

Ministerul Educației, Culturii și Cercetării al Republicii Moldova  
**Agenția Națională pentru Curriculum și Evaluare**  
**OLIMPIADA REPUBLICANĂ LA FIZICĂ, EDIȚIA LV**  
CHIȘINĂU, 22– 25 martie 2019

**Экспериментальный тур ORF 2019,**  
Задача

**12 класс**  
(20,0 б.)

**Определение потерь энергии в неупругих столкновениях металлических шаров с помощью модели камеры Вильсона**

**Цель задачи**

Исследование относительных потерь механической энергии  $Q = \Delta E/E_0$  в столкновениях неподвижного шара с движущимся при качении по плоской поверхности копировальной бумаги (модель камеры Вильсона). Здесь  $E_0$  – начальная энергия движущегося шара,  $\Delta E = E_0 - (E_1 + E_2)$  – потери механической энергии,  $E_1 + E_2$  – энергия шаров после удара. Исследуйте случай, когда движущийся шар тяжелее неподвижного.

**Инструментарий**

Два металлических шара, радиусы которых равны  $r_1=23,8$  mm и  $r_2=20,5$  mm. Листы белой (лист ответов) и копировальной бумаги, прямоугольный треугольник с масштабной линейкой с миллиметровой шкалой (и/или линейка).

**Неупругое столкновение шаров разных размеров при нецентральной ударе.**

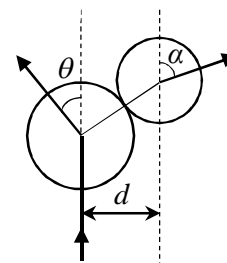
Столкновение шаров происходит почти мгновенно. Сначала шары сжимаются, а затем упругие силы расталкивают их. При этом часть механической энергии теряется и переходит в другие виды энергии. Систему двух тел в течение короткого интервала времени соударения можно приближенно считать замкнутой, так как силы взаимодействия шаров превосходят внешние, которые можно не учитывать на небольшом интервале времени удара. Для замкнутой системы выполняются законы сохранения импульса, момента импульса и энергии, которая помимо механической включает работу против диссипативных сил, внутреннюю и другие виды энергии. Отметим, что потери энергии  $\Delta E$  включают все фигурирующие в данных экспериментах виды энергии, а механическая энергия шаров  $E$  определяется обычной формулой и равна сумме энергии поступательного и вращательного движений

$$\vec{p} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2, \quad I_1\vec{\omega} = I_1\vec{\omega}_1 + I_2\vec{\omega}_2, \quad E_0 = E_1 + E_2 + \Delta E, \quad I = \frac{2}{5}mr^2, \quad E_0 = \frac{7}{10}mv^2, \quad k = \frac{m_2}{m_1} \quad (1)$$

Здесь все физические величины относятся к моментам времени до удара и сразу после прекращения взаимодействия шаров. Вертикальной компонентой ударной силы можно пренебречь при малых скоростях налетающего шара и близких значениях радиусов шаров.

**Модель камеры Вильсона**

Камера Вильсона, как известно позволяет изучать треки частиц при ядерных реакциях. Наша простая модель использует копировальную бумагу, фиксирующую удар движущегося шара о неподвижный. Для выполнения предварительного эксперимента положите копировальную бумагу на лист белой бумаги А4. Мысленно поделите лист на две половины и установите шар  $r_2$  в середине левой половины листа, а шар  $r_1$  у ближнего к вам края так, чтобы линия удара была направлена вдоль узкой стороны листа. Используя треугольник или линейку, легко направьте шар  $r_1$  в левую сторону шара  $r_2$  с малой скоростью. То же самое сделайте на правой половине листа, но придайте шару  $r_1$  большую скорость. Из результатов предварительного эксперимента можно сделать вывод, что измерению подлежат только три параметра. Это углы отклонения  $\theta$  (шара  $r_1$ ),  $\alpha$  (шара  $r_2$ ) от направления удара (направление начальной скорости шара  $r_1$ ) и прицельный параметр  $d$ . Уравнений (1) при этом явно недостаточно для определения всех физических величин, которые описывают процесс неупругого рассеяния. Упростим задачу, рассматривая шары как материальные точки.



Ministerul Educației, Culturii și Cercetării al Republicii Moldova  
**Agenția Națională pentru Curriculum și Evaluare**  
**OLIMPIADA REPUBLICANĂ LA FIZICĂ, EDIȚIA LV**  
CHIȘINĂU, 22– 25 martie 2019

**Экспериментальный тур ORF 2019,**

**12 класс**

Законы сохранения энергии и импульса при столкновении материальных точек выражаются уравнениями, которые имеют следующий вид

$$m_1 v = m_1 v_1 \cos \theta + m_2 v_2 \cos \alpha, \quad m_1 v_1 \sin \theta = m_2 v_2 \sin \alpha, \quad \frac{1}{2} m_1 v^2 = E_0 = E_1 + E_2 + Q E_0 \quad (2)$$

Эти уравнения составляют замкнутую систему, которая имеет формально точное решение и позволяет по результатам измерений вычислить функцию относительных потерь энергии  $Q$ .

**Задание**

1. Проанализируйте результаты предварительного эксперимента и сформулируйте методику измерения прицельного параметра  $d$  и углов отклонения  $\theta$  и  $\alpha$ . – (3,0 б.)

2. Используя уравнения (1) найдите рабочие формулы для потерь и скоростей шаров, которые должны содержать следующие параметры и физические величины

$$Q, \quad a = \operatorname{tg} \theta, \quad b = \sin \alpha, \quad c = \cos \alpha, \quad k = m_2 / m_1, \quad v_2, \quad v_1 \quad (3)$$

Скорости шаров выражены в единицах начальной скорости шара  $v_1$ . Перечислите основные виды энергий, включенных в неизвестный параметр  $Q$ . – (4,0 б.)

3. Перейдите к абсолютно упругому пределу  $Q = 0$  и найдите уравнение для параметра  $k(Q = 0)$ . – (1,0 б.)

4. Проведите эксперимент по неупругому рассеянию шара радиуса  $r_1 = 23,8$  мм на шаре радиуса  $r_2 = 20,5$  мм (по три измерения на лист ответов). Проведите не менее пятнадцати измерений в широкой области значений прицельного параметра. – (4,0 б.)

5. Рассчитайте параметры (3) и соберите результаты в таблицу, которая должна содержать значения следующих величин

$$d, \quad a = \operatorname{tg} \theta, \quad b = \sin \alpha, \quad c = \cos \alpha, \quad Q, \quad k(Q = 0), \quad v_1, \quad v_2 \quad (4) \quad - (3,0 \text{ б.})$$

Данные в таблице организуйте по мере увеличения прицельного параметра  $d$ .

6. Проанализируйте полученные результаты и найдите область, в которой потери энергии линейно зависят от прицельного параметра. Представьте график и найдите тангенс угла наклона  $\gamma$ . – (3,0 б.)

7. Рассмотрите зависимость относительных скоростей шаров от прицельного параметра. Представьте соответствующий график. – (2,0 б.)

Задачи составлены:  
dr. hab., prof. univ. Alexandr Cliucanov  
dr., conf. cerc. Sergiu Vatavu  
Universitatea de Stat din Moldova