Секрети завдань відкритої форми з короткою відповіддю, які пропонують у тестах з фізики при проведенні зовнішнього незалежного оцінювання якості освіти (ЗНО)

В Україні для абітурієнтів вишів упроваджено зовнішнє незалежне оцінювання якості освіти. Існують такі вищі навчальні заклади або їх окремі факультети, для вступу до яких необхідною умовою є наявність відповідного сертифікату з фізики.

Тест з фізики містить завдання трьох типів: 1) з вибором однієї правильної відповіді (з чотирьох запропонованих); 2) на встановлення відповідності (логічні пари); 3) відкритої форми з короткою відповіддю. У завданнях перших двох типів ймовірність відгадування правильної відповіді доволі висока. Так, при виборі навмання однієї відповіді з чотирьох запропонованих вона становить 0,25 (25%). А ось третій тип завдань фактично не залишає можливості набирати бали на простому відгадуванні (не читаючи навіть умови!).

Досвід проведення тренувальних тестувань показує, що бланки відповідей у тих частинах, які стосуються перших двох типів завдань, майже завжди заповнені. Інша справа, на скільки правильно обрані відповіді. Що ж до третього типу завдань, то вони часто залишаються без будь-яких відповідей. Хоча з фізичної точки зору не можна сказати, що завдання третього типу складніші, ніж завдання першого типу.

Ми маємо на меті на конкретних прикладах показати, що готуватися до виконання завдань відкритої форми з короткою відповіддю має сенс, що вони не складніші завдань з вибором відповіді, а також, що їх виконання при належній підготовці не забирає багато часу. Конкретні завдання, які будуть нами розглядатися, взяті з матеріалів, розміщених на сайті Центру зовнішнього незалежного оцінювання якості освіти [15]. Йдеться про зразки завдань, які пропонувалися абітурієнтам 2010 року для підготовки до ЗНО.

Всі завдання відкритої форми з короткою відповіддю, за винятком одного, були поділені нами на п’ять категорій, до яких увійшло від 8 до 11 завдань. У подальшому викладі кожне завдання буде ретельно прокоментовано, але кінцеву відповідь ми намагалися не наводити, залишаючи можливість читачеві зробити останній, хоча б невеличкий, крок у розв’язанні самостійно. Будуть також надані загальні рекомендації до кожної з п’яти категорій завдань.

Одне завдання, яке не увійшло в жодну категорію, ми докладно прокоментуємо як приклад ситуації, коли умова завдання, наведена у тесті, не дає можливості однозначно обрати математичну модель, необхідну для розв’язання фізичної задачі. Дамо рекомендації, що робити у такому випадку.

1. Завдання, де у коротких формалізованих умовах явно натякають на фізичну формулу, яка є розрахунковою, або з якої безпосередньо можна одержати формулу, необхідну для числових розрахунків

Виконання кожного із завдань, які ми віднесли до цієї категорії, у більшості випадків не вимагає більше двох хвилин. Треба навчитися розв’язувати їх усно, записуючи тільки кінцеві відповіді. Подібна методична вказівка може суперечити тому, чого навчали у школі, вимагаючи розписувати кожен крок, починаючи з письмової фіксації умови задачі. Але результат цієї частини тестування залежить виключно від кількості правильно знайдених числових значень шуканих величин у тих одиницях, які вказані в умовах задач. Отже, витрачати час на зайві записи немає сенсу.

Прокоментуємо 9 конкретних завдань, які були оприлюднені на сайті [15]. Нумерацію завдань ми введемо власну, але у дужках будемо вказувати ті номери, під якими вони йшли у матеріалах, розміщених на сайті.

1.1 (174). Рух тіла описується рівнянням $x = -5 + 2t + 9t^2$, де всі величини виражені в одиницях SI. Визначте (у м/с^2) прискорення, з яким рухається тіло.

Коментар. Тут явно натякають на формулу $x = x_0 + \upsilon_{x0}t + \frac{a_x t^2}{2}$ для координати при рівноприскореному русі вздовж осі *OX*. Порівняння її з формулою з умови завдання дає, що $\frac{a_x}{2} = 9$ ì ·ñ$^{-2}$. Скільки секунд потрібно, щоб обчислити $\grave{a}_x$?

1.2 (186). Температура в нагрівачі теплового двигуна дорівнює 227 °С, температура холодильника дорівнює 27 °С. Визначте (у відсотках) максимально можливе значення ККД теплового двигуна.

Коментар. Максимально можливе значення ККД визначається за відомою формулою для циклу Карно: $\eta = \frac{T_{\text{í}} - T_{\text{х}}}{T_{\text{í}}} \cdot 100\%$. Але треба значення температур підставляти за шкалою Кельвіна! Не забути про це допомагає вимога не користуватися калькуляторами під час тестування. Спроба підставляти до формули 227° С і 27° С замість 500 К і 300 К підштовхне на правильний шлях!

1.3 (204). Визначте магнітний потік (у Вб), що виникає у котушці, індуктивність якої 0,05 Гн, а сила струму у витках дорівнює 2 А.

1.4 (207). Визначте силу струму (в амперах) у котушці індуктивністю 0,05 Гн, якщо в ній виникає магнітний потік 0,1 Вб.

Коментар. Обидва завдання натякають на формулу $\hat{\text{O}} = LI$, за якою вводиться індуктивність як характеристика котушки, що є коефіцієнтом пропорційності між магнітним потоком і силою струму. Але у першому завданні ця формула і є розрахунковою, а у другому її треба подати у вигляді $I = \frac{\hat{\text{O}}}{L}$ і лише потім підставляти числові значення, наведені в умові.

1.5 (205). Визначте індуктивність котушки, якщо відомо, що по ній протікає струм 20 А, а енергія магнітного поля котушки становить 100 Дж. Відповідь запишіть у генрі.

Коментар. Мова йде про відому формулу для енергії магнітного поля котушки: $W_L = \frac{LI^2}{2}$, з якої треба одержати розрахункову формулу для цього конкретного завдання: $L = \frac{2W_L}{I^2}$.

1.6 (211). Зображення предмета, розміщеного перед тонкою збиральною лінзою на головній оптичній осі на відстані 30 см, утворюється з іншого боку лінзи на відстані 60 см. Визначте фокусну відстань лінзи (у сантиметрах).

1.7 (212). Збиральна тонка лінза з фокусною відстанню 20 см утворює зображення предмета, розміщеного перед нею на головній оптичній осі, на відстані 60 см. Визначте відстань (у сантиметрах), на якій розміщено предмет перед лінзою.

Коментар. Автор цих двох завдань явно мав на увазі формулу тонкої лінзи: $\frac{1}{F}=\frac{1}{d}+\frac{1}{f}$. Причому вважав, що $F=20$ сì, $d=30$ сì, а $f=60$ сì. У першому завданні він приховав значення *F*, а у другому — значення *d*. Можна було б "створити" і третє завдання, приховавши значення *f*. Але легко так говорити, коли у нас є умови принаймні двох з трьох можливих завдань. А як учню, який працює над виконанням завдань тесту, дізнатися, що 60 см — це відстань між зображенням і лінзою, а не між зображенням і предметом? І тут знов таки допоможе заборона на калькулятори! Корисно знати, що рівність $\frac{1}{6}+\frac{1}{3}=\frac{1}{2}$ часто експлуатується в фізичних задачах, коли треба одержати "красиві" числові значення. Це згодиться і для паралельного з'єднання резисторів, і для послідовного конденсаторів (а також пружин!)... Причому ця рівність може перетворитися не лише в $\frac{1}{20}=\frac{1}{30}+\frac{1}{60}$, або в $\frac{1}{0{,}2}=\frac{1}{0{,}3}+\frac{1}{0{,}6}$. Вона може з'явитися, наприклад, у вигляді $\frac{1}{12}+\frac{1}{6}=\frac{1}{4}$. У тригонометрії часто доводиться користуватися тим, що $\frac{\pi}{6}+\frac{\pi}{3}=\frac{\pi}{2}$ ($30^0+60^0=90^0$). І взагалі, $1k+2k=3k$. Щоб одержати чергове "красиве" співвідношення, треба лише обрати правильне значення *k*. Про такі "секрети" складання завдань відкритої форми з короткою відповіддю не завадило б знати і учням, які готуються до тестування. Тоді, щоб одержати правильне числове значення шуканої величини, іноді навіть не доведеться виводити кінцеву формулу (на кшталт $F=\frac{f\cdot d}{f+d}$ чи $d=\frac{F\cdot f}{f-F}$).

Треба зазначити, що питання про те, яку відстань мав на увазі автор задачі (між зображенням і лінзою чи між зображенням і предметом), можна з'ясувати за допомогою фізичних міркувань принаймні у задачі 1.7 (212), де вказана фокусна відстань (20 см). Можна довести, що відстань між предметом і дійсним зображенням буде не менше чотирьох фокусних відстаней (доведіть це самостійно!). Отже, у нашому випадку ця відстань не може бути менше 80 см, а 60 < 80. Що ж до задачі 1.6 (211), де в умові задається відстань від предмета до лінзи (30 см), то там між предметом і зображенням цілком може бути 60 см. Дійсно, це означатиме, що лінза розташована точно посередині між предметом і екраном, на якому отримали зображення. Таке буває, коли предмет знаходиться на подвійній фокусній відстані від лінзи. Отже, $F=15$ см. На нашу думку, такої неоднозначності сприйняття умови задачі під час проведення ЗНО краще було б уникати.

1.8 (216). Укажіть період піврозпаду радіоактивного елементу (в добах), якщо кількість його атомів зменшилась у 8 разів за 15 діб.

Коментар. Формула, на яку натякають в умові задачі, така: $N = N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T}}$. У даному випадку $\frac{N_0}{N} = 8$, а $t = 15$ діб. Але не треба поспішати розв'язувати це рівняння так, як вчили на уроках математики з використанням логарифмів. Краще скористатися тим, що $8 = 2^3$. І задача стає усною!

1.9 (189). У капілярній трубці радіусом 0,5 мм рідина піднялась на 11 мм. Визначте (у кг/м^3) густину даної рідини, якщо її коефіцієнт поверхневого натягу становить 0,022 Н/м. Вважайте, що g = 10 м/с^2.

Коментар. У цьому завданні явно натякають на те, що треба згадати формулу для висоти підйому рідини в капілярі за умови повного змочування. Щоправда, про цю умову "забули" сказати. Отже, $h = \frac{2\sigma}{\rho g r}$ (без $\cos\theta$ — множника, який враховує, що крайовий кут може дорівнювати не лише нулю, як при повному змочуванні). Звідси можна виразити ρ через відомі h, g, r, σ. Числові значення підібрані так, щоб усе було "красиво".

Зазначимо, що не обов'язково пам'ятати формулу для висоти підйому рідини в капілярі у такому вигляді, як її наводять у підручниках з фізики. Достатньо згадати, що сила поверхневого натягу дорівнює σl, де l у даному випадку $2\pi r$. І ця сила "витягує" стовпчик рідини, на який діє сила тяжіння mg, де $m = \rho \cdot (\pi r^2 h)$. Отже, вихідною формулою могла бути така: $\sigma \cdot 2\pi r = \rho \cdot (\pi r^2 h) \cdot g$. Тут ми спеціально нічого не скорочували, щоб було видно, як вона з'явилася.

Загальний коментар до завдань першого типу. Як би там не натякали в умовах завдань на конкретні фізичні формули, у більшості випадків їх треба все ж таки знати. Особливо це стосується формул-означень, за допомогою яких у фізичні теорії вводять нові величини, та формул, у яких відбиваються фізичні закони.

Важливими також є формули для енергій. У розглянутих прикладах $\hat{O} = LI$ — формула-означення для введення поняття індуктивності котушки, а $W_L = \frac{LI^2}{2}$ — формула для енергії магнітного поля цієї котушки при проходженні електричного струму силою I. Звернемо увагу на той факт, що за допомогою цих формул можна одержати ще дві формули для енергії магнітного поля котушки зі струмом: $W_L = \frac{\hat{O} I}{2}$ і $W_L = \frac{\hat{O}^2}{2L}$. Зрозуміло, що і на ці формули без проблем можна "створити" завдання також ж типу, як ми наразі розглядаємо. Для запам'ятовування формул з електродинаміки дуже корисно знати про механіко-електродинамічну аналогію, про яку зазвичай у шкільному курсі згадують, коли звертають увагу на математичну ідентичність рівнянь, що описують коливання у механіці та в електродинаміці.

Тоді на формулу $\hat{O} = LI$ можна подивитися як на аналог знайомої з механіки формули для імпульсу $(\vec{p} = m\vec{\upsilon})$, а на $W_L = \frac{LI^2}{2}$ як на аналог формули для кінетичної енергії матеріальної точки $(E_k = \frac{m\upsilon^2}{2})$.

Отже, для швидкого виконання завдань, віднесених нами до першого типу, треба провести ревізію всіх формул, що зустрічаються у шкільному курсі фізики, і побудувати власну систему їх пригадування за тими словами-термінами, які містяться у текстах умов подібних завдань. Робота над такою системою може відкрити для учнів багато цікавих і змістовних зв'язків між формулами, які вони раніше ніяк між собою не пов'язували у своїй свідомості. Треба намагатися встановити якомога більше таких зв'язків. Це дозволить сприймати фізику цілісно, а не як купу розрізнених формул, які потрібно визубрити. Разом з тим буде зникати страх забути якусь конкретну формулу.

Ми вже демонстрували на прикладі формули для висоти підйому рідини в капілярі, що її легко відновити у пам'яті з міркування рівності сили поверхневого натягу і сили тяжіння. А для тих, хто пам'ятає формулу для тиску Лапласа, пов'язаного з викривленням поверхні рідини ($p_Л = \sigma\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)$), є ще один шлях: треба цей тиск прирівняти до гідростатичного $(\rho g h)$. Враховуючи, що $R_1 = R_2 = r$, отримаємо $\frac{2\sigma}{r} = \rho g h$. Звідки без проблем пригадується формула $h = \frac{2\sigma}{\rho g r}$.

Коментуючи перше завдання про визначення прискорення, ми рекомендували рівняння, що надається в умові, порівняти з відомим рівнянням для координати при рівноприскореному русі. Але є й інший шлях, який спирається на знання того, що проекція прискорення на вісь *OX* є другою похідною координати *x* за часом $(a_x = \frac{d^2x}{dt^2})$. І цей шлях більш загальний. Ним можна скористатися не лише у випадку рівноприскореного руху. Створюючи власну систему пригадування фізичних формул треба звертати особливу увагу на межі застосування кожної конкретної формули, розрізняти між собою формули-означення, формули, у яких відбиті фундаментальні закони природи, наближені формули емпіричних законів, формули, які фактично є кінцевими відповідями окремих важливих фізичних задач.

Зазначимо, що більшість формул, які з'являються у шкільних підручниках фізики без доведення, виводяться з більш фундаментальних (яких не так уже й багато). Треба наголосити, що математичний апарат, необхідний для цього, у більшості випадків вивчається в курсі шкільної математики. Щоправда, з помітним запізненням порівняно з тим, коли він потрібен на уроках фізики. Але все ж таки під час підготовки до тестування з фізики і повторення матеріалу всього шкільного курсу доцільно скористатися цим математичним апаратом для виведення більшості формул, які наводять у шкільних підручниках в готовому вигляді. Це безумовно сприятиме створенню тієї самої власної системи пригадування фізичних формул, про яку йшлося.

2. Завдання, у яких досить великий за обсягом текст умови без ускладнень "згортається" в одне рівняння

Завдання цього типу будуть забирати у два-три рази більше часу, ніж попереднього. По-перше, текст умови доведеться довше читати, щоб зрозуміти, про що йдеться. Подруге, прямі натякання на те, які фізичні формули треба записати, частіше за все будуть відсутні.

Розглянемо 8 завдань, які ми віднесли до завдань цього типу.

2.1 (177). Тіло, маса якого дорівнює 990 г, лежить на горизонтальній поверхні. У тіло влучає куля масою 10 г і застрягає в ньому. Швидкість кулі дорівнює 600 м/с і напрямлена горизонтально. Визначте, з якою швидкістю (у м/с) почне рухатися тіло після попадання в нього кулі. Тертям між тілом та поверхнею можна знехтувати.

2.2 (178). Тіло, маса якого дорівнює 990 г, лежить на горизонтальній поверхні. У нього влучає куля масою 10 г і застрягає в ньому. Швидкість кулі напрямлена горизонтально. Визначте (у м/с) початкову швидкість кулі, якщо після її влучання в тіло, воно починає рухатися зі швидкістю 6 м/с. Тертям між тілом та поверхнею можна знехтувати.

Коментар. Зрозуміло, що за текстами умов цих задач-близнючок стоїть однакове рівняння, а різниця полягає в тому, які величини вважаються відомими, а яка — шуканою. Однак, прямої вказівки на те, що треба скористатися законом збереження імпульсу немає. З досить великого за обсягом тексту умови задачі можна дізнатися, що йдеться про рух уздовж горизонтальної прямої. Це дозволяє записати закон збереження імпульсу одразу в скалярній формі (у проекціях на ту саму горизонтальну пряму). А числа підібрані так, що відповідь можна писати одразу, бо у скільки разів збільшилася маса (у скільки разів сумарна маса кулі та тіла більше маси кулі), у стільки ж разів зменшиться швидкість.

2.3 (187). До посудини, де знаходилося 5 кг води, температура якої дорівнює 20 °С, вливають 3 кг окропу. Визначити температуру (у градусах Цельсія) води після встановлення теплової рівноваги. Теплоємністю посудини знехтуйте.

2.4 (188). До посудини, у якій знаходилося 5 кг води, температура якої дорівнює 20 °С, вливають деяку кількість окропу. Визначте масу (в кілограмах) влитого окропу, якщо після встановлення теплової рівноваги температура суміші становила 50 °С. Теплоємністю посудини знехтуйте.

Коментар. Ці дві задачі-близнючки — на так зване рівняння теплового балансу. І якщо слово “*баланс*” нагадує комусь про бухгалтерію, то ця асоціація у даному випадку цілком доречна. В умові сказано, що теплоємністю посудини можна знехтувати. Але в умові **не** сказано, що можна знехтувати теплообміном з оточуючим середовищем. Це треба додатково припустити (бо задача не розв’яжеться). Тоді можна буде записати таке бухгалтерське рівняння: $m_{\tilde{a}}c(t_{\tilde{a}}-t)=m_{\tilde{o}}c(t-t_x)$, тобто яку кількість теплоти віддасть гаряча вода, охолоджуючись від початкової температури $t_{\tilde{a}}$ до кінцевої t, стільки ж отримає холодна, нагріваючись від $t_{\tilde{o}}$ до t. У наведеному рівнянні через c позначена питома теплоємність води. Без зайвих слів вважається, що вона не залежить від температури.

Зазначимо, що рівняння теплового балансу можна було б написати так: $m_{\tilde{a}}ct_{\tilde{a}}+m_xct_x=(m_{\tilde{a}}+m_x)ct$. Це схоже на закон збереження енергії. Такий запис вигідно відрізняється тим, що він легко узагальнюється на випадок змішування декількох порцій води з різними температурами. Якщо не писати однакову для всіх доданків питому теплоємність води, то узагальнене рівняння буде виглядати так: $\sum_{i=1}^{n} m_i t_i = t\sum_{i=1}^{n} m_i$. Узагальнення на випадок змішування рідин з різними питомими теплоємностями також не викликає ускладнень, якщо не буде фазових перетворень та хімічних реакцій.

На останок додамо, що слово "окріп" тут треба сприймати так: "початкова температура гарячої води становила 100° C ". Про використання слів, які навряд чи можна назвати фізичними термінами, але які відіграють роль ключових в умовах фізичних задач, ми вже писали, коли звертали увагу на необхідність навчати учнів специфічної мови фізичних задач, без знання якої доволі складно успішно їх розв'язувати.

2.5 (192). Коли працює телевізор, електрони вилітають з електронної гармати кінескопа, що має нульовий потенціал, і досягають анода, потенціал якого дорівнює 25 кВ. Визначте роботу (у джоулях), виконану електричним полем при переміщенні електронів, якщо загальний заряд, який вони перенесли за час перегляду реклами, дорівнює 0,01 Кл.

2.6 (193). Коли працює телевізор, електрони вилітають з електронної гармати кінескопа, що має нульовий потенціал, і досягають анода. Знайдіть потенціал анода (у кіловольтах) за умови, що робота, виконана електричним полем при переміщенні електронів, дорівнює 250 Дж, а загальний заряд, який перенесли електрони за час перегляду реклами, дорівнює 0,01 Кл.

Коментар. Порівняємо першу з цих двох задач з такою: "Визначте роботу (у джоулях), виконану електричним полем при переміщенні заряду в 0,01 Кл від однієї точки до іншої, між якими різниця потенціалів становить 25 кВ. Роботу вважати додатною". Ті, кого не злякала "електронна гармата кінескопа", погодяться, що принаймні відповіді у цих задачах будуть співпадати. Але таку задачу ми б віднесли до першого типу, де у короткій формалізованій умові явно натякають на формулу-означення, за якою вводять поняття напруги через роботу і заряд: $U = \dfrac{A}{q}$.

Друга задача з цієї пари експлуатує ту ж саму формулу-означення. Залишається звернути увагу лише на те, що 1 кВ = 10^3 В.

2.7 (214). Монохроматичне світло падає на поверхні двох різних металів. Для першого з них робота виходу електронів дорівнює 1,1 еВ, а для другого вона дорівнює 2,9 еВ. Визначте максимальну швидкість фотоелектронів, що вилітають із другого металу, якщо для першого металу ця швидкість дорівнює 1000 км/с. Вважайте, що маса електрона дорівнює $9\cdot 10^{-31}$ êã , 1 åÂ $= 1{,}6\cdot 10^{-19}$ Äæ. Відповідь запишіть у кілометрах за секунду.

Коментар. Зрозуміло, що йдеться про зовнішній фотоефект, і нам потрібна формула Ейнштейна для фотоефекту. Але в умові не задана частота світла, яка входить у згадану формулу. Для розв'язування задачі виявляється суттєвим те, що на поверхні обох металів падає одне й те саме монохроматичне світло (тобто з фіксованою частотою). Це дозволяє прирівняти праві частини рівнянь Ейнштейна, записаних окремо для кожного металу: $A_1 + \dfrac{m\upsilon_1^2}{2} = A_2 + \dfrac{m\upsilon_2^2}{2}$. Звідки маємо $\upsilon_2 = \sqrt{\upsilon_1^2 - \dfrac{2(A_2 - A_1)}{m}}$. Для зручності подальших обчислень ми записали саме у такому вигляді (а не $\sqrt{\upsilon_1^2 + \dfrac{2(A_1 - A_2)}{m}}$), бо $A_2 > A_1$.

На прикладі цієї задачі розглянемо ще один “секрет”, пов’язаний з розрахунками без калькуляторів. Оскільки робота виходу задана фактично в джоулях (бо вказано, що $1\,\text{åÂ} = 1{,}6\cdot10^{-19}\ \text{Äæ},$ а маса електрона в кілограмах, то швидкість υ_1 доведеться підставляти у метрах за секунду, а потім кінцевий результат (швидкість υ_2) за вимогою завдання переводити в км/с. Тому $\upsilon_2 = \sqrt{10^{12} - \dfrac{2\cdot(2{,}9-1{,}1)\cdot1{,}6\cdot10^{-19}}{9\cdot10^{-31}}}\cdot10^{-3}$ (км/с). Як тут без калькулятора? А “секрет” криється у “піфагорових трійках”, на кшталт (3, 4, 5): $3^2 + 4^2 = 5^2$, або (5, 12, 13): $5^2 + 12^2 = 13^2$. Зрозуміло, що множення кожного числа з “трійки” на однакове ціле число дає нову “трійку”. Наприклад, множенням на 2 з першої трійки одержимо нову — (6, 8, 10): $6^2 + 8^2 = 10^2$. Виникає гіпотеза, що числа підібрані автором задачі так, щоб можна було скористатися саме цією трійкою: $\sqrt{10^2 - (36\ \textit{або}\ 64)} = 8\ \textit{або}\ 6$.

Тому має сенс спробувати залишити під знаком квадратного кореня 10^2 замість 10^{12}, тобто винести 10^5. Одночасно замість (2,9–1,1) напишемо 1,8.

Отже, $\upsilon_2 = 10^5\cdot\sqrt{10^2 - \dfrac{2\cdot1{,}8\cdot1{,}6\cdot10^{-19}}{9\cdot10^{-31}}\cdot10^{-10}}\cdot10^{-3}$ (км/с).

Здається, що другий доданок під знаком кореня більше схожий на 64, ніж на 36. Дійсно, $2\cdot(\frac{18}{9})\cdot16\cdot10^{-2-19-10+31} = 64.$ Таким чином, $\upsilon_2 = 10^5\cdot\sqrt{100-64}\cdot10^{-3}$(км/с) = …

2.8 (203). Насос щогодини подає на висоту 36 м воду об’ємом 2,2 м^3. Сила струму в електродвигуні насоса, підключеного до мережі постійного струму з напругою 110 В, дорівнює 4 А. Визначте ККД насоса. Густина води дорівнює 1000 кг/м^3. Вважайте, що g = 10 м/с^2. Відповідь запишіть у відсотках.

Коментар. Не дивлячись на велику кількість даних, розрахункова формула виписується одразу, як і у багатьох задачах на визначення ККД: у чисельник пишемо вираз для корисної роботи, у знаменник — виконану, а потім множимо на 100 %, якщо треба відповідь записати у відсотках. Тут корисною буде робота, що відповідає збільшенню потенціальної енергії певного об’єму води, а виконана буде розраховуватися через відповідну формулу з електрики. З числовими значеннями величин не має бути жодних проблем, якщо слово “щогодини” прочитати як “за $3{,}6\cdot10^3$ с”, а потім не поспішати перемножувати числа окремо в чисельнику і в знаменнику. Тоді можна знайти щось спільне в 36 метрах і 3600 секундах, а також у 2,2 м^3 і 110 В. Після цього обчислення не вимагають олівця і паперу.

Загальний коментар до завдань другого типу. Завдання, які ми віднесли до цього типу, є цілком стандартними. А досить значний обсяг текстів умов пов’язаний не стільки з тим, щоб залякати і заплутати потенційного розв’язувача, скільки з тим, щоб описати спрощувальні припущення, які саме і дозволяють обрати просту математичну модель фізичної ситуації. Але досить часто доводиться вводити додаткові припущення, про які в умові задачі в явному вигляді не сказано. Тобто треба враховувати ту інформацію, яка лише малася на увазі. Як же дізнатися, що автор задачі додатково припускав, але не написав про це в умові задачі?

Тут може допомогти досвід знайомства з тим, що можна назвати задачною культурою, з її специфічною мовою. А для цього треба читати умови і розв’язувати не лише виключно ті конкретні задачі, номери яких називає шкільний учитель. Має сенс переглядати задачники і “розв’язники” за власною ініціативою. При цьому замислюватися над тим, які саме спрощувальні припущення дозволяють записати ті чи інші рівняння. Звертати увагу на зауваження на кшталт: “У всіх задачах цього параграфа нитки вважати нерозтяжними і невагомими”. А як би змінилися рівняння, якщо б такого спрощення не було? Замислюватися над подібними питаннями під час тестування вже пізно. Про це треба думати, навчаючись розв’язувати фізичні задачі. Хоча про щось можна здогадатися і на самому екзамені. Наприклад, що під “окропом” автор задачі мав на увазі не просто кип’ячену воду, і навіть не просто гарячу кип’ячену воду, а лише ту, температура якої дорівнює 100° С.

Спеціально доводиться говорити і про розрахунки без допомоги калькулятора. Звичайно, “секрети”, про які вже йшлося іноді можуть допомогти на екзамені, але у реальному житті треба вміти досить швидко усно робити наближені обчислення, щоб порівняти з тим, що “видав” калькулятор. Той, хто не вміє це робити, іноді з калькулятором помиляється на декілька порядків і не помічає цього. А навички усних підрахунків набуваються не дуже швидко. Отже, на цим треба працювати задовго до дати тестування.

3. Усні текстові задачі, розв’язання яких передбачає побудову нескладного логічного ланцюжка та простих розрахунків, які без проблем виконуються без олівця і паперу

За наявності належної підготовки подібні задачі не забирають багато часу, але тут не допоможе лише знання формул. Треба навчитися ставити собі правильні запитання і відповідати на них, базуючись на розумінні фізики. Тобто треба навчитися вести з собою внутрішній діалог на фізичну тему.

Розглянемо 11 задач, які ми віднесли до цієї категорії.

3.1 (171). По паралельних дорогах в одному напрямку рухаються поїзд довжиною 100 м і легковий автомобіль. Швидкість поїзда дорівнює 54 км/год, швидкість автомобіля 72 км/год. Визначте, скільки часу знадобиться автомобілю, щоб випередити поїзд (проїхати від останнього до першого вагона). Відповідь запишіть у секундах.

Коментар. З якою швидкістю автомобіль рухається відносно поїзда? 18 км/год, бо 72-54=18! І на скільки ж метрів автомобіль проїжджає більше за 1 с, якщо година складається з 3600 секунд? На 5 м, бо 18000:3600 = 10:2 = 5! І скільки ж секунд потрібно, щоб автомобіль проїхав додаткових 100 м? 100:5! І в якому класі треба вчитися, щоб усно розв’язувати такі задачі?

3.2 (172). Рухаючись проти течії, катер зачепив бакен і відірвав його від якоря, після чого продовжив рухатися далі. Через 20 хвилин катер розвернувся й одразу рушив у зворотному напрямку за течією. Визначте, через скільки хвилин з моменту розвороту він наздожене відірваний бакен, який несе течія. Швидкість течії в 5 разів менша, ніж швидкість руху катера у стоячій воді.

Коментар. А бакен, який виявився відірваним від якоря буде рухатися відносно води? Мабуть, ні! А чи змінилася за своїм числовим значенням швидкість катера відносно води після того, як він став рухатися за течією? Мабуть, ні. Відносно води катер має швидкість у 5 разів більше, ніж вода відносно берегів, а ця швидкість, треба розуміти, не змінювалася! Якщо ж бакен відносно води нерухомий, а катер відносно води, а значить і відносно бакена, змінював свою швидкість лише за напрямком, то чому ж час на зворотний шлях має відрізнятися від часу, протягом якого відстань між катером і відірваним від якоря бакеном збільшувалася? Мабуть, не повинен! Так задача розв'язана? Мабуть, що так! А чи змінилася б відповідь задачі, якщо б швидкість течії була не в 5 разів менша, ніж швидкість руху катера у стоячій воді, а в 3 рази? Мабуть, ні …

3.3 (173). Пропливаючи під мостом проти течії річки, весляр загубив капелюх. Виявивши пропажу через 10 хвилин, весляр повернув назад і підібрав капелюх на відстані 1 км нижче за течією від мосту. Визначте (у кілометрах за годину) швидкість течії річки.

Коментар. Капелюх відносно води не рухався, а весляр відносно води рухався з незмінною за модулем швидкістю. Відповідно, 10 хвилин відстань між веслярем і його капелюхом збільшувалася та стільки ж зменшувалася. Яку ж частину години капелюх "чекав" на свого хазяїна? А скільки б він проплив за одну годину, якщо б весляр не виявив пропажу? І яка ж швидкість річки у кілометрах за годину?

3.4 (175). Визначте, який шлях пройшло тіло за 10 с під час рівноприскореного руху, якщо його початкова швидкість становить 20 м/с, а прискорення, що дорівнює за модулем 5 м/с^2, напрямлене протилежно до початкової швидкості. Відповідь запишіть у метрах.

Коментар. Якщо прискорення напрямлене протилежно до *початкової* швидкості, то за 4 секунди (20:5) тіло зупиниться, а потім буде рухатися у протилежний бік. Оскільки швидкість у перші 4 секунди зменшувалася від 20 м/с до нуля за лінійним законом (бо рух зі сталим прискоренням), для підрахунку пройденого за цей час шляху можна скористатися тим, що середня швидкість була 10 м/с. У даному випадку (рівномірного зменшення) вона є середньою арифметичною 20 м/с і 0 м/с. Отже, шлях, який пройшло тіло за перші 4 секунди, дорівнює 40 м $(10 \cdot 4)$. За останні 6 секунд $(10-4)$ шлях можна розрахувати за формулою $\frac{at^2}{2}$, бо тепер (на другій ділянці) початкова швидкість дорівнює нулю. Легко підрахувати, що цей шлях становить 90 м $(\frac{5 \cdot 6^2}{2})$. Отже, щоб знайти весь шлях, який тіло пройшло за 10 с, залишилося знайти суму довжин двох ділянок: до зупинки і після.

3.5 (176). Два хлопці розтягують гумовий джгут у протилежні боки, прикріпивши до його кінців динамометри. Визначте (у ньютонах) силу пружності, що виникає в джгуті, коли обидва динамометри показують 10 Н.

Коментар. Головне у цьому завданні — зрозуміти, що означають слова "сила пружності, що виникає в джгуті". Тут корисно поставити собі таке запитання: "Як можна, хоча б у принципі (у мисленевому експерименті), виміряти цю силу?". А якщо розрізати цей джгут і вставити між двома частинами динамометр? Чи будуть його покази залежати від того, в якому місці розрізати джгут? Оскільки динамометри, які знаходяться в руках хлопців, дають однакові показники, можна зробити висновок, що джгут або нерухомий, або рухається зі сталою швидкістю. Зрозуміло, що частина джгута між одним з хлопців і динамометром, який ми "вставили" в нашому уявному експерименті, рухається так само. А це означатиме, що показники придуманого нами динамометра не будуть відрізнятися від того, що показує динамометр, який знаходиться в руках хлопця.

3.6 (183). З балона випустили 2 г газу, в результаті чого тиск у ньому знизився на 10 %. Визначте (у м^3) місткість балона, якщо густина газу в початковий момент була 0,2 кг/м^3. Температура газу в балоні не змінювалася.

Коментар. Якщо температура не змінювалася, то тиск у балоні пропорційний до маси газу. Тут, звичайно, припускаємо, що об'єм балона не змінювався, просто молекул стало у балоні на 10 % менше. А яка ж була початкова маса газу, якщо 2 г складають 10 %? Звісно, що 20 г. А у кілограмах? 0,02 кг! І яка ж місткість балона (у м^3), якщо газ з густиною 0,2 кг/м^3, що його заповнював, мав масу 0,02 кг?

3.7 (190). У капілярі, зануреному одним кінцем у воду, вода піднімається на висоту 10 мм. Визначте (у міліметрах), якої максимальної довжини (висоти) стовпчик води може втримати вертикальний капіляр із двома відкритими в повітрі кінцями.

Коментар. Тут припускають, що у вертикальному капілярі з двома відкритими в повітрі кінцями верхньому меніску допомагає утримувати стовпчик води меніск, що утвориться у нижній частині стовпчика. Максимальна допомога буде тоді, коли він буде орієнтований так само як і верхній (опуклістю донизу), а його радіус буде мінімальним (тобто дорівнювати радіусу верхнього). Зрозуміло, що два однакових меніски зможуть разом утримати стовпчик води вдвічі більшої висоти. А ось питання про те, як експериментально досягти, щоб нижній меніск став таким як і верхній, вже не для тестування.

3.8 (194). Два конденсатори з'єднані послідовно. На одному з них написано "1 мкФ, 6 В", на другому написано "2 мкФ, 6 В". Яку максимально допустиму напругу можна прикласти до цієї ділянки кола. Відповідь запишіть у вольтах.

Коментар. При *послідовному* з'єднанні у конденсаторів буде *однаковий заряд*. А це означає, що більша напруга буде на тому, який має меншу ємність (бо $q = CU$). Тобто "під контролем" має бути перший конденсатор ($C_1 = 1$мкФ). І якщо на ньому буде максимально допустима напруга в 6 В, то на другому ($C_2 = 2$мкФ) буде лише 3 В (у нього ємність удвічі більша, а заряди однакові). Отже, максимально допустима напруга, яку можна прикласти до тієї ділянки кола, що складається з цих двох послідовно з'єднаних конденсаторів, дорівнює …

3.9 (208). Період вертикальних коливань тягаря на пружині дорівнює 3,6 с. Визначте (у секундах), яким буде період коливань, якщо масу тягаря збільшити у 8 разів, а жорсткість пружини збільшити в 2 рази.

Коментар. Період коливань тягаря на пружині пропорційний до кореня квадратного з частки маси тягарця до коефіцієнта жорсткості пружини. Як зміниться частка, якщо чисельник збільшити у 8 разів, а знаменник лише в 2? А корінь квадратний з цієї частки?

Як бачимо, те, що попереду $\sqrt{\dfrac{m}{k}}$ у формулі для періоду стоїть 2π, ми ніяк не використовували. Навіть якщо б ми забули, як залежить період від m і k, то це нескладно відновити у пам'яті з міркувань розмірності. Дійсно, нехай $[T]=[m^{\alpha}k^{\beta}]$, де α і β — показники степенів, які треба згадати. Тут квадратними дужками позначено, що йдеться про одиниці фізичних величин. Ясно, що $[T]=$ с, $[m]=$ êã. А як знайти $[k]$? Треба згадати, що коефіцієнт жорсткості вводять через формулу для сили пружини, яку розтягли (або стиснули) на $\Delta l.$ А значить, $[k]=[\dfrac{F}{\Delta l}].$ Зрозуміло, що $[\Delta l]=\text{ì},$ а $[F]=\text{Í}$. Але нам потрібно знати k через основні одиниці SI. У механіці такими є кг, м, с. Доведеться згадати про другий закон Ньютона. Тоді одержимо, що $[F]=[ma]=\text{êã}\cdot\text{ì}\cdot\text{ñ}^{-2}.$ Відповідно, $[k]=\text{êã}\cdot\text{ñ}^{-2}.$ Отже, $[m^{\alpha}k^{\beta}]=\text{êã}^{\alpha+\beta}\cdot\text{ñ}^{-2\beta}.$ Порівнюючи це з $[T]=\text{c}$, матимемо: $\alpha+\beta=0;\ -2\beta=1.$ Звідки одержуємо $\beta=-\dfrac{1}{2};\ \alpha=\dfrac{1}{2}.$ Тобто $T\sim\sqrt{\dfrac{m}{k}}.$ Що і треба було згадати для розв'язання задачі.

Досить часто, пригадуючи формулу для періоду, треба лише обрати один варіант з двох: у чисельнику має стояти маса чи коефіцієнт жорсткості пружини. У цьому випадку багатьом достатньо уявити собі тягарець на пружині, а потім запитати себе, збільшиться чи зменшиться період коливань, якщо збільшити масу тягарця. Буденний досвід підказує, що збільшиться. Отже, у чисельнику — маса.

3.10 (215). Монохроматичне світло падає вертикально на горизонтальну дзеркальну поверхню. Коли світло повністю відбивається, то воно чинить на поверхню тиск, що дорівнює 4 мкПа. Визначте, яким стане тиск, якщо поверхня поглинатиме 30 % світла, яке падає на неї. Відповідь запишіть у мікропаскалях.

Коментар. А чому світло чинить на поверхню тиск? Саме поверхня змінює імпульси фотонів, а значить прикладає до них силу. А за третім законом Ньютона вони мають чинити опір! А чи суттєво, що світло падає *вертикально*, а поверхня *горизонтальна*? Головне те, що фотони летять *перпендикулярно* до поверхні. У цьому випадку при *дзеркальному* відбиванні їхні імпульси змінюють свої напрямки строго на протилежні. Отже, можна сказати, що 4 мкПа складається з двох рівних частин. Перша пов'язана з "погашенням" імпульсів фотонів до нуля, а друга йде на те, щоб надати фотонам імпульси такі самі за модулем, але протилежні за напрямком. Якщо б усі фотони поглиналися поверхнею, то тиск був би вдвічі менший, порівняно з дзеркальним відбиванням. Якщо ж поверхня поглинатиме 30 % світла, то з другої виділеної нами половини тиску залишиться лише 70 %, і у підсумку тиск буде становити …

3.11 (206). Котушку з індуктивністю 0,7 Гн, сила струму в якій дорівнює 2 А, замкнули накоротко. Визначте, через який час сила струму в ній зменшиться на 0,01 А, якщо електричний опір котушки дорівнює 10 Ом. Відповідь запишіть у мілісекундах.

Коментар. Ця задача також може бути розв'язана усно. Але вона має одну особливість, на яку має сенс звернути увагу.

У більшості попередніх задач числові значення були спеціально підібрані так, щоб не виникала потреба в калькуляторі. Крім того, в задачі 3.8 (194) про послідовно з'єднані конденсатори числові значення ємностей підказали нам, який саме конденсатор має бути "під контролем" на предмет максимально допустимої напруги.

А розв'язок задачі, яку ми наразі розглядаємо, суттєво змінився би, якщо б в умові було сказано, що струм зменшився не на 0,01 А, а на 1 А. Як це може бути? Справа в тому, що сила струму у котушці буде зменшуватися за експоненціальним законом: $I=I_0e^{-\frac{Rt}{L}}$. Якщо відомо, що через час Δt сила струму зменшилася на $\Delta I,$ то можна записати, що $\Delta I = I_0\left(1-e^{-\frac{R\Delta t}{L}}\right)$. І відповідно, $\Delta t = -\frac{L}{R}\ln\left(1-\frac{\Delta I}{I_0}\right)$. Одержавши таку формулу, можна впоратися і з $\Delta I = 0{,}01$ А, і з $\Delta I = 1$ А. Звичайно, не без допомоги калькулятора. Якщо тепер все ж таки помітити, що $\Delta I << I_0$ $(0{,}01\ \text{À} << 2\ \text{À})$, і згадати (або вивести), що $\ln(1+x) \approx x$ при $|x| << 1$, то можна одержати наближену формулу $\Delta t \approx \frac{L\Delta I}{RI_0}$.

А ось якщо помітити цю особливість числових значень одразу, то вийти на остаточну (хоча і наближену) формулу можна значно швидше (врахуйте ще, що формулу експоненціального закону зменшення сили струму в котушці ми навели без виводу!).

Яка початкова напруга на активному опорі котушки? $I_0 R = 2\cdot 10$ (Â)! За рахунок чого ця напруга забезпечується? За рахунок ЕРС самоіндукції: $\mathcal{E} = -L\frac{dI}{dt}$, де $\frac{dI}{dt}$ — похідна сили струму за часом! Тобто $\frac{dI}{dt}$ — це швидкість зміни сили струму? Так! І чому ж буде дорівнювати ця швидкість одразу після "закорочення" котушки? $\left.\frac{dI}{dt}\right|_{t=0} = -\frac{I_0 R}{L} = -\frac{20}{0{,}7}$ $(\text{À}\cdot\text{ñ}^{-1})$, де знак "–" показує, що сила струму зменшується! І за який час вона зменшиться на 0,01 А? З урахуванням того, що $0{,}01\ \text{À} << 2\ \text{À}$, можна вважати, що на цьому проміжку часу сила струму зменшувалася майже за лінійним законом зі швидкістю $\frac{I_0 R}{L}$ (знак "–" зник при заміні слова "змінювалась" на "зменшувалась"). Отже, $\Delta t \approx \frac{\Delta I\cdot L}{I_0\cdot R} = \frac{0{,}01\cdot 0{,}7}{20}$ (с). І добре, що ми не поспішали ділити 20 на 0,7! А в мілісекундах? Треба помножити ще на 10^3!

Не викликає сумнівів, що автор задачі очікував саме наближене значення для Δt, хоча явно про це не сказав.

Загальний коментар до завдань третього типу. Як можна було впевнитися, задачі, які ми віднесли до цієї категорії, дійсно розв'язуються усно. Ніяких систем рівнянь, ніяких складних обчислень. Потрібен лише внутрішній діалог. Але психологи стверджують, що здатність до внутрішнього діалогу з'являється поступово з діалогу (або полілогу) зовнішнього як результат так званого процесу інтеріоризації. Іншими словами, дуже корисно обговорювати задачі з товаришами, сперечатися щодо правильності того чи іншого розв'язку, разом шукати правильний шлях. Тоді поступово можна навчитися розмірковувати над фізичними задачами і цілком самостійно, як того вимагають під час проведення зовнішнього незалежного оцінювання.

4. Тестові задачі, при розв'язанні яких швидше записати умову у вигляді нескладної системи рівнянь і розв'язати її, ніж придумувати, як всю інформацію виразити одним рівнянням

Розглянемо 8 таких задач.

4.1 (179). У мішку з піском масою 1 кг, що висить на легкому підвісі завдовжки 10 м, застряє куля масою 10 г, яка летіла горизонтально зі швидкістю 1010 м/с. Визначте кут, на який відхилиться підвіс від вертикалі. Вважайте, що g = 10 м/с^2. Відповідь запишіть у градусах.

Коментар. Ця задача поєднує у собі дві простіших. Перша — про непружне зіткнення кулі з тілом (мішком з піском). Швидкість "нового тіла" (пуля + мішок з піском) безпосередньо після того, як куля застрягне, визначиться із закону збереження імпульсу (так само, як це було при розв'язуванні задачі 2.2 (178)). Друга задача — про те, як кінетична енергія "нового тіла" переходить у потенціальну при відхиленні підвісу від вертикалі. Отже, маємо систему з двох рівнянь:

$$\begin{cases} m\upsilon = (M+m)\cdot u, \\ \dfrac{(M+m)\cdot u^2}{2} = (M+m)\cdot gl\cdot(1-\cos\alpha). \end{cases}$$

Вираз для висоти підйому "нового тіла" через довжину підвісу і кут відхилення від вертикалі ми вже не стали записувати як окреме рівняння, а включили його одразу до виразу для потенціальної енергії.

Оскільки ця задача досить відома, то може знайшлися б такі учасники тестування, хто одразу після ознайомлення з умовою написав би кінцеву загальну формулу:

$$\alpha = \arccos\left(1-\frac{\upsilon^2}{2gl}\left(\frac{m}{m+M}\right)^2\right).$$

Зазначимо, що $\upsilon^2\left(\dfrac{m}{m+M}\right)^2$ краще записати у вигляді $\left(\dfrac{m\upsilon}{m+M}\right)^2$, бо числові значення підібрані так, щоб усе було "красиво". А якщо врахувати, що арккосинус без калькулятора легко знаходиться лише у дуже обмеженій кількості випадків, то можна зрозуміти, чого чекати від відповіді.

Звернемо увагу на те, що правильне значення для α можна знайти швиденько підрахувавши $\cos\alpha$ без одержання "остаточної формули". Значення u знаходиться без округлень з першого рівняння. А "$m+M$" у другому рівнянні у записах "для себе" можна і не писати.

4.2 (180). Візок масою 2 кг рухається рівномірно прямолінійно зі швидкістю 3 м/с. На візок з висоти 0,5 м падає шматок глини масою 1 кг і прилипає до нього. Визначте механічну енергію, яка перетворилася у внутрішню у процесі такої взаємодії. Вважайте, що g = 10 м/с^2. Відповідь запишіть у джоулях.

Коментар. При розв'язуванні цієї задачі слово "візок" треба сприймати так, що тертя з поверхнею, по якій цей візок рухається можна не враховувати. Отже, горизонтальна складова імпульсу системи "шматок глини + візок" збережеться. Позначивши шукану величину через Q, запишемо систему рівнянь:

$$\begin{cases} M\upsilon = (m+M)\cdot u, \\ \dfrac{M\upsilon^2}{2} + mgh = \dfrac{(M+m)\cdot u^2}{2} + Q. \end{cases}$$

Нескладні перетворення дають $Q = m\cdot\left(\dfrac{M\upsilon^2}{2(M+m)} + gh\right).$

Підстановка числових значень навряд чи викличе якісь ускладнення.

4.3 (184). Визначте початкову абсолютну температуру азоту масою 0,28 кг, якщо при ізобарному нагріванні до температури 500 К газ виконав роботу 8,31 кДж. Молярна маса азоту дорівнює 0,028 кг/моль, R = 8,31 Дж/(моль·К). Відповідь запишіть у кельвінах.

Коментар. При ізобарному нагріванні робота обчислюється просто: $A = p\Delta V$. З іншого боку, з рівняння Клапейрона – Менделєєва маємо: $p\Delta V = \frac{m}{M} R\Delta T$. Кінцева температура $T = T_0 + \Delta T$. Отже, початкова температура через відомі величини знайдеться так: $T_0 = T - \frac{A}{R} \cdot \frac{M}{m} = 500 - \frac{8{,}31 \cdot 10^3 \cdot 0{,}028}{8{,}31 \cdot 0{,}28}$ (К).

Тут нам довелося згадати, що 1 кДж = 10^3 Дж, а про інше потурбувався автор задачі.

4.4 (191). Коли кожній із двох однакових кульок, підвішених в одній точці на нитках довжиною 20 см, надали заряд 40 нКл, нитки відхилилися від вертикалі на 45°. Визначте масу кожної з кульок у міліграмах. Вважайте, що g = 10 м/с^2, $k = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Í} \cdot \text{ì}^2}{\text{Êë}^2}$.

Коментар. За текстом умови задачі нескладно уявити собі картинку (див. рис. 11).

Кульки відштовхуються по закону Кулона з силою $F = \frac{kq^2}{2l^2}$. Тут ми вже врахували, що відстань між кульками $\sqrt{2}l$ (див. рис. 11). Те, що нитки відхилилися від вертикалі на 45°, дає право сказати, що електростатична сила відштовхування має дорівнювати за модулем силі тяжіння: $F = mg$ (див. рис. 11).

Отож, $m = \frac{kq^2}{2l^2 g} = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 16 \cdot 10^{-16}}{2 \cdot 4 \cdot 10^{-2} \cdot 10} \cdot 10^6$ (мг).

Ми врахували, що $40\,\text{нКл} = 4 \cdot 10^{-8}\,\text{Кл}$, $20\,\text{см} = 2 \cdot 10^{-1}\,\text{м}$, а також те, що відповідь треба було виразити у міліграмах (остання обставина пояснює появу множника 10^6).

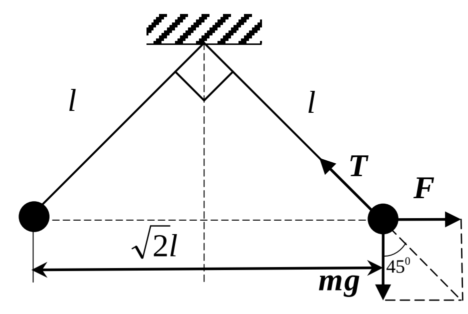


Рис. 11. Ілюстрація до завдання 4.4

Зазначимо, що одержана нами кінцева формула не може вважатися “остаточною формулою розв’язання задачі в загальному вигляді”, бо ми одразу користувалися тим, що кут відхилення ниток від вертикалі α становить 45°. Остаточна формула мала б ще містити множник $\frac{tg\alpha}{(2\sin\alpha)^2}$ або $\frac{1}{2\sin 2\alpha}$ замість множника $\frac{1}{2}$ у наведеній нами відповіді. Це надало б можливість перевірити її на такі граничні випадки: $\alpha \to 0^\circ$, $\alpha \to 90^\circ$. Але в умовах тестування, коли задачі нескладні, але їх при суворо обмеженому часі досить багато, можна у деяких випадках скористатися спеціально підібраними “красивими” числовими значеннями величин і розв’язувати задачу не у загальному випадку, а з урахуванням конкретних числових значень.

4.5 (195). Електрична схема складається з джерела струму, реостата, вольтметра та амперметра. Спочатку сила струму в колі дорівнювала 3 А, а напруга на реостаті становила 3 В. Коли опір реостата змінили, сила струму зменшилася до 1,5 А, а напруга на реостаті збільшилася до 4,5 В. Визначте (у вольтах) ЕРС джерела струму.

Коментар. Систему рівнянь для цієї задачі одержимо, записавши закон Ома для повного (замкненого) кола для двох випадків у такому вигляді: $\begin{cases} \mathcal{E} = U_1 + I_1 r, \\ \mathcal{E} = U_2 + I_2 r. \end{cases}$

Прирівнюючи вирази для внутрішнього опору джерела r, отримані з кожного з рівнянь системи, маємо: $\dfrac{\mathcal{E} - U_1}{I_1} = \dfrac{\mathcal{E} - U_2}{I_2}$.

Звідси вже можна одержати вираз для $\mathcal{E}$ через відомі за умовою величини, числові значення яких підібрані спеціально, щоб не ускладнювати підрахунки. Але треба звернути увагу на те, чи не з’явиться у чисельнику і знаменнику однаковий множник, на який можна скоротити…

4.6 (201). Під час роботи електродвигуна постійного струму сила струму в обмотці його ротора дорівнює 1 А. Якщо зупинити обертання ротора, сила струму в його обмотці збільшиться до 10 А. Визначте частку електричної енергії, що витрачається на нагрівання обмотки ротора під час його обертання. Напругу в мережі, від якої живиться електродвигун, вважайте сталою.

Коментар. Коли ротор електродвигуна постійного струму обертається в магнітному полі статора, в обмотці виникає ЕРС індукції, яка в сумі з падінням напруги на опорі обмотки дорівнює напрузі в мережі: $\mathcal{E}_{\text{інд}} + I_1 r = U$. Якщо ротор зупинити, то вся напруга мережі буде “падати” на опорі обмотки: $U = I_2 r$. У робочому режимі потужність, що йде на нагрівання обмотки ($I_1^2 r$), становить лише частку потужності, яка витрачається на роботу двигуна ($I_1 U$). Якщо цю частку позначити через α, то кінцева відповідь буде такою: $\alpha = \dfrac{I_1}{I_2}$, якщо частку визначити в долях одиниці. Для одержання відповіді у відсотках цей результат необхідно помножити на 100 %.

Зазначимо, що перша з наведених у нашому коментарі формул формально не використовувалася для одержання кінцевої відповіді. Але вона допомагає краще зрозуміти фізику розглядуваних у цій задачі процесів.

4.7 (209). За час, протягом якого амплітуда вільних електромагнітних коливань у коливальному контурі зменшилася втричі, у контурі виділилася кількість теплоти, що дорівнює 64 мДж. Визначте кількість теплоти, яка виділиться під час зменшення амплітуди коливань ще удвічі. Відповідь запишіть у міліджоулях.

Коментар. Що мають на увазі, коли говорять про “амплітуду вільних електромагнітних коливань у коливальному контурі”? Амплітуду заряду на конденсаторі? Чи амплітуду сили струму в котушці індуктивності? А може йдеться про коливання значень енергії електричного поля конденсатора чи магнітного котушки?

Найімовірніше, автор задачі мав на увазі не енергію, бо у цьому випадку задача була б надто простою…

Якщо ми позначимо через q_m амплітуду заряду на конденсаторі, то сумарна енергія електричного поля конденсатора і магнітного поля котушки запишеться так: $\frac{q_m^2}{2C}$. Та ж сама енергія могла би бути записана як $\frac{\tilde{N}U_m^2}{2}$, $\frac{LI_m^2}{2}$ або $\frac{\hat{O}_m^2}{2L}$. Узагальнюючи, можна записати $W = \alpha A^2$, де α — коефіцієнт пропорційності, а через *A* позначена амплітуда коливань однієї з величин *q, U, I* або Ф.

У завданні фактично йдеться про три значення амплітуди: $\grave{A}_0$ — початкове; $\grave{A}_1 = \frac{\grave{A}_0}{3}$ — те, що стало після виділення теплоти у кількості $Q_1 = 64$ мДж; $\grave{A}_2 = \frac{\grave{A}_1}{2}$ — значення амплітуди після додаткового виділення теплоти у тій кількості, яку й треба знайти (Q_2). Отож, можна записати таку систему:

$$\begin{cases} \alpha A_0^2\left(1-\frac{1}{9}\right) = Q_1, \\ \frac{\alpha A_0^2}{9}\left(1-\frac{1}{4}\right) = Q_2. \end{cases} \quad \text{Звідки } \frac{Q_2}{Q_1} = \frac{3}{4\cdot 8}.$$

Враховуючи, що $Q_1 = 64$ мДж, а $4\cdot 8 = 32$, з числовими розрахунками проблем не має бути. Наприкінці зазначимо, що ми знов-таки не стали вводити додаткові позначення (*n=3, m=2*) і записувати систему так:

$$\begin{cases} \alpha A_0^2\left(1-\frac{1}{n^2}\right) = Q_1, \\ \frac{\alpha A_0^2}{n^2}\left(1-\frac{1}{m^2}\right) = Q_2, \end{cases}$$

щоб одержати “остаточну формулу у кінцевому вигляді” ($Q_2 = Q_1 \frac{m^2-1}{m^2(n^2-1)}$).

Але, якщо на тестуванні залишився вільний час після виконання всіх завдань, то вивести всі формули в загальному вигляді, а потім, користуючись ними, ще раз перевірити правильність одержаних відповідей, звичайно, не завадило б.

4.8 (210). До електромережі під’єднаний знижуючий трансформатор, коефіцієнт трансформації якого дорівнює 5. Опір вторинної обмотки трансформатора дорівнює 0,4 Ом, а опір корисного навантаження — 4 Ом. Визначте напругу в мережі живлення, до якої під’єднано трансформатор, якщо напруга на виході трансформатора дорівнює 40 В. Відповідь запишіть у вольтах.

Коментар. Напруга на виході трансформатора — це фактично напруга на корисному навантаженні: $U_{í} = {}^2R_{í}$. Якщо додати напругу, яка “падає” на опорі вторинної обмотки, то отримуємо ЕРС, що виникає у вторинній обмотці: $\mathscr{E} = U_{í} + Ir$.

Коефіцієнт трансформації знижуючого трансформатора показує у скільки разів ЕРС у вторинній обмотці менше, ніж у первинній. І якщо знехтувати опором первинної обмотки, то можна вважати, що напруга в мережі живлення $U = k\mathscr{E}$, де k — коефіцієнт трансформації.

Розв’язавши систему, що складається із записаних рівнянь, одержимо: $U = kU_{í}\,(1+\dfrac{R_{í}}{r})$. Числові значення підібрані так, що можна було б цю задачу віднести до третього виділеного нами типу і розв’язувати, одразу працюючи з числовими значеннями.

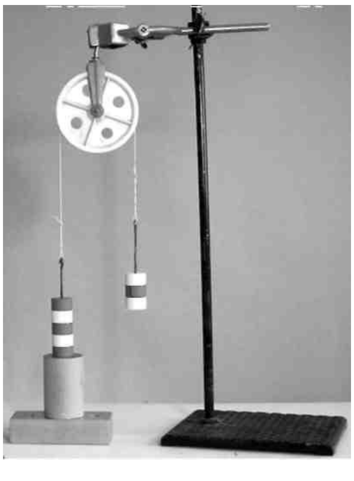
У скільки разів опір вторинної обмотки менше, ніж опір корисного навантаження? У 10! Яка ж напруга “падає” на опорі вторинної обмотки, якщо на навантаженні — 40 В? У 10 раз менше! А яка ж ЕРС має бути, щоб забезпечити відповідні “падіння” напруги і на корисному навантаженні, і на опорі вторинної обмотки? Треба знайти суму цих двох “падінь”! А як знайти напругу в електромережі, якщо не враховувати “падіння” напруги на первинній обмотці? Помножити ЕРС у вторинній обмотці на коефіцієнт трансформації!

Загальний коментар до завдань четвертого типу. Треба визнати, що виокремлення четвертого типу було у великій мірі штучним. Будь-яку розглянуту у даному пункті задачу можна було віднести або до другого, або до третього типу, бо системи рівнянь, які ми одержували, були доволі примітивними. З іншого боку, правдою є те, що іноді легше (і швидше) записати і розв’язати систему. Але все ж таки треба привчатися розв’язувати задачі такого рівня складності усно, бо інакше дійсно цікаві й складні задачі будуть просто недоступними.

5. Задачі, частина інформації умов яких “закодована” в наведених ілюстративних матеріалах

З 46 завдань відкритої форми з короткою відповіддю, які ми взялися прокоментувати, 9 завдань містять ілюстративний матеріал (з них 6 — фотографії експериментальних установок). Одержання корисної для виконання завдань інформації з ілюстрацій є окремою проблемою, ще більш складною для багатьох учнів, ніж виокремлення ключових для розв’язання задачі слів з тексту її умови. На що треба звертати увагу на фотографії, у схемі або на графіку, а що є несуттєвим для пошуку відповіді на поставлене в умові запитання і лише відволікає увагу? Спробуємо одержати деякий досвід, аналізуючи приклади задач з ілюстративними матеріалами.

5.1 (182). Обчисліть модуль прискорення, з яким рухатиметься система, якщо прибрати підставку з-під лівого вантажу. Усі чорні та білі важки, з яких складено вантажі, мають однакову масу. Вважайте, що g =10 м/с^2. Відповідь запишіть у м/с^2.



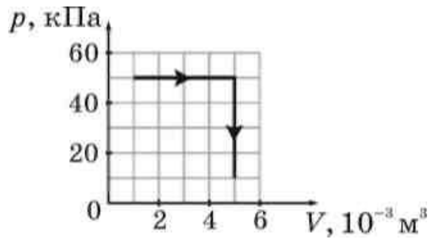
Коментар. Відповідна задача без ілюстрації формулювалася би приблизно так: “Через нерухомий блок перекинута легка нерозтяжна нитка, до одного кінця якої причеплений вантаж масою $3m$, а до другого — масою $5m$. Знайти модуль прискорення вантажів. Масою блока і втратами енергії на тертя знехтувати”.

Якщо треба лише записати відповідь у м/с^2 вважаючи, що g =10 м/с^2, то це справа декількох секунд. Дійсно, $\frac{5-3}{5+3}\cdot 10 = \ \dots$ (м/с^2). Якщо треба записати систему рівнянь, то і це не є проблемою: $\begin{cases} 5ma = 5mg - T, \\ 3ma = T - 3mg. \end{cases}$

Прискорення вантажів однакові за модулем, бо нитка нерозтяжна. А те, що вона легка, а також те, що масою блока та тертям можна знехтувати, дозволяє вважати натяг нитки однаковим по всій довжині.

На фотографії видно кріплення, за допомогою якого вантажі збираються з важків. Зрозуміло, що автор завдання вважав масу цього кріплення дуже малою порівняно з масою навіть одного важка.

5.2 (185). Визначте кількість теплоти, яку отримав ідеальний газ під час процесу, зображеного на графіку. Урахуйте, що внутрішня енергія ідеального газу залежить тільки від його температури. Відповідь запишіть у джоулях.



Коментар. Слова "кількість теплоти, яку отримав …" нагадують задачі на ККД циклу, в якому бере учать певна кількість газу. Коли їх розв'язують, то у знаменник пишуть кількість теплоти, яку отримав газ від нагрівача, і **не** віднімають від неї ту, що довелося віддати холодильнику. Але у цій конкретній задачі треба віднімати, не дивлячись на схожість слів!

Автор задачі, мабуть, вважав, що слова на кшталт "у підсумку" або "у цілому" вже будуть підказкою. Замість цього він вирішив "допомогти" фразою: "Урахуйте, що внутрішня енергія ідеального газу залежить тільки від його температури".

Саме те, що внутрішня енергія ідеального газу залежить **не** лише від температури, а й від того, що це за газ, і в якій він кількості, допомагає зрозуміти, яку відповідь очікує автор задачі (і яка буде вважатися правильною при перевірці робіт!).

Подивимося на графік залежності $p(V)$, який наведений в умові задачі. Ключова інформація, яку треба "зчитати" з цього графіка, щоб розібратися з умовою задачі, полягає в тому, що температура у початковій і у кінцевій точках однакова! Дійсно, для ідеального газу температура пропорційна добутку $p \cdot V$ (див. рівняння Клапейрона-Менделєєва).

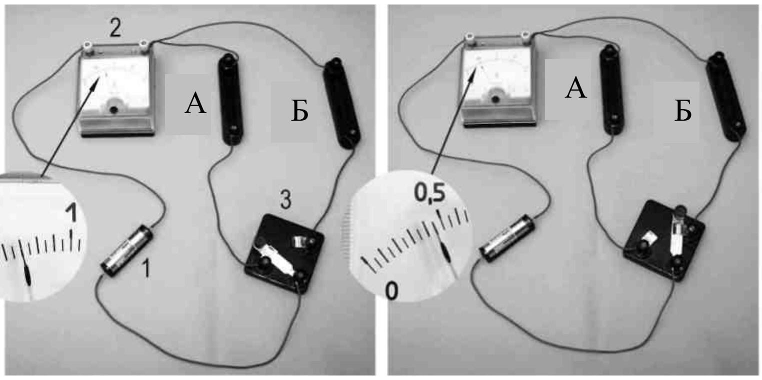
Це все прояснює. Якщо визначати кількість теплоти, яку отримав газ "у підсумку" (те, що отримав при ізобарному нагріванні, мінус те, що віддав при ізохорному охолодженні), то вона буде дорівнювати роботі, яку він виконав, коли дійсно отримував теплоту при ізобарному нагріванні. І цієї теплоти вистачило і на роботу, і на збільшення внутрішньої енергії. А під час ізохорного охолодження газ лише віддавав теплоту (отримував зі знаком "мінус"!) за рахунок своєї внутрішньої енергії аж доки не охолов до початкової температури.

Хоча внутрішня енергія ідеального газу залежить не лише від температури, але вона все ж таки пропорційна абсолютній температурі ($U = \nu C_V T$, де C_V — молярна теплоємність при $V = const$). Якщо ж температура повернулася до початкового значення, то теж саме можна сказати і про внутрішню енергію. І це вже дійсно буде виконуватися для будь-якого ідеального газу (не залежно від коефіцієнта пропорційності між U і T).

Отож, уся кількість теплоти, яку газ *у підсумку* отримав (дійсно отримав мінус та, що віддав) пішла на роботу при ізобарному нагріванні (розширенні). А підрахувати роботу, виконану в ізобарному процесі, зовсім нескладно: $A = p(V_2 - V_1)$. З графіка видно, що $p = 5 \cdot 10^4$ Па, $V_1 = 1 \cdot 10^{-3}$ м^3, $V_2 = 5 \cdot 10^{-3}$ м^3.

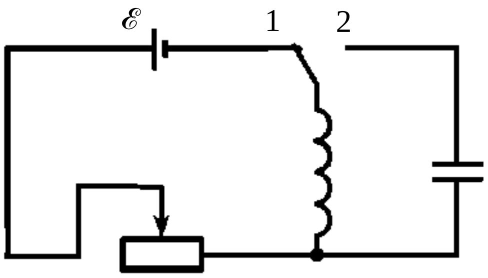
5.3 (196). Електричне коло складається з гальванічного елемента (1), амперметра (2), перемикача (3) і двох резисторів. Опір резистора А дорівнює 1 Ом. Якщо змінювати положення перемикача, то покази амперметра змінюються. Знайдіть опір (в омах) резистора Б, якщо внутрішній опір гальванічного елемента дорівнює 0,8 Ом.

5.4 (197). Електричне коло складається з гальванічного елемента (1), амперметра (2), перемикача (3) і двох резисторів з опорами 1 Ом і 2 Ом. Якщо змінювати положення перемикача, покази амперметра змінюються. Знайдіть внутрішній опір гальванічного елемента (в омах).



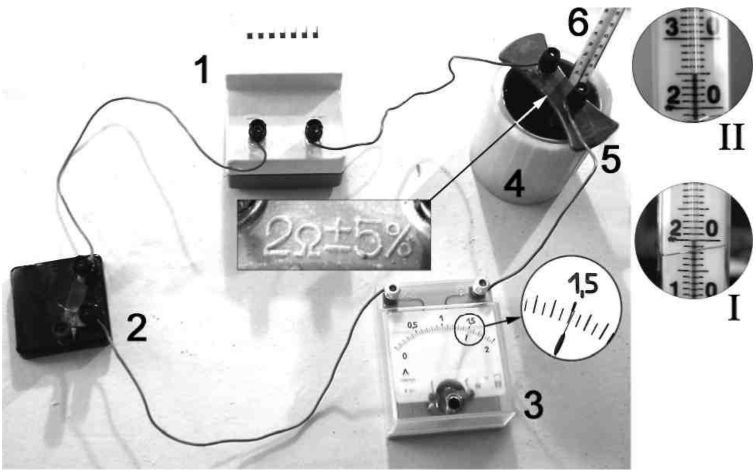
Коментар. Обидві задачі-близнючки зводяться до розв'язування одного рівняння: $I_A(r + R_A) = I_Б(r + R_Б)$, яке базується на припущенні незмінності параметрів гальванічного елемента (ЕРС і внутрішнього опору), не дивлячись на зміну положення перемикача. У задачі 5.3 (196) треба визначити $R_Б$ через R_A, r, I_A і $I_Б$, а в задачі 5.4 (197) пропонують знайти r, якщо відомі R_A, $R_Б$, I_A і $I_Б$. Ось і вся різниця! Значення I_A і $I_Б$ треба "зчитати" з наведених фотографій (однакових для обох задач). Ускладнення можуть виникнути у тих учнів, які не бачили шкільних амперметрів, або забули чи не звернули у свій час увагу на те, що числа на шкалі відповідають значенням сили струму в амперах.

5.5 (198). У електричному колі, зображеному на рисунку, внутрішній опір джерела струму дорівнює 1Ом, повний опір реостата дорівнює 6 Ом, активний опір котушки дорівнює 2 Ом. Спочатку ковзний контакт реостата знаходився в крайньому лівому положенні, а ключ — у положенні 1. Коли ключ перевели в положення 2, у конденсаторі та котушці виникли вільні електромагнітні коливання. Визначте, у скільки разів збільшиться початкова амплітуда коливань, якщо установити опір реостата рівним 3 Ом та повторити дослід.



Коментар. Початкова амплітуда коливань в даному випадку — це фактично значення сили струму в котушці перед перемиканням ключа (після перемикання вона стає максимальним значенням сили струму під час коливального процесу в LC–контурі). А сила струму перед перемиканням $I = \dfrac{\mathscr{E}}{r + R_{Ê} + R_{Ð}}$, де $r = 1$ Ом, $R_К = 2$ Ом. Що ж до опору реостата, то спочатку він дорівнював 6 Ом (крайнє ліве положення контакту), а у другому досліді — 3 Ом. Оскільки ЕРС була незмінною, то збільшення початкової амплітуди коливань (у скільки разів) дорівнює зменшенню загального опору. Отож, задача усна: $\dfrac{1+2+6}{1+2+3} = ...$

5.6 (199). Для проведення лабораторної роботи з дослідження ККД установки з електричним нагрівником зібрали електричне коло з джерела постійного струму (1), вимикача (2), амперметра (3) та дротяної спіралі (5). До калориметра (4) налили 180 мл води і встановили термометр (6). Покази термометра до замикання вимикача (2) зображені на фото I. Покази термометра через 20 хвилин після замикання електричного кола зображені на фото II. Визначте (у відсотках) ККД даної установки. Сила струму протягом досліду залишалася незмінною. Опір дротяної спіралі дорівнює 2 Ом. Густина води 1000 кг/м^3; питома теплоємність води $4{,}2 \cdot 10^3$ Дж/(кг·К), теплоємність калориметра мала.



Коментар. Що розуміти під ККД установки у даному випадку? Якщо це формально підраховане число, то особливих проблем немає. Корисною, мабуть, треба вважати кількість теплоти, що пішла на збільшення внутрішньої енергії води. Вона розраховується за відомою формулою калориметрії: $Q = cm\Delta t$. А витрати — за формулою з електрики:

$Q_{\hat{A}} = I^2 R\tau$. Для ККД (у відсотках) запишемо: $\eta = \frac{Q_K}{Q_{\hat{A}}} \cdot 100\%$. Маса води визначиться з об'єму (180 мл) і густини (1000 кг/м^3). 180 мл = 0,18 л, а 10^3 кг/м^3 = 1 кг/л. Отже, $m = 0{,}18$ êã. Узагалі-то кажучи, корисно пам'ятати, що 1 мл (тобто 1 см^3) води (у рідкому стані) має масу 1 г. $\Delta t = (25 - 20)\ ^0\mathrm{C} = 5\ ^0\mathrm{C}$ (див. покази термометра). $I = 1{,}5$ À (див. покази амперметра), $R = 2$ Îì (див. напис на кріпленні дротяної спіралі). $\tau = 20$ õâ $= 1{,}2 \cdot 10^3$ ñ (за умовою). Значення питомої теплоємності води вказано у тексті умови в одиницях SI. Отже, підсумовуючи сказане, запишемо одразу в числових значеннях:

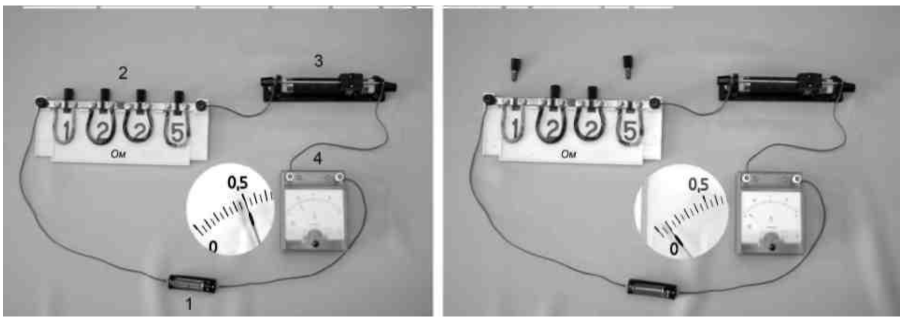
$$\eta = \frac{0{,}18 \cdot 4{,}2 \cdot 10^3 \cdot 5}{1{,}5^2 \cdot 2 \cdot 1{,}2 \cdot 10^3} \cdot 100\%.$$

Обчислення, які залишилися, без проблем виконуються усно, якщо помітити на які множники одночасно можна скоротити чисельник і знаменник.

Повертаючись до фізичного питання про "ККД даної установки", треба сказати, що зміна початкової температури води або часу нагрівання призведе до такої зміни кінцевої температури, що обчислене за наведеним нами алгоритмом число (η) не залишиться тим самим. У чому ж полягає лабораторна робота? У *дослідженні* того, як ККД залежить від початкової температури води, оточуючого повітря, часу нагрівання тощо? Але це питання не для роздумів на тестуванні.

5.7 (200). Електричне коло складається з гальванічного елемента (1) з внутрішнім опором 0,5 Ом, магазину резисторів (2), реостата (3) та амперметра (4). Проведено два досліди (див. фотографії). Визначте кількість теплоти, що виділялася за 1 хв у обмотці реостата під час досліду 1. Опір реостата в обох дослідах однаковий. Результат запишіть у джоулях.

Довідка. Магазин резисторів являє собою чотири послідовно з'єднані дротяні спіралі, опори яких дорівнюють 1 Ом, 2 Ом, 2 Ом, 5 Ом. Кожна спіраль може вмикатися в електричне коло чи вимикатися з нього шляхом видалення чи встановлення спеціальної металевої перемички. Коли всі перемички вставлені, загальний опір магазину можна вважати рівним нулю, коли всі видалені — рівним 10 Ом.



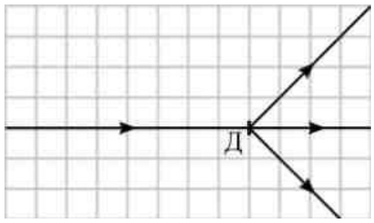
Коментар. При розв'язуванні цієї задачі можуть виникти ускладнення з отриманням інформації з ілюстративного матеріалу. Треба розібратися за "Довідкою" з принципом роботи магазину резисторів і з'ясувати, що у першому досліді опір магазину $R_{\grave{\imath}1} = 2$ Îì, а в другому — $R_{\grave{\imath}2} = 6$ Îì. Із силою струму ті ж проблеми, що і в задачах 5.3 (196) та 5.4 (197), тобто треба знати, що числові значення на шкалі вимірювального приладу вказані в амперах: $I_1 = 0{,}5$ À, $I_2 = 0{,}4$ À.

Треба припустити, що не тільки опір реостата $R_{Đ}$ і внутрішній опір гальванічного елемента r не змінювалися, а й ЕРС гальванічного елемента в обох дослідах однакова: $I_1(r + R_{Đ} + R_{\text{M}1}) = I_2(r + R_P + R_{\text{M}2})$. Одержане з цього рівняння $R_{Đ}$ треба підставити у вираз для закону Джоуля-Ленца: $Q_1 = I_1^2 R_P t$, де, на відміну від попередньої задачі, через t позначений час, а не температура ($t = 1\ \text{õâ} = 60\ \text{ñ}$).

Чи одержувати "остаточну формулу", як це рекомендують в "Інструкції щодо роботи в текстовому зошиті?". У даному випадку проміжний результат (опір резистора $R_{Đ}$) виходить "красивим" без усяких округлень. Отож, можна обійтися і без "остаточної формули". Ми вже говорили про переваги "остаточної формули" в плані перевірки її на граничні випадки. І це дійсно значна перевага, якщо розв'язувати надто велику і непросту систему рівнянь. У даному ж випадку контроль за числовими значеннями проміжних результатів може виявитися важливішим.

5.8 (213). На рисунку показано пучок монохроматичного світла, що проходить через дифракційну ґратку Д, яка має 1250 штрихів на один міліметр. Визначте довжину хвилі світла.

Вважайте, що $\sqrt{2}$ = 1, 41. Відповідь запишіть у нанометрах.

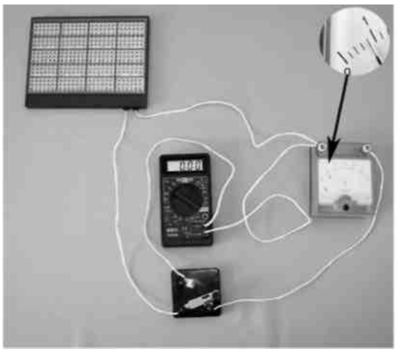


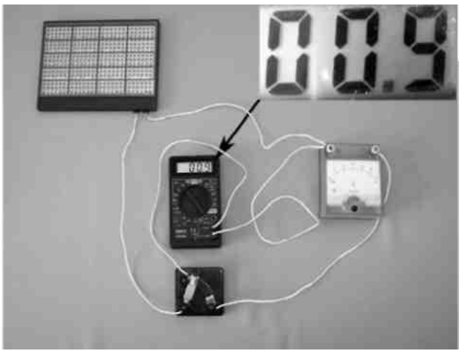
Коментар. З рисунку треба зрозуміти, що після проходження через дифракційну ґратку пучок світла фактично ділиться на три ($m = \{-1; 0; 1\}$). Використане число m входить до відомої формули, яка визначає напрямки дифракційних максимумів: $\sin\alpha_m = \dfrac{\lambda m}{d}$, де через d позначена відстань між сусідніми штрихами ґратки. У нашому випадку $d = \dfrac{1\ \text{ìì}}{1250} = \dfrac{1 \cdot 10^6\ \text{íì}}{0{,}125 \cdot 10^4} = 8 \cdot 10^2\ \text{íì}$ (без округлень!). З рисунку також видно, що $\alpha_1 = 45^0$, а значить $\sin\alpha_1 = \dfrac{\sqrt{2}}{2} \approx \dfrac{1{,}41}{2}$ (не будемо поспішати ділити на 2!). Остаточно для довжини хвилі матимемо: $\lambda = \dfrac{1{,}41}{2} \cdot 8 \cdot 10^2\ \text{íì} \ = ...$

Як бачимо, дійсно, не треба було поспішати ділити на 2, бо краще ж спочатку поділити 8 на 2, а 1,41 помножити на 10^2!

Зазначимо, що формулу, якою ми скористалися, не складно відновити у пам'яті, якщо вона забулася. Але доведеться зробити рисунок, на якому ґратка не буде такою маленькою. А дифракційні максимуми доведеться отримувати у фокальній площині лінзи, яку треба буде ставити після дифракційної ґратки. Якщо ж початковій світловий пучок вузький (лазерний промінь), то пучки, які утворилися внаслідок дифракції, вже на невеликій відстані від ґратки можуть спостерігатися і без допомоги лінзи як просторово розділені.

5.9 (202). До сонячної батареї при незмінному освітленні за допомогою перемикача приєднують спочатку стрілочний вольтметр, опір якого дорівнює 8 кОм, а потім — цифровий, опір якого перевищує 1 МОм (див. фото). Підключений цифровий вольтметр показує 0,9 В. Визначте, якою буде потужність струму в резисторі, опір якого дорівнює внутрішньому опору сонячної батареї, якщо цей резистор підключити при такому самому освітленні до даної батареї. Відповідь запишіть у міліватах та округліть до десятих.





Коментар. Ця задача виявилася, як нам здається, найцікавішою з точки зору використання в її умові специфічної мови фізичних задач, без розуміння якої годі й сподіватися на їх успішне розв’язування.

Чи суттєво, що освітлення було незмінним? Так, незмінним освітленням забезпечується фіксована ЕРС сонячної батареї! А як скористатися тим, що опір цифрового вольтметра ***перевищує* 1 МОм**? Такими словами хотіли сказати, що опір такого вольтметра настільки великий, що “падінням” напруги на внутрішньому опорі сонячної батареї можна знехтувати, а це означає, що цифровий вольтметр фактично “показує” ЕРС батареї. Отже, $\mathcal{E} = 0{,}9$ Â. А ось опір стрілочного вольтметра не достатньо великий. Він “показує” меншу за напругу. $U_V = 0{,}8$ Â (див. покази стрілочного вольтметра на лівому фото). Якщо через нього проходить струм I_V, то $U_V = I_V r_V$, де $r_V = 8$ êÎì (див. текст умови). Сила струму I_V буде входити також у рівняння, в якому відбивається закон Ома для повного (замкненого) кола, що складається з батареї і вольтметра: $\mathcal{E} = I_V(r + r_V)$, де r — внутрішній опір сонячної батареї. Виключивши I_V з двох уже записаних рівнянь і розв’язавши отримане у результаті цього рівняння, можна буде знайти r.

А що ж з потужністю струму в резисторі? Це фактично окрема, але нескладна задача. З урахуванням того, що за умовою опір резистора дорівнює опору батареї, можна записати два рівняння: $P = I^2 r$; $\mathcal{E} = I(r + r)$. Тут ми спеціально записали не $2r$, а $r + r$, щоб підкреслити, що загальний опір повного (замкненого) кола тепер складається з опору джерела (сонячної батареї) і опору навантаження (резистора), які за умовою виявилися однаковими за значенням.

А навіщо вимога округлити відповідь до десятих, записавши її у міліватах? Цікаво, що виконання цієї вимоги залишить у відповіді лише одну значущу цифру. І це добре, бо маючи в умові всі дані з одною значущою цифрою не можна вимагати від відповіді більшої точності. Про це, на жаль, часто забувають.

Загальний коментар до завдань п’ятого типу. До цієї категорії були віднесені задачі, які мали одну спільну ознаку — наявність в умові ілюстративного матеріалу, з якого треба було “зчитати” частину необхідної для виконання завдання інформації. Але за рівнем складності розглянуті в даному підрозділі задачі відрізняються між собою помітно сильніше, ніж задачі, віднесені нами до будь-якого з попередніх чотирьох типів.

Доступність у сучасних умовах цифрової фотографії надає можливість створювати для зовнішнього незалежного оцінювання якості освіти завдання, пов’язані зі шкільним фізичним експериментом. У деяких випадках для “зчитування” необхідної інформації треба вміти впізнавати вимірювальні прилади за їхнім зовнішнім виглядом і знати, у яких одиницях проградуйовані їхні шкали.

А може, у текстах умов задач треба було повідомляти, у яких одиницях проградуйована шкала вимірювального приладу? Це питання дискусійне. На наш погляд, воно з тієї ж категорії, що і питання про те, чи потрібно в умові однієї задачі наводити значення густини або питомої теплоємності води, а в іншій — вважати, що всі випускники середньої школи мають сприймати слово “окріп” як “вода з температурою 100 °С”. Відповідні дискусії можуть тривати довго, а тестування вже впроваджене, і завдання, які передбачають певні знання стосовно фізичних приладів, з якими учні мають працювати на лабораторних роботах, з’явилися і ще будуть з’являтися. Отже, і до виконання таких завдань треба готуватися.

6. Завдання, які допускають неоднозначний вибір моделі

Коли ми намагаємося застосувати фізичні закони для пояснення певного природного явища або розрахунку параметрів конкретного технічного пристрою, то завжди постає питання про адекватність моделі. І міра цієї адекватності часто з’ясовується у ході експериментального дослідження. Іноді можна теоретично передбачити, за яких експериментальних умов результати краще будуть відповідати тій чи іншій моделі. А іноді навіть запропонувати модель, яка буде працювати у широкому діапазоні зміни експериментальних параметрів.

Теоретична побудова моделей та їх експериментальна перевірка — цікава і захоплююча справа для людей, які мають до цього схильність. З іншого боку, виявлення учнів з відповідними здібностями і забезпечення умов для їх розвитку — важливе державне завдання. Але виконання цього завдання не треба пов’язувати з введенням зовнішнього незалежного оцінювання якості освіти. Формат ЗНО передбачає однозначний вибір моделей з подальшим отриманням однозначних відповідей на поставлені запитання.

Треба зазначити, що побачити неоднозначність вибору моделі буває досить складно, особливо, якщо звик до певної точки зору на якесь питання. Тут може допомогти обговорення цього питання з іншими людьми, у тому числі з тими, хто не має упередженого погляду, бо ніколи над ним не розмірковував. Якщо фізична задача стосується конкретного технічного пристрою, то перед тим, як пропонувати її включити до банку тестових завдань, корисно порадитись з фахівцями відповідного профілю.

Що ж до самого банку завдань, то він має бути відкритим до обговорення, щоб можна було вносити зміни і доповнення з урахуванням слушних зауважень і пропозицій, які б надходили від усіх бажаючих зробити свій внесок у покращення цього банку.

Наразі прокоментуємо завдання відкритої форми з короткою відповіддю, яке явно не задовольняє умові однозначності відповіді, і обговоримо питання про те, що робити абітурієнту у тому випадку, коли подібна задача міститься у тестовому зошиті, якій він отримав від організаторів ЗНО.

6.1 (181). Визначте, у скільки разів треба збільшити потужність двигуна водяного насоса, щоб він через трубу такого самого перерізу за одиницю часу подавав утричі більше води.

Коментар. Що означає “подавати воду” по відношенню до водяного насоса? У задачі 2.8 (203) насос теж подає заданий об’єм (2,2 м^3) води на певну висоту (36 м). І з умови було зрозумілим, що у даному випадку цікавляться роботою двигуна насоса, спрямованою на збільшення потенціальної енергії води. Оскільки вимагалося знайти ККД насоса, то можливе збільшення кінетичної енергії води і втрати на тертя просто зменшували б цей коефіцієнт, але не робили б задачу неоднозначною.

Зовсім не така ситуація у задачі 6.1 (181). Якщо ми знехтуємо зміною кінетичної енергії та втратами на тертя, а вся потужність двигуна насоса буде йти на підйом води на певну висоту, то зрозуміло, що ця потужність буде пропорційна кількості води, що подається за одиницю часу.

Якщо ж завдання насоса полягає в тому, щоб взяти воду з резервуара і надати їй певної швидкості, то потужність двигуна насоса має збільшуватись пропорційно кубу кількості води, що подається за одиницю часу. Зазначимо принагідно, що у відомому збірнику задач з фізики за редакцією О.Я. Савченка є задача про насос, де передбачається модель, яка враховує збільшення як кінетичної енергії води, так і потенціальної [8, № 4.3.3]. І там, дійсно, у відповіді для потужності один доданок пропорційний першому степеню кількості води, що подається за одиницю часу, а другий — третьому степеню. А те, що при розв’язуванні згаданої задачі не треба враховувати втрати на тертя, було видно з назви параграфа (“Рух ідеальної рідини”).

А як бути з тими насосами, що “ганяють” по замкненому колу воду, яка використовується як теплоносій? Їхня вся потужність витрачається на боротьбу з тертям. Чи такі насоси треба виключити з розгляду, бо вони “ганяють”, а не “подають” воду?

Що ж робити учаснику тестування, якщо подібне завдання йому дістанеться? Спочатку можна його пропустити, не витрачаючи на нього дорогоцінний час. А потім, якщо час залишиться, можна повернутися до цього завдання і спробувати вгадати, яку модель мав на увазі автор задачі. Що стосується задачі 6.1 (181) про насос, то йдеться, мабуть, про ідеальну рідину (неідеальну за звичайною шкільною програмою не вивчають). Модель, яка враховує зміну і потенціальної, і кінетичної енергії води, треба відкинути, бо очікувана відповідь не повинна складатися з двох доданків, які пропорційні різним степеням кількості води, що подається за одиницю часу. Якщо зупинитися на моделі, яка враховує лише збільшення потенціальної енергії води, то про переріз труби в умові задачі було б говорити недоречно. А ось у випадку кінетичної енергії незмінність перерізу суттєва. Якщо переріз труби фіксований, то швидкість води буде зростати пропорційно масі, що подається за одиницю часу. А кінетична енергія, як відомо, пропорційна добутку маси і квадрата швидкості. І тоді загалом одержимо пропорційність потужності насоса третьому степеню кількості води, що подається за одиницю часу.

Звичайно, аргумент на кшталт “було б говорити недоречно” не дуже сильний. Особливо, якщо врахувати, що існує цілий клас задач “із зайвими даними”. Але формат тестування задає певні правила гри, які треба враховувати, щоб набрати якомога більше балів. Тому безглуздо залишати завдання тесту зовсім без відповіді. Обираючи хоча б якийсь варіант моделі у кожному сумнівному випадку, ми принаймні не погіршимо загальну оцінку. Якщо правила гри будуть змінені так, що за неправильні відповіді нараховуватимуться штрафні бали (які зменшуватимуть загальну суму), то тоді треба буде переглянути питання про доцільну поведінку на тестуванні у випадку неоднозначного вибору моделі.