

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР

КУЙБЫШЕВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ имени академика С. П. КОРОЛЕВА

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ
И СРЕДНЕЙ СИЛЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
ПРИ УПРУГОМ УДАРЕ**

1-23

Утверждено
редакционно-издательским
советом института
в качестве
методических указаний
к лабораторной работе № 1-23

КУЙБЫШЕВ 1986

Методические указания к лабораторной работе знакомят с методом расчета кинематических характеристик при упругом ударе, с лабораторной установкой, на которой проводятся необходимые измерения, содержат инструктивные материалы для работы на лабораторной установке и рекомендации по обработке результатов измерений.

Лабораторная работа предназначена для студентов всех факультетов дневного и вечернего обучения.

Составители: А. И. Косенко, Б. П. Дьяченко, И. Л. Сорокин

ВОЗВРАТИТЕ КНИГУ НЕ ПОЗЖЕ
обозначенного здесь срока

Фуровича	И.И.			

Цель работы: определение времени и средней силы взаимодействия при упругом ударе шаров.

Приборы и принадлежности: установка для исследования упругого удара шаров, баллистический гальванометр.

РАСЧЕТ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕЛ ПРИ УДАРЕ

Существует два вида удара: абсолютно упругий и неупругий. Удар является абсолютно упругим, если в результате его не происходит превращения механической энергии системы соударяющихся тел в другие виды энергии. При неупругом ударе часть или вся механическая энергия превращается в другие (немеханические) виды энергии.

С учетом этого для описания абсолютно упругого удара можно использовать закон сохранения механической энергии и закон сохранения импульса, а для описания неупругого удара — только закон сохранения импульса.

Рассмотрим упругий центральный удар двух шаров. Удар называется центральным, если шары до удара движутся вдоль прямой, проходящей через их центры.

Пусть непосредственно перед ударом шар с массой m_1 имеет скорость \vec{v}_{10} и шар с массой m_2 — скорость \vec{v}_{20} . Сразу после удара их скорости равны соответственно \vec{v}_1 и \vec{v}_2 .

Для упругого удара можно записать законы сохранения механической энергии и сохранения импульса:

$$\frac{m_1 \vec{v}_{10}^2}{2} + \frac{m_2 \vec{v}_{20}^2}{2} = \frac{m_1 \vec{v}_1^2}{2} + \frac{m_2 \vec{v}_2^2}{2}; \quad (1)$$

$$m_1 \vec{v}_{10} + m_2 \vec{v}_{20} = m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2. \quad (2)$$

Решая уравнения (1) и (2), найдем:

$$\vec{v}_1 = \frac{2 m_2 \vec{v}_{20} + (m_1 - m_2) \vec{v}_{10}}{m_1 + m_2}; \quad (3)$$

$$\vec{v}_2 = \frac{2 m_1 \vec{v}_{10} + (m_2 - m_1) \vec{v}_{20}}{m_1 + m_2}. \quad (4)$$

Для численных подсчетов спроектируем (3) и (4) на направленные вектора \vec{v}_{10} :

$$v_1 = \frac{\pm 2 m_2 v_{20} + (m_1 - m_2) v_{10}}{m_1 + m_2}; \quad (5)$$

$$v_2 = \frac{2 m_1 v_{10} \pm (m_1 - m_2) v_{20}}{m_1 + m_2}; \quad (6)$$

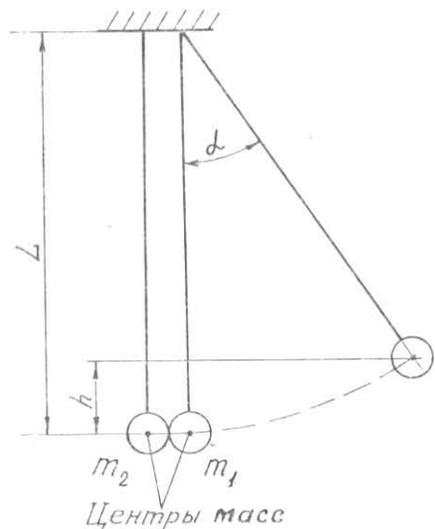


Рис. 1

Знак «минус» соответствует движению шаров навстречу друг другу, а знак «плюс» — случаю, когда первый шар догоняет второй.

В настоящей работе исследуется центральный удар стальных шаров, подвешенных на нитях (рис. 1). При их ударе происходит деформация, которую без большой погрешности для стальных закаленных шаров можно считать упругой.

В случае упругой деформации механическая энергия превращается в энергию деформации, а затем опять в механическую без потерь на изменение внутреннего

состояния тел. Поэтому удар стальных шаров является упругим.

Для осуществления удара один шар отводится от положения равновесия на угол α и затем отпускается. Второй шар до удара покоится. Приращение его импульса после удара на основании второго закона Ньютона будет следующим:

$$m_2 v_2 = \int_0^{\tau} F dt, \quad (7)$$

где v_2 — скорость шара после удара, τ — время соударения шаров.

Сила соударения шаров F меняется во время удара. Вводя ее среднее значение F_{cp} за время соударения, получим:

$$m_2 v_2 = F_{cp} \tau. \quad (8)$$

Отсюда найдем среднюю силу соударения шаров:

$$F_{cp} = \frac{m_2 v_2}{\tau}. \quad (9)$$

Учитывая, что шар до удара покоился, из (6) получим:

$$v_2 = \frac{2 m_1 v_{10}}{m_1 + m_2}. \quad (10)$$

Скорость первого шара перед ударом найдем, применив к нему закон сохранения механической энергии. Пусть в положении равновесия потенциальная энергия шара равна нулю. Тогда при отклонении шара на угол α (см. рис. 1) его полная механическая энергия будет равна потенциальной $m_1 gh$, так как его скорость и соответственно кинетическая энергия при этом будут равны нулю. Непосредственно перед ударом, когда шар проходит положение равновесия, полная механическая энергия будет равна кинетической энергии шара $\frac{m_1 v_{10}^2}{2}$. На основании закона сохранения механической энергии можно записать:

$$m_1 gh = \frac{m_1 v_{10}^2}{2}. \quad (11)$$

Отсюда, выражая h через L и α (рис. 1) и производя тригонометрические преобразования, найдем соотношение для расчета скорости первого шара перед ударом:

$$v_{10} = 2 \sin \frac{\alpha}{2} \sqrt{gL}. \quad (12)$$

Подставляя (10) и (12) в (9), получим:

$$F_{cp} = \frac{4 m_2 m_1 \sin \frac{\alpha}{2} \sqrt{gL}}{\tau (m_1 + m_2)}. \quad (13)$$

Если массы шаров одинаковы $m_1 = m_2 = m$, то формула (13) упрощается:

$$F_{cp} = \frac{2 m \sin \frac{\alpha}{2} \sqrt{gL}}{\tau}. \quad (14)$$

Электрическая схема установки приведена на рис. 2. Шары A_1 и A_2 подвешены на электропроводящих нитях. Перед началом опыта шар A_1 (или шар A_2) отводится на некоторое расстояние до соприкосновения с электромагнитом ЭМ_1 (или ЭМ_2), который включается постановкой ключа K_2 в соответствующее положение. Пусть первоначально был отведен шар A_1 до соприкосновения с электромагнитом ЭМ_1 . Если переключить K_2 из положения 1 в положение 2, то шар A_1 , не удерживаемый больше электромагнитом ЭМ_1 , начинает двигаться и соударяется с шаром A_2 , который до удара был неподвижен. После удара шар A_2 начинает двигаться практически с той же скоростью, с какой двигался шар A_1 перед ударом. В свою очередь шар A_1 останавливается. Шары A_1 и A_2

как бы обмениваются импульсами (см. формулы (5) и (6) при $v_{20} = 0$ и $m_1 = m_2$). Отклоняясь в сторону, шар A_2 попадает в поле электромагнита $\mathcal{E}M_2$ и притягивается к нему. Благодаря этому устраняются повторные столкновения шаров.

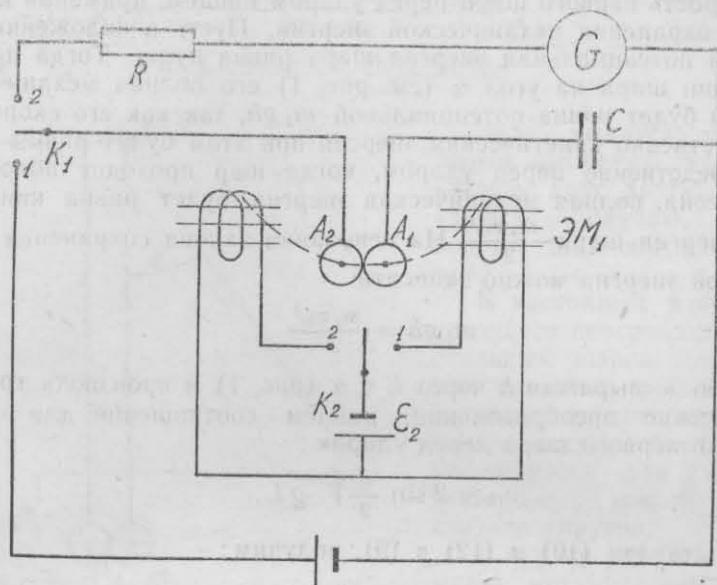


Рис. 2

Для нахождения времени соударения шаров A_1 и A_2 используется цепь, которая состоит из последовательно соединенных конденсатора C , гальванометра G и резистора R . Ключ K_1 должен быть установлен в положении 2. Эта цепь, как видно из рис. 2, будет замкнутой только на время соударения шаров A_1 и A_2 (или когда нажата кнопка K_2 , о назначении которой будет сказано ниже).

Сущность метода определения времени соударения заключается в следующем: если конденсатор C предварительно заряжен до заряда q_0 , то за время соударения он частично разрядится, вследствие чего через гальванометр пройдет некоторый заряд q . Расчеты показывают, что время разрядки конденсатора определяется соотношением

$$\tau = RC \ln \frac{q_0}{q_0 - q} \quad (15)$$

Особенностью гальванометра G , примененного в данной работе, является наличие линейной зависимости между зарядом, прошед-

шим через гальванометр, и отклонением светового указателя n по шкале:

$$q = G_n n. \quad (16)$$

Следует иметь в виду, что такая зависимость будет справедлива тогда, когда за время прохождения заряда через гальванометр подвижная часть прибора (рамка) практически не поворачивается и начинает двигаться уже после того, как заряд прошел через прибор. Описанный режим работы гальванометра называется баллистическим. В случае применения баллистического гальванометра формулу (15) можно преобразовать к виду

$$\tau = RC \ln \frac{n_0}{n_0 - n}, \quad (17)$$

где n_0 — максимальное отклонение светового указателя гальванометра при полном разряде конденсатора. Для осуществления этой операции используется кнопка K_2 ;

n — максимальное отклонение светового указателя гальванометра при частичном разряде конденсатора за время соударения.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Включить питание установки. Отклонить шар A_1 и зафиксировать его положение, подав ключом K_2 питание на электромагнит $\mathcal{E}M_1$.

2. Отсчитать по шкале угол отклонения шара α и записать его в таблицу. Записать также значения L , C , R , m_1 и m_2 , указанные на установке.

Данные установки:

$C = \dots \text{мкФ}$, $R = \dots \text{ом}$, $m = \dots \text{кг}$, $L \dots \text{м}$.

Номер измерений	α град.	n_0 , дел.	n , дел.	τ , с	$\Delta \tau$	$(\Delta \tau)^2$	$F_{\text{ср}}, \text{н}$	$\Delta F_{\text{ср}}$	$(\Delta F_{\text{ср}})^2$
1									
2									
3									
4									
5									
Среднее значение					×	×		×	×

3. Зарядить конденсатор, для чего поставить ключ K_1 в положение 1 и нажать на кнопку K_3 . Время зарядки — две—три секунды. После зарядки кнопку K_3 отпустить.

4. Поставить ключ K_1 в положение 2 и нажать кнопку K_3 . Записать в таблицу значение максимального отклонения n_0 светового указателя гальванометра.

5. Зарядить конденсатор (см. п. 3).

6. Определить заряд, протекший через гальванометр за время соударения шаров. Для этого ключ K_1 поставить в положение 2 и быстро перебросить ключ K_2 в положение 2. Записать в таблицу значение максимального отклонения n светового указателя гальванометра.

7. Повторить предыдущие операции (п. 1, 3—6) еще четыре раза.

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИИ

1. Вычислить для каждого опыта значения τ и $F_{\text{ср}}$ по формулам (17) и (14).

2. Вычислить случайные погрешности определения времени $\Delta\tau$ и средней силы соударения шаров $\Delta F_{\text{ср}}$ по их значениям, полученным в каждом опыте (по методике, изложенной на вводной лекции). Систематическая погрешность в данной работе значительно меньше случайной. Поэтому можно принять, что полная погрешность измерения будет равна случайной.

Контрольные вопросы

1. Нарисуйте схему экспериментальной установки. Объясните ее работу.
2. Опишите метод измерения времени соударения шаров в данной работе.
3. Укажите примеры прямых и косвенных измерений в данной работе.
4. Какие законы сохранения применимы к абсолютно упругому и неупругому ударам?
5. Сформулируйте законы сохранения импульса и сохранения механической энергии.
6. Выведите уравнение для расчета средней силы соударения шаров.

Библиографический список

Савельев И. В. Курс общей физики. — М.: Наука, 1977. Т. 1, гл. III, § 28.

Составители: Александр Иванович Косенко,
Борис Павлович Дьяченко,
Игорь Леонидович Сорокин

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ И СРЕДНЕЙ СИЛЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПРИ УПРУГОМ УДАРЕ

Редактор Т. К. Кретнина
Техн. редактор Н. М. Каленюк
Корректор Н. С. Куприянова

Сдано в набор 27.10.86 г. Подписано в печать 17.11.86 г.
Формат 60×84 1/16. Бумага оберточная.
Печать высокая. Гарнитура литературная.
Усл. п. л. 0,46. Уч.-изд. л. 0,4. Т. 2000 экз. Заказ 1014.
Бесплатно.

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени
авиационный институт им. академика С. П. Королева,
г. Куйбышев, ул. Молодогвардейская, 151.

Тип. ЭОЗ КуАИ, г. Куйбышев, ул. Ульяновская, 18.