



**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ**

**Брянский государственный технический университет**

Кафедра «Общей физики»

**ОТЧЕТ**

по лабораторной работе № \_\_\_\_\_

---

---

---

---

(название лабораторной работы)

Выполнил студент группы \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

(Ф.И.О)

Отметка о допуске: \_\_\_\_\_

Отметка о защите: \_\_\_\_\_

Брянск 20 \_\_\_\_

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ УПРУГОГО СОУДАРЕНИЯ ШАРОВ

**Цель лабораторной работы** – рассмотреть один из видов ударов тел – абсолютно упругий удар, и ознакомиться с методом определения времени упругого соударения шаров.

**Оборудование:** установка для исследования упругого соударения стальных шаров, два электромагнита, баллистический гальванометр, трехпозиционный переключатель.

### ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ И МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ

Соударение упругих шаров не является мгновенным. Соприкосновение шаров длится хотя и малый, но конечный промежуток времени, а силы, возникающие при ударе хотя и велики, но также конечны. С момента соприкосновения шаров начинается процесс их деформации. Точка соприкосновения переходит в круглую площадку, при этом кинетическая энергия переходит в энергию упругой деформации. Возникают упругие силы, которые достигают наибольшей величины в момент наибольшего сжатия шаров. Затем идет обратный процесс перехода потенциальной энергии деформации в кинетическую энергию движения, заканчивающийся в момент расхождения шаров. Все эти процессы взаимного перехода энергии происходят в очень малый промежуток времени, называемый временем соударения (обозначим его  $\tau$ ). В общем случае время соударения зависит от упругих свойств материала шаров, от их относительной скорости в момент начала удара и от их размеров.

Для опытного определения времени соударения шаров в настоящей работе пользуются методом конденсаторного хронометра.

Этот метод заключается в следующем. Если шары соединить проводником последовательно с заряженным конденсатором, то последний за время соударения шаров будет разряжаться, и время соприкосновения будет временем разрядки конденсатора. Если

конденсатор емкостью  $C$  был заряжен до разности потенциалов  $U_0$ , то его начальный заряд  $q_0 = CU_0$ . За время соударения величина заряда конденсатора и разность потенциалов уменьшится и после удара заряд конденсатора становится равным  $q = CU$ .

При разрядке конденсатора по цепи пойдет электрический ток. Средняя сила тока за время соударения  $\tau$

$$I = \frac{q_0 - q}{\tau}. \quad (1)$$

Так как время соударения шаров очень мало, то  $U_0$  и  $U$  мало отличаются друг от друга, поэтому, взяв среднюю разность потенциалов  $\frac{1}{2}(U_0 + U)$ , можно использовать закон Ома для определения средней силы тока:

$$I = \frac{\frac{1}{2}(U_0 + U)}{R} = \frac{\frac{1}{2}(q_0 + q)}{CR}, \quad (2)$$

где  $R$  – сопротивление цепи. Из уравнений (1) и (2) находим продолжительность удара

$$\tau = 2CR \frac{q_0 - q}{q_0 + q}. \quad (3)$$

Таким образом, для определения продолжительности удара необходимо знать емкость конденсатора  $C$ , сопротивление цепи  $R$ , через которую проходят разряд, и заряды конденсатора  $q_0$  и  $q$ . Величина сопротивления  $R$  должна быть большой, так как только в этом случае величины  $U_0$  и  $U$  будут мало отличаться друг от друга.

Для определения величины зарядов  $q_0$  и  $q$  пользуются баллистическим гальванометром. **Баллистический гальванометр** представляет собой прибор магнитоэлектрической системы (рис. 1).

Подвижная система баллистического гальванометра состоит из рамки, подвешенной на тонкой токопроводящей нити, помещенной в поле постоянного магнита (N–S). На рамке закреплено зеркало, формирующее световой указатель шкалы гальванометра (рис. 1).

Отклонение рамки гальванометра определяется по отклонению светового указателя на шкале прибора (рис. 2). Луч света осветителя падает на зеркало гальванометра. Отраженный луч попадает на шкалу и оставляет световой указатель (зайчик). При отсутствии тока в гальванометре световой указатель должен совпадать с нулевой

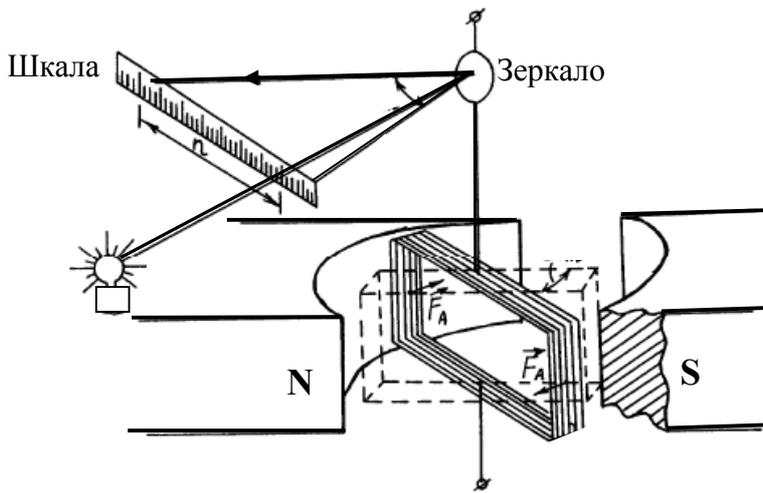


Рис. 1

отметкой шкалы. Прошедший через рамку гальванометра ток вызовет перемещение зайчика по шкале светового указателя. Поворот рамки гальванометра пропорционален величине заряда, прошедшего через обмотку рамки прибора.

Заряды  $q_0$  и  $q$ , протекающие через

гальванометр, вызовут отклонение светового указателя  $n_0$  и  $n$ , которые будут пропорциональны зарядам  $q_0 = \alpha n_0$ ,  $q = \alpha n$ ; здесь  $n_0$  и  $n$  — деления шкалы,  $\alpha$  — коэффициент пропорциональности. Подставляя эти выражения в (3), получим:

$$\tau_i = 2CR \frac{n_0 - n_i}{n_0 + n_i}, \quad (4)$$

где  $i = I, II, III$  — номер позиции электромагнита (высота).

Установка для определения продолжительности упругого удара изображена на рис. 2.

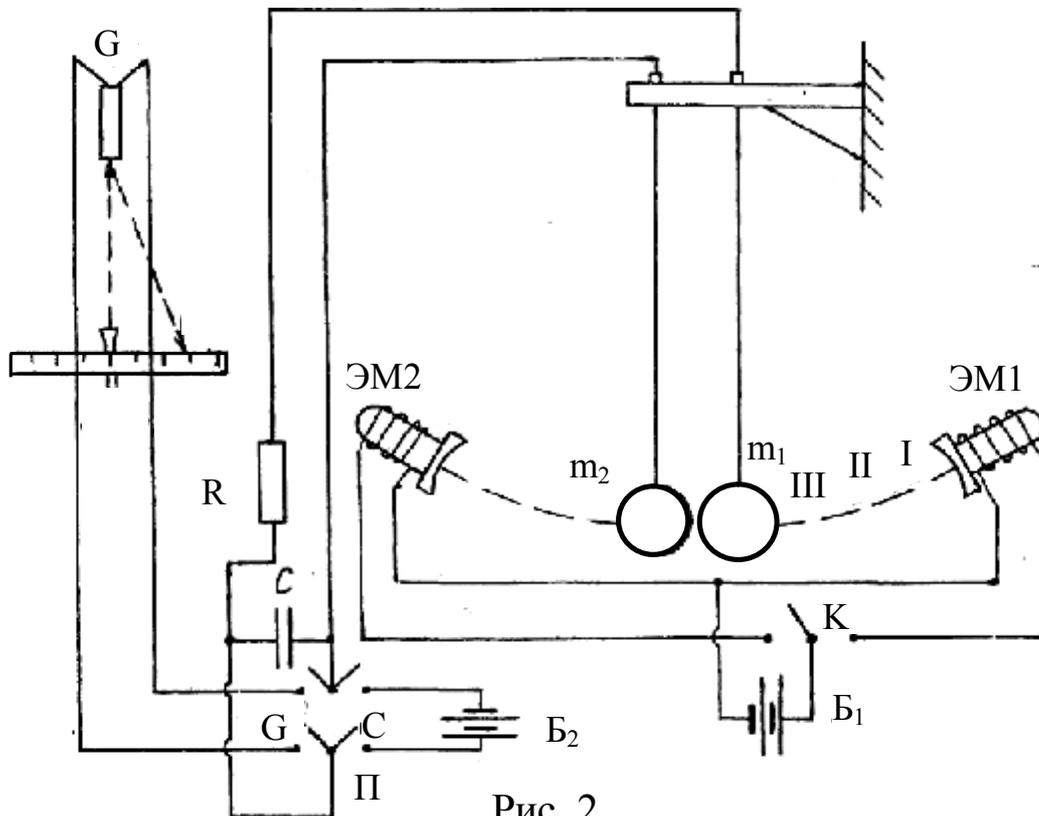


Рис. 2

Два стальных шара  $m_1$  и  $m_2$  подвешены к кронштейну на двух тонких проволоках, через которые при соприкосновении шаров частично разряжается конденсатор. Оба шара укреплены на одинаковой высоте, а траектория их движения проходит через центры электромагнитов. Ключ К используют для включения электромагнитов, переключателем П конденсатор подключают либо к батарее заряжающей конденсатор С, либо к гальванометру G.

## ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ

1. Соблюдайте общие правила техники безопасности при использовании электрических приборов.
2. Не включайте установку без предварительной проверки и разрешения преподавателя или лаборанта.
3. Не оставляйте установку без присмотра во включенном состоянии.
4. Не загромождайте рабочее место посторонними предметами.
5. При выявлении неисправностей быстро отключите установку сообщите о неисправности преподавателю.
6. По завершении работы не забудьте отключить установку от сети.

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

Включить электропитание установки – белая кнопка на электрическом щитке и выключатель рядом с ЭМ1 перевести в положение – вверх.

### 1. Настройка установки:

1. Установить левый электромагнит ЭМ2 в крайнее дальнее от шаров положение.
2. Установить правый электромагнит ЭМ1 в положение I и подобрать его расположение (слегка вращая по или против часовой стрелки) так, чтобы шар  $m_1$  хорошо удерживался ЭМ1 при замыкании

ключа К вправо.

3. Отпустить ключ К и заметить, на сколько отклонился шар  $m_2$  после упругого столкновения шаров.

5. Для устранения повторных соударений шаров передвинуть ЭМ2 к положению наибольшего отклонения шара  $m_2$  после удара и подобрать расположение ЭМ2 (слегка вращая по или против часовой стрелки) так что бы он удерживал шар  $m_2$  после соударения при замыкании ключа К влево.

6. Проверить, находится ли световой указатель гальванометра на нуле. (В случае смещения светового указателя сообщить преподавателю).

## 2. Проведение измерений:

1. Привести шары  $m_1$  и  $m_2$  в положение равновесия. При этом они не должны касаться друг друга. Если шары касаются друг друга, тогда зафиксируйте шар  $m_1$  электромагнитом ЭМ1 включив ключ К в правое положение.

2. Зарядить конденсатор, установив переключатель П в положение (+Б-) на  $1 \div 2$  с, затем перевести ручку переключателя в среднее положение.

3. Замкнув переключатель П в положение Г определить наибольшее отклонение  $n_0$  светового указателя гальванометра, соответствующее полному заряду  $q_0$  конденсатора. Измерения  $n_0$  провести три раза и записать полученные значения  $n_0$  (второй столбец) в табл. 1.

4. Включить ключ К в правое положение и зафиксировать шар  $m_1$  электромагнитом ЭМ1. Зарядить конденсатор, установив переключатель П в положение (+Б-) на  $1 \div 2$  секунды, затем перевести ручку переключателя в среднее положение.

5. Переключить ключ К в крайнее левое положение, чтобы включить цепь ЭМ2. При этом произойдет соударение шаров  $m_1$  и  $m_2$ . Шар  $m_2$  должен зафиксироваться ЭМ2 для предотвращения повторных соударений шаров.

6. Переключить переключатель П в положение Г и измерить  $n_1$  – отклонение светового указателя, соответствующее оставшемуся после удара заряду. Записать результат в табл. 1. Опыт повторить 3 раза.

7. Переместить электромагнит ЭМ 1 в положение П, и опять подобрать положения ЭМ2 для удержания шара  $m_2$  после

соударения.

8. Повторить аналогичные измерения отклонений светового указателя гальванометра  $n_{II}$  в положении II.

9. Выполнить аналогичные измерения в положении III ЭМ1. Записать результаты измерений  $n_{III}$  в табл. 1.

10. Вычислить время соударения шаров ( $\tau_I, \tau_{II}, \tau_{III}$ ) по формуле (4).

Таблица 1

№ опыта	$n_0$	$n_I$	$n_{II}$	$n_{III}$	$\tau_I$	$\tau_{II}$	$\tau_{III}$
1					$\tau_{Icp} =$	$\tau_{IIcp} =$	$\tau_{IIIcp} =$
2							
3							
Ср.зн.							

## РАСЧЕТ ПОГРЕШНОСТИ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Расчетная формула времени соударения шаров

$$\tau_{icp} = 2CR \frac{n_{0cp} - n_{icp}}{n_{0cp} + n_{icp}}, \quad (5)$$

где  $n_0$  – начальный заряд конденсатора,  $n_i$  – заряд конденсатора после соударения шаров,  $C = 2\text{мкФ} \pm 5\%$  – электроёмкость конденсатора,  $R = 240\ \text{Ом} \pm 10\%$  – сопротивление,  $i = I, II, III$  – номер позиции электромагнита (высота).

Относительная погрешность вычисляется по формуле

$$W = \frac{\sigma_\tau}{\tau} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_C}{C}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_R}{R}\right)^2 + \left(\frac{2n_{icp}}{n_{0cp}^2 - n_{icp}^2} \sigma_{n_0}\right)^2 + \left(\frac{2n_{0cp}}{n_{0cp}^2 - n_{icp}^2} \sigma_{n_1}\right)^2}, \quad (6)$$

где  $\sigma_C, \sigma_R, \sigma_{n_0}$  и  $\sigma_{n_1}$ , систематические ошибки определения  $C, R$ , начального и оставшегося заряда конденсатора по гальванометру.

$$\sigma_{n_0} = t_{\alpha,k} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k (n_{0i} - n_{0cp})^2}{k(k-1)}}, \quad \sigma_{n_1} = t_{\alpha,k} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k (n_{1i} - n_{1cp})^2}{k(k-1)}}, \quad (7)$$

где  $k$  – число измерений,  $t_{\alpha,k}$  – коэффициент Стьюдента,  $\alpha = 0,95$  – доверительная вероятность.

Абсолютную погрешность вычислить по формуле

$$\sigma_{\tau} = W\tau_{cp}. \quad (8)$$

Ответ представить в виде  $\tau = \tau_{cp} \pm \sigma_{\tau}$ . (9)

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Назовите основные динамические характеристики движущегося тела.
2. Сформулируйте законы, применяемые в работе и условия их применения.
3. Как изменяются кинетическая энергия и относительная скорость шаров при различных видах удара: абсолютно упругом, неупругом и абсолютно неупругом?
4. Опишите процесс превращения энергии при соударении шаров.
5. Объясните метод определения времени удара.
6. Как зависит время соударения шаров от скорости шаров? От положения ЭМ1?

## СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Трофимова, Т.И. Курс физики: учеб. пособие для вузов / Т.И.Трофимова.–М.: Высш. шк., 2003. – § 4-9.
2. Савельев, И.В. Курс общей физики. Т.1. Механика. Молекулярная физика: учеб. пособие для студентов втузов. – 2–е изд., перераб. – М.: Наука, 1999. – С. 24, 53, 100-103.
3. Сивухин, Д.В. Общий курс физики: учеб. пособие для вузов: в 5 т./Д.В. Сивухин.–М.: Физматлит, МФТИ, 2002.
4. Детлаф, А.А. Курс физики/А.А.Детлаф. Б.М.Яворсткий.– М.: Высш. шк., 2000.