

УДК 531.7, 378.147.88

Л.А. ВЕЛИЧКО¹, П.Б. КАЦ², Т.Л. КУШНЕР¹

¹Брест, БрГТУ

²Брест, БрГУ имени А.С. Пушкина

НОВОЕ МЕТОДИЧЕСКОЕ РУКОВОДСТВО К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ «ИЗУЧЕНИЕ УДАРА ШАРОВ»

Рассмотрение удара шаров является распространенным примером при изучении законов сохранения импульса и механической энергии. Обычно рассматриваются два предельных случая – абсолютно упругий и абсолютно неупругий удар. Однако реальный удар редко является абсолютно неупругим и никогда не является абсолютно упругим. На наш взгляд, важно обратить внимание обучающихся на этот факт, иначе может сложиться впечатление, что удары бывают только двух видов. В лабораторном физическом практикуме по механике для студентов технических специальностей Брестского государственного технического университета предлагается лабораторная работа «Изучение упругого удара шаров» [1]. В работе требуется найти зависимость времени соударения шаров и силы удара от скорости. При этом в теории не описывается предполагаемая зависимость времени удара от скорости и не производится анализ полученного графика, поэтому студенты могут сделать только качественный вывод об имеющемся характере зависимости. При расчете силы удара предполагается, что при соударении движущегося шара с покоящимся шаром той же массы первый останавливается, а второй начинает движение с той скоростью, которую имел налетающий шар в момент начала удара. Это верно только для абсолютно упругого удара. Мы предлагаем новое методическое руководство для проведения лабораторной работы. Ниже приводится краткое изложение основных отличий нового руководства.

Предлагается исключить из названия работы «упругого», чтобы не создавать аналогию с абсолютно упругим ударом.

В цели работы добавлены проверка закона сохранения импульса для удара шаров и нахождение коэффициента восстановления скорости для исследуемых шаров.

Предлагается для каждого угла отклонения налетающего (первого) шара проводить не менее трех измерений времени соударения шаров и угла отклонения второго шара, так как это используется для вычисления средней силы удара с учетом того, что удар не является абсолютно упругим.

При построении графика зависимости времени соударения от скорости налетающего шара рекомендуется наносить на график погрешности изме-

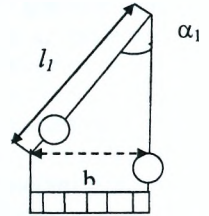
рений указанных величин. В приложении добавлены краткие сведения по расчету времени соударения шаров [2, с. 46–52]. Для абсолютно упругого удара $t \sim v^a$, где $a = -0,2$, следовательно, зависимость $\ln t = f(\ln v)$ должна быть линейной:

$$\ln t = a \ln v + c.$$

Поскольку реальный удар не является абсолютно упругим, коэффициент a может несколько отличаться от $(-0,2)$. Студентам ставится задача определить коэффициент a и его погрешность с помощью метода наименьших квадратов. Для этого удобно ввести обозначения $\ln v = x$, $\ln t = y$. Методика расчета приводится в приложении.

Полученный результат предлагается представить в виде $t \sim v^{a \pm \Delta a}$.

Для проверки закона сохранения импульса первый шар перед ударом отклоняют на наибольший угол, позволяемый установкой – 15° , и проводят столкновение не менее трех раз, измеряя при каждом столкновении углы отклонения шаров после удара. Угол отклонения второго шара можно определить по угловой шкале установки. Угол отклонения первого шара нельзя измерить таким способом, т.к. его начальное положение не соответствует нулевому делению на шкале слева (куда он отклоняется после удара). Поэтому предлагается использовать дополнительную линейную шкалу (миллиметровку или прозрачную линейку), по которой фиксировать линейное отклонение шара b (смотри рисунок).



Тогда

$$\sin(\alpha_1) = \frac{b}{l_1},$$

и скорость первого шара после удара

$$v_1 = 2\sqrt{gl} \sin\left(\frac{\alpha_1}{2}\right).$$

Так как угол α_1 не превышает 3° , можно с высокой точностью заменить

$$2\sin\left(\frac{\alpha_1}{2}\right) \approx \sin(\alpha_1).$$

Следовательно, для скорости первого шара после удара можно использовать формулу

$$v_1 = \sqrt{gl} \sin(\alpha_1) = \sqrt{gl} \frac{b}{l_1}.$$

Закон сохранения импульса при соударении шаров равной массы ведет к равенству

$$v - (u_1 + u_2) = 0.$$

Можно считать, что закон сохранения импульса с учетом погрешностей подтвержден, если выполняется неравенство

$$|v - (u_1 + u_2)| \leq \Delta[v - (u_1 + u_2)].$$

По найденным значениям v , v_1 и v_2 студенты вычисляют коэффициент восстановления скорости:

$$K = \frac{v_2 - v_1}{v}.$$

и окончательно представляют результат в форме $K \pm K$.

Для расчета средней силы удара изменение импульса второго шара в результате соударения делят на продолжительность соударения. Изменение его импульса равно приобретенному импульсу mv_2

$$\langle F \rangle_i = \frac{mv_2 \text{ пд} i}{t_{\text{сп} i}}.$$

Рассчитывается погрешность косвенного измерения средней силы удара и строится график зависимости силы удара от скорости $\langle F \rangle = f(v)$ с нанесением погрешностей соответствующих величин на график.

В приложениях кратко изложены понятия абсолютно упругого удара, неупругого удара, коэффициента восстановления скорости, сведения о времени соударения упругих шаров, приводятся или по возможности выводятся необходимые формулы. Изложены методы расчета погрешностей и применение метода наименьших квадратов в данной работе. Приводится таблица коэффициентов Стьюдента. В конце работы содержатся контрольные вопросы. Предполагается автоматизированный расчет погрешностей на компьютере. В зависимости от специальности обучающихся и количества отведенных на лабораторный практикум часов возможно упрощение ряда заданий.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чопчиц, Н. И. Лабораторный физический практикум «Механика»: метод. пособие для студентов техн. специальностей / Н. И. Чопчиц, А. А. Гладышук, И. С. Янусик. – Брест: Изд-во БрГТУ, 2011. – 80 с.
2. Ландау, Л. Д. Теоретическая физика: учеб. пособие для вузов: в 10 т. / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. – Изд. 5-е, стер. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2001–2005. – Т. 7: Теория упругости. – 2003. – 264 с.