

Схвалено для використання у загальноосвітніх навчальних закладах
(Лист ДНУ «Інститут модернізації змісту освіти» Міністерства освіти і науки
України № 22.1/12-Г-244 від 24.04.2019)

Трофімчук А. Б., Левшенюк Я. Ф., Левшенюк В. Я., Савош В. О.
Зошит для експериментальних робіт. Фізика. 11 клас. Рівень стандарту,
56 стор.

Рецензенти:

Харченко Н. Б. – кандидат педагогічних наук, доцент кафедри природничо-математичної освіти РОППО.
Болба М. Л. – вчитель фізики Рівненської ЗОШ I – III ступенів № 5, вчитель-методист.

Кабінет редакційно-видавничої діяльності та друкованої пропаганди
передового педагогічного досвіду Рівненського обласного інституту
післядипломної педагогічної освіти.

© *Трофімчук А. Б., Левшенюк Я. Ф., Левшенюк В. Я., Савош В. О., 2019.*

1.	Перевірка законів послідовного та паралельного з'єднання провідників.
2.	Розширення меж вимірювання амперметра.
3.	Визначення ЕРС і внутрішнього опору джерела струму.
4.	Зняття вольт-амперної характеристики лампи і визначення температури нитки розжарення.
5.	Вимірювання заряду електрона.
6.	Визначення індуктивності котушки.
7.	Дослідження заломлення світла.
8.	Визначення фокусної відстані та оптичної сили розсіювальної лінзи.
9.	Спостереження інтерференції та дифракції світла.
10.	Визначення довжини світлової хвилі.
11.	Моделювання радіоактивного розпаду.
12.	Дослідження треків заряджених частинок за фотографіями.

Інструкції з безпеки під час проведення експериментальних робіт

ЗМІСТ ІНСТРУКТАЖУ

До початку роботи

1. Чітко з'ясуйте порядок і правила безпечного проведення експерименту.
2. Звільніть робоче місце від усіх непотрібних для роботи предметів. Перевірте наявність приладів та матеріалів, необхідних для виконання завдання.
3. Не приступайте до виконання роботи без дозволу вчителя.
4. Розміщуйте обладнання і прилади на робочому місці так, щоб уникнути їх падіння.

Під час виконання роботи

Правила роботи при проведенні робіт з електрики

1. Складаючи електричне коло, уникайте перетину проводів.
2. Правильно вмикайте прилади: амперметр – послідовно, вольтметр – паралельно до споживача, дотримуйтеся полярності, вказаної на передній панелі приладів.
3. Під час проведення дослідів не допускайте граничних навантажень вимірювальних приладів.
4. Використовуйте провідники з міцною ізоляцією без пошкоджень.
5. Під час користування реостатом не виводьте повзунок у положення короткого замикання.

6. Під час користування електронагрівальними приладами остерігайтесь опіків від нагрітих деталей.
7. Не доторкайтесь до корпусів стаціонарного обладнання, до затискачів відімкнутих конденсаторів.
8. Джерело живлення вмикайте в електричне коло в останню чергу.
9. Не виконуйте з'єднань у колі після ввімкнення джерела живлення.
10. Виявивши несправність в електричних пристроях, що перебувають під напругою, негайно вимкніть джерело живлення і повідомте про це вчителя.

Правила зважування

1. Користуючись терезами, не допускайте механічних ударів важків об шальки.
2. Не кладіть на шальки терезів мокрі, брудні, жирні, гарячі тіла, не насипайте сипучі речовини.
3. Дрібні важки беріть тільки пінцетом.

Правила роботи з рідинами

1. Не пробуйте на смак рідин, які використовуються в дослідах, не допускайте їх розливання на робочий стіл.

Правила роботи при проведенні робіт з оптики

1. Обережно поведіться з лінзами, лампочкою, щоб їх не розбити.
2. Не торкайтесь скляної поверхні оптичних приладів руками, щоб не змінити їх прозорість (бо на руках завжди є жир).
3. Обережно поведіться із запаленою свічкою, щоб не одержати опіків і не викликати пожежі.

Після закінчення роботи

1. Приберіть своє робоче місце.
2. Складіть обладнання так, як воно було складене до початку роботи.

Вимоги безпеки в екстремальних ситуаціях

У разі травмування (поранення, опіки тощо) або поганого самопочуття повідомте вчителя.

Вимірювання, похибки (невизначеності), обчислення

Проводячи експериментальні дослідження, потрібно вміти аналізувати результати, робити висновки. Оскільки всі вимірювання проводяться з певною точністю, їх результат завжди наближений. Тому після досліджень потрібно знати ступінь достовірності одержаного результату. Різницю між дійсним значенням шуканої величини і одержаним результатом $x_{\text{досл}}$ називають *абсолютною похибкою*, яка позначається Δx .

Якщо значення фізичної величини знаходять безпосередньо засобами вимірювання (вагу – динамометром, напругу – вольтметром), таке вимірювання називають *прямим*. Якщо ж фізичну величину знаходять за формулою, що пов'язує її з іншими фізичними величинами, які визначають *прямим* вимірюванням (швидкість рівномірного руху за формулою $v = \frac{s}{t}$, де шлях вимірюють лінійкою, а час – секундоміром), то таке вимірювання називають *посереднім*.

Результат вимірювань величини x записується так: $x = x_{\text{досл}} \pm \Delta x$, де $x_{\text{досл}}$ – значення фізичної величини, знайдене за допомогою прямих або посередніх вимірювань, Δx – абсолютна похибка вимірювань.

Похибка вимірювань у шкільних умовах зазвичай визначається систематичною та випадковою похибками. Систематична похибка пов'язана з якістю вимірювального приладу, тому її часто називають *інструментальною похибкою* вимірювального приладу Δx .

Інструментальні похибки зазначають у паспорті приладу або на їх шкалах. У таблиці вказано інструментальні похибки вимірювальних засобів, які часто використовуються при виконанні шкільного експерименту 11 класу.

№ п/п	Засіб вимірювання	Границя вимірювань	Ціна поділки (крок дискретизації)	Абсолютна інструментальна похибка
1	Лінійка учнівська	до 50 см	1 мм	± 1 мм
2	Лінійка демонстраційна	1 м	1 см	$\pm 0,5$ см
3	Секундомір механічний	0-30 хв	0,2 с	± 1 с за 30 хв
4	Секундомір електронний	0-30 хв	0,1 с	$\pm 0,3$ с
			0,01 с	$\pm 0,03$ с

Як бачимо абсолютна інструментальна похибка в основному дорівнює або половині ціни поділки засобу вимірювання або ціні поділки.

Для визначення інструментальної похибки вимірювального приладу необхідно знати його клас точності γ , який здебільшого зазначається на шкалах приладів цифрою, обведеною колом. Клас точності показує відсоток, який складає абсолютна інструментальна похибка від значення верхньої межі

вимірювань за шкалою приладу. Так, якщо межа вимірювань амперметра 2 А, а на шкалі приладу вказано клас точності $\gamma=4\%$, то із співвідношення

$\gamma = \frac{\Delta_i I}{I_{\max}} \cdot 100\%$, абсолютна інструментальна похибка дорівнює:

$$\Delta_i I = \frac{\gamma \cdot I_{\max}}{100\%} = \frac{4\% \cdot 2 \text{ А}}{100\%} = 0,08 \text{ А}.$$

Випадкові похибки $\Delta_{\epsilon} x$ пов'язані з процесом вимірювання. Дуже часто не вдається уникнути певних похибок, пов'язаних з дією різних причин, вплив яких важко врахувати. Ці причини призводять до того, що результати повторних вимірювань за тих же умов відрізняються один від одного. Наприклад, вимірюючи секундоміром час скочування кульки, неможливо за один раз точно його зафіксувати в зв'язку з такими факторами як реакція людини, тертя кульки. Найпростішим шляхом зменшення таких похибок є проведення кількох вимірювань значень шуканої величини. Наприклад, якщо виконано N вимірювань і знайдено числові значення $x_1, x_2, \dots, x_N$, то найбільш ймовірне значення вимірюваної величини дорівнює середньому арифметичному:

$$x_c = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_N}{N}.$$

Тоді випадкова похибка $\Delta_{\epsilon} x = \frac{|x_1 - x_c| + |x_2 - x_c| + \dots + |x_N - x_c|}{N}.$

Іноді немає потреби здійснювати вимірювання багато разів. Наприклад, вимірюючи вагу бруска динамометром результати будуть однаковими. Однак і в такому випадку похибки присутні, адже не завжди покажчик динамометра збігатиметься з штрихом шкали. Такі випадкові похибки називають *похибками відліку*

Похибка відліку для цифрових приладів дорівнює нулю. Для інших вимірювальних засобів **похибка відліку** дорівнює нулю у випадку, коли вказівник приладу (рівень рідини в мензурці) збігається з штрихом шкали даного засобу.

Якщо ж значення вимірюваної величини не збігається з штрихом шкали, то за **похибку відліку** приймають її максимальне значення (**межу**), що дорівнює половині ціни поділки шкали вимірювального приладу (для механічного секундоміра ціни поділки).

Отже в загальному випадку абсолютна похибка вимірювань записується:

$$\Delta x = \Delta_i x + \Delta_{\epsilon} x \quad (1).$$

Абсолютну похибку вимірювань зазвичай округлюють до однієї значущої цифри ($\Delta x = 0,028 \approx 0,03$). Якщо ж перша значуща цифра – одиниця, то допускається записувати дві значущі цифри, а інші відкидаються з округленням у більшу сторону.

У проміжних розрахунках допускається використовувати на одну-дві значущі цифри більше. Числове значення результату вимірювань округлюють так, щоб його остання цифра була в тому самому розряді, що й цифра похибки ($x = 7,143 \approx 7,14$).

За відомою абсолютною похибкою можна визначити інтервал, в якому знаходиться дійсне значення шуканої величини. Наприклад, якщо довжина стола, виміряного лінійкою з ціною поділки 1 см, складає 90 см, то дійсне значення довжини знаходиться в інтервалі [89 см; 91 см] (інструментальна похибка 0,5 см; вважаємо, що не було збігу з штрихом шкали лінійки, тому похибка відліку теж 0,5 см) і результат записується так: $l = (90 \pm 1)$ см.

Абсолютна похибка теж не повністю характеризує точність вимірювання. Наприклад, абсолютна похибка 1 мм при вимірюванні довжини 10 м досить непогана, а при вимірюванні розмірів біля декількох міліметрів – суттєва.

Для оцінки точності вимірювань фізичної величини вводять *відносну* похибку, яку позначають символом ε (епсilon) і визначають з відношення абсолютної похибки до значення вимірюваної величини (як правило,

вказують у відсотках): $\varepsilon = \frac{\Delta x}{x_{\text{досл}}} \cdot 100\%$.

Розрахунок відносних похибок посередніх вимірювань залежить від виду формули, за якою обчислюють вимірювану величину (див. таблицю).

Вид формули	Відносна похибка ε	Вид формули	Відносна похибка ε
$c = a \cdot b$	$\frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta b}{b}$	$c = a \pm b$	$\frac{\Delta a + \Delta b}{a \pm b}$
$c = \frac{a}{b}$		$c = a^n \cdot \sqrt{b}$	$\frac{n\Delta a}{a} + \frac{\Delta b}{2b}$

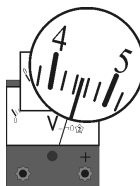
Порядок знаходження результату при непрямих вимірюваннях фізичної величини такий:

- дослідне значення величини $x_{\text{досл}}$ визначають за формулою, що пов'язує дану величину з іншими величинами, значення яких виміряно безпосередньо приладами;
- знаходять абсолютну похибку прямих вимірювань за формулою (1);
- знаходять відносну похибку вимірювань за відповідною формулою (див. таблицю);
- з формули $\varepsilon = \frac{\Delta x}{x_{\text{досл}}}$ визначають абсолютну похибку: $\Delta x = x_{\text{досл}} \cdot \varepsilon$;
- записують результат, вказуючи абсолютну похибку: $x = x_{\text{досл}} \pm \Delta x$;

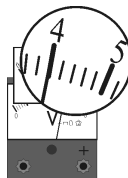
- записують інтервал, в якому знаходиться значення фізичної величини:

$$[x_{\text{досл.}} - \Delta x; x_{\text{досл.}} + \Delta x] .$$

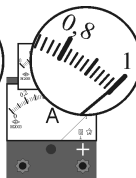
Розглянемо як приклад визначення внутрішнього опору джерела струму. Учень під'єднав вольтметр безпосередньо до джерела струму і, знявши покази (мал. 1), отримав значення електрорушійної сили $\mathcal{E}$. Після цього склав коло за схемою (мал. 12) і зняв покази вольтметра U (мал. 2) та амперметра I (мал. 3). $\mathcal{E} = 4,5 \text{ В}$, $U = 4 \text{ В}$, $I = 1 \text{ А}$.



Мал. 1



Мал. 2



Мал. 3

Клас точності вольтметра і амперметра $\gamma=2$. Межа вимірювань вольтметра 6 В, амперметра 1 А, отже $\Delta_i U = 0,12 \text{ В}$, $\Delta_i I = 0,02 \text{ А}$. Вимірювання проводяться один раз, тому випадкові похибки відсутні. Похибка відліку при визначенні електрорушійної сили $\Delta_e \mathcal{E} = 0,1 \text{ В}$, тому що стрілка не збігається з штрихом, а ціна поділки вольтметра 0,2 В. Похибка відліку при визначенні напруги і сили струму $\Delta_e U = 0$, $\Delta_e I = 0$, оскільки стрілка приладів збігається з штрихом.

Отже $\Delta \mathcal{E} = \Delta_i \mathcal{E} + \Delta_e \mathcal{E} = 0,12 \text{ В} + 0,1 \text{ В} = 0,22 \text{ В}$; $\Delta U = \Delta_i U + \Delta_e U = 0,12 \text{ В}$;

$$\Delta I = \Delta_i I + \Delta_e I = 0,02 \text{ А} . \quad r = \frac{\mathcal{E} - U}{I} = 0,5 \text{ Ом} . \quad \varepsilon = \frac{\Delta \mathcal{E} + \Delta U}{\mathcal{E} - U} + \frac{\Delta I}{I} .$$

$$\varepsilon = \frac{0,22 \text{ В} + 0,12 \text{ В}}{4,5 \text{ В} - 4 \text{ В}} + \frac{0,02 \text{ А}}{1 \text{ А}} = 0,7 . \quad \Delta r = r \cdot \varepsilon \approx 0,35 \text{ Ом} . \quad \text{Отже, значення опору}$$

$r = (0,5 \pm 0,35) \text{ Ом}$, тобто лежить в інтервалі $[0,15 \text{ Ом}; 0,85 \text{ Ом}]$.

Якщо в роботі необхідно визначити значення відомих (табличних) величин, зручно провести порівняння отриманих значень з табличними за формулою

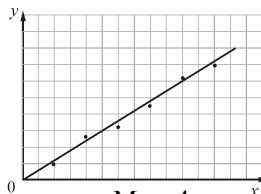
$$\varepsilon = \frac{|x_{\text{табл}} - x_{\text{досл.}}|}{x_{\text{табл}}} \cdot 100\% , \quad \text{де } \varepsilon - \text{величина, яка є оцінкою якості вимірювань і}$$

показує відхилення значення, знайденого експериментально, від табличного.

Коли перевіряють закономірності, що мають вигляд $a=b$, то висновок про якість експериментальної перевірки цієї рівності можна зробити, обчисливши

$$\text{величину } \varepsilon = \left| \frac{a}{b} - 1 \right| \cdot 100\% .$$

Часто підсумки експерименту відображають графічно. При побудові графіка слід пам'ятати, що його проводять у вигляді лінії, яка якнайближче проходить біля відмічених точок (мал. 4).



Мал. 4

Експериментальна робота № 2

Розширення меж вимірювання амперметра

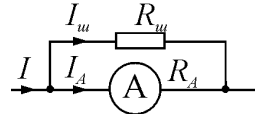
Мета: теоретично розрахувати та виготовити шунт до амперметра, щоб його межа вимірювань змінилася в n разів.

Обладнання: джерело струму, амперметр, реостат, ключ, мідна дротина діаметром 0,1 – 0,5 мм, лінійка, з'єднувальні провідники.

Хід і результати роботи

Ідея досліджень

Якщо сила струму в колі перевищує значення, яке можна виміряти амперметром, до нього паралельно під'єднують опір (шунт). Шунт – це, як правило, мідний дріт певної довжини. Величина n , яка показує у скільки разів збільшується межа вимірювань



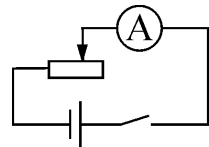
Мал. 8

амперметра, визначається із співвідношення $n = \frac{I}{I_A}$ (1),

де I – максимальне значення сили струму, яку повинен виміряти амперметр, I_A – межа його вимірювань.

Із законів паралельного з'єднання $I = I_A + I_{sh}$ (2),

$\frac{R_A}{R_{sh}} = \frac{I_{sh}}{I_A}$ (3) (мал. 8). За відомим опором амперметра R_A

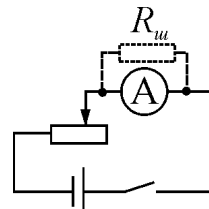


Мал. 9

можна визначити опір шунта. Із співвідношення (3)

$R_{sh} = \frac{I_A R_A}{I_{sh}}$. Із співвідношень (1) і (2) $n I_A = I_A + I_{sh}$,

$\frac{I_A}{I_{sh}} = \frac{1}{n-1}$. Тоді $R_{sh} = \frac{R_A}{n-1}$.



Мал. 10

Оскільки вимірювання незначних опорів амперметра і шунта викликає труднощі, в роботі пропонується визначити довжину мідної дротину l , використовуючи пробний шунт – дротину довжиною l_1 , за якого межа вимірювань змінюється в n_1 раз. Враховуючи, що $R_{sh} = \rho \frac{l}{S} = \frac{R_A}{n-1}$, а

$R_1 = \rho \frac{l_1}{S} = \frac{R_A}{n_1-1}$, одержимо $\frac{R_{sh}}{R_1} = \frac{n_1-1}{n-1}$, $l = \frac{n_1-1}{n-1} \cdot l_1$.

Для виконання роботи необхідно:

- скласти електричне коло за схемою (мал. 9) і, замкнувши його, реостатом встановити силу струму I ;
- приєднати паралельно до амперметра пробний шунт (мал. 10) довжиною l_1 (40 – 50 см), виміряти силу струму I_1 і визначити n_1 із співвідношення
$$n_1 = \frac{I}{I_1};$$
- для заданого вчителем значення n розрахувати довжину провідника l і під'єднати його паралельно до амперметра;
- **у присутності вчителя** провести вимірювання сили струму $I_{\text{досл}}$ з даним шунтом, визначити $n_{\text{досл}} = \frac{I}{I_{\text{досл}}}$ і оцінити точність проведених розрахунків.

Обробка результатів експерименту

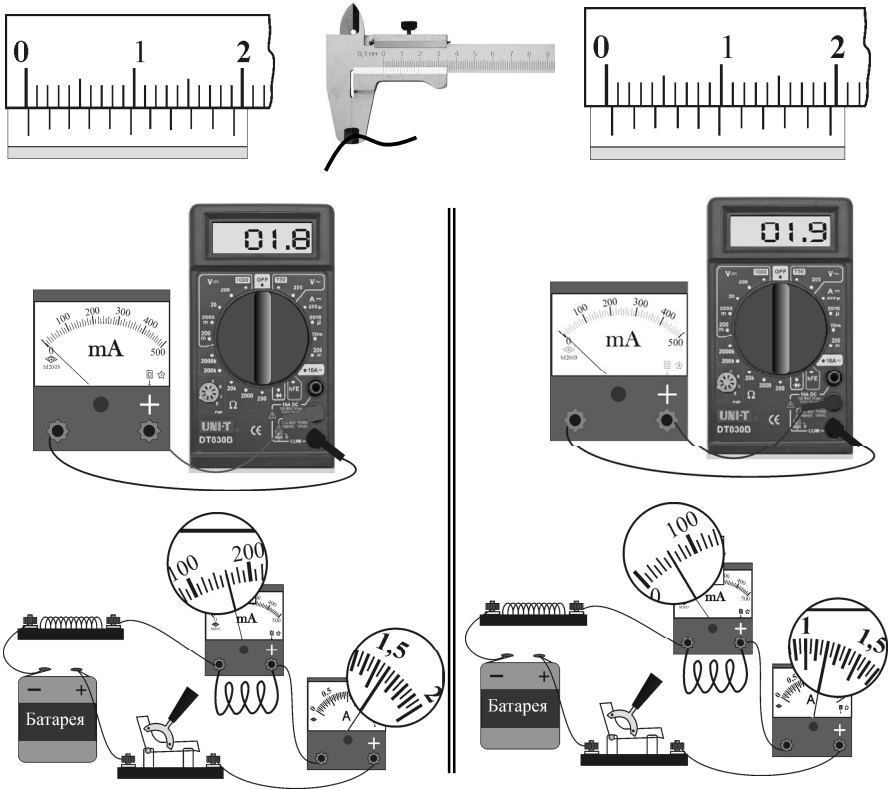
1. n (задає вчитель) = _____ I = _____
2. l_1 = _____ I_1 = _____ n_1 = _____
3. l = _____
4. $I_{\text{досл}}$ = _____ $n_{\text{досл}}$ = _____
5. Оцінка достовірності експериментальної перевірки:

$$\varepsilon = \left| \frac{n_{\text{досл}}}{n} - 1 \right| \cdot 100\% =$$

Висновок: _____

Контрольні завдання

1. Проводячи експеримент з розширення межі вимірювання міліамперметра в n разів, учень виміряв його внутрішній опір R_A . В якості шунта він взяв мідну дrottину, діаметр якої d виміряв штангенциркулем. Після цього розрахував довжину дrottини l , приєднав її до міліамперметра і ввімкнув у коло, під'єднавши контрольний амперметр для перевірки правильності вимірювань (мал. 11). Використовуючи результати експерименту, відображені на шкалах приладів, визначте відповідні величини.



Мал. 11

- а) $d =$ _____ б) $S =$ _____
 в) $R_{mA} =$ _____ г) $n =$ _____ д) $R_{ш} =$ _____
 е) $\rho =$ _____ є) $l =$ _____

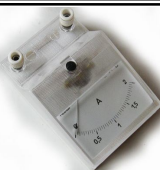
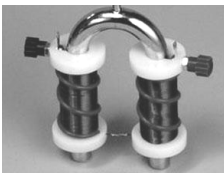
2. При розширенні межі вимірювання амперметра в n разів учень використав мідну дrottину (питомий опір ρ) довжиною l , перерізом S і опором $R_{ш}$ як шунт. Використовуючи дані, наведені в таблиці, і враховуючи, що символами I , I_A , R_A відповідно позначені сила струму в колі, межа вимірювань амперметра і його внутрішній опір, визначте значення невідомих величин у варіанті, вказаному вчителем.

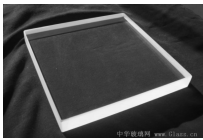
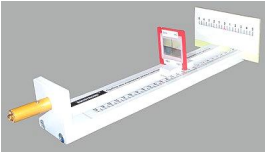
№ вар.	n	$\rho, \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$	$l, \text{м}$	$S, \text{мм}^2$	$R_{ш}, \text{Ом}$	$I, \text{А}$	$I_A, \text{А}$	$R_A, \text{Ом}$
1.		0,017	0,5		0,5		5	0,5
2.		0,017		0,034	0,2	20	4	
3.		0,017	0,15			10	2	0,6
4.	4	0,017	0,6			20		0,6
5.	10	0,017		0,034	0,1		2	
6.		0,017	0,9	0,051		15		0,6

Зapитання для усного заліку

1. Чому при розширенні межі вимірювання амперметра шунт вмикається паралельно до нього, а додатковий опір при розширенні межі вимірювання вольтметра – послідовно?
2. Чи змінюється ціна поділки шкали вимірювального приладу при збільшенні межі його вимірювання?
3. Чи можна амперметром, який використовується в лабораторній роботі, виміряти напругу в колі?
4. Межа вимірювання амперметра 2 А. Яке співвідношення має бути між опорами приладу й шунта, щоб можна було виміряти силу струму 4 А? 0,5 А?
5. Чому не рекомендують амперметр вмикати безпосередньо в мережу?

Обладнання, яке використовується в експериментальних роботах

Джерело струму e1, e2, e3, e4, e5, e6		Резистор e1	
Амперметр e1, e2, e3, e4, e5, e6		Вольтметр e1, e3, e4, e6	
Реостат (потенціометр) e1, e2, e3, e4, e5		Лампочка e1, e4, e8, e9	
З'єднувальні провідники e1, e2, e3, e4, e5, e6		Ключ e1, e2, e3, e4, e5, e6	
Лінійка e2, e7, e8, e10		Мідний дріт e2	
Посудина з двома електродами e5		Секундомір e5	
Терези з важками e5		Котушка з осердям e6	

Діод е6		Конденсатор е6	
Прозора посудина е7		Транспортир е7	
розсіювальна лінза е8		Екран е8	
Скляні пластинки е9		Мильні бульбашки е9	
Штанген- циркуль е9		Прилад для вимірювання довжини світлової хвилі е10	
Таця е11		Кольорові олівці е9, е11	
Монети е11		Пластикові стаканчики е11	