

Measuring acceleration at uniformly accelerated motion in terms of differentiation of learning

Volodymyr I. Burak^[0000–0003–2198–2464],
and Denys V. Holovko^[0000–0002–9879–9580]

Kryvyi Rih State Pedagogical University,
54, Gagarina Ave., Kryvyi Rih, 50086, Ukraine

{burak_vi, iomen}@ukr.net

Abstract. An analysis of the traditional methodology for the implementation of laboratory work “Measurement of acceleration in uniformly accelerated movement” in 10 classes is carried out and its disadvantages has been identified. The author’s methodology of execution of this laboratory work is considered, which eliminates the detected shortcomings on the “standard” levels and “in-depth”. In addition to the main experiment, this is necessarily for all students, an additional experiment is proposed, as well as an additional experimental task that allows you to prove that it is really equipped with movement and recycle relevant moving graphics and speeds from time to time. The student’s conclusion, control issues are created to justify measures to reduce the experiment error. Laboratory work is designed in the form of a copybook with a printed base. Planned methods for improving the methodology of performing laboratory work using the last platform of Arduino in STEM technologies.

Key words: teaching methods, school course of physics, laboratory work, acceleration, experiment error.

1 Вступ

Фізика є експериментально-теоретичною наукою. Шкільний фізичний експеримент — це одночасно джерело знань, що підтверджує об’єктивність фізичних теорій, і метод навчання. Самостійне виконання учнями лабораторних робіт сприяє набуттю ними експериментальних умінь і навичок у використанні фізичних приладів і вимірюванні фізичних величин, у плануванні та проведенні експериментальних досліджень, в обробці й аналізі експериментальних даних, у підтвердженні залежностей між різними фізичними величинами й об’єктивності фізичних законів, у формулюванні висновків. Усе це сприяє кращому розумінню та засвоєнню фізики, розвитку логічного й фізичного мислення, загальному творчому розвитку учнів.

Важливе значення має вивчення рівноприскореного руху з виконанням лабораторної роботи «Вимірювання прискорення при рівноприскореному русі» у 10 класі старшої школи, що передбачено чинними навчальними програмами (В. М. Локтєв [8], О. І. Ляшенко [9]). У підручниках для 10 класу з фізики рівня «стандарт» (В. Г. Бар'яхтар [1, с. 53], М. В. Головка [5, с. 243], Т. М. Засекіна [7, с. 110], В. Д. Сиротюк [11, с. 213]) є інструкції з указаної лабораторної роботи. Аналіз цих інструкцій і педагогічна практика показують, що за допомогою окреслених рекомендацій учні мають змогу виконати роботу під керівництвом учителя. Водночас виявлено цілий ряд недоліків, які стосуються методики виконання окремих пунктів інструкцій зокрема та методики виконання роботи загалом.

Для рівня «профільний» у підручнику І. М. Гельфгат [3] відсутні інструкції до виконання лабораторних робіт, а в підручнику Т. М. Засекіна [6, с. 288] інструкція така сама, як для рівня «стандарт» цього автора (Т. М. Засекіна [7, с. 110]), хоча для профільного рівня робота має бути на більш високому науковому і творчому рівнях.

Особливо важливо довести, що кулька скочується по похилому жолобу саме рівноприскорено, на що у традиційних інструкціях звернено недостатньо уваги, або не розглянуто зовсім. Не забезпечено вимірювання прискорення з малою похибкою, а розрахунок похибки не у всіх підручниках зроблено коректно.

Існує нагальна потреба вдосконалення методики виконання цієї лабораторної роботи на рівні стандарту та на профільному рівні. Усе це засвідчує актуальність теми нашого дослідження.

Мета статті — проаналізувати традиційну методику виконання лабораторної роботи «Вимірювання прискорення при рівноприскореному русі», удосконалити її та розробити інструкції для рівнів «стандарт» і «поглиблений».

2 Результати та обговорення

2.1 Аналіз методики виконання лабораторної роботи «Вимірювання прискорення при рівноприскореному русі»

Виконаний нами аналіз інструкцій із лабораторної роботи «Вимірювання прискорення при рівноприскореному русі» у чинних підручниках для 10 класу з фізики **рівня «стандарт»** і педагогічна практика показують, що згідно з цими інструкціями учні зможуть під керівництвом учителя виконати роботу, але є цілий ряд недоліків як

стосовно методики виконання окремих пунктів інструкцій, так і щодо методики виконання роботи.

У підручниках М. В. Головка [5, с. 243], В. Д. Сиротюк [11, с. 213] є короткі теоретичні відомості з формулою для розрахунку прискорення при скочуванні кульки похилою площиною:

$$a = \frac{2S}{t^2}. \quad (1)$$

Натомість у підручнику В. Г. Бар'яхтар [1, с. 53] ця формула наведена в готовому вигляді без вихідної формули $S = \frac{1}{2}at^2$, що створює певні складнощі для значної частини учнів. Інструкція в підручнику Т. М. Засекіна [7, с. 110] не містить жодних теоретичних відомостей, а також рисунка до роботи, що унеможливує якісну домашню підготовку учнів до її виконання та забирає додатковий час уроку для пояснення теорії учителем.

Послідовність виконання лабораторної роботи в різних підручниках загалом близька між собою. Усе зводиться до експериментального вимірювання відстані S чи середнього її значення S_c , часу t чи середнього його значення t_c і розрахунку середнього прискорення a_c за формулою (1). Для успішного виконання роботи важливо отримати кінцевий результат для прискорення з невеликою похибкою. Згідно з теорією похибок, відносна похибка прискорення ε_a для виразу (1) розраховується за формулою:

$$\varepsilon_a = \varepsilon_s + 2\varepsilon_t; \quad \varepsilon_s = \frac{\Delta S}{S_c}; \quad \varepsilon_t = \frac{\Delta t}{S_t}, \quad (2)$$

де S_c та t_c — середні значення відстані та часу; ΔS та Δt — абсолютні похибки вимірювання відстані та часу; ε_s та ε_t — відносні похибки їх вимірювання.

Отже, необхідно забезпечити якомога менші (для шкільних умов) відносні похибки для відстані ε_s та для часу ε_t , а значить і якомога менші їх абсолютні похибки ΔS та Δt .

Абсолютна інструментальна похибка відстані ΔS_{INSTR} тим менша, чим точніша рулетка чи мірна стрічка. Широко доступними є рулетки та мірні стрічки з ціною поділки 1 мм = 0,001 м. Використовувати мірну стрічку з поділками 1 см, як це рекомендують у підручнику М. В. Головка [5, с. 243–244], недоцільно, оскільки це зменшує точність вимірювання відстані в 10 разів. У підручниках М. В. Головка [5, с. 243], Т. М. Засекіна [7, с. 110] рекомендують брати абсолютну похибку ΔS , рівну половині ціни поділки. Це хибна порада. Оскільки ми ставимо

відмітку відстані як у початковій, так і в кінцевій точках руху кульки по жолобу, то абсолютна інструментальна похибка рівна ціні поділки ($\Delta S_{\text{ІНСТР}} = 0,001$ м). Крім того, відмітку початкової точки руху кульки учні ставлять не дуже точно, що пов'язано зі сферичною формою кульки. Тому краще брати навіть $\Delta S_{\text{ІНСТР}} = 0,002$ м, адже експериментатор немає права завищувати точність. У підручнику В. Д. Сиротюк [11, с. 213] взагалі відсутні рекомендації стосовно чисельного значення ΔS . У підручнику В. Г. Бар'яхтар [1, с. 53] враховано, що сумарна абсолютна похибка ΔS складається з абсолютної інструментальної похибки $\Delta S_{\text{ІНСТР}}$, пов'язаної з ціною поділки вимірювального приладу, та абсолютної випадкової похибки $\Delta S_{\text{ВИП}}$, пов'язаної з тим, що під час вимірювання однієї й тієї ж відстані декілька разів експериментатор може допустити випадкову похибку, зумовлену його природними задатками й експериментальними навичками:

$$\Delta S = \Delta S_{\text{ІНСТР}} + \Delta S_{\text{ВИП}}. \quad (3)$$

Правда, автор підручника не надає учням рекомендації щодо чисельних значень кожного з доданків. Звичайно, це може зробити вчитель, урахувавши конкретні умови виконання роботи. Але краще вказати значення цих доданків у інструкції.

Відносна похибка відстані $\varepsilon_s = \frac{\Delta S}{S_c}$ тим менша, чим більша відстань скочування кульки. Отже, потрібно брати довгий жолоб і велику відстань S . На жаль, у жодному підручнику немає цієї вказівки (поради). Якщо брати короткий жолоб і малу відстань S , то відносна похибка вимірювання відстані зросте навіть при використанні рулетки з ціною поділки $1 \text{ мм} = 0,001$ м.

Абсолютна інструментальна похибка часу $\Delta t_{\text{ІНСТР}}$ тим менша, чим точніший секундомір. Для циферблатного секундоміра ціна поділки становить $0,01$ с. Для цифрового секундоміра (годинник, мобільний телефон) ціна поділки може бути ще меншою. Більш доступним є цифровий секундомір, але крім нього учні повинні навчитися використовувати і циферблатний. У підручниках М. В. Головка [5, с. 243], Т. М. Засекаїна [7, с. 110] рекомендують брати абсолютну похибку Δt , рівну половині ціни поділки. Це неправильна порада: оскільки треба враховувати, що ми спочатку вмикаємо секундомір, а потім вимикаємо його. За такої умови абсолютна інструментальна похибка $\Delta t_{\text{ІНСТР}}$ збільшується вдвічі й стає рівною ціні поділки. У підручнику М. В. Головка [5, с. 243–244] теж рекомендують використовувати секундомір, але беруть $\Delta t = 0,5$ с, що правильно лише для метронома.

У підручнику Т. М. Засекіна [7, с. 110] з незрозумілих причин беруть для секундоміра $\Delta t = 0,1$ с. Використовувати секундомір або метроном рекомендують у підручнику В. Д. Сиротюк [11, с. 213]. Звичайно, метрономом можна послуговуватися на уроках фізики, але не для точних вимірів, тим більше в XXI ст. У підручниках В. Г. Бар'яхтар [1, с. 53], В. Д. Сиротюк [11, с. 213] взагалі відсутні рекомендації стосовно значення абсолютної інструментальної похибки Δt .

У жодному підручнику не вказано, що абсолютна похибка має дві складові: 1) інструментальну $\Delta t_{\text{ІНСТР}}$, пов'язану з ціною поділки приладу; 2) випадкову $\Delta t_{\text{ВИП}}$, пов'язану з тим, що у процесі вимірювання часу для однакового досліду декілька разів експериментатор при вмиканні та при вимиканні секундоміра допускає випадкову похибку, зумовлену природними задатками та його навичками. Причому учні можуть перекоонатися, що випадкова абсолютна похибка $\Delta t_{\text{ВИП}}$ у цій лабораторній роботі набагато більша за абсолютну інструментальну похибку у випадку використання секундоміра з ціною поділки 0,01 с, тому останньою можна знехтувати. Це принциповий момент, а отже, на наше глибоке переконання, його необхідно належним чином розкрити вже на рівні стандарту. Згідно з теорією похибок, сумарну абсолютну похибку часу в першому наближенні знаходять за формулою:

$$\Delta t = t_{\text{ІНСТРУМЕНТ}} + t_{\text{СЕР.ВИПАДК.}} \quad (4)$$

Загальні відомості про правила знаходження абсолютної та відносної похибок краще надати перед цим на окремому занятті.

Відносна похибка часу $\varepsilon_t = \frac{\Delta t}{t_c}$ тим менша, чим більший час скочування кульки. Тому в усіх підручниках слушно рекомендують установити жолоб, по якому скочується кулька, під невеликим кутом до горизонту, бо чим менший кут, тим більший час скочування, і тим менша відносна похибка його вимірювання.

У цій лабораторній роботі не тільки треба знайти прискорення, але й дуже важливо довести, що кулька скочується по похилому жолобу саме рівноприскорено.

У підручнику В. Г. Бар'яхтар [1, с. 53] установлюють невеликий кут нахилу похилого жолоба та беруть тільки одну відстань S , для якої 4 рази міряють час і знаходять його середнє значення t_c і абсолютну випадкову похибку часу $\Delta t_{\text{СЕР.ВИПАДК.}}$. Розраховують за формулою (1) середнє значення прискорення a_c , а за формулою (2) — відносну

похибку ε_a для нього. Потім із формули $\varepsilon_a = \frac{\Delta a}{a_c}$ розраховують абсолютну похибку прискорення:

$$\Delta a = a_c \cdot \varepsilon_a. \quad (5)$$

Як бачимо, знаходять прискорення та похибки для нього тільки для однієї відстані. Отже, не доведено, що це саме рівноприскорений рух. Виконання роботи за такою традиційною методикою здебільшого дає відносну похибку для прискорення 0,1 (10%) і навіть значно більше.

У підручнику М. В. Головка [5, с. 243–244] теж беруть тільки одну відстань S (міряють її кілька разів і знаходять середнє значення S_c). Для неї 5 разів вимірюють час, знаходять його середнє значення t_c і розраховують за формулою (1) середнє значення прискорення a_c . Для розрахунку похибок не використовують формулу (2), а натомість беруть абсолютні похибки $\Delta S = 0,5$ см та $\Delta t = 0,5$ с (половину ціни поділки, неправомірність чого ми прокоментували вже вище), знаходять максимальні й мінімальні значення S та t і максимальні та мінімальні прискорення. Як бачимо, теж не доведено, що це саме рівноприскорений рух. Вимірювання часу 4–5 разів для одного досліду пов'язане з досить великою його абсолютною випадковою похибкою при вмиканні та при вимиканні секундоміра, зумовленою природними задатками та недостатніми навичками експериментатора.

По-іншому роблять у підручнику Т. М. Засєкіна [7, с. 110]. Для одного невеликого кута нахилу похилого жолоба беруть 5 різних значень відстані S і для кожної з них міряють (одноразово) відповідні 5 значень часу. За формулою (1) розраховують п'ять прискорень і його середнє значення. Слід зауважити, що за правильної постановки експерименту 5 значень прискорення можуть бути порівняно близькими й учні зможуть зробити висновок, що кулька рухається похилим жолобом рівноприскорено. Але брати треба тільки великі та значні відстані S (цього не вказано в інструкціях), бо для малих відстаней похибка вимірювання часу буде дуже великою, унаслідок чого прискорення може дуже суттєво відрізнятись від інших дослідів, що унеможливить формулювання висновку про рівноприскорений рух. Навіть для вдалих дослідів така методика дає більшу похибку для прискорення, ніж попередня традиційна методика. За такої методики правильно було б знайти 5 значень абсолютної похибки для прискорення $\Delta a = |a_{сер} - a|$ для кожного досліду та середню абсолютну похибку для прискорення $\Delta a_{сер}$, а потім розрахувати відносну похибку прискорення. Натомість у інструкції Т. М. Засєкіна [7, с. 110] для

кожного з 5 дослідів пропонують знаходити похибку за формулою (2), некоректно взявши $\Delta S = 0,0005$ м та $\Delta t = 0,1$ с (що ми прокоментували вже вище). Крім того, проведення тільки одного заміру відстані й особливо часу в кожному з 5 дослідів може призвести до випадкового промаху (помилкове вимірювання відстані чи невірний запис часу). Навіть у шкільному експерименті потрібно кожен дослід повторювати (тричі), щоб уникнути промахів і знаходити середнє значення фізичних виміряних величин та їх випадкові похибки, позаяк це прийнято у фізиці.

В інструкції В. Д. Сиротюк [11, с. 213] теж для одного невеликого кута нахилу похилого жолоба беруть 5 різних значень відстані S і для кожної з них міряють (одноразово) відповідні 5 значень часу. Потім розраховують середні значення відстані S_c та часу t_c і за формулою (1) розраховують середнє прискорення. Це груба фізична помилка, оскільки це 5 різних дослідів і усереднювати для них відстань і час недопустимо. Треба знайти 5 різних прискорень для кожного з дослідів і потім розрахувати їх середнє значення. Крім того, для розрахунку похибок у інструкції замість формули (2) наведено зовсім неправильний вираз для відносної похибки прискорення.

Отже, у жодній з інструкцій у чинних підручниках не забезпечено належного експериментального обґрунтування, що кулька скочується похилим жолобом рівноприскорено.

Окрім основного дослідів у підручниках М. В. Головка [5, с. 243–244], Т. М. Засекіна [7, с. 110], учням пропонують виконати додаткове експериментальне завдання, а саме: повторити досліди для іншого кута нахилу похилого жолоба. Звичайно, залежність прискорення від кута нахилу жолоба є суттєвою, але, на наше переконання, набагато важливіше довести, що для сталого кута ми маємо справу саме з рівноприскореним рухом. Для цього кут треба залишити попереднім, вибрати іншу відстань S (достатньо велику) і виміряти для неї 3–5 разів час скочування кульки та розрахувати додаткове значення прискорення, яке за правильного виконання роботи буде близьким до прискорення основного експерименту.

Для **рівня «профільний»** у підручнику Т. М. Засекіна [6, с. 288] інструкція така сама, як для рівня «стандарт» цього автора (Т. М. Засекіна [7, с. 110]), із тими ж самими недоліками, хоча для профільного рівня робота має бути на більш високому науковому і творчому рівнях. У підручнику І. М. Гельфгат [3] відсутні інструкції до виконання лабораторних робіт. Звичайно, вони можуть бути надані учням окремо, але краще поміщати їх у підручнику.

2.2 Удосконалення методики виконання лабораторної роботи «Вимірювання прискорення при рівноприскореному русі» в умовах диференціації навчання

У процесі вдосконалення методики виконання лабораторної роботи ми ставили перед собою завдання уникнути проаналізованих вище недоліків у наявних інструкціях і розробили покращені інструкції до лабораторної роботи як для рівня «стандарт», так і для рівня «профільний» у формі зошита з друкованою основою. У повному обсязі інструкції надані в навчальному посібнику В.І.Бурак [2, с.14–16] і запроваджені під час роботи в загальноосвітніх школах і ліцєях, в освітній процес для студентів спеціальності 014.08 Середня освіта (Фізика) Криворізького державного педагогічного університету (КДПУ) в межах навчальної дисципліни «Шкільний фізичний експеримент», а також на курсах підвищення кваліфікації вчителів фізики при КДПУ.

В основній частині інструкцій є мета, обладнання, теоретичні відомості з формулою (1) для прискорення, рисунок до лабораторної роботи, послідовність виконання роботи з формулами (2), (3), (4), (5) для розрахунку похибок експерименту, таблиці для запису всіх виміряних і розрахованих величин і їх похибок.

Послідовність виконання роботи передбачає наступне (В.І.Бурак [2, с.14]):

- 1) закріплюють довгий жолоб під малим кутом до горизонту і встановлюють упор вниз жолоба;
- 2) вимірюють (декілька разів) рулеткою з міліметровими поділками задану велику відстань (причому учні дають таку відповідь: від якої точки кульки вони вимірюють цю відстань) і знаходять її середнє значення S_c ;
- 3) розраховують абсолютну похибку для відстані за формулою (3), причому пояснено чому $\Delta S_{\text{ІНСТР}} = 2 \text{ мм}$, а $\Delta S_{\text{ВИП}} \approx 0$; знаходять відносну похибку вимірювання відстані за формулою $\varepsilon_s = \frac{\Delta S}{S_c}$;
- 4) вимірюють секундоміром час скочування кульки 5 разів і знаходять його середнє значення t_c ;
- 5) знаходять модуль відхилення від середнього значення $\Delta t = |t_c - t|$ для кожного досліду та середнє значення цього відхилення, тобто середню абсолютну випадкову похибку часу $\Delta t_{\text{СЕР.ВИПАДК}}$;
- 6) розраховують абсолютну похибку вимірювання часу за формулою $\Delta t = \Delta t_{\text{ІНСТРУМЕНТ}} + \Delta t_{\text{СЕР.ВИПАДК}}$, причому абсолютна інструментальна похибка $\Delta t_{\text{ІНСТР}} = 0,01 \text{ с}$

(пів ціни поділки секундоміра при його вмиканні та при вимиканні); знаходять відносну похибку вимірювання відстані за формулою $\varepsilon_t = \frac{\Delta t}{t_c}$;

- 7) обчислюють середнє значення прискорення;
- 8) оцінюють відносну похибку експерименту за формулою (2); враховують, що $\varepsilon_a = \frac{\Delta a}{a_c}$ і знаходять абсолютну похибку прискорення $\Delta a = a_c \cdot \varepsilon_a$;
- 9) результати вимірювань і обчислень записують у табл. 1;
- 10) формулюють висновки.

Отже, ми ретельно виписуємо всі пункти для успішного виконання учнями цієї лабораторної роботи з достатньо складним для них розрахунком похибок експерименту. Як показує практика, у процесі виконання цієї лабораторної роботи, при належному вимірюванні однієї й тієї ж відстані декілька разів учні отримують практично одне й те саме значення S , тому випадкова похибка близька до нуля, а сумарна абсолютна похибка ΔS співпадає з абсолютною інструментальною похибкою, що ми і врахували в інструкції. Крім того, учням легко переконатися, що абсолютна інструментальна похибка $\Delta t_{\text{ІНСТР}} = 0,01$ с значно менше за абсолютну випадкову похибку часу $\Delta t_{\text{СЕР.ВИПАДК.}}$, яка пов'язана з неточністю вмикання та вимикання секундоміра при вимірюванні часу і вносить основний вклад у сумарну абсолютну похибку часу. Слід також зазначити, що відносна похибка вимірювання відстані рулеткою з міліметровими поділками в цій лабораторній роботі суттєво менша за відносну похибку вимірювання часу секундоміром. Виконання роботи за нашою методикою здебільшого дає відносну похибку для прискорення біля 0,1 (10%).

Крім описаного основного експерименту, пропонуємо учням виконати **додаткове експериментальне завдання** (В.І. Бурак [2, с.15]): «Повторіть експеримент для меншої (значної) відстані S і занесіть дані в табл. 2». Метою додаткового експерименту є підтвердження того, що кулька скочується похилим жолобом саме рівноприскорено. У кінцевому результаті ми отримаємо ще одне значення середнього прискорення і його похибок. Практика виконання цього завдання показує, що здебільшого прискорення з основного (для більшої відстані S) і додаткового (для меншої відстані S) завдань перекриваються з урахуванням їх абсолютної похибки. Отже, учні можуть зробити висновок, що кулька похилим жолобом скочується

рівноприскорено. Саме в цьому полягає цінність такого додаткового експериментального завдання.

Для надійності пропонуємо учням виконати ще одне **додаткове завдання** (В.І.Бурак [2, с.15]): «На рис. 1 відображено зі стробоскопічної фотографії рух кульки по жолобу зі стану спокою. Відомо, що проміжки часу між двома послідовними спалахами дорівнюють 0,2 с. На шкалі вказані поділki в дециметрах. Доведіть, що рух кульки був рівноприскореним. Знайдіть швидкість кульки в положеннях зафіксованих на фотографії. Побудуйте графіки $S(t)$ і $V(t)$ для цього завдання».

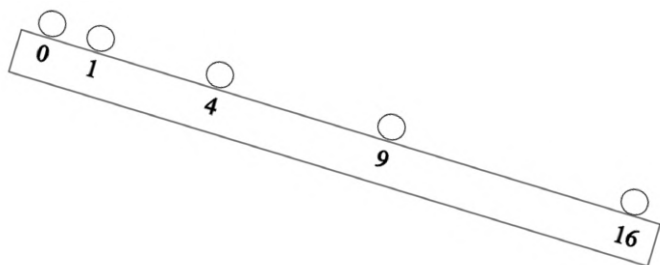


Рис. 1. Шкала стробоскопічної фотографії

Учні повинні здогадатися розрахувати прискорення для відрізків 1 дм, 4 дм, 9 дм, 16 дм (воно всюди рівне — 5 м/с^2) і зробити переконливий висновок, що кулька по жолобу рухається, дійсно, рівноприскорено. Побудова графіків посилює ефект від виконання цього завдання (у зошиті з друкованою основою поміщено «міліметровий папір» для побудови графіків).

Після двох додаткових завдань слідує **«Контрольні запитання»**:

1. З якою точкою кулі співпадає початок відліку відстані S ?
2. Чому відстань S вибирають достатньо великою?
3. Чому кут нахилу жолоба встановлюють малим?
4. Чому у нашому експерименті $\Delta S_{\text{ІНСТР}} = 0,002 \text{ м}$, а $\Delta t_{\text{ІНСТР}} = 0,01 \text{ с}$?

Далі учні формують висновки.

Учень має право виконати тільки основний експеримент і зробити всі розрахунки до нього, дати відповіді на контрольні запитання

та сформулювати висновки. Учитель заохочує до виконання двох додаткових завдань тих учнів, які прагнуть отримати високі оцінки (10–12 балів). Це відповідає диференціації навчання.

Такою є методика виконання лабораторної роботи для рівня «стандарт». Причому учитель може дати учням тільки одне з додаткових завдань. Для рівня **«профільний»** задають обидва додаткові завдання. Окрім того, для розрахунку абсолютних похибок використовують більш коректні формули (В. І. Бурак [2, с. 14–16]):

$$\begin{aligned}\Delta S &= \sqrt{\Delta S_{\text{INCTP}}^2 + \Delta S_{\text{СЕР. ВИПАДК.}}^2}; \\ \Delta t &= \sqrt{\Delta t_{\text{INCTP}}^2 + \Delta t_{\text{СЕР. ВИПАДК.}}^2}.\end{aligned}\tag{6}$$

Практика роботи авторів статті в ліцєях і середніх школах підтверджує, що всі учні, які правильно виконують експеримент і розрахунки, отримують вдалі результати для підтвердження рівноприскороного руху кульки. Студенти КДПУ спеціальності 014.08 Середня освіта (Фізика) виконують цю лабораторну роботу в межах навчальної дисципліни «Шкільний фізичний експеримент», причому аналіз похибок здійснюють як для рівня стандарту, так і для профільного рівня і порівнюють їх між собою.

3 Висновки та перспективи подальшого дослідження

1. Здійснено аналіз традиційної методики виконання лабораторної роботи «Вимірювання прискорення при рівноприскороному русі» та виявлено її недоліки.
2. Розроблено й упроваджено авторську методику виконання цієї лабораторної роботи, яка усуває виявлені недоліки на рівнях «стандарт» і «поглиблений».
3. Крім основного експерименту, обов'язкового для всіх учнів, запропоновано додатковий експеримент, а також додаткове завдання до експерименту, які дають можливість довести, що це дійсно рівноприскороений рух і побудувати відповідні графіки переміщення та швидкості від часу. Перед висновком учням поставлені контрольні питання щодо обґрунтування заходів для зменшення похибки експерименту. Лабораторна робота розроблена у формі зошита з друкованою основою.

4. Вжито належні заходи для зменшення похибок експерименту. Особлива увага приділена коректному розрахунку абсолютних і відносних похибок експерименту.

Для подальшого зниження похибок експерименту можна використати секундомір-датчик електроконтактний демонстраційний СЕД-1М з ціною поділки 0,01 с (В. П. Ржепецький [10]). Наявність електромагнітних реле дає можливість досить точно вмикати секундомір при старті кульки на похилому жолобі та вимикати його в кінцевій точці руху. Суттєво зменшується випадкова абсолютна похибка вимірювання часу, а значить і похибки вимірювання прискорення. Правда, таку роботу можна запровадити тільки на лабораторному практикумі після значного кропіткого налагодження установки учителем. Крім того, під час її виконання учнями потрібна належна допомога учителя.

Наступним кроком удосконалення методики виконання лабораторної роботи і подальшого зменшення похибок експерименту є залучення новітньої платформи Arduino в межах STEM-технологій, яка є простою і доступною у використанні під час виконання лабораторних робіт (Д. В. Головка [4]). Нами вже успішно проведена лабораторна робота «Вимірювання прискорення при рівноприскореному русі» із застосуванням різноманітних сенсорів, як-от: електричні сенсори, лазерний далекомір, фоторота. Методичні особливості й результати будуть представлені в наступній публікації.

References

1. Baryaxtar, V. G., Dovgyj, S. O., Bozhynova, F. Ya. Kiryuxina, O. O.: Fyzyka. 10 kl.: pidruchnyk dlya zakladiv zagalnoyi serednoyi osvity: riven standartu (za navchalnoyu programoyu avtorskogo kolektyvu pid kerivnyctvom Loktyeva V. M.) (za red. V. G. Baryaxtara). (Physics. 10 cl.: Textbook for general secondary education institutions: standard level). Ranok, Kharkiv (2018)
2. Burak, V. I.: Shkilnyj fizychnyj eksperyment. T. 1. Mexanika. Molekulyarna fizyka i termodynamika: navchalnyj posibnyk dlya studentiv fizyko-matematychnogo fakultetu (School physical experiment. T. 1. Mechanics. Molecular physics and thermodynamics: Training manual for students of the Faculty of Physics and Mathematics). KPI DVNZ "KNU", Kryvyi Rig (2014)

3. Gelfgat, I. M.: Fizyka. 10 kl.: pidruchnyk dlya zakladiv zagalnoyi serednoyi osvity: profilnyj riven (za navchalnoyu programoyu avtorskogo kolektyvu pid kerivnyctvom Loktyeva V. M.) (Textbook for general secondary education institutions: profile level). Ranok, Kharkiv (2018)
4. Holovko, D. V.: Uprovadzhennya elementiv STEM-osvity pid chas vykonannya laboratornyx robot z fizyky. Formalna j neformalna osvita kriz pryzmu STEM-texnologij: materialy Vseukrayinskoyi naukovopraktychnoyi konferenciyi (24 zhovtnya 2019 roku, m. Xerson) (za red. Yuzbashevoj G. S.). (Implementation of stem-education elements during the performance of laboratory works on physics). KVNZ "Xersonska akademiya neperervnoyi osvity", pp. 45-49. Kherson (2019)
5. Holovko, M. V., Melnyk, Yu. S., Neporozhnya, L. V., Sipij, V. V.: Fizyka. 10 kl.: pidruchnyk dlya zakladiv zagalnoyi serednoyi osvity: riven standartu (za navchalnoyu programoyu avtorskogo kolektyvu pid kerivnyctvom Lyashenka O. I.) (Physics. Grade 10: Textbook for General Secondary Education Institutions: Standard Level). Pedagogichna dumka, Kyiv (2018)
6. Zasyekina, T. M., Zasyekin, D. O.: Fizyka. 10 kl.: pidruchnyk dlya zakladiv zagalnoyi serednoyi osvity: profilnyj riven (za navchalnoyu programoyu avtorskogo kolektyvu pid kerivnyctvom Loktyeva V. M.) (10 cl.: Textbook for General Securities Institutions: Profile Level). Orion, Kyiv (2018)
7. Zasyekina, T. M., Zasyekin, D. O.: Fizyka. 10 kl.: pidruchnyk dlya zakladiv zagal'noyi serednoyi osvity: profilnyj riven (za navchalnoyu programoyu avtorskogo kolektyvu pid kerivnyctvom Loktyeva V. M.) (10 cl.: Textbook for General Securities Institutions: Profile Level). Orion, Kyiv (2018)
8. Navchalni programy dlya 10–11 klasiv. Fizyka (avtorskyj kolektyv pid kerivnyctvom Loktyeva V. M.) (Educational programs for 10-11 classes. Physics). <https://mon.gov.ua/ua/osvita/zagalna-serednya-osvita/navchalni-programi/navchalni-programi-dlya-10-11-klasiv> (2017). Accessed 12 Aug 2021
9. Navchalni programy dlya 10–11 klasiv. Fizyka i Astronomiya (avtorskyj kolektyv pid kerivnyctvom Lyashenka O. I.) (Educational programs for 10-11 classes. Physics and Astronomy). <https://mon.gov.ua/ua/osvita/zagalna-serednya-osvita/navchalni-programi/navchalni-programi-dlya-10-11-klasiv> (2017). Accessed 12 Aug 2021

10. Rzhepeckyj, V. P.: Praktykum z metodyky i texnyky demonstracijnogo eksperymentu v kursi fizyky serednoyi shkoly: posibnyk dlya stud. fiz.-mat. fakultetiv (Workshop on the methodology and technology of demonstration experiment in the course of high school physics). <http://elibrary.kdpu.edu.ua/handle/0564/136> (2015). Accessed 12 Aug 2021
11. Syrotyuk, V. D.: Fizyka. 10 kl.: pidruchnyk dlya zakladiv zagalnoyi serednoyi osvity: riven standartu (za navchalnoyu programoyu avtorskogo kolektyvu pid kerivnyctvom Lyashenka O. I.) (Physics. Grade 10: Textbook for General Secondary Education Institutions: Standard Level). Gereza, Kyiv (2018)

Вимірювання прискорення при рівноприскореному русі в умовах диференціації навчання

Володимир І. Бурак^[0000—0003—2198—2464],
Денис В. Головка^[0000—0002—4841—6449]

Криворізький державний педагогічний університет,
просп. Гагаріна, 54, Кривий Ріг, 50086, Україна
{burak_vi, iomen}@ukr.net

Анотація. Здійснено аналіз традиційної методики виконання лабораторної роботи «Вимірювання прискорення при рівноприскореному русі» в 10 класі та виявлено її недоліки. Розроблено й упроваджено авторську методику виконання цієї лабораторної роботи, яка усуває виявлені недоліки на рівнях «стандарт» і «поглиблений». Крім основного експерименту, обов'язкового для всіх учнів, запропоновано додатковий експеримент, а також додаткове завдання до експерименту, які дають можливість довести, що це дійсно рівноприскорений рух і побудувати відповідні графіки переміщення та швидкості від часу. Перед висновком учням поставлені контрольні питання щодо обґрунтування заходів для зменшення похибки експерименту. Лабораторна робота розроблена у формі зошита з друкованою основою. Намічено шляхи удосконалення методики виконання лабораторної роботи з використанням новітньої платформи Arduino в межах STEM-технологій.

Ключові слова: методика навчання, шкільний курс фізики, лабораторна робота, прискорення, похибки експерименту.