



Елементи науково-дослідної роботи в навчальному фізичному експерименті

*Євген Малець,
Віталій Масич,
Віктор Сергєєв,
Володимир Ткаченко*

Фізичному експерименту, в межах освітніх програм педагогічних закладів, приділяється значна увага, оскільки його рівень визначає якість підготовки фахівців з фізики (учителів, науковців), які передають набуті знання майбутнім поколінням. Вміння учителя організовувати й проводити фізичний експеримент (демонстрації на уроках, виконання лабораторних робіт, гурткові заняття, залучення здобувачів середньої освіти до науково-дослідної роботи по лінії МАН) є невід'ємною складовою рис сучасного учителя фізики, які гарантують йому персонально успішне кар'єрне зростання, а суспільству — контингент молоді, що здатна за певний проміжок часу набутти тих знань, які дозволять брати участь в науково-технічній розбудові суспільства. Різноманітні труднощі, які спіткають майбутніх і теперішніх вчителів фізики, можуть бути частково нівельовані під час професійної підготовки на старших курсах навчання. Одна з значних перешкод, що заважає ефективно проводити навчальний процес з фізики, це лабораторна база навчальних закладів. Учителі досить часто справедливо посиляються на відсутність лабораторного обладнання, необхідного для проведення демонстрацій та лабораторних робіт, але при бажанні й належній професійній підготовці можна компенсувати відсутність обладнання творчим підходом з боку вчителя й здо-

бувачів освіти, виготовленням необхідних компонентів досліду з підручних засобів.

Актуальність використання сучасних вимірювальних технологій у фізичному експерименті виходить далеко за межі простого підвищення точності. Це явище є частиною глобальної тенденції. Як наголошується в працях сучасних українських дидактів (зокрема, у дослідженні А. Петриці [9]), використання цифрових лабораторій дозволяє не лише підвищити точність досліджень, але й по-новому організувати освітній процес. Світова наукова спільнота активно шукає шляхи модернізації фізичного практикуму, роблячи його більш доступним. Наприклад, міжнародна команда дослідників з Японії та Монголії протягом багатьох років працює над створенням дешевих та зручних цифрових версій традиційних приладів (осцилографів, амперметрів, вольтметрів) [10]. Як показують їхні дослідження, впровадження таких інструментів суттєво підвищує залученість учнів та якість засвоєння матеріалу, що є прямим доказом тези про формування навичок науково-дослідної роботи. Крім того, використання смартфонів для наукових експериментів — це не просто тренд, а вже усталена практика. Як зазначає М.К. Gundawar [11], сучасні смартфони, завдяки вбудованим сенсорам, «знімають обмеження, пов'язані з часовими рамками та фізичним простором», дозволяючи

проводити експерименти як під час лекції, так і вдома. Важливим прикладом реалізації такого підходу в Україні є розробка та впровадження на кафедрі фізики і хімії ХНПУ імені Г.С. Сковороди програмно-методичного комплексу SchoolKit та цифрових вимірювальних пристроїв на основі 1-Wire технологій [5]. Використання недорогих 1-Wire датчиків температури, АЦП та комутаторів дозволяє створювати доступні цифрові лабораторії для дистанційного та змішаного навчання, що особливо актуально в умовах воєнного стану. Залучення цього напрямку суттєво розширює сферу застосування наведених нижче висновків.

Ми звертаємо увагу на те, що в фізичних дослідках, які проводять учителі разом з учнями в школі, чи викладачі зі здобувачами вищої освіти в ЗВО, можна, і потрібно знаходити нюанси фізичного процесу, які на перший погляд непомітні для експериментатора, але можуть визначати сам процес. Його поетапний аналіз дає можливість учасникам порівнювати експеримент з теорією. Нові вимірювальні технології, застосовані в фізичному експерименті, дозволяють спостерігати цікаві деталі проходження класичних дослідів, які важко помітні, або майже недоступні при звичайному проведенні. Ряд таких експериментів описано в роботах [1–4]. В даній роботі, в якості прикладу застосування нових вимірювальних технологій та їх впливу на формування навичок науково-дослідної роботи взя-

то досліди з електризації, саме з них починається вивчення такого важливого розділу фізики, як «Електростатика». В якості джерел електричного поля використовують наелектризовані діелектрики, електрофорну машину, високовольтні перетворювачі («Розряд»). Один з перших демонстраційних дослідів це електризація діелектриків. Здобувачі середньої освіти (вищої освіти) виконують електризацію тертям ебонітової чи скляної палички і за допомогою електрометра впевнюються в наявності електричного поля навколо них. Доказ існування зарядів різних знаків на ебоніті й склі потребує додаткового обладнання, відповідного стану повітря та навичок демонстратора. Застосування сучасних вимірювальних технологій значно спрощує задачу по встановленню знаку зарядів, робить її інформативнішою, і створює передумови для дослідницької діяльності. На кафедрі фізики ХНПУ імені Г.С. Сковороди було закладено концепцію поєднання демонстраційного та лабораторного експерименту з елементами сучасних вимірювальних технологій на основі застосування цифрових технологій. Результатом діяльності було створення автоматизованого комп'ютерного комплексу «Експериментатор», який в подальшому отримав ряд відзнак на Всеукраїнських і Міжнародних конкурсах [4]. На рис. 1 показано блок-схему універсального комп'ютерного комплексу «Експериментатор»: 1 — датчик напруги, 2 — підсилювач, 3 — АЦП, 4 — ПК.

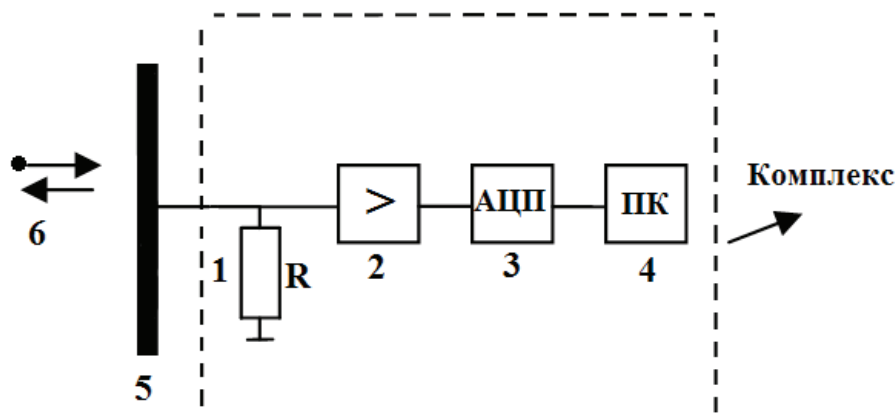


Рис. 1. Блок-схема універсального комп'ютерного комплексу «Експериментатор»

В даному випадку він використовується для визначення кінетики зміни падіння напруги на навантажувальному опорі датчика 1, підключеного до пластини демонстраційного конденсатора 5, відносно якої рухається заряд 6, рух заряду зворотно-поступальний.

Визначення знаку зарядів скла і ебоніту при використанні даного комплексу значно спрощується і набуває аргументованого підтвердження у вигляді графічних залежностей табличних даних, гістограм. Здобувачам вищої освіти ставиться завдання: використовуючи датчик напруги, спряжений через аналого-чисельний перетворювачем з персональним комп'ютером і підключений до пластини демонстраційного конденсатора, показати, що наелектризовані ебоніт і скло мають протилежні по знаку заряди, а також проаналізувати залежність величини сигналу (напруги) від відносної швидкості заряду. Датчик являє собою резистор (20 кОм), на якому утворюється падіння напруги, зумовлене індукованим струмом, що виникає за рахунок руху заряду. Рух заряду сферичної форми забезпечується під'єднаною до нього пружиною з заданою жорсткістю, або один з

учасників досліду рухає наелектризовану паличку відносно пластини — наближає і віддаляє в напрямку перпендикулярно площині пластини, інший — активує вимірювальну функцію діючої програми ПК. При значному віддаленні від пластини вимірювання припиняється. На екрані монітора спостерігаємо графік залежності зміни падіння напруги від часу. Як показує дослід, напрямок руху наелектризованих тіл (паралельно і перпендикулярно пластині) не впливає на характер зміни напруги від часу.

На рис. 2 показаний графік зміни падіння напруги для заряду, зосередженого на ебоніті, що рухався по нормалі до пластини демонстраційного конденсатора. При наближенні до геометричного центру пластини протягом 0,1 с (точність вимірювання 0,01 с) спостерігаємо зміну падіння напруги на 1,75 В; при віддаленні — полярність падіння напруги змінюється і досягає приблизно того ж значення.

Аналогічний дослід з зарядом зосередженим на склі відображено на графіку (рис. 3). Ми бачимо, що впродовж 0,1 с напруга змінюється на 3,0 В, але полярність протилежна, оскільки ебоніт і скло мають протилежні за знаком заряди.

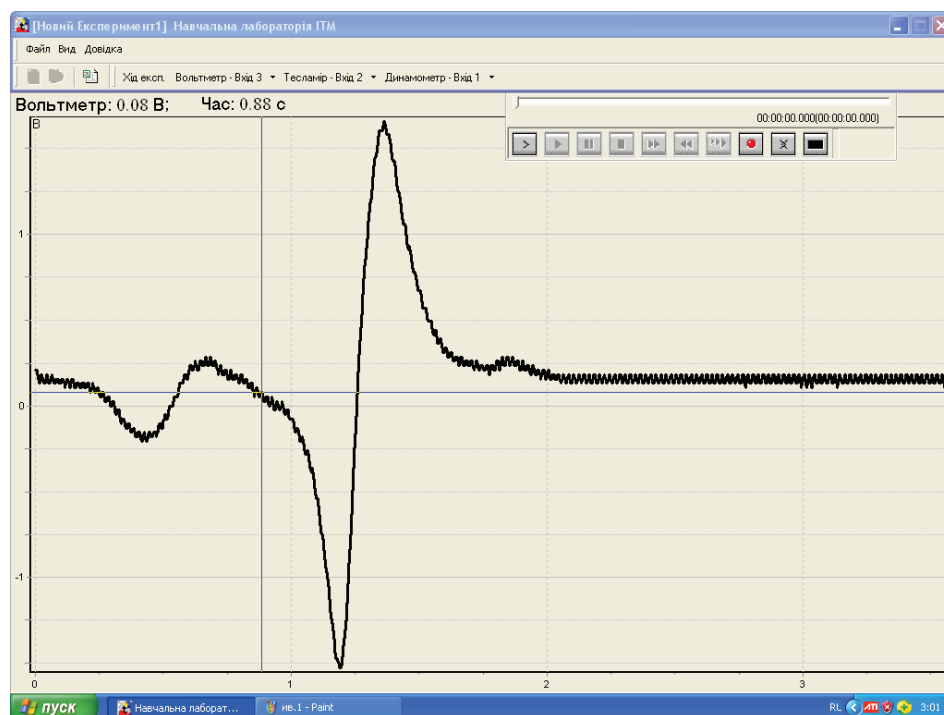


Рис. 2. Графік зміни падіння напруги для заряду, зосередженого на ебоніті

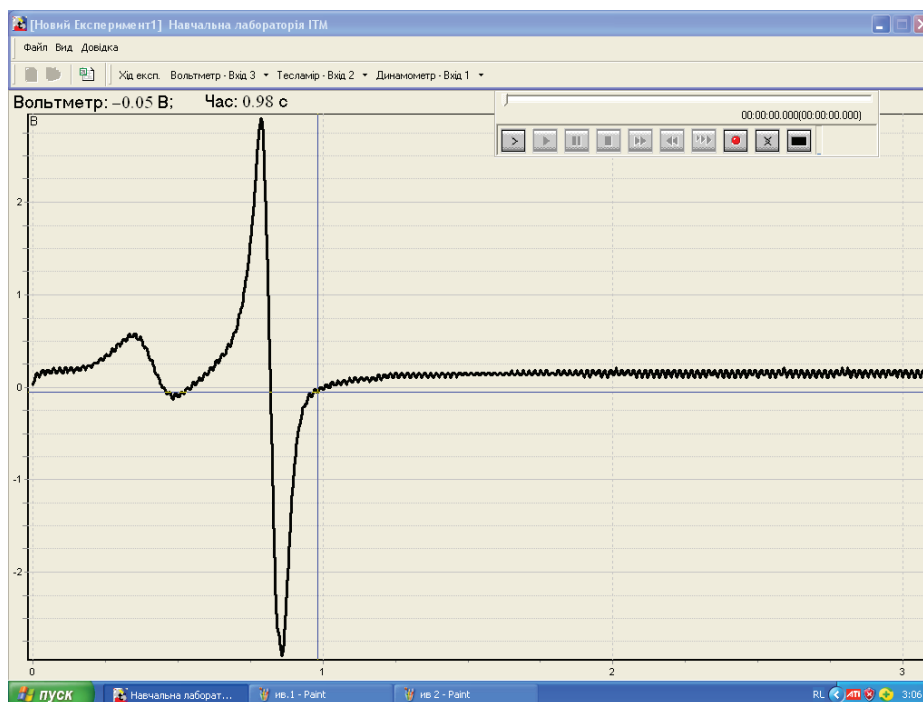


Рис. 3. Графік зміни падіння напруги для заряду, зосередженого на склі

При повільному наближенні ебонітової палички до пластини амплітуда імпульсу не перевищує 0,75 В, а при швидкому віддаленні 1,5 В (рис. 4), оскільки величина корисного сигналу зменшується, помітніший шумовий сигнал в порівнянні з графіками на рис. 2, 3.

Аналізуючи графічні залежності напруги від часу, здобувачі вищої освіти роблять обґрунтований висновок, що амплітуда імпульсів падіння напруги на резисторі датчика залежить від швидкості наближення (віддалення) між зарядами і пластиною; оцінка показує, що

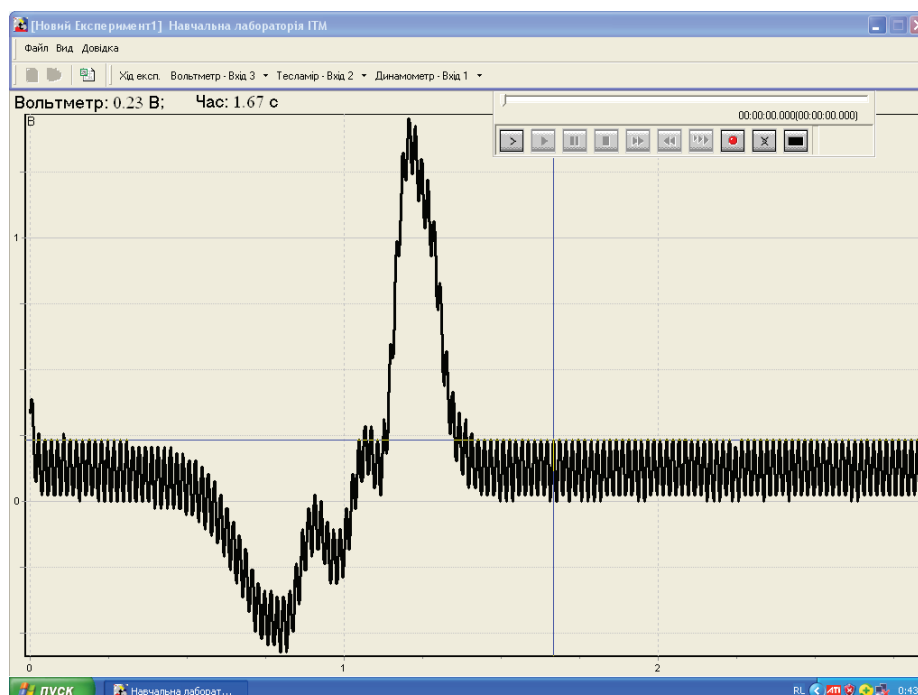


Рис. 4. Графік залежності амплітуди імпульсу при наближенні-віддаленні ебонітової палички з пластиною

максимальна швидкість зарядів складає 2 м/с. Наступний момент, на який звертаємо увагу здобувачів вищої освіти: друга пластина, розташована паралельно першій (конденсатор), не впливає принципово на залежності зміни падіння напруги від часу.

Варто звернути увагу на схожі досліди з застосуванням класичного обладнання, описані в задачах [6, 7]. Так, в [7, задача № 10–15) покази гальванометра, під'єднаного до пластин конденсатора, між якими рухається заряд (спостерігається відхилення стрілки гальванометра в протилежні сторони), пояснюється перезарядкою пластин при вході і виході заряду з конденсатора. В [8, задача № 3.31] перезарядка однієї з пластин конденсатора, відносно якої обертається інша, заземлена, приводить до виникнення індукційного струму, який створює падіння напруги на навантаженні. Здобувачам вищої освіти пропонується впевнитися, що дані приклади й описаний експеримент мають спільні риси — за рахунок руху макрочаряду з'являється індукційний струм. Механізм його появи може бути обговорено на основі існуючих теорій. Для спрощення розглянемо позитивний точковий заряд, який знаходиться на відстані x від пластини (рис. 5). Знаходження

поля точкового заряду поблизу провідної площини можна здійснити методом дзеркального відображення [8], згідно з яким нормальна до поверхні складова напруженості поля позитивного точкового заряду визначається як

$$E_n = -\frac{qx}{4\pi\epsilon_0(x^2 + y^2)^{\frac{3}{2}}}, \quad (1)$$

де x — відстань заряду від площини, y — відстань від довільної точки, що лежить в площині і в якій знаходиться напруженість, до перпендикуляра, проведеного від заряду до площини.

Відповідна густина заряду і електростатична індукція в точці, що знаходиться на відстані y від осі OX визначатимуться як

$$D(y) = \sigma(y) = \epsilon_0 E(y) = -\frac{2qx}{4\pi(x^2 + y^2)^{3/2}}; \quad (2)$$

двійка в чисельнику з'являється за рахунок суперпозиції полів, створюваних даним зарядом і його дзеркальним відображенням. Для знаходження повного поверхневого заряду необхідно підсумувати елементи dz , dy , які належать координатній площині YOZ . На рис. 6 показано розподіл індукції поля, створюваної наведеним зарядом на пластині за умови, що реальний заряд знаходиться на осі X .

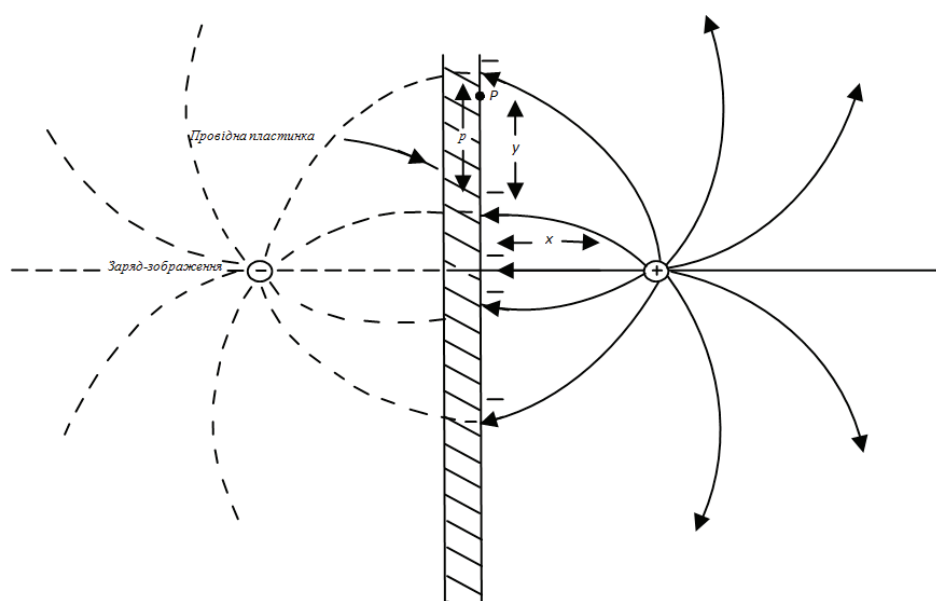


Рис. 5. Позитивний точковий заряд на відстані від пластини

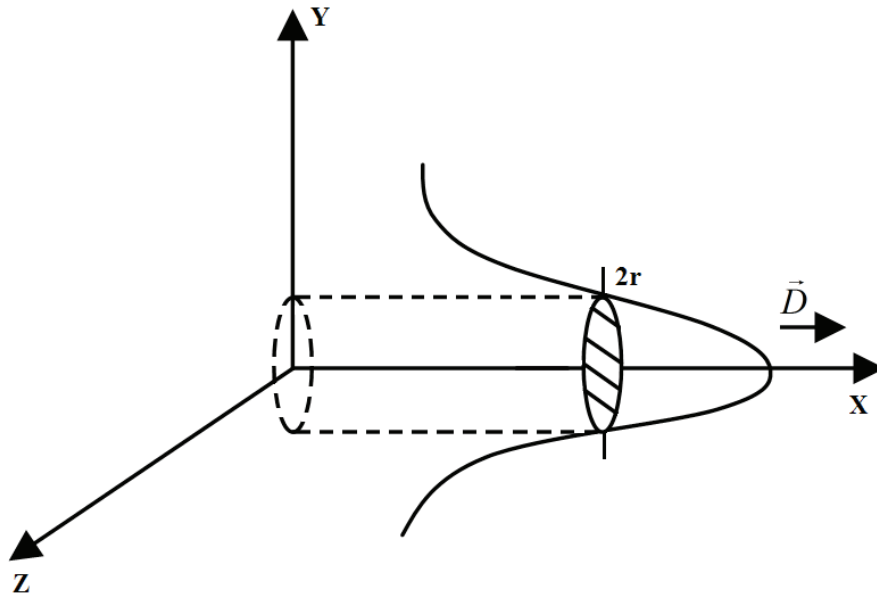


Рис. 6. Розподіл індукції поля, створюваної наведеним зарядом на пластині

В цьому випадку в формулі (2) треба врахувати координату Z і вона матиме вигляд

$$D(y, z) = -\frac{qx}{2\pi(x^2 + y^2 + z^2)^{3/2}}. \quad (3)$$

На межі кола радіуса r індукція падає до $0,2D_0$, якщо взяти $x = y = z = r$, де D_0 — індукція ($D_0 = \frac{q}{2\pi r^2}$) на початку координат. Для обґрунтування залежності величини імпульсу падіння напруги на навантажувальному опорі датчика напруги і зміни його знаку при зміні напрямку руху заряду проаналізуємо співвідношення (2). Покладемо в (2) $y = 0$, тобто аналізуємо залежність індукції електричного поля в точці, що лежить на осі OX (звісно, адитивний вклад в поле дають всі елементи поверхні, але характер зміни індукції поля в залежності від відстані X в першому наближенні залишиться тим самим). Тоді, $D(0) = -\frac{q}{2\pi x^2}$. Індукований струм визначатиметься зміною наведеного заряду на пластині:

$$I = \frac{dq_i}{dt} = \frac{d}{dt}(\sigma S) = S \frac{d\sigma}{dt} = \frac{dD(0)}{dt} = \frac{q}{\pi x^3} \frac{dx}{dt}, \quad (4)$$

оскільки x залежить від часу. З останнього виразу витікає, що величина наведеного струму залежить від швидкості ($v = \frac{dx}{dt}$). Рух заряду відносно пластини є поступально-зворотнім, будемо його вважати періодичним. На рис. 7 показано характер зміни потенціалу провідної пластини, коли відносно неї рухається заряджена скляна кулька, підвішена на пружині. Так як зміщення x змінюється по гармонічному закону $x = x_0 \cos \omega t$, то відповідно до (4)

$$I = -q\omega \frac{\sin \omega t}{\cos^3 \omega t}, \quad (5)$$

оскільки $\omega = 2\pi/T$, тоді при $t = T/4$, $3T/4$ функція має розрив (прямує до $\pm\infty$). В експерименті асимптотичні значення функції відповідають максимуму і мінімуму на залежностях зміни падіння напруги від часу.

Таким чином, застосування сучасних вимірювальних технологій в навчальному фізичному експерименті дає можливість залучати здобувачів вищої освіти до базового рівня науково-дослідницької роботи з фізики. В якості прикладу вибрано класичні демонстраційні досліди з електростатики, де, по суті, не звертається увага на перехідні процеси, пов'язані зі

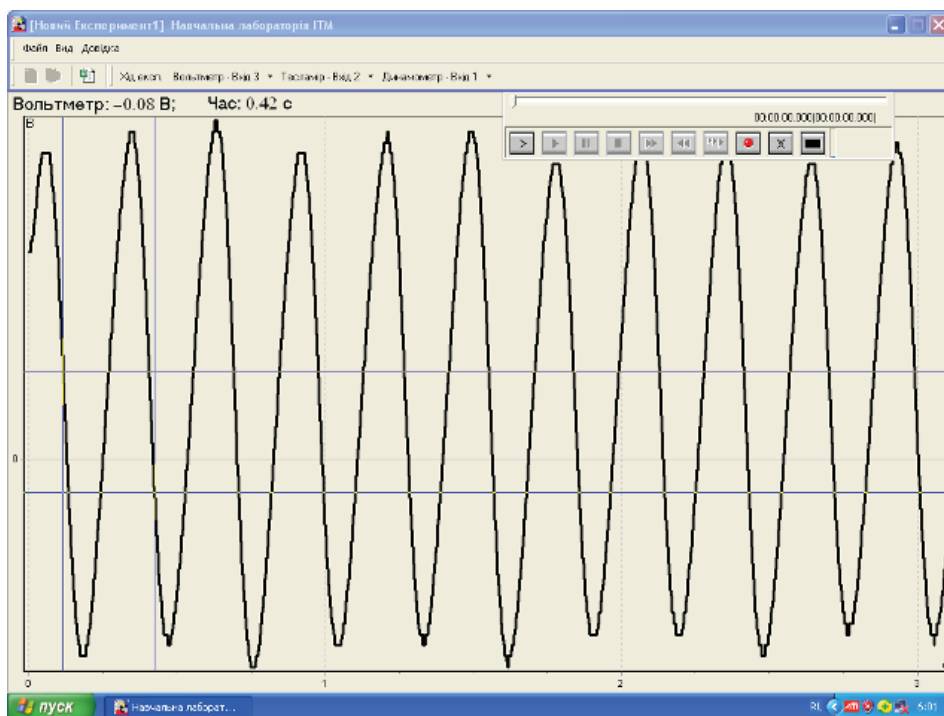


Рис. 7. Графік зміни потенціалу провідної пластини

зміною індукованого заряду на колекторі при русі відносно нього реального заряду. Експериментально встановлено, що зміна падіння напруги на навантажувальному опорі датчика напруги залежить від напрямку і модуля швидкості відносного

руху заряд-колектор. Теоретичним підґрунтям експерименту може бути модель дзеркального відображення, яка якісно пояснює хід експериментальних залежностей зміни напруги на пластинах конденсатора від часу.

Література

1. Литвинов Ю., Малець Є., Мялова О., Сергєєв В. Комп'ютерні технології в експерименті з механіки // Наук. зап. КДПУ ім. В. Винниченка. Сер.: Пед. науки. 2009. Вип. 82, ч. 2. С. 312–316. URL: https://phm.cuspu.edu.ua/images/konf_ftn/2016/zbirnik_2016.pdf
2. Литвинов Ю., Малець Є., Мялова О., Токарев П., Сергєєв В. Застосування сучасних технологій при виконанні експериментальних завдань з фізики // Наук. зап. КДПУ ім. В. Винниченка. Сер.: Пед. науки. 2010. Вип. 90. С. 168–171.
3. Литвинов Ю., Малець Є., Мялова О. Засоби вимірювання в навчальному експерименті при вивченні коливальних процесів // Наук. зап. КДПУ ім. В. Винниченка. Сер.: Пед. науки. 2012. Вип. 108, ч. 1. С. 264–270.
4. Масич В.В., Малець Є.Б., Сергєєв В.М. Застосування сучасних вимірювальних засобів до навчання студентів аналізу розв'язку деяких задач // Наук. зап. КДПУ ім. В. Винниченка. Сер.: Пед. науки. 2021. Вип. 192. С. 16–19.
5. Масич В., Винник О. Застосування 1-Wire пристроїв у навчальному процесі // Новий Колегіум. 2026. № 1. С. 41–53. DOI: <https://doi.org/10.34142/nc.2026.1.41>
6. Шаскольська М.П., Ельцин І.А. Збірник вибраних задач з фізики. Москва : Наука, 1967. 224 с.
7. Козел С.М., Рашба Е.І., Славитинський С.А. Збірник задач з фізики. Москва : Наука, 1987. 304 с.
8. Фейнман Р., Лейтон Р., Сендс М. Фейнманівські лекції з фізики. Т. 5. Москва : Мир, 1977. 303 с.

9. *Петриця А.* Особливості використання цифрових лабораторій у навчальному фізичному експерименті // Молодь і ринок. 2014. № 6. С. 44–48. URL: <https://share.google/Tm7RhDy40HbMCC1jf>

10. *Ochirbat A. et al.* Innovative Technological Redesign of Selected Physics Laboratory Instruments: The Case of Mongolia. The Asian Conference on the Social Sciences 2026. Official Conference Proceedings. 2026. URL: <https://iafor.org/archives/conference-brochure/acss-brochure.pdf?t=6>

11. *Gundawar M.K.* A Zero-Cost and Active Method for Estimation of the

Speed of Sound Using a Smartphone for Undergraduate Classrooms // The Physics Teacher. 2026. Vol. 64, No 1. P. 70–71. URL: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=10524789>

12. *Шым М.І., Сергієнко В.П.* Науково-дослідна робота з фізики у середніх та вищих навчальних закладах : навч. посіб. Київ : Шкільн. світ, 2004. 128 с. URL: <https://journals.urau.ua ›article ›download>

Надійшла до редколегії 03.06.2026

Рекомендовано до друку 23.09.2026

Опубліковано 30.09.2026

Відомості про авторів:

Масич Віталій Васильович — доктор педагогічних наук, професор, завідувач кафедри фізики і хімії; Харківський національний педагогічний університет імені Г.С. Сковороди; Харків, Україна; email: antineutrino9@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8943-7756>

Малець Євген Борисович — кандидат фізико-математичних наук, доцент, професор кафедри фізики і хімії; Харківський національний педагогічний університет імені Г.С. Сковороди; Харків, Україна; email: malets49@ukr.net, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4573-5313>

Сергєєв Віктор Миколайович — кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент кафедри фізики і хімії; Харківський національний педагогічний університет імені Г.С. Сковороди; Харків, Україна; email: ser_vik@ukr.net, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4134-0418>

Ткаченко Володимир Миколайович — кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент кафедри методики навчання математики, фізики та інформатики; Державний вищий навчальний заклад «Донбаський державний педагогічний університет»; Слов'янськ, Україна; email: tkachenkovn2@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1042-2656>

Масич В., Малець Є., Сергєєв В., Ткаченко В. Елементи науково-дослідної роботи в навчальному фізичному експерименті.

Обґрунтовано актуальність використання сучасних вимірювальних технологій у навчальному фізичному експерименті як дієвого засобу формування навичок науково-дослідної роботи в учнів закладів середньої освіти та здобувачів вищої освіти. Показано, що цифровізація освіти, поширення доступних датчиків і мікроконтролерів (зокрема 1-Wire пристроїв) дають змогу створювати недорогі лабораторні комплекси навіть в умовах воєнного стану, коли традиційне лабораторне обладнання часто недоступне. Проаналізовано світовий досвід модернізації фізичного практикуму (роботи А. Петриці, міжнародної команди Ochirbat, дослідження М.К. Gundawar з використанням смартфонів) та власні напрацювання кафедри фізики і хімії ХНПУ імені Г.С. Сковороди — автоматизований комп'ютерний комплекс «Експериментатор» і програмно-методичний комплекс SchoolKit на основі технології 1-Wire, які успішно застосовуються в освітньому процесі.

Як приклад розглянуто класичні демонстраційні досліди з електростатики (електризація ебоніту і скла). За допомогою датчика напруги, аналого-цифрового перетворювача та персонального комп'ютера експериментально визначено знаки зарядів наелектризованих паличок та проаналізовано залежність амплітуди імпульсу падіння напруги від швидкості руху заряду відносно пластини конденсатора. Доведено, що напрям руху не впливає на характер зміни напруги, тоді як полярність

сигналу змінюється на протилежну при зміні знаку заряду. Теоретичне обґрунтування отриманих результатів виконано на основі методу дзеркальних відображень. Отримані результати дозволяють залучати здобувачів освіти до базового рівня науково-дослідної роботи, розвивати критичне мислення, експериментаторські навички та розуміння фізичних процесів.

Ключові слова: фізичний експеримент; дослід; науково-дослідна робота; цифрові лабораторії; 1-Wire.

Masych V., Malets Y., Serhieiev V., Tkachenko V. Elements of research work in an educational physical experiment.

The article substantiates the relevance of using modern measurement technologies in educational physics experiments as an effective means of developing research skills in secondary school students and higher education applicants. It is shown that the digitalization of education, along with the availability of low-cost sensors and microcontrollers (in particular, 1-Wire devices), enables the creation of affordable laboratory complexes even under martial law, when traditional laboratory equipment is often unavailable. The authors analyze global experience in modernizing physics practical work (studies by A. Petrytsia, the international team of Ochirbat, and M. K. Gundawar's research on using smartphones) as well as their own developments at the Department of Physics and Chemistry of H.S. Skovoroda Kharkiv National Pedagogical University — the automated computer complex “Experimentator” and the SchoolKit software and hardware complex based on 1-Wire technology, which are successfully used in the educational process.

As a case study, classical demonstration experiments in electrostatics (electrification of ebonite and glass) are considered. Using a voltage sensor, an analog-to-digital converter, and a personal computer, the signs of the charges of electrified rods are experimentally determined, and the dependence of the pulse amplitude of the voltage drop on the speed of charge movement relative to the capacitor plate is analyzed. It is proved that the direction of motion does not affect the nature of the voltage change, while the polarity of the signal reverses when the charge sign changes. The theoretical explanation of the obtained results is based on the method of images. The obtained results allow educators to involve students in basic-level research work, develop critical thinking, experimental skills, and a deeper understanding of physical processes.

Key words: physical experiment; experience; research work; digital laboratories; 1-Wire.