

ЛІІІ Всеукраїнська олімпіада юних фізиків  
Івано-Франківськ, 2017  
Теоретичний тур

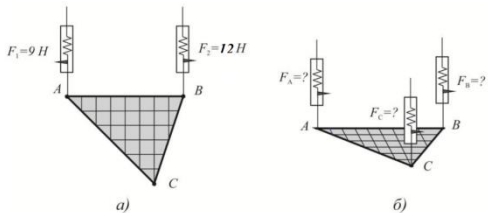
**8-й клас**

**8.1.** На вхід системи опалювання будинку подається вода температурою  $T_{\text{вх}} = 75^\circ\text{C}$  із швидкістю  $V = 15$  л/хв, а на виході вода має температуру  $T_{\text{вих}} = 55^\circ\text{C}$ . При такому обігріванні, якщо на вулиці була температура  $T_0 = -10^\circ\text{C}$ , температура повітря всередині будинку складала  $T_1 = 18^\circ\text{C}$ . Після обклеювання вікон будинку теплоплівкою температура всередині зросла до  $T_2 = 24^\circ\text{C}$ . Оцініть щосекундну економію кількості теплоти при незмінних умовах теплообміну, а також щомісячну економію коштів, якщо б для отримання потрібної температури доводилося б використовувати електрообігрівач за тарифу  $\varphi = 0,76$  грн/(кВт·год). Питома теплоємність води  $4200$  Дж/(кг·°C), густина води  $1000$  кг/м<sup>3</sup>.

**8.2.** Два пароплави рухаються в одному напрямку на схід, один слідом за іншим. Через вітер, що дме строго у південно-східному напрямі, дим із труби першого пароплава, швидкість якого  $V_1 = 40$  км/год, направлений на південний захід, а від другого – прямо на південь. Третій пароплав пливе неподалік зі швидкістю  $V_3 = 34$  км/год, таким чином, що відстань від нього до першого пароплава зберігається сталою і рівною відстані від нього ж до другого. Визначить швидкість третього пароплава відносно першого.

**8.3.** Майстер вручив своєму юному учню-помічнику плату з 10 пронумерованими клемами та 45 однакових резисторів опором  $r = 45$  Ом. Він доручив учневі з'єднати кожну пару клем одним резистором. Учень знає, що після закінчення роботи майстер здійснить швидку перевірку: виміряє опір між клемами 1 та 2. Закінчивши роботу, учень помічає, що в нього залишилися «зайві» резистори, – отже, якісь пари клем він не з'єднав одну з одною. За якої максимальної кількості “зайвих” резисторів у нього залишається шанс, що майстер не помітить порушень? Майстер застосовує прилад, що визначає опір з точністю до  $0,2$  Ом.

**8.4.** Трикутник, вирізаний з однорідного шматка плексигласу, при першому зважуванні підвісили за дві вершини (див. мал. а), а при другому зважуванні – за три вершини (див. мал. б). У першому випадку лівий динамометр показав силу  $9$  Н, а правий –  $12$  Н.



Чому дорівнюють покази кожного з трьох динамометрів при другому зважуванні?

**8.5.** На початку березня 2017 р. німецький кінооператор опублікував на YouTube ролик, на якому гвинтокрил злітає з майже нерухомим гвинтом. За 3 дні ролик переглянули більше мільйона разів. Після цього автор пояснив, що знімав відео на мобільний телефон з частотою 30 кадрів на секунду. Оцініть, якою насправді могла бути частота обертів гвинта. Визначте, у скільки разів швидкість підйому гвинтокрила

менша за швидкість руху кінчиків гвинта. Врахуйте, що швидкості будь-яких частин гвинтокрила не перевищують швидкості звуку (340 м/с). Для відповіді на питання можна скористатися вимірною лінійкою і кадрами підйому гвинтокрила (*див. мал.*). Кадри наведені з інтервалом у 2 с. При перегляді відео гвинт за 6 с дійсно ледь повертається (приблизно на кут  $30^\circ$ ).

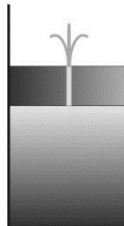


Задачі запропонували: Р. В. Мартинюк (1), В. П. Сохаський (2), І. М. Гельфгат (3), Є. П. Соколов (4), О. Ю. Орлянський (5).

## 9 клас

**9.1.** Підйомник для металевих балок має таку конструкцію: дві провідні паралельні рейки розташовуються на похилій площині під кутом  $\alpha = 10^\circ$  до горизонту в однорідному магнітному полі. На рейки подано постійну напругу. Балка кладеться на рейки й починає ковзати вгору з коефіцієнтом тертя  $\mu = 0,1$ . Який напрямок для магнітного поля слід обрати, щоб мінімізувати витрати електроенергії? Який ККД має такий підйомник? Втрати енергії в електричному колі не враховуйте.

**9.2.** У циліндричній посудині радіусом  $R = 10$  см знаходиться в'язка рідина. Зверху на рідину помістили поршень з важкого металу, який щільно прилягає до стінок. Посередині в поршні висвердлено тонкий вертикальний отвір радіусом  $r_1 = 0,5$  мм. Поршень потроху опускається, а з отвору б'є фонтанчик заввишки  $h_1 = 5$  см над поршнем (*див. мал.*). Дослід повторюють, зменшивши товщину поршня втричі та збільшивши радіус отвору до  $r_2 = 1,0$  мм. Якою тепер буде висота фонтанчика  $h_2$ ? Тертя між поршнем і стінками посудини, а також опір повітря рухові крапель рідини не враховуйте. *Довідка:* Під час усталеного руху в'язкої рідини через тонку трубку об'єм рідини, що проходить трубкою протягом одиничного часу, залежить від різниці тисків по різні боки від трубки, радіуса та довжини трубки, а також від в'язкості рідини  $\eta$  (наприклад, в'язкість води за кімнатної температури становить 1 мПа·с). В'язкість характеризує внутрішнє тертя між шарами рідини, які рухаються один відносно одного.

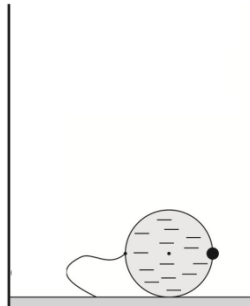


**9.3.** *Див: 8 клас, №4.*

**9.4.** Досліджуючи реакцію, при якій дві речовини  $A$  та  $B$  перетворювалися на речовину  $C$ , науковці встановили такі три факти: 1) при змішуванні 1 кг речовини  $A$  та 3 кг речовини  $B$  у результаті реакції отримується 4 кг речовини  $C$  при температурі  $120^\circ\text{C}$ ; 2) при змішуванні 2 кг речовини  $A$  й 7 кг речовини  $B$  утворюється суміш речовин  $B$  та  $C$  при температурі  $116^\circ\text{C}$ . 3) при змішуванні 3 кг речовини  $A$  і 6 кг речовини  $B$  отримується суміш речовин  $A$  та  $C$  при температурі  $95^\circ\text{C}$ . В усіх дослідах

початкова температура речовин-реагентів дорівнювала  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Чому дорівнюють питомі теплоємності речовин  $A$  та  $B$ , якщо питома теплоємність речовини  $C$  дорівнює  $300\text{ Дж}/(^{\circ}\text{C}\cdot\text{кг})$  ?

**9.5.** Крижана куля масою  $2,7\text{ кг}$  (радіус такої крижаної кулі дорівнює  $9\text{ см}$ ) прив'язують ниткою довжиною  $20\text{ см}$  до дна широкої та глибокої посудини (глибина перевищує розміри кулі разом з ниткою). З протилежного боку від точки закріплення нитки до кулі прикріплена важка дробинка (див. мал.). Посудину повністю заповнюють водою. Знайти відстань між центром кулі та дном посудини. Розглянути два випадки: а) маса дробинки дорівнює  $140\text{ г}$ ; б) маса дробинки дорівнює  $200\text{ г}$ . При розрахунках прийняти дробинку за матеріальну точку, густина води дорівнює  $1000\text{ кг}/\text{м}^3$ , густина криги  $900\text{ кг}/\text{м}^3$ .

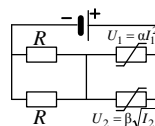


Задачі запропонували: **Р. В. Мартинюк (1), І. М. Гельфгат (2), Є. П. Соколов (3 – 5)**

## 10 клас

**10.1.** Міжнародна Космічна Станція (МКС), рухаючись по приблизно коловій орбіті на висоті близько  $400\text{ км}$  із середньою швидкістю  $7970\text{ м/с}$ , за  $30$  діб втрачає  $2\text{ км}$  висоти за рахунок опору розрідженої атмосфери (для утримання висоти у деякі моменти станцію прискорюють, вмикаючи ракетні двигуни). Вважаючи, що взаємодія МКС з атмосферою зводиться до лобового опору і кожна частинка після зіткнення з поверхнею станції набуває її швидкості, оцінити ефективну площу «лобової поверхні» МКС, що збирає частинки атмосфери. Маса МКС  $420\text{ тон}$ . Радіус Землі  $6400\text{ км}$ . Густина атмосфери на висоті  $400\text{ км}$  дорівнює  $5,68 \cdot 10^{-13}\text{ кг}/\text{м}^3$ .

**10.2.** До джерела постійної напруги  $U_0 = 5,00\text{ В}$  приєднано схему (див. мал.). Обидва резистора мають опір  $R = 12,5\text{ кОм}$ , вольт-амперна характеристика двох інших елементів указана на схемі, причому  $\alpha = 12,5\text{ кВ}/\text{А}^2$ ,  $\beta = 2,00\text{ кВ}/\text{А}^{1/2}$ . Оцініть теплову потужність схеми з точністю не менше  $1\%$ . У якому елементі або елементах виділяється найбільша кількість теплоти?

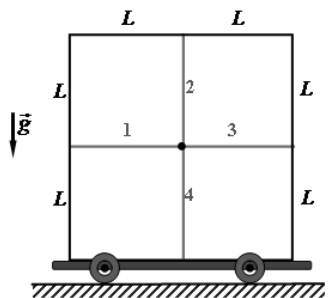


**10.3.** Див: 9 клас, №4.

**10.4.** Між двома вертикальними стінками хлопчик поставив перпендикулярно до них скейтборд і став на нього з м'ячем. Потім він сильно кинув м'яч в одну зі стінок і після того, як той відбився від неї та другої стінки, впливав його. Яку відстань проїхав хлопчик? Удари м'яча о стінку вважати абсолютно пружними, опором повітря та втратами енергії на тертя знехтувати. Маса м'яча  $m$ , маса хлопчика  $M$ , відстань між стінками  $L$ . Інші необхідні дані можете ввести самостійно. Проаналізуйте отриману відповідь з фізичної точки зору.



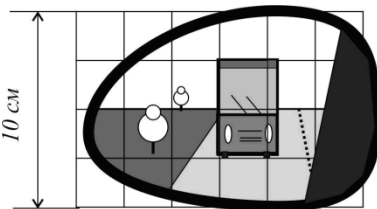
**10.5.** Пружну нитку зі спеціального матеріалу, що забезпечує виконання закону Гука для значних видовжень, розрізали на частини 1, 2, 3, 4 зі співвідношенням довжин 1:2:3:4. Цими відрізками нитки прикріпили невеликий тягарець до середини сторін встановленої на візку вертикальної квадратної рамки. З яким прискоренням рухається візок по горизонтальній площині, якщо тягарець перебуває у центрі рамки, а всі нитки при цьому розтягнуті (*див. мал.*)? Визначте період руху тягарця, якщо йому тепер надати невелику швидкість у площині рамки. Довжина сторони квадрату  $2L$ . Початкову довжину пружної нитки вважати відомою.



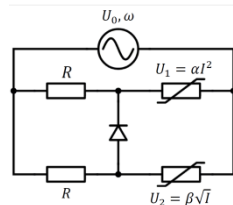
Задачі запропонували: О. І. Кельник (1), О. І. Шумаєв (2), Є. П. Соколов (3), О. Ю. Орлянський (4 – 5).

## 11 клас

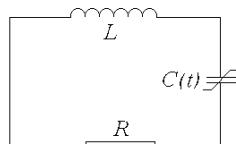
**11.1.** На малюнку зображено картинку, яку водій бачить у бічному сферичному дзеркалі автомобіля заднього огляду. Використовуючи малюнок, визначте радіус кривизни дзеркала. Висота автобуса — 4 м, відстань від нього до дзеркала — 60 м, відстань від водія до дзеркала — 80 см. Вважайте, що водій знаходиться на головній оптичній осі дзеркала.



**11.2.** До джерела синусоїдальної напруги ефективної величини  $U_0 = 4,0$  В та частоти  $f = 50$  Гц увімкнено схему (*див. мал.*). Обидва резистора мають опір  $R = 300$  Ом, вольт-амперна характеристика двох інших елементів указана на схемі, причому  $\alpha = 100$  В/А<sup>2</sup>,  $\beta = 240$  В/А<sup>1/2</sup>. Оцініть середню теплову потужність схеми. У якому з чотирьох елементів виділяється найбільша кількість теплоти? Діод вважайте ідеальним.



**11.3.** У коливальному контурі  $L, C_0, R$  (*див. рис.*) ємність  $C_0$  періодично змінюється з часом. У моменти часу, коли напруга на ємності дорівнює нулю, вона стрибком зростає від значення  $C_0 - \Delta C$  до  $C_0 + \Delta C$ , а в моменти часу, коли напруга на ємності максимальна за абсолютною величиною, вона стрибком зменшується від  $C_0 + \Delta C$  до  $C_0 - \Delta C$ . Вважаючи, що  $m = \Delta C/C_0 \ll 1$  та  $R \ll (L/C_0)^{1/2}$ .



**Завдання 1.** Знайдіть умову зростання амплітуди коливань у контурі.

**Завдання 2.** Нехай ця умова не виконана, а в контур додатково увімкнене джерело гармонічної напруги для підтримання незатухаючих коливань, причому його частота збігається з частотою власних коливань контуру. Визначіть відносну зміну величини опору  $R$ , яке було б еквівалентним за впливом на струм в контурі заданій вище зміні ємності, і як у такому випадку зміна ємності впливатиме на амплітуду напруги на реактивних елементах контуру?

**11.4.** Як спрямоване однорідне магнітне поле з індукцією  $B$  відносно однорідного поля тяжіння (прискорення вільного падіння  $g$ ), якщо частинка масою  $m$  і зарядом  $q$  рухається: 1) прямолінійно зі сталою швидкістю  $v$ ; 2) вздовж параболи зі сталим прискоренням  $a$ . Чому дорівнює швидкість частинки у першому випадку і найменший радіус кривизни траєкторії у другому, якщо  $|a| = g/2$ ? Відповідь проілюструйте схематичним зображенням траєкторії і напрямків полів.

**11.5.** Згідно з сучасною теорією чорні дірки (ЧД) характеризуються трьома фізичними величинами – масою ЧД, її кутовим моментом та її електричним зарядом. У цій задачі будемо розглядати ЧД з нульовими значеннями кутового моменту та заряду. Однією з найбільш важливих характеристик ЧД є площа поверхні горизонту ЧД – уявної сфери, що охоплює ЧД, всередині якої гравітаційна сила настільки велика, що навіть світло не може вилетіти за межі цієї сфери. Згідно з принципами класичної фізики, ЧД може тільки поглинати енергію. Якщо  $T$  – температура речовини, що оточує ЧД, то одиниця площі  $P$  поверхні горизонту ЧД в одиницю часу поглинає енергію, пропорційну  $T$  і квадрату маси ЧД. Цей закон має вигляд  $(1/P) \cdot dE/dt = qk_B T m^2$ , де  $q$  – коефіцієнт пропорційності,  $k_B$  – стала Больцмана.

**Завдання 1.** Вважаючи, що коефіцієнт  $q$  залежить тільки від швидкості світла  $c$ , гравітаційної сталої  $G$  та маси Сонця  $M_\odot$ , виразіть  $q$  через  $c$ ,  $G$ ,  $M_\odot$ . За законам класичної фізики ЧД існували би вічно, знищуючи все навколо себе. Але врахування квантових ефектів приводить до того, що ЧД може також втрачати енергію за рахунок випромінювання елементарних частинок (випромінювання Гокінга). Внаслідок цього ефекту час життя ЧД може бути скінченним. Оцініть час життя ЧД.

**Завдання 2.** Враховуючи, що площа  $P$  горизонту ЧД залежить тільки від її маси  $m$ , швидкості світла  $c$  і гравітаційної сталої  $G$ , виразіть площу  $P$  через  $m$ ,  $c$ ,  $G$ .

**Завдання 3.** На основі термодинамічного означення ентропії  $dS = \delta Q/T$  було введено поняття ентропії ЧД  $S = \eta I$ , де  $\eta = (k_B c^3)/(hG)$ ,  $h = h/(2\pi)$ ,  $h$  – стала Планка. Енергія, що виділяється з поверхні площі  $P$  чорної дірки в одиницю часу, дорівнює  $\sigma(T_N)^4$ , де  $\sigma = (k_B)^4/(c^2 h^3)$ , а  $T_N$  – температура Хокінга, яка залежить від маси ЧД і фізичних констант  $c$ ,  $G$ ,  $h$ , і  $k_B$ . Знайдіть цю залежність, використовуючи закон термодинаміки  $dE = \delta Q + \delta A$  ( $Q$  – теплота, яка виділяється,  $A$  – робота, яку виконує система) та вважаючи, що  $E = mc^2$  – повна енергія ЧД, і ЧД не виконує ніякої роботи  $A$ .

**Завдання 4.** Внаслідок поглинання та випромінювання енергії маса ЧД змінюється. Виведіть рівняння, яке описує цей процес.

**Завдання 5.** Знайдіть час життя чорної дірки, вважаючи що її початкова маса  $m_0$ .

**Примітка:** Якщо ви не розв'язали: завдання 1 – то при розв'язуванні інших завдань вважайте коефіцієнт пропорційності  $q$  відомим; завдання 2 – вважайте що площа поверхні горизонту ЧД пропорційною квадрату її маси.

Задачі запропонували: Є. П. Соколов (1), О. В. Шумаєв (2), І. О. Анісімов (3), О. Ю. Орлянський (4). С. Й. Вільчинський (5)