

УДК 378.147

ПРАВДА Михайло Іванович –

кандидат фізико-математичних наук, доцент,

доцент кафедри фізики

Запорізького національного технічного університету

ORCID ID 0000-0002-5374-5538

e-mail: pravda@zntu.edu.ua

КУРБАЦЬКИЙ Валерій Петрович –

кандидат фізико-математичних наук, доцент,

доцент кафедри мікро- та наноелектроніки

Запорізького національного технічного університету

ORCID ID 0000-0002-3927-9657

e-mail: kurbat@zntu.edu.ua

ЗІТКНЕННЯ КУЛЬ У ЛАБОРАТОРНОМУ ФІЗИЧНОМУ ПРАКТИКУМІ

Постановка та обґрунтування актуальності проблеми. Фізичні явища при зіткненні тіл досить складні. Тіла що зіткаються деформуються, виникають пружні сили і сили тертя, в тілах збуджуються коливання та хвилі і т. і. [1, с. 144]. Відрізняють два крайніх випадки зіткнень: *не пружне* та *пружне*. Під час не пружного зіткнення всі вище згадані процеси в решті решт припиняються і в подальшому обидва тіла, з'єднавшись разом, рухаються як єдине тверде тіло.

Цікаві перетворення кінетичної та потенціальної енергій спостерігаються при *абсолютно пружному зіткненні*. Так називають зіткнення тіл, в результаті якого їх внутрішня енергія не змінюється. У чистому вигляді такий випадок зіткнення макроскопічних тіл не зустрічається, але до нього можна підійти досить близько, наприклад, при

зіткненні бильярдних куль виготовлених із слонової кістки або металевих куль виготовлених із загартованої сталі.

Із загальних міркувань зрозуміло, що зіткнення куль не відбувається миттєво, а навпаки триває певний час. Зрозуміло, що безпосереднє теоретичне та дослідне визначення цього часу являє собою актуальне завдання як із наукової так і з методичної точки зору.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз публікацій на цю тему показує, що у більшості лабораторних практикумів задача безпосереднього визначення часу зіткнення куль не ставиться взагалі. Визначенню власне часу зіткнення куль присвячені методичні розробки у не багатьох фізичних практикумах. Наприклад, у фундаментальному практикумі [2, с.62] час зіткнення куль визначається за допомогою балістичного гальванометра. Якщо металеві кулі з'єднати провідником із зарядженим конденсатором, то конденсатор під час зіткнення куль буде розряджатись і час зіткнення можна ототожнити із часом розрядки. Для теоретичного визначення часу зіткнення в роботі пропонується наступна формула:

$$\tau = a \cdot v^{\beta} \quad , \quad (1)$$

де v - відносна швидкість куль, а a та β - коефіцієнти, що визначаються експериментально. Таким чином в роботі пропонується напівемпіричний метод теоретичного визначення τ .

У роботі [3, с.62] для експериментального визначення часу зіткнення через електричний контакт між кулями пропускають змінний електричний струм у вигляді П-подібних електричних імпульсів. За допомогою спеціального лічильника імпульсів визначають їх кількість, що проходить через контакт між кулями за певний фіксований час (наприклад за 1 секунду) та за час зіткнення. Після чого час зіткнення визначається за формулою:

$$\tau = t \cdot N / N_0 \quad , \quad (2)$$

де t - час експозиції, N – кількість імпульсів за час зіткнення, N_0 – кількість імпульсів за час експозиції. Для теоретичної оцінки тривалості зіткнення в роботі пропонується наступна формула:

$$\tau = c \cdot \varphi^k, \quad (3)$$

де φ - кут відхилення однієї кулі із положення рівноваги; c – стала величина, що залежить від пружних властивостей матеріалу, із якого зроблені кулі; k – показник ступеня, який визначається експериментально. Таким чином і в цій роботі також пропонується напівемпіричний метод теоретичного визначення τ .

В роботі, що пропонується експериментальна частина визначення часу зіткнення практично не відрізняється від методу визначення τ роботи [3].

Мета статті. Метою даної роботи було теоретичне та експериментальне визначення часу зіткнення куль виготовлених із загартованої сталі та співставлення даних теорії та експерименту, а також впровадження отриманих результатів у лабораторний фізичний практикум.

Методи дослідження. Таким чином в роботі запропоновано класичний метод фізичного дослідження, який полягає у поєднанні теоретичної та експериментальної компонент щодо розв'язання конкретної фізичної задачі, доступний для розуміння та засвоєння студентами Вишу.

Виклад основного матеріалу дослідження. Теоретична частина. Розглянемо зіткнення двох куль радіуса R в системі відліку, в якій кулі рухаються назустріч одна до одної (рис.1). На рисунку заштрихована область – область деформації куль підчас їх зіткнення.

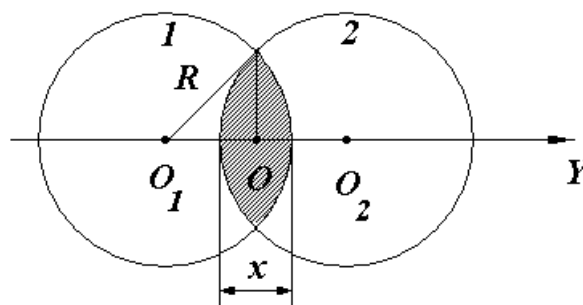


Рис.1 Схема зіткнення куль

Позначимо деформацію куль через x . Тоді координата центру кулі 2 дорівнюватиме:

$$y = R - \frac{x}{2} \quad (4)$$

При виконанні умови $x \ll R$ для площі контакту між кулями маємо:

$$S = \pi \left(R^2 - \left(R - \frac{x}{2} \right)^2 \right) \approx \pi R x \quad (5)$$

Відповідно для сили, що діє між шарами маємо:

$$F = E \cdot \frac{x}{2R} \cdot \pi R x = \frac{\pi E x^2}{2} \quad (6)$$

де E – модуль Юнга. Враховуючі наведене вище, на підставі закону збереження енергії маємо:

$$\frac{1}{2} m v^2 = \frac{\pi E x^3}{6} \quad (7)$$

де E_0 - енергія кулі перед зіткненням в лабораторній системі відліку. Із рівняння (7) для швидкості кулі маємо:

$$v = \frac{dx}{dt} = \sqrt{\frac{1}{m} \left(E_0 - \frac{\pi E}{6} x^3 \right)} \quad (8)$$

Після розділення змінних у формулі (8) для часу зіткнення куль отримуємо:

$$\tau = \int_0^{x_{\max}} \frac{dx}{\sqrt{\frac{1}{m} \left(E_0 - \frac{\pi E}{6} x^3 \right)}} \quad (9)$$

або:

$$\tau = \sqrt{\frac{m}{E_0}} \int_0^{x_{\max}} \frac{dx}{\sqrt{1 - \frac{\pi E}{6 E_0} x^3}} = \sqrt{\frac{m}{E_0}} \cdot \left(\frac{6 E_0}{\pi E} \right)^{\frac{1}{3}} \int_0^1 \frac{dt}{\sqrt{1 - t^3}} \quad (10)$$

Інтеграл у формулі (10) дорівнює:

$$\int_0^1 \frac{dt}{\sqrt{1 - t^3}} = \frac{\sqrt{\pi}}{3} \approx 1.4 \quad (11)$$

Для енергії кулі перед зіткненням при умові $\varphi \ll 1$ маємо:

$$E_0 = m g l (1 - \cos \varphi) = 2 m g l \sin^2 \frac{\varphi}{2} \approx \frac{1}{2} m g l \varphi^2 \quad (12)$$

Таким чином для часу зіткнення куль остаточно одержуємо формулу:

$$\tau = 1.33 \cdot \left(\frac{m}{\sqrt{lE}}\right)^{1/3} \cdot \varphi^{-1/3} \quad (13)$$

де m – маса кулі; l – довжина підвісу; E – модуль Юнга; φ – кут відхилення кулі від положення рівноваги.

Експериментальна частина. Для експериментального визначення часу зіткнення куль в роботі використовується експериментальна установка, схему якої зображено на рис. 2. Дві однакові кулі 1 масою m кожна, виготовлені із загартованої сталі підвішені на кронштейнах довжиною l так, що у стані рівноваги їх поверхні дотикаються утворюючи електричний контакт. Від генератора електричних імпульсів 2 із частотою порядку 10^5 Гц через контакт між кулями проходять П-подібні електричні імпульси, які реєструються лічильником 3. За допомогою цього пристрою можна виміряти час, на протязі якого кулі дотикаються одна до одної, зокрема і час зіткнення куль під час удару. Для чого одну із куль відхиляють від положення рівноваги на певний фіксований кут φ і відпускають. Після зіткнення електричний контакт між кулями переривається і лічильник показує кількість імпульсів, які пройшли через контакт між кулями за час удару.

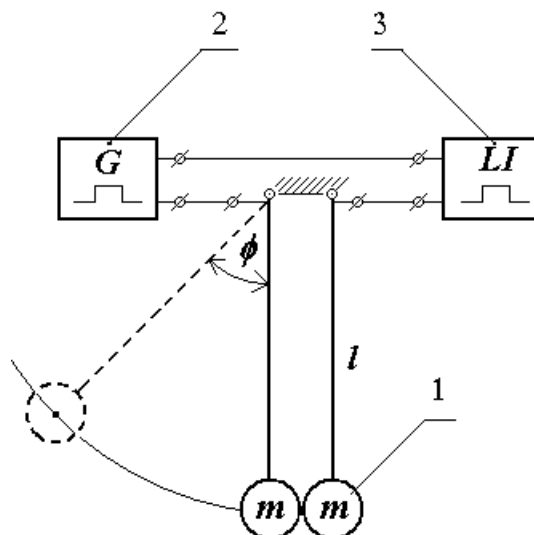


Рис.2 Схема експериментальної установки

Власне час зіткнення куль визначається за формулою (2).

В лабораторній роботі пропонується виміряти спочатку кількість електричних імпульсів N_0 , що проходять через контакт між кулями за певний фіксований час t (час експозиції). Після чого вимірюється кількість електричних імпульсів N , що проходять через контакт між кулями за час їх зіткнення при різних кутах φ . Теоретичні значення часу зіткнення куль τ розраховується за формулою (13), а експериментальні за формулою (2). Отримані результати відображаються на теоретичному та експериментальному графіках залежності $\tau = f(\varphi)$ побудованих на одному графічному полі.

Висновки з дослідження і перспективи подальших розробок. Дослід показує, що теоретичні та експериментальні результати задовільно співпадають між собою, хоча теорія дає дещо більші значення τ , ніж ті, що отримуються в експерименті. В цілому ж справедливність формули (13) для розрахунку часу зіткнення куль підтверджується, що дозволяє впровадити дану методику в навчальний процес.

Щодо перспектив подальших розробок, то додаткове дослідження певних розбіжностей теоретичних та дослідних даних без сумніву представляє як науковий так і методичний інтерес.

СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1. Сивухин Д. В. Общий курс физики. Т. 1. М.: Наука, 1977. 519 с.
2. Физический практикум / под ред. проф. В. И. Ивереновой. М.: Гостехиздат, 1955. 634с.
3. Методичні вказівки до лабораторних робіт з фізики. Механіка. Молекулярна фізика. Частина 1. Для студентів інженерно-технічних спеціальностей денної форми навчання / укладачі: Лоскутов С. В. та ін. Запоріжжя: ЗНТУ, 2009. 90 с.

REFERENCES

1. Sivukhin, D. V. (1977), Obshchiy kurs fiziki [The general course of physics]. T.1. Nauka, Moscow, Russian.
2. Fizicheskiy praktikum (1955) [Physical Practice] / Pod red. Iverenovoy, V. I. Gostekhizdat, Moscow, Russian.
3. Metodichni vkazivky do laboratornykh robit z fizyky. Mekhanika. Molekulyarna fizyka. Chastyna 1. Dlya studentiv inzhenerno-tekhnichnykh spetsial'nostey dennoyi formy navchannya (2009), [Methodological instructions for laboratory work in physics. Mechanics. Molecular physics. Part 1. For students of engineering and technical specialties of full-time education] / Ukladachi: Loskutov, S.V. ta in., ZNTU, Zaporizhzhya, Ukraine.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

ПРАВДА Михайло Іванович – кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри фізики Запорізького національного технічного університету.

Наукові інтереси: лабораторний фізичний практикум, методика викладання фізики.

КУРБАЦЬКИЙ Валерій Петрович – кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри мікро- та наноелектроніки Запорізького національного технічного університету.

Наукові інтереси: теоретична фізика, лабораторний фізичний практикум, методика викладання фізики.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

ПРАВДА Михаил Иванович – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры физики Запорожского национального технического университета.

Научные интересы: лабораторный физический практикум, методика преподавания физики.

КУРБАЦКИЙ Валерий Петрович – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры микро- и наноэлектроники Запорожского национального технического университета.

Научные интересы: теоретическая физика, лабораторный физический практикум.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

PRAVDA Mikhail Ivanovich – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the Department of Physics of Zaporizhzhya National Technical University.

Research interests: laboratory physics workshop, methods of teaching physics.

KURBATSKY Valery Petrovich – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the Department of Micro-and Nanoelectronics of Zaporizhzhya National Technical University.

Research interests: theoretical physics, laboratory physics workshop.

ПРАВДА Михайло Іванови, KURBATSKY Valery Petrovich. ЗІТКНЕННЯ КУЛЬ У ЛАБОРАТОРНОМУ ФІЗИЧНОМУ ПРАКТИКУМІ.

Анотація. Зіткнення куль не відбувається миттєво, а навпаки триває певний час. Визначенню часу зіткнення куль присвячені методичні розробки у багатьох фізичних практикумах. Метою даної роботи було теоретичне та експериментальне визначення часу зіткнення куль виготовлених із загартованої сталі та співставлення даних теорії та експерименту.

Теоретична частина роботи полягала у безпосередньому розв'язку задачі зіткнення куль та отримання аналітичної формули для часу їх зіткнення. Виявилось, що час зіткнення залежить лише від чотирьох параметрів, а саме: маси кулі, довжини її підвісу, модуля Юнга матеріалу, із якого виготовлені кулі, а також від кута відхилення кулі від положення рівноваги. Вважаючи перші три параметри сталими, в роботі досліджується залежність часу зіткнення від кута відхилення від положення рівноваги. Виявилось, що час зіткнення залежить від кута у ступені $\ll -1/3 \gg$.

В роботі запропоновано класичний метод фізичного дослідження, який полягає у поєднанні теоретичної та експериментальної компонент щодо визначення часу зіткнення куль.

Ключові слова: час зіткнення куль, лабораторний фізичний практикум.

**ПРАВДА Михаил Иванович, КУРБАЦКИЙ Валерий Петрович.
УДАР ШАРОВ В ЛАБОРАТОРНОМ ФИЗИЧЕСКОМ ПРАКТИКУМЕ.**

Аннотация. Столкновение шаров не происходит мгновенно, а наоборот продолжается определенное время. Определению времени столкновения шаров посвященные методические разработки во многих физических практикумах. Целью данной работы было теоретическое и экспериментальное определение времени столкновения шаров изготовленных из закаленной стали и сопоставление данных теории и эксперимента.

Теоретическая часть работы заключалась в непосредственном решении задачи столкновения шаров и получения аналитической формулы для времени их столкновения. Оказалось, что при столкновении зависит только от четырех параметров, а именно: массы пули, длины ее подвеса, модуля Юнга материала, из которого изготовлены пули, а также от угла отклонения шара от положения равновесия. Считая первые три параметра постоянными, в работе исследуется зависимость времени столкновения от угла отклонения от положения равновесия. Оказалось, что при столкновении зависит от угла в степени.

В работе предложено классический метод физического исследования, который заключается в сочетании теоретической и экспериментальной компонент по определению времени столкновения шаров.

В работе предложен классический метод физического исследования, состоящий в соединении теоретической и экспериментальной компонент для определения времени удара шаров.

Ключевые слова: время удара шаров, лабораторный физический практикум.

**PRAVDA Mikhail Ivanovich, KURBATSKY Valery Petrovich. SHOCK
BALLS IN LABORATORY PHYSICAL PRACTICAL.**

Annotation. Physical phenomena in collisions of bodies are quite complex. The bodies that are wound are deformed, there are elastic forces and frictional forces, oscillations and waves are excited in bodies, and so on. Two extreme cases of collisions are distinguished: not elastic and elastic. During a non-elastic collision, all of the above-mentioned processes cease to end, and in the future, both bodies, joined together, move as the only solid.

Interesting transformations of kinetic and potential energies are observed at an absolutely elastic collision. Absolutely elastic is called collision of bodies, as a result of which their internal energy does not change. In the pure form, such a collision of macroscopic bodies does not occur, but it can be approached quite close, for example, when collision of billiard balls made of ivory or metal balls made of hardened steel.

From general considerations it is clear that bullet collisions do not occur instantaneously, but on the contrary, it lasts for some time. To determine the time of collision balls devoted to methodological developments in many physical workshops. The purpose of this work was theoretical and experimental determination of the collision time of bullets made from hardened steel and the comparison of the theory and experiment data.

The theoretical part of the work was to directly solve the problem of bullet collisions and obtain an analytical formula for the time of their collision. It turned out that the collision time depends only on the four parameters, namely: the mass of the ball, the length of its suspension, the Young modulus of the material from which the balls are made, and the angle of deviation of the sphere from the equilibrium position. Considering the first three parameters are stable, in work the dependence of the collision time on the angle of deviation from the equilibrium position is investigated. It turned out that the collision time depends on the angle of the degree $-1/3$.

The experimental part of the work was to measure the amount of electrical impulses passing through the electrical contact between the metal balls for a fixed period of time, as well as during the collision of the balls. Based on these measurements, the collision time was experimentally determined.

Thus, the classical method of physical research, which consists in combining the theoretical and experimental components in solving a particular physical problem, is proposed in the paper. The theoretical calculations agree satisfactorily with experiment data.

Keywords: *time of hitting balls, laboratory physical workshop.*