ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
“ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ”
МІНІСТЕРСТВА ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Ю.П. Мінаєв, Н.І. Тихонська

МОВА ФІЗИЧНИХ ЗАДАЧ

Навчальний посібник
для студентів фізичного факультету

Затверджено
вченою радою ЗНУ
протокол № від

Запоріжжя
2011

УДК 53:378.147(075.8)
ББК В3я73
М 613

Мінаєв Ю.П., Тихонська Н.І.

М 613 Мова фізичних задач: Навчальний посібник для студентів фізичного факультету. — Запоріжжя: ЗНУ, 2011. — 95 с.

У посібнику йдеться про специфічну мову, якою пишуть умови фізичних задач. На конкретних прикладах демонструється, як треба проводити аналіз ключових слів, які визначають математичну модель описаної в умові задачі фізичної ситуації.

Навчальний посібник написаний для студентів фізичного факультету ЗНУ. Він також може бути корисним шкільним учителям фізики, учням середніх навчальних закладів, які готуються до фізичних олімпіад, конкурсів Малої академії наук, а також до зовнішнього незалежного оцінювання якості шкільної фізичної освіти.

Рецензент *О.Ю. Осипов*
Відповідальний за випуск *Н.І. Тихонська*

Зміст

Вступ

У цьому навчальному посібнику ми звернемо увагу на специфічну мову фізичних задач, навчання якої дозволяє дуже широкий клас задач перевести з розряду "нестандартні" до розряду "стандартні". Йдеться про задачі, розв'язування яких не вимагає знання якихось спеціальних прийомів, але істотно спирається на розуміння значення і призначення ключових слів в умові задачі.

Випадок, коли ключовими словами в умові задачі виступають фізичні терміни, у деякому розумінні, є простим. Якщо не знаєш відповідного терміна, то треба звернутися до теоретичного матеріалу і з'ясувати, що цей термін означає. Інша річ, коли словами, важливими для розв'язання задачі є такі, котрі не привертають до себе уваги, бо є словами повсякденного лексикону. Треба на досить великій кількості прикладів розібрати, як з таких слів можна отримувати конкретні рівняння, необхідні для розв'язання задачі, щоб найсильніші учні почали робити це самостійно.

Іншими словами, існує певна задачна культура зі своєю специфічною мовою, якої треба навчати, бо залучення до цієї культури є необхідною справою, коли мають на меті навчити учнів розв'язувати фізичні задачі. Знання теоретичного матеріалу і певних алгоритмів розв'язування стандартних задач не є достатнім. І якщо необхідність навчати алгоритмів і навіть оригінальних методів розв'язування задач усвідомлюється багатьма вчителями і вченими-методистами, то проблема навчання специфічної "задачної" мови стала підніматися у науково-методичній літературі не так уже й давно [1-3; 10-12]. А ця мова, яка склалася за часи існування фізичних задач, має свої певні закони і тенденції розвитку.

Ми вже мали нагоду звернути увагу фахівців з дидактики фізики на необхідність навчання мови фізичних задач майбутніх учителів [2]. Але закликами, доведенням необхідності та навіть переробкою програми практикуму з розв'язування фізичних задач в окремо взятому університеті справу не вирішити. Потрібні більш масові заходи: статті різних авторів у доступних для школярів і вчителів виданнях, лекції і практичні заняття в інститутах післядипломної освіти, окремі посібники, спеціально присвячені фізичній мові, зокрема, мові фізичних задач.

Тут треба наголосити, що засвоєння мови, про яку йдеться, не є кінцевою метою. Але це необхідний етап на шляху до серйозної творчої роботи в галузях, де фізика є фундаментом. Тому цей етап треба пройти у досить високому темпі. А для цього потрібна дійова допомога школярам з боку дорослих. І не лише в усній формі, а й у вигляді текстів з відповідним чином написаними розв'язками задач, зі спеціальними завданнями і вказівками до них. Це, безумовно, велика робота. Але її треба виконати. У протилежному випадку великий клас фізичних задач, уся складність яких полягає в недоступності для широкого загалу їхньої мови, так і залишиться серед "нестандартних". І тоді навіть найздібніші учні, витративши багато часу на те, щоб самотужки навчитися розв'язувати такі задачі, надто пізно прийдуть до задач, які вже можна назвати дослідними.

Зазначимо, що введення в Україні зовнішнього незалежного оцінювання (ЗНО) якості шкільної фізичної освіти значною мірою *актуалізувало* потребу в навчанні учнів мови фізичних задач. Перший досвід проведення масового тестування випускників середніх навчальних закладів, які мали на меті продовження фізичної освіти у виші, показав, що без суттєвої зміни в методиці навчання учнів розв'язування фізичних задач не обійтися. Щоб виконати за той час, який відводиться на іспит у формі ЗНО, усі запропоновані завдання, треба досить швидко усвідомлювати, що приховали автори задач за ключовими словами умов. Ось чому ми написали досить великий параграф посібника, спеціально присвячений завданням ЗНО. Нами розглянуті завдання "відкритої форми з короткою відповіддю". Саме цей тип завдань виявився найскладнішим для сучасних абітурієнтів університетів.

§ 1. Метод ключових слів як евристика при розв'язуванні фізичних задач

Існує багато класифікацій фізичних задач за різними ознаками. Так, Б.С. Бєліков, розглядаючи тільки теоретичні фізичні задачі, поділяє їх на непоставлені та поставлені, а останні, у свою чергу, — на елементарні, стандартні та нестандартні задачі [4, с. 14]. Остання класифікація ґрунтується на досить важливій особливості самого процесу розв'язування. Мова йде про засоби, необхідні і достатні для одержання розв'язку тієї чи іншої задачі з фізики [4, с. 31].

За означенням Б.С. Бєлікова, нестандартна — це поставлена задача, але застосування у процесі її розв'язування лише "звичайних" законів і методів не приводить до мети: система рівнянь виявляється незамкненою.

Коментуючи це означення, його автор пише: "Залишається неврахованим якесь "дещо" (що і робить задачу нестандартною), деяка "родзинка", про яку треба якось здогадатися. Безумовно, про те, як здогадатися, як її відшукати, ніяких загальних і універсальних практичних порад, мабуть, тут дати не можна" [4, с. 33].

Розглядаючи підходи до діяльності з розв'язування фізичних задач, виокремлюють алгоритмічний і евристичний [13, с. 114]. Зрозуміло, що розв'язання нестандартної задачі без евристичного підходу неможливе. Як потужну евристику при розв'язуванні фізичних задач ми пропонуємо метод, який можна було б назвати *методом ключових слів*. Наш досвід показує, що привчаючи школярів і студентів уважно ставитись до тексту умови, робити його ретельний аналіз, виділяти ключові слова, ми сприяємо переходу наших учнів на якісно новий рівень умінь, необхідних для розв'язування фізичних задач.

Продемонструємо, як цей метод дозволяє знайти те саме "дещо", ту саму "родзинку", про які пише Б.С. Бєліков. Зробимо це, скориставшись задачею, що наведена в цитованому посібнику як приклад нестандартної [4, с. 33].

Приклад “нестандартної” задачі. *Дві матеріальні точки масами* m_1 *і* m_2 *(причому* $m_1 > m_2$*) зв’язані невагомою і нерозтяжною ниткою, як показано на рис. 1. Блоки невагомі. Знайти силу натягу нитки у процесі руху тіл.*

Для розв’язання цієї задачі автор посібника застосовує метод, який він називає методом аналізу фізичної ситуації. Після з’ясування (не дуже короткого) того, що задача пов’язана з основною задачею динаміки матеріальної точки, до тіл m_1 і m_2 застосовується другий закон Ньютона:

$$m_1 g - T = m_1 a_1,$$

$$2T - m_2 g = m_2 a_2,$$

де T — сила натягу нитки.

Далі автор констатує, що конкретні закони динаміки вичерпані, і застосовує конкретні закони кінематики:

$$S_1 = a_1 t^2 / 2, \quad S_2 = a_2 t^2 / 2.$$

Після цього йдуть нові спроби проаналізувати умову і знайти те саме “дещо”. Але вони ні до чого не приводять. Далі, за текстом, іде дуже емоційний опис інсайту: “І раптом як блискавка — здогад: $S_1 = 2S_2$! Чому? Але це ж так просто! Здогад насправді правильний, і це співвідношення можна обґрунтувати. Далі розв’язок задачі вже дійсно очевидний” [4, с. 34].

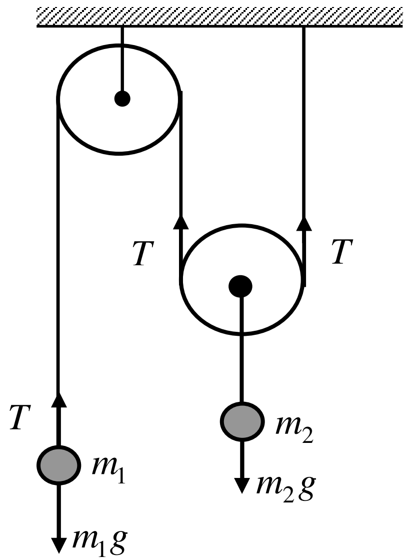


Рис. 1. Ілюстрація до “нестандартної” задачі з [4]

Обґрунтування зазначеного співвідношення у посібнику так і не наводиться. Вважається, мабуть, що читач і сам це без проблем зробить. Але наша практика свідчить, що для багатьох школярів та студентів тут є над чим замислитися. Непростими виявляються і такі запитання:

1) З яких слів в умові задачі випливає, що натяг буде однаковим уздовж усієї нитки?

2) Чому на тіло m_2 діє сила натягу $2T$?

З нашої точки зору, всі ці запитання подібні, бо всі три (включаючи запитання про обґрунтування співвідношення $S_1 = 2S_2$) стосуються ключових слів в умові задачі: нитка невагома і нерозтяжна, блоки невагомі. Щоправда, є обставина, яка в умові задачі в явному вигляді не представлена, але її треба враховувати для отримання наведених вище рівнянь: відсутність тертя.

Яка ж причина того, що для автора згаданого посібника існує принципова різниця між запитаннями про натяг і про співвідношення між шляхами, що пройшли тіла за певний час? Чому запитання про натяг і не виникали, а для з'ясування співвідношення між шляхами знадобився інсайт?

На наш погляд, це може бути пов'язане з тим, що до рівнянь, куди входять натяг нитки, просто "звикли" (згадаємо про "звичайні" закони і методи в означенні нестандартної задачі, що дає Б.С. Бєліков). Дійсно, такі самі рівняння пишуть і у стандартних задачах, не обговорюючи питань про натяг нитки, про те, як відповіді на них пов'язані з відповідними ключовими словами. При цьому учні привчаються *не звертати* увагу на такі слова в умові задачі, як *невагома* і *нерозтяжна* та інші, що є ключовими для розв'язку. Ці слова виступають в умові як якийсь фон, про призначення якого не мають уявлення, за нашими спостереженнями, не тільки учні, а й деякі вчителі фізики. А що буде, скажімо, якщо блок або нитка будуть мати ненульову масу? Від таких запитань відвертаються.

А яке співвідношення між прискореннями тіл витікає з нерозтяжності нитки? Так питання не ставлять, бо не пов'язують співвідношення між прискореннями з нерозтяжністю нитки. Коли розглядають стандартну задачу про два тіла, що зв'язані ниткою, перекинутою через нерухомий блок, то всім зрозуміло, що коли одне тіло йде вниз з певним прискоренням, то друге буде йти догори з таким самим за модулем прискоренням. Це очевидно, бо розглядуваний процес руху легко наочно собі уявити. І ця наочна очевидність відкидає потребу формального виведення рівності величин прискорень у цьому простому випадку з ключового слова умови задачі, а саме з нерозтяжності нитки.

Коли система трохи ускладнюється, то задача оголошується нестандартною, і при її розв'язуванні ми чекаємо на інсайт. Складається таке враження, що та блискавка, про яку пише Б.С. Бєліков, знов допомогла наочно уявити всю ситуацію і записати шукане співвідношення. А якщо система блоків буде набагато складнішою, то скільки часу нам доведеться чекати на ту блискавку, яка зробить нам очевидним співвідношення між прискореннями? З іншого боку, рівняння, яке накладає обмеження на прискорення, автоматично витікає з нерозтяжності нитки. Таким чином, виведення необхідного співвідношення можна зробити стандартною операцією.

У чому ж полягає та евристика, яку ми пропонуємо назвати методом ключових слів? Фактично, вона зводиться до рекомендації приділяти серйозну увагу тексту умови задачі і "чіплятися" до кожного слова як під час самостійного розв'язування, так і при ознайомленні з уже готовими розв'язками. З одного боку, це буде сприяти накопиченню усвідомленого досвіду і, відповідно, переводу задач з розряду "нестандартних" до розряду "стандартних". З іншого боку, метод ключових слів можна розглядати як евристику, бо він спрямовує пошук, хоча не дає алгоритму. Зрозуміло, що запитання "Яке рівняння випливає з того, що нитка не змінює своєї довжини?" дає більш спрямований поштовх тому, хто розв'язує задачу, ніж знання про те, що потрібно знайти якесь "дещо", яке дозволить зробити систему рівнянь замкненою.

§ 2. Обґрунтування математичної моделі фізичної ситуації на основі аналізу ключових слів умови задачі

Після усвідомлення учнями важливості ідеї ключових слів для успішного розв'язування задач вони мають потренуватися "чіплятися" до кожного слова в умові задачі. Для цього пропонуються завдання на складання систем рівнянь за умовами конкретних фізичних задач. Ставиться вимога докладно прокоментувати появу кожного рівняння. Спочатку вчитель демонструє зразки таких розгорнутих пояснень, потім допомагає учням будувати власні тексти доповідей з коментарями складених систем, а згодом можна вже і заслухати такі доповіді перед однокласниками (починаючи з малих груп).

Наведемо приклад ***розгорнутого пояснювального тексту*** до математичної моделі задачної ситуації.

Задача. (№ 6.42 з [7]) *Весь простір між пластинами плоского конденсатора займає парафінова пластинка. Ємність конденсатора 40* пФ, *його заряд* 2нКл. *Яку роботу потрібно виконати проти сил електростатичного поля, щоб витягнути пластинку з конденсатора? Конденсатор відключений від джерела напруги.*

В умові зазначено, що конденсатор *плоский*, отже можна скористатися формулою $C = \dfrac{\varepsilon_0 \varepsilon S}{d}$ та встановити, що його ємність внаслідок витягування пластинки зменшиться в ε разів.

З інформації про *відключення* конденсатора *від джерела напруги* робимо висновок про незмінність заряду на його пластинах: $q = const$. Отже, енергія електростатичного поля конденсатора, яку можна знайти за формулою $W = \dfrac{q^2}{2C}$, збільшиться у стільки разів, у скільки зменшиться ємність (тобто в ε разів).

А *механічна робота*, яку треба знайти за умовою задачі, дорівнює приросту енергії конденсатора:

$$A = W_2 - W_1 = \frac{q^2}{2C_2} - \frac{q^2}{2C_1} = \frac{q^2}{2C_1}(\varepsilon - 1)\,.$$

Розглянута задача має у збірнику [7] позначку про її високий рівень. Але вона, як бачимо, не вимагає від учнів використання специфічних методів розв’язування чи складних математичних перетворень. Її рівень може пояснюватися тільки відповідним “мовним” насиченням. Тому пропонована робота з ключовими словами-термінами у цьому випадку є доцільною, бо перетворює задачу високого рівня в усну вправу.

Зазначимо, що особливо корисним є розбір тих задач, розв’язок яких займає у збірнику з розв’язками кілька рядків, але на докладний аналіз на шкільному уроці або занятті гуртка може не вистачити і півгодини.

Наведемо конкретний приклад, який цікавий тим, що для написання адекватного рівняння, яке було б математичною моделлю, суттєвим виявляється наведене в умові задачі числове значення фізичної величини.

Задача [6, с. 71]. *Знайдіть густину насиченої водяної пари при* 100 °С.

У спеціально проведеному нами дослідженні було встановлено, що на запитання: “Що таке насичена водяна пара?” учні часто дають такі *неправильні* відповіді:

• насичена водяна пара — пара, яка насичена водяними крапельками;

• насичена водяна пара — це, коли молекули речовини рухаються з великою швидкістю і знаходяться на невеликій відстані одна від одної;

• насичена водяна пара — це означає, що в парі висока концентрація молекул води;

• насичена водяна пара — це значить, що її тиск дорівнює атмосферному.

Отже, треба детально зупинитися на ситуації, що розглядається у задачі. Пропонуємо учням звернути увагу на те, що зазначене в умові задачі числове значення температури не є випадковим. Це температура кипіння води саме при *нормальному* атмосферному тиску. А що таке *кипіння*? Тільки після детального обговорення цього питання стає зрозумілим, яким чином пов'язана залежність тиску насиченої пари від температури із залежністю температури кипіння від зовнішнього тиску. Виявляється, що вони пов'язані як взаємно обернені функції.

Залишається підставити значення тиску насиченої водяної пари, яке при 100 °C дорівнює значенню нормального атмосферного тиску, до рівняння Клапейрона-Менделєєва і знайти відношення маси пари до об'єму. То й буде шукана густина. А чи можна використовувати вказане рівняння до насиченої пари? І хоча в одному з шкільних посібників [14, с. 62] стверджується, що можна, пропонуємо учням розібратися з цим питанням.

З'ясовуємо, що рівняння Клапейрона-Менделєєва є рівнянням стану ідеального газу. А чи буде насичена пара ідеальним газом? Це залежить від температури. А саме від того, як далеко вона від *критичної*. Більш детальний аналіз цього питання і робота з таблицями приводять нас до висновку, що при 100 °C розбіжність між табличним значенням густини і обчисленим за відомим тиском через рівняння Клапейрона-Менделєєва не більше 2 %. Але при температурі, що є критичною для води, експериментальне значення густини буде відрізнятися від підрахованого за рівнянням стану ідеального газу аж у 4 рази!

Зрозуміло, що такий аналіз щодо ідеальності насиченої водяної пари не передбачався автором задачі, бо вся її суть полягала в тому, щоб *без таблиць* знайти густину цієї пари, спираючись на те, що 100 °C — це значення температури *кипіння* води при зовнішньому тиску, який дорівнює *одній атмосфері*. При цьому застосовність рівняння Клапейрона-Менделєєва (як це пропонується у [6]) не повинна була викликати сумнівів. Але, на наш погляд, не треба зводити розв'язування фізичних задач виключно до процесу одержання відповіді, що співпадає з тією, яка наведена у збірнику.

Розглянемо інші приклади задач, які може й не такі глибокі за фізичним змістом, але добре, на наш погляд, ілюструють ідею ключових слів-термінів в умові.

Задача. *Два однакових плоских конденсатори з'єднані послідовно і підключені до джерела постійної напруги U. У скільки разів зміниться напруженість поля в одному з конденсаторів, якщо в інший внести пластину з діелектричною проникністю ε так, щоб діелектрик заповнив увесь простір між обкладинками конденсатора? Який заряд пройде при цьому через джерело, якщо ємність одного повітряного конденсатора C?*

З того, що конденсатори з'єднані *послідовно*, випливає, по-перше, що заряди на них однакові; по-друге, що сумарна напруга на конденсаторах дорівнює прикладеній різниці потенціалів.

Досвід показує, що перше твердження потребує окремого пояснення. Воно випливає з того, що сумарний заряд у тих межах, які позначені на рис. 2 штриховою лінією, під час зарядки буде залишатися нульовим.

Конденсатори *однакові*, відповідно їхні ємності теж однакові.

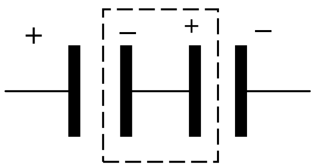


Рис. 2. Ілюстрація до задачі з послідовним з'єднанням плоских конденсаторів

Отже, $U = 2\frac{q}{C}$, де q — заряд кожного конденсатора.

Після *заповнення* простору між обкладинками одного з конденсаторів *діелектриком* його ємність збільшилася в ε разів і стала дорівнювати $C' = \varepsilon \cdot C$. При цьому заряди на конденсаторах змінилися, але як і раніше вони залишаються рівними між собою. З того, що *джерело залишилося підключеним,* випливає, що *сумарна* напруга на двох конденсаторах не зміниться. Тому можна записати: $U' = U = \dfrac{q'}{C} + \dfrac{q'}{\varepsilon \cdot C}$.

Напруженість поля в повітряному конденсаторі пропорційна зарядові на його обкладинках, тому напруженість E зміниться у стільки ж разів, у скільки зміниться заряд: $\dfrac{E'}{E} = \dfrac{q'}{q}$. Використовуючи отримані рівняння, маємо відповідь на перше запитання задачі: $\dfrac{E'}{E} = \dfrac{2\varepsilon}{1+\varepsilon}$.

При заповненні одного з конденсаторів діелектриком заряд на позитивно заряджених обкладинках збільшився від q до q'. Отже, через джерело пройшов заряд $Q = q' - q$. Остаточна відповідь на друге запитання задачі: $Q = \dfrac{CU(\varepsilon - 1)}{2(\varepsilon + 1)}$.

Учні, які вийшли на відповідний рівень в оволодінні мовою фізичних задач, можуть самостійно працювати з посібниками, що містять готові розв'язки. В іншому випадку учням буде незрозумілим те, як автор посібника дійшов до того чи іншого розв'язку. Тоді, як свідчать проведені нами спеціальні спостереження [2], відбуваються спроби механічного запам'ятовування готових розв'язків, що не є бажаним.

§ 3. Труднощі мови фізичних задач, пов'язані з неоднозначністю деяких ключових слів

Досвід показує, що багато учнів при відтворенні умови задачі демонструють прекрасну пам'ять на часом несуттєві числові значення величин, але пропускають слова, без урахування яких задачу розв'язати неможливо. Особливо часто це відбувається, якщо останні входять до повсякденного лексикону і тому не привертають до себе уваги. Іноді ситуація ускладнюється тим, що деякі слова тільки маються на увазі автором задачника, але в умові в явному вигляді відсутні. Наприклад, у багатьох задачах, якщо не сказано протилежного, нитки, що зв'язують важки, потрібно вважати легкими і нерозтяжними, стержні — жорсткими, блоки — невагомими і без тертя.

Навчання мови фізичних задач найпростіше проводити на конкретних прикладах. Треба продемонструвати на ряді задач, як вони стають простими після розбору значень ключових слів і одержання рівнянь, що за ними стоять.

Потім варто дати можливість учням самостійно спробувати знайти відсутні для розв'язування задачі рівняння, направляючи їхню увагу на ключові слова в умові питаннями типу:

– Що можна сказати про потенціали ***металевих*** куль, якщо відомо, що їх з'єднали ***провідником***? Навіщо сказано, що провідник ***тонкий***?

– Який висновок можна зробити з того, що джерело ***напруги*** залишилося ***під'єднаним***? Чи буде при цьому змінюватися заряд на конденсаторі? Чи буде змінюватися напруга на ньому?

– Які обмеження на швидкість кінців ***стержня*** накладає та обставина, що його довжина не змінюється? Що можна сказати про проекції швидкостей його кінців на вісь, що спрямована уздовж стержня?

– Які сили діють на тіло, якщо відомо, що воно ***відірвалося*** від поверхні півсфери? Яке прискорення вони надають тілу? Як знайти нормальну складову цього прискорення, якщо відомі швидкість тіла і радіус півсфери?

Варто звернути увагу на те, що деякі слова в різних задачах спричиняють різні рівняння. Так, в одному випадку прикметник ***гладенький*** дозволяє використовувати закон збереження енергії, у другому — вказати напрямок дії сили, у третьому — напрямок швидкості після зіткнення. Слово ***непружний*** не завжди означає, що тіла рухаються після зіткнення разом, або що не можна записати закон збереження енергії. З іншого боку, не завжди можна записати закон збереження енергії, якщо удар ***пружний***.

Наведемо конкретні приклади.

Задача. *Важкий куб масою M знаходиться на поверхні гладенького горизонтального столу. Важок масою m торкається до його бічної поверхні, звисаючий кінець нитки вертикальний (рис. 3). Спочатку систему утримують, важок висить на висоті h над столом. Знайти швидкість куба перед ударом важка об стіл після того, як систему відпустили.*

Розв'язок: Оскільки куб ***важкий***, то він не буде перекидатися під час руху системи. Умова ***торкання*** важка бічної поверхні куба означає, що горизонтальна складова його швидкості дорівнюватиме швидкості куба. Нитка у задачі передбачається ***нерозтяжною***, незважаючи на відсутність цієї характеристики в умові. Отже, швидкість скорочування горизонтальної частини нитки дорівнюватиме швидкості подовження її вертикальної частини. Це означає, що будуть однаковими вертикальна і горизонтальна складові швидкості важка.

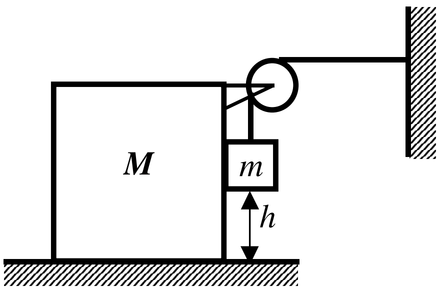


Рис. 3. Ілюстрація до задачі з "традиційними" ключовими словами

Позначимо шукану швидкість куба перед ударом важка об стіл через υ. Тоді з проведеного аналізу ключових слів за допомогою теореми Піфагора отримаємо, що швидкість важка у цей момент буде $\sqrt{2}\upsilon$, тому що вона складається з горизонтальної і вертикальної складових, кожна з яких дорівнює υ.

В умові сказано, що поверхня столу ***гладенька***, і мовчки передбачається ***відсутність тертя*** у блоці, а також між важком і кубом. Отже, втрати енергії у системі відсутні, і можна застосувати закон збереження енергії:

$$mgh = m\upsilon^2 + \frac{M\upsilon^2}{2}, \text{ звідки}$$

$$\upsilon = \sqrt{\frac{2mgh}{2m+M}}.$$

Як бачимо, розбір ключових слів зробив задачу практично усною.

Задача. *Гладенька непружна кулька з м'якого свинцю налітає на таку ж кульку, що знаходиться у стані спокою. Швидкість першої кульки в момент удару спрямована під кутом α до лінії центрів куль. Під яким кутом розлетяться кулі після удару?*

Розв'язок: Якщо орієнтуватися на розв'язок попередньої задачі, то треба було б записати закон збереження енергії, тому що кульки ***гладенькі.*** Але в умові є вказівка на те, що вони також ***непружні***. Виходить, що в одній задачі між ключовими словами протиріччя! Як бути? Треба зрозуміти, що не завжди можна записати закон збереження енергії, лише побачивши в умові задачі слово ***гладенький.*** Варто подумати, яку інформацію ми можемо витягти з цього слова у конкретній задачі. Розглянемо докладніше характер взаємодії між кульками в момент удару. Розкладемо силу, яка діє на кульку, що знаходилася спочатку у стані спокою, з боку кульки, що налітає, на нормальну і силу тертя. Але остання відсутня внаслідок того, що кульки ***гладенькі***, отже, вони взаємодіють лише вздовж лінії, що проходить через їхні центри. Звідси висновок: кулька, що раніше знаходилася у стані спокою, полетить уздовж осі *X* (рис. 4), що проходить через центри кульок у момент їхнього зіткнення, а кулька, що налітає, збереже свою проекцію швидкості на вісь *Y*, що перпендикулярна до осі *X*.

Таким чином, як наслідок того, що кульки гладенькі, ми встановили *Y*-ові проекції швидкостей кульок після удару:

$$\upsilon_{1y} = \upsilon_0 \sin\alpha, \quad \upsilon_{2y} = 0.$$

Тут індекс “1” введений для кульки, що налітає, а “2” — для кульки, яка спочатку була нерухомою. Початкова швидкість кульки, що налітає, позначена як υ_0. Що ж буде з *X*-овими проекціями швидкостей? Розібратися у цьому нам допоможе ключове слово ***непружний***, а також вказівка на те, що нерухома кулька ***така ж*** як і та, що налітає.

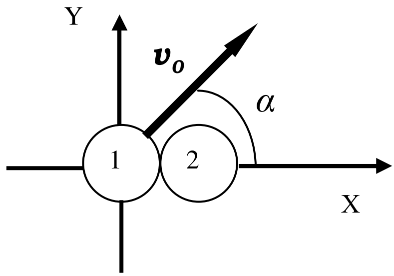


Рис. 4. Непружне зіткнення гладеньких кульок

Поки у кульки, що *налітає, X*-ова компонента швидкості буде більшою, ніж у тієї, яка була нерухомою до удару, вона буде «штовхати» останню.

При вирівнюванні *X*-ових компонент швидкостей ***непружних*** кульок, їхня досягнута максимальна деформація не буде у подальшому зменшуватися, як це було б при пружному зіткненні. Отже, проекції швидкостей на вісь *X* в обох кульок після непружного удару будуть однаковими:

$$\upsilon_{1x} = \upsilon_{2x}.$$

Якщо нерухома кулька ***така ж***, як і та, що налітає, то їхні маси однакові. Використовуючи закон збереження імпульсу в проекції на вісь *X,* одразу одержимо *X*-ові проекції швидкостей обох кульок:

$$\upsilon_{1x} = \upsilon_{2x} = \frac{\upsilon_0 \cos\alpha}{2}.$$

Оскільки друга кулька після удару полетить уздовж осі X, шуканий кут розльоту — це кут, що утворить з віссю X швидкість першої кульки після удару. Позначимо цей кут через β. Тоді,

$$\operatorname{tg}\beta = \frac{\upsilon_{1y}}{\upsilon_{1x}} = 2\operatorname{tg}\alpha,$$

або, остаточно,

$$\beta = \operatorname{arctg}\left(2\operatorname{tg}\alpha\right).$$

У наведеному розв'язку передбачається, що час удару настільки малий, що кульки не встигають помітно зсунутися одна відносно іншої. Це і дозволяло нам вважати, що напрямки сил, що діють на кожну з кульок, не змінюються під час удару (взаємодія відбувається вздовж осі X).

Розглянемо випадок, коли можна записати закон збереження механічної енергії, незважаючи на те, що удар непружний.

Задача. *На пружині, що має коефіцієнт жорсткості k, нерухомо висить дуже легка чашка. На чашку з висоти h падає без початкової швидкості пластилінова кулька масою m (рис. 5). Визначити амплітуду A коливань, що виникають.*

Розв'язок: Оскільки чашка ***дуже легка***, можна зробити висновок, що швидкість чашки з кулькою безпосередньо після удару практично дорівнює швидкості кульки в момент удару. Таким чином, незважаючи на те, що зіткнення кульки з чашкою непружне (кулька ***пластилінова***), можна скористатися законом збереження енергії, який зручно записати наступним чином:

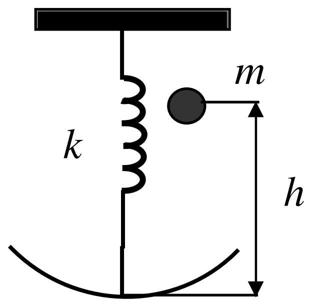


Рис. 5. Випадок збереження енергії при непружному зіткненні

$$\frac{k}{2}(x_0 + A)^2 = mg(h + x_0 + A).$$

У лівій частині рівняння записана потенціальна енергія пружини при максимальному розтягненні. У цей момент кінетична енергія кульки дорівнює нулю, а потенціальна енергія кульки у полі тяжіння зменшиться порівняно з початковою на величину, що стоїть у правій частині рівняння.

Максимальне розтягнення пружини знаходиться як сума двох доданків: x_0 (відстань між початковим положенням чашки і новим положенням рівноваги) і A (шукана амплітуда коливань). Величина x_0 визначається без проблем:

$$x_0 = \frac{mg}{k}.$$

Після розкриття дужок лінійні за A доданки скорочуються. З огляду на те, що за визначенням амплітуда є величиною додатною, остаточно одержимо

$$A = \sqrt{\left(\frac{mg}{k}\right)^2 + \frac{2mgh}{k}}.$$

Розглянемо ще одну задачу, у якій, навпаки, удар пружний, але механічна енергія не зберігається.

Задача. *Пластина налітає на таку ж нерухому пластину. Площини пластин паралельні. Коефіцієнт тертя між поверхнями пластин μ. Швидкість пластини, що налітає, у момент удару утворює кут α з нормаллю до її поверхні. Під яким кутом розлетяться пластини після пружного удару?*

Розв'язок: Незважаючи на те, що удар пластин пружний, ми не можемо скористатися законом збереження енергії. Це пов'язано з тим, що поверхні пластин шорсткуваті і частина кінетичної енергії під час взаємодії переходить у внутрішню енергію. Що ж у даному випадку означає прикметник ***пружний***? Щоб відповісти на це питання, спростимо задачу, поклавши $\alpha = 0$. У цьому окремому випадку втрат сумарної кінетичної енергії не буде, тому що відсутнє ковзання однієї пластини відносно іншої з виділенням тепла. І ми переходимо до добре відомої задачі про ***пружне лобове*** зіткнення двох ***однакових*** частинок, одна з яких ***спочатку знаходилася у стані спокою***. При такому зіткненні частинка, яка налітає, зупиняється, а та, що спочатку знаходилася у стані спокою, летить далі зі швидкістю першої частинки. Легко бачити, що така відповідь задовольняє і закон збереження енергії, і закон збереження імпульсу: частинка, що налітає, цілком передає свою енергію та імпульс раніше нерухомій частинці.

Повертаючись до вихідної задачі, можна зрозуміти, що відносне ковзання пластин не впливає на нормальні складові їхніх сил взаємодії. Виходить, що нормальні складові швидкостей будуть змінюватися як і у випадку $\alpha = 0$, тобто вони ними “обміняються”. Отже, після удару будемо мати:

$$\upsilon_{1x} = 0,\ \upsilon_{1y} = \upsilon_0 \sin\alpha - \mu\upsilon_0 \cos\alpha .$$

На рис. 6 позначення аналогічні тим, що були введені при розв’язуванні задачі з гладенькими непружними кульками.

Що ж стосується тангенціальних складових сил взаємодії (тобто сил тертя), то $F_{\text{òåð}} = \mu N$, якщо є відносне ковзання, і $F_{\text{òåð}} = 0$, якщо ковзання немає. Тут *N*, як звичайно прийнято, позначає нормальну складову.

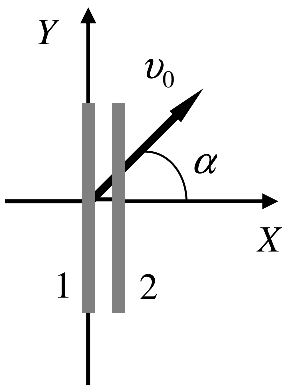


Рис. 6. Пружне зіткнення із втратами сумарної кінетичної енергії

Розглянемо спочатку випадок, коли ковзання не припиняється протягом усього часу удару. Тоді зміна *Y*-ових складових імпульсів пластин буде дорівнювати з точністю до знака зміні *X*-ових складових, помноженій на коефіцієнт тертя μ. Це безпосередньо випливає з того, що швидкість зміни імпульсу дорівнює силі (другий закон Ньютона), а також того, що $F_{\text{òåð}} = \mu N$. Таким чином, з урахуванням напрямів сил тертя і рівності мас, маємо:

$$\upsilon_{1y} = \upsilon_0 \sin\alpha - \mu\upsilon_0 \cos\alpha, \quad \upsilon_{2y} = \mu\upsilon_0 \cos\alpha.$$

Перший доданок у правій частині першої формули — значення *Y*-ової складової першої пластини до удару, а другий пов'язаний з імпульсом сили тертя. У правій частині другої формули — лише один доданок, тому що початкова швидкість другої пластини дорівнює нулю.

Звичайно, ці формули виведені у припущенні, що $F_{\text{òåð}} = \mu N$, а отже, що є відносний рух. Зрозуміло, що для цього має виконуватися умова $\upsilon_{1y} \ge \upsilon_{2y}$, тому що перша пластина може за рахунок тертя збільшувати *Y*-ову складову другої тільки в тому випадку, якщо її власна *Y*-ова складова більша. Звідси одержуємо обмеження на застосування формул, отриманих для *Y*-ових проекцій швидкостей пластин після удару:

$$\upsilon_0 \sin\alpha - \mu\upsilon_0 \cos\alpha \ge \mu\upsilon_0 \cos\alpha,$$

або

$$\operatorname{tg}\alpha \ge 2\mu.$$

У протилежному випадку ($\operatorname{tg}\alpha < 2\mu$) *Y*-ові складові зрівняються ще до закінчення удару і сила тертя "вимкнеться" (стане дорівнювати нулю). Із закону збереження проекції імпульсу на вісь *Y* з урахуванням рівності мас пластин будемо мати:

$$\upsilon_{1y} = \upsilon_{2y} = \frac{1}{2}\upsilon_0 \sin\alpha.$$

Для наочності отримані результати, що стосуються *Y*-ових проекцій швидкостей пластин після удару, представлені на рис. 7.

Шуканий кут розльоту пластин (позначимо його φ) — це кут між швидкістю другої пластини і віссю Y, тому що швидкість першої пластини після удару не має X-ової складової. Отже, $\operatorname{ctg}\varphi = \dfrac{\upsilon_{2y}}{\upsilon_{2x}}$,

або остаточно:

$$\varphi = \begin{cases} \operatorname{arcctg}\mu, & \mu \le \dfrac{1}{2}\operatorname{tg}\alpha, \\ \operatorname{arcctg}\left(\dfrac{1}{2}\operatorname{tg}\alpha\right), & \mu > \dfrac{1}{2}\operatorname{tg}\alpha. \end{cases}$$

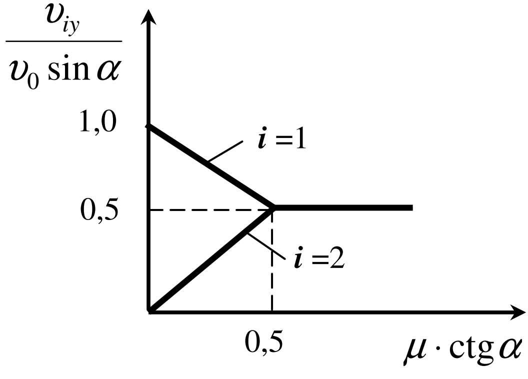


Рис. 7. Залежність Y-вих проекцій швидкостей після удару від коефіцієнта тертя

Коли учні зможуть у цілому самостійно розв'язувати задачі розглянутого тут класу, контроль за усвідомленістю дій можна здійснювати за допомогою питань типу:

– Де у Вашому розв'язку використовується те, що робота ***максимальна***?

– Чи є важливим те, що нитка ***невагома***?

– Яке рівняння у Вашому розв'язку істотно спирається на те, що зіткнення було ***пружним***?

– З яким ключовим словом в умові задачі пов’язане те, що ми маємо право швидкість електрона і збудженого атома вважати однаковими?

Такі питання допомагають глибше усвідомити не тільки розв’язок конкретної задачі, але і загальні підходи до розв’язування так званих “нестандартних” задач.

Звернемо увагу на ту обставину, що наведені нами розв’язки відомих задач займають багато місця. Може, саме це і змушує авторів методичних посібників із розв’язування фізичних задач обходити стороною порушену тему. Дійсно, чи не буде більше користі, якщо на тому ж місці написати розв’язки не чотирьох, а, принаймні, двадцяти, якщо не сорока, задач?

Однак, наші спеціальні спостереження за роботою школярів і студентів, які знайомляться з розв’язками фізичних задач за такими посібниками, показали, що в більшості випадків відбувається примітивне механічне заучування готових розв’язків. Після цього вони спроможні, у кращому випадку, відтворити ці розв’язки, якщо відтворення не дуже відстрочене. Пояснити ж, чому при розв’язуванні задачі потрібно писати саме такі рівняння, а не інші, можуть лише найздібніші з них. До речі сказати, саме такі школярі і студенти задають багато запитань за готовими розв’язками, бо далеко не завжди можуть простежити за логікою авторів. А найстаранніші з інших учнів і не намагаються це робити, вони просто заучують розв’язок як усякий навчальний текст, з яким зіштовхує їх життя.

Наші дослідження показали, що відстрочене відтворення розв’язків задач відбувається добре лише у тих, хто входив в усі тонкощі умови, усвідомлюючи, які слова у ній є ключовими, і які рівняння з них випливають. Що ж стосується розв’язування незнайомих задач, то контраст між учнями, що дотримуються різних стратегій при знайомстві з готовими розв’язками, ще більш приголомшливий.

Таким чином, вивчення готових розв’язків, що написані дуже стисло, конспективно, далеко не всім іде на користь. Стислість розв’язку ускладнює його розуміння і підштовхує багатьох школярів і студентів до механічного заучування. Тому поряд із традиційними збірниками задач з короткими розв’язками необхідні посібники, які б були спеціально орієнтовані на послідовне навчання прийомів пошуку рішень. Зокрема, треба допомогти учням засвоїти мову фізичних задач і навчити їх бачити за ключовими словами умови відповідні рівняння, необхідні для розв’язування.

§ 4. Організація обговорення головної ідеї та плану розв'язування фізичної задачі

Розглянемо докладніше методику організації обговорення з учнями головної ідеї та розгорнутого плану розв'язку фізичної задачі на конкретному прикладі з теми "Фізика атома та атомного ядра".

Учні при цьому займають активну позицію, звертаючи особливу увагу на головну ідею, бо без цього неможливо утримати в пам'яті весь план розв'язку.

Задача (№ 16.43 з [7]). *Протон з кінетичною енергією* 5,0 МеВ *налітає на нерухоме ядро* ${}^{7}_{3}\mathrm{Li}$. *У результаті реакції вилітають дві* α *-частинки з однаковими енергіями. Знайдіть кут між напрямками руху* α *-частинок.*

Коментар. Учитель починає обговорювати з учнями підхід до розв'язування цієї задачі. Він зазначає, що перш за все треба зробити аналіз фізичної ситуації та визначитися з рівняннями, які її описують.

Текст полілогу. *Вчитель (В):* Для того, щоб записати рівняння, що описують рух частинок, про які йдеться в умові задачі, треба відповісти на запитання: "Ці частинки релятивістські чи нерелятивістські?". Від цього залежатиме вигляд рівнянь, які будуть використовуватися для розв'язку. Протон, який налітає на нерухоме ядро, є релятивістською чи нерелятивістською частинкою?

Учень (У1): А в чому полягає різниця між ними?

У2: Релятивістські частинки мають швидкості, близькі до швидкості світла, на відміну від нерелятивістських, швидкості яких набагато менші.

В: Підказка: щоб відповісти на поставлене запитання треба порівняти енергію спокою частинки з її кінетичною енергією. Поясніть — чому?

У1: Чим більша швидкість руху частинки, тим більша її кінетична енергія. І якщо ця енергія, наприклад, буде набагато менша за енергію спокою, яка розраховується за формулою $E = m_0c^2$, то можна зробити висновок, що швидкість руху частинки буде набагато менша, ніж швидкість світла у вакуумі c .

В: Гаразд. Давайте зробимо відповідне порівняння за допомогою розрахунків. Нагадую, що наприкінці збірника завдань міститься додаток з фізичними сталими. У ньому є інформація про енергію спокою протона, а також інші необхідні дані.

У1: За табличними даними ця енергія набагато більша за кінетичну, що задана в умові (938,26МеВ>>5МеВ). Отже, можна зробити висновок, що протон у даній задачі нерелятивістський.

В: Треба ще з'ясувати, чи відбувається ядерна реакція? Якщо так, то треба буде визначитися, збільшується кінетична енергія розглядуваної системи чи зменшується?

У2: В умові задачі йдеться про зіткнення протона з нерухомим ядром літію $^7_3\mathrm{Li}$, у результаті якого з'явилися дві α -частинки. Це і є ядерною реакцією за означенням.

В: Чи вистачить для розв'язку задачі використання тільки закону збереження енергії?

У2: У задачах з механіки на зіткнення тіл ми завжди використовували поряд з законом збереження енергії закон збереження імпульсу.

В: Правильно, треба записати також закон збереження імпульсу. Причому модуль імпульсу раціональніше попередньо виразити через кінетичну енергію.

У1: Чи правильно я зрозумів хід розв'язку? По-перше, необхідно з'ясувати, збільшиться чи зменшиться кінетична енергія системи в результаті ядерної реакції, та не забути врахувати це, записуючи закон збереження енергії. По-друге, треба записати закон збереження імпульсу, використовуючи значення кінетичних енергій частинок.

В: Так. Чи є запитання щодо реалізації цього плану?

У3: Як розраховується зміна кінетичної енергії системи?

В: Хто може відповісти на це запитання?

У1: Для цього застосовується формула $\Delta E = \Delta m \cdot c^2$, де Δm — різниця мас частинок, які вступили до реакції, та тих, що утворилися в її ході.

Але перед тим, як почати робити розрахунки, треба обов'язково визначити, які частинки брали участь у ядерній реакції.

У2: До реакції існували протон та ядро літію $^{7}_{3}\mathrm{Li}$. У результаті реакції утворилися дві α-частинки.

У3: Рівняння, що відбиває ідею закону збереження енергії, матиме такий вигляд: $E_p + \Delta E = 2E_\alpha$, бо кінетичні енергії α-частинок однакові.

В: Правильно. А як буде виглядати закон збереження імпульсу, записаний через значення кінетичних енергій?

У2: Спочатку треба згадати, як пов'язані між собою кінетична енергія та імпульс частинок.

У1: За формулою $E=p^2/2m$.

У2: Тоді $p = \sqrt{2mE}$. Але закон збереження імпульсу треба писати у векторному вигляді, а нам невідомі напрямки векторів імпульсів α-частинок.

В: Сумарний імпульс системи до взаємодії мав певний напрямок. Він співпадав з напрямком руху протона, бо ядро, з яким він зіткнувся, не рухалося. Після взаємодії сумарний імпульс системи не змінився. Тому можна стверджувати, що вектор імпульсу протона до взаємодії і вектори імпульсів α- частинок після взаємодії знаходяться в одній площині. Який висновок з цього можна зробити щодо проекцій імпульсів α-частинок на напрямок, перпендикулярний до початкового імпульсу системи?

У3: За законом збереження імпульсу сума проекцій імпульсів на цей напрямок повинна дорівнювати нулю, бо система не мала імпульсу у цьому напрямку. Отже, проекції імпульсів α-частинок на цей напрямок рівні за модулем та протилежні за знаком.

В: Тому можна стверджувати, що частинки розлітаються під однаковими кутами до напрямку руху протона. Позначимо через γ кут розльоту α-частинок. Як тоді записати суму проекцій їх імпульсів у зазначеному напрямку?

У3: У зв'язку з тим, що енергії α-частинок однакові, їх імпульси за модулем також будуть однакові: $p_\alpha = \sqrt{2m_\alpha E_\alpha}$. А сума проекцій імпульсів на напрямок руху протона буде складати $2p_\alpha \cos\frac{\gamma}{2} = 2\sqrt{2m_\alpha E_\alpha} \cdot \cos\frac{\gamma}{2}$.

Коментар. Учням пропонується продовжити розв'язувати задачу самостійно. Але їм надається можливість поставити вчителю запитання про будь-який крок у розв'язку, що викликав певні труднощі. Таким чином, вчитель вчасно приходить на допомогу.

У2: У мене є питання щодо визначення різниці мас частинок, які вступили до реакції, та тих, що утворилися в її ході. Я не знаю, де знайти масу α - частинки?

В: α - частинка — це ядро атома гелію $^4_2\mathrm{He}$. Отже, треба звернутися до відповідної таблиці у додатках до збірника завдань.

У2: У таблицях збірнику значення мас ядер відсутні. Є тільки таблиця мас атомів деяких ізотопів.

В: Уважно подивіться на цю таблицю. У дужках після її заголовку є інформація щодо визначення маси ядра: можна відняти від маси атома сумарну масу його електронів.

Коментар. Це твердження треба додатково обґрунтувати. Але не зараз, бо важливо не втратити лінію розв'язку.

Багато учнів починає визначати кількість електронів в атомі гелію та літію задля того, щоб визначити відповідні маси ядер. Але можна зрозуміти, що це не обов'язково робити у даній задачі. Дійсно, якщо у формулі для розрахунку різниці мас частинок, які вступили до реакції, та тих, що утворилися в її ході, замінити маси ядер масами відповідних атомів, то відповідь, як легко збагнути, не зміниться. Масу протона при цьому треба замінити масою атома ${}^{1}_{1}\mathrm{H}$. Буде добре, якщо вчитель потім особливо відмітить тих, хто зробив це “відкриття” самостійно.

Учні записують рівняння для визначення різниці мас у такому вигляді: $\Delta m = m_{{}^{1}_{1}\mathrm{H}} + m_{{}^{7}_{3}\mathrm{Li}} - 2m_{{}^{4}_{2}\mathrm{He}}$. Далі підставляють числові значення і отримують відповідь: $\Delta m = 1{,}00783 + 7{,}01601 - 2\cdot 4{,}0026 = 0{,}01864$ (а.о.м.)

Для розрахунку енергетичного виходу ядерної реакції вчитель пропонує скористатися коефіцієнтом пропорційності між одиницями маси й енергії, що міститься у додатках до збірника. Це значно скорочує розрахунки. Але бажано також надати можливість учням дійти до цього самостійно.

Школярі отримують таке значення енергетичного виходу:

$\Delta E = 0{,}01864 \cdot 931{,}5 = 17{,}4$ (МеВ).

Далі розв’язується система рівнянь, у якій значення ΔE вже вважається відомим: $\begin{cases} E_p + \Delta E = 2E_\alpha, \\ \sqrt{2m_p E_p} = 2\sqrt{2m_\alpha E_\alpha}\cdot\cos\dfrac{\gamma}{2}. \end{cases}$

Багато учнів потребують допомоги вчителя. Він надає її кожному в міру потреби.

З першого рівняння системи учні знаходять енергію α-частинок E_α і підставляють у друге рівняння системи. Потім виражають шуканий кут γ:

$$\gamma = 2\arccos\sqrt{\frac{m_p E_p}{2m_\alpha (E_p + \Delta E)}} = 2\arccos\sqrt{\frac{1\cdot 5}{2\cdot 4\cdot (5 + 17{,}4)}} \approx 160°.$$

Тут треба звернути увагу учнів на те, що в останню формулу доречно підставляти наближені значення m_p і m_α. В атомних одиницях маси вони дорівнюватимуть кількості нуклонів, з яких складаються ці частинки, тобто для протона $m_p \approx 1$а.о.м., а для α-частинки $m_\alpha \approx 4$ а.о.м.

Зазначимо принагідно, що значення мас та енергій у даному випадку не треба переводити у SI, бо перевідні коефіцієнти все одно б скоротилися.

Задача вже розв'язана, але існує питання, до якого доцільно повернутися: "Як обґрунтувати твердження, що міститься у додатках до збірника, про те, що для визначення маси ядра можна відняти від маси атома сумарну масу його електронів?".

У1: Атом складається з ядра та електронів. Зрозуміло, що маса цілого дорівнює масі його складових. Отже, маса атома дорівнює сумі мас ядра та всіх електронів в атомі.

В: Чому тоді сума мас нуклонів у ядрі не дорівнює сумі мас цих нуклонів, але взятих окремо?

У2: Бо існує певний зв'язок частинок в ядрі. Для того, щоб його "розірвати" треба виконати роботу проти ядерних сил, які утримують нуклони у ядрі.

В: А чи немає подібного зв'язку між електронами та ядром в атомі?

У1: Дійсно, негативно заряджені електрони повинні притягуватися позитивно зарядженим ядром і відштовхуватися між собою. Тому треба враховувати цей зв'язок.

В: Давайте зробимо оцінку для енергії зв'язку електрона з ядром атома. Для цього корисно пригадати, яку роботу треба виконати, щоб іонізувати, наприклад, атом водню?

У3: Коли ми розглядали схематичне зображення енергетичних рівнів атома водню, найнижчий рівень відповідав значенню мінус 13,6 еВ. Отже, для іонізації з основного стану електрону потрібно надати енергію 13,6 еВ.

В: У скільки разів відрізняється ця енергія від енергії спокою електрона?

У1: За табличними даними енергія спокою електрона дорівнює 0,5 МеВ. Отже, енергія зв'язку електрона з ядром набагато менша за енергію спокою електрона. Ось і виходить, що нею можна знехтувати.

Запропонований спосіб організації уроку розв'язування задач високого рівня, на наш погляд, є більш дієвим, ніж традиційний, коли розв'язок отримує вчитель, або один учень біля класної дошки під його безпосереднім керівництвом.

Перевага, на наш погляд, полягає у можливості визначити загальний напрямок розв'язування задачі в цілому. Це є важливим з точки зору сприйняття процесу розв'язування не як послідовності майже не пов'язаних між собою кроків, а як усвідомлення фізичної сутності явищ, що згадуються в умові. Учень, який достатньо уважно слідкує за ходом такого уроку, та ще й бере активну участь в обговоренні, краще усвідомить і теоретичний матеріал, бо цілеспрямовано застосовує його при розв'язуванні задачі. Це допоможе учневі в майбутньому розв'язувати задачі самостійно.

§ 5. 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 $\cdot$ 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: $\eta = \frac{T_{í} - T_{х}}{T_{í}} \cdot 100\%$. 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 $\hat{O} = LI$, 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 $I = \frac{\hat{O}}{L}$ 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 $W_L = \dfrac{LI^2}{2}$ — 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: $W_L = \dfrac{\hat{O}I}{2}$ і $W_L = \dfrac{\hat{O}^2}{2L}$. 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 $W_L = \dfrac{LI^2}{2}$ як на аналог формули для кінетичної енергії матеріальної точки $(E_k = \dfrac{m\upsilon^2}{2})$.

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. По-друге, 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: $m_{\tilde{a}}ct_{\tilde{a}} + m_x ct_x = (m_{\tilde{a}} + m_x)ct$. 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 åÂ $= 1{,}6\cdot 10^{-19}$ 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 $\upsilon_2 = \sqrt{10^{12} - \frac{2\cdot(2{,}9-1{,}1)\cdot 1{,}6\cdot 10^{-19}}{9\cdot 10^{-31}}} \cdot 10^{-3}$ (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, $\upsilon_2 = 10^5 \cdot \sqrt{10^2 - \frac{2\cdot 1{,}8\cdot 1{,}6\cdot 10^{-19}}{9\cdot 10^{-31}} \cdot 10^{-10}} \cdot 10^{-3}$ (км/с).

Здається, що другий доданок під знаком кореня більше схожий на 64, ніж на 36. Дійсно, $2\cdot(\frac{18}{9})\cdot 16\cdot 10^{-2-19-10+31} = 64.$ Таким чином, $\upsilon_2 = 10^5 \cdot \sqrt{100-64} \cdot 10^{-3}$ (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 $3{,}6 \cdot 10^3$ 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 дружками позначено, що йдеться про одиниці фізичних величин. Ясно, що $[T] = \text{с}$, $[m] = $ êã. А як знайти $[k]$? Треба згадати, що коефіцієнт жорсткості вводять через формулу для сили пружини, яку розтягли (або стиснули) на Δl. А значить, $[k] = [\dfrac{F}{\Delta l}]$. Зрозуміло, що $[\Delta l] = $ ì, а $[F] = $ 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 $[F]=[ma]=\hat{e}\tilde{a}\cdot\grave{\imath}\ \cdot\tilde{n}^{-2}$. Відповідно, $[k]=\hat{e}\tilde{a}\cdot\tilde{n}^{-2}$. Отже, $[m^{\alpha}k^{\beta}]=\hat{e}\tilde{a}^{\alpha+\beta}\cdot\tilde{n}^{-2\beta}$. Порівнюючи це з $[T]=\text{с}$, матимемо: $\alpha+\beta=0;\ -2\beta=1$. Звідки одержуємо $\beta=-\frac{1}{2};\ \alpha=\frac{1}{2}$. Тобто $T\sim\sqrt{\frac{m}{k}}$. 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: $I = I_0 e^{-\frac{Rt}{L}}$. Якщо відомо, що через час Δt сила струму зменшилася на ΔI, 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 À $<<$ 2 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: $\mathscr{E} = -L\dfrac{dI}{dt}$, де $\dfrac{dI}{dt}$ — похідна сили струму за часом! Тобто $\dfrac{dI}{dt}$ — це швидкість зміни сили струму? Так! І чому ж буде дорівнювати ця швидкість одразу після "закорочення" котушки? $\left.\dfrac{dI}{dt}\right|_{t=0} = -\dfrac{I_0 R}{L} = -\dfrac{20}{0{,}7}$ $(\grave{\text{А}} \cdot \tilde{\text{n}}^{-1})$, де знак "–" показує, що сила струму зменшується! І за який час вона зменшиться на 0,01 А? З урахуванням того, що $0{,}01\ \grave{\text{А}} \ll 2\ \grave{\text{А}}$, можна вважати, що на цьому проміжку часу сила струму зменшувалася майже за лінійним законом зі швидкістю $\dfrac{I_0 R}{L}$ (знак "–" зник при заміні слова "змінювалась" на "зменшувалась"). Отже, $\Delta t \approx \dfrac{\Delta I \cdot L}{I_0 \cdot R} = \dfrac{0{,}01 \cdot 0{,}7}{20}$ (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 $\upsilon^2\left(\frac{m}{m+M}\right)^2$ краще записати у вигляді $\left(\frac{m\upsilon}{m+M}\right)^2$, 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 $Q = m\cdot(\frac{M\upsilon^2}{2(M+m)} + gh)$.

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: $T_0 = T - \frac{A}{R}\cdot\frac{M}{m} = 500 - \frac{8{,}31\cdot10^3\cdot0{,}028}{8{,}31\cdot0{,}28}$ (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, $k = 9\cdot10^9\,\frac{\text{Í}\cdot\text{ì}^2}{\text{Êë}^2}$.

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).

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

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).

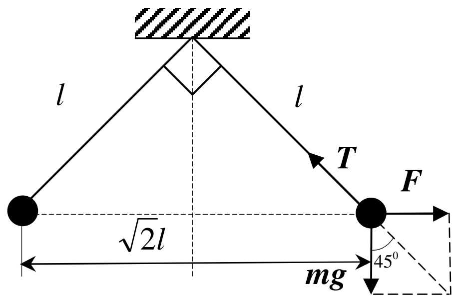


Рис. 11. Ілюстрація до завдання 4.4

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 $\dfrac{tg\alpha}{(2\sin\alpha)^2}$ або $\dfrac{1}{2\sin 2\alpha}$ замість множника $\dfrac{1}{2}$ 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: $\mathcal{E}_{i\ddot{\imath}\ddot{a}} + I_1 r = U$. 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_1U). Якщо цю частку позначити через α, то кінцева відповідь буде такою: $\alpha = \frac{I_1}{I_2}$, 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:

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

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: $U_{í} = {}^{2}R_{í}$. 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: $U = kU_{í}(1 + \frac{R_{í}}{r})$. Числові значення підібрані так, що можна було б цю задачу віднести до третього виділеного нами типу і розв'язувати, одразу працюючи з числовими значеннями.

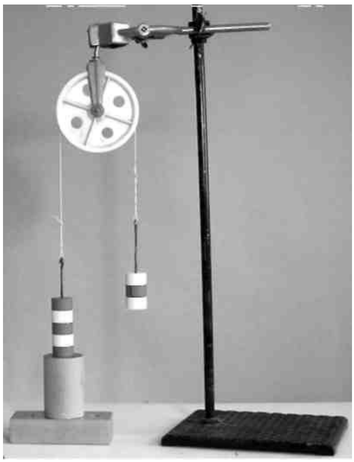
У скільки разів опір вторинної обмотки менше, ніж опір корисного навантаження? У 10! Яка ж напруга "падає" на опорі вторинної обмотки, якщо на навантаженні — 40 В? У 10 раз менше! А яка ж ЕРС має бути, щоб забезпечити відповідні "падіння" напруги і на корисному навантаженні, і на опорі вторинної обмотки? 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".

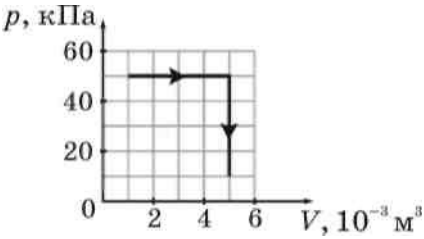
Якщо треба лише записати відповідь у м/с^2 вважаючи, що g =10 м/с^2, то це справа декількох секунд. Дійсно,

$\frac{5-3}{5+3} \cdot 10 =$ ... (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).

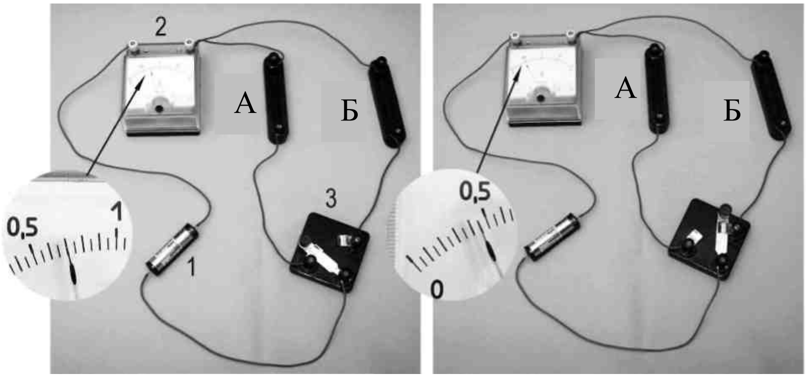
Це все прояснює. Якщо визначати кількість теплоти, яку отримав газ "у підсумку" (те, що отримав при ізобарному нагріванні, мінус те, що віддав при ізохорному охолодженні), то вона буде дорівнювати роботі, яку він виконав, коли дійсно отримував теплоту при ізобарному нагріванні. І цієї теплоти вистачило 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.

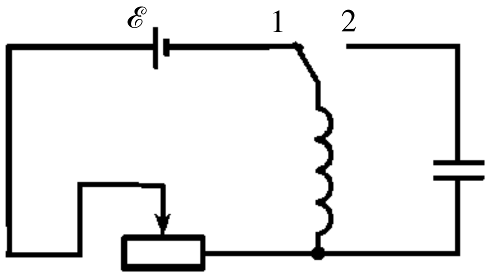
5.3 (196). Електричне коло складається з гальванічного елемента (1), амперметра (2), перемикача (3) і двох резисторів. Опір резистора А дорівнює 1 Ом. Якщо змінювати положення перемикача, то покази амперметра змінюються. Знайдіть опір (в омах) резистора Б, якщо внутрішній опір гальванічного елемента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



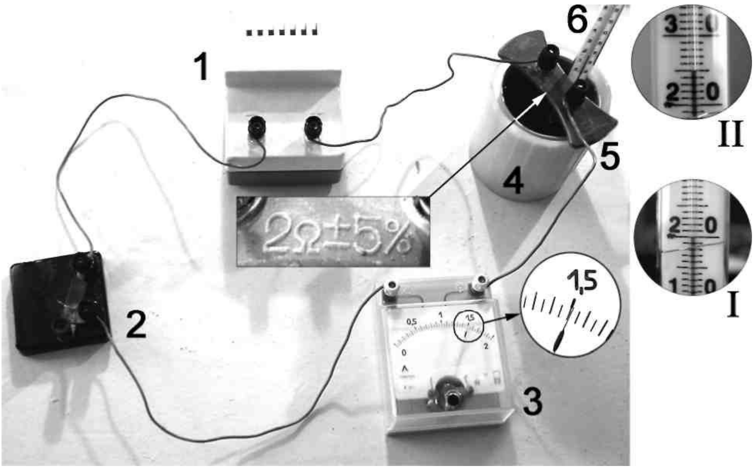
Коментар. Обидві задачі-близнючки зводяться до розв'язування одного рівняння: $I_A(r+R_A)=I_Б(r+R_Б)$, яке базується на припущенні незмінності параметрів гальванічного елемента (ЕРС і внутрішнього опору), не дивлячись на зміну положення перемикача. У задачі 5.3 (196) треба визначити $R_Б$ через R_A, 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 $I = \dfrac{\mathcal{E}}{r + R_{\hat{E}} + R_{Ð}}$, де $r = 1$ Ом, $R_K = 2$ 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: $\dfrac{1+2+6}{1+2+3} = \ldots$

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 $4{,}2\cdot10^3$ 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: $\eta = \dfrac{Q_K}{Q_{\hat{A}}}\cdot 100\%.$ 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.

$\Delta t = (25 - 20)\ ^0\text{C} = 5\ ^0\text{C}$ (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:

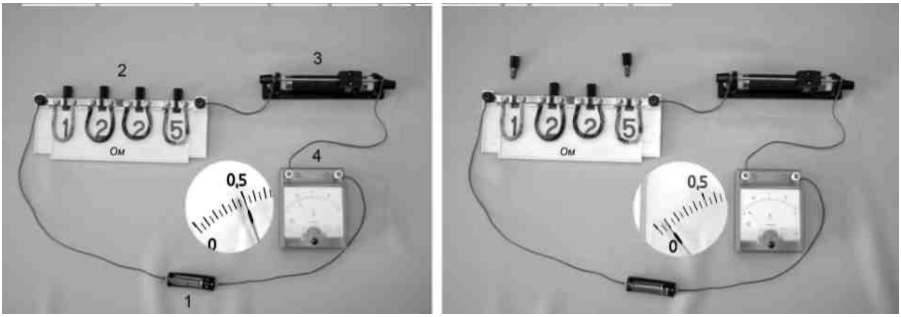
$$\eta = \frac{0{,}18 \cdot 4{,}2 \cdot 10^3 \cdot 5}{1{,}5^2 \cdot 2 \cdot 1{,}2 \cdot 10^3} \cdot 100\%.$$

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.



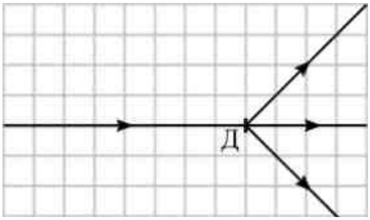
Коментар. При розв'язуванні цієї задачі можуть виникти ускладнення з отриманням інформації з ілюстративного матеріалу. Треба розібратися за "Довідкою" з принципом роботи магазину резисторів і з'ясувати, що у першому досліді опір магазину $R_{\text{ì}1} = 2\ \text{Îì}$, а в другому — $R_{\text{ì}2} = 6\ \text{Îì}$. 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: $I_1 = 0{,}5\ \text{À}, I_2 = 0{,}4\ \text{À}$.

Треба припустити, що не тільки опір реостата $R_{Ð}$ і внутрішній опір гальванічного елемента r не змінювалися, а й ЕРС гальванічного елемента в обох дослідах однакова: $I_1(r + R_{Ð} + R_{\text{М}1}) = I_2(r + R_P + R_{\text{М}2})$. Одержане з цього рівняння $R_{Ð}$ 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 $R_{Ð}$) 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.



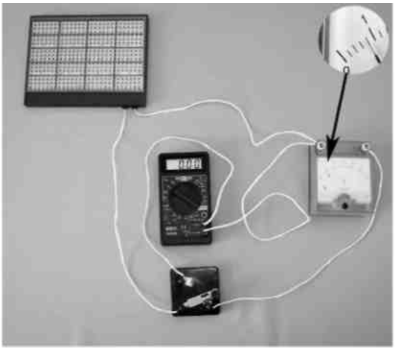
Коментар. З рисунку треба зрозуміти, що після проходження через дифракційну ґратку пучок світла фактично ділиться на три ($m = \{-1; 0; 1\}$). Використане число m входить до відомої формули, яка визначає напрямки дифракційних максимумів: $\sin\alpha_m = \dfrac{\lambda m}{d}$, де через d позначена відстань між сусідніми штрихами ґратки. У нашому випадку $d = \dfrac{1\ \text{мм}}{1250} = \dfrac{1 \cdot 10^6\ \text{нм}}{0{,}125 \cdot 10^4} = 8 \cdot 10^2\ \text{нм}$ (без округлень!).

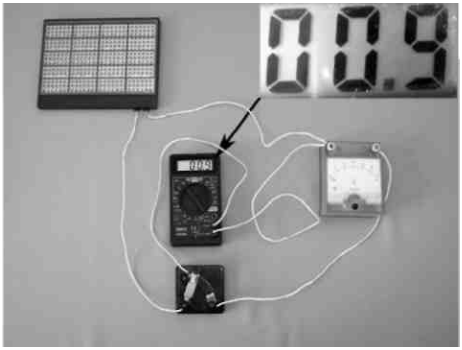
З рисунку також видно, що $\alpha_1 = 45^0$, а значить $\sin\alpha_1 = \dfrac{\sqrt{2}}{2} \approx \dfrac{1{,}41}{2}$ (не будемо поспішати ділити на 2!). Остаточно для довжини хвилі матимемо: $\lambda = \dfrac{1{,}41}{2} \cdot 8 \cdot 10^2\ \text{нм} = \ldots$

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 мiлiватах 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, $\mathscr{E} = 0{,}9$ Â. А ось опір стрілочного вольтметра не достатньо великий. Він “показує” меншу за $\mathscr{E}$ 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: $\mathscr{E} = I_V (r + r_V)$, 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: $P = I^2 r$; $\mathscr{E} = I(r + r)$. 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 мілiватах? 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 °C”. 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.

§ 6. Про перспективу створення електронного консультанта з мови фізичних задач та залучення учнів і студентів до розробки електронних засобів навчання

Що стосується технічної організації занять з розв'язування фізичних задач, то було б корисним доповнити крейду і дошку сучасними мультимедійними засобами. Отже, ми поставили собі за завдання розпочати створення мультимедійного помічника для навчання мови фізичних задач. За нашим задумом, він має бути таким, щоб його можна було використовувати як в аудиторії, так і для самостійної роботи вдома.

Ідею створення мультимедійного помічника з мови фізичних задач було вирішено втілювати в життя у вигляді презентацій MS PowerPoint. Використання презентацій є одним з найпоширеніших способів залучення комп'ютерних технологій до процесу навчання фізики. Але більшою мірою вони використовуються для створення слайд-лекцій [9]. Ми пропонуємо розширити сферу застосування цього виду мультимедійних технологій і використовувати його для навчання мови фізичних задач.

Пропонований мультимедійний помічник складається із певним чином відібраних задач та їх розв'язків, але він не є збірником задач з розв'язками в загальноприйнятому сенсі. Замість готового розв'язку учням пропонується послідовно відповісти на запитання, які дозволяють зрозуміти сутність задачі та можливі шляхи її розв'язку. При цьому особлива увага приділяється з'ясуванню змісту ключових слів в умові задачі. Такий підхід дозволяє звертати увагу учнів на значення саме тих слів, які допомагають відшукати шлях до розв'язку, та сприяє формуванню в учнів установки на усвідомлене розв'язування задач.

Ідея пояснення учням виникнення розв'язку задачі за допомогою навідних запитань чудово вписується у структуру презентації. На кожному слайді користувачу ставиться запитання, відповідь на яке знаходиться на наступному слайді, в кінці якого є ще одне запитання і т.д. Таким чином, крок за кроком користувач наближається до правильної відповіді. У такий спосіб досягається необхідна індивідуалізація навчання.

Створення електронних засобів навчання зазвичай передбачає ефективне використання мультимедійних технологій. У контексті ідеї пропонованого мультимедійного помічника особливо потрібно зазначити великі можливості комп'ютера для подання інформації у графічній формі. Йдеться про те, щоб ілюструвати певними малюнками розв'язок задачі. Такими малюнками можуть бути, наприклад, зображення фізичної ситуації в різні моменти часу, або в різних системах відліку. Використання ілюстрацій обґрунтовано тим, що багатьом учням важко за текстовими описами створювати власні просторові образи. Але розуміння фізичної ситуації, вміння її побачити — це вельми важливий фактор при розв'язуванні таких задач, які потребують від учнів не лише знання основних формул.

Використання ілюстрацій під час розв'язування фізичних задач має на меті активізацію в учнів процесу мислення. Згідно з Л.М. Веккером [5], мислення — це процес перекладу інформації з мови одновимірних сукцесивних структур ("мови слів") на мову симультанно-просторових гештальтів ("мови образів"), та у зворотному напрямку. Звідки, в контексті розв'язування фізичних задач, можна зробити висновок, що якщо за словами умови задачі учень не бачить певних образів, то про усвідомлене розв'язування не йдеться.

Пропонований мультимедійний помічник може допомогти у тому, щоб в учнів складалися адекватні образи. Але для цього він має містити досить велику кількість ілюстрованих розв'язків задач. Причому потрібно обирати такі задачі, під час розв'язування яких використання ілюстрацій дійсно дозволяє побачити ідею цього розв'язку.

Отже, актуальність використання ілюстрацій під час розв'язування фізичних задач не викликає сумнівів. Але вчителю, щоб проілюструвати задачну ситуацію малюнком на дошці, потрібен певний час. До того ж в окремих випадках можуть бути потрібні декілька малюнків, і витрачати кожного разу досить багато часу на "малювання", розв'язуючи одну й ту саму задачу з різними учнями, не є раціональним. Створення мультимедійного помічника, що містить готові розв'язки задач з ілюстраціями, зняло б з вчителя обов'язки "художника". До того ж змістова частина програмного засобу, що пропонується, може легко розширюватися і оновлюватися, що вигідно його відрізняє від друкованих "розв'язників" фізичних задач.

Звичайно, що ця справа надзвичайно складна і вимагає не лише високої кваліфікації, а й значних витрат часу. У першу чергу йдеться про значні витрати на розробку відповідного методичного забезпечення такого навчання. Але *перспективність* цього напрямку роботи не викликає в нас сумнівів, особливо у застосуванні до підготовки учнів — членів МАН до оцінювання їхніх навчальних досягнень з базової дисципліни, а також для підготовки випускників до ЗНО з фізики. Адже розроблене методичне забезпечення можна буде використовувати не один рік.

Треба зазначити, що у підготовці матеріалів для дистанційного навчання можуть з успіхом брати участь студенти — майбутні вчителі та навіть старшокласники. Ми вже маємо досвід залучення до такої роботи студентів і учнів. У додатку А на прикладі однієї задачі зі збірника під редакцією О.Я. Савченка [8] продемонстрована реалізація ідеї мультимедійного помічника, про перспективу створення якого йшлося у цьому параграфі. Наведений у додатку приклад взятий з курсової роботи студента фізичного факультету Дмитра Шишлова, який був залучений до розробки мультимедійного помічника та згодом став співавтором статті у фаховому виданні з теорії та методики навчання фізики [12]. Розробка такого роду мультимедійних засобів не лише виводить на якісно новий рівень методику проведення аудиторних занять, а й *відкриває перспективу для налагодження дистанційного навчання*.

Немає можливості назвати всіх учнів, які за допомогою нашої методики навчилися розв'язувати фізичні задачі на такому рівні, щоб одержувати призові місця на конкурсах МАН і олімпіадах з фізики. Але імена тих, хто погодився допомагати нам у розробці методичних матеріалів, ризикнув з методичною темою виступити на фізичній секції МАН і переміг, наведені у додатку Б.

Розглянемо можливість залучення до створення мультимедійного помічника учнів середньої школи. Відповідна тема МАНівської роботи у свій час була сформульована для учениці X класу НВК "Освіта" (м. Запоріжжя) Ольги Казанцевої, якій допомагав п'ятикласник Борис Мінаєв. У цьому проекті використовувалися не лише візуальні можливості сучасних комп'ютерів, а був організований і звуковий супровід з пояснювальним текстом. Слайди з роботи Ольги Казанцевої, яку вона успішно захистила на обласному конкурсі Малої академії наук, наведені у додатках В і Г.

У 2008/2009 навчальному році нашою помічницею стала учениця VIII класу гуманітарної гімназії Маргарита Сотнікова (ЗГ № 2, м. Запоріжжя), яка вже багато років відвідувала заняття в художній школі. А познайомилися ми з нею як з призером районної олімпіади з фізики, після якої вона була запрошена на заняття фізико-математичного гуртка Запорізького обласного центру науково-технічної творчості учнівської молоді "Грані". Маргариті ми запропонували включитися в роботу зі створення комп'ютерного забезпечення навчальних занять, присвячених розв'язуванню фізичних задач. За результатами своєї роботи восьмикласниця не лише зробила доповідь на обласному конкурсі МАН, виборовши призове місце на секції "Теоретична фізика", а й стала співавтором статті у фаховому виданні з теорії та методики навчання фізики [11]. Ілюстрація з презентації її проекту наведена у додатку Д. За своїм змістом її МАНівська робота є "комп'ютерним" продовженням ідеї організації обговорення з учнями шляхів пошуку розв'язків фізичних задач.

Створення мультимедійного помічника з мови фізичних задач ще не можна вважати завершеним. Він має охоплювати всі розділи шкільного курсу фізики і містити необхідну кількість задач. Крім того, використання можливостей комп’ютера не обмежується лише статичними ілюстраціями. За його допомогою можна створювати і анімації, що сприятимуть розумінню фізичних задач. Роботу зі створення та вдосконалення мультимедійного помічника планується продовжити.

§ 7. Завдання для самоконтролю

Варіант № 1

1. Тіло рухається рівноприскорено з початковою швидкістю. Його переміщення за п’ятнадцяту секунду на 17 м більше, ніж за десяту. Знайдіть прискорення тіла.

2. Рухаючись рівноприскорено, автомобіль за 2 с пройшов 60 м та збільшив свою швидкість утричі. Знайдіть початкову та кінцеву швидкість автомобіля на цій ділянці шляху.

3. Тіло, що вільно падало пролетіло останні 165 м за 3 с. З якої висоти впало тіло. Вважайте g=10 м/с^2.

4. Тіло масою 2 кг рухається по горизонтальній площині з прискоренням 3 м/с^2 під дією двох послідовно з’єднаних пружин з коефіцієнтами жорсткості відповідно 1 кН/м та 2 кН/м. Визначіть сумарне видовження цих пружин, якщо коефіцієнт тертя дорівнює 0,2.

5. Кулька, яку підвішено на нитці довжиною 0,5 м, рівномірно обертається у горизонтальній площині. Знайдіть кут, який утворює нитка з вертикаллю, якщо кулька робить 60 обертів за одну хвилину.

6. Дирижабль, наповнений воднем, має підйомну силу $2{,}2 \cdot 10^5$ Н. Яку підйомну силу він матиме, якщо наповнити його гелієм? Маса оболонки 2 т.

7. Із шайбою масою 200 г, що нерухомо лежить на поверхні льоду, пружно зіштовхується шайба масою 100 г і після удару рухається у протилежному напрямку. Визначіть, у скільки разів змінилася кінетична енергія цієї шайби.

8. Крижина площею поперечного перерізу 1 м^2 та товщиною 0,5 м плаває в озері. Яку роботу потрібно виконати, щоб повністю занурити крижину в воду?

9. Куля масою 9 г, що летіла горизонтально, потрапляє у вантаж масою 8 кг, якій підвішений на легкому жорсткому стрижні, і застряє в ньому. При цьому вантаж з кулею піднімається на висоту 2 см. Визначіть, з якою швидкістю летіла куля.

Варіант № 2

1. Посередині запаяної з обох кінців горизонтальної трубки довжиною 1 м знаходиться стовпчик ртуті довжиною 20 см. Коли трубку поставили вертикально, стовпчик ртуті змістився на 10 см. Яким був тиск у горизонтальній трубці? Температуру вважайте незмінною.

2. У посудині об’ємом 44,8 л міститься 2 моль водню і 1 моль кисню при температурі 373 К. Який тиск установиться в посудині після того, як водень і кисень прореагують, а посудина охолоне до початкової температури?

3. Яку роботу необхідно виконати, щоб краплю води радіусом 1 мм розділити на 1000 маленьких однакових крапельок?

4. Наведіть приклад процесу, при якому газ отримує теплоту, а його температура зменшується. Обґрунтуйте свою відповідь.

5. У вертикальному циліндрі під поршнем масою 1 кг і площею 50 $см^2$ знаходиться аргон об’ємом 10 л при температурі 273 К. Яка кількість теплоти потрібна на нагрівання аргону до 300 К, якщо атмосферний тиск 98 кПа? Тертя не враховуйте.

6. У вертикальному циліндрі під важким поршнем знаходиться кисень масою 2 кг. Знайдіть збільшення внутрішньої енергії кисню при підвищенні його температури на 5 К.

7. Два додатні заряди Q та $9Q$ знаходяться на відстані L один від одного. Який заряд і де потрібно помістити, щоб кулонівські сили, які діятимуть на кожний із трьох зарядів, зрівноважували одна одну?

8. У плоский конденсатор, довжина пластин якого 5 см, влітає паралельно пластинам електрон з кінетичною енергією $4{,}6 \cdot 10^{-17}$ Дж. Напруга на пластинах 5 В, відстань між ними 4 мм. На яку відстань зміститься електрон від початкової траєкторії при вильоті з конденсатора?

9. Конденсатор ємністю 60 мкФ підключено до джерела напруги 1000 В. Не від’єднуючи його від джерела, відстань між

пластинами конденсатора збільшили вдвічі. Яку при цьому було виконано роботу?

Варіант № 3

1. Скільки витків нікелінового дроту треба намотати на порцеляновий циліндр діаметром 1,5 см, щоб зробити кип'ятильник, у якому за 10 хв закипає вода об'ємом 1,2 л, узята при початковій температурі 10°С? ККД установки 60%, діаметр дроту 0,2 мм, кип'ятильник розраховано на напругу 100В.

2. Коли опір навантаження, підключеного до батареї, збільшили у n разів, напруга на навантаженні збільшилася від U_1 до U_2. Знайдіть ЕРС батареї.

3. Будинок лісника підключено до електромережі за допомогою довгого кабелю з досить великим опором. Лісник помітив, що два однакові чайники закипають при послідовному і паралельному підключенні за один і той самий час. Чому дорівнює опір кабелю, якщо кожний з чайників споживає при напрузі 220 В потужність 400 Вт?

4. Електрон описує в магнітному полі ґвинтову лінію з радіусом 4 мм. Знайдіть крок ґвинтової лінії, якщо вектор швидкості складає кут 30° з вектором магнітної індукції.

5. Протон розганяється зі стану спокою в електричному полі з різницею потенціалів 1,5 кВ і влітає в однорідне магнітне поле перпендикулярно до лінії магнітної індукції. У магнітному полі він рухається по дузі кола радіусом 60 см. Визначіть модуль вектора магнітної індукції.

6. Однозарядні іони двох ізотопів аргону розганяються в електричному полі і потім в однорідному магнітному полі розділяються на два пучки, що рухаються у вакуумі по дугах кола з радіусами 7,63 см і 8,05 см. Знайдіть відношення мас іонів двох ізотопів.

7. Знайдіть швидкість упорядкованого руху електронів у мідному провіднику з площею поперечного перерізу 30 мм^2 при силі струму 50 А. Вважайте, що на кожний атом приходиться один електрон провідності.

8. До кінців сталевого провідника опором 3 Ом з площею поперечного перерізу 1 мм^2 прикладено напругу 4 В. Визначіть середню швидкість упорядкованого руху електронів у провіднику, якщо їх концентрація $4 \cdot 10^{28}$ м$^{-3}$.

9. Плоский повітряний конденсатор зарядили до напруги 10 кВ і від'єднали від джерела напруги. Відстань між обкладками конденсатора 2 мм, а площа пластин 10 см^2. Між обкладками конденсатора поміщено іонізатор, що утворює 10^{10} пар іонів щосекунди. Припускаючи, що 50% іонів досягають обкладок конденсатора, визначіть напругу на обкладках конденсатора через 10 с.

Варіант № 4

1. Годинник, маятник якого має довжину 1 м, відстає за добу на 0,5 год. Як треба змінити довжину маятника, щоб годинник ішов вірно?

2. Ізохронізм (незалежність періоду від амплітуди коливань) порушується при значній амплітуді. Як змінюється період коливань із збільшенням амплітуди? Відповідь поясніть рисунком.

3. У скільки разів відрізняються періоди коливань однакових математичних маятників на Землі і на Марсі, якщо маса Марса в 9,3 раза менша, ніж маса Землі, а радіус Марса в 1,9 раза менший від радіуса Землі?

4. Заряджений конденсатор ємністю 5 мкФ замкнули на котушку індуктивності 0,8 Гн. Через який найменший час після підключення енергія магнітного поля котушки буде в 3 рази більшою, ніж енергія електричного поля конденсатора?

5. Заряджений конденсатор ємністю 1 мкФ підключили до котушки індуктивністю 40 мГн з активним опором 0,5 Ом. На скільки відсотків зменшується за кожний період енергія вільних електромагнітних коливань у цьому контурі? Вважайте втрати енергії за один період малими.

6. На скільки потрібно змінити зазор між пластинами повітряного конденсатора у вхідному коливальному контурі радіоприймача, щоб перейти на прийом удвічі більш довгих хвиль? Початковий зазор дорівнює 1 мм.

7. Передавальна антена обласного телецентру знаходиться на висоті 350 м. Яка дальність упевненого прийому телепрограм при висоті прийомної антени 15 м?

8. Кут падіння світла на скляну плоскопаралельну пластину 60°. Промінь, що пройшов крізь пластинку, змістився на 8 мм. Яка товщина пластинки?

9. На дифракційну решітку з періодом 4 мкм падає нормально світло, що пропустили через світлофільтр. Смуга пропускання світлофільтра — від 500 нм до 550 нм. Чи будуть спектри різних порядків перекриватися один з одним?

Список використаної та рекомендованої літератури

1. Аксьонов І.С., Мінаєв Ю.П., Тихонська Н.І. Організація обговорення головної ідеї та плану розв'язування фізичної задачі // Теорія та методика навчання математики, фізики, інформатики: Збірник наукових праць. Вип. V: В 3-х томах. – Кривий Ріг: Видавничий відділ НМетАУ, 2005. – Т.2: Теорія та методика навчання фізики. – С. 11-15.

2. Афанасьєва (Тихонська) Н.І., Мінаєв Ю.П. Навчання мови фізичних задач майбутніх учителів // Наукові записки. – Серія: Педагогічні науки. – Випуск 42. – Кіровоград: РВЦ КДПУ ім. В. Винниченка. – 2002. – С.150–153.

3. Афанасьева (Тихонская) Н.И., Минаев Ю.П. Язык физических задач // Преподавание физики в высшей школе. Научно-методический журнал. – Москва. – 2003. – №25. – С. 5–13.

4. Беликов Б.С. Решение задач по физике. Общие методы: Учебное пособие для студентов вузов. – М.: Высш. шк., 1986. –256 с.

5. Веккер Л.М. Психика и реальность: единая теория психических процессов. – М.: Смысл, 1998. – 685 с.

6. Гельфгат И.М., Генденштейн Л.Э., Кирик Л.А. 1001 задача по физике с решениями. – ИМП "Рубикон", 1997. – 592 с.

7. Гельфгат І.М. та ін. Збірник різнорівневих завдань для державної підсумкової атестації з фізики. – Харків: Гімназія, 2002. – 104 с.

8. Задачи по физике: Учеб. пособие / И.И. Воробьев, П.И. Зубков, Г.А. Кутузова и др.; Под ред. О.Я. Савченко. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит. 1988. – 416 с.

9. Ильин В.А., Кудрявцев В.В. Новый вид обучения в вузе и школе — мультимедийные лекции (на примере спецкурса "Нобелевские премии по физике") // Збірник наукових праць Кам'янець-Подільського державного університету: Серія педагогічна: Проблеми дидактики фізики та шкільного підручника фізики в світлі сучасної парадигми. – Кам'янець-Подільський:

Кам’янець-Подільський державний університет, редакційно-видавничий відділ, 2006. – Вип. 12. – С. 43-46.

10. Мінаєв Ю.П., Афанасьєва (Тихонська) Н.І. Метод ключових слів при роботі з текстами умов і розв’язків фізичних задач // Наукові записки. – Серія: Педагогічні науки. – Кіровоград: РВЦ КДПУ ім. В. Винниченка. – 2002. – Вип. 46. – С. 87–90.

11. Мінаєв Ю.П., Сотнікова М.В. Перші кроки створення комп’ютерного посібника для підготовки до фізичних олімпіад // Наукові записки. – Випуск 82. – Серія: Педагогічні науки. Кіровоград: РВЦ КДПУ ім. В.Винниченка. – 2009. – Частина 1. – С. 172–177.

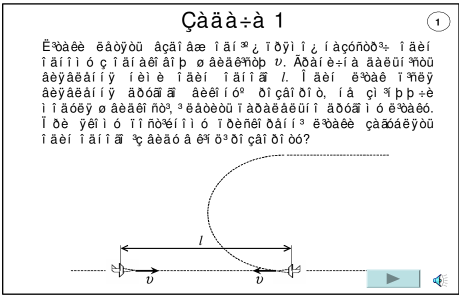
12. Мінаєв Ю.П., Тихонська Н.І., Шишлов Д.Ю. Мультимедійний помічник з мови фізичних задач // Вісник Чернігівського державного педагогічного університету імені Т.Г. Шевченка. Випуск 46. Серія: педагогічні науки: Збірник у 2-х т. – Чернігів: ЧДПУ, 2007. – № 46. – Т. 1. – С. 117-122.

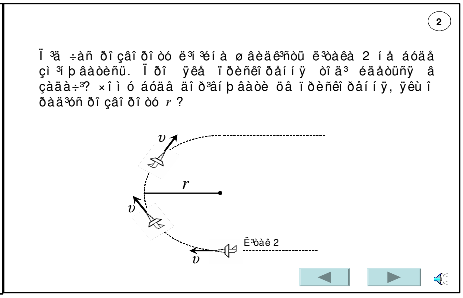
13. Павленко А.І. Методика навчання учнів середньої школи розв’язуванню і складанню фізичних задач: (теоретичні основи) / Наук. ред. С.У. Гончаренко. — К.: ТОВ «Міжнар. фін. агенція», 1997. — 177 с.

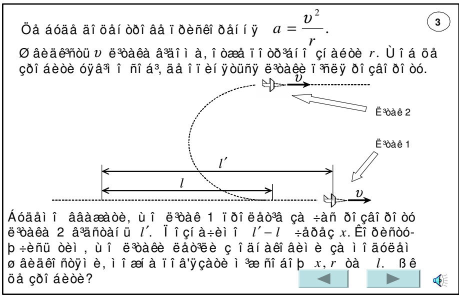
14. Физика: Учеб. для 10 кл. сред. шк. / Н.М. Шахмаев, С.Н. Шахмаев, Д.Ш. Шодиев. – М.: Просвещение, 1991. – 240 с.

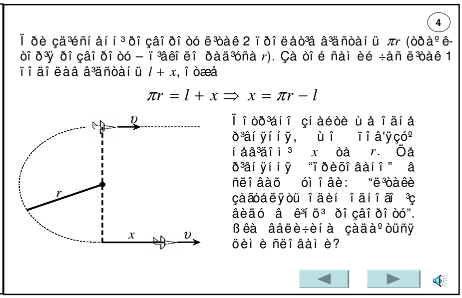
15. Підготовка до ЗНО-2010. Фізика. [Електронний ресурс] — Режим доступу до сайту : http://www.testportal.gov.ua/

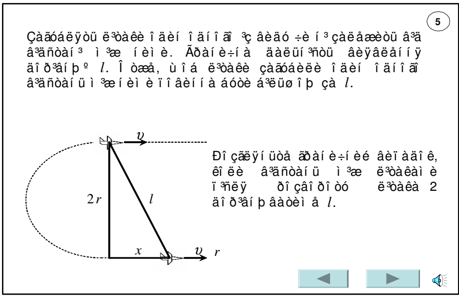
Додаток А
Приклади слайдів мультимедійного помічника з мови фізичних задач (з курсової роботи Дмитра Шишлова)

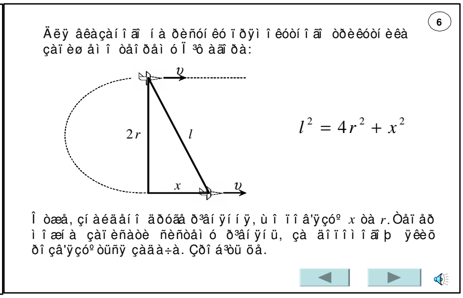


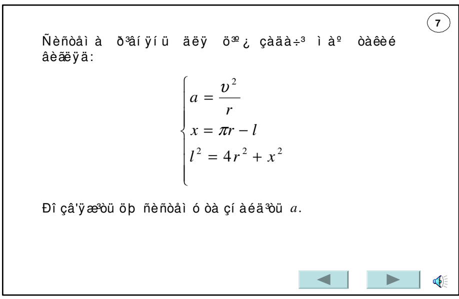


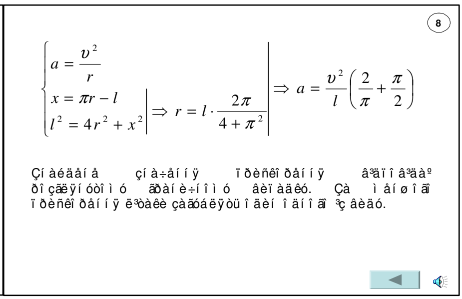










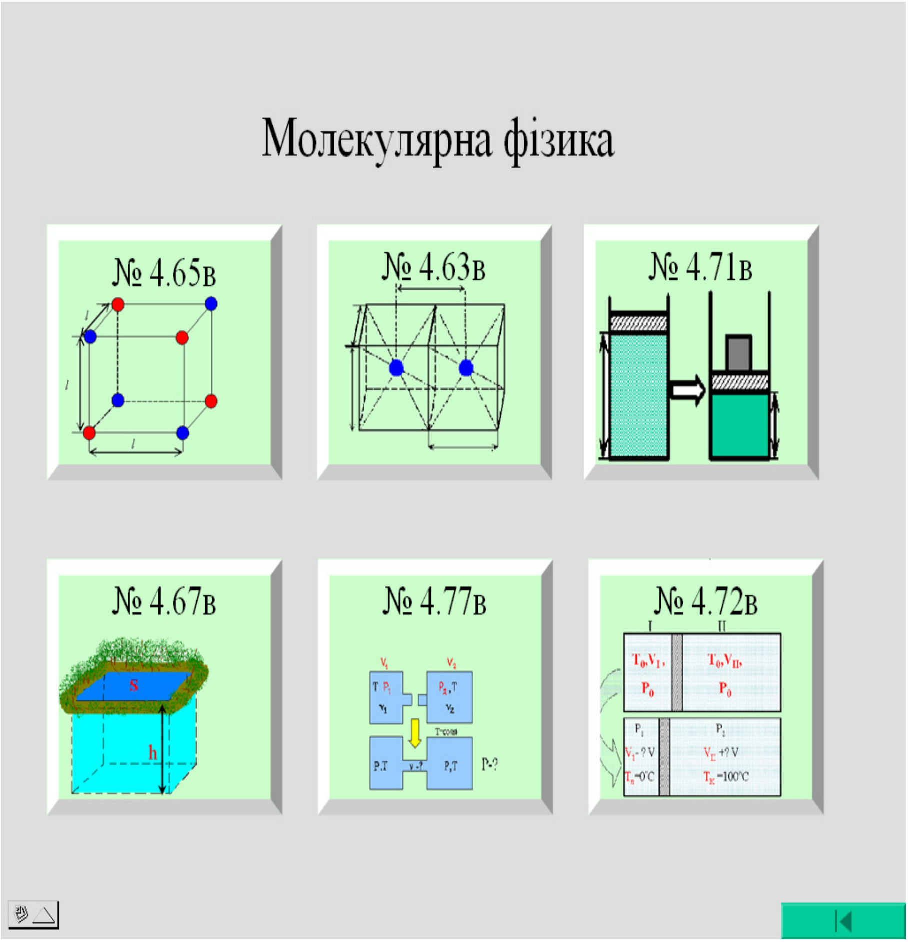


Додаток Б

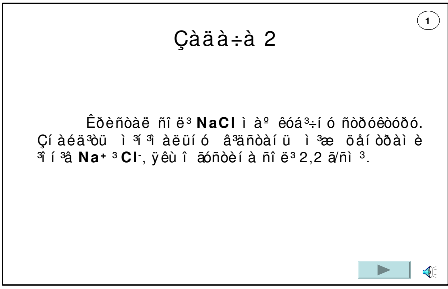
Результати виступів на Запорізьких обласних конференціях МАН учнів, які брали участь у розробці методичного забезпечення процесу навчання мови фізичних задач

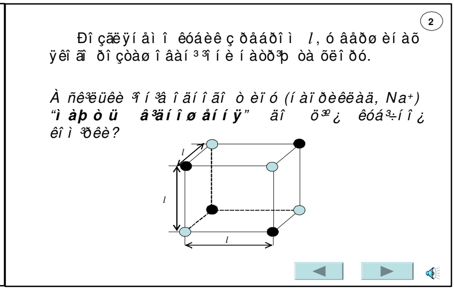
Навча-льний рік	ПІБ учня	Школа	Кл	Тема роботи	Науковий керівник	Місце
2001/ 2002	Селезньов Юрій	Ліцей № 105	10	Мова фізичних задач	Ю.П. Мінаєв Н.І. Тихонська	I
2002/ 2003	Сабо Ігор	Ліцей № 105	11	Геометричні образи при розв'язуванні фізичних задач з кінематики	Ю.П. Мінаєв Н.І. Тихонська	II
2003/ 2004	Тихомиро-ва Олена	Ліцей № 105	11	Образні структури при розв'язуванні фізичних задач з теми "Коливання і хвилі"	Н.І. Тихонська	III
2005/ 2006	Казанцева Оля	НВК "Освіта"	10	Мультимедійний помічник у навчанні розв'язування задач з молекулярної фізики і термодинаміки	Ю.П. Мінаєв	II
2006/ 2007	Курмак Зоя	Гімна-зія № 28	11	Символотворчість під час розв'язування фізичних задач	Н.І. Тихонська	II
2008/ 2009	Сотнікова Маргарита	Гімна-зія № 2	8	Комп'ютерний посібник для підготовки до теоретичних турів фізичних олімпіад	Ю.П. Мінаєв	II

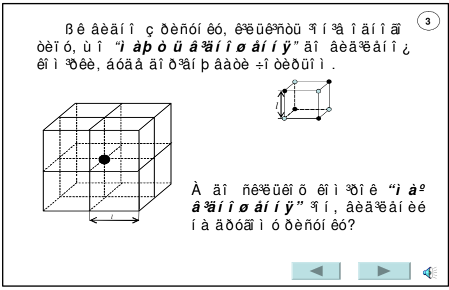
Додаток В
Вигляд однієї зі сторінок меню електронного консультанта з мови фізичних задач (з МАНівської роботи Ольги Казанцевої)

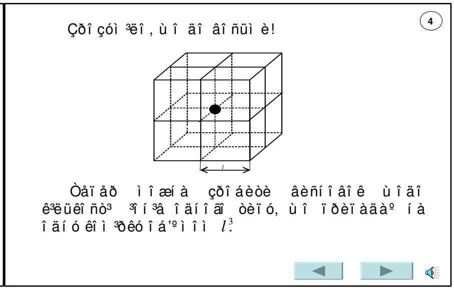


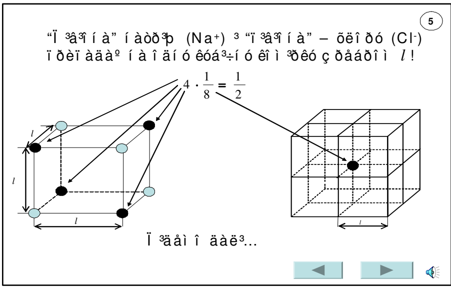
Додаток Г
Слайди з МАНівської роботи учениці Ольги Казанцевої

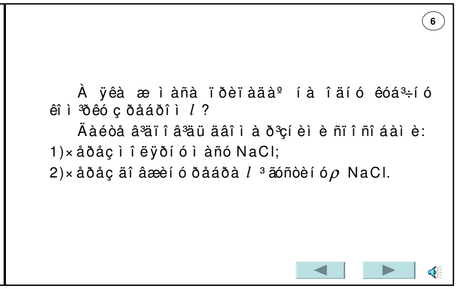


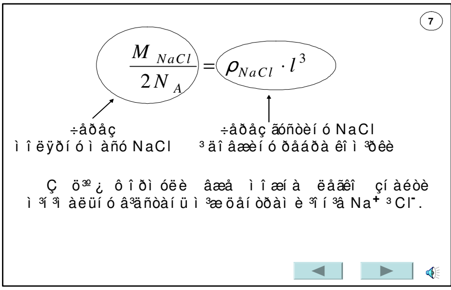


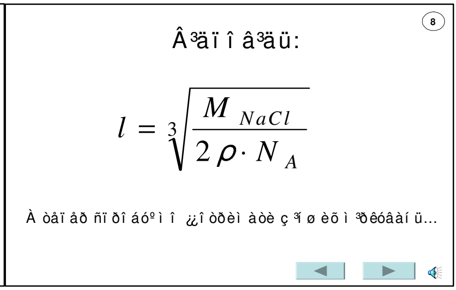




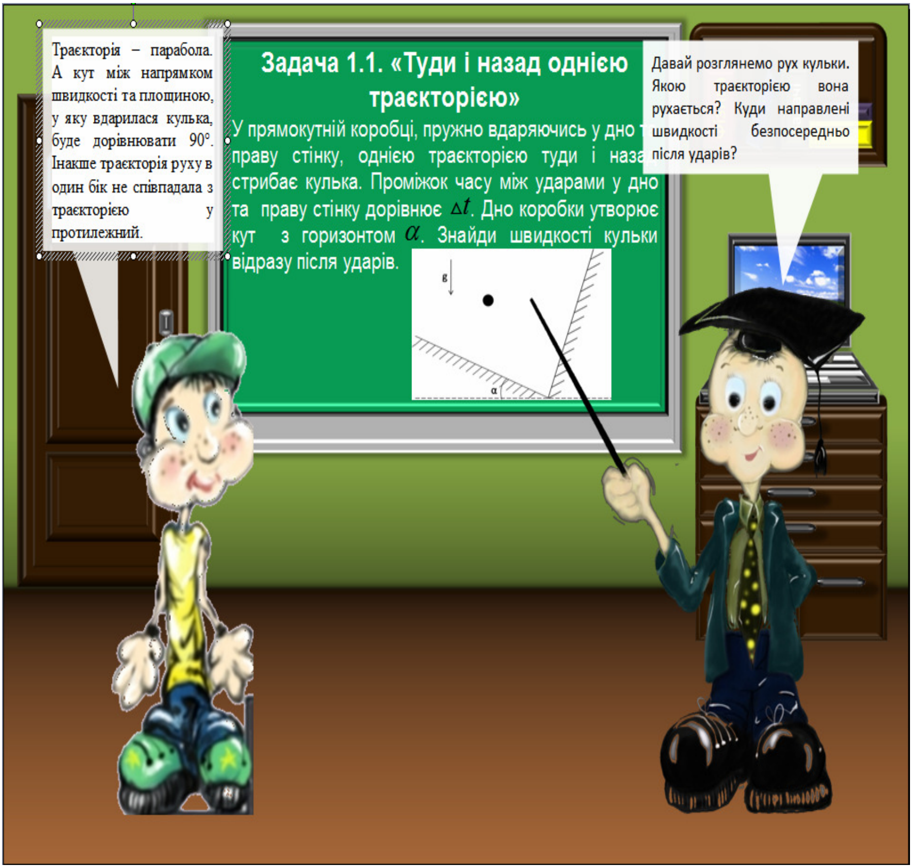








Додаток Д
“Комп’ютерне” продовження ідеї організації обговорення з учнями шляхів пошуку розв’язків фізичних задач
(з МАНівської роботи учениці Маргарити Сотнікової)



Навчальне видання
(українською мовою)

Мінаєв Юрій Павлович
Тихонська Наталія Іванівна

МОВА ФІЗИЧНИХ ЗАДАЧ

Навчальний посібник
для студентів фізичного факультету

Рецензент *О.Ю. Осипов*
Відповідальний за випуск *Н.І. Тихонська*
Коректор *І.П. Кенєва*