

УДК 537.611+539.3

В.М. Здешиц

*Криворізький педагогічний інститут
ДВНЗ “Криворізький національний університет”***МАГНІТНИЙ ПРИСКОРЮВАЧ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ НАУКОВО-
ДОСЛІДНИХ РОБІТ З ФІЗИКАМИ-МАГІСТРАМИ**

На прикладі розробленого магнітного прискорювача обґрунтовується можливість навчання фізиків-магістрів – майбутніх педагогів, співробітників науково-дослідних інститутів – методам вирішення наукових задач.

Метою статті є опис результатів розробки розгінного пристрою, що забезпечує демонстрацію фізичних явищ і їх взаємний зв'язок в області кінематики, динаміки, електромагнетизму.

Ідея роботи полягає у використанні потужності сучасних постійних магнітів для створення мініатюрного магнітного прискорювача. Цей інструмент стає основою для постановки студентам різнопланових наукових завдань, що покращує якість їх фахової підготовки з фізичних дисциплін та надає можливість коректного доведення законів фізики школярам.

Ключові слова: *магніт, пружні хвилі, електрорушійна сила, фахова підготовка фізика-педагога.*

В процесі підготовки фізика-педагога фізичні теорії висловлюються лектором, як правило, в закінченому вигляді. Їх експериментальному обґрунтуванню приділяється мало уваги. Причини різні: це і нестача часу для викладу подробиць експерименту, відсутність необхідних приладів, багатогранність, різноплановість завдань, що вирішуються в ході постановки експерименту, і невідповідність в зв'язку з цим слухачів до сприйняття незнайомого матеріалу, інженерних термінів тощо. Посилання в підручниках на фізичний експеримент, лекційні демонстрації даються частіше всього лише для ілюстрації, підтвердження непорушності основ фізичної теорії, що вивчається.

Лабораторні роботи не збільшують доказову базу теоретичних міркувань. Текст лабораторних робіт є набором інструкцій для отримання “експериментальних підтверджень” висновків теорії. Жоден студент виконуючи, наприклад, лабораторну роботу, в якій зіштовхуються дві однакові кулі, не зміг реально підтвердити справедливості закону збереження імпульсу або отримати в іншій лабораторній роботі величину прискорення вільного падіння $9,81 \text{ м/с}^2$. Причини невідповідності отриманих в експериментах даних очікуваним залишаються до кінця студентами не з'ясованими. У результаті до кінця свого навчання студенти не володіють методом фізичних доказів, що враховує всі нюанси явища. Наслідком цього є відірваність отриманих знань від реального світу, невміння використовувати отримані знання практично, нерозвиненість наукового мислення.

Загальноприйнятий критерій оцінки знань учнів і успішності роботи шкільного вчителя: якщо учень уміє відтворювати теорію, вирішувати фізичні завдання і перемагає на олімпіадах або успішно складає вступні іспити до вузу, значить, вчитель підготував хорошого учня - застарілий, його давно пора модифікувати.

Яскравим прикладом сказаному є результати виконання розробленої для фізиків-магістрів науково-дослідної роботи [1] “Визначення коефіцієнта поглинання світлового випромінювання в речовині”. Як їм повинно бути відомо, втрати інтенсивності світла, при його розповсюдженні в прозорому середовищі, описуються законом Бугера. Очікується, що при збільшенні товщини речовини, світловий потік від точкового джерела експоненціально зменшуватиметься. При установці скляних пластин між джерелом світла і фотоелементом цей закон дійсно підтверджується. Проте заміна скла на відповідний шар води приводить до несподіваних для студентів результатів: із збільшенням товщини води інтенсивність світла, падаючого на плоский фотокатод фотоелемента, збільшується, досягає максимуму, а потім тільки зменшується. У наявності неспівпадання прогнозів теорії і реальності, пояснити яке студенти не можуть, присвятивши навчанню 15 років свого життя.

Подібному пошуку істини присвячена також робота [2], де акцентується увага на неприпустимості нехтування тими або іншими супутніми чинниками при розв’язанні конкретної фізичної задачі. У цій роботі на прикладі падіння кульки в повітрі показана наскільки великою може бути величина невідповідності результату рішення задачі (часу падіння) в традиційній постановці його реальному значенню.

Інші дослідники [3, 4] також звертають увагу на обмеженість теоретичних моделей і неспроможність деяких поширених тверджень. Так, в роботі [4] приводяться експериментальні дані перевірки закону Кулона. При цьому досліджується процес заряджання кульок однаковим по величині зарядом, без урахування результатів якого здійснити умови багатьох відомих завдань по фізиці не представляється можливим. Окрім цього в цій роботі експериментально визначаються умови тяжіння двох кульок, заряджених однойменними зарядами. Цей результат прямо суперечить відомому формулюванню закону Кулона в електростатиці.

Ці факти підтверджують переконаність в тому, що “ми розвиваємо обізнаність учнів в теорії і завданнях, але не учимо їх методу фізичного доказу” [3]. Для вирішення цієї проблеми необхідний відповідний інструментарій доступний будь-якому викладачеві.

Метою статті є опис результатів розробки розгінного пристрою, що забезпечує демонстрацію фізичних явищ і їх взаємний зв’язок в області кінематики, динаміки, електромагнетизму.

Ідея роботи полягає у використанні потужності сучасних постійних магнітів для створення мініатюрного магнітного прискорювача. Цей інструмент стає основою для постановки студентам різнопланових наукових завдань, що покращує якість їх фахової підготовки з фізичних дисциплін та надає можливість коректного доведення законів фізики школярам.

Для того, щоб продемонструвати необхідність обліку усіх факторів при вирішенні найпростішої шкільної задачі, необхідно мати відповідний інструментарій, якого немає в школі. Тому актуальною є розробка пристроїв, що дозволяють точно задавати, наприклад, кінематичні параметри на старті і точно відтворювати їх. Такого роду пристроєм може служити прискорювач, основним елементом якого є магніт (рис. 1). Залежність величини сили притягання F кульки до магніту від зазору r між ними квадратична: $F = 0,1r^2 - 0,9r + 3$.

Величина достовірності апроксимації $R^2 = 0,978$.

Якщо відпустити залізну кульку, що знаходиться на стартовій позиції, то вона розгониться полем магніту й зіштовхнеться з ним, викликаючи пружну хвилю. Циліндровий магніт і кулька одного діаметру. Вони укладені в X-подібний жолоб і тому точковий удар кульки відбувається завжди по центру магніту. З іншого торця магніту встановлюється п'єзодатчик, який і реєструє надходження на нього хвиль стискання й розрідження. П'єзодатчик, який використовувався в дослідях, є циліндрична таблетка товщиною $l = 3$ мм із сегнетоелектричної кераміки (титанат барія), на торцях якої при її пружній деформації виникає різниця потенціалів з амплітудою, пропорційною величині деформації. Додаючи магніти, збільшують базу вимірювання L . Переміщуючи стартову колодку змінюють силу удару кульки, яка є стабільною на потязі всього досліду при незмінній відстані кульки до торця магніту.

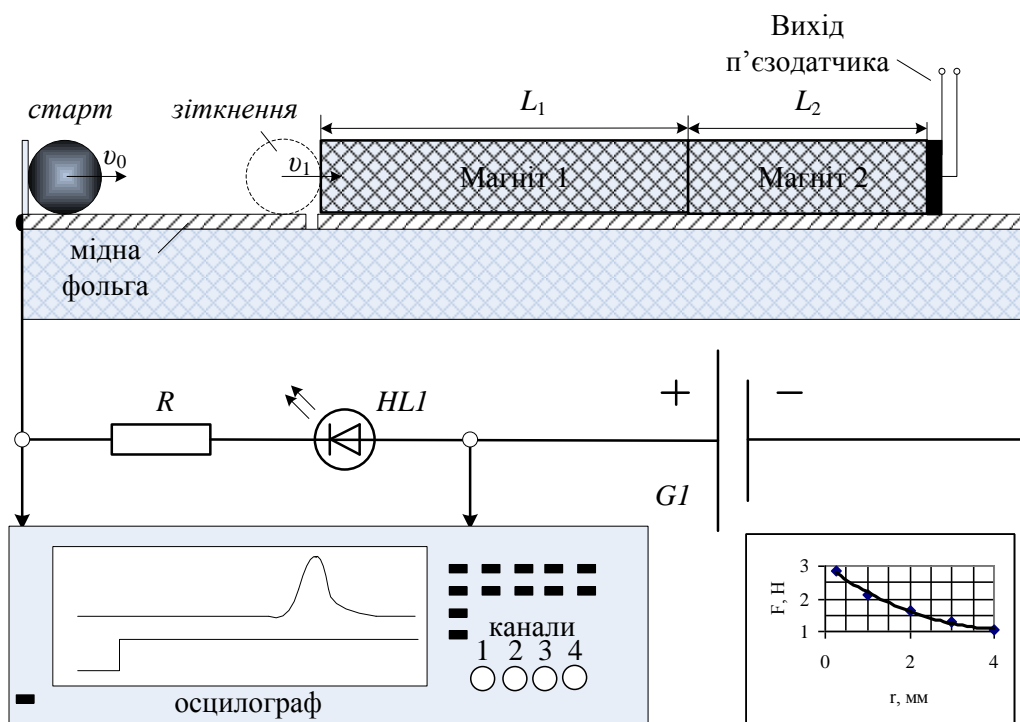


Рис.1. Схема дослідницької установки

Для реєстрації моменту зіткнення кульки з магнітом жолоб покритий мідною фольгою, яка розрізається перед торцем магніту. На дві частини фольги подається різниця потенціалів біля 3 В. При контакті кульки й магніту електричне коло замикається, про що сигналізує світлодіод HL1. Всі ці процеси реєструються й спостерігаються на екрані осцилографа.

За формулою
$$v = \frac{L}{\Delta t}, \tag{1}$$

де Δt - проміжок часу між часом надходженням електричного сигналу, обумовленого контактом кульки і магніту, і сигналу п'єзодатчика, обчислюють швидкість звукової хвилі.

За формулою
$$E = \rho v^2 \tag{2}$$

обчислюють модуль Юнга матеріалу стрижня.

Так, наприклад, при розповсюдженні пружної хвилі в тілі магніту зі сплаву неодима, заліза і бору діаметром 10 мм і довжиною 40 мм (рис. 2) час її приходу на пьезодатчик складає 16 мкс, тобто швидкість хвилі становить 2500 м/с, а модуль Юнга $E = 100 \cdot 10^9$ Па (при $\rho_1 = 2600$ кг/м³).

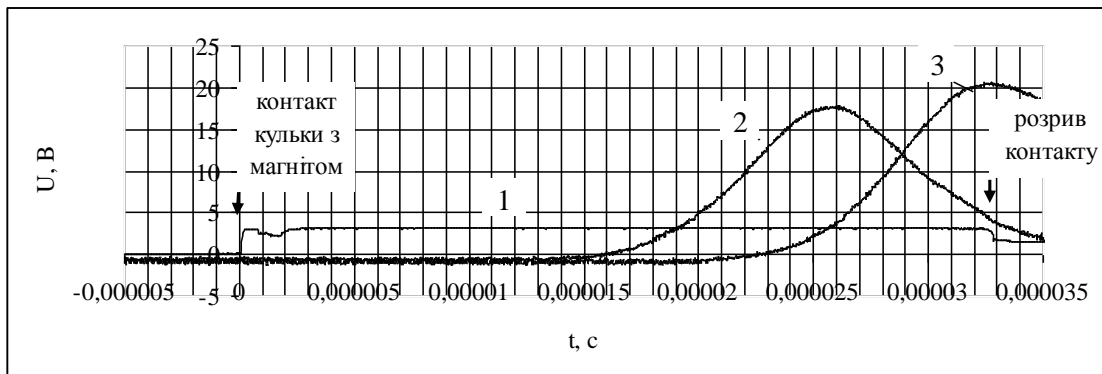


Рис. 2. Осцилографічний запис сигналів з електричної схеми реєстрації (1) та пьезодатчика (2 – магніт завдовжки 40 мм, 3 – магніт завдовжки 70 мм)

Час замикання кулькою електричного кола склав 32,5 мкс, що дозволяє також обрахувати швидкість пружної хвилі контактним методом. Ця швидкість склала величину $v = 2L / \Delta t = 2462$ м/с, що вказує на неприйнятність використання контактного методу для вимірювання часових інтервалів при взаємодії двох тіл.

При збільшенні довжини магніту до 70 мм час розповсюдження пружної хвилі по магніту також збільшується. Отже, вимагає від студентів теоретичного пояснення отриманих експериментальних результатів вчитель розвиває їх наукове мислення, паралельно надає інформацію щодо параметрів реальних тіл.

Якщо замінити магніт №2 в постановці досліду (рис. 1) на стержень, зроблений з іншого матеріалу, то можна отримати швидкість розповсюдження звукових хвиль і в цьому матеріалі. Деформація (і сигнал з п'єзодатчика) виникають у той момент, коли звукова хвиля, що розповсюджується від удару, досягає торця стержня. Оскільки імпеданс сегнетоелектрика близький до імпедансу металів, то відбиття пружної хвилі на межі метал – п'єзодатчик мале і хвиля стискання розповсюджується до відкритого торця п'єзодатчика товщиною l , після чого по системі датчик – стержень у зворотному напрямку розповсюджується хвиля розрідження, тобто виникають коливання (рис. 3).

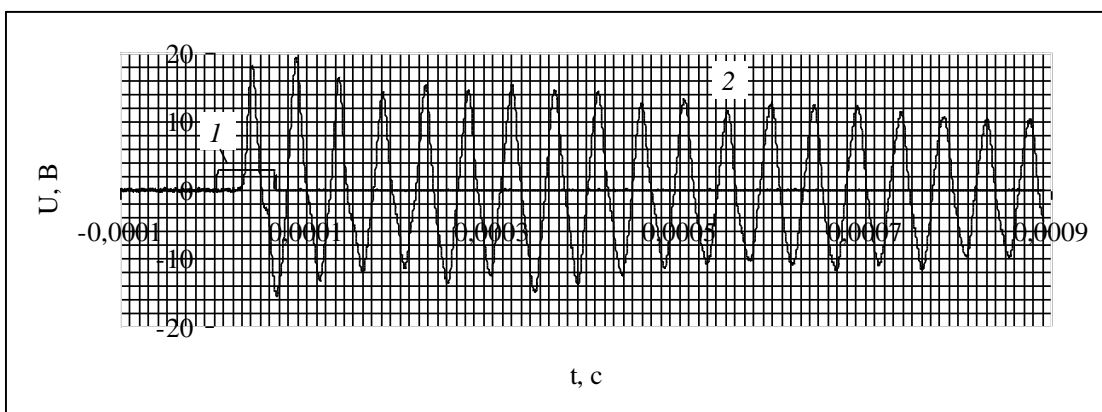


Рис. 3. Осцилографічний запис сигналів з електричної схеми реєстрації (1) та пьезодатчика (2) (залізний стержень завдовжки 120 мм)

Період коливання T визначає час повернення пружної хвилі на п'єзодатчик після проходження шляху $2L$. Таким способом визначена швидкість хвилі в сталі, алюмінію, ебоніті (табл. 1), величини яких узгоджуються з результатами, отриманими іншими методами [5,6].

З осцилограм також визначено коефіцієнт загасання амплітуди пружної хвилі в стержні із сталі ($\alpha = 0,175 \text{ м}^{-1}$), алюмінію ($\alpha = 0,154 \text{ м}^{-1}$), ебоніту ($\alpha = 1,21 \text{ м}^{-1}$).

Таблиця 1

Результати вимірювання швидкості хвилі в стержнях

Матеріал	$L, \text{ м}$	$T, \text{ мкс}$	$v, \text{ м/с}$	$\rho, \text{ кг/м}^3$	$E, \text{ ГПа}$	$E_T, \text{ ГПа}$
Сталь	0,12	46.40±0.13	5237±15	7800	213,9±1,2	195-206
Алюміній	0,12	49,0±0,8	4962±80	2700	66,4±2,1	63-73
Ебоніт	0,12	147,2	1651	1200	3,27	2-3

Під час експериментів зі сталевими циліндричними стержнями також виявилось, що контактний електричний метод дає завищену величину часу контакту Δt порівняно з часом пробігу пружної хвилі T на 13,5 – 22,75 мкс. Тому в подальшому цей метод визначення швидкості проходження пружної хвилі по стержню не використовувався.

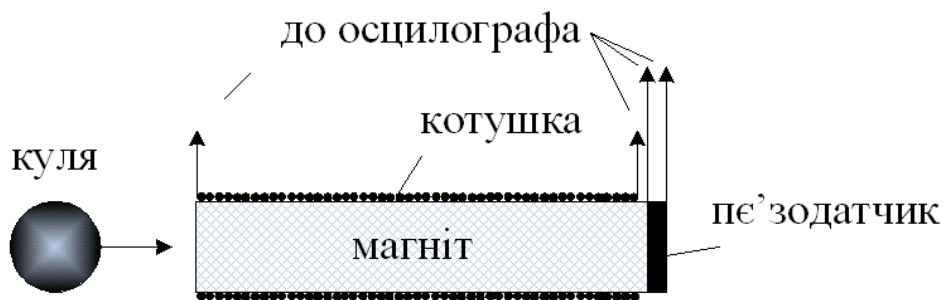


Рис. 4. Схема дослідження

Намотавши на магніт котушку з тонкого мідного дроту і підключивши її до другого каналу осцилографа, можна на цій установці прослідкувати одночасно за рухом пружної (звукової) хвилі (рис. 4) та оцінити магнітомеханічний ефект, опис якого можна знайти в [7], по осцилограмам (рис. 5).

Період синусоїдального сигналу п'єзодатчика, викликаного впливом на нього пружної хвилі, дорівнює 21,64 мкс. Це означає, що при довжині магніту $L = 50 \text{ мм}$ швидкість пружної (звукової) хвилі становить величину 4760 м/с. Зміщення частинок намагніченої речовини під час проходження пружної хвилі призводить, як видно з графіка 2 (рис. 5), до виникнення ЕРС індукції в котушці, намотаною на циліндричний магніт діаметром 10 мм. Період коливань величини ЕРС також становить 21,64 мкс, що доводить, що причиною виникнення ЕРС є пружна хвиля.

Амплітуда ЕРС складає величину 0,05 В, що дає можливість за законом Фарадея

$$\varepsilon = -N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}, \tag{3}$$

оцінити величину зміни магнітної індукції в тілі магніту, викликану пружною деформацією, за чверть періоду. Виходячи з того, що магнітний потік $\Phi = BS$, зміна

$$\Delta B \approx \frac{\varepsilon T}{4NS} = \frac{\varepsilon T}{\pi d^2 N} = \frac{0,05 \cdot 21,64 \cdot 10^{-6}}{\pi \cdot 10^{-4} \cdot 400} = 10 \text{ мкТл.} \tag{4}$$

Отже, для магніту з власним магнітним полем 0,1 Тл, наведена частина поля складає 0,01%. З урахуванням того, що п'єзодатчик чутливістю 0,01 пКл/Па і електричною ємністю 275 пФ створює різницю потенціалів близько 30 В, можна зв'язати тиск в пружній хвилі із зміною магнітного поля: тиск в $5 \cdot 10^5$ Па приводить до зміни магнітній індукції на 10 мкТл.

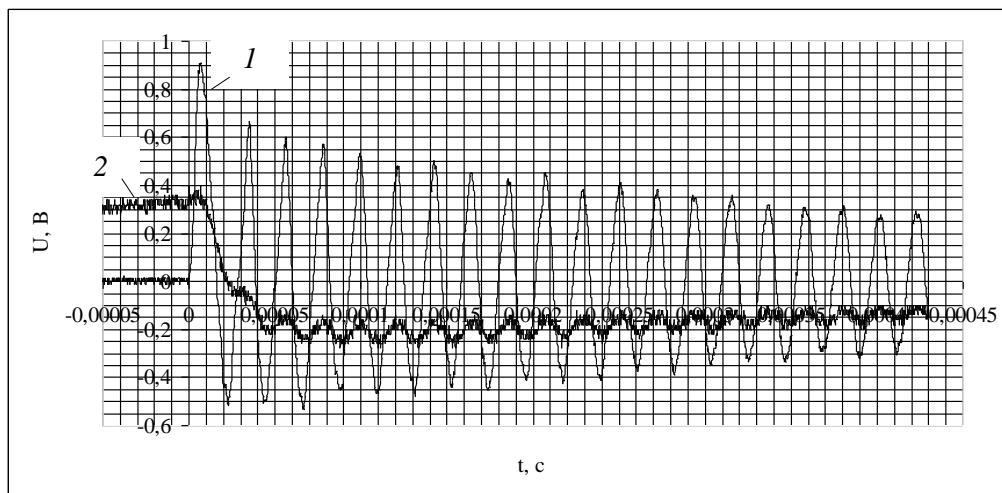


Рис. 5. Осцилографічний запис сигналів п'єзодатчика - 1 (зменшено в 30 разів) і котушки (2), намотаної на циліндричний магніт

Для виключення впливу магнітного поля кульки на результати експериментів треба замінити металеву кульку на скляну. Тоді осцилограма магніто механічного ефекту буде мати більш виразний вигляд.

Ця робота доводить, що не тільки рух магніту скрізь замкнутий контур, не тільки зміна магнітного потоку приводить до виникнення ЕРС індукції в котушці, але і в випадку проходження пружної хвилі по тілу нерухомого магніту в котушці виникає ЕРС індукції. Цей висновок дозволяє наповнити відомі постановки демонстраційних експериментів новим змістом.

Магнітний прискорювач можна використати і для перевірки кінематичних рівнянь. Кулька на стартовій позиції встановлюється завжди в одну й ту ж позицію. Тому сила удару завжди є величиною сталою. Ця стабільність характеристик дозволяє вирішувати ряд задач. Наприклад, провести перевірку закону збереження імпульсу, енергії та законів кінематики. На рис. 6 наведено схему вимірювання швидкості v_2 крайньої в ряду кульки.

Якщо відпустити залізну кульку, що знаходиться на стартовій позиції, то вона розгониться полем магніту й зіштовхнеться з ним, викликаючи пружну хвилю. При цьому кулька замикає електричне коло і це є сигналом запуску для осцилографа. За законом збереження імпульс передається крайній кульці, що знаходиться праворуч, й та починає рухатися. Відбувається розрив електричного кола, який на екрані осцилографа дає точку відліку для визначення як часу руху пружної хвилі (звуку) в тілі магніту та кульках, так і

часу руху крайньої кульки до фінішного контакту (стартова і фінішна точки електричне з'єднані). Отже, ця установка дозволяє з високої точністю визначити швидкість руху кульки по горизонтальному жолобу. Величину цієї швидкості можна занести в паспорт установки й використовувати її для подальших розрахунків.

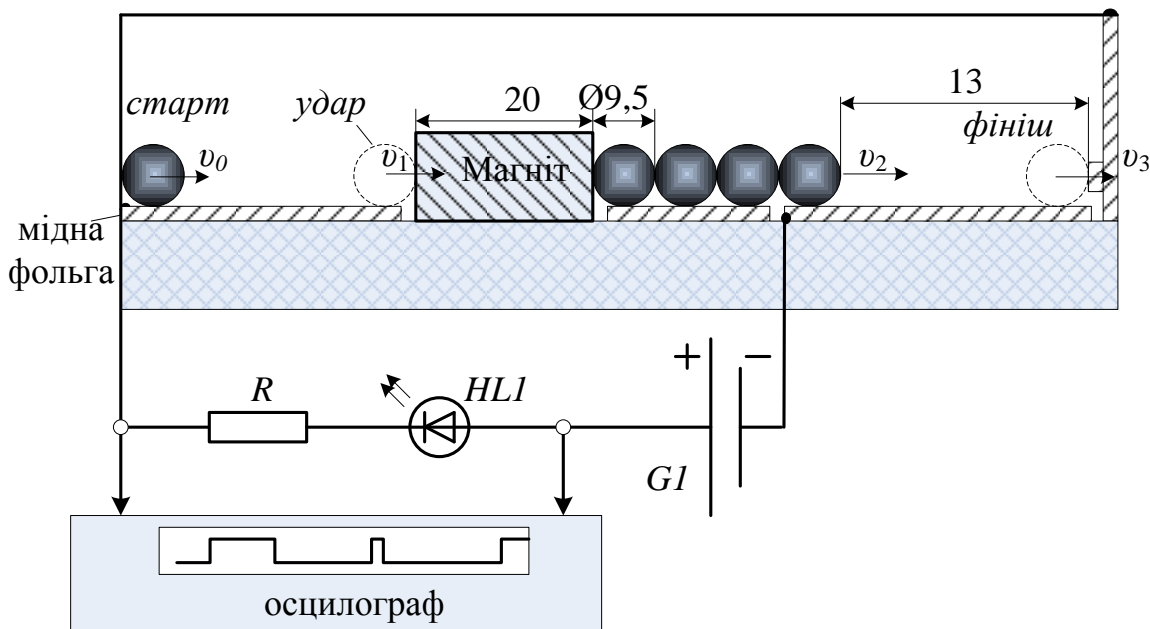


Рис. 6. Схема вимірювання швидкості кульки

Тепер, знаючи горизонтальну швидкість кульки $v_0^{zop} = v_2$, можна експериментально перевірити розв'язок відомої кінематичної задачі [8]: на якій відстані від основи вежі впаде на землю кулька, яка вилетіла горизонтально зі швидкістю v_0^{zop} на висоті H ? Для цього знімаємо фінішну колодку, яка є перешкодою на шляху руху кульки (рис. 7), та встановлюємо магнітний прискорювач на стол горизонтально за допомогою рівнеміра.

В наближенні матеріальної точки шлях S , який пройде кулька по горизонталі до моменту її падіння, буде дорівнювати

$$S = v_0^{zop} \sqrt{\frac{2H}{g}}. \tag{5}$$

Після проведення дослідів з'ясується, що кулька не рухається по розрахунковій траєкторії. У наших розрахунках траєкторії руху кульки використовувалася модель матеріальної точки, а не абсолютно твердого тіла, чим, власне, і є кулька. Тому слід чекати зміни траєкторії руху кульки, оскільки вона володіє, на відміну від матеріальної точки, моментом інерції. Необхідно з'ясувати до яких змін це приведе. Окрім цього не врахований опір повітря. Чи можна цим нехтувати? Отже, проста на перший погляд демонстрація дозволяє перейти до теми обертального руху твердого тіла, руху тіла в газах і рідинах тощо.

Другий приклад використання магнітного прискорювача полягає в наданні експериментального доказу виконання закону збереження імпульсу.

Для цього металеві кульки замінюються скляними. При послідовно виконаних пусках магнітного прискорювача можна легко упевнитися, що кульки послідовно падають зі стола в одну точку (лузу) на підлозі. Це доводить, що імпульс, який передається від кульки до кульки є однаковим.

Висновки

1. Розроблено магнітний прискорювач, який є багатофункціональним інструментом для дослідження та доведення законів з різних галузей фізики.

2. Обґрунтовано постановку кінематичних дослідів з використанням магнітного прискорювача.

3. Доведено можливість визначення за допомогою магнітного прискорювача швидкості звукової хвилі в твердих матеріалах.

4. Вперше експериментально доведено, що тиск в пружній хвилі в $5 \cdot 10^5$ Па приводить до зміни магнітної індукції поля магніту на 10 мкТл.

Перспективи подальших пошуків у напрямі дослідження.

Розроблений пристрій, окрім використання в учбовому процесі, буде корисний фахівцям, що працюють в області створення машин ударної дії, застосування ударних технологій в машинобудуванні, будівельній галузі, приладобудуванні, гірничодобувній промисловості. Тому потрібно ще провести дослідження динамічних процесів при подовжніх ударах у стрижньових системах неоднорідної структури, із змінною подовжньою жорсткістю, формуванні і розповсюдженні хвиль деформацій, перетворення хвиль на межах стрижньової системи тощо.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Експериментально-дослідні роботи з дисципліни “Сучасні методи експериментальних досліджень у фізиці”: методичний посібник для самостійної роботи студентів магістратури / укл. В. М. Здешиц. – Кривий Ріг: ДВНЗ «КНУ» Криворізький педагогічний інститут, 2014. — 72 с.

2. Здешиц В.М. Формування поняття істинності в науці при підготовці вчителя фізики/ В.М.Здешиц // Педагогічний альманах: [зб. наук. пр.].– Херсон: Вид. від. ПРПОПК, 2011. – Вип. 9 – С.81-88.

3. Майер В.В. Электричество: учебные экспериментальные доказательства. // В. В. Майер, Р. В. Майер. — М.: Физматлит, 2006. — 232 с.

4. Саранин В.А. Теоретические и экспериментальные исследования взаимодействия двух проводящих заряженных шаров / В.А. Саранин, В.В. Майер / УФН. – 2010.- Том 180, №10. – с. 109-117.

5. Грінченко В. Т. Основи акустики / В.Т. Грінченко, І.В. Вовк, В.Т. Маципура. / Київ: Наукова думка, 2007. — 640 с.

6. Гофман Ю. В. Законы, формулы, задачи по физике. Справочник. Киев Наукова думка, — 1977г. 576 с.

7. Сивухин Д. В. Общий курс физики. Механика : учебное пособие для физических специальностей вузов. М. – Т.1. – Издательство: Физматлит, 2005 г.

8. Физика. Задачник. 10—11 кл.: пособие для общеобразоват. учреждений / А. П. Рымкевич. — 10-е изд., стереотип. — М.: Дрофа, 2006. — 188.

Zdeshchyts Valery

Krivorozhskiy national institute

MAGNETIC ACCELERATING FOR THE LEADTHROUGH OF RESEARCH WORKS WITH PHYSICISTS-MASTER'S DEGREES

With the developed magnetic accelerator as an example, the paper substantiates possibility of teaching the seeking master's degree physicists methods of solving scientific problems. To accelerate the marbles in a miniature accelerating device a strong permanent magnet was used. The device provides demonstration of numerous physical phenomena and their mutual connection in the fields of kinematics, dynamics, and electromagnetism. Using the magnetic accelerator, students can be tasked with solving scientific problems from various branches of physics. It enhances the quality of professional training for those seeking the master's degree. The magnetic accelerator facilitates correct explanation of physics laws to schoolchildren.

The paper describes the structure of magnetic accelerator, its principle of operation, and also its functionalities. The paper offers instructions regarding statement of scientific research problems for those seeking master's degree, as well as results of researching physical phenomena via the developed device. So, we determined dependence of the force of marble's attraction to magnet on the clearance size between them, and measured the velocity of sound wave as it was distributed along rods of steel, aluminum, ebonite, and neodymium-iron-boron alloy. Based on the measured velocity, Young's modules for these materials were determined.

Besides, it is experimentally proven for the first time that pressure of an elastic wave of $5 \cdot 10^5$ Pa leads to alteration of $10 \mu\text{T}$ in magnetic induction of magnet's field.

The developed device also allows high precision determination of velocity of a marble's movement along a horizontal chute. This velocity is included into passport of the device and is used for calculations that follow. The paper gives example of an experimental verification of solving a known kinematic problem, as well as experimental proof justifying the laws of conservation of energy and impulse.

Beyond application in educational process, the developed device will be of use for specialists, working in the field of building impact machines, applying shock technologies, in machine building, construction industry, device engineering, and mining industry.

Keywords: educational process, magnetic accelerator, velocity of sound wave.

В.М. Здещиц

Криворожский педагогический институт ДВНЗ "Криворожский национальный университет"

МАГНИТНЫЙ УСКОРИТЕЛЬ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ ПО ФИЗИКЕ-МАГИСТРАМИ

На примере разработанного магнитного ускорителя обосновывается возможность обучения физиков-магистров - будущих педагогов, сотрудников научно-исследовательских институтов, - методам решения научных задач.

Целью статьи является описание результатов разработки разгонного устройства, которое обеспечивает демонстрацию физических явлений и их взаимную связь в области кинематики, динамики, электромагнетизма.

Идея работы заключается в использовании мощности современных постоянных магнитов для создания миниатюрного магнитного ускорителя. Этот инструмент становится основой для постановки студентам разноплановых научных заданий, что улучшает качество их профессиональной подготовки с физических дисциплин и предоставляет возможность корректного обоснования законов физики школьникам.

Ключевые слова: магнит, упругие волны, электродвижущая сила, профессиональная подготовка физика-педагога

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРА

Здещиц Валерій Максимович – доктор технічних наук, доцент, професор кафедри фізики та методики її навчання Криворізького педагогічного інституту ДВНЗ “Криворізький національний університет”

Коло наукових інтересів: розробка сучасних засобів навчання фізики.