

ПРИБОРЫ И ТЕХНИКА ИЗУЧЕНИЯ НЕЦЕНТРАЛЬНОГО УДАРА

А. И. Кутеева

УО «Белорусский государственный педагогический университет
имени Максима Танка»

А. Д. Шевченко

ГУО «Гимназия № 20 г. Минска»
Минск (Республика Беларусь)

Науч. рук. – А. Н. Ярошенко, Е. А. Апанович
учитель высш. квалиф. кат.

ГУО «Гимназия № 20 г. Минска»

INSTRUMENTS AND TECHNIQUES FOR STUDYING OFF-CENTER IMPACT

A. I. Kuteeva

Belarusian State Pedagogical University named after Maxim Tank

A. D. Shevchenko

State Educational Institution Gymnasium No. 20 in Minsk
Minsk (Republic of Belarus)

Sci. adv. – A. N. Yaroshenko, E. A. Apanovich

Рассмотрены некоторые аспекты изучения динамики поступательного и вращательного движения при взаимодействии тел на примере нецентрального удара двух шаров при их абсолютно неупругом взаимодействии, включая приемы реализации в лабораторном практикуме и аналитическое описание.

Some aspects of studying the dynamics of translational and rotational motion during the interaction of bodies are considered on the example of an off-center impact of two balls with their absolutely inelastic interaction, including methods of implementation in a laboratory workshop and an analytical description.

Ключевые слова: нецентральный и неупругий удар, шар, вращение, движение

Key words: off-center and inelastic impact, ball, rotation, movement

Вводная часть. Постановка задачи. Особенности взаимодействия механических систем в условиях их полной замкнутости, либо при выполнении определенных требований для некоторых составляющих их интегралов движения, удобно описывать в приближении реализации законов сохранения энергии, импульса и момента импульса. При наличии гравитационного поля, которое вблизи поверхности Земли является однородным, составляющие импульса в плоскости горизонта, равно как и проекции момента импульса на вертикальную ось ввиду однородности и осевой симметрии поля гравитации, как известно, сохраняются. Это обстоятельство позволяет в доступной для восприятия форме моделировать в эксперименте задачи взаимодействия тел с распределенной массой как систем материальных точек [1 – 4].

В сообщении представлены исходные посылки реализации учебного эксперимента по изучению динамики поступательного и вращательного движения тел с распределенной массой по общему типу ударного контактного воздействия. То есть, рассматривается методология экспериментального разрешения задачи неупругого нецентрального удара двух шаров, включая и её аналитические аспекты, и приемы реализации в лабораторном практикуме.

Предпосылки постановки задачи, обсуждение деталей. Законы сохранения при упругом взаимодействии изучаются в учреждениях общего среднего образования на примере центрального удара металлических шаров, движущихся вдоль направляющего металлического желобка. В ходе эксперимента регистрируют временные интервалы прохождения шариками заданных отрезков длины. Для этого привлекаются секундомеры на основе оптоэлектронных преобразователей и по результатам измерений временных отрезков рассчитывают значения мгновенных скоростей взаимодействующих шаров до и после удара, после чего проводят анализ характера самого процесса обмена и энергией, и импульсами, а также реалистичность выполнения принятых условий относительно интегралов движения. В установке корпорации Fourier System (Израиль) предусмотрена возможность изучения нецентрального упругого удара одинаковых по массе шаров с регистрацией параметров движения при падении шаров на копировальную бумагу.

Представляемая ниже техника выполнения эксперимента по изучению неупругого нецентрального удара также основывается на использовании копировального покрытия, на которое опускается система после взаимодействия. При неупругом соударении-слипании шары представляют собой объемную конфигурацию типа “восьмерка”, которая в процессе свободного движения осуществляет и поступательное движение и производит вращение вокруг вертикальной оси, проходящей через центр масс (рис. 1).

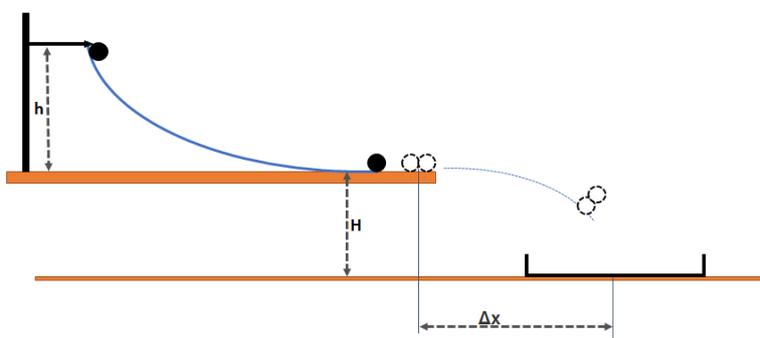


Рисунок 1. Принципиальная схема установки по реализации и изучению динамики нецентрального неупругого удара в лабораторном практикуме учреждений высшего и общего среднего образования: h и H – высоты скатывания ударяющего шара и падения системы двух шаров; Δx – смещение центра масс системы относительно начальной точки в момент удара.

Уравнения, описывающие движение системы после неупругого нецентрального взаимодействия налетающего шара с неподвижным шаром на основе упомянутых интегралов движения системы, имеют вид:

$$mv = (m + M)u \quad (1)$$

$$mv p = I\omega$$

здесь m и v – масса и вектор скорости ударяющего шара в момент столкновения, M – масса ударяемого шара, u – вектор скорости центра масс образовавшейся в ходе удара системы, p – прицельный параметр, I – момент инерции образовавшейся системы, ω – вектор угловой скорости системы после столкновения.

Система уравнений (1) показывает, что после столкновения образовавшаяся структура будет двигаться поступательно и вращаться в горизонтальной плоскости вокруг вертикальной оси, проходящей через центр масс. В целом по ходу эксперимента скорость движения системы, как целого, и угол поворота зависят от величины сообщаемого импульса и длительности нахождения в воздухе. При неодинаковых размерах шаров и различии их масс центр инерции системы располагается на линии соединяющей их центры. Эта линия не будет параллельна поверхности Земли, но даже в этом случае параметры движения – плоского вращения при свободном падении легко выявить по меткам, оставленным копировальной бумагой. Тем не менее, для обеспечения горизонтального плоского движения образовавшейся гантели желательно выбирать размеры и массы шаров близкими, и в рамках рассматриваемого эксперимента вполне возможно оценить момент инерции системы соединившихся шаров.

Более простая версия организации эксперимента может быть реализована при идентичности шаров по размерам и массам, когда центр масс образовавшейся системы находится в точке стыка. В этом приближении выражения в (1) могут быть представлены в виде, отображающем положение центра инерции структуры и поворот горизонтальной оси гантели-восьмерки как целого в момент касания стола через отметки от копировального покрытия поверхности стола (Рис. 1):

$$\Delta x = \sqrt{hH} \quad (2)$$

$$\Delta \varphi = \frac{p\sqrt{hH}}{R^2} \quad (3)$$

здесь Δx – смещение центра масс системы относительно начальной точки в момент удара, $\Delta \varphi$ – угол поворота при боковом неупругом соударении двух

шаров, p – половина прицельного параметра, R – радиус соударяемых шаров, h и H – высоты – скатывания ударяющего шара и – падения системы двух шаров.

В эксперименте скатывающийся шар после взаимодействия с покоящимся шаром сохраняет совокупное состояние свободного падения как единой системы с добавлением вращательного движения. Как угол поворота, так и смещение центра масс системы по результатам измерений могут быть сопоставлены с расчетными значениями (2), (3).

Исследование может быть осуществлено по профилю выявления условий выполнения соотношений для интегралов движения системы при варьировании высоты скатывания и высоты приземления, степени воздействия неупругости взаимодействия на динамику составной системы, включая экспериментальное выявление момента инерции по результатам эксперимента с последующим сопоставлением с расчетом из первых принципов. Существенно, что реализовать исследование такого рода достаточно легко, поскольку эксперимент при своей многогранности не требует привлечения затратного оборудования и дополнительных материальных ресурсов.

Заключение. Нецентральное взаимодействие с привлечением техники скатывания шариков вдоль наклонного желобка и регистрации места падения системы по меткам от копировальной бумаги позволяет расширить спектр эмпирических исследований в области динамики и кинематики систем с распределенной массой. Такого рода исследования на усвоение и закрепление материала возможны во время занятий в студенческой исследовательской лаборатории, а также при комплексном изучении механики школьниками под руководством студентов-практикантов и магистрантов.

Библиографические ссылки

1. Сивухин, Д.В., Общий курс физики: учеб. пособие для вузов: в 5 т. / Д.В. Сивухин. – 3-е изд. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2005. – Т. 1 : Механика. – 792 с.
2. Никеров В. А., Физика: Современный курс, 2-е издание, . — М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К°», 2016. — 452 с.
3. Трофимова Т. И., Курс физики: учеб. пособие для вузов — 11-е изд., стер. — М.: Издательский центр «Академия», 2006. — 560 с.
4. Цветкова Е.В. Изучение абсолютно упругого и абсолютно неупругого ударов: Оренбург: ГОУ ОГУ, 2005. - 11 с.