установки для определения скорости пули

Пуля массой m застревает в слое ваты, которой заполнен цилиндр, благодаря этому удар является неупругим.

Опишем процесс соударения пули с маятником, т. е. свяжем горизонтальную скорость пули v со скоростью маятника после взаимодействия v' . Система тел «маятник – пуля» в целом не является замкнутой (присутствуют внешние силы тяжести и реакции опоры). Так как внешние силы действуют вертикально, то перпендикулярное горизонтальное направление будет замкнутым, поэтому применим закон сохранения импульса для этого направления.

$$mv_x + MU_x = (m + M)v'_x, \quad (3.3)$$

где mv_x – проекция импульса пули до взаимодействия, ($v_x = v$); MU_x – проекция импульса маятника до взаимодействия, ($U = 0$); $(m + M)v'_x$ – проекция импульса маятника вместе с пулей после взаимодействия, ($v'_x = v'$); v' – скорость маятника с пулей сразу же после удара.

С учетом замечаний формула (3.3) принимает вид:

$$mv = (m + M)v' \quad (3.4)$$

Опишем процесс отклонения маятника с пулей, т. е. свяжем скорость маятника v' с величиной максимального отклонения маятника по горизонтали S . В этом процессе маятник с пулей будем рассматривать как единое тело. На основании закона сохранения полной механической энергии тела, находящегося в потенциальном поле, известного из школьного курса физики имеем:

$$\frac{(m+M)v'^2}{2} = (m+M)gh, \quad (3.5)$$

где h – высота поднятия в момент, когда он отклоняется на максимальный угол.

Откуда $(v'^2) = 2gh$; $v' = \sqrt{2gh}$.

Подставив значение $v' = \sqrt{2gh}$ в формулу (3.4), получим:

$$mv = (m+M)\sqrt{2gh} \quad \text{и} \quad v = \frac{m+M}{m}\sqrt{2gh}. \quad (3.6)$$

Экспериментально измерять h крайне неудобно, т. к. при длинной нити эта величина очень мала. Выразим h через S – величину отклонения маятника по горизонтали (рисунок 3, б). Из геометрических соображений, (из $\triangle ABC$, $AB = L$, $BC = L - h$, $AC = S$) по теореме Пифагора

$$\begin{aligned} L^2 &= (L-h)^2 + S^2 \\ L^2 &= L^2 - 2Lh + h^2 + S^2 \end{aligned}$$

Так как h^2 – очень маленькая величина, то ею можно пренебречь. Тогда

$$S^2 = 2Lh, \text{ откуда } h = \frac{S^2}{2L}.$$

Подставляя значение h в формулу (6), получим расчетную формулу для определения v :

$$v = \frac{(m+M)}{m} S \sqrt{\frac{g}{L}}$$

где L – длина нити от центра тяжести до точки подвеса; S – величина отклонения маятника от положения равновесия.

3 РАБОЧЕЕ ЗАДАНИЕ

1. Определить массу пули путем взвешивания.
2. Произведя выстрелы из пистолета, измерить величину отклонения маятника по горизонтальной линии S (не менее трех значений).
3. Измерить линейкой длину маятника L (от точки подвеса, до оси цилиндра).
4. Результаты измерений и необходимые значения констант занести в таблицу 1 и произвести обработку результатов. Подставив среднее значение измерения величины в расчетную формулу $v = \frac{(m+M)}{m} S \sqrt{\frac{g}{L}}$ рассчитать среднее значение скорости пули.
5. Из расчетной формулы получить формулу для расчета ε_v и рассчитать эту ошибку.
6. Рассчитав $\Delta \vec{v}$, представить окончательный результат в форме

$$v = (\langle \vec{v} \rangle \pm \langle \Delta \vec{v} \rangle) \text{ м/с}$$

$$\varepsilon_v = \dots \%$$

Таблица 3.1 – Результаты измерений

№	$m, \text{кг}$	$M, \text{кг}$	$L, \text{м}$	$S, \text{м}$	$g, \text{м/с}^2$	$v, \text{м/с}$	$\langle v \rangle, \text{м/с}$	$\Delta v, \text{м/с}$	$\langle \Delta v \rangle, \text{м/с}$	$\varepsilon_v, \text{м/с}$
1	0,018	0,22	1,01	0,08	9,81					
2	0,018	0,22	1,01	0,11	9,81					
3	0,018	0,22	1,01	0,09	9,81					



ПО ЭТИМ ДАННЫМ ПРОИЗВОДИТЬ РАСЧЁТ РАБОТЫ по формулам, из рабочего задания и из пункта введения, как вы делали расчет к 1 л/р.

Не забываем писать вывод с полным результатом измерений.

Контрольные вопросы

1. Сформулируйте законы Ньютона. Запишите второй закон Ньютона в дифференциальной форме.
2. Что такое импульс тела. Сформулируйте определение импульса системы тел.
3. Какая система называется изолированной? Сформулируйте закон сохранения импульса тела.
4. Дайте определение механической работы. Назовите единицы измерения работы.
5. Что такое энергия? Какие виды механической энергии вы знаете?
6. Сформулировать закон сохранения полной механической энергии. Привести примеры процессов, для описания которых используется закон сохранения полной механической энергии системы тел.
7. Описать упругий и неупругий удары.
8. Можно ли считать, что кинетическая энергия пули в случае неупругого удара полностью переходит в потенциальную энергию маятника с пулей? Ответ обоснуйте.