

## ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА КОРИСНОЇ ДІЇ ТЕПЛОВОГО ПРОЦЕСУ

Микола СЛЮСАРЕНКО, канд. пед. наук, доцент, завідувач кафедри фізики та методики її навчання Криворізького державного педагогічного університету  
Василь РЖЕПЕЦЬКИЙ, канд. фіз. – мат. наук, доцент, вчитель фізики КЗО  
«Криворізький обласний ліцей-інтернат для сільської молоді»  
Людмила БАЛАБАЄВА, вчитель фізики вищої категорії, вчитель-методист КЗО  
«Криворізький обласний ліцей-інтернат для сільської молоді»

В тематику експериментальних робіт 10 класу як профільного рівня, так і рівня стандарту, включена робота «Визначення ККД теплового процесу» [1]. Найбільш імовірно, мається на увазі ККД нагрівника.

Учні 10 класу вивчають теплові явища в повному обсязі, а з роботою і потужністю електричного струму вони ознайомились у 8 класі [2, 3]. Знайомі вони також з законом Джоуля-Ленца і з електронагрівними приладами.

Поняття ККД нагрівника у 8 класі дається на прикладі нагрівників, що використовують різні види палива [3]. З точки зору виконання правил техніки безпеки доцільно вивчати ККД електричних нагрівників при використанні низьковольтної мережі.

У фізичних кабінетах шкіл ще могли зберегтися нагрівники, які називаються «Спіраль-резистор С-1,5», розраховані на живлення постійним струмом напругою 4 В (опір спіралі-резистора 1,5 Ом). При підключенні до випрямляча ВУ-4, який живиться від мережі змінного струму напругою 36 В, в нагрівнику проходить струм 1,7 А при напрузі на ньому 2,7 В. Потужність струму в нагрівнику приблизно 4,6 Вт. Щоб нагріти 150 г води хоча б на 10°C потрібно 23 хв при ККД нагрівника 100 %. Реально цей час дорівнюватиме 25-30 хв, що явно нераціонально. Зменшувати масу води не можна: спіраль не буде достатньо занурена у воду. При зменшенні часу зменшуватиметься різниця температур, що приведе до зростання похибки вимірювань.

Проведені нами експерименти зі спіраллю С-1,5 показали також, що вода в калориметрі нагрівається у поверхневому шарі, тому термометр може показувати завищену температуру. Воду слід перемішувати хоча б по завершенню досліду.

Щоб забезпечити допустиму похибку вимірювань, треба нагріти воду приблизно на 20°C за проміжок часу біля 10 хвилин. Якщо маса води 200 г, то корисна потужність нагрівника повинна бути рівною

$$P_{\text{кор}} = \frac{c \cdot m \cdot \Delta t^{\circ}}{\tau} = \frac{4200 \cdot 0,2 \cdot 20}{600} = 28 \text{ Вт.}$$

При ККД 80 % потужність нагрівника повинна дорівнювати 35 Вт.

Типовий кип'ятильник має потужність 0,6 кВт при підключенні до мережі змінного струму 220 В. Мережа фізичного кабінету має напругу змінного струму 42 В (або 36 В). Оскільки учні 10 класу зі змінним струмом не знайомі,

до того ж амперметри і вольтметри змінного струму не завжди є у фізичному кабінеті школи, то можна рекомендувати такий підхід до розв'язання проблеми.

Ми рекомендуємо жити кип'ятильник постійним струмом від випрямляча, виготовленого за мостовою схемою (див. рис. 1). Діоди містка повинні бути розраховані на напругу до 100 В і струм 5 (10) А. Щоб можна було використовувати випрямляч і для інших робіт, де використовуються великі струми, діоди містка треба розташувати на радіаторах. При використанні у фільтрі випрямляча конденсатора ємністю від 500 мкФ на виході випрямляча буде забезпечена напруга близько 50 В (при навантаженні випрямляча згадуваним кип'ятильником). В нашому екземплярі випрямляча напруга на кип'ятильнику дорівнювала 53 В, а сила струму була рівна 0,65 А, що забезпечувало достатню потужність нагрівника (34 Вт).

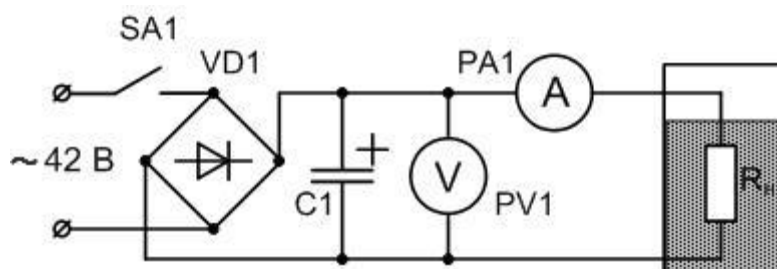


Рис. 1

Під час конструювання випрямляча здалося доцільним розташувати клеми для приєднання вольтметра, амперметра і нагрівника на верхній пластині випрямляча, що дозволяє швидко і без помилок зібрати схему. Зовнішній вигляд виготовленого блоку показаний на рис. 2.

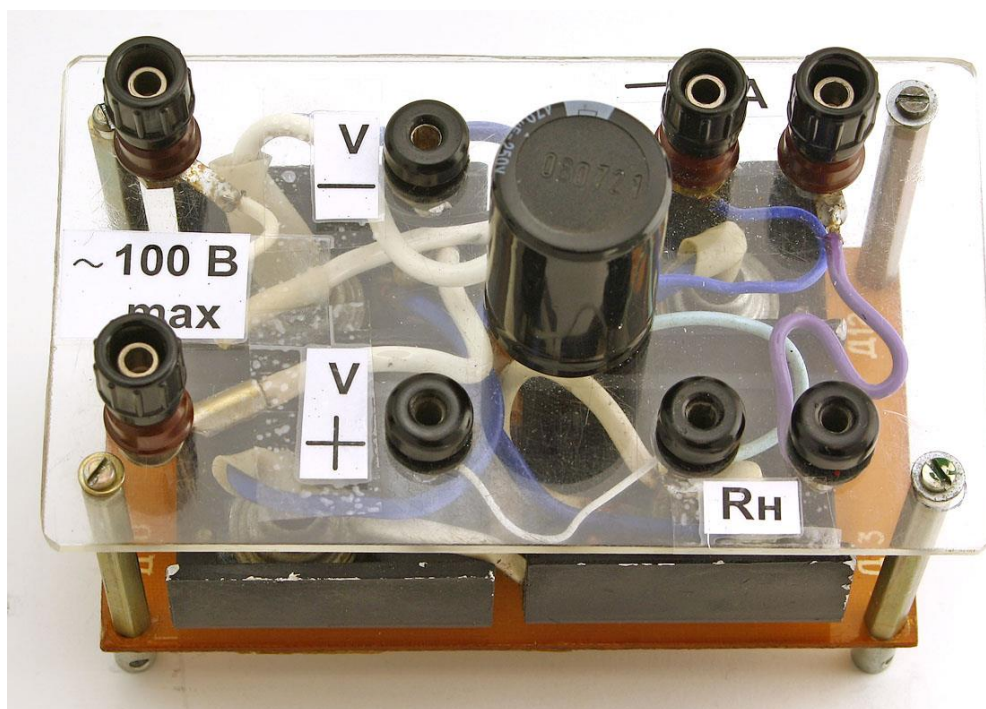


Рис. 2

Для вимірювання напруги на кип'ятильнику ми пропонуємо збільшити межу вимірювання лабораторного вольтметра на 6 В в 10 раз. Для цього додатковий опір вольтметра треба збільшити теж приблизно в 10 раз.

Про розширення меж вимірювання вольтметра і амперметра учням теж може бути відомо з курсу фізики 8 класу [3].

Опір рамки вольтметра дорівнює  $R_v = 435 \text{ Ом}$ , додатковий опір  $R_d = 5,67 \text{ кОм}$ . Сума опорів  $R_v + R_d = 6,105 \text{ кОм}$ . Суму опорів можна виміряти омметром від мультиметра, приєднавши його безпосередньо до клем вольтметра. Струм максимального відхилення стрілки дорівнює:

$$I_v = \frac{6 \text{ В}}{6,105 \text{ кОм}} = 0,983 \text{ мА.}$$

Для додаткових 54 В треба послідовно з  $R_d$  підключити резистор  $R_d^*$  (рис. 3):

$$R_d^* = \frac{54 \text{ В}}{0,983 \text{ мА}} \approx 55 \text{ кОм}$$

Серед резисторів 10% - ного ряду найближчий номінал 56 кОм. Серед резисторів цього номіналу є резистори як з більшим, ніж 56 кОм, так і з меншим значенням опору. Для екземпляра вольтметра, до якого ми підбирали додатковий опір, непоганий результат було одержано для резистора з опором 55,2 кОм.

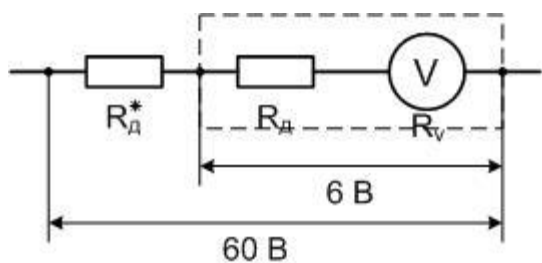


Рис. 3

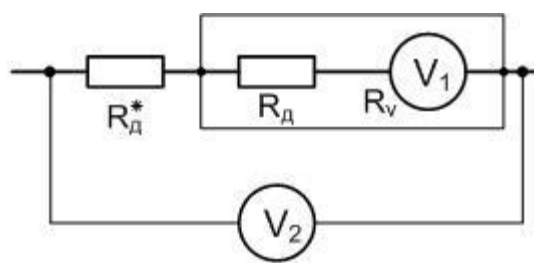


Рис. 4

Перевірку розширення меж легко здійснювати з допомогою мультиметра, приєднавши його до вольтметра за схемою рис. 4 ( $V_2$  – вольтметр від мультиметра,  $R_d^*$  – додатковий опір).

Опір 55,2 кОм був припаяний послідовно до резистора, який розміщувався всередині корпусу вольтметра. На рис. 5 показаний вольтметр зі знятою кришкою до переробки і після.

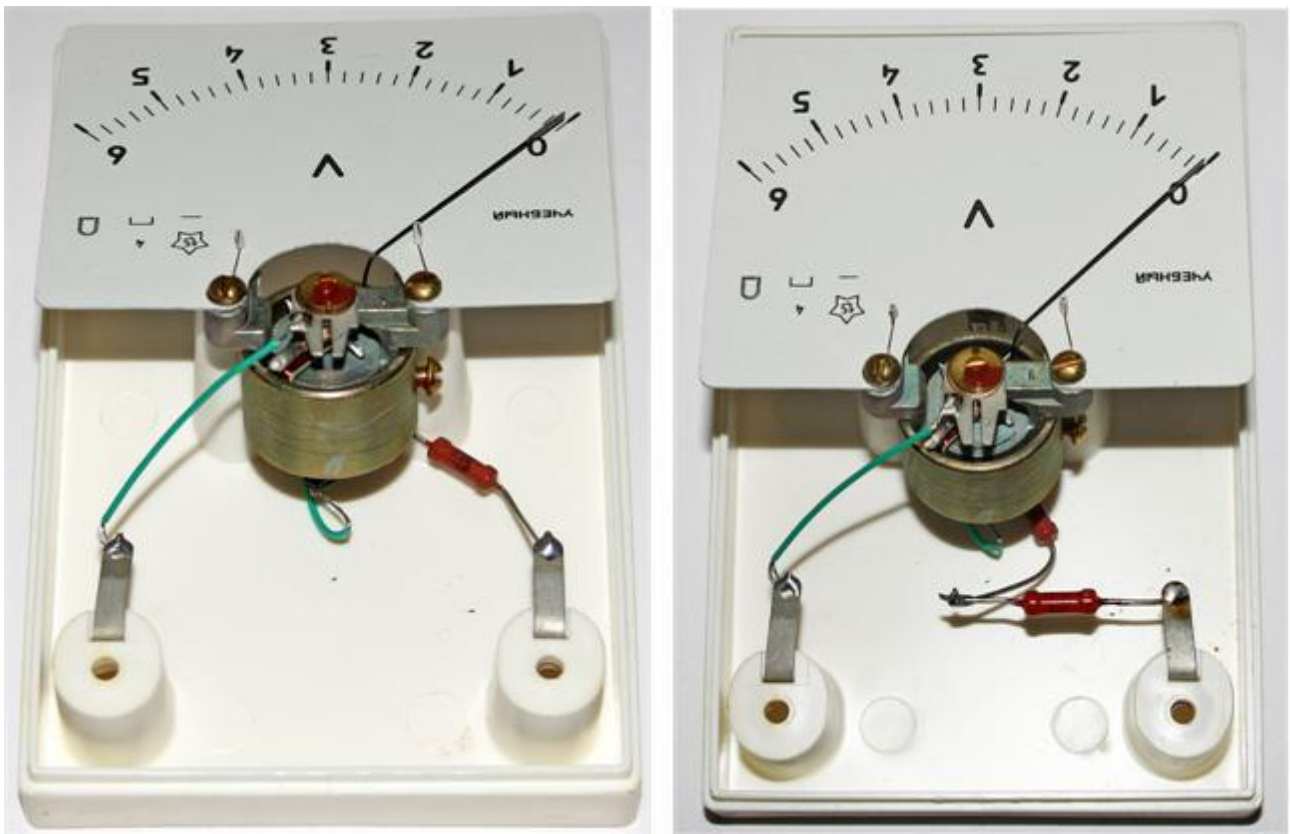


Рис. 5

Наведемо інструкцію до лабораторної роботи, розраховану на використання описаних приладів.

#### Робота практикуму

### ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА КОРИСНОЇ ДІЇ ТЕПЛОВОГО ПРОЦЕСУ

**Мета роботи:** Визначити коефіцієнт корисної дії процесу нагрівання води електричним нагрівником.

**Прилади і матеріали:** Випрямляч для лабораторної мережі напругою 42 В, амперметр постійного струму на 2 А, вольтметр постійного струму на 60 В, кип'ятильник 220 В 600 Вт, вимикач однополюсний, склянка з водою, калориметр, термометр, секундомір.

#### Теоретичні відомості

При нагріванні води електричним нагрівником робота електричного струму дорівнює:

$$A = I \cdot U \cdot \tau, \quad (1)$$

де  $I$  – сила струму,  $U$  – напруга,  $\tau$  – час проходження струму.

Кількість теплоти, яку отримала вода:

$$Q = c \cdot m \cdot (t_2^\circ - t_1^\circ), \quad (2)$$

де  $c$  – питома теплоємність води,  $m$  – її маса,  $t_1^\circ$  – початкова температура води,  $t_2^\circ$  – її кінцева температура.

Коефіцієнт корисної дії (ККД) нагрівника дорівнює відношенню кількості теплоти до роботи струму:

$$\eta = \frac{Q}{A} \cdot 100\%. \quad (3)$$

Нагрівати воду можна в склянці або в калориметрі. В ході роботи треба виконати нагрівання в обох посудинах, порівняти результати і зробити висновок.

Бажано також порівняти ККД процесу нагрівання при різних початкових температурах. Для цього можна продовжувати нагрівання на протязі 15 – 20 хвилин та обчислити ККД за першу половину часу і за другу.

### Опис установки

Постійний струм для живлення нагрівника одержимо випрямленням змінного струму лабораторної мережі напругою 42 В. Принципова схема установки зображена на рис. 1П. На цій схемі VD1 – випрямляч, C1 – конденсатор фільтра випрямляча, PV1 – вольтметр на 60 В, PA1 – амперметр на 2 А, R<sub>н</sub> – нагрівник. Монтажна схема установки зображена на рис. 2П. Клеми для приєднання вольтметра, амперметра і нагрівника встановлені на випрямлячі.

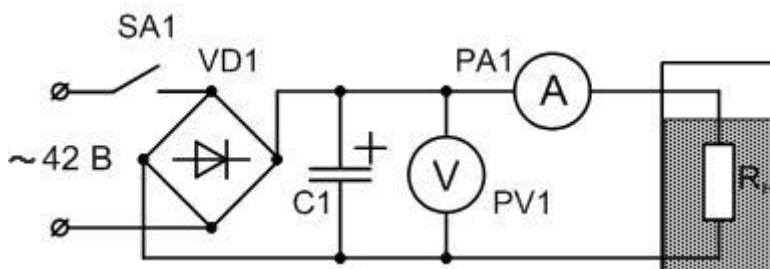


Рис. 1П

### Хід роботи

1. Зберіть установку за рис. 2П. В склянку налийте 200 г води кімнатної температури, опустіть у воду кип'ятильник і термометр.
2. Після перевірки установки вчителем з'єднайте схему з мережею кабінету напругою 42 В. Вимикач SA1 повинен бути розімкнений!
3. Запишіть в зошит покази термометра  $t_1^\circ$  і приготуйте до роботи секундомір.

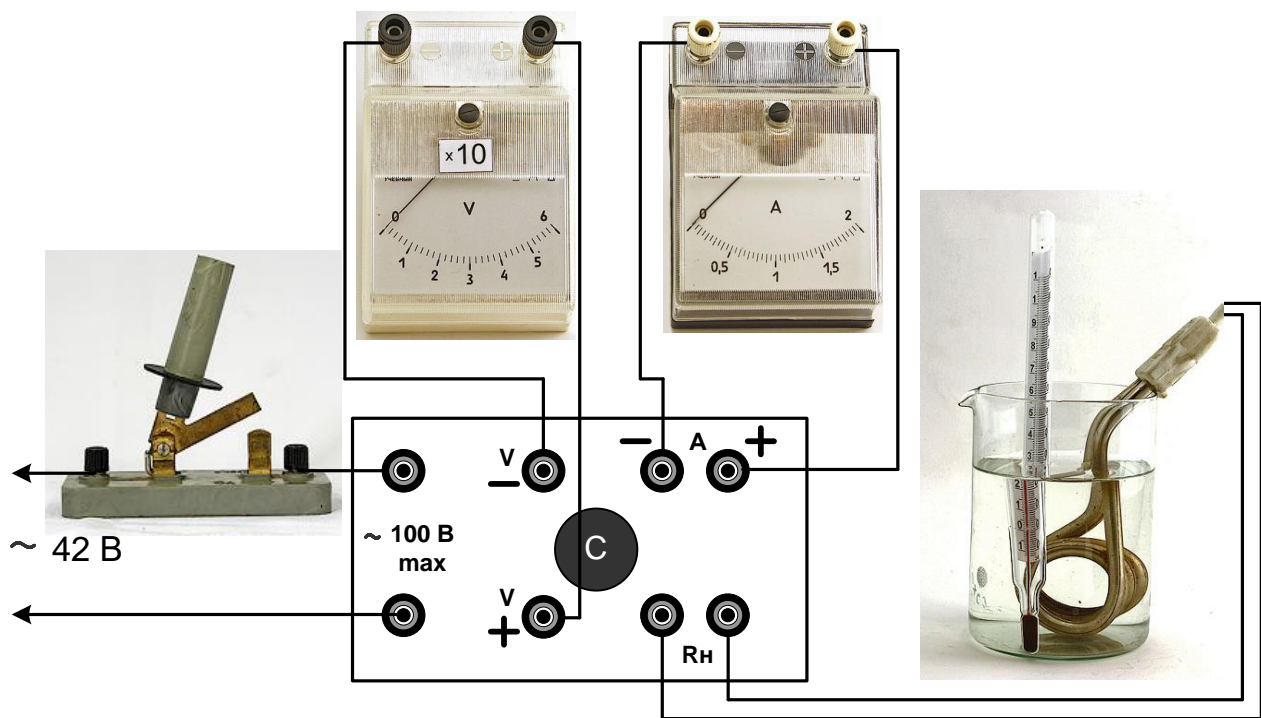


Рис. 2П

4. Одночасно замкніть вимикач SA1 і увімкніть секундомір. Запишіть в зошит покази амперметра  $I$  та вольтметра  $U$ . Покази за шкалою вольтметра треба помножити на 10.
5. Продовжуйте нагрівання впродовж 10 хвилин. Покази амперметра і вольтметра записуйте через кожні 2 хвилини, навіть якщо вони й не змінюються. Для обчислення роботи електричного струму використайте середні арифметичні значення.
6. Через 10 хвилин розімкніть вимикач і зупиніть секундомір. Запишіть покази секундоміра  $\tau$ . Спостерігайте за показами термометра: вони ще деякий час будуть збільшуватися. Запишіть максимальну температуру  $t_2^\circ$ .
7. За формулою (1), використавши середні значення сили струму і напруги, обчисліть роботу електричного струму  $A$ .
8. За формулою (2) обчисліть кількість теплоти, яку отримала вода. Питома теплоємність води  $c = 4200 \text{ Дж/кг}\cdot\text{К}$ .
9. За формулою (3) обчисліть ККД процесу нагрівання води в склянці.

Результати вимірювань і обчислень зручно подати і вигляді таблиці 1.

Для запису значень сили струму і напруги скористайтесь допоміжною таблицею 2.

Таблиця 1

№ досліду	$m, \text{ кг}$	$t_1, ^\circ\text{C}$	$t_2, ^\circ\text{C}$	$I_{\text{сер}}, \text{ А}$	$U_{\text{сер}}, \text{ В}$	$\tau, \text{ с}$	$Q, \text{ Дж}$	$A, \text{ Дж}$	$\eta, \%$
1									
2									
3									

Таблиця 2

№	1	2	3	4	5	Сер
$I, A$						
$U, B$						

10. Замість склянки візьміть калориметр, налейте в нього 200 г води кімнатної температури, опустіть в калориметр кип'ятильник і термометр. Дочекайтесь встановлення теплової рівноваги і запишіть значення початкової температури води  $t_1^\circ$ .
11. Повторіть пункти 4 – 9 ходу роботи. Допоміжну таблицю 2 доведеться накреслити ще раз.
12. Порівняйте значення ККД, які були отримані в дослідах, зробіть висновок.
13. При наявності часу продовжте дослідження, починаючи нагрівання від температури близько  $40^\circ C$ . Порівняйте ККД для однієї і тієї ж посудини в різних інтервалах температур. Зробіть висновок.

### Контрольні запитання

1. Що називають ККД нагрівника?
2. Від чого залежить ККД нагрівника?
3. Є електроплита і кип'ятильник однакової потужності. З їх допомогою нагрівають однакові маси води. Де вода закипить раніше?
4. Лабораторна електроплитка має потужність 300 Вт. На неї поставили каструлю з водою масою 5 кг. Проаналізуйте, як буде відбуватись процес нагрівання води в каструлі.

На закінчення наведемо приклад заповненої таблиці до лабораторної роботи (табл. 3).

Перший дослід був виконаний зі склянкою, другий – з калориметром.

Таблиця 3

№ досліду	$m, кг$	$t_1, ^\circ C$	$t_2, ^\circ C$	$I_{сер}, A$	$U_{сер}, B$	$\tau, c$	$Q, Дж$	$A, Дж$	$\eta, \%$
1	0,2	22	40,5	0,65	53	600	15540	20670	75,2
2	0,2	22	39	0,64	52,5	480	14280	16128	88,5

Якщо вчитель вважатиме доцільним обчислення похибок, то зауважимо наступне. Відносна похибка кількості теплоти складається з похибки маси і похибки різниці температур:

$$E_Q = \frac{\Delta Q}{Q} = \sqrt{\left(\frac{\Delta m}{m}\right)^2 + \left(\frac{\Delta t_1^2 + \Delta t_2^2}{(t_2 - t_1)^2}\right)} \quad (4)$$



Оскільки похибка маси значно менша похибки різниці температур, то першим доданком в (4) можна знехтувати. Абсолютна похибка термометра дорівнює  $\Delta t = 1^\circ$ . Використавши дані таблиці 3 (дослід 1), одержимо:  $E_Q = 0,076$  або приблизно 8%.

Відносна похибка роботи електричного струму складається з відносних похибок сили струму і напруги (відносною похибкою часу нехтуємо):

$$E_A = \frac{\Delta A}{A} = \sqrt{\left(\frac{\Delta I}{I}\right)^2 + \left(\frac{\Delta U}{U}\right)^2} \quad (5)$$

Абсолютна похибка сили струму  $\Delta I = 0,05$  А, напруги  $\Delta U = 1,5$  В (ми збільшили межу вимірювання вольтметра в 10 раз, в стільки ж збільшилася і абсолютна похибка). Обчислення дають  $E_A = 0,082$ , або приблизно 8%.

Відносна похибка ККД:

$$E_\eta = \frac{\Delta \eta}{\eta} = \sqrt{E_Q^2 + E_A^2} \quad (6)$$

$E_\eta = 0,112$  або 11%. 11% від 75,2 дорівнює приблизно 8. Тому результат визначення ККД в першому досліді треба записати так:

$$\eta = (75 \pm 8)\%$$

## ЛІТЕРАТУРА

1. Фізика. Навчальні програми для закладів загальної середньої освіти. Рівень стандарту: 3 години на тиждень у 10 та 11 класах. Профільний рівень: 6 годин на тиждень у 10 та 11 класах. Авторський колектив під керівництвом академіка Локтева В. М. (Наказ МО України від 07.12.2017).

2. Сиротюк В. Д. Фізика : підруч. для 8-го кл. загальноосвіт. навч. закл. / В. Д. Сиротюк. – Київ : Генеза, 2016. – 192 с. : іл.

3. Фізика : підруч. для 8 кл. загальноосвіт. навч. закл. / [В. Г. Бар'яхтар, Ф. Я. Божинова, С. О. Довгий, О. О. Кірюхіна] ; за ред. В. Г. Бар'яхтара, С. О. Довгого. – Х. : Вид-во «Ранок», 2016. – 240 с. : іл., фот.

4. Фізичний практикум для 10 класів шкіл з профільним вивченням фізики : [методичні рекомендації] / В. П. Ржепецький, М. А. Слюсаренко, Л. В. Балабаєва. – Кривий Ріг : ДВНЗ «КНУ» КПІ, 2016. – 62 с.

URI (режим доступу): <http://elibrary.kdpu.edu.ua/handle/0564/387>