

Міністерство освіти і науки України

*Львівський фізико-математичний ліцей-інтернат
при Львівському національному університеті
імені Івана Франка*

**ВСЕУКРАЇНСЬКИЙ
ФІЗИЧНИЙ
КОНКУРС
„ЛЕВЕНЯ – 2025”**

Інформаційний вісник



Львів
Каменяр
2025

УДК 372.853
В85

Інформаційний вісник підготовлено оргкомітетом за підсумками Всеукраїнського фізичного конкурсу «Левеня–2024» – як один з призів учасникам цього творчого змагання. У виданні відображено результати конкурсу, вміщено статистичний звіт про нього. Вісник допоможе вчителям, учням та їх батькам у підготовці до наступного конкурсу, державної підсумкової атестації і незалежного тестування з фізики. Друга частина книжки адресована переможцям конкурсу, сподіваючись, що зібрані в ній матеріали будуть корисними для учнів, які цікавляться різними видами інтелектуальних змагань (олімпіади, конкурси, турніри) з фізики, та для вчителів, які їх готуватимуть.

Упорядник
Микола Петрунів

Оргкомітет конкурсу “Левеня – 2025”:

*Микола Петрунів, Борис Кремінський,
Ольга Петрунів, Сергій Зиков*

Адреса оргкомітету:

79054, Львів, вул. Караджича, 29

Львівський фізико-математичний ліцей

тел.: (032) 262-00-68

E-mail: levenia.lviv@gmail.com

<http://levenia.com.ua>

тел.: (096) 891 41 07,

(099) 622 98 86, (063) 656 13 07

Директор ліцею

Мар'ян Добосевич

Благодійний фонд “Ліцей”:

Філія АТ “Укресімбанк”

рахунок отримувача

IBAN: UA213223130000026003000028161

МФО 325718, код ЄДРПОУ 22360064

Виконавчий директор

благодійного фонду “Ліцей”

Михайло Мурашук

Автор логотипу **Орест Бурак**

ISBN 978-966-607-591-2

©Львівський фізико-математичний ліцей, 2025

Чого б ти не навчався, ти навчашся для себе.

Петроній

Дорогі друзі, колеги, прихильники фізичного конкурсу “Левеня”!

З 7 по 10 квітня 2025 року, згідно з наказом Міністерства освіти і науки України № 553 від 07.05.2012 року, відбувся XX Всеукраїнський фізичний конкурс “Левеня-2025”.

Незважаючи на складну військово-політичну ситуацію на сході України, у конкурсі взяли участь учні з усіх областей України. За цим стоїть велика організаційна робота координаторів, яким ми хочемо висловити вдячність за підтримку та поширення ідей конкурсу.

Область	2019	2020	2021	2022/23	2024	2025
АР Крим	-	-	-	-	-	-
м. Севастополь	-	-	-	-	-	-
Вінницька	2 750	2 200	170	1061	409	446
Волинська	1 836	1 584	536	1229	330	274
Дніпропетровська	8 599	8 320	3262	4943	1163	1372
Донецька	2 638	2 062	493	940	75	68
Закарпатська	1 974	1 332	505	912	149	141
Житомирська	4 716	3 946	189	340	159	249
Запорізька	3 328	2 997	1017	1002	292	364
Івано-Франківська	935	719	297	754	426	348
м. Київ	765	807	934	1410	640	916
Київська	2 222	1 959	766	787	291	359
Кіровоградська	1 615	1 086	691	1202	357	395
Луганська	1 293	748	196	505	19	17
Львівська	7 346	4 163	2648	6681	1777	2365
Миколаївська	2 456	1 944	382	1071	241	301
Одеська	1 719	1 454	677	733	210	312
Полтавська	4 650	3731	1837	4342	785	1039
Рівненська	4 444	1 097	393	1323	156	176
Сумська	4 948	4 566	1817	1988	510	239
Тернопільська	1 696	1 310	420	437	233	181
Харківська	4 227	2 973	1005	1071	309	317
Херсонська	1 700	1 614	1008	415	127	101
Хмельницька	2 180	1 558	718	776	298	215
Черкаська	1 611	1 300	725	822	223	200
Чернівецька	2 647	2 004	474	1595	329	287
Чернігівська	473	487	276	991	323	149
Усього учасників	72 768	35915	21429	37 317	9831	10841

Активними пропагандистами конкурсу в своїх областях стали:

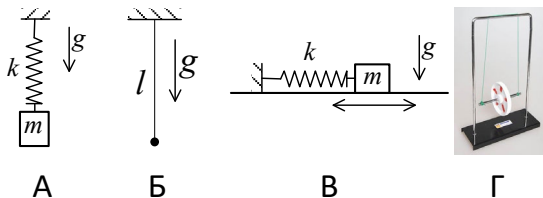
Сапсай Віталій Юрійович, Анатолій Петрович Блащук – Вінницька обл.,
Олена Федорівна Бурбела – Волинська обл.,
Тетяна Віталіївна Потапова – Дніпропетровська обл.,
Галина Миколаївна Кольчіба – м.Кривий Ріг,
Людмила Віталіївна Чабаненко – Криворізький район, Дніпропетровська обл.,
Оксана Миколаївна Омельченко – м. Слов'янськ, Донецька обл.,
Валентина Іванівна Немеш – Закарпатська обл.,
Ірина Олексіївна Воробей – м. Житомир,
Юрій Олексійович Скрипнюк – Житомирська обл.,
Лілія Володимирівна Васильченко – Запорізька обл.,
Наталя Олександрівна Куриндаш – Івано-Франківська обл.,
Андрій Миколайович Березовський – м. Київ,
Дмитро Андрійович Кравченко – Київська обл.,
Дарія Олександрівна Гончаренко - Київська обл.,
Хоренко Олександр Михайлович – м. Біла Церква,
Андрій Анатолійович Дробін – Кіровоградська обл.,
Олена Юріївна Бардаш – Луганська обл.,
Галина Степанівна Коваль – м. Львів,
Зоряна Юріївна Максимович – Львівська обл.,
Олена Володимирівна Ліскович – Миколаївська обл.,
Ольга Володимирівна Кривицька – м. Одеса, Одеська обл.,
Олег Володимирович Кучеренко – Полтавська обл.,
Оксана Богданівна Колодич – Рівненська обл.,
Валентина Семенівна Лабудько – Сумська обл.,
Василь Ярославович Гайда – Тернопільська обл.,
Наталія Зіновіївна Бойко – м.Тернопіль.,
Світлана Геннадіївна Федченко – Харківська обл.,
Файна Яківна Божинова, Микола Валентинович Бондаренко, Євлахова Олена Миколаївна – м.Харків,
Ірина Іванівна Кисла – Херсонська обл.,
Станіслав Станіславович Ковальський - Хмельницька обл.,
Алла Миколаївна Северинова – Черкаська обл.,
Галина Іванівна Добрянська - Чернівецька обл.,
Пауль Францович Пшенічка – м.Чернівці,
Оксана Миколаївна Мухіна – Чернігівська обл.

Висловлюємо вдячність дирекціям та педагогічним колективам тих шкіл, які перетворили конкурс у справжнє свято фізики для своїх учнів, залучивши до участі в ньому максимальну кількість школярів.

Вітаємо всіх учасників конкурсу, сподіваємось, що участь у ньому дозволить глибше зрозуміти закономірності законів розвитку Природи, здобути ґрунтовні знання з фізики та добре підготуватися до незалежного тестування, успішної професійної кар'єри в конкурентному середовищі.

Усіх, кого цікавить фізика, хто хоче перевірити своє вміння розв'язувати нестандартні цікаві задачі, запрошуємо до участі в наступному конкурсі, який відбудеться у квітні 2026 року.

5. На якому малюнку зображено математичний маятник?



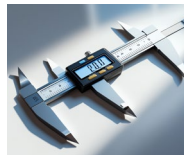
6. Читаючи параграф у підручнику з фізики, Левеня натрапило на картинку, яка насамперед демонструє...

- А: види деформації ; Б: види тертя;
 В: коливання; Г: штучний інтелект.



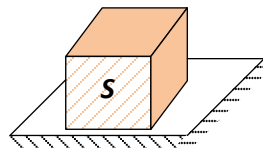
7. Прилад, зображений на малюнку, використовують для вимірювання...

- А: вологості ; Б: маси тіла;
 В: діаметру дротини; Г: густини рідини;
 Д: сили пружності.



8. На горизонтальній поверхні лежить однорідний куб, площа однієї з граней якого $S = 36 \text{ см}^2$. На якій висоті над горизонтальною поверхнею перебуває центр мас куба?

- А: 1 см; Б: 2 см; В: 3 см; Г: 4 см.

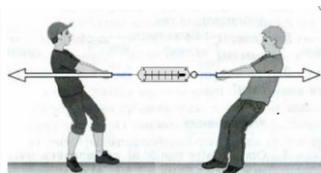


9. Які сили діють на телефон, що лежить на столі?

- А: сили пружності і тяжіння;
 Б: сили тертя і тяжіння;
 В: сили пружності, тяжіння та тертя;
 Г: сили пружності, тяжіння та опору з боку середовища.



10. Тато може розтягнути динамометр із максимальною силою 100 Н, а син – із силою 30 Н. Якими будуть покази динамометра, якщо вони будуть розтягувати його в різні сторони так, як показано на малюнку? Максимальна сила тертя спокою, що діє на сина 30 Н.



- А: 30 Н; Б: 70 Н; В: 100 Н; Г: 130 Н.

Завдання 11 – 20 оцінюються чотирма балами.

11. Потрібно перевезти 56 т картоплі, густина якої $0,7 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$. Скільки для цього потрібно автомобілів, якщо об'єм кузова 4 м³.

А: 100 ; Б: 20 ; В: 10 ; Г: 5.



12. У футбольному матчі «усіх зірок Лісу», Левеня забило голи через $\Delta t_1 = 10$ сек, $\Delta t_2 = 5$ хв, $\Delta t_3 = 1$ год, $\Delta t_4 = 500$ с після початку матчу. У якому випадку правильно вказано одиницю вимірювання часу в системі СІ?

А: Δt_1 ; Б: Δt_2 ;
В: Δt_3 ; Г: Δt_4 .



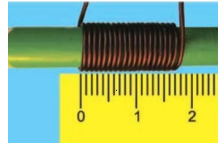
13. По дорозі додому хлопець випив 0,5 л соку, який ніс з собою в наплічнику. Як при цьому змінилась вага хлопця з наплічником? (↓-зменшилась, ↑-збільшилась, ↔ - не змінилась).

А: ↑ ; Б: ↓ ; В: ↔ ; Г: відповіді неможливо.



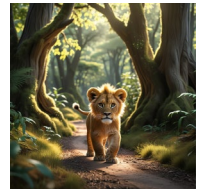
14. Визначить радіус дроту, намотаного на олівець.

А: 0,55 мм ; Б: 0.9 мм ;
В : 1,1 мм ; Г: 0,45 мм.



15. Левеня кожного дня виходить на прогулянку лісом. За ним спостерігають друзі, перебуваючи в різних системах відліку. Яка фізична величина є однаковою в цих системах?

А: переміщення ; Б: швидкість ;
В: маса Левенятя ; Г: траєкторія.

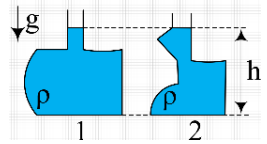


16. Левеня наближається до музею науки, де його чекає друг Бобер, розглядаючи експонат. Виберіть правильне твердження:

А: відносно музею Левеня нерухоме ;
Б: відносно поверхні землі Левеня нерухоме ;
В: Бобер наближається до Левеня відносно музею ;
Г: Бобер рухається по колу відносно центру Землі.



17. У якому випадку тиск рідини на дно посудини буде більшим? ρ – густина рідини. Атмосферний тиск відсутній.



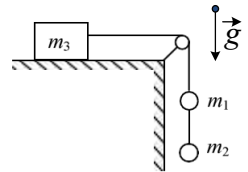
- А: 1; Б: 2;
В: однакові; Г: неможливо відповісти.

18. Левеня на саморобному літальному апараті, у безповітряну погоду, пролетіло від школи додому і повернулось назад за 30 с. При зустрічному вітрі ця подорож тривала 40 с. Визначіть у скільки разів швидкість летального апарату більша швидкості вітру?



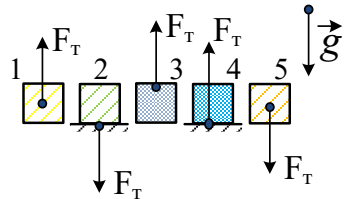
- А: 1,5; Б: 2,5; В: 2; Г: 3.

19. Система тіл, зображених на малюнку, рухається рівномірно. Визначити коефіцієнт тертя між тілом (m_3) та горизонтальною площиною, якщо $m_1 = 2$ кг, $m_2 = 4$ кг, $m_3 = 9$ кг.



- А: $\frac{2}{3}$; Б: $\frac{1}{3}$; В: $\frac{1}{2}$; Г: $\frac{4}{9}$; Д: $\frac{3}{4}$.

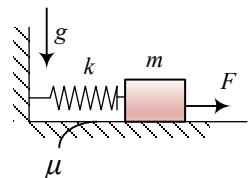
20. На якому з малюнків правильно зображено силу тяжіння, що діє на кубик?



- А: 1; Б: 2; В: 3; Г: 4; Д: 5.

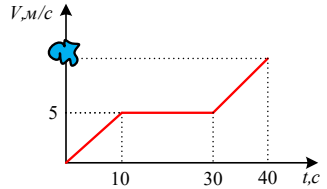
Завдання 21 – 30 оцінюються п'ятьма балами.

21. У системі, зображеній на малюнку, пружина не деформована. Яку мінімальну силу потрібно прикласти до кінця дошки, щоб зрушити її з місця?



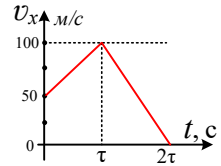
- А: μmg ; Б: $\frac{2\mu mg}{k}$; В: $\frac{3mg}{k^2}$; Г: 0.

26. Левеня будувало графік залежності швидкості від часу, розв'язуючи задачу під час контрольної роботи. Крапля чорнила потрапила на графік. Яке значення швидкості втрачене на графіку, якщо середня швидкість на всьому шляху $5 \frac{m}{c}$.



- А: $8 \frac{m}{c}$; Б: $10 \frac{m}{c}$; В: $12 \frac{m}{c}$; Г: $15 \frac{m}{c}$.

27. Використовуючи графік залежності проекції швидкості руху тіла від часу, визначіть шлях пройдений тілом за $4c$ ($2\tau > 4c$).



- А: $125 m$; Б: $250 m$;
В: $400 m$; Г: $500 m$.

28. Під час виконання завдань конкурсу “Левеня” друзі перебували у багатоповерховому будинку, один з них на першому поверсі, інший – на одинадцятому. Виявилось, що тиск води у крані на першому поверсі $2 MPa$, а на одинадцятому – $1,8 MPa$. Визначити висоту h одного поверху цього будинку.



- А: $2 m$; Б: $4 m$; В: $10 m$; Г: $20 m$.

29. Левеня любить грати у баскетбол. Час від часу, Левеня масою m підстрибує високо, щоб ефектно закинути м'яча в корзину. Якою при цьому є вага P Левеняти під час стрибка?



- А: $P > mg$; Б: 0 ;
В: $P = mg$; Г: неможливо визначити.

30. Яка сила Архімеда діє на людину, що знаходиться на дошці для серфінгу (див. мал)? Маса людини m , маса дошки $\frac{m}{6}$.



- А: mg ; Б: $7mg$; В: $\frac{7}{6} mg$; Г: 0 .

8 К Л А С

Завдання 1 – 10 оцінюються трьома балами.

1. При заміні деталей крану, іноді майстри використовують термічний метод, для того щоб розкрутити корпус змішувача. Яка фізична властивість покладена в основу цього методу?

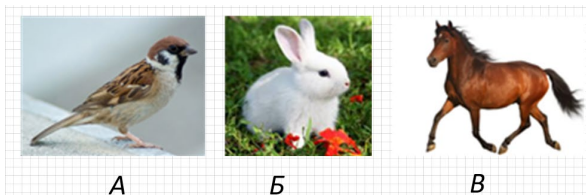


А: змінна тиску; **Б:** дифузія;
В: різне теплове розширення тіл при нагріванні; **Г:** плавлення деталей.

2. Яке з перелічених явищ **НЕ** є тепловим?

А: вода замерзає; **Б:** вода кипить; **В:** вода тече; **Г:** вода випаровується.

3. У якої з тварин частота коливань серця найбільша? (Серцебиття тварин обернено пропорційне їх розміру)



А: А; **Б:** Б; **В:** В; **Г:** у всіх однакова.

4. Прилад, зображений на малюнку використовують для виявлення...

А: магнітного поля; **Б:** електричного поля;
В: гравітаційного поля; **Г:** температури.



5. По дорозі додому хлопець випив 0,5 л соку, який ніс з собою в наплічнику. Як при цьому змінилась вага хлопця з наплічником? (↓ - зменшилась, ↑ - збільшилась, ↔ - не змінилась).

А: ↑; **Б:** ↓; **В:** ↔; **Г:** відповіді неможливо.



6. Готуючись до уроку фізики, Левеня намагалось написати на дошці формулу $F = \frac{Gm_1m_2}{r^2}$, зробивши декілька помилок, та й пригадати як називають її фізики, не змогло. А Ви зможете?

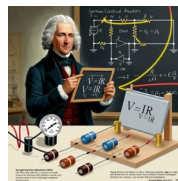


А: Закон Кулона; Б: закон Ілона Маска;
 В: закон Гука; Г: закон всесвітнього тяжіння; Д: закон Землі.

7. Яка величина залишається постійною при рівномірному прямолінійному русі?

А: переміщення; Б: швидкість;
 В: шлях; Г: час;
 Д: координата.

8. У музеї науки Левеня розглядає портрети великих фізиків. Який вчений зображений на картині, якщо з ним асоціюється одиниця вимірювання основної характеристики резистора?



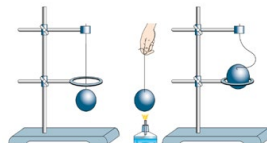
А: Ісаак Ньютон; Б: Генріх Ом;
 В: Джозеф Генрі; Г: Андре Марі Ампер; Д: Майкл Фарадей.

9. Яка з перелічених фізичних величин НЕ вимірюється у джоулях?

А: густина енергії; Б: внутрішня енергія;
 В: механічна робота; Г: кількість теплоти.

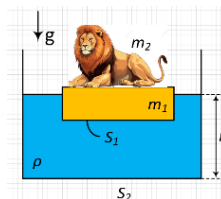
10. Читаючи параграф у підручнику з фізики, Левеня натрапило на картинку, яка демонструє ...

А: випаровування; Б: тертя;
 В: теплове розширення; Г: плавлення.



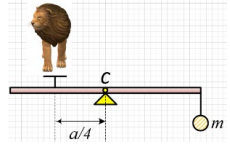
Завдання 11 – 20 оцінюються чотирма балами.

11. У водоймі, глибина якої h та площа основи S_2 , на дошці (S_1, m_1) лежить лев (m_2). Визначити тиск на дно посудини. (p_0 – атмосферний тиск)



А: 0; Б: $p_0 + \rho gh$; В: $p_0 + \frac{(m_1+m_2)g}{S_1} + \rho gh$; Г: $p_0 + \frac{\rho gh}{2}$.

12. З якою силою Левеня тисне на підставку на якій воно стоїть, якщо важіль перебуває у положенні рівноваги?
 m – маса тягарця, a – довжина важеля, C – центр мас важеля.

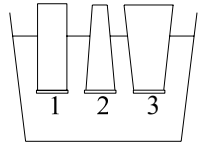


А: $4mg$; Б: $2mg$; В: $\frac{m}{4}g$; Г: $3mg$.

13. Речовина має текучість, малу стисливість, зберігає свій об'єм, на межі з повітрям утворює вільну поверхню, молекули розташовані впритул одна до одної. Вкажіть агрегатний стан речовини.

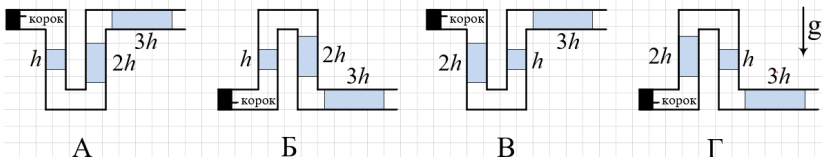
А: твердий; Б: рідкий;
 С: газоподібний; Д: плазма.

14. Кожна з трьох посудин, занурених на однакову глибину, мають однакові площі дна. У кожен посудину наливають однакову кількість води. У якому випадку тиск води на внутрішню стінку дна буде найбільшим?



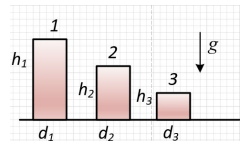
А: 1; Б: 2;
 В: 3; Г: у всіх випадках однаковий.

15. У трубці перерізом S містяться стовпчики води h , $2h$ і $3h$ та нерухомий легкий поршень ($m=0$), розділені стовпчиками газу. У якому випадку сила тertia, що діє на корок є найбільшою?



А: А; Б: Б; В: В; Г: Г; Д: у всіх випадках однакова.

16. Три металеві циліндри, виготовлені з цинку, алюмінію і свинцю, створюють однаковий тиск на поверхню ($\rho_{\text{ал}} = 2,7 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$, $\rho_{\text{цин}} = 7,1 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$, $\rho_{\text{св}} = 11,3 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$). Розташуйте їх у такій послідовності: свинцевий, алюмінієвий, цинковий.



А: 1,2,3; Б: 3,2,1; В: 2,3,1; Г: 3,1,2.

17. Левеня, маса якого 60 кг, стрибає на батут з висоти 3 м. Яка жорсткість батута, якщо він прогинається на 2 м.

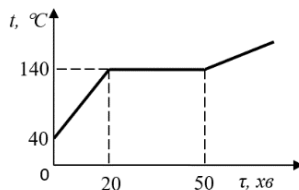
А: $1000 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$; Б: $1200 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$; В: $1500 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$; Г: $2000 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$.

18. На Місяці всі речі важать у 6 разів менше, ніж на Землі. Уявіть, що на Місяці є озеро з прісною водою. На озеро спущено пароплав, який має осадку 3 метри в земних прісноводних озерах. На якій глибині наш пароплав осяде у воді місячного озера?



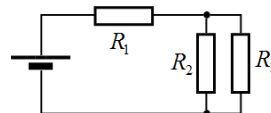
А: 1 м; Б: 2 м; В: 3 м; Г: 6 м.

19. На графіку подано залежність температури деякої маси речовини, яка початково перебувала у твердому агрегатному стані від часу отримання теплоти від нагрівника сталої потужності. Визначте питому теплоту плавлення даної речовини, якщо її питома теплоємність в твердому стані $250 \text{ Дж/кг}\cdot^\circ\text{C}$.



А: $87,5 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$; Б: $62,5 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$; В: $37,5 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$; Г: $7,1 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$.

20. Потужність теплоти, що виділяється на резисторі R_1 , дорівнює 16 Вт. Яка потужність виділяється на резисторі R_3 ? Опір всіх резисторів однаковий.



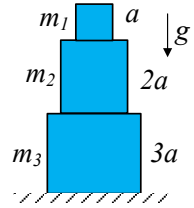
А: 2 Вт; Б: 4 Вт; В: 8 Вт; Г: 16 Вт.

Завдання 21 – 30 оцінюються п'ятьма балами.

21. Левеня і Бобер знайшли лист, в якому зашифровано фізичну формулу: $x = \frac{k}{p}$, де k – кількість теплоти, p – маса речовини. Яку фізичну величину **НЕ** можна визначити використовуючи це співвідношення?

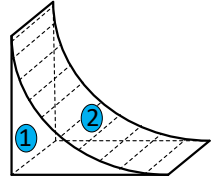
А: теплоємність тіла; Б: питому теплоту згоряння палива;
В: питому теплоту пароутворення; Г: молярну теплоємність.

22. Левенята вирішили зліпити «квадратного сніговика». Для цього вони виготовили зі снігу три кубики різного розміру та розмістили так, як показано на малюнку ($m_1 = m$, $m_2 = 2m$, $m_3 = 3m$, $a_1 = a$, $a_2 = 2a$, $a_3 = 3a$). Визначте тиск, який спричинить сніговик на сніг під ним, якщо найбільший куб, перебуваючи на поверхні снігу, спричиняє тиск p .



- А: $\frac{3}{2}p$; Б: $2p$; В: $\frac{5}{2}p$; Г: $\frac{5}{4}p$.

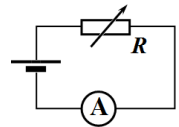
23. Суцільну фігуру, зображену на малюнку, занурили повністю у водойму. Порівняйте сили тиску з боку води на плоску вертикальну ділянку (F_1) та горизонтальну компоненту сили тиску з боку води на увігнуту частину поверхні тіла (F_2).



- А: $F_1 > F_2$; Б: $F_1 < F_2$;
В: $F_1 = F_2$; Г: неможливо порівняти.

24. Які елементи електричного кола зображені на рисунку?

- А: джерело струму, лампочка та вольтметр;
Б: джерело струму, лампочка та амперметр;
В: джерело струму, резистор та амперметр;
Г: термістор та амперметр.

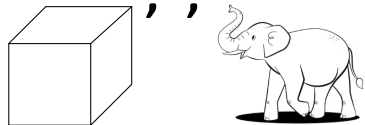


25. Дві пружини з коефіцієнтами жорсткості k_1 і $k_2 = 2k_1$ (див. мал.) розтягнули, виконавши роботу 120 Дж. На скільки збільшилася при цьому потенціальна енергія першої пружини? Вважайте деформацію пружньою.



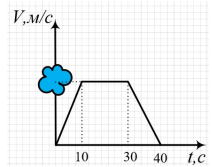
- А: 96 Дж; Б: 80 Дж; В: 60 Дж;
Г: 40 Дж; Д: 24 Дж.

26. Передаючи повідомлення позаземним цивілізаціям, Левенятко зашифрувало одиницю вимірювання фізичної величини у формі ребуса. Допоможіть його розгадати.



- А: ампер; Б: кулон; В: вольт; Г: фарада.

27. Левеня будувало графік швидкості від асу, розв'язуючи задачу під час контрольної роботи. Крапля чорнила потрапила на графік. Яке значення швидкості втрачене на графіку, якщо середня швидкість на всьому шляху $6 \frac{M}{c}$.



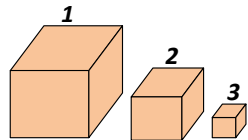
- А: $1 \frac{M}{c}$; Б: $2 \frac{M}{c}$; В: $5 \frac{M}{c}$; Г: $8 \frac{M}{c}$.

28. Визначить величину електричного опору ділянки електричного кола, якщо опір кожного резистора R.



- А: R; Б: 2R;
В: 3R; Г: 4R.

29. До трьох залізних кубиків підводять невелику однакову кількість теплоти за одиницю часу. В якого кубика встановиться найвища температура? Початкову температуру кубиків вважити кімнатною.



- А: 1; Б: 2; В: 3;
Г: однаково; Д: неможливо визначити.

30. Чи кипить вода в порожнині макаронів, якщо вода, в якій вони варяться, кипить?

- А: так ; Б: ні ; В: залежить від сорту макаронів.

9 К Л А С

Завдання 1 – 10 оцінюються трьома балами.

1. Тим, хто займається глибоководним дайвінгом, не рекомендують впродовж доби літати літаком. Говорять : “кров закипить”. Що є основною причиною?



- А: страх; Б: різка зміна тиску;
В: вплив магнітного поля Землі; Г: усі перераховані фактори.

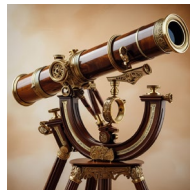
2. Яка сила Архімеда діє на людину, що знаходиться на дошці для серфінгу (див. мал.)? Маса людини m , маса дошки $\frac{m}{6}$.



А: mg ; Б: $7mg$; В: 0; Г: $\frac{7mg}{6}$.

3. Прилад, зображений на малюнку – ...

А: лупа; Б: люксометр;
В: телескоп; Г: мікроскоп;
Д: електрофорна машина.



4. Читаючи параграф у підручнику з фізики, Левеня натрапило на картинку, яка демонструє явище...

А: теплопровідності; Б: дифузії;
В: конвекції; Г: електризації.

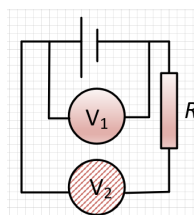


5. Відгадайте загадку: для Левеня на Землі вона виглядає як частина дуги кола; чим вище над горизонтом, тим вона повніша; з літака, інколи, можна побачити суцільне коло. Що це?

А: веселка; Б: горизонт;
В: полярне сійво; Г: мильна бульбашка.

6. Порівняйте покази ідеальних вольтметрів V_1 та V_2 .
(з'єднувальні провідники можна вважати ідеальними)

А: $V_1 > V_2$; Б: $V_1 < V_2$;
В: $V_1 = V_2$; Г: $V_1 = 0, V_2 \neq 0$.



7. Крижина масою 500 кг плаває у воді. Яка маса льоду знаходиться над водою? ($\rho_{\text{льоду}} = 900 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, $\rho_{\text{води}} = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$)

А: 25 кг; Б: 50 кг; В: 300 кг; Г: 450 кг.



8. На малюнку зображено... та ... розряди.

- А: іскровий, дуговий; Б: тліючий, іскровий;
В: іскровий, коронний; Г: тліючий, коронний.



9. Прилад, зображений на малюнку використовують для вимірювання...

- А: довжини дроту ; Б: сили струму;
В: тиску; Г: густини рідини;
Д: індукції магнітного поля.



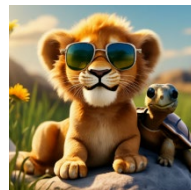
10. Яка вода: сира (1) чи кип'ячена (2), скоріше закипить, якщо температура перед нагріванням у них буде однаковою?

- А: 1; Б: 2; В: однаково; Г: залежить від пори року.

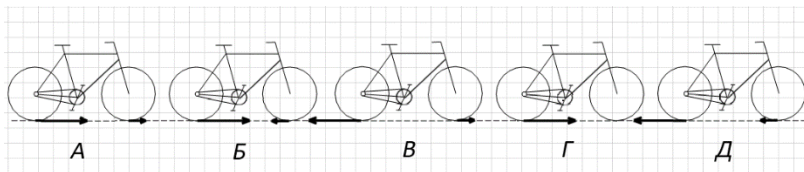
Завдання 11 – 20 оцінюються чотирьма балами

11. Коли Левеня знімає окуляри, йому зручно читати, тримаючи книжку на відстані 40 см від очей. Яка оптична сила його окулярів? Відстань найкращого зору для Левеня приблизно 25 см.

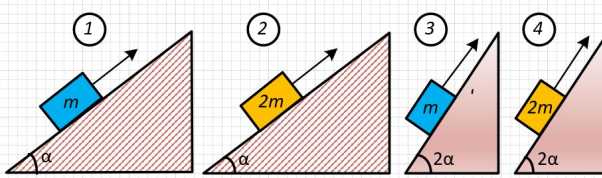
- А: 1,5 дптр; Б: 2 дптр;
В: 3 дптр; Г: 4 дптр.



12. На якому малюнку можна правильно показати сили тертя, що діють на шини велосипеда, у момент різкого гальмування? Відсутність стрілки означає нульову силу. (велосипедист гальмує заднім колесом)



17. Вказати співвідношення для ККД похилих площин, зображених на малюнках, якщо у всіх випадках коефіцієнт тертя між брусками і площинами рівний μ .



А: $\eta_1 = \eta_2 < \eta_3 = \eta_4$;
 В: $\eta_1 = \eta_2 = \eta_3 = \eta_4$;

Б: $\eta_1 > \eta_2 = \eta_3 > \eta_4$;
 Г: $\eta_1 < \eta_2 < \eta_3 < \eta_4$.

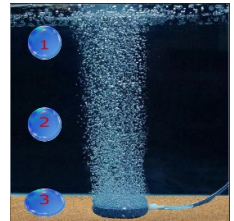
18. Левеня дуже любить спостерігати за метеликами і дивується, чому він чує як літають джміль і муха, а політ метелика не чує? Це насамперед пов'язано з тим, що у метелика:

- А: мала маса крилець;
 Б: велика площа крилець;
 В: мала частота коливань крилець;
 Г: малий час між двома послідовними помахами крилець.



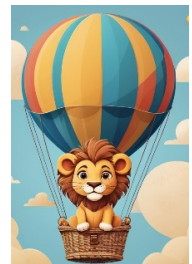
19. На яку з бульбашок повітря діятиме більша виштовхувальна сила з боку води, якщо вважати, що всі бульбашки однакового об'єму?

- А: 1;
 В: 3;
 Б: 2;
 Г: однакова.



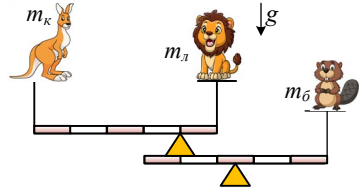
20. Левеня запланувало мандрувати на повітряній кулі, що наповнена гелієм. Об'єм кулі 200 м^3 , маса кошика та оболонки 100 кг . Скількох своїх друзів - левенят він може запросити в подорож, якщо середня маса левеняти – 30 кг ? Вважати, що густина повітря становить $1,29 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, густина гелію – $0,19 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, $g=10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$.

- А: 1;
 В: 3;
 Б: 2;
 Г: 4;
 Д: мандруватиме сам.



Завдання 21 – 30 оцінюються п'ятьма балами

21. Левеня запросило друзів на день народження: Кенгуру та Бобра. Звірята вирішили залізти на опори і зрівноважити систему (див. мал). Їм це вдалось! Якою є маса Кенгуру та Бобра, якщо маса Левеняти $2m$? Важелі невагомі.

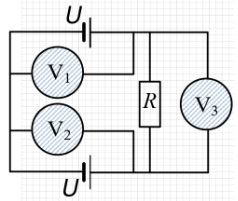


А: $m_k = 3m, m_b = m$;

Б: $m_k = \frac{m}{2}, m_b = \frac{m}{2}$;

В: $m_k = m, m_b = 4m$; Г: $m_k = \frac{m}{2}, m_b = \frac{3m}{2}$.

22. Який з вольтметрів, в електричному колі зображеному на малюнку, покаже найменше значення електричної напруги? Джерела струму та вольтметри ідеальні.



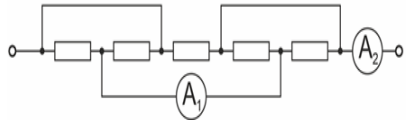
А: 1;

Б: 2;

В: 3;

Г: покази приладів будуть однаковими.

23. В електричній схемі, зображеній на малюнку, опори усіх резисторів однакові, амперметри ідеальні. Порівняйте покази амперметрів ($\frac{I_1}{I_2}$).



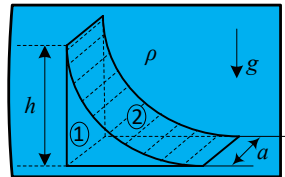
А: 1;

Б: $\frac{2}{3}$;

В: $\frac{1}{2}$;

Г: 2.

24. Суцільну фігуру, зображену на малюнку, занурили повністю у водойму. Визначіть силу тиску води на вертикальну стінку (1).



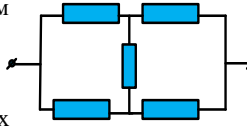
А: $\frac{1}{2}\rho gh^2a$;

Б: $\frac{1}{4}\rho gh^3$;

В: $\frac{1}{2}\rho ga^2h$;

Г: неможливо визначити.

25. Для ремонту пульта керування роботом під час змагання, учневі потрібно визначити електричний опір частини складної електричної схеми. Яким є опір даної ділянки, якщо усі опір усіх резисторів R ?



А: R ;

Б: $\frac{R}{2}$;

В: $2R$;

Г: $\frac{R}{3}$.

26. У музеї науки Левеня розглядає портрети великих фізиків. Який вчений зображений на картині, якщо з його ім'ям асоціюються найбільші винаходи в історії людства?

А: Ісаак Ньютон;

Б: Нікола Тесла;

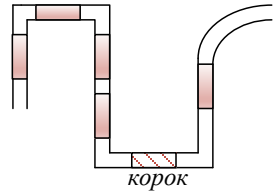
В: Альберт Ейнштейн;

Г: Ілон Маск;

Д: Іван Пулюй.



27. У трубці постійного перерізу S , стовпці рідини (довжина усіх стовпців h , густина рідини ρ) розділені повітряними проміжками. Куди напрямлена і чому рівна сила тертя, що діє на нерухомий корок? (\leftarrow - ліворуч, \rightarrow - праворуч) P_0 - атмосферний тиск.



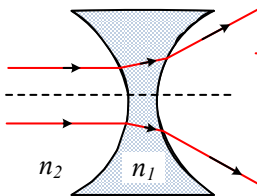
А: $(P_0 + \rho gh)S$, \leftarrow ;

Б: $4 \rho ghS$, \leftarrow ;

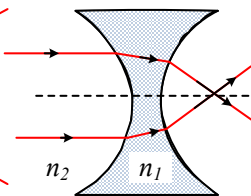
В: $(P_0 + 2\rho gh)S$, \rightarrow ;

Г: 0.

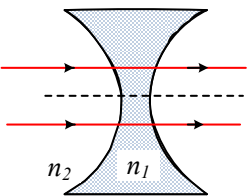
28. Приосьовий пучок світла потрапляє на двовігнуту лінзу. На якому малюнку правильно показано хід світлових променів після проходження крізь лінзу, якщо $n_2 > n_1$?



А

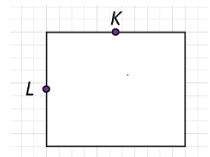


Б



В

29. З куска дроту з однаковим по всій довжині поперечним перерізом і опором між кінцями, рівними 160 Ом, була виготовлена замкнута квадратна рамка (див. мал.). Чому дорівнює опір між точками К і L рамки (К, L — центри сторін рамки)?



А: 30 Ом;

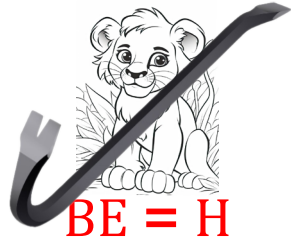
Б: 40 Ом;

В: 120 Ом;

Г: 160 Ом.

30. Передаючи повідомлення позаземним цивілізаціям, Левенятко зашифрувало одну з основних властивостей світла, у формі ребуса. Допоможіть його розгадати.

А: відбивання;
Б: заломлення;
В: інтерференція;
Г: поглинання.



10 КЛАС

Завдання 1 – 10 (11-20 для фіз.класів) оцінюються трьома балами.

1. У музеї науки Левеня розглядає портрети великих фізиків. Який вчений зображений на картині, якщо з ним асоціюється одиниця вимірювання основної характеристики конденсатора?

А: Ісаак Ньютон; Б: Шарль Кулон;
В: Вільгельм Вебер; Г: Андре Марі Ампер;



Д: Майкл Фарадей.

2. Левеня за допомогою електрозварки виготовляє прилад для досліджень, використовуючи при цьому ... розряд.

А: іскровий; Б: тліючий;
В: коронний; Г: дуговий.



3. Яке явище лежить в основі роботи ртутного термометра?

А: розширення рідини при нагріванні;
Б: випаровування;
В: випромінювання; Г: газовий розряд.

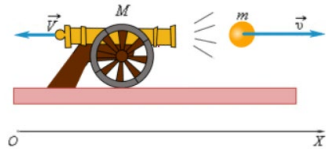


4. Завдяки якому явищу ракетний двигун приводить ракету в рух?

А: інерція; Б: відносність руху; В: віддача;
Г: невагомість, Д: всесвітнє тяжіння.

5. Читаючи параграф у підручнику з фізики, Левеня натрапило на картинку, яка демонструє...

- А: закон збереження імпульсу ;
 Б: ізохорний процес;
 В: закон збереження механічної енергії;
 Г: правило Левеня.



6. Прилад, зображений на малюнку, використовують для демонстрацій ... явищ.

- А: оптичних ;
 В: магнітних;
 Д: ядерних.
- Б: електричних;
 Г: квантових;



7. Спіраль електроплитки при увімкненні в електромережу швидко розжарюється до червоного кольору, а дроти, що підводять напругу, не нагріваються помітно. Це зумовлено тим, що у спіралі ... ніж у підвідних провідників.

- А: питомий опір менший ;
 В: теплоємність більша ;
- Б: питомий опір більший ;
 Г: теплоємність менша.



8. Прилад, зображений на малюнку використовують для оцінки...

- А: магнітного потоку ;
 В: густини повітря;
 Д: індуктивності.
- Б: вологості повітря;
 Г: електричного заряду;

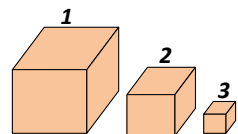


9. Чотири однакові циліндри з поршнями заповнили різними газами, що знаходяться за нормальних умов: 1 – гелієм, 2 – киснем, 3 – повітрям, 4 – озonom. Вкажіть, який циліндр має найбільшу масу?

- А: 1; Б: 2; В: 3; Г: 4.

10. На малюнку зображено три суцільні мідні кубики різного розміру. Порівняйте концентрації молекул у цих кубиках.

- А: $n_1 > n_2 > n_3$; Б: $n_1 < n_2 < n_3$;
 В: $n_1 = n_2 = n_3$; Г: $n_1 < n_2 > n_3$.



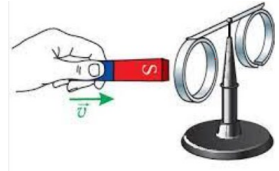
16. Початкова швидкість снаряда, який випускає САУ "Гвоздика" становить 600 м/с. За скільки секунд снаряд вражає ворожу ціль, якщо запуск відбувається під кутом 30° до горизонту. $g = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$.



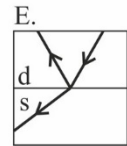
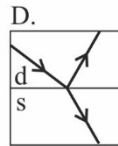
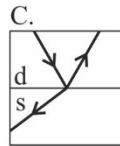
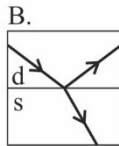
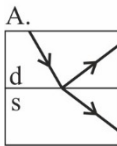
А: 1 хв ; Б: 2 хв; В: 3 хв; Г: 4 хв.

17. Читаючи параграф у підручнику з фізики, Левеня натрапило на картинку, яка демонструє...

А: види деформації ; Б: правило лівої руки;
В: принцип роботи конденсатора;
Г: правило Ленца.

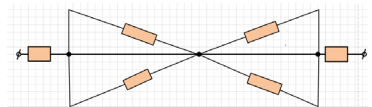


18. Показник заломлення світла для алмазу (d) рівний 2,4, а скла (s) – 1,5. На якому малюнку правильно показано хід відбитого і заломленого світлового променя на межі алмаз – скло ?



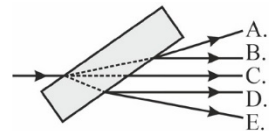
А: А; Б: В; В: С; Г: D; Д: Е.

19. Визначіть величину електричного опору ділянки електричного кола, якщо опір кожного резистора R.



А: R; Б: 2R; В: 3R; Г: 4R.

20. Промінь світла падає на скляну пластинку з плоскими і паралельними поверхнями, розміщену в повітрі (див. мал). Якою лінією зображено промінь світла після проходження пластинки?



А: А; Б: В; В: С;
Г: D; Д: Е.

Завдання 21 – 30 (31-40 для фіз.класів) оцінюються трьома балами.

21. У вагоні поїзда, що рухається по кривій траєкторії зі швидкістю $72 \frac{\text{км}}{\text{год}}$, проводять зважування деякого вантажу на пружинних вагах. Маса вантажу 5 кг, покази ваг 51 Н. Оцініть радіус заокруглення рейок? Маса терезів значно менша за масу вантажу. $g = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$.

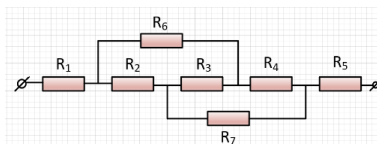
А: 100 м; Б: 200 м; В: 250 м; Г: 300 м.



22. У скільки разів відрізняються потужності електричного струму у резисторах R_1 та R_7 ($\frac{P_1}{P_7} - ?$)

(усі резистори однокові)

А: 1; Б: 2; В: 3; Г: 4.



23. Вертикальна посудина розділена навпіл непроникною горизонтальною перегородкою. З верхньої частини посудини повністю відкачали повітря. Доповніть твердження. Якщо в перегородці з'явиться отвір, то...

А: повітря залишиться у нижній частині;

Б: повітря рівномірно розподілиться по всій посудині;

В: більше повітря буде в нижній частині посудини;

Г: більше повітря буде у верхній частині посудини.

24. Левеняtko, виконуючи домашнє завдання з фізики визначило, що склянка з водою, яка підігрівалась у мікрохвильовій печі (НВЧ-піч) за 2 хв обернулась 28 разів. Яка лінійна швидкість обертання склянки, якщо її помістити на краю тарілки НВЧ-печі діаметром 240 мм.



А: 0; Б: $56 \pi \left(\frac{\text{мм}}{\text{с}}\right)$; В: $28 \pi \left(\frac{\text{мм}}{\text{с}}\right)$; Г: $10 \pi \left(\frac{\text{мм}}{\text{с}}\right)$.

25. Левеня і Бобер знайшли записку, в якій зашифровано фізичну формулу: $x = p * k$, де k – швидкість, p – проміжок часу. Яку фізичну величину зашифрували у повідомленні?

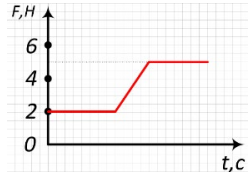
А: переміщення;

Б: температура;

В: маса;

Г: площа.

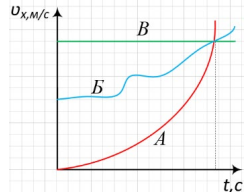
26. Суцільний циліндричний вантаж, який стояв на дні басейна з рідиною, рівномірно піднімають на мотузці. На малюнку подано графік залежності сили натягу мотузки від часу прикладання сили. Визначте густину вантажу, якщо густина рідини $900 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.



- А: $1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$; Б: $1500 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$; В: $1800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$

Г: $2000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

27. На малюнку зображено графіки залежності проекції швидкості трьох тіл від часу. Порівняйте шляхи пройдені тілами за однаковий проміжок часу.



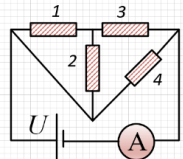
- А: $S_A > S_B > S_{B'}$; Б: $S_B > S_B' > S_A$;
 В: $S_A = S_B < S_{B'}$; Г: $S_A > S_B > S_{B'}$.

28. При вільному падінні тіла, його переміщення за кожен секунду руху, співвідносяться як:

- А) ряд послідовних чисел (1 : 2 : 3...);
 Б) ряд парних послідовних чисел (2 : 4 : 6...)
 В) ряд непарних послідовних чисел (1 : 3 : 5...)
 Г) квадрати послідовного ряду чисел (1²: 2²: 3²...)

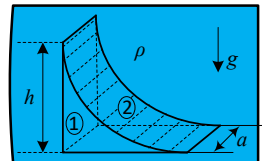
29. Якими є покази амперметра в електричному колі, зображеному на малюнку, якщо $U = 45 \text{ В}$, $R_1 = 60 \text{ Ом}$, $R_2 = 60 \text{ Ом}$, $R_3 = 60 \text{ Ом}$, $R_4 = 90 \text{ Ом}$.

- А: 1 А; Б: 2 А;
 В: 3 А; Г: 4 А.

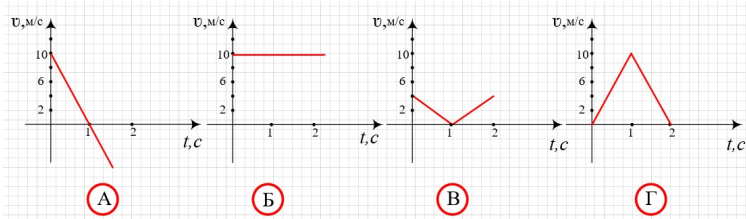
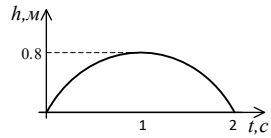


30. Суцільну фігуру, зображену на малюнку, занурили повністю у воду. Визначіть горизонтальну компоненту силу тиску води на увігнуту частину поверхні фігури (F_2).

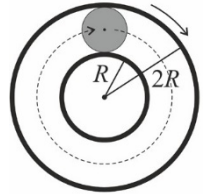
- А: $\frac{1}{2} \rho g h^2 a$; Б: $\frac{1}{4} \rho g h^3$;
 В: $\frac{1}{2} \rho g a^2 h$; Г: неможливо визначити.



31. Тіло кинули вертикально вгору. На малюнку зображено графік залежності висоти h підйому тіла від часу t . Опором повітря знехтувано. Вкажіть рисунок, на якому наведено графік залежності швидкості тіла від часу t ?

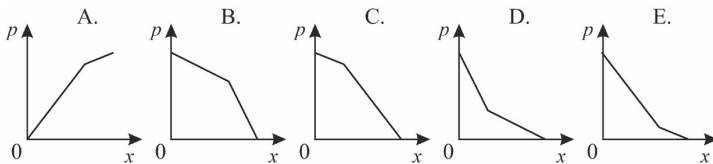
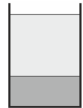


32. Сталевий циліндр розташований між двома концентричними кільцями, радіуси яких R і $2R$. Менше кільце не обертається, а більше обертається в напрямку, зображеному на малюнку. Скільки обертів навколо власної осі зробило більше кільце, якщо циліндр зробив один оберт навколо меншого кільця? Між роликотом і кільцями немає проковзання.



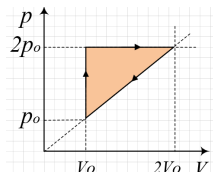
- А: 1; Б: 1,5; В: 2; Г: 2,5; Д: 3.

33. У посудині знаходяться дві однорідні речовини, що не перемішуються. На якому графіку правильно показано залежність гідростатичного тиску (p) від відстані (x) від дна посудини? Атмосферний тиск можна вважати дуже малим.



- А: А; Б: В; В: С; Г: Д; Д: Е.

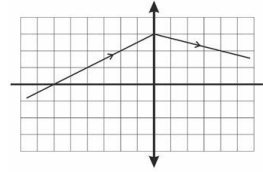
34. Яку роботу виконає багатоатомний газ, що бере участь у замкненому циклі, зображеному на малюнку?



- А: $\frac{1}{2}p_0V_0$; Б: $\frac{3}{2}p_0V_0$; В: $\frac{2}{3}p_0V_0$; Г: $\frac{4}{3}p_0V_0$.

35. Якою є фокусна відстань лінзи, зображеної на малюнку, якщо довжина однієї клітинки 1 см?

- А: 1 см; Б: 2 см;
 В: 4 см; Г: 6 см.



36. У вільний час учень грає у футбол. Час від часу він використовує у грі ефект...

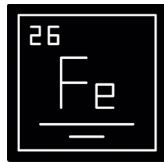
- А: Повітряного змія; Б: Торічеллі;
 В: Тесли; Г: Магнуса.



37. Передаючи повідомлення позаземним цивілізаціям, Левенятко зашифрувало інформацію про один з ізопроцесів у формі ребуса. Розгадайте ребус.

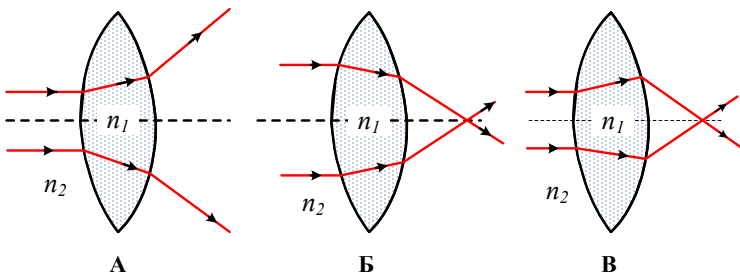
- А: адіабатний;
 Б: ізохорний;
 В: ізотермічний;
 Г: ізобарний.

'''

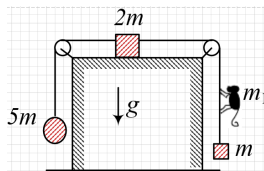


K = H

38. Приосьовий пучок світла потрапляє на двовипуклу лінзу. На якому малюнку правильно показано хід світлових променів після проходження крізь лінзу, якщо $n_2 > n_1$?

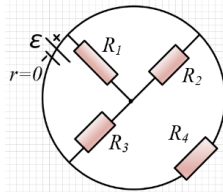


39. У зрівноваженій системі, зображеній на малюнку, мавпа почала рухатись вгору зі швидкістю v . У якому напрямку і з якою швидкістю почне рухатись тіло $5m$? Тертя в системі відсутнє.



- А: $\frac{v}{2}$, вгору; Б: $\frac{3v}{2}$, донизу;
 В: $\frac{3v}{4}$, донизу; Г: $\frac{v}{3}$, донизу.

40. Знайдіть силу струму, одержану від батареї з ЕРС 15 В, якщо опори різних ділянок рівні: $R_1 = R_2 = 6 R$, $R_3 = 7 R$, $R_4 = 10 R$, де $R = 1$ Ом. Внутрішнім опором джерела знехтувати.

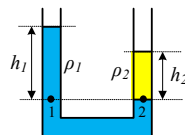


- А: 1 А; Б: 2 А; В: 3 А; Г: 5 А.

11 КЛАС

Завдання 1 – 10 (11-20 для фіз.класів) оцінюються трьома балами.

1. У два коліна сполучених посудин наливо дві рідини, що не змішуються. Яка рівність правильна, якщо h – висота стовпчика, ρ – густина рідини, p – тиск стовпчика рідини?



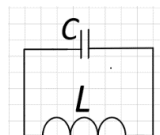
- А: $\frac{h_1}{h_2} = \frac{\rho_1}{\rho_2}$; Б: $\rho_1 = \rho_2$; В: $p_1 p_2 = \rho_1 \rho_2 g h_1 h_2$; Г: $p_1 = p_2$.

2. Утворення інію - ...фізичне явище.

- А: світлове; Б: звукове; В: оптичне; Г: теплове.



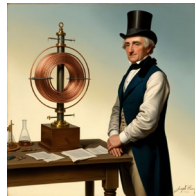
3. У скільки разів зміниться період коливачь у коливальному контурі, якщо електроємність конденсатора збільшили у 4,5 рази, а індуктивність котушки збільшили у 2 рази? (↓ - зменшується, ↑ - зменшується, ↔ - не змінюється).



- А: ↑ у 3 рази; Б: ↓ у 2 рази; В: ↔; Г: ↑ у 9 разів.

4. У музеї науки Левеня розглядає портрети великих фізиків. Який вчений зображений на картині, якщо з ним асоціюється одиниця вимірювання основної характеристики соленоїда?

А: Ісаак Ньютон; Б: Шарль Кулон;
В: Джозеф Генрі; Г: Андре Марі Ампер;
Д: Майкл Фарадей.



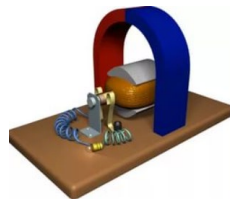
5. Яку фізичну величину вимірюють у кінських силах?

А: силу; Б: роботу;
В: потужність; Г: прискорення.



6. Читаючи параграф у підручнику з фізики, Левеня натрапило на картинку, яка демонструє принцип роботи...

А: двигуна постійного струму;
Б: лічильника електроенергії;
В: котушки Тесли;
Г: чарівного присторою Левеня.



7. Коефіцієнт пропорційності між середньою кінетичною енергією теплового руху молекул та абсолютною температурою газу рівний $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$ і був названий сталою ..., на честь фізика, портрет якого зображений на малюнку.



А: Больцмана; Б: Фермі; В: Кельвіна; Г: Ейнштейна.

8. На змаганнях знавців фізики, Левеня забуло як називають наступне співвідношення між фізичними величинами: $p = nkT$. Допоможіть йому пригадати.

А: основне рівняння МКТ; Б: закон Дальтона;
В: закон Кельвіна; Г: закон Паскаля.



9. Левеня, перепливаючи океан на кораблі, спостерігало за...розрядом.

А: іскровим; Б: тліючим;
В: чарівним; Г: дуговим.



10. У посудині з водою розчиняють харчову сіль. Чи зміниться тиск рідини на дно посудини?
(↓ - зменшиться, ↑ - збільшиться, ↔ - не зміниться).

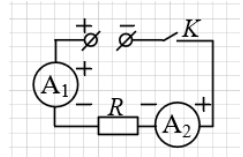
А: ↑; Б: ↓; В: ↔; Г: неможливо відповісти.



Завдання 11 – 20 (21-30 для фіз.класів) оцінюються трьома балами.

11. Який з цифрових амперметрів покаже більше значення силу струму в електричному колі, зображеному на малюнку після замикання вимикача К?

А: 1; Б: 2;
В: покази приладів будуть однаковими;
Г: неможливо передбачити.



12. Який електричний прилад можна порівняти з водопровідним краном?

А: діод; Б: соленоїд;
В: транзистор; Г: електродвигун.



13. Вакуумний триод використовують...

А: для випрямлення змінного струму;
Б: для підсилення струму;
В: для зміни електричного опору;
Г: в якості акумулятора.



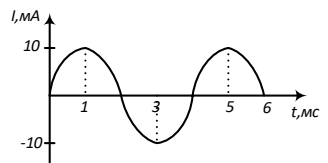
14. Після того, як у кімнаті вимкнули обігрівач, температура знизилась з 25 °С до 14 °С. На скільки відсотків зменшився тиск у кімнаті? Вважайте коцентрацію молекул сталою.

А: 1,5%; Б: 2%; В: 3%; Г: 3,7%.

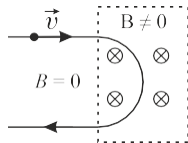


15. Записати рівняння зміни сили струму від часу.

А: $5 \cos(500\pi t)$; Б: $10 \sin(500\pi t)$;
В: $10 \cos(500\pi t)$; Г: $10 \sin(1000\pi t)$.



16. Частинка масою m і зарядом q рухається в магнітному полі з індукцією B (рисунок). Час перебування частинки в області поля становить:



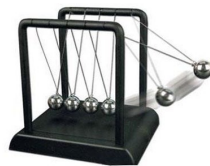
- А: $\frac{\pi m}{qB}$; Б: $\frac{2\pi m}{qB}$; В: $\frac{3\pi m}{qB}$; Г: $\frac{2qB}{\pi t}$.

17. Які тіла здатні випромінювати енергію ?

- А: важкі; Б: легкі; В: темні; Г: світлі; Д: усі.

18. Прилад, зображений на малюнку використовують для демонстрації закону збереження ...

- А: імпульсу; Б: заряду;
В: світлового потоку; Г: моменту імпульсу.

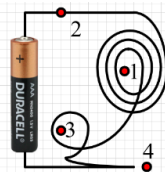


19. Одним з елементів схеми, що перетворює змінний струм у постійний є:

- А: діодний мостик; Б: соленоїд;
В: трансформатор; Г: реостат.

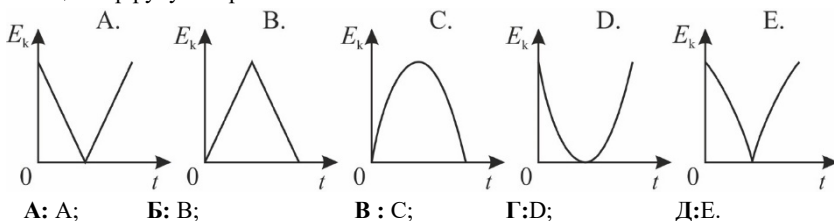
20. Гнучкий провідний дріт приєднали до гальванічного елемента (батарейки) так, як показано на малюнку. У якій точці індукція магнітного поля, створеного електричним струмом у дроті, максимальна?

- А: 1; Б: 2; В: 3; Г: 4.



Завдання 21 – 30 (31-40 для фіз.класів) оцінюються трьома балами.

21. Камінь кидають вертикально вгору. На якому з наведених графіків правильно показано залежність кінетичної енергії E_k каменя від часу t під час його руху, якщо опір руху мізерно малий?



22. Снаряд, який було випущено горизонтально зі швидкістю $360 \frac{\text{км}}{\text{год}}$, досягнув цілі протягом 10 с. На якій відстані перебував ворожий об'єкт?



А: 100 м; Б: 1000 м; В: 2000 м; Г: 3600 м.

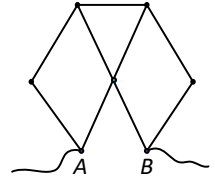
23. Знайдіть логічну пару:

- | | |
|--|-------------------------------|
| 1. Фізичне явище | А. Потужність |
| 2. Фізичний прилад | Б. Світлина електричної лампи |
| 3. Фізична величина | В. Вольт |
| 4. Одиниця вимірювання фізичної величини | Г. Амперметр |

А: 1-Б, 2-Г, 3-А, 4-В;
В: 1-Б, 2-Г, 3-В, 4-А;

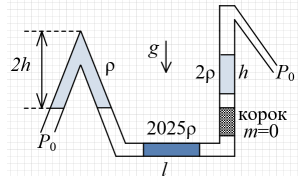
Б: 1-Б, 2-В, 3-А, 4-Г;
Г: 1-Г, 2-В, 3-Б, 4-А.

24. Левеня з 9 однакових провідників (R) склало правильний шестикутник, з'єднавши попарно усі вершини (див. мал) та приєднавши в точках А та В до джерела струму ($\frac{7}{5}U$). Якої величини струм протікає по підвідних провідниках.



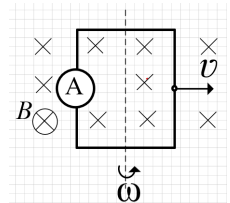
А: $\frac{U}{R}$; Б: $\frac{2U}{R}$; В: $\frac{7U}{14R}$; Г: $\frac{2R}{U}$.

25. У трубці перерізом S містяться стовпчики рідини ρ , 2ρ та 2025ρ і нерухомий легкий поршень ($m=0$), розділені стовпчиками газу. Як напрямлена і чому рівна сила тертя, що діє на корок? (\uparrow - вгору, \downarrow - вниз).



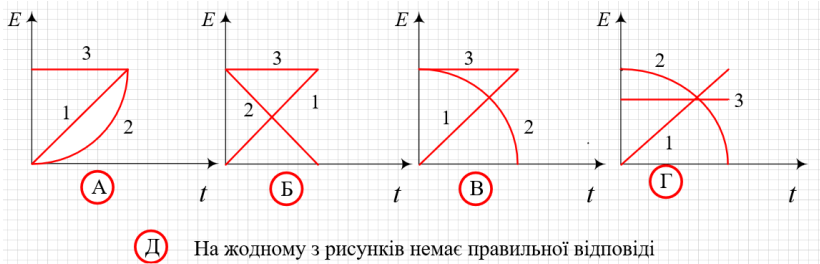
А: $\downarrow, F_{\text{тр}} = 0$; Б: $\uparrow, F_{\text{тр}} = \frac{3}{4}\rho ghS$;
В: $\uparrow, F_{\text{тр}} = \frac{3}{4}\rho ghS$; Г: $\uparrow, F_{\text{тр}} = 2\rho ghS$.

26. Провідну квадратну рамку, замкнену на амперметр рухають рівномірно в однорідному магнітному полі (1); обертають навколо осі з кутовою швидкістю ω (2) (див. мал). Відношення струмів, що індукуються у провідній рамці $\frac{I_2}{I_1}$ рівне...



А: $\frac{1}{2}$; Б: 0; В: ∞ ; Г: 2.

27. Тіло кинули під деяким кутом α до горизонту. Який графік відображає залежність потенціальної (1), кінетичної (2) та повної механічної енергії (3) від часу, при русі тіла до максимальної точки підйому?



28. Читаючи параграф у підручнику з фізики, Левеня натрапило на картинку, яка демонструє...

А: види деформації;
В: дослід Ома;

Б: правило Ленца;
Г: правило Левеня.



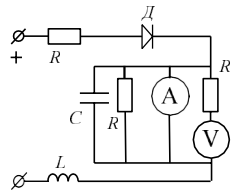
29. Електричне коло підключене до джерела постійного струму (див. мал). Визначити опір ділянки кола, якщо усі прилади ідеальні.

А: R ;

Б: $\frac{3R}{2}$;

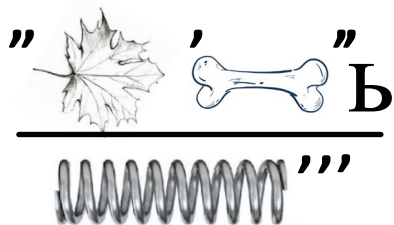
В: $\frac{R}{2}$;

Г: $\frac{4R^2}{3C}$.

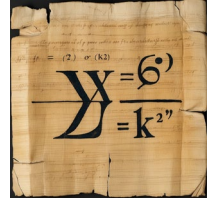


30. Передаючи повідомлення позаземним цивілізаціям, Левенятко зашифрувало одну з основних характеристик електричного поля, у формі ребуса. Допоможіть його розгадати.

А: індуктивність;
Б: напруженість;
В: потенціальність;
Г: електронегативність.

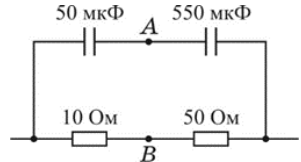


31. Проходячи квест у кімнаті страху, учні знайшли записку із завданням у вигляді формули $\Delta = \frac{2 \Sigma}{K^2}$, де Σ - потенціальна енергія, K – сила струму. Яку фізичну величину було зашифровано під буквою Δ ?



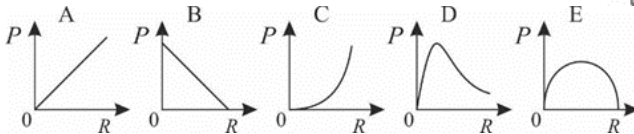
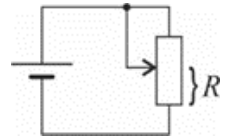
- А: електричний заряд; Б: електроємність;
 В: напруга; Г: індуктивність.

32. Учень зібрав показане на малюнку електричне коло з двох резисторів і двох конденсаторів та приєднав коло до джерела постійного струму. Напруга на полюсах джерела струму дорівнює 12 В. Яку напругу покаже шкільний вольтметр, який учень приєднає до точок А і В?



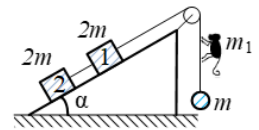
- А: 0 В; Б: 1 В; В: 6 В; Г: 12 В.

33. Який із наведених графіків показує залежність потужності, що виділяється в резисторі, від опору R між повзунком і нижньою клемою?



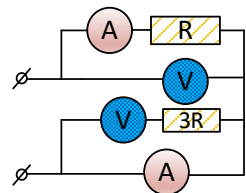
- А: А; Б: В; В: С; Г: Д; Д: Е.

34. У зрівноваженій системі, зображеній на малюнку, мавпа почала рухатись вгору зі швидкістю $2v$. У якому напрямку і з якою швидкістю почне рухатись тіло m ? $\alpha = 30^\circ$. Тертя в системі відсутнє.



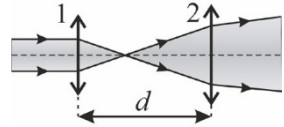
- А: $\frac{v}{9}$, вгору; Б: $\frac{2v}{5}$, донизу;
 В: $\frac{3v}{9}$, донизу; Г: $\frac{v}{5}$, донизу.

35. Покази обох амперметрів у електричній схемі, що показано на малюнку, рівні $I = 1$ А, а одного з вольтметрів $U = 8$ В. Визначить опір резистора R , якщо прилади ідеальні.



- А: 2 Ом; Б: 4 Ом; В: 6 Ом; Г: 8 Ом.

36. Паралельний пучок світлових променів, що падає на оптичну систему, після проходження крізь неї, стає розбіжним. Якою є відстань між лінзами, якщо їхні фокусні відстані F_1 та F_2 .



- А: $d < F_1$ і $d < F_2$;
 Б: $d > F_1$ і $d < F_1 + F_2$;
 Г: $d > F_1 + F_2$ і $d < F_1 + 2 F_2$;

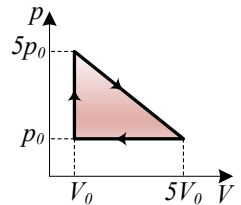
- В: $d < F_1$ і $d = F_2$;
 Д: $d > F_1 + F_2$.

37. Низький всюдихід на надутих гумових колесах рухається Марсом. Але величезні каміння та провалля зменшують його стійкість. Що потрібно зробити, щоб не зменшуючи швидкості його руху, продовжувати рух безпечно?



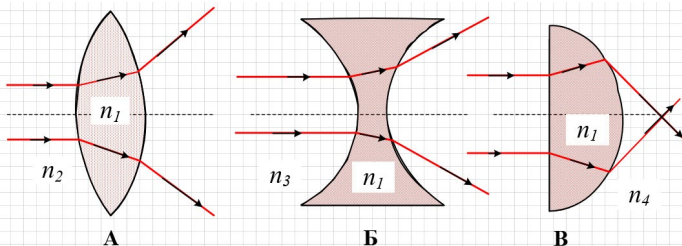
- А: встановити вантаж на дах всюдихода;
 Б: пофарбувати всюдихід у червоний колір, щоб він злився з поверхнею Марса;
 В: помістити всередину колес кульки;
 Г: зменшити кількість колес.

38. Левеня вивчаючи ідеальний газ, що здійснив циклічний процес, побудувало графік, зображений на малюнку. Визначить відношення максимальної температури газу до мінімальної, використовуючи подані на малюнку значення фізичних величин.

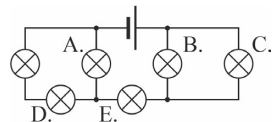


- А: 2; Б: 5; В: 9; Г: 25.

39. Приосьовий пучок світла потрапляє на лінзу. На якому малюнку правильно показано хід світлових променів після проходження крізь лінзу, якщо $n_4 > n_3 > n_2 > n_1$??



40. Через яку лампочку тече найбільший струм?



- А: А; Б: В; В: С; Г: Д; Д: Е.

Таблиця правильних відповідей до завдань Всеукраїнського фізичного конкурсу “Левеня–2025”

7 клас

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Г	В	Б	Б	Б	А	В	В	А	А	Б	Г	В	Г	В
16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Г	В	В	А	Д	А	Г	А	Б	В	Б	Б	А	Б	Г

8 клас

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
В	В	А	Б	В	Г	Б	Б	А	В	Б	Б	Б	Б	Д
16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Г	В	В	В	Б	Г	Б	В	В	Б	Б	Г	Б	В	Б

9 клас

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Б	В	В	Б	А	В	Б	В	Б	А	А	Б	Г	Б	Г
16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Б	А	В	Г	В	Г	В	В	А	А	Б	Г	Б	А	Б

10 клас

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Д	Г	А	В	А	А	Б	Б	Г	В	В	В	В	Г	Г	А	Г	Д	Б	Г
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
Б	Г	В	Б	А	Б	Б	В	А	А	В	Б	Г	А	В	Г	Б	А	А	В

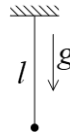
11 клас

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Г	Г	А	В	В	А	А	А	А	А	В	В	Б	Г	Б	А	Д	А	А	А
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
Г	Б	А	А	Г	В	Д	Б	А	Б	Г	А	Г	Б	Г	Д	В	В	А	Д

РОЗВ'ЯЗКИ ТА ВКАЗІВКИ ДО ДЕЯКИХ ЗАДАЧ

7 клас

1. Фізика – це наука, що вивчає природу, її явища, властивості та взаємодію матерії й енергії.
2. Основною одиницею вимірювання маси в Міжнародній системі одиниць (SI) є **кілограм (кг)**.
3. Водотоннажність – це маса води, витіснена судном, яка дорівнює його власній масі разом із вантажем, паливом, екіпажем та запасами.
4. Сила тяжіння, яка діє на мобільний телефон масою 250 г під час його падіння, становить $mg = 2,5 \text{ Н}$.
5. Математичний маятник — це ідеалізована модель, яка складається з матеріальної точки (вантаж) масою m , підвішеної на невагомій нерозтяжній нитці довжиною l у однорідному полі сили тяжіння.



6. На малюнку показано демонстрацію деформації вигину.



7. Прилади, зображені на малюнках:



- **штангенциркуль** (вимірювання діаметру дротини)



- **електроскоп** (дозволяє визначити наявність заряду на тілі)



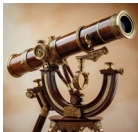
- **мультиметр** (електровимірювальний прилад, який використовується для вимірювання різних електричних величин)



- **мікроскоп** (прилад для розглядання дрібних, невидимих для неозброєного ока, предметів у збільшеному зображенні)



- **психрометр** (прилад для вимірювання температури та вологості повітря)



- **телескоп** (оптичний прилад, що використовується для спостереження за віддаленими об'єктами, такими як зірки, планети, тощо)

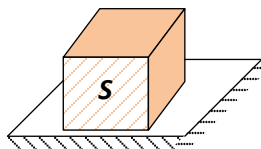


- **вакуумний тріод** (використовується для посилення електричних сигналів, тобто для підсилення струму; він регулює потік електронів між катодом і анодом, дозволяючи збільшити амплітуду сигналу, що проходить через нього)



- **кулі Ньютона** (пристрій, що показує закон збереження імпульсу)

8. Довжина ребра куба $a = \sqrt{S} = 6$ см \Rightarrow центр мас куба розміщений на відстані 3 см від горизонтальної поверхні.



9. На телефон, що лежить на горизонтальному столі, діють сили тяжіння та пружності.

10. Максимальна сила тертя спокою, яка діє на сина, становить 30 Н, отже, син може прикласти силу до цього значення. Батько прикладає більшу силу \Rightarrow син разом з динамометром почне рухатись (динамометр при цьому не може більше розтягнутись).

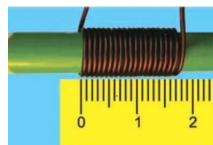
11. Загальний об'єм картоплі, який потрібно перевезти $V = \frac{m}{\rho} \Rightarrow$ для цього потрібно $N = \frac{V}{V_1} = \frac{80 \text{ м}^3}{4 \text{ м}^3} = 20$ автомобілів, де V_1 – об'єм кузова автомобіля.



12. Одиниця вимірювання часу в системі СІ – секунда (с).

13. Коли хлопець випиває сік, він просто переносить рідину з наплічника в організм. Таким чином, загальна маса системи (хлопець + наплічник) залишається незмінною, оскільки сік не зникає, а лише змінює своє розташування.

14. На відріжку 18 мм вкладаються 20 витків \Rightarrow діаметр дроту $d = 0,9$ мм \Rightarrow радіус дроту 0,45 мм.

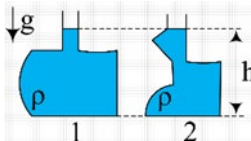


15. У класичній механіці маса є інваріантною величиною, тобто вона залишається сталою у всіх інерційних системах відліку.

16. Траєкторією будь якого тіла, що перебуває на поверхні Землі, у СВ пов'язаній з центром Землі є коло.



17. Оскільки вільна поверхня рідини знаходиться в обох випадках на однаковій висоті над горизонтом, то тиск на дно посудини буде однаковий, незалежно від її форми.



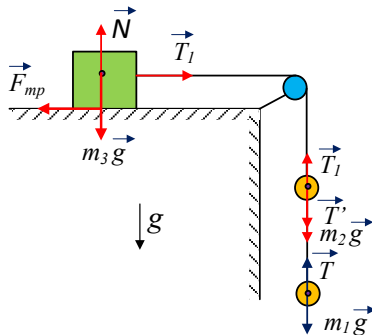
18. При русі у безповітряну погоду: $t_1 = \frac{2S}{v_L}$, у випадку зустрічного вітру:

$$t_2 = \frac{S}{v_L + v_B} + \frac{S}{v_L - v_B} \Rightarrow v_L = 2 v_B.$$

19. Умови рівномірного руху тіл, зображених на малюнку:

$$\begin{aligned} T &= m_1 g, \quad N = m_3 g, \\ T_1 &= m_2 g + T = m_2 g + m_1 g, \\ T_1 &= F_{mp} = \mu N = \mu m_3 g \Rightarrow \end{aligned}$$

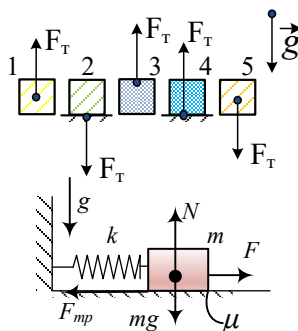
$$\mu = \frac{m_1 + m_2}{m_3} = \frac{2}{3}.$$



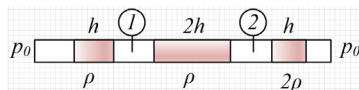
20. Сила тяжіння прикладена до центру мас тіла і спрямована перпендикулярно поверхні Землі (спрямована до центру мас тіла, що створює гравітаційне поле), так як на малюнку 5.

21. При збільшенні величини прикладеної сили, зростатиме сила тертя спокою і в певний момент вона досягне максимального значення \Rightarrow тертя спокою перейде в тертя ковзання \Rightarrow

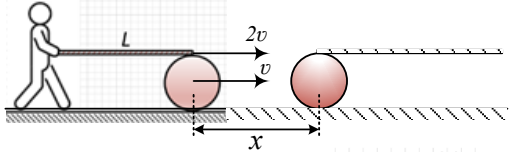
$$F = F_{mp} = \mu N = \mu mg$$



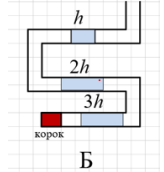
22. Оскільки трубка горизонтальна і стовпці рідини знаходяться в положенні рівноваги, то тиски повітря в ділянках 1 та 2 труби однакові і рівні p_0 .



23. $x=vt, x+L=2vt \Rightarrow x=L \Rightarrow$
 шлях, який повинен
 пройти хлопчик, щоб
 досягнути циліндра $2L$.



24. У випадку Б (див. мал), усі
 стовпці рідини горизонтальні і знаходяться в положенні
 рівноваги \Rightarrow у всіх повітряних ділянках тиски однакові і
 рівні атмосферному (p_0) \Rightarrow на корок діють однакові сили
 тиску з усіх сторін \Rightarrow сила тертя між корком і трубкою
 $F_{тр} = 0$.

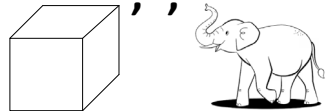


25. Ребуси:

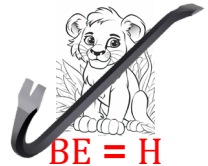
- ПАСКАЛЬМАР''' = «ПАСКАЛЬ»
 (Одиниця вимірювання тиску в системі СІ)



- КУБ' 'СЛОН = «КУЛОН»
 (Одиниця вимірювання заряду в системі СІ)



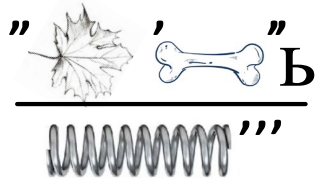
- ЗАЛОМЛЕННЯ = «ЗАЛОМЛЕННЯ»
 (оптичне явище)



- '''ЗАЛІЗОХОРКИЙ'''
 = «ІЗОХОРНИЙ»
 (термодинамічний
 процес, що відбувається
 за постійного об'єму)



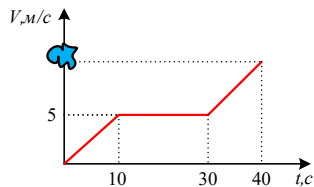
- НАПРУЖИНІКЛЕНКІСТКАЬ
 = «НАПРУЖЕНІСТЬ»
 (силова характеристика електричного поля)



26. Середня швидкість на всьому шляху:

$$v_{\text{сер}} = \frac{\text{весь шлях}}{\text{весь час}} = \frac{\frac{1}{2}(5 \cdot 10) + 5 \cdot 20 + \frac{1}{2}(5 + v_x) \cdot 10}{40} = 5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

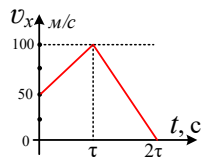
$\Rightarrow v_x = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ (площа під графіком залежності швидкості тіла від часу є пройденим шляхом).



27. Середня швидкість на всьому шляху:

$$v_{\text{сер}} = \frac{\text{весь шлях}}{\text{весь час}} = \frac{\frac{1}{2}(50 + 100) \cdot \tau + \frac{1}{2}(100) \cdot \tau}{2\tau} = 62,5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

\Rightarrow шлях пройдений тілом за $t = 4 \text{ с}$: $S = v_{\text{сер}} t = 250 \text{ м}$.



28. В полі тяжіння Землі, з висотою тиск води зменшується :

$$p_1 - p_{11} = \rho g H \Rightarrow H = \frac{p_1 - p_{11}}{\rho g} \Rightarrow h = \frac{H}{N-1} = 2 \text{ м}$$



29. Вага тіла — це сила, з якою тіло діє на горизонтальну опору або вертикальний підвіс унаслідок гравітації Землі. Під час стрибка, Левеня відривається від поверхні, тобто перестає тиснути на неї \Rightarrow вага Левеняти рівна нулю.



30. Сила Архімеда — це виштовхувальна сила, що діє на тіло, занурене в рідину або газ. Оскільки людина перебуває на дошці для серфінгу, то рівнодіяна сила тиску, що діє на неї з боку води рівна нулю.



8 клас

1. Якщо корпус змішувача нагріти (наприклад, гарячою водою або феном), він **трохи розшириться**, а нарізь або з'єднання залишаться більш-менш у попередньому стані. Це **послаблює затиск** і дозволяє легше відкрити деталь. Цей метод ефективний, особливо якщо деталі застрягли через корозію або відкладення солей.



2. Течія вони не є тепловим явищем.

3. Оскільки серцебиття тварин обернено пропорційне їх розміру \Rightarrow частота коливальних серця найбільша у пташки.

4. Див.задачу № 7 (7 клас).

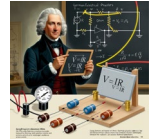
5. Див.задачу № 13 (7 клас).

6. $F = \frac{Gm_1m_2}{r^2}$ - закон всесвітнього тяжіння.

7. Рівномірний прямолінійний рух — це рух, під час якого тіло за рівні проміжки часу проходить однакові відстані, а його напрямок не змінюється. При **рівномірному прямолінійному русі залишається постійною швидкість.**

8. Вчені:

- **Генріх Ом** (німецький фізик, відомий своїми дослідженнями в області електрики, з ним асоціюється одиниця вимірювання основної характеристики резистора – **електричного опору** (Ом))



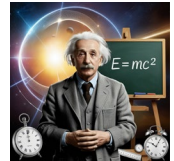
- **Нікола Тесла** (сербсько-американський винахідник, інженер, фізик і один із найвидатніших учених в історії електротехніки)



- **Майкл Фарадей** (видатний англійський фізик і хімік, один із основоположників електромагнетизму та електрохімії, з ним асоціюється одиниця вимірювання основної характеристики конденсатора – **електроємності** (фарада))



- **Альберт Ейнштейн** (основоположник релятивістської механіки)



- **Джозеф Генрі** (видатний американський фізик і інженер, який зробив значний внесок у розвиток електромагнетизму, з ним асоціюється одиниця вимірювання основної характеристики соленоїда – **індуктивності** (генрі))



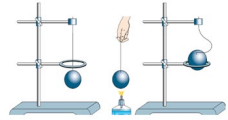
- **Людвіг Больцман** (австрійський фізик, один із засновників статистичної механіки та термодинаміки; коефіцієнт пропорційності між середньою кінетичною енергією теплового руху молекул та абсолютною температурою газу рівний $k = 1,38 * 10^{-23} \frac{Дж}{К}$ і був названий сталою Больцмана)



9. Густина енергії – це енергія зосереджена в одиниці об'єму: $[\omega] = \frac{\text{Дж}}{\text{м}^3}$.

10. Читаючи параграф у підручнику з фізики, Левеня натрапило на картинку, яка демонструє:

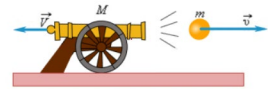
- **теплове розширення**



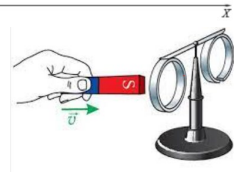
ртутний термометр (розширення рідини при нагріванні)



- **закон збереження імпульсу**



- **правило Ленца** (напрямок індукційного струму)



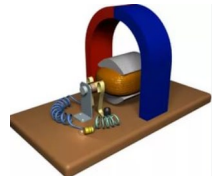
- **ефект Магнуса** (це фізичне явище, при якому об'єкт, що обертається, рухається в середовищі (зазвичай у повітрі чи рідині), зазнає сили, спрямованої перпендикулярно до напрямку його руху)



- **утворення інію** (теплове явище; коли тепла волога контактує з холодною поверхнею, водяна пара безпосередньо переходить у тверду форму, утворюючи кристали льоду; ці кристали накопичуються, створюючи характерний білий шар, який ми спостерігаємо як інію)



- **двигун постійного струму** (це пристрій, які перетворюють електричну енергію в механічну)



- **правило Ленца** (напря́м індукційного струму), **дослід Фарадея** (ЕМІ)

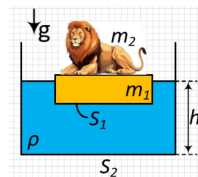


- **явище дифузії**

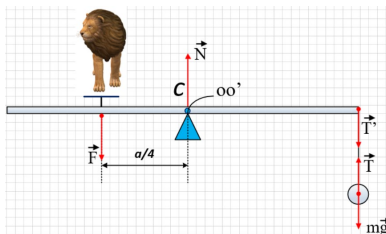


11. Тиск рідини на дно посудини визначається висотою шару рідини в ній:

$$p = p_0 + \rho gh$$



12. Оскільки система знаходиться у рівновазі, то можна записати умову рівноваги тіла m та другу умову статички для важеля відносно осі OO' , що проходить через цент мас важеля:

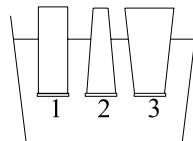


$$T = mg$$

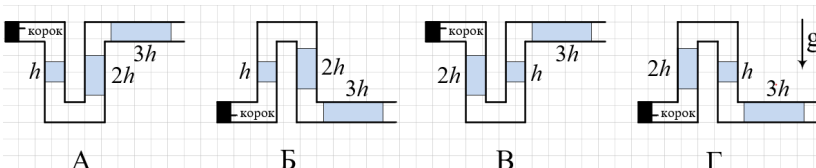
$$M_1 = M_2 \Rightarrow F * \frac{a}{4} = T * \frac{a}{2} \Rightarrow F = 2mg$$

13. Рідина може вільно текти; рідини майже незмінні за об'ємом при зміні тиску; рідина утворює поверхню, що контактує з повітрям; молекули знаходяться впритул, що забезпечує характерну для рідин компактність.

14. Оскільки густина води і гравітація однакові для всіх посудин, найбільший тиск буде в тій, де висота стовпа води найбільша \Rightarrow тиск води на внутрішню стінку дна буде найбільшим у 2 посудині.



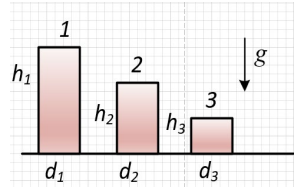
- 15.



У всіх випадках сила тиску на корок буде однаковою і рівною:

$F_{\text{тp}_0} = \rho ghS$, де ρ – густина стовпців рідини, S – площа поперечного перерізу трубки. Напрямок сили тертя буде різним, проте величина однакова.

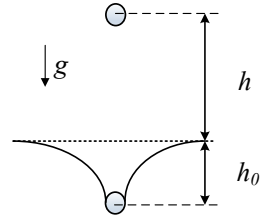
16. Тиск циліндрів на горизонтальну поверхню визначається у даному випадку їх висотою, оскільки усі циліндри виготовлені з однакового матеріалу \Rightarrow чим вищий циліндр, тим менша густина циліндра.



17. Якщо сила опору з боку повітря набагато менша за силу тяжіння, що діє на Левеня, то систему Левеня – Земля :

$$mg(h + h_0) = \frac{kh_0^2}{2} \Rightarrow$$

$$k = \frac{2mg(h+h_0)}{h_0^2} = 1500 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$$



18. За законом Архімеда, осадка визначається об'ємом витісненої води, який забезпечує рівновагу з вагою судна. Оскільки на Місяці й вага судна, й вага витісненої води зменшуються у 6 разів (адже прискорення вільного падіння зменшується), співвідношення між ними залишається незмінним. Тому об'єм витісненої води, а отже і глибина осадки, залишаються такими ж, як на Землі.

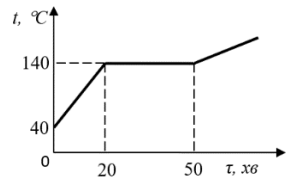
19. Оскільки потужність нагрівника залишається постійною, то:

$$P\tau_1 = c_T m(t_2 - t_1)$$

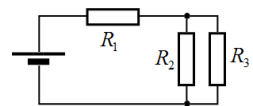
$$P\tau_2 = \lambda m,$$

де $\tau_1 = 20$ хв, $\tau_2 = 30$ хв,
 $t_1 = 40$ °C, $t_2 = 140$ °C \Rightarrow

$$\lambda = \frac{c_T(t_2 - t_1)\tau_2}{\tau_1} = 37,5 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$



20. Оскільки опори усіх резисторів однакові, то сила струму, що тече по резистору R_1 у 2 рази більша за силу струму, що тече по резистору $R_2 \Rightarrow$ потужність струму на резисторі R_3 у 4 рази менша ніж на резисторі R_1 .



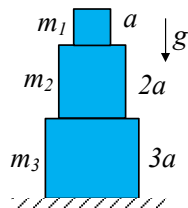
21. Молярна теплоємність – це кількість теплоти, яку потрібно надати 1 молю речовини, щоб підвищити її температуру на 1К.

22. Тиск найбільшого кубика на поверхню:

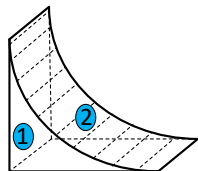
$$p = \frac{m_3 g}{9 a^2} = \frac{3m}{9 a^2} = \frac{m}{3 a^2}$$

Тиск «квадратного сніговика» на поверхню:

$$p_1 = \frac{(m_1 + m_2 + m_3)g}{9 a^2} = \frac{6m}{9 a^2} = \frac{2m}{3 a^2} = 2p$$

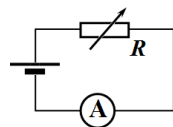


23. Горизонтальна складова сили тиску з боку води на увігнуту частину поверхні тіла (F_2) рівна силі тиску на відповідну їй лобову поверхню, тобто на плоску вертикальну ділянку (F_1).



24. Джерело струму (зображене як батарея з довшою та коротшою вертикальними лініями).

Резистор, позначений літерою R (а верхній символ із похилою стрілкою свідчить, що це може бути змінний резистор або реостат).



Амперметр, позначений колом із літерою A.

25. Після розтягу обох пружин, сили пружності що діють на обидві пружини є рівними $\Rightarrow k_1 \Delta x_1 = k_2 \Delta x_2 = 2 k_1 \Delta x_2 \Rightarrow \Delta x_1 = 2 \Delta x_2$



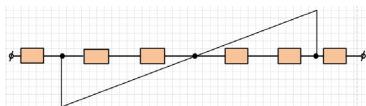
Робота, яку при цьому виконали, пішла на приріст потенціальної енергії кожної пружини:

$$A = \frac{k_1 \Delta x_1^2}{2} + \frac{k_2 \Delta x_2^2}{2} = \frac{k_1 \Delta x_1^2}{2} + \frac{2k_1 \Delta x_1^2}{4} = \frac{3k_1 \Delta x_1^2}{4} \Rightarrow \frac{k_1 \Delta x_1^2}{2} = \frac{2A}{3} = 80 \text{ Дж.}$$

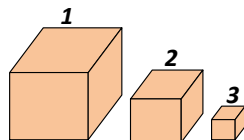
26. Див.задачу №25, 7 клас.

27. Див.задачу №26, 7 клас.

28. Відкинувши резистори, що замкнені накоротко, отримаємо спрощену електричну схему, яка складатиметься з двох послідовно з'єднаних резисторів опір кожного з яких R.



29. Відповідно до закону теплообміну Ньютона, кількість теплоти, яку віддає нагріте тіло до певної температури t , навколишньому середовищу температура якого t_0 , пропорційна різниці температур $(t - t_0)$, площі поверхні тіла, що контактує з навколишнім середовищем, час теплопередачі:



$Q = \alpha(t - t_0)S_{\text{пов}}\tau \Rightarrow t = \frac{Q}{\alpha S_{\text{пов}}\tau} + t_0 \Rightarrow t_0 \sim \frac{1}{S_{\text{пов}}} \Rightarrow$ чим менша площа бічної поверхні, тим більша температура кубика.

30. Вода всередині макаронів не кипить у звичайному розумінні, навіть якщо зовнішня вода кипить. Це пояснюється кількома факторами:

Відсутність активних центрів кипіння: Усередині макаронів немає нерівностей чи мікропор, які сприяють утворенню бульбашок пари.

Нааявність крохмалю: Крохмаль, що виділяється під час варіння, може створювати плівку на внутрішніх стінках макаронів, що пригнічує появу бульбашок.

Обмежена циркуляція: У вузькому порожнистому просторі макаронів тепло розподіляється менш активно, що також перешкоджає активному кипінню.

Таким чином, хоч температура води всередині макаронів може наблизитися до 100 °С, характерного для киплячої води, активне кипіння (тобто бурхливе утворення і вивільнення бульбашок) зазвичай не відбувається.

9 клас

1. Під час глибоководного занурення високий тиск змушує азот розчинитися в крові та тканинах. Якщо після дайвінгу людина швидко потрапляє в умови зниженого атмосферного тиску (наприклад, під час польоту в літаку), розчинений азот може різко вийти з розчину у вигляді бульбашок, що може спричинити декомпресійну хворобу (або кесонну хворобу). Ці бульбашки можуть блокувати кровоносні судини, спричинити біль у суглобах, запаморочення, параліч і навіть летальні наслідки.

2. Див.задачу №30, 7 клас.

3. Див.задачу №7, 7 клас.

4. Див.задачу №10, 8 клас.

5. Веселка \Rightarrow



6. Оскільки вольтметри є ідеальними, то струми через них не течуть \Rightarrow їхні покази однакові і рівні різниці потенціалів на клеммах джерела струму.

7. $m_g = \rho_{\text{води}} V_{\text{зан}} \cdot g \Rightarrow V_{\text{зан}} = \frac{m}{\rho_{\text{води}}}$; $V_{\text{льоду}} = \frac{m}{\rho_{\text{льоду}}} \Rightarrow$
 $V_{\text{над водою}} = V_{\text{льоду}} - V_{\text{зан}} \Rightarrow m_{\text{над водою}} = \rho_{\text{льоду}} V_{\text{над водою}} \approx 50 \text{ кг}$

8. Газові розряди :

- Іскровий та коронний:



- Дугувий:



- Коронний:



- Іскровий:



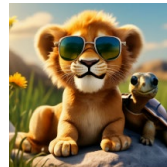
- Тліючий:



9. Див.задачу №7, 7 клас.

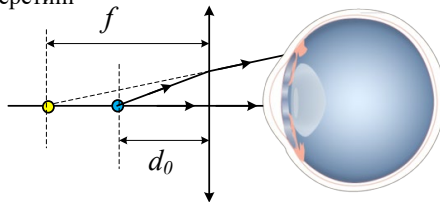
10. Сира вода містить розчинені гази (кисень, азот, вуглекислий газ). Під час нагрівання ці гази поступово виходять з води, що може прискорювати процес закипання. Кип'ячена вода, навпаки, вже втратила більшість розчинених газів, тому в ній менше центрів пароутворення. Це може трохи сповільнити початок кипіння.

11. Коли Левеня вдягає окуляри, то тримає книгу на відстані найкращого зору $d_0 = 25$ см, а бачить не саму книгу, а її уявне зображення, яке знаходиться від нього на відстані $f = 40$ см. Промені світла після заломлення в лінзі, прямують в око розбіжним пучком, воно рефлекторно відновлює хід променів і бачить яскраву точку середовища, що знаходиться на перетині продовжень цих променів.

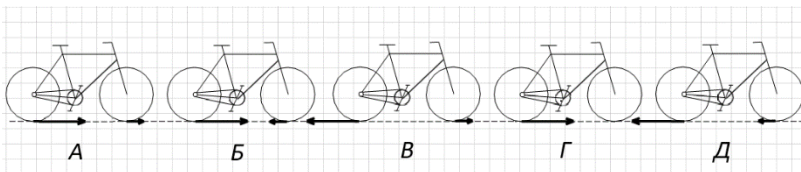


⇒ використовуючи формулу тонкої лінзи отримаємо:

$$D = \frac{1}{d_0} - \frac{1}{f} \Rightarrow D = 1,5 \text{ дптр.}$$



12.



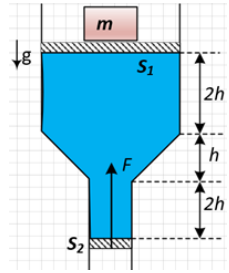
При гальмуванні велосипеда тільки заднім колесом сили тертя діють наступним чином:

- заднє колесо – оскільки гальма діють саме на нього, колесо блокується або починає обертатися повільніше, ніж потрібно для поступального руху. Тому сила тертя напрямлена вперед, оскільки вона намагається загальмувати рух велосипеда.
 - переднє колесо – не гальмується безпосередньо, але велосипед все одно продовжує рух за інерцією. Переднє колесо вільно котиться, і сила тертя діє назад, оскільки забезпечує зчеплення з дорогою і підтримує кочення.
13. У сполучених посудинах, заповнених двома рідинами, що не змішуються, рівновага встановлюється за умовою рівності гідростатичного тиску в точці контакту двох рідин: $p_1 = p_2$.

14. Температура рушника та полицки однакова (вони знаходяться в одній кімнаті та встигли прийняти температуру навколишнього середовища). Однак метал має значно більшу теплопровідність, ніж тканина. Коли ви торкаєтесь металевої полицки, вона швидко відводить тепло від вашої руки, тому здається холоднішою. Рушник, навпаки, має низьку теплопровідність, тому менше забирає тепло від руки і здається теплішим.



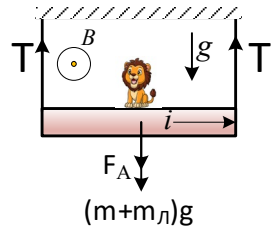
$$15. FS_2 = \frac{mg}{S_1} + \rho g 6h \Rightarrow F = \frac{\frac{mg}{S_1} + 6\rho gh}{S_2} = 3000\text{H.}$$



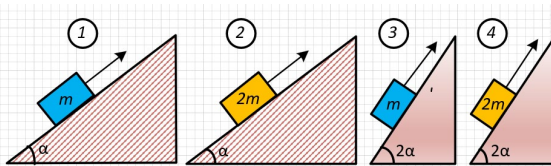
16. Умова рівноваги провідника:

$$2T = F_A + (m + m_{\text{л}})g \Rightarrow$$

$$T = \frac{Bil + (m + m_{\text{л}})g}{2} = 54\text{ H}$$



17.



$$\eta = \frac{mgh}{F \frac{h}{\sin \alpha}} \frac{mgh}{mg(\sin \alpha - \mu \cos \alpha)} \frac{h}{\sin \alpha} = \frac{1}{1 - \mu \operatorname{ctg} \alpha} \Rightarrow \eta_1 = \eta_2 < \eta_3 = \eta_4$$

18. Джеміль і муха видають звук під час польоту, тому що їхні крила здійснюють дуже часті коливання (сотні або навіть тисячі разів на секунду). Ці швидкі помаху створюють звукові хвилі в чутному для людини діапазоні. Метелики, навпаки, махають крилами значно рідше (лише кілька десятків разів на секунду). Їхня частота коливань занадто мала, щоб створювати звук, який ми могли б чути. Таким чином, головна причина – мала частота коливань крил метелика.

19. Оскільки всі бульбашки мають однаковий об'єм, виштовхувальна сила на них теж однакова. *Зауваження* : тиск води на глибших рівнях вищий, але він лише стискає бульбашку. Якщо бульбашка стиснеться, її об'єм зменшиться, а значить, сила Архімеда теж стане меншою. Коли бульбашка піднімається, тиск навколо зменшується, і вона розширюється, але виштовхувальна сила залежить тільки від поточного об'єму, а не від глибини.

20. Щоб повітряна куля піднялася, виштовхувальна сила Архімеда має бути не меншою за загальну силу тяжіння кулі та левенят:

$$F_A = (m_{\text{гелію}} + m_{\text{оболонки}} + M_{\text{левенят}})g = \rho_{\text{повітря}}gV$$

$$\Rightarrow \text{кількість Левенят} : N = \frac{M_{\text{левенят}}}{m_{1\text{Левеняті}}} = 4$$

\Rightarrow Левеня у подорож може запросити **3-х** своїх друзів.

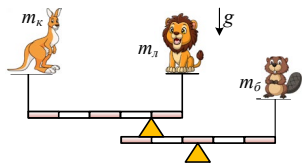


21. З умови рівноваги системи випливає:

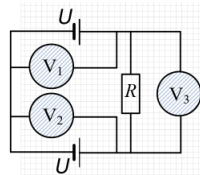
$$m_K g * 4a = m_L g a \Rightarrow m_K = \frac{m_L}{4} = \frac{2m}{4} = \frac{m}{2}$$

$$(m_K + m_L)g * \frac{3a}{2} = m_G g * \frac{5a}{2} \Rightarrow$$

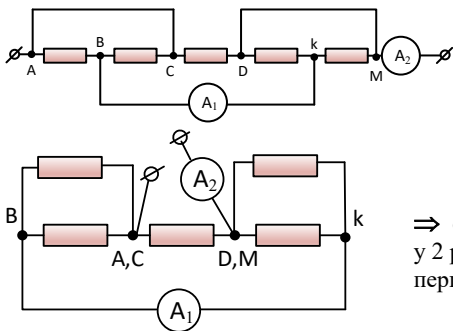
$$m_G = \frac{3}{5} * \frac{5}{2} m = \frac{3m}{2}$$



22. Вольтметри V_1 та V_2 показують різницю потенціалів на клеммах джерел струму (U), а третій вольтметр V_3 – напругу на резисторі R , по якому не тече струм.



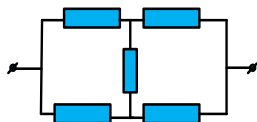
23. З'єднаємо точки рівного потенціалу (A – C, D – M)



\Rightarrow сила струму через амперметр A_2 у 2 рази більша за силу струму через перший амперметр A_1 .

24. Див.задачу №23, 8 клас.

25. Схема, зображена на малюнку, є класичним містком Уінстона \Rightarrow струм через вертикально розміщений резистор не тече \Rightarrow опір даної ділянки R .



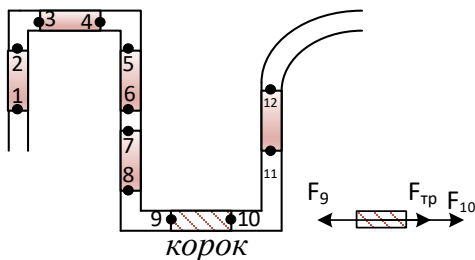
26. Див.задачу №8, 8 клас.

27. $p_1 = p_o$; $p_2 = p_o - \rho gh =$
 $p_3 = p_4 = p_5$;
 $p_6 = p_5 + \rho gh = p_o = p_7$;
 $p_8 = p_o + \rho gh = p_9$;
 $p_{12} = p_o$;

$$p_{11} = p_o + \rho gh = p_{10}$$

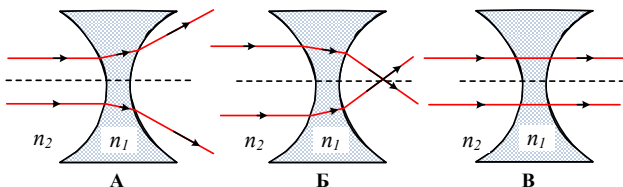
Оскільки тиски на кінцях
корка рівні

⇒ рівні сили тиску на торці корка ⇒ сила тертя = 0.



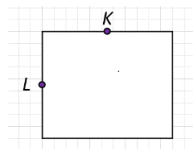
28. Оскільки $n_2 > n_1$

то двоувігнута
лінза проявляє
властивості
збиральної,
тобто
паралельний
пучок світла, що
падає на лінзу збирає в одній точці.



29. Опір тонкого дроту $R = \rho \frac{l}{S} = 160 \text{ Ом} = \rho \frac{4a}{S}$, де a –
ребро квадратної рамки. При вимірюванні опору між
точками К та L, отримаємо систему еквівалентну до
паралельного з'єднання двох резисторів

$$\frac{1}{R_x} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}, \text{ де } R_1 = \rho \frac{a}{S}, R_2 = \rho \frac{3a}{S} \Rightarrow R_x = \frac{3}{4} \rho \frac{a}{S} = \frac{3}{4} \frac{R}{4} = \frac{3R}{16} = 30 \text{ Ом}$$



30. Див.задачу №25, 7 клас.

10 клас

1. Див.задачу №8, 8 клас.

2. Див.задачу №8, 9 клас.

3. Ртутний термометр працює на принципі **термічного розширення рідин**. При підвищенні температури ртуть розширюється і піднімається по капілярній трубці, а при зниженні температури – стискається і опускається.

4. Ракетний двигун працює за принципом реактивного руху (третього закону Ньютона): гази, що викидаються з двигуна, створюють силу, яка штовхає ракету в протилежному напрямку.

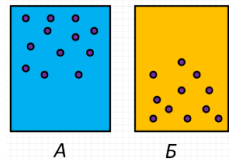
5. Див.задачу №10, 8 клас.

6. Див.задачу №7, 7 клас.
7. Спіраль електроплитки виготовляється зі спеціального сплаву з високим питомим опором (наприклад, ніхрому), який під час проходження струму виділяє багато тепла і нагрівається. Підвідні ж провідники (зазвичай мідні) мають значно менший питомий опір, тому при тому самому струмі виділяють значно менше тепла й практично не нагріваються.
8. Див.задачу №7, 7 клас.
9. Щоб порівняти маси газів за однакових об'ємів і тих самих умов (однакова температура та тиск), потрібно порівняти їх молярні маси. Газ із найбільшою молярною масою матиме найбільшу масу в однаковому об'ємі. Отже, **озон** має найбільшу молярну масу, тому за однакових умов (однаковий об'єм, температура і тиск) циліндр з озоном (№4) матиме найбільшу масу.
10. Оскільки всі кубики зроблені з чистої міді, концентрація молекул (атомів) у матеріалі є сталою, незалежно від розміру кубика.

11. У плоскому дзеркалі зображення є уявним і розташоване симетрично відносно поверхні дзеркала. Це означає, що якщо об'єкт знаходиться на відстані d від дзеркала, то відстань від нього до зображення дорівнює $2d$.



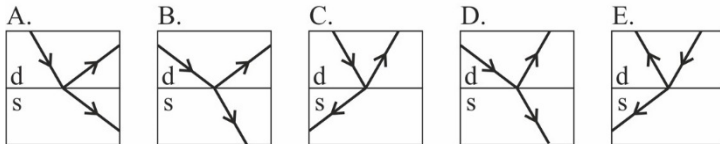
12. Див.задачу №8, 8 клас.
13. Див.задачу №8, 9 клас.
14. Сила опору з боку повітря, що діє на тіло, насамперед залежить від середовища, швидкості, розмірів, форми тіла та площі лобового опору.
15. Якщо не діятиме сила тяжіння у посудинах встановиться однорідний (рівномірний) розподіл частинок з висотою.



16. $t = \frac{2 v_0 \sin \alpha}{g} = 1 \text{ хв};$

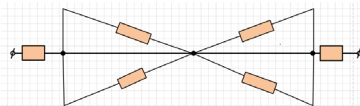
17. Див.задачу №10, 8 клас.

18. Використовуючи закон заломлення та відбивання світла можна показати, що правильно хід світлового променя показаний на малюнку Д.



- Відбитий промінь має правильний кут.
 Кут заломлення у склі **більший**, ніж у алмазі.

19. Провідники розміщені під кутом, замкнуті накоротко \Rightarrow загальний опір $2R$.

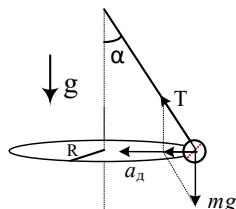


20. Коли промінь світла проходить через **скляну пластинку з паралельними поверхнями**, він заломлюється **двічі** – при вході та при виході:

1. При вході в пластинку (з повітря в скло, де показник заломлення більший) промінь заломлюється до нормалі.
2. У середині пластинки світло йде під іншим кутом.
3. При виході з пластинки (зі скла в повітря, де показник заломлення менший) промінь заломлюється від нормалі.
4. Вихідний промінь буде паралельний вхідному, **але** зміщений убік.

21. При русі по колу рівнодійна усіх сил, прикладених до тіла, напрямлена до центру кола і надає тілу доцентрового прискорення:

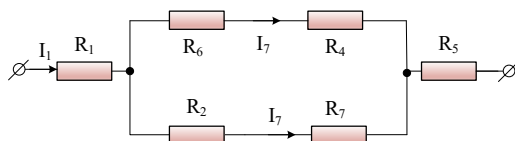
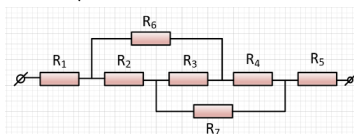
$$\begin{cases} ma_d = T \sin \alpha = m \frac{v^2}{R} \\ mg = T \cos \alpha \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \sin \alpha = m \frac{v^2}{TR} \\ \cos \alpha = \frac{mg}{T} \end{cases}$$



$$\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1 = \frac{m^2}{T^2} \left(\frac{v^4}{R^2} + g^2 \right) \Rightarrow T = m \sqrt{\frac{v^4}{R^2} + g^2} \Rightarrow R \cong 200 \text{ м.}$$

22. Через резистор R_3 струм не тече (симетрія, місток Уїтстона):

$$I_1 = 2 I_7 \text{ (див. мал.)}; \\ P_1 = I_1^2 R_1; P_7 = I_7^2 R_7 \Rightarrow \\ P_1 = 4P_7$$

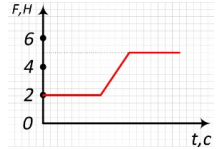


23. Коли в перегородці з'явиться отвір, повітря з нижньої частини почне заповнювати верхню, оскільки там створено вакуум. Однак через дію **сили тяжіння** газ у рівноважному стані не буде розподілений рівномірно: у нижній частині тиск і густина повітря залишатимуться вищими, ніж у верхній. Це аналогічно до розподілу атмосферного повітря, де щільність газу ближче до поверхні Землі більша, ніж на великих висотах.

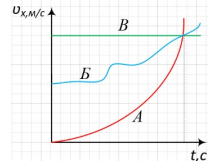
24. $v = 2\pi Rn = \pi d \frac{N}{t} = 56\pi \left(\frac{\text{рад}}{\text{с}}\right)$.

25. $x = p * k$, де k – швидкість, p – проміжок часу $\Rightarrow x$ – переміщення.

26. З графіка \Rightarrow при русі у рідині: $F_1 = mg - F_a = 2 \text{ Н}$
 коли тіло вийшло з рідини: $F_2 = mg = 5 \text{ Н}$
 $\Rightarrow F_a = F_2 - F_1 = \rho_{\text{рід}} g \frac{m}{\rho_{\text{тіла}}} = \rho_{\text{рід}} \frac{F_2}{\rho_{\text{тіла}}} \Rightarrow$
 $\rho_{\text{тіла}} = \rho_{\text{рід}} \frac{F_2}{F_2 - F_1} = 1500 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.



27. Пройдений шлях = площі під графіком $v_x = f(t)$
 $\Rightarrow S_B > S_B > S_A$.



28. При вільному падінні з нульовою початковою швидкістю повне переміщення за час t дорівнює:

$$s(t) = \frac{1}{2}gt^2.$$

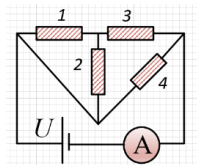
Переміщення за n -ту секунду визначається як:

$\Delta s_n = s(n) - s(n - 1) = \frac{1}{2}g(n^2 - (n - 1)^2) = \frac{1}{2}g(2n - 1)$. Отже, якщо розглядати лише коефіцієнти при $\frac{g}{2}$, то послідовність для $n = 1, 2, 3, \dots$ буде 1, 3, 5, 7, ...

29. З'єднавши точки однакового потенціалу (точки, що з'єднанні провідниками нульового опору), отримаємо спрощену схему, з якої визначимо загальний опір електричного кола :

$$R_{12} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = 30 \text{ Ом}; \quad R_{123} = R_{12} + R_3 = 90 \text{ Ом};$$

$$R_{\text{зар}} = \frac{R_{123} R_4}{R_{123} + R_4} = 45 \text{ Ом} \Rightarrow I = \frac{U}{R_{\text{зар}}} = 1 \text{ А}.$$



30. Див.задачу № 23 (8 клас)

31. При рівноприскореному русі швидкість тіла лінійно змінюється з часом $v_x = v_{0x} + a_x t \Rightarrow$ при русі по вертикалі вгору, в полі тяжіння, швидкість тіла лінійно зменшується до нуля, а потім лінійно зростає так, як це показано на мал В.

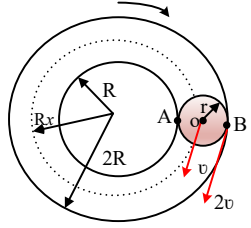
32. Оскільки у системі відсутнє проковзування і внутрішнє кільце нерухоме, то $v_A = 0$. Тоді, якщо $v_0 = v \Rightarrow v_B = 2v$.

Циліндр зробив один оберт навколо внутрішнього кільця \Rightarrow точка O пройшла відстань

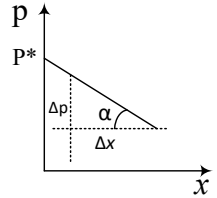
$2\pi R_x = 2\pi \frac{3}{2}R = vt$. За цей же час точка B

проходить відстань $2vt = N 2\pi 2R \Rightarrow$

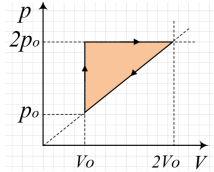
$$2 = \frac{4}{3}N \Rightarrow N = \frac{3}{2}.$$



33. У випадку двох шарів з різними густинами ρ_1 та ρ_2 , **залежність p від висоти (або відстані x від дна) буде кусково-лінійною**: у нижньому шарі (густина ρ_1) тиск зменшується із крутішим нахилом, бо ρ_1 більша, отже $-dp/dx = \rho_1 g$ (див. мал). На межі двох рідин відбувається перелом лінії: ми переходимо в шар з іншою густиною ρ_2 . У верхньому шарі (густина ρ_2) тиск зменшується повільніше (менша густина ρ_2), $-\frac{dp}{dx} = \rho_2 g$. Тобто більшій густині рідини відповідає більший кут α нахилу лінійної залежності (див. мал).



34. Робота, яку виконає багатоатомний газ, що бере участь у замкненому циклі, чисельно рівна площі фігури, яка зображена на малюнку $\Rightarrow A' = \frac{1}{2} p_0 V_0$.



35. **Вказівка.** Паралельний пучок променів, що падає на збиральну лінзу, збирається нею в одній точці, що знаходиться на фокальній площині. Далі використовуючи формулу тонкої лінзи визначаємо фокусну відстань.

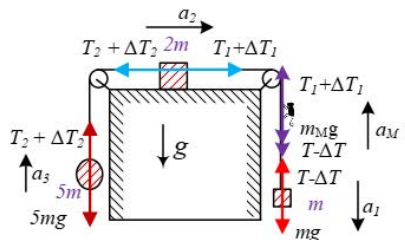
36. Ефект Магнуса - виникання поперечної сили, яка діє на тіло, що обертається в потоці рідини (газу), який набігає на нього.



37. Див. задачу №10, 8 клас.

38. Див. задачу №28, 9 клас.

39. Щоб збільшити швидкість від 0 до v , мавпа збільшує натяг нитки зверху на ΔT_1 (її прискорення напрямлене вгору, а натяг нитки під мавпою зменшується на ΔT). Відповідно змінюється сила натягу кожної нитки у системі.
Коли мавпа нерухома:



$$T = mg; T_1 = T + m_M g; T_1 = T_2 = 5mg \Rightarrow m_M = 4m$$

$$\text{Коли мавпа починає рухатись:} \begin{cases} m_M a_M = (T_1 + \Delta T_1) - m_M g - (T - \Delta T) \\ m a_1 = mg - (T - \Delta T) \\ 2m a_2 = (T_1 + \Delta T_1) - (T_2 + \Delta T_2) \\ 5m a_3 = (T_2 + \Delta T_2) - 5mg \end{cases}$$

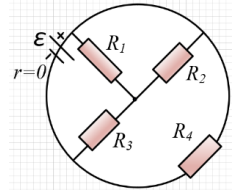
$$a_1 = a_2 = a_3 = a \text{ (тіла з'єднані однією нерозтяжною ниткою)}$$

$$\begin{cases} 4m a_M = (T_1 + \Delta T_1) - 4mg - (T - \Delta T) \\ m a = mg - (T - \Delta T) \\ 2m a = (T_1 + \Delta T_1) - (T_2 + \Delta T_2) \\ 5m a = (T_2 + \Delta T_2) - 5mg \end{cases}$$

$$\begin{aligned} T - \Delta T &= mg - ma; (T_2 + \Delta T_2) = 5ma + 5mg; \\ &\Rightarrow (T_1 + \Delta T_1) = 2ma + 5ma + 5mg = 7ma + 5mg; \\ \Rightarrow 4m a_M &= 7ma + 5mg - 4mg - (mg - ma) \\ &\Rightarrow 4m a_M = 8ma \Rightarrow a_M = 2a \end{aligned}$$

Якщо t – час розгону, то: $\frac{v}{t} = 2 \frac{v_x}{t} \Rightarrow v_x = \frac{v}{2}$ – швидкість, з якою почне рухатись тіло **5m**, вгору.

40. З'єднавши точки однакового потенціалу (точки, що з'єднанні провідниками нульового опору), отримаємо спрощену схему, з якої визначимо загальний опір електричного кола :

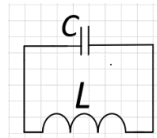


$$R_{12} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = 3R; R_{123} = R_3 + R_{12} = 10R;$$

$$R_{\text{заг}} = \frac{R_{123} R_4}{R_{123} + R_4} = 5R; I = \frac{\epsilon}{R_{\text{заг}}} = \frac{\epsilon}{5R} = 3A.$$

11 клас

1. Див.задачу № 13, 9 клас
2. Див.задачу № 10, 8 клас
3. $T = 2\pi\sqrt{LC}$ – період вільних електромагнітних коливань в коливальному контурі $\Rightarrow T_{\text{к}} = 2\pi\sqrt{2L\frac{9}{2}C} = 2\pi\sqrt{9LC} = 3T.$
4. Див.задачу № 8 (8 клас)



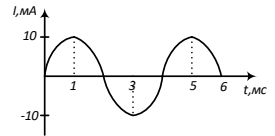
5. Кінська сила (horsepower) — це одиниця вимірювання потужності, яка використовується для вираження швидкості виконання роботи двигунами та іншими механізмами.
6. Див.задачу № 10, 8 клас
7. Див.задачу № 8, 8 клас
8. $p = nkT$ - основне рівняння МКТ.
9. Див.задачу № 8, 9 клас
10. При розчиненні солі в воді до суміші додається додаткова маса, що підвищує загальну вагу рідини. Гідростатичний тиск на дно посудини визначається формулою $P = \rho gh$, де ρ – густина рідини, g – прискорення вільного падіння, h – висота стовпа рідини. При розчиненні солі густина суміші збільшується, а висота стовпа залишається практично незмінною, отже, тиск на дно зростає.
11. Оскільки амперметри цифрові, то покази приладів будуть однаковими при будь якій полярності включення приладів в електричне коло.

12. **Транзистор** — це напівпровідниковий елемент, який використовується для підсилення або перемикання електричних сигналів.



13. Див.задачу № 7, 7 клас

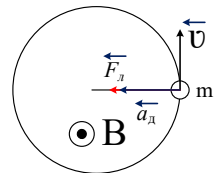
14. $p = nkT \Rightarrow \frac{p_1 - p_2}{p_1} = \frac{nkT_1 - nkT_2}{nkT_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = 0.037$.



15. $i(t) = 10 \sin(500\pi t)$.

16. Сила Лоренца, що діє на електрон з боку магнітного поля є доцентровою і надає йому доцентрового прискорення:

$$F_L = evB = m \frac{v^2}{R} \Rightarrow R = \frac{mv}{eB} \Rightarrow T = \frac{2\pi R}{v} = \frac{2\pi m}{eB} \Rightarrow t = \frac{T}{2} = \frac{\pi m}{eB}$$

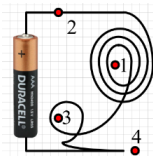


17. Будь-яке тіло, яке має температуру вище абсолютного нуля, здатне випромінювати енергію у вигляді електромагнітного випромінювання (за законом Стефана–Больцмана). Це стосується як світлих тіл, так і темних, а також як важких, так і легких.

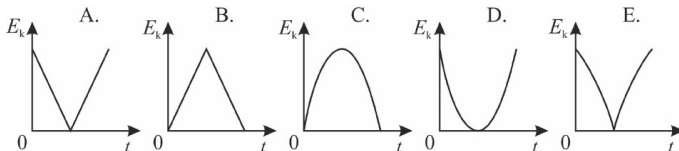
18. Див.задачу № 7, 7 клас

19. Діодний місток — це схема, яка складається з чотирьох діодів, з'єднаних у певному порядку, щоб перетворити змінний струм (AC) на постійний (DC). Він випрямляє струм, дозволяючи йому текти лише в одному напрямку.

20. Якщо дріт намотаний у вигляді витків, магнітні поля від кожного витка в центрі (точка 1) спрямовані в одному й тому ж напрямку. Внаслідок цього вони сумуються, і загальна індукція магнітного поля в центрі буде найбільшою.



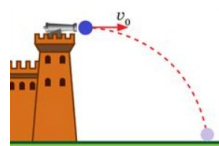
21. При русі вертикально вгору в полі Землі ($F_{\text{опору}} \ll mg$), швидкість тіла з



часом змінюється за лінійним законом :

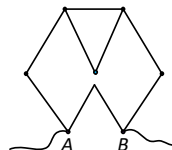
$$v = v_0 - gt \Rightarrow K = \frac{mv^2}{2} = \frac{m(v_0 - gt)^2}{2} \sim t^2$$

22. Дальність польоту тіла, кинутого в горизонтальному напрямку: $L = v_0 t$.

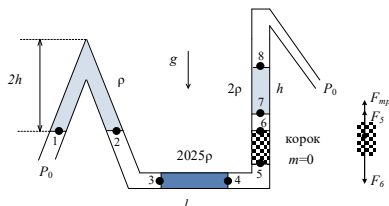


23. фізичне явище - світіння електричної лампи, фізичний прилад – амперметр, фізична величина – потужність, одиниця вимірювання фізичної величини – вольт.

24. Роз'єднавши провідники з опором так, щоб напрямки струмів не змінилися, отримаємо електричну схему, зображену на малюнку $\Rightarrow R_{\text{зар}} = \frac{7}{5} R \Rightarrow I = \frac{\frac{7}{5} U}{\frac{7}{5} R} = \frac{U}{R}$.



25. $P_1 = P_2 = P_3 = P_4 = P_5 = P_0$
 $P_8 = P_0, P_7 = P_6 = P_0 + 2\rho gh \Rightarrow$
 оскільки корок знаходиться в положенні рівноваги, то:
 $F_{\text{тр}} = F_6 - F_5 = 2\rho ghS, \uparrow$



26. Якщо рамка повністю занурена в однорідне поле і рухається паралельно сама собі, то *магнітний потік через рамку не змінюється* (не відбувається зміни кута між вектором B і площиною рамки або зміни площі рамки в полі). Відповідно, за законом електромагнітної індукції Фарадея, *індукованої ЕРС (а отже і струму) не буде* ($I_1 = 0$).

Під час обертання рамки з кутовою швидкістю ω магнітний потік крізь рамку змінюється з часом, оскільки змінюється кут між площиною рамки і вектором B . Це зумовлює виникнення *ненульової* індукованої ЕРС, а значить і струму I_2 .

27. Потенціальна енергія Π визначається як: $\Pi(t) = mgh(t)$, де $h(t)$ – висота тіла в момент часу t . Для тіла, кинутої під кутом α до горизонту, вертикальна координата описується рівнянням:

$$h(t) = v_0 \sin \alpha \cdot t - \frac{gt^2}{2}$$

Таким чином, потенціальна енергія має вигляд: $\Pi(t) = mg(v_0 \sin \alpha \cdot t - \frac{gt^2}{2})$
 \Rightarrow на жодному графіку немає правильної залежності.

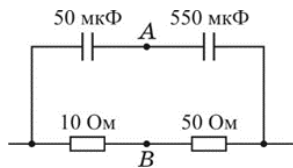
28. Див. задачу № 10, 8 клас

29. Ідеальний амперметр має нульовий опір, тому його підключення послідовно з резистором R не впливає на загальний опір кола, а при паралельному включенні накоротко замикає паралельно з'єднані елементи. Ідеальний вольтметр має нескінченно великий опір, тому при його паралельному підключенні до резистора R через нього не протікає струм, і він не впливає на розподіл струму в колі. При підключенні цих ідеальних приладів до джерела постійного струму, основним «активним» елементом, який обмежує струм, є саме резистор R .

30. Див. задачу № 25, 7 клас

31. $\Delta = \frac{2 \Sigma}{K^2}$, Σ – потенціальна енергія, K – сила струму $\Rightarrow \Delta$ – індуктивність.

32. Шкільний вольтметр показує відмінну від нуля напругу, коли по ньому тече струм, хоча б і слабкий. Однак конденсатори зумовлюють розривання верхньої ділянки кола для постійного струму. Отже, струм через вольтметр дорівнюватиме нулю, вольтметр покаже відсутність напруги. Правильна відповідь **A**.



33. Потужність, що виділяється на зовнішньому резисторі R , визначається законом Ома та формулою потужності:

$$P = I^2 R$$

Оскільки струм у колі залежить від загального опору (включаючи внутрішній опір джерела r):

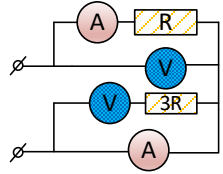
$$I = \frac{\varepsilon}{R + r}$$

Підставляємо це у формулу потужності: $P = \left(\frac{\varepsilon}{R+r}\right)^2 R$

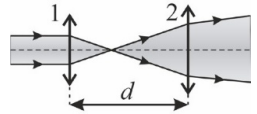
Коли $R \rightarrow 0$ (коротке замикання), потужність теж прямує до нуля. Коли $R \rightarrow \infty$, струм прямує до нуля, отже, потужність теж зменшується. Максимальна потужність досягається при $R = r$ (тобто, коли зовнішній опір дорівнює внутрішньому опору джерела). Графік залежності $P(R)$ має вигляд асиметричної параболи з максимумом при $R = r$, після чого потужність спадає.

34. Див.задачу № 39, 10 клас (аналогічні міркування)

35. Вказівка: нижній вольтметр показує напругу на кінцях ідеального амперметра, тобто нуль.



36. Вказівка: оскільки після заломлення на другій лінзі, промені прямують в межах розбіжного пучка (див.мал), то після заломлення у першій лінзі промені збираються у фокусі першої дінзи, проте перед фокусом другої $\Rightarrow d > F_1 + F_2$.

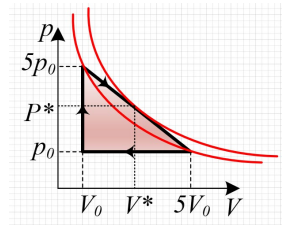


37. Щоб зберегти стабільність всюдихода та уникнути втрати стійкості при русі потрібно помістити всередину колес важкі кульки, які скочуватимуться під дією гравітації Марсу, знижуючи положення центру мас всюдихода над поверхнею планети.

38. Вказівка: точка перетину ізотерми з ділянкою циклу визначить максимальну температуру гузу:

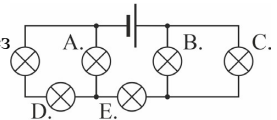
$$T_{\max} = \frac{P^* V^*}{\nu R} = \frac{3P_0 3V_0}{\nu R} = \frac{9 P_0 V_0}{\nu R},$$

$$T_{\min} = \frac{P_0 V_0}{\nu R}, \Rightarrow \frac{T_{\max}}{T_{\min}} = 9.$$



39. Див.задачу № 28, 9 клас (аналогічні міркування)

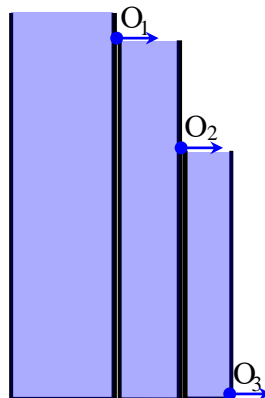
40. Вказівка: максимальна сила струму тече через лампочку E.



Теоретичний тур

8 клас

Задача 1. «Водоспад» Три посудини, висоти яких дорівнюють 56 см, 52 см і 36 см, а площі відповідно рівні 36 см^2 , 9 см^2 і 4 см^2 , розташовані на столі так, як показано на рисунку. У всі посудини доверху налили воду, а потім у стінках посудин відкрили однакові маленькі отвори O_1 , O_2 і O_3 . При цьому струмінь води з першої посудини переливається в другу, а струмінь води з другої посудини переливається у третю. З отвору O_3 вода витікає на підлогу. **Знайдіть рівні води у другій і третій посудинах**, коли у першій посудині рівень зменшиться на 1 см.



Внутрішнім тертям у воді знехтуйте.

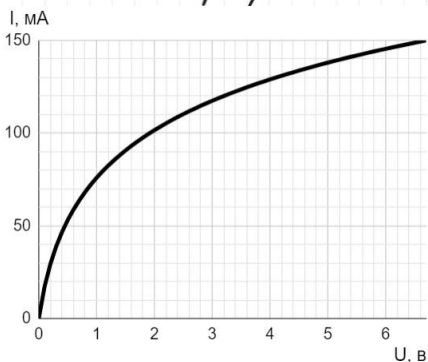
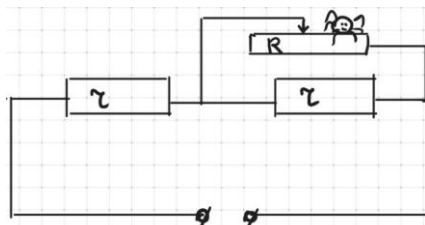
Вказівка: Відомо, що з маленького отвору, який знаходиться на глибині h у відкритій посудині з рідиною за відсутності тертя вона витікає зі швидкістю $v = \sqrt{2gh}$, де $g = 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$.

Задача 2. «Лабораторна комашка» Невеличка комаха-мерзлячка повадилася відпочивати у фізичній лабораторії, гріючись на нагрітому електричним струмом реостаті (див. рисунок).

Електрична напруга у колі $U_0 = 10 \text{ В}$, опір $r = 10 \text{ Ом}$. За тривалий час відпочинку, комаха штовхаючи лапками ковзний контакт, знайшла і зафіксувала таке його розташування, за якого та частина реостата, на якій вона відпочивала, видавала максимальну теплову потужність серед усіх інших можливих положень ковзного контакту.

А) Розрахуйте опір частини реостата, при якому на цій частині виділятиметься максимальна теплова потужність. Знайдіть цю максимальну потужність.

Б) Одного разу, повернувшись в лабораторію, комаха побачила поряд із своєю «підкою» лампочку! Її під'єднали замість резистора який був паралельним до реостата, а контакт реостата був на тому ж місці, де комаха його зафіксувала. Тепер комасі стало дуже «спекотно» від тепла від двох «печей»: реостата та лампи.



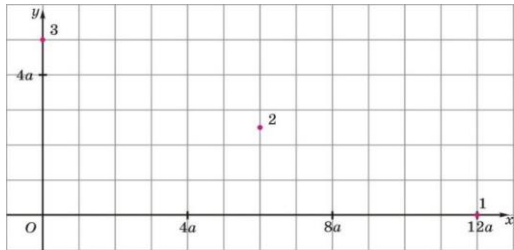
Розрахуйте сумарну теплову потужність від них. Лампочка не є лінійним елементом, її вольт-амперна характеристика показана на малюнку. Примітка. Потужність електричного струму: $P=U \cdot I$.

Задача 3. «Намішав води з водою» При температурі $0,01^\circ\text{C}$ та низькому тиску 612 Па вода може одночасно існувати в усіх трьох агрегатних станах – лід, рідина і пара. Такі умови називають потрійною точкою води. Нехай вам вдалось в калориметрі отримати однакову масову частину води в цих трьох станах: маса льоду $m_{\text{л}} = \frac{1}{3}m$, маса рідини $m_{\text{р}} = \frac{1}{3}m$ та маса пари $m_{\text{п}} = \frac{1}{3}m$, де m – загальна маса води. Така ситуація буде нестійкою, і при невеликій зміні об'єму вода перейде в два агрегатні стани. Знайдіть, які будуть масові частини різних агрегатних станів, якщо, не змінюючи тиск та температуру, вода повністю перейде: А) в рідину та пару; Б) в лід та рідину; В) в лід та пару.

Вважаєте, що біля потрійної точки питома теплота плавлення льоду $\lambda = 300 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$, а питома теплота пароутворення – $L = 2,5 \frac{\text{МДж}}{\text{кг}}$.

Задача 4. «На варті галактики» Космічний патруль відстежує рух зорельоту галактичних прибульців, спостерігаючи яскраве світло від ілюмінаторів (молодший прибулець дуже розсіяний і періодично забуває про світломаскування). Зореліт рухається відносно патруля прямолінійно та рівномірно з великою швидкістю.

Штурман патруля за традицією наносить видиме положення зорельоту на стародавній планшет (див. рисунок). Початок координат на планшеті відповідає положенню патруля, а точки 1, 2, 3 — видимому положенню зорельоту в моменти часу відповідно: $t_1 = 08 \text{ год } 10 \text{ хв } 00 \text{ с}$, невідомий момент t_2 і $t_3 = 08 \text{ год } 19 \text{ хв } 00 \text{ с}$. Відомо, що світло в космосі поширюється зі швидкістю $300\,000 \text{ км/с}$.



А) **Визначте швидкість** руху зорельоту відносно патруля, якщо бічна сторона кожного квадрата на планшеті відповідає відстані $a = 18 \text{ млн км}$.

Б) **Напишіть формулу** залежності $r(t)$, де r — модуль відстані між зорельотом і патрулем, t — час за годинником патруля.

В) **Визначте момент** t_2 нанесення на планшет точки 2.

9 клас

Задача 1. «Володар лінз» Юний дослідник захотів отримати на екрані збільшене у 2,5 рази зображення світлодіода в робочому стані. В Інтернеті він знайшов таку пропозицію: «Настільна лупа 2,5 X збільшення». Перед замовленням товару, знаючи, що відстань найкращого зору для людини дорівнює 25 см , він став розмірковувати над такими запитаннями:

А) Яка відстань має бути між світлодіодом і лупою?

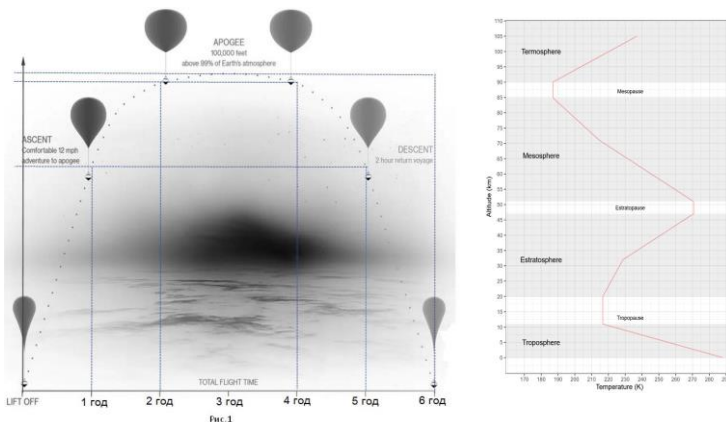
Б) Яка відстань має бути між світлодіодом і екраном?

В) А якщо мені знадобиться збільшити у 5 разів, то чи обов'язково потрібно використовувати лупу з написом «Настільна лупа 5 X збільшення», або можна буде скористатися лупою з першої пропозиції? Якщо можна, то якою буде відстань між світлодіодом і екраном у цьому випадку?

Г) А якими будуть оптичні сили луп з цих двох пропозицій? Обґрунтуйте свої відповіді на ці запитання.

Задача 2. «Космічний туризм» У 2024 р. ще одна компанія пропонує скористатися послугами «космічного» туризму, але тепер вже не на космічному кораблі, а на повітряній кулі, що наповнена легким газом. Куля виготовлена з нерозтяжної плівки. На Рис.1, який можна знайти на сайті компанії, бачимо залежність висоти кулі від часу. Куля піднімається на 100 000 футів (1 фут = 30,48 см). На Рис.2 зображена залежність температури стандартної атмосфери від висоти над поверхнею Землі (Стандартна атмосфера – це модель атмосфери, прийнята Міжнародною організацією зі стандартизації. Тиск і температура на рівні моря вважаються рівними 101 кПа і 15°C, відповідно.). По осі ординат відкладена висота в кілометрах, по осі абсцис температура в кельвінах.

Розгляньте уважно рисунки і дайте відповіді на запитання (за потреби можна користуватися лінійкою):



А) Чому куля змінює свою форму з висотою?

Б) На скільки градусів зменшується температура повітря на кожен кілометр перші 11 км підйому? **Запишіть рівняння** залежності температури від висоти на цій ділянці.

В) Як бачимо з Рис. 2, температура атмосфери зі зміною висоти то зменшується, то збільшується. **Чи є ділянки** підйому, на яких збільшується й тиск? Відповідь обґрунтуйте.

Г) Вважаючи графік залежності висоти від часу, що заданий ланцюжком точок на Рис.1, точним, визначте, скільки часу термометр встановлений на кулі буде показувати найнижчу температуру оточуючого повітря. Чому вона дорівнює?

Д) На скільки знесе кулю вітром за час усієї подорожі, якщо вважати, що швидкість вітру лінійно збільшується від 0 км/год біля поверхні до 20 км/год на половині висоти підйому, після чого лінійно зменшується від 20 км/год до 0 км/год на максимальній

висоті? Горизонтальна швидкість кулі весь час дорівнює швидкості вітру, вітер весь час дме в одному напрямку.

Задача 3. «Навички швидкого охолодження» На столі стоїть закрита кришкою циліндрична посудина, *частково* наповнена гарячою кавою. Циліндрична стінка посудини дуже тонка та має низьку теплопровідність, тому тепло крізь стінку поширюється перпендикулярно до неї. Теплообміном через дно та кришку можна знехтувати. Ви можете охолодити каву за 5 хв. двома способами: а) зачекати протягом 5 хв, а потім долити доверху молока кімнатної температури; б) відразу долити доверху молока кімнатної температури, а потім зачекати 5 хв. Уважайте, що всі фізичні характеристики кави й молока, однакові.

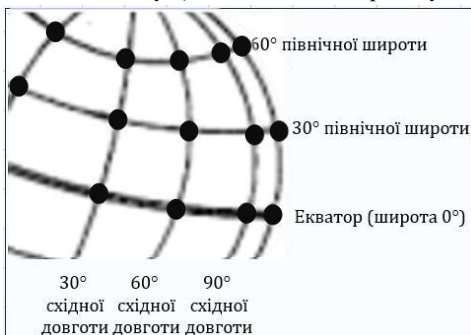
А) У **якому випадку** температура кави буде меншою? Уважайте, що потужність теплових втрат через стінку прямо пропорційна різниці температур по різні боки від неї та площі поверхні, через яку відбуваються втрати.

Б) **Як зміниться відповідь**, якщо температура долитого молока на кілька градусів відрізняється від кімнатної?

Обґрунтуйте свої відповіді розрахунками.

Задача 4. «Електричний глобус» Учень вирішив «електрифікувати» великий глобус з діелектричного матеріалу. Для цього він розташував електричні дроти вздовж сітки меридіанів і паралелей через кожні 30° широти та 30° довготи (на рисунку показаний фрагмент дротяної сітки на глобусі). У всіх місцях перетину дроти припаяні один до одного.

Товщину дротів підібрано так, що опір усіх відрізків між сусідніми вузлами кола становить $r = 10$ Ом. Джерело струму приєднано до полюсів на глобусі. Коли вже все було готово, учень побачив, що він припустився помилки: замість одного з відрізків дроту поставив інший, з опором $3r$. Пригадати, де саме цей відрізок, або відрізнути його за зовнішнім виглядом не вдалося.



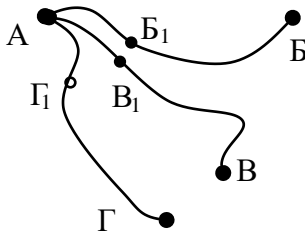
А) Яким мав бути **повний опір** кола виготовленого за початковим задумом?

Б) Оцініть, **на скільки відсотків міг змінитися опір** кола через припущену помилку. Чи міг він, наприклад, збільшитися на 0,5 %?

Підказка для «знавців» географії. Широта змінюється від 0° на екваторі до 90° північної або південної широти на полюсах; довгота — від 0° до 180° східної або західної довготи.

10 клас

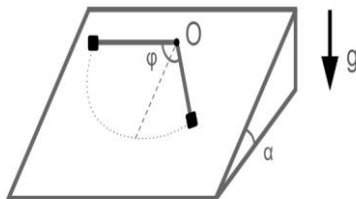
Задача 1. «Дротові відносини» Три однакові дроти з опором R кожний з'єднали кінцями в точці А (див. рис.). На кожному з дротів відмітили точки B_1 , V_1 та Γ_1 , що лежать на третині довжини від А. Точку B_1 приєднали до В, точку V_1 до Г, а Γ_1 – до Б. Отриману схему двома точками з А, Б, В, Г підключають до джерела напруги.



У скільки разів відрізняються максимальна і мінімальна потужності, які може споживати ця схема в залежності від обраних двох точок?

Задача 1. «Дротові відносини» Три однакові дроти з опором R кожний з'єднали кінцями в точці А (див. рис.). На кожному з дротів відмітили точки B_1 , V_1 та Γ_1 , що лежать на третині довжини від А. Точку B_1 приєднали до В, точку V_1 до Г, а Γ_1 – до Б. Отриману схему двома точками з А, Б, В, Г підключають до джерела напруги. У скільки разів відрізняються максимальна і мінімальна потужності, які може споживати ця схема в залежності від обраних двох точок?

Задача 2. «Похилий маятник» Виконуючи лабораторну роботу по визначенню коефіцієнтів тертя між поверхнею та невеликим тілом методом похилої площини, учень помітив що тіло починає самостійно рухатися вниз по площині при куті нахилу $\alpha_0 = 21,8^\circ$. І після цього тіло зісковзує рівноприскорено за 2,5 с з площини довжиною 2,0 м. Нехтуючи опором повітря та вважаючи $g = 9,81 \text{ м/с}^2$, знайти коефіцієнти тертя спокою і ковзання. Далі учень продовжив досліджувати тертя у вільній формі і змінив кут нахилу площини на α до горизонту. У точці О прикріпив один кінець нитки до площини, а до іншого кінця прикріпив тіло. Натягнув нитку і відвів її у горизонтальне положення (дивіться рис.). Відпустив тіло, і воно почало ковзати вниз по площині. Нитку вважати нерозтяжною.



Тіло зупинилось після збільшення кута φ від нуля до деякого

φ_{max} ($90^\circ < \varphi_{max} \leq 180^\circ$) на площині та більше не рухалось. За яких значень кута α це можливо? Нитка була натягнута протягом усього часу руху тіла. Встановіть зв'язок між φ_{max} та α .

Задача 3. «Телескоп» У вас є оптичний лінзовий телескоп з опуклих лінз. Велика лінза об'єктиву закріплена. А на іншому кінці телескопа - тримач для малої лінзи окуляра. Тримач можна трохи рухати між двома кінцевими положеннями вздовж осі телескопу за допомогою гвинта фокусування. У вас є дві малі лінзи які по одній можна



вставляти в тримач і використовувати як окуляр. З однією з малих лінз ви сфокусували телескоп на Місяць і отримали коефіцієнт кутового збільшення **35** в одному з кінцевих положень тримача окуляра. Щоб сфокусувати іншу малу лінзу, ви пересунули тримач на **15 мм** в інше кінцеве положення і отримали коефіцієнт кутового збільшення **140**. Уважайте, що в одному з двох описаних вище спостережень мала лінза була розташована на максимально можливій відстані від великої, а в іншому на мінімально можливій.

А) **Знайдіть фокусні відстані** кожної з трьох лінз.

Б) **Знайдіть мінімальну відстань**, на яку можна сфокусувати телескоп.

В) У вас є додаткова трубка довжиною $l = 10$ см. Один кінець трубки можна прикріпити ззовні до кінця телескопу з тримачем окуляра з однією із малих лінз, а в протилежний вставити іншу малу лінзу. Таким чином малі лінзи будуть знаходитись на відстані l одна від одної, їх осі будуть співпадати з віссю телескопа, а тримач окуляра можна рухати як і раніше за допомогою гвинта фокусування. **Опишіть схему**, щоб отримати максимальний коефіцієнт кутового збільшення під час спостережень Місяця. **Знайдіть, чому цей коефіцієнт дорівнює.**

Слід зауважити, що на кожному з кінців додаткової трубки можна прикріпити не більше однієї лінзи!

Задача 4. «**А витікти не може ...**» В плоскому дні широкої посудини є отвір, з якого донизу стирчить пряма тонка трубка (її переріз значно менший перерізу посудини) довжини h . В посудину наливають воду до висоти H . Час витікання води з посудини через трубку є t . В'язкістю води знехтуйте.

А) **Оцінити** як зміниться **час** витікання, якщо трубку зробити довшою в 3 рази. Вважайте, що $H \ll h$. Об'єм трубки значно менший за початковий об'єм води в посудині.

Б) Розгляньте певний момент часу, коли вода ще не вилілась з посудини і повністю заповнює трубку. Знайдіть і побудуйте **залежність тиску** води від вертикальної координати вздовж посудини та трубки на одному графіку, поясніть отриману залежність та вкажіть значення тиску в характерних точках. Для побудови цього графіка вважайте, що H та h одного порядку.

В) Тепер припустимо, що рідина в'язка. Нехай у нас є горизонтальна трубка довжини L та радіусом поперечного перерізу r , до кінців якої прикладена різниця тисків Δp . Динамічна в'язкість рідини – η .

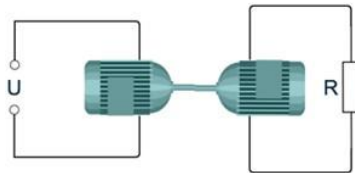
Виведіть формулу для знаходження об'ємної витрати рідини Q (об'єм за одиницю часу), що протікає по трубці, з точністю до безрозмірного коефіцієнту.

Підказка. Ви можете використовувати, наприклад, **розмірні міркування**. В такому випадку для отримання однозначної відповіді, використовуйте той факт, що одиниця вимірювання «метр», яка присутня у перерахованих вище величинах, має різний фізичний сенс в різних напрямках в даній задачі. Нагадаємо, що динамічний коефіцієнт в'язкості η визначається як відношення сили в'язкості, що діє між двома паралельними шарами рідини, до градієнту їх швидкостей (для тонких шарів - різниця швидкостей шарів поділити на відстань між ними) та площі їх дотику S : $\eta = \frac{F}{S(\Delta v/\Delta x)}$.

11 клас

Задача 1. «Вічний двигун»

Електродвигун постійного струму з постійними магнітами приєднаний у мережу з постійною напругою U . Він напрями механічно з'єднаний з точно таким же двигуном (який виконує роль генератора) так, що вони обертаються з однаковою частотою. До генератора під'єднали резистор опором R . Опір обмотки двигуна та генератора – г. нехтуючи механічними втратами.



Знайдіть сили струмів:

- А) У колі двигуна та генератора;
- Б) розглянути випадок коли генератор має вдвічі слабші магніти, тобто $B_{\text{ген}} = \frac{1}{2} B_{\text{двиг}}$;
- В) Розглянути випадок коли кількість витків котушки у генераторі вдвічі менша

Задача 2. Див. задача 2, 9 клас.

Задача 3. «Кульові З'єднання» Юні фізики зацікавились: чи можна визначити кількість маленьких жорстких металевих кульок радіусом a , які вміщуються в циліндричну посудину, висота H і радіус b якої набагато більші за радіус кульок, за допомогою омметра. Для цього вони провели наступний експеримент з двома кульками. Один контакт припали до однієї кульки, а другий до другої. Притиснувши кульки з деякою силою, виміряли опір, і його величина R виявилася значно більшою, ніж в тому випадку, коли обидва контакти припаювали до однієї кульки. Цікавим було те, що від взаємної орієнтації двох кульок це значення практично не залежало. Тоді вони засипали циліндричну посудину, виготовлену з непровідного матеріалу доверху такими кульками, старанно утрусуючи. Дно посудини і кришку виготовили з м'якого, добре провідного матеріалу і стиснули так, щоб кульки притискалися одна до одної з такою ж силою, як при вимірюванні опору між ними. Далі вимірюють електричний опір між кришкою і дном.

Визначте:

- А) Яким буде результат вимірювання опору між дном і кришкою?
- Б) Скільки кульок помістилося в циліндричну посудину?
- В) Чи пропорційний опір між дном і кришкою до кількості кульок в посудині?

Задача 4. «Нестабільна оболонка»

Еластична, теплонепроникна та ідеально провідна сферична оболонка має масу M і поверхневий натяг σ . Оболонка заповнена багатоатомним ідеальним газом, що має показник адіабати $\gamma = \frac{4}{3}$. Оболонка розміщена у вакуумі за відсутності поля тяжіння і будь-яких інших зовнішніх полів. Спочатку оболонка не заряджена і перебуває в рівновазі, маючи при цьому фіксований радіус r_0 . Оболонці надають електричний заряд Q .

- А) Якісно (без наведення явної залежності) проаналізуйте залежність радіусу кульки від часу (монотонність, зростання, спадання періодичність, швидкість зростання, швидкість спадання) у таких випадках:

- поверхневий натяг раптово зникне;
- σ буде від'ємним.

Як зміниться ця залежність при зміні знаку заряду оболонки?

- Б) Запишіть рівняння, що описує радіальний рух зарядженої оболонки у випадку додатньої σ . Якісно проаналізуйте цей рух: буде він обмеженим чи ні, періодичним чи ні?
- В) За якої умови оболонка здійснює гармонічні коливання? Визначте амплітуду та період цих коливань. Примітка: $1 + y^\alpha \approx 1 + \alpha y$ за умови $y \ll 1$.
- Г) За якої умови тиск газ всередині оболонки у всіх точках можна вважати однаковим в даний момент часу? До яких фізично спостережуваних наслідків призведе порушення цієї умови? Вважати швидкість звуку в газі c відомою.

LVII Всеукраїнська олімпіада з фізики м. І.Франківськ, 2024

Експериментальний тур

8 клас

Задача 1. Теплове розширення

Обладнання:

- Групове:
 - гаряча вода, серветки;
- Індивідуальне:
 - пробірка, мірний циліндр;
 - пробка з пластиковою трубкою;
 - термометр, лінійка;
 - дегазована вода у стаканчику.

Завдання:

1. Використовуючи надане обладнання, запропонуйте та зберіть установку, за допомогою якої можна було б встановити залежність між об'ємом води та її температурою.
2. Визначте температурний коефіцієнт об'ємного розширення води в температурних межах близьких до 60°C.
3. Назвіть фактори, які суттєво вплинули на результати вимірювань. Опишіть як можна покращити точність результатів.

Примітка: Для отримання гарячої води для експерименту зверніться до вчителя.

Застереження по ТБ. Вчитель надає гарячу воду при температурі близько 80°C.

Сплануйте експеримент так, щоб не було потреби вмочувати у гарячу воду пальці. Слідкуйте, щоб посудина з гарячою водою не перекинулася.

Теоретичні відомості. Зв'язок між зміною об'єму рідини та зміною її температури:

$\Delta V = V \cdot \beta \cdot \Delta t$, де V – об'єм рідини при певній температурі, ΔV – зміна об'єму при зміні температури на Δt , β – температурний коефіцієнт об'ємного розширення.

Задача 2. Густина ізоляції

Обладнання:

- Групове:
 - вода (густина води 1000 кг/м^3);
- Індивідуальне:
 - шматок дроту зі знятим шматком ізоляції;
 - дерев'яна лінійка;
 - шприц на 5 мл;
 - нитка.

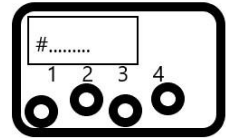
Завдання:

1. Знайдіть радіуси алюмінієвого осердя та дроту з ізоляцією.
2. Знайдіть масу дроту з ізоляцією (густина алюмінію 2700 кг/м^3).
3. Знайдіть густину матеріалу ізоляції.
4. Назвіть фактори, які суттєво вплинули на результати вимірювань. Опишіть дії, які ви виконали, аби покращити точність результатів.

9 клас

Задача 1. «Чорна» скринька

У «чорній» скриньці з чотирма виводами розміщено 5 резисторів, 4 з яких з'єднані "зіркою" (мають спільну точку всередині скриньки). Їх вільні кінці приєднані до виводів, а п'ятий резистор з'єднує два виводи. Відомо, що два з 4-х резисторів «зірки» мають однаковий опір.



Обладнання:

- Індивідуальне:
 - мультиметр з дротами;
 - чорна скринька з 4-ма виводами (нумерація виводів – 1, 2, 3, 4 – зліва - направо, коли скринька повернута так, що її номер – зверху).

Завдання:

- А) Намалювати схему з'єднання резисторів з обов'язковим позначенням номерів виводів; відмітьте однакові резистори. Обґрунтуйте вибір схеми;
- Б) Розрахувати опір всіх резисторів.

Примітка. Мультиметр **DT-9208A** – це багатофункціональний електровимірювальний прилад, за допомогою якого можна вимірювати силу струму, напругу (як постійні, так і змінні), опір, ємність, частоту. Потрібний тип вимірювання задається обертовим перемикачем в центрі передньої панелі. Мультиметр вмикається і вимикається жовтою клавішею "ON/OFF" в лівому верхньому кутку. Один шуп підключають до клеми "COM" – спільний, мінус, а другий до клеми, позначеної:

- "V Ω Hz" – при вимірюванні напруги, опору чи частоти;
- "mA", "20A" – для вимірювання сили струму в залежності від діапазону вимірювання.

В цій задачі радимо користуватися мультиметром в режимі омметра.

Якщо вимірювана величина перевищує межі вибраного діапазону вимірювання, то на екрані з'являється "OL". Це відбувається, наприклад, у випадку, коли мультиметр перевели в режим вимірювання опору («зелені» положення перемикача в лівому верхньому секторі, позначені символом " Ω "), а вимірюваний опір не під'єднали, або коли величина опору перевищує вибраний діапазон. В такому разі обертом центрального гвинта встановлюємо необхідний діапазон вимірювання.

В разі невикористання мультиметру вимикайте його за допомогою жовтої кнопки.

Задача 2. Маса лінійки

Обладнання:

- Індивідуальне:
 - брусок пластиліну невідомої густини;
 - посудина з водою;
 - штатив, лінійка.

Завдання:

- А) Визначити у скільки разів відрізняються маси лінійки та бруска пластиліну.
- Б) Визначити масу лінійки.
- В) Описати дії, які ви виконали, аби покращити точність результатів. Назвати фактори, які суттєво вплинули на похибки вимірювань.

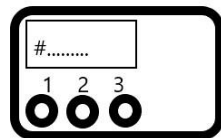
Примітка: працюючи з пластиліном, не забрудніть парту – використовуйте додаткові аркуші паперу. Густина води становить 1 г/см^3 .

10 клас

Задача 1. «Чорна» скринька

«Чорна» скринька має 3 виводи і містить схему, яка складається з 2 резисторів і нелінійного елемента.

Примітка. Нелінійними називають такі елементи електричних схем, які мають нелінійну вольтамперну характеристику, тобто, елементи, опір яких залежить від величини протікаючого струму.



Обладнання:

- Індивідуальне:
 - «чорна» скринька;
 - батарейка, змінний резистор;
 - два постійних резистори різного опору;
 - з'єднувальні провідники, мультиметр.

Визначити:

- А) Схему ввімкнення елементів («зіркою» чи «трикутником»), (на зображенні схеми використовуйте таку нумерацію виводів – 1, 2, 3 – зліва - направо, коли скринька повернута так, що її номер – зверху);
- Б) Опори резисторів у «чорній» скриньці;

- В) Характер залежності опору нелінійного елемента від струму (для даного елемента опір, як відношення напруги на ньому до струму, монотонно зростає чи спадає при збільшенні струму через нього).

Примітка. Не обов'язково застосовувати всі надані Вам резистори, але використання деяких з них може спростити здійснення серії вимірювань.

Примітка. Мультиметр **DT-9208A**—це багатофункціональний електровимірювальний прилад, за допомогою якого можна вимірювати силу струму, напругу (як постійні, так і змінні), опір, ємність, частоту. Потрібний тип вимірювання задається обертовим перемикачем в центрі передньої панелі. Мультиметр вмикається і вимикається жовтою клавішею “**ON/OFF**” в лівому верхньому кутку. Один щуп підключають до клеми “**COM**” – спільний, мінус, а другий до клеми, позначеної:

- “**V Ω Hz**” – при вимірюванні напруги, опору чи частоти;
- “**mA**”, “**20A**” – для вимірювання сили струму в залежності від діапазону вимірювання.

Якщо полярність напруги або струму виявиться протилежною до описаної вище, на екрані з'являється знак “-” перед вимірюваною величиною. Якщо вимірювана величина перевищує межі вибраного діапазону вимірювання, то на екрані з'являється “**OL**”. Це відбувається, наприклад, у випадку, коли мультиметр перевели в режим вимірювання опору («зелені») положення перемикача в лівому верхньому секторі, позначені символом “ **Ω** ”), а вимірюваний опір не під'єднали, або коли величина опору перевищує вибраний діапазон.

Мультиметр має захист від неправильного приєднання або перевищення діапазону вимірювання в розумних межах, окрім режимів вимірювання сили струму. Тому, здійснюючи вимірювання сили струму, подбайте щоб вона не перевищувала встановлений діапазон вимірювання. Наприклад, не можна вмикати мультиметр в режимі вимірювання сили струму до батарейки без обмежувального опору, бо при цьому він вийде з ладу і ви не зможете більше вимірювати ним силу струму. При розв'язуванні задачі ви можете використовувати всі можливості виданого мультиметра.

Задача 2. Теплове розширення

Обладнання:

- Індивідуальне:
 - пробірка з пробкою;
 - пластикова трубка (6.0x1.5);
 - посудина, в яку можна налити гарячу воду;
 - термометр, вимірювальна лінійка;
 - міліметровий папір.

Завдання:

- А) Використовуючи надане обладнання, запропонуйте спосіб демонстрації теплового розширення води.
- Б) Що означає маркування «6.0x1.5» пластикової трубки?

- В) Побудуйте графік залежності об'єму води від температури (приблизно в діапазоні від 40 °С до 60 °С).
- Г) Визначте коефіцієнт об'ємного розширення води при температурах 40°С, 50°С, 60°С. Чи можна стверджувати, що коефіцієнти однакові в межах похибки?
- Д) Оцініть вплив на результат вимірювання теплового розширення скла пробірки. Коефіцієнт лінійного розширення скла $\alpha = 8,5 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$.
- Е) Яким чином можна мінімізувати похибки у вашому експерименті?

УВАГА. Вчитель надає гарячу воду при температурі близько 80°С. Сплануйте експеримент так, щоб унеможливити потрапляння гарячої води на частини тіла. Слідкуйте, щоб посудина з гарячою водою не перекинулася.

11 клас

Задача 1. Мутне завдання

Обладнання:

- Індивідуальне:
 - лінійка, штатив;
 - шматочок напівпрозорої плівки в оправі;
 - аркуш паперу А4 з таблицею Сівцева (літери різного розміру);
 - аркуш міліметрового паперу;

Завдання:

- А) Визначте в якому випадку видимість об'єкта краща – якщо розмістити плівку поблизу ока чи впритул об'єкту.
- Б) Побудуйте хід променів для пояснення замутнення зображення предмета.
- В) Проведіть необхідні вимірювання та визначте мутність даної плівки.
- Г) Оцініть похибку вимірювання.
- Д) Вкажіть фактори, які впливають на похибку вимірювань.

Вказівка: Вважайте, що плівка відхиляє промінь світла, який проходить крізь неї, на певний невеликий кут. Назвемо мутністю μ плівки тангенс максимального кута відхилення променя від попереднього напрямку.

Задача 2. Насичена пара

Обладнання:

- Індивідуальне:
 - посудина, в яку можна налити гарячу воду;
 - гаряча вода (звернутися до вчителя);
 - скляна трубка;
 - термометр, лінійка;
 - нитка, зубочистка.

Завдання:

- А) Перевірте, чи виконується рівняння стану ідеального газу для бульбашки, обмеженої водою в трубці. Вимірювання проведіть при відомій кімнатній температурі та температурі води 70 °С.

- Б) Визначте тиск насиченої пари води при температурі 70 °С.
 В) Назвіть фактори, які суттєво вплинули на результати вимірювань. Вкажіть, в який бік (збільшення чи зменшення) вони вплинули на результат п.2.

Примітки: Для отримання гарячої води для експерименту зверніться до вчителя. Атмосферний тиск прийняти 101 кПа, тиск насиченої пари води при кімнатній температурі (21°С) 2,5 кПа.

Задача 3. Пружне яблуко

Обладнання:

- Індивідуальне:
 - штатив, лінійка;
 - пружина (з гачком);
 - яблуко;
 - пісковий годинник;

Завдання:

Визначити інтервал часу, який вимірює пісковий годинник.

- Описати установку, яку використовували для проведення експерименту.
- Детально описати хід проведення експерименту.
- Обґрунтувати формули, що використовувалися для розрахунків.
- Наведіть таблицю отриманих результатів та розрахунки.
- Оцініть похибку вашого вимірювання.

Примітка: прискорення вільного падіння вважати відомим: $g = 9,81 \text{ м/с}^2$.

Розв'язки завдань теоретичного туру

8 клас

Задача 1. За умовою задачі, початкова висота води у першій посудині рівна $H_{01} = 56\text{см}$, у другій посудині – $H_{02} = 52\text{см}$, у третій посудині – $H_{03} = 36\text{см}$. Відповідно, початкова висота води в першій посудині на рівні отвору O_1 $h_{01} = H_{01} - H_{02} = 4\text{см}$, у другій посудині на рівні отвору O_2 $h_{02} = H_{02} - H_{03} = 16\text{см}$, у третій посудині на рівні отвору O_3 $h_{03} = H_{03} = 36\text{см}$. Початкові швидкості витікання води через відповідні отвори рівні $v_{01} = \sqrt{2gh_{01}} = 0,2\sqrt{2g}$, $v_{02} = \sqrt{2gh_{02}} = 0,4\sqrt{2g}$, $v_{03} = \sqrt{2gh_{03}} = 0,6\sqrt{2g}$.

Відношення швидкостей витікання води з відповідних отворів в початковий момент часу $v_{01}:v_{02}:v_{03} = 1 : 2 : 3$.

Враховуючи те, що в другу посудину втікає вода зі швидкістю v_{01} , а витікає зі швидкістю $v_{02} = 2v_{01}$, результуюча швидкість витікання води з другої посудини $v_2 = v_{02} - v_{01} = v_{01} = v$. Аналогічно результуюча швидкість витікання води з третьої посудини $v_3 = v_{03} - v_{02} = v_{01} = v$.

Отже, результуючі швидкості витікання води у всіх посудинах однакова. Відповідно за доволі малий інтервал часу Δt зміна об'ємів води $\Delta V = vS_0\Delta t$ у всіх посудинах однакова.

$$\text{Тоді } S_1\Delta h_1 = S_2\Delta h_2, \text{ звідки } \Delta h_2 = \frac{S_1\Delta h_1}{S_2} = 4\Delta h_1 \quad (1)$$

$$\text{Аналогічно } S_1\Delta h_1 = S_3\Delta h_3, \text{ звідки } \Delta h_3 = \frac{S_1\Delta h_1}{S_3} = 9\Delta h_1 \quad (2)$$

Із (1) і (2) випливає, що відношення змін висот $\Delta h_1 : \Delta h_2 : \Delta h_3 = 1 : 4 : 9$ є рівним відношенню початкових висот $h_{01} : h_{02} : h_{03} = 4 : 16 : 36$ стовпчиків води над рівнями отворів. Це означає, що при витіканні води співвідношення між змінами висот будуть зберігатися весь час витікання і становлять 1:4:9. Тому, коли у першій посудині висота зменшиться на 1 см, то у другій посудині зменшиться на 4 см, а у третій посудині – на 9 см.

Відповідно $H_2 = 52\text{см} - 4\text{см} = 48\text{см}$, $H_3 = 36\text{см} - 9\text{см} = 27\text{см}$.

Задача 2. Сносіб 1.

А) Знайдемо теплову потужність, яка виділяється на реостаті, застосовуючи закон Джоуля-Ленца, Ома та формули паралельного та послідовного з'єднань.

$$I_0 = \frac{U_0}{r + \frac{rR}{r+R}}; U_p = \frac{U_0}{r + \frac{rR}{r+R}} * \frac{rR}{r+R}$$

$$P_p = \frac{U_p^2}{R} = \frac{U_0^2 R}{(r + 2R)^2} = \frac{U_0^2}{\frac{r^2}{R} + 4r + 4R}$$

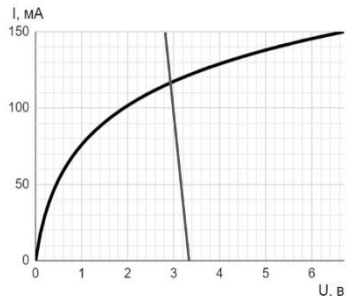
Зрозуміло, що ця потужність буде максимальною, коли знаменник цього дробу буде мінімальним (легко побачити, що знаменник має мінімальне значення). Проаналізуємо вираз у знаменнику, виділив у ньому повний квадрат:

$$Y = \frac{r^2}{R} + 4r + 4R = \left(\frac{r}{\sqrt{R}} - 2\sqrt{R}\right)^2 + 4r + 4r.$$

Мінімальне значення цієї функції досягається коли вираз в дужках дорівнює нулю, тобто при $R = r/2 = 5\text{ Ом}$. Максимальна теплова потужність на реостаті при цьому

буде дорівнювати: $P_p = \frac{U_0^2}{8r} = 1,25\text{ Вт}$.

Б) Позначимо напругу і силу струму на лампочці як U_L і I_L . З минулого питання знаємо що $R = r/2$. Застосовуючи закон Ома та формули паралельного та послідовного з'єднань маємо: $U_0 = U_L + I_L r + U_L r/R$. Звідки отримаємо залежність між силою струму та напругою на лампочці: $I_L = (U_0 - 3U_L)/r$.



Побудуємо цю пряму на графіку вольт-амперної характеристики лампи. На перетині графіків знайдемо напругу та силу струму на лампочці: $U_L = 2,95\text{В}$ і $I_L = 115\text{мА}$. При цьому сумарна потужність дорівнює: $P_1 = U_L I_L + \frac{U_L^2}{R} = 2,1\text{Вт}$.

Завдання 2.

А) Знайдемо теплову потужність, яка виділяється на частині реостата. Позначимо опір частини реостата R . Тоді опір кола, зображеного на рисунку:

$$R_{\text{ЗАГ}} = r + \frac{Rr}{R+r} = r + R_x, \text{ де позначимо } R_x = \frac{Rr}{R+r} \quad (1).$$

Тоді напруга на реостаті: $U_P = \frac{U_0}{r+R_x} \cdot R_x$

Переписемо останній вираз, поділивши чисельник і знаменник на R_x : $U_P = \frac{U_0}{\frac{r}{R_x}+1} \quad (2)$

Підставимо (1) в (2): $U_P = \frac{U_0}{\frac{R+r}{R}+1} = \frac{U_0}{\frac{R}{R}+1+1} = \frac{U_0}{\frac{R}{R}+2} \quad (3)$

Знайдемо потужність, яка виділяється на частині реостата: $P = \frac{U_P^2}{R} \quad (4)$

Підставивши (3) в (4), отримаємо: $P = \frac{U_0^2}{\left(2+\frac{r}{R}\right)^2 R}$.

Переписемо останній вираз, розкривши дужки: $P \left(4 + 4\frac{r}{R} + \frac{r^2}{R^2}\right) R = U_0^2$

Помноживши обидві частини на R^2 , та розкривши квадрат, отримаємо:

$$4PR^2 + 4PRr + Pr^2 = U_0^2 R$$

Перегрупувавши доданки, отримаємо квадратне рівняння відносно R :

$$(4P)R^2 - (U_0^2 - 4Pr)R + Pr^2 = 0 \quad (5)$$

Якщо теплова потужність, яка виділяється на частині реостата максимальна P , то дане квадратне рівняння для максимального значення потужності повинно мати два однакові корені, тому знайдемо дискримінант цього рівняння і прирівняємо його до нуля: $D = (U_0^2 - 4Pr)^2 - 16P^2r^2 = 0$

Розв'язавши утворене рівняння, знайдемо шукану максимальну потужність:

$$U_0^4 - 8U_0^2Pr + 16P^2r^2 - 16P^2r^2 = 0, \text{ звідки } P = \frac{U_0^2}{8r} = 1,25 \text{ Вт}$$

З рівняння (5) знаходимо і шуканий опір частини реостата, за умови, що дискримінант

$$\text{рівняння дорівнює нулю: } R = \frac{U_0^2 - 4Pr}{8P} \quad (6)$$

Підставивши у (6) формулу максимальної потужності, знайдемо: $R = r/2 = 5 \text{ Ом}$.

Б) Врахуємо, що знайдений у попередньому пункті опір частини реостата: $R = \frac{r}{2}$.

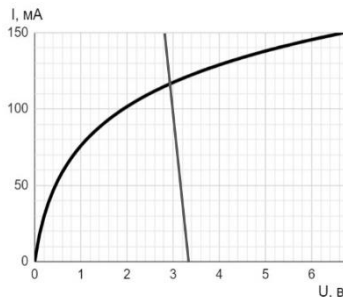
Позначимо напругу та силу струму на лампочці U_L , та I_L відповідно. За законом послідовного з'єднання для напруг: $U_0 = U_r + U_L$ (7)

Напруга на резисторі: $U_r = I \cdot r = (I_L + I_R) \cdot r$ (8), де I_R – сила струму, що тече через реостат. Оскільки напруги на лампочці та реостаті будуть рівні ($U_L = U_R$), за законом Ома знайдемо I_R :

$$I_R = \frac{U_R}{R} = \frac{U_L}{\frac{r}{2}} = \frac{2U_L}{r} \quad (9)$$

Підставимо (9) у (8) та у (7), отримаємо:

$$U_0 = \left(I_L + \frac{2U_L}{r} \right) \cdot r + U_L$$



Розкривши в останньому виразі дужки, виразимо силу струму на лампочці:

$$I_L = \frac{U_0 - 3U_L}{r} = \frac{U_0}{r} - \frac{3}{r} U_L \quad (10)$$

Отже, значення сили струму та напруги на лампочці мають задовільняти одночасно лінійне рівняння (10) та належати кривій, зображеній на рисунку. Тому, побудувавши пряму, яку описує функція (10), знайдемо координати точки перетину цієї прямої та кривої графіка (див рис.): $U_L = 2,9 \text{ В}$ і $I_L = 115 \text{ мА}$. При цьому сумарна потужність, яка виділяється на лампочці $P_L = I_L U_L$ та реостаті $PR = U_L^2/R$ дорівнює:

$$P_{\text{СУМ}} = I_L U_L + \frac{U_L^2}{R} \approx 2,1 \text{ Вт}$$

Задача 3. А) Рідина та пара. Для того, щоб весь лід розплавився, потрібна така кількість теплоти $Q = m_{\text{л}} \lambda$. Оскільки система знаходиться в калориметрі, то загальна енергія води зберігається, і єдиний спосіб отримати таку кількість теплоти – з конденсації частини пари $Q = m_{\text{конд}} L = m_{\text{л}} \lambda$. Отже, має сконденсуватись стільки пари:

$$m_{\text{конд}} = \frac{\lambda}{L} m_{\text{л}} = \frac{\lambda}{L} \frac{1}{3} m \frac{300 \frac{\text{КДж}}{\text{КГ}}}{3 \cdot 2500 \frac{\text{КДж}}{\text{КГ}}} m = 0,04$$

Тобто, отримаємо $m_{\text{л}} - m_{\text{конд}} \approx 0,29m$ пари і $m_{\text{л}} + m_{\text{р}} + m_{\text{конд}} = 0,71m$ рідини.

Б) Лід та рідина. Для того, щоб отримати тільки лід і рідину, треба щоб вся пара сконденсувалась у рідину. При цьому виділиться така кількість теплоти $Q = m_{\text{п}}L$. Ця теплота може піти тільки на плавлення льоду, але максимум енергії, яку може поглинути лід, рівна $Q = m_{\text{л}}\lambda$, що менше ніж треба, оскільки питома теплота плавлення менша за питому теплоту пароутворення. Тобто, без зміни температури чи тиску така ситуація неможлива.

В) Лід та пара. Для того, щоб отримати тільки лід і пару треба, щоб частина рідини кристалізувалась у лід, а частина рідини випарувалася, в такій пропорції, щоб зберігався тепловий баланс системи. Тобто

$$Q_{\text{крист}} = m_{\text{крист}}\lambda = Q_{\text{випар}} = m_{\text{випар}}L,$$

причому

$$m_{\text{крист}} + m_{\text{випар}} = m_{\text{р}} = \frac{1}{3} m.$$

З цих двох рівнянь отримаємо:

$$m_{\text{випар}} = \frac{\lambda}{L} m_{\text{крист}},$$

$$m_{\text{крист}} + \frac{\lambda}{L} m_{\text{крист}} = \frac{1}{3} m,$$

$$m_{\text{крист}} = \frac{m}{3(1+\frac{\lambda}{L})} \approx 0,298m, \quad m_{\text{випар}} = m_{\text{р}} - m_{\text{крист}} = 0,035m.$$

Тоді повна маса льоду буде $m_{\text{л}} + m_{\text{крист}} = 0,333m + 0,298m \approx 0,63m$, а пари

$$m_{\text{п}} + m_{\text{випар}} = 0,333m + 0,035m = 0,37m.$$

Відповідь:

- А) $0,71m$ рідини та $0,29m$ пари;
- Б) така ситуація неможлива;
- В) $0,63m$ льоду та $0,37m$ пари.

Задача 4. А) Перше, що може спадати на думку — визначити модуль s переміщення зорельоту за час $\Delta t = t_3 - t_1 = 9$ хв. Як легко побачити, цей модуль дорівнює довжині гіпотенузи прямокутного трикутника з катетами $12a$ і $5a$, тобто з теореми

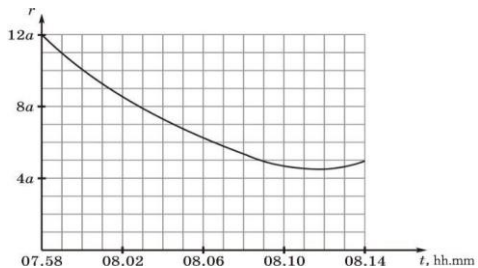
Піфагора маємо $s = 13a$. Звідси $v = \frac{s}{\Delta t} = 430\,000$ км/с. Але така відповідь абсолютно нереальна, бо отримане значення значно перевищує швидкість світла у вакуумі $c = 300\,000$ км/с. Тому слід повернутися до аналізу умови задачі. Такий аналіз показує, що слід урахувати: зореліт дійсно перебував у точках 1, 2, 3, але в інші моменти. Адже світло ще мало дійти до патруля. На це витрачався час: відповідно $\tau_1 = \frac{r_1}{c} = \frac{12a}{c} = 720$ с з точки 1 і $\tau_3 = \frac{r_3}{c} = \frac{5a}{c} = 300$ с з точки 3. Отже, насправді на проходження ділянки 1–3 витрачено на 420 с (7 хв) більше часу, а швидкість руху виходить $v \approx 244\,000$ км/с, що вже менше від швидкості світла.

Б) З урахуванням поправок на час поширення світла ми отримуємо висновок: насправді зореліт перебував у точці 1 о 07 год 58 хв 00 с (позначимо цей час t_0), а в точці 3 — в момент 08 год 14 хв 00 с. Можемо знайти залежність $r(t)$ для проміжку часу між 07 год 58 хв і 08 год 14 хв. Отже, відповідне переміщення тривало $T = 16$ хв. Кожної хвилини координата зорельоту x зменшувалася на $\frac{12a}{T}$, а координата y збільшувалася на $\frac{5a}{T}$. Отже, залежності координат від часу за годинником патруля мають вигляд:

$$x = 12a - \frac{12a}{T}(t - t_0) = 12a\left(1 - \frac{t-t_0}{T}\right), \quad y = 5a \frac{t-t_0}{T}.$$

Залежність $r(t)$: $r(t) = \sqrt{x^2 + y^2} = a\sqrt{144\left(1 - \frac{(t-t_0)}{T}\right)^2 + 25\left(\frac{(t-t_0)}{T}\right)^2}$.

Для наочності можна побудувати графік такої залежності (це не входить у вимоги до учасників/учасниць олімпіади!). Схематичний графік (див. рисунок) можна побудувати за наведеною формулою або розбити траєкторію руху зорельоту на рівні частини та виміряти відповідні значення $r(t)$ на планшетах з урахуванням масштабу.



В) Оскільки рух зорельоту прямолінійний рівномірний, а точка 2 лежить посередині відрізка 1–3, зореліт перебував у точці 2 на $T/2$ (тобто на 8 хв) пізніше, ніж у точці 1. Це момент 08 год 06 хв 00 с. Світло подолає відстань $6,5a$ від цієї точки до початку координат за 390 с, тобто 6,5 хв. Отже, патруль мав побачити зореліт у точці 2 (а штурман — нанести точку 2 на планшет) у момент: $t_2 = 08$ год 06 хв + 6,5 хв, тобто $t_2 = 08$ год 12 хв 30 с

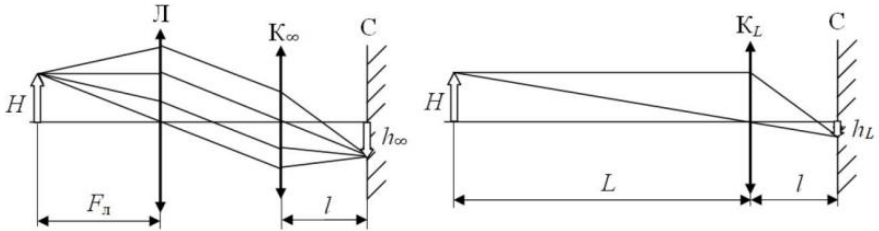
9 клас

Задача 1. Останнє запитання є ключовим. Як же пов'язані оптична сила лупи та її збільшення, яке вказують в об'яві про продаж? Зазначимо принагідно, що збільшення лупи іноді пишуть на її футлярі (наприклад, у випадку з першою пропозицією, про яку йдеться в задачі, міг би бути такий напис: «2,5*»). Відповідь на це запитання криється в такій формулі: $\Gamma_L = DL$, де Γ_L збільшення лупи, її оптична сила, а так звана

відстань ясного бачення (або відстань найкращого зору), яка прийнята такою, що $L = 0,25$ м.

Доведемо цю формулу (ХОЧА І МОЖНА ВИКОРИСТОВУВАТИ ЯК ВІДОМУ), вважаючи, що збільшення (кратність) лупи показує, у скільки разів збільшиться на сітківці ока зображення предмета при використанні лупи в порівнянні з тим, яке б воно було, якби на цей предмет дивилися без лупи, розмістивши його на відстані 25 см від кришталика. Але важливо зазначити, що передбачається «правильне» використання лупи людиною з «нормальним» зором. Найбільш розслаблене око при нормальному зорі збирає паралельні промені на сітківці. При правильному користуванні лупою око має перебувати саме у такому розслабленому стані. Це означає, що людині з нормальним зором необхідно розташувати предмет у фокальній площині лупи. При цьому розмір зображення на сітківці не буде залежати від відстані між лупою і оком.

Позначимо на наших оптичних схемах висоту предмета як H , а висоти зображень на сітківці (C) як h_{∞} (при використанні лупи) і h_L (у випадку без лупи). Відстань між кришталиком і сітківкою в обох випадках залишається однаковою (вона позначена як l). Значимо, що на цих схемах кришталик позначено по-різному (K_{∞} і K_L) не випадково. Його оптична сила у цих двох випадках буде різною. Нагадаємо, що відстань від предмета до лупи (L) дорівнює її фокусній відстані (F_L), а $L = 0,25$ м.



З подібних трикутників на лівій схемі маємо: $H/F_L = h_{\infty}/l$, а з подібних трикутників на правій схемі отримуємо таке: $H/L = h_L/l$. Відповідно, $L/F_L = h_{\infty}/h_L = \Gamma_L$, або, з урахуванням того, що $1/F_L = D$, у кінцевому рахунку будемо мати вираз для оптичної сили лупи через її збільшення і відстань ясного бачення:

$$D = \Gamma_L/L.$$

Отже, у випадку $\Gamma_L = 2,5$ оптична сила лупи дорівнюватиме 10 дптр, а коли $\Gamma_L = 10$ оптична сила вдвічі більша, тобто 20 дптр.

Для отримання відповідей на інші запитання не будуватимемо оптичної схеми, оскільки у подальшому нам будуть потрібні додатково лише дві добре відомі зі шкільного підручника формули:

$$D = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}; \quad \Gamma = \frac{f}{d}$$

Де d - відстань від предмета до лінзи, f - відстань від лінзи до екрану, на якому спостерігається чітке зображення предмета, Γ - збільшення, яке дає дана лінза при заданому значенні d . Значимо, що збільшення Γ не є характеристикою лінзи, на відміну від збільшення лупи Γ_L , яке надає нам можливість обчислити інші пов'язані з

ним характеристики лупи (D і F_L). Для отримання на екрані зображення в Γ разів більше за предмет не має потреби купувати лупу з таким самим значенням Γ_L . З трьох останніх записаних нами формул маємо такі вирази для шуканих відстаней:

$$\Gamma = \frac{(\Gamma + 1)L}{\Gamma L_L}; \quad d + f = \frac{(\Gamma + 1)^2 L}{\Gamma L_L}.$$

Останній вираз і дає відстань між предметом і екраном.

Підставляючи значення величин отримуємо такі числові відповіді:

А) $d = 14$ см; Б) $d + f = 49$ см (бо тут $\Gamma = \Gamma_L = 2,5$; $L = 25$ см);

В) $d + f = 72$ см (бо тут уже $\Gamma_L = 10$ хоча $\Gamma_L = 2,5$ і $L = 25$ см);

Г) $D = 10$ дптр (коли $\Gamma_L = 2,5$) і $D = 20$ дптр ($\Gamma_L = 5$).

Якщо при спостереженні за допомогою лупи розглядається око, акомодоване на відстань найкращого зору і розташоване упритул до лупи, то одержується інший хід променів та інша формула для збільшення лупи. З подібних трикутників на схемі маємо: $H/d = h'_L/l$, де відстань від предмета до лупи. Для неозброєного ока, як було показано раніше, $H/d = h_L/l$. З формули тонкої лінзи $d = \frac{FL}{F+L}$. З наведених формул випливає:

$$\Gamma_L = DL + 1$$

що призводить до зміни числових відповідей:

А) $d \approx 23.3$ см; Б) $d + f \approx 81.7$ см (бо тут $\Gamma = \Gamma_L = 2,5$; $L = 25$ см);

В) $d + f = 120$ см (бо тут уже $\Gamma = 10$ хоча $\Gamma_L = 2,5$ і $L = 25$ см);

Г) $D = 6$ дптр (коли $\Gamma_L = 2,5$) і $D = 16$ дптр ($\Gamma_L = 5$)

Задача 2. А) З висотою, зменшується тиск, і куля роздувається, Оболонка кулі виготовлена з нерозтяжного матеріалу, тому необхідна зміна об'єму кулі забезпечується зміною її форми.

Б) Температура зменшується приблизно на 71 або 72 градуси на 11 км, або $k \approx 6,5 \frac{K}{km} = 6,5 \frac{^\circ C}{km}$. Рівняння

$$t = 15^\circ C - ky$$

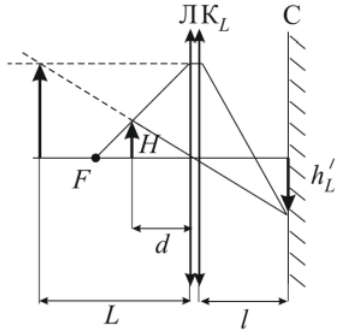
В) Ділянки підйому, на яких збільшується тиск, не існує, оскільки тиск обумовлений силою тяжіння, що діє на повітря, а з підняттям вгору ми залишаємо масу повітря внизу.

Г) Від 11 км до 20 км температуру можна вважати сталою і найменшою з тих, які проходитиме куля. Ця температура дорівнює приблизно

$$t_{min} = 15^\circ C - 6,5 \frac{^\circ C}{km} \cdot 11 km = -56,5^\circ C$$

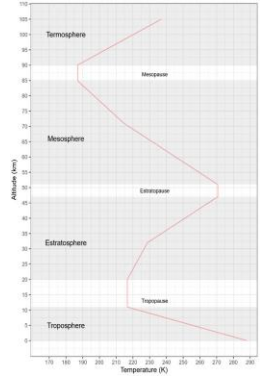
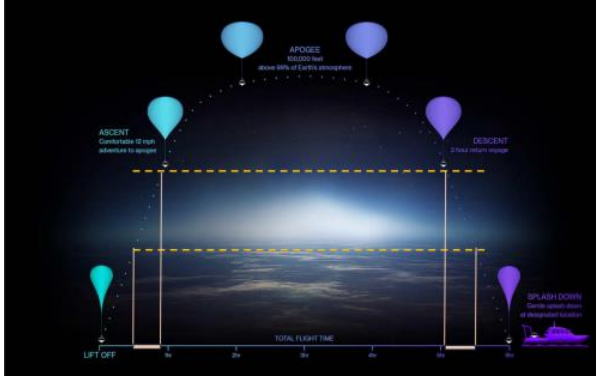
Це значення можна було отримати й напрямом з графіка.

На рис. 1 проведемо дві горизонталі на висоті 11 км і 20 км, і визначимо час по відповідним горизонтальним відріzkам. Яку частину їх загальна довжина складає від



горизонтального відрізка у 6 год, таку ж частину часу від 6 годин рухатиметься куля у найхолоднішому повітрі. Приблизно це становить 52 хв. Можливі похибки за рахунок неточності вимірювань лінійкою.

Д) Першу половину висоти підйому швидкість v_x росте з висотою лінійно. Тобто, $v_x = \alpha y$, де α знайдемо з умови, що на половині максимальної висоти $h \approx 30,5$ км швидкість досягає максимального значення $v_m = 20$ км/год: $\alpha = 2v_m/h$, або



$$v_x = 2v_m \frac{y}{h}$$

Аналогічно для другої частини підйому:

$$v_x = 2v_m \left(1 - \frac{y}{h}\right)$$

Відстань Δx , яку в горизонтальному напрямку пролітає повітряна куля, що рухається зі швидкістю вітру, за невеликий проміжок часу Δt :

$$\Delta x = v_x \Delta t$$

На першій частині підйому

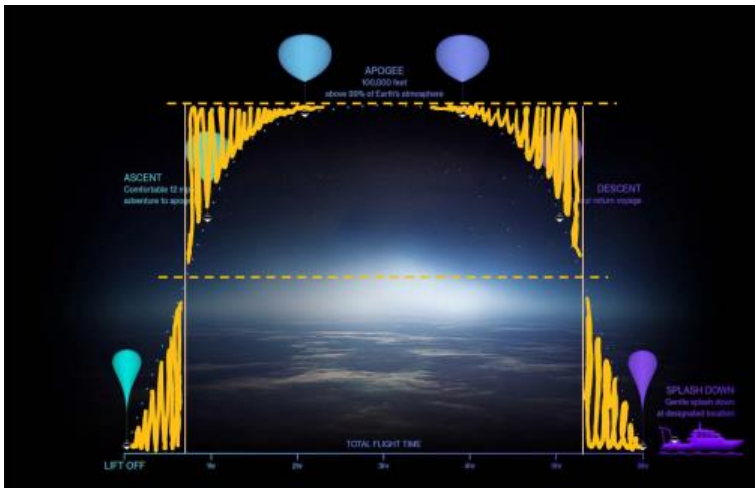
$$\Delta x = \frac{2v_m}{h} y \Delta t$$

Якщо тепер просумувати всі Δx , то з множником $\frac{2v_m}{h}$ вийде сума відповідних $y \Delta t$, а це площа під графіком на Рис. 1. Для другої частини підйому

$$\Delta x = 2v_m \Delta t - \frac{2v_m}{h} y \Delta t$$

Тобто слід відняти площу під графіком. Аналогічно для спуску.

На рисунку нижче зафарбована відпо відна площа за весь час руху. Кулю знесе приблизно на 30 км.



Задача 3. Позначимо висоту посудини H , початкову висоту рівня кави h , радіус посудини R . Різницю температур між вмістом посудини та повітрям у кімнаті позначимо t (таким чином ми фактично домовляємося відраховувати значення температури від кімнатної). Оскільки за умовою товщина циліндричної стінки дуже мала, можна вважати, що ця стінка не передає тепло у вертикальному напрямі. Тому теплообмін з навколишнім середовищем відбувається тільки через ту частину поверхні стінки, що торкається рідини всередині (площа цієї частини стінки $2\pi R h$ до доливання води та $2\pi R H$ після доливання). Маса рідини до та після доливання води відповідно $\pi \rho R^2 h$ і $\pi \rho R^2 H$.

Запитання 1.

а) Зміна різниці температур t протягом маленького проміжку часу Δt відповідає рівнянню $m c \Delta t = \pi \rho c R^2 h \Delta t = -K \cdot 2\pi R h \cdot t \cdot \Delta t$. Коефіцієнт K залежить тільки від теплопровідності та товщини стінки. Відразу бачимо, що h у цьому рівнянні скорочується! Рівняння можна записати у вигляді $\frac{\Delta t}{t} = -\frac{2K}{\rho c R} \Delta t = -A \Delta t$. Коефіцієнт A є певною сталою в умовах даної задачі. Подивимося уважно на отримане рівняння: воно показує, що відносне зменшення t за однакові проміжки часу завжди однакове! Це зменшення однакове як для остигання кави перед доливанням, так і після доливання. Отже, за 5 хв значення t зменшується від початкового t_0 до $B t_0$, де B теж є сталою величиною в умовах даної задачі. Зрозуміло, що $B < 1$.

Залишається тільки записати рівняння теплового балансу для теплообміну між кавою та долитим молоком (для якого значення t дорівнює нулю) та знайти кінцеве значення t_{fin} :

$$\pi \rho R^2 h \cdot c \cdot (B t_0 - t_{fin}) = \pi \rho R^2 (H - h) \cdot c \cdot t_{fin} (*)$$

Звідси маємо $t_{fin} = \frac{h}{H} B t_0$. Це досить очевидний результат (внутрішня енергія «перерозподіляється» між молоком та кавою).

б) Якщо ми відразу доливаємо молоко, то отримуємо певну «проміжну» температуру $\frac{h}{H} t_0$ (розрахунок цілком аналогічний наведеному вище). А після остигання протягом ще 5 хв значення t треба буде ще помножити на коефіцієнт B . Таким чином, ми знов отримуємо таку саму кінцеву температуру $t_{fin} = \frac{h}{H} B t_0$. Отже, обидва способи приводять до однакової кінцевої температури. Зазначимо, що це справедливо тільки в межах описаної в умові задачі моделі процесу. Наприклад, закривши посудину кришкою, ми «вимкнули» такий важливий механізм охолодження, як випаровування.

Запитання 2

Позначимо значення t для долитого молока t_B .

а) рівняння (*) для визначення кінцевої температури набуває вигляду

$$\rho R^2 h \cdot c \cdot (B t_0 - t_{fin a}) = \pi \rho R^2 (H - h) \cdot c \cdot (t_{fin a} - t_B)$$

Звідси

$$t_{fin a} = \frac{h}{H} B t_0 + \frac{H - h}{H} t_B.$$

б) тепер відразу після доливання молока «проміжна» температура буде $\frac{h}{H} t_0 + \frac{(H-h)}{H} t_B$.

Після остигання протягом 5 хв:

$$t_{fin b} = \frac{h}{H} B t_0 + \frac{H - h}{H} B t_B.$$

Таким чином, $t_{fin a} - t_{fin b} = \frac{(H-h)}{H} (1 - B) t_B$.

Ураховуючи, що $B < 1$, маємо:

- якщо температура долитого молока нижча від кімнатної, то кінцева температура нижча у випадку а (краще зачекати 5 хв, а потім долити молоко);
- якщо температура долитого молока вища за кімнатну, то кінцева температура нижча у випадку б (краще відразу долити молока, а потім зачекати 5 хв).

Задача 4.

А) 3 умови впливає, що кожна «паралель» складається з 12 відрізків опором r , а кожен «меридіан» з 6 таких відрізків. На рис. 1, де показаний фрагмент кола, кожен такий відрізок показано як резистор опором r . Легко побачити (враховуючи симетрію кола), що струм не протікатиме паралелями, тому відповідні ділянки кола можна просто вилучити без зміни загального опору кола. Тоді залишаються 12 «меридіанних» ділянок кола, кожна опором $6r$, з'єднаних паралельно. Загальний опір, кола за проєктом мав бути $R_0 = \frac{r}{2}$.

Б) Збільшення опору будь-якої ділянки кола в жодному разі не може спричинити зменшення загального опору. Але якщо помилка стосується ділянки кола на якійсь

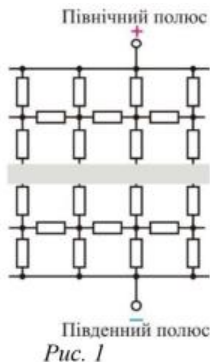


Рис. 1

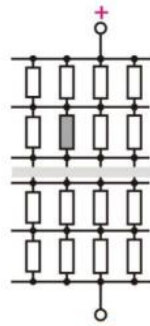


Рис. 2

паралелі, то змінений опір ділянки, якою струм усе одно не протікає. У такому випадку загальний опір кола не змінюється, залишається рівним R_0 .

Залишається розглянути випадок заміни відрізка дроту на меридіані. Ми не знаємо, наскільки близько до екватора та полюсів розташований цей відрізок. Можна висловити припущення, що положення заміненого відрізка відносно полюсу дає різні значення загального опору. Але повний розрахунок буде дуже громіздким, тому спробуємо обмежитися саме оцінкою, як і вимагає умова задачі. Уявімо, що ми збільшили опори всіх ділянок на паралелях у багато разів, тобто «до нескінченності». Це фактично означає, що ми розриваємо зв'язки між сусідніми меридіанами. Унаслідок такої зміни загальний опір кола може тільки збільшитися до значення R_{max} , яке напевно перевищує реальний опір кола. Тепер ми отримали коло з 12 паралельно з'єднаних ділянок: 11 з них мають опір $6r$, а одна опір $8r$ (незалежно від того, яку саме ділянку меридіану помилково замінили). Тоді $\frac{1}{R_{max}} = \frac{11}{6r} + \frac{1}{8r} = \frac{47}{24r}$,

тобто $R_{max} = \frac{24}{47}r \approx 0,5106r$.

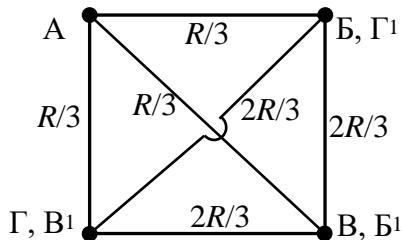
А от зменшення опорів усіх ділянок на паралелях до нуля дасть коло, фрагмент якого показаний на рис. 2. Тут сірим зафарбований «помилковий» резистор (зрозуміло, що точне місце його на меридіані є несуттєвим). Тоді маємо послідовне з'єднання п'яти ділянок опором по $\frac{r}{12}$ і однієї ділянки опором $\frac{3r}{34}$.

Опір такого кола $R_{min} = \frac{103r}{204} \approx 0,505r$. Це значення є мінімально можливим у випадку заміни відрізка дроту на меридіані.

Отже, опір кола міг взагалі не змінитися (якщо помилково замінений відрізок дроту на паралелі), а міг збільшитися на частку від 1% до 2% (якщо замінений відрізок дроту на меридіані). Збільшитися на 0,5% опір ніяк не міг.

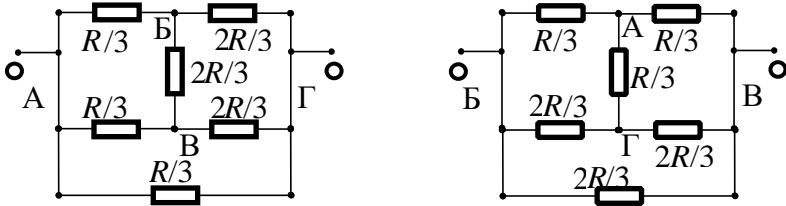
10 клас

Задача 1. Перетворимо схему, з'єднавши між собою точки згідно умови. Незавжди побачити, що еквівалентна схема матиме вигляд:



Звичайно, схему можна підключити до джерела будь-якою парою точок з набору А, Б, В, Г. Однак можна помітити, що підключення АБ, АВ, АГ мають однаковий опір, тому є еквівалентні. На рисунку наведено варіант АГ. Можливі інші варіанти підключення без точки А. Але всі вони мають однаковий опір. Отже, можливо отримати лише дві принципово різні схеми в залежності від того, чи приєднано до точки А клему джерела. Кожна з них зводиться до збалансованого містка Уїтстона (див. рис.). Опір кожної схеми можна розрахувати, видаливши вертикально розташований резистор: для лівої схеми $R_1 = R/5$ для правої отримуємо $R_2 = 4R/15$. Оскільки напруга в обох випадках однакова, то відношення значень потужності для цих двох схем має вигляд:

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{U^2/R_1}{U^2/R_2} = \frac{4R/15}{R/5} = \frac{4}{3}$$



Задача 2. А) Знайдемо коефіцієнт тертя спокою μ_0 . Сила нормальної реакції опори, що діє на тіло, як під час його руху, так і коли воно нерухомо лежить на площині, $N = mg\cos(\alpha_0)$. Проекція сили тяжіння на похилу площину $mg\sin(\alpha_0)$ у нерухомому стані компенсується силою тертя спокою, максимальне значення якої $\mu_0 N$. Звідси знаходимо $\mu_0 = tg(\alpha_0) = 0,4$. Під час ковзання площиною вниз, сила тертя зменшується за рахунок зміни коефіцієнту тертя до μN . В напрямку руху тіла залишаються проекція сила тяжіння $mg\sin(\alpha_0)$ спрямована вниз по схилу і сила тертя ковзання $\mu mg\cos(\alpha_0)$ у протилежному напрямку. Маємо прискорення

$a = g(\sin(\alpha_0) - \mu\cos(\alpha_0))$. Або:

$$\mu = tg(\alpha_0) - a/(g\cos(\alpha_0)) \quad (1)$$

З руху вниз по площині маємо у SI:

$$a = 2L/t^2 = 0,64 \quad (2)$$

З рівнянь 1 і 2 маємо $\mu \approx 0,33$.

Далі будемо розглядати рух на нитці по дузі кола. Треба бути дуже уважними з кутами у різних площинах.

Б) Робота сили тертя-ковзання(спрямована проти напрямку швидкості) при відхиленні нитки на кут φ дорівнює $A = -\varphi R\mu mg\cos(\alpha)$. Різниця потенціальних енергій у початковій і кінцевій точках, де швидкість дорівнює нулю:

$$mgL\sin(\alpha)\sin(\varphi).$$

Отже

$$\mu_k = tg(\alpha)\sin(\varphi)/\varphi. \quad (3)$$

В) Розглянемо умови рівноваги в кінцевій точці. Якщо дивитись на сили у площині маємо три сили: силу натягу нитки Т, проекцію сили тяжіння $mg\sin(\alpha)$ і силу тертя

спокою, максимальне значення якої $\mu_0 mg \cos(\alpha)$. Для визначення напрямку сили тертя у граничній точці зупинки (коли тіло може почати зісковзувати назад) уявимо навколо кінця вектора скочуючої сили (проекції сили тяжіння на похилу площину) коло радіусом у модуль вектора сили тертя спокою (візуалізує усі можливі напрямки сили тертя спокою). Можна показати, що сила тертя має бути перпендикулярна до напрямку нитки і сили її натягу. Тоді

$$\mu_0 mg \cos(\alpha) \geq mg \sin(\alpha) \cos(\pi - \varphi),$$

або

$$\mu_0 \geq -\operatorname{tg}(\alpha) \cos(\varphi) \quad (4)$$

Косинус від'ємний, бо $90^\circ < \varphi < 180^\circ$. Якщо кут φ більший, то тіло не залишиться у спокої, і буде ковзати вниз після зупинки.

Значимо, що визначення напрямку сили тертя у граничній точці можливо з інших міркувань.

Знайдемо можливі кути φ . Розділимо рівняння (4) на (3), щоб позбутися від $tg(\alpha)$, й отримасмо співвідношення коефіцієнтів тертя

$$\mu_n / \mu_k = 0,4 / 0,33 \approx 1,21 \geq -\varphi \operatorname{ctg}(\varphi) \quad (5)$$

Котангенс також від'ємний, адже $\varphi > 90^\circ$. Підставляємо кілька стандартних кутів на калькуляторі, і знаходимо, що рівняння виконується, коли $\varphi \approx 120^\circ$. Якщо кут більший, функція у правій частині нерівності (5) буде більшою, це легко побачити тому що абсолютні значення φ і $\operatorname{ctg}(\varphi)$ зростають для $90^\circ < \varphi < 180^\circ$. З пояснень до нерівності (5) також маємо, що тіло почне ковзати вниз після зупинки якщо $\varphi > 120^\circ$. Тому:

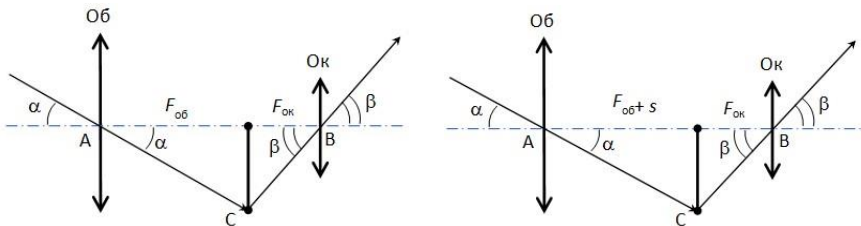
$$90^\circ < \varphi \leq 120^\circ \quad (6)$$

З умови початку ковзання у початковій точці маємо що $\alpha \geq \alpha_0 = 21,8^\circ$. Далі з рівняння (3) маємо $tg(\alpha) = \varphi \mu / \sin(\varphi)$. Підставимо кути для φ з (6), щоб знайти α . Ми можемо це зробити бо $\varphi / \sin(\varphi)$ зростає на відрізку $(90^\circ; 120^\circ)$. Маємо що $0,52 < tg\alpha < 0,8$, або $27^\circ < \alpha < 39^\circ$.

Задача 3. А) У телескопічній системі фокуси об'єктива та окуляра мають збігатися. Тому відстань між цими лінзами $F_{об} + F_{ок}$. Враховуючи малість кутів, отримуємо з рисунку кутове збільшення: $\Gamma = \frac{\beta}{\alpha} = \frac{F_{об}}{F_{ок}}$.

Тоді з умови впливає: $\Gamma_1 = \frac{F_{об}}{F_{1ок}} = 35$, $\Gamma_2 = \frac{F_{об}}{F_{2ок}} = 140$, $F_{2ок} - F_{1ок} = 15$ мм. Звідси $F_{2ок} = 5$ мм, $F_{1ок} = 20$ мм, $F_{об} = 700$ мм.

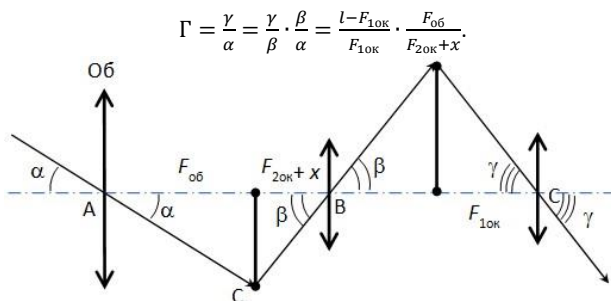
Б) Якщо об'єкт розташований на мінімально можливій для даного телескопа відстані r , то об'єкт дає зображення на відстані, що перевищує його фокусну відстань. Це зображення має бути в фокальній площині окуляра, щоб на виході отримати паралельний пучок світла.



Отже, треба тепер використати в якості окуляра лінзу, у якої $F_{2ок} = 5$ мм (тобто з найменшою фокусною відстанню), та відсунути її від об'єктиву на максимально можливу відстань $s = 15$ мм. Skorистаємося формулою тонкої лінзи: $\frac{1}{r} + \frac{1}{F_{об} + s} = \frac{1}{F_{об}}$.

Звідси $r = \frac{F_{об}(F_{об} + s)}{s} = 33,4$ м.

В) Тепер оптична система складається з трьох лінз. На об'єктив падає паралельний пучок світла, збирається в фокальній площині ($F_{об}$), заломлюється в лінзі $F_{2ок}$, дає зображення в фокальній площині $F_{1ок}$ і виходить із телескопа паралельним пучком. За умовою відстань $BC = l = 100$ мм і залишається незмінною. Кутове збільшення (див. рисунок):



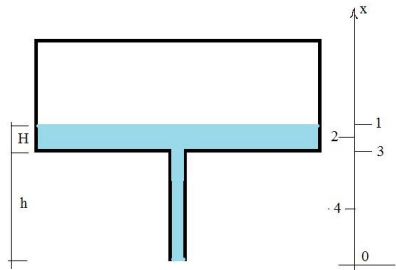
$$\Gamma = \frac{\gamma}{\alpha} = \frac{\gamma}{\beta} \cdot \frac{\beta}{\alpha} = \frac{l - F_{1ок}}{F_{1ок}} \cdot \frac{F_{об}}{F_{2ок} + x}$$

З рівняння лінзи $\frac{1}{F_{2ок} + x} + \frac{1}{l - F_{1ок}} = \frac{1}{F_{2ок}}$. Підставимо значення виразу $\frac{1}{F_{2ок} + x}$ в попереднє рівняння:

$$\Gamma = \frac{F_{об}(l - F_{1ок} - F_{2ок})}{F_{1ок}F_{2ок}} = 525$$

Легко переконатися, що поміняти місцями лінзи $F_{1ок}$, $F_{2ок}$ неможливо, бо доведеться перевищити максимально можливе зміщення $s = 15$ мм «окулярів».

Задача 4. А) З умов «переріз значно менший перерізу посудини», «об'єм трубки значно менший за початковий об'єм води в посудині» впливає, що час опорожнення посудини значно більший за час витікання води з трубки. З умови, $H \ll h$, слідує, що при витіканні води з верхньої посудини різниця висоти рівня води в посудині і нижнього краю трубки є практично незмінною. Тому швидкість витікання виявляється практично сталою. Для її знаходження можна використати рівняння Бернуллі для верхньої границі рідини в посудині (рівень 1) та нижнього отвору трубки (рівень 0). (що є аналогом закону збереження механічної енергії води). На обох рівнях тиск води дорівнює атмосферному. Також врахуємо, що внаслідок рівняння нерозривності потоку швидкість витікання води в посудині набагато менша за швидкість витікання води в трубці v . Оберемо за нуль потенціальної енергії нижній рівень трубки.



$$\rho g(h + H) + p_A = p_A + \frac{\rho v^2}{2}$$

Звідси, $v = \sqrt{2g(h + H)} \approx \sqrt{2gh}$. Це є формула Торрічеллі, яку, якщо пам'ятаєте, можна використати одразу.

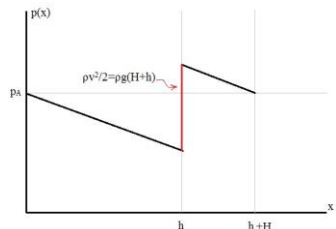
Тоді швидкість витікання в другому випадку (при збільшенні довжини трубки в три рази) збільшується в $\sqrt{3}$ відносно значення в початковому випадку. У випадку сталої швидкості об'єм води, що витекла з посудини, задається формулою: $V = v \cdot S \cdot t$, де S – площа поперечного перерізу трубки, t – час.

Тому загальний час витікання води в такій системі $t \sim \frac{1}{v} \sim \frac{1}{\sqrt{h}}$. Отже у другому випадку час витікання води з посудини менший за час в $\sqrt{3}$ разів.

Б) Встановимо початок вертикальної осі координат x на нижній отвір трубки (рівень 0). Для знаходження залежності тиску в воді від вертикальної координати запишемо рівняння Бернуллі для різних рівнів води (пам'ятаємо, що швидкість води в трубці – стала):

$$\rho g(h + H) + p_1 = p_2 + \rho g x = p_4 + \frac{\rho v^2}{2} + \rho g x = p_0 + \frac{\rho v^2}{2} \quad (1)$$

Тиск біля верхньої поверхні рідини в посудині $p_1 = p_A$ і зростає при зануренні вниз як наслідок першої рівності (1): $p_2 = p_A + \rho g(H + h - x)$ (для $h < x \leq H + h$). На нижньому отворі тиск $p_0 = p_A$ і при піднятті вгору тиск всередині трубки спадає, що є наслідком останньої рівності (1): $p_4 = p_A - \rho g x$ (для $0 \leq x < h$). Якщо підходити до точки 3 (дно посудини) з різних боків, то отримуємо, що на цій межі різниця тисків (в посудині і в трубці) відрізняється на $\frac{\rho v^2}{2} = \rho g(H + h)$. Тобто в «ідеальному отворі» спостерігається скачок тиску. Його наявність пов'язана з тим, що в цьому місці потоки деформуються і в дуже невеликій області швидкість рідини від дуже



маленької змінюється до швидкості води в трубі. Для цього необхідне існування різниці тисків, що й прискорює воду.

В) Перший спосіб: В трубі в даній задачі є два фізично різних напрямки вздовж трубки (y) та перпендикулярно (x). Будемо позначати одиниці виміру довжини вздовж трубки як m_y та одиниці виміру довжини поперек трубки як m_x . Запишемо розмірності величин.

$$[Q] = \left[\frac{V}{t} \right] = \frac{m_x^2 m_y}{c}, [\Delta p] = \left[\frac{F_{\text{вздовж}}}{S_{\text{поперечне}}} \right] = \frac{\text{кг} \frac{m_y}{c^2}}{m_x^2}, [r] = m_x, [L] = m_y$$

$$[\eta] = \left[\frac{F_{\text{вздовж}}}{S_{\text{вздовж}} \frac{\Delta v_{\text{вздовж}}}{\Delta x_{\text{поперече}}}} \right] = \frac{\text{кг} \frac{m_y}{c^2}}{m_y m_x \frac{m_y}{c * m_x}} = \frac{\text{кг}}{c * m_x}$$

Пояснимо останній вираз. Сила тертя, що сповільнює рух шарів спрямована вздовж трубки. Площина дотику шарів рідини, що гальмуються, також орієнтована вздовж трубки, тому дана площа виражається через $m_x m_y$, швидкість рідини – вздовж трубки, відстань між шарами – поперек трубки, очевидно. Отже, з вищенаведених величин з міркувань розмірності можна зібрати наступну комбінацію:

$$Q \sim \Delta p r^m \eta^n L^k \quad \text{і} \quad \frac{m_x^2 m_y}{c} = \left(\frac{\text{кг} \frac{m_y}{c^2}}{m_x^2} \right)^p m_x^m \left(\frac{\text{кг}}{c * m_x} \right)^n m_y^k = m_y^{p-n+k} m_x^{-2p+m} c^{-2p-n} \text{кг}^{p+n}$$

Звідси, після порівняння, отримуємо $k = -1, n = -1, p = 1, m = 4$. Отже, $Q \sim \frac{\Delta p r^4}{L \eta}$.

Це так звана формула Пуазейля для ламінарної течії в'язкої рідини через трубку. Другий спосіб. Можна помітити, якщо уявно розрізати трубку навпіл перпендикулярно її осі, то об'ємна витрата води через кожну половину, залишається одна й та сама. Так як довжина в два рази менше, то це компенсує також в 2 рази менша різниця тисків. Отже, Δp та l мають входити в рівняння лише в комбінації $\frac{\Delta p}{l}$.

В цьому випадку розділяти дві одиниці довжини не потрібно. За методом розмірності

$$Q \sim \left(\frac{\Delta p}{L} \right)^p r^m \eta^n \quad \text{і} \quad \frac{m^3}{c} = \left(\frac{\text{кг} \frac{m}{c^2}}{m^3} \right)^p m^m \left(\frac{\text{кг}}{c * m} \right)^n = m^{-2p+m-n} c^{-2p-n} \text{кг}^{p+n}$$

і подальшого порівняння, маємо $n = -1, p = 1, m = 4$.

11 клас

Задача 1. Для першого контуру (двигун) потужність яку постачає джерело витрачається на механічну потужність двигуна та теплові втрати на активному опорі: $P_1 = U \cdot I_1 = I_1^2 \cdot r + P_2$, де P_2 – механічна потужність двигуна, I_1 – струм у першому контурі.

Для другого контуру (генератор) потужність яку передає двигун витрачається на теплові втрати на активних опорах обмотки генератора та резисторі:

$P_2 = I_2^2 \cdot (r_2 + R)$, де I_2 – струм у другому контурі.

Разом: $U \cdot I_1 = I_1^2 \cdot r_1 + I_2^2 \cdot (r_2 + R)$ або $U = I_1 \cdot (r_1 + (r_2 + R) \cdot \frac{I_2^2}{I_1^2})$. З чого:

$$I_1 = \frac{U}{r_1 + (r_2 + R) \cdot \frac{I_2^2}{I_1^2}} \quad (1)$$

Принцип роботи двигуна та генератора на постійних магнітах подібний обертанню рамки у магнітному полі. Тому механічний момент двигуна пропорційний наступним величинам:

B – магнітній індукції магніту,
 I – силі струму через рамку (двигун),
 n – кількість витків котушки.

Оскільки механічний момент передається без втрат та конструкції двигуна та генератора однакові, то:

$$B_1 \cdot I_1 \cdot n_1 = B_2 \cdot I_2 \cdot n_2 \quad (2)$$

Для кожного з частинних випадків розглянемо останнє рівняння:

а. Оскільки B та n однакові у двигуні та генераторі, то $I_1 = I_2$.

$$\text{З першого рівняння у цьому разі } I_2 = I_1 = \frac{U}{r + (r+R) \cdot \frac{I_2^2}{I_1^2}} = \frac{U}{2r + R}$$

б. Оскільки $B_1 = 2 \cdot B_2$, то $I_2 = 2 \cdot I_1$.

$$\text{З першого рівняння у цьому разі } I_1 = \frac{U}{r + (r+R) \cdot \frac{I_2^2}{I_1^2}} = \frac{U}{5r + 4R}, I_2 = \frac{2U}{5r + 4R}$$

в. Оскільки у генераторі кількість витків зробили вдвічі меншою, то $n_1 = 2 \cdot n_2$ звідки $I_2 = 2 \cdot I_1$. Також зменшився вдвічі опір обмотки генератора $r_1 = 2 \cdot r_2$.

$$\text{З першого рівняння у цьому разі } I_1 = \frac{U}{r + 4 \cdot \frac{r}{2} + R} = \frac{U}{3r + 4R}, I_2 = \frac{2U}{3r + 4R}$$

Задача 2. А) Для того, щоб куля піднімалася вгору, необхідно, щоб сила Архімеда перевищувала силу тяжіння. Сила Архімеда пов'язана як з об'ємом V водню всередині, так і значно меншим об'ємом ΔV оболонки, знаряддя, герметичного модуля з людьми, всього того, що на відміну від водню, має більшу густину ніж густина ρ_n оточуючого повітря, і ця густина на відміну від ρ_n в процесі руху не змінюється.

$$\rho_n g V + \rho_n g \Delta V \geq m_H g + \Delta m g$$

Скористаємося рівнянням М-К і виразимо За умовою тиск водню всередині можна вважати однаковим з тиском ззовні. Це ж за умови теплової рівноваги має стосуватися і температури при достатньо повільному піднятті кулі вгору. Тоді з рівняння М-К відношення тиску до температури

$$\frac{P}{T} = \frac{\rho}{\mu} R = \text{Const}$$

у будь-який момент часу є однаковим для повітря ззовні і водню всередині кулі.

Отже $\rho_n = \rho_H \frac{\mu_n}{\mu_H}$ і нерівність набуває вигляду:

$$m_H \left(\frac{\mu_n}{\mu_H} - 1 \right) + \rho_n \Delta V \geq \Delta m$$

Проаналізуємо нерівність. Припустимо, що кількість водню у кулі не змінюють. Тоді за винятком густини повітря ρ_n , яка має зменшуватись з висотою, всі інші величини є сталими. Отже, ліва частина нерівності зменшуватиметься з підняттям кулі за рахунок зменшення ρ_n , що призведе до порушення нерівності. Якщо ж ще врахувати зменшення з висотою молярної маси повітря μ_n (більш важкі гази прагнуть до більш низьких положень, частково витісняючи більш легкі), це тільки підсилить наш висновок – при піднятті кулі, її слід підкачувати воднем, а під час спуску –

стравлювати водень в атмосферу або відкачувати у балон. Значимо, що ці зміни кількості водню не є великими, оскільки об'єм ΔV не великий у порівнянні з об'ємом V і, якщо б ми знехтували ΔV , як зазвичай роблять, прийшли б до висновку, що рівнодійна сил тяжіння й Архімеда спрямована вгору і є сталою у процесі руху.

В) Рівняння залежності температури від висоти на всіх дільницях лінійне і може бути записане у загальному вигляді $T = a + by$. З рис.2 знаходимо коефіцієнти a і b для всіх трьох дільниць підйому кулі:

$$1) a_1 = 15^\circ\text{C} = 288 \text{ K}, b_1 \approx -6,5 \frac{\text{K}}{\text{км}} = -6,5 \frac{^\circ\text{C}}{\text{км}} \text{ для } y \in [0 \text{ км}; 11 \text{ км}];$$

$$2) a_2 \approx -56,5^\circ\text{C} \approx 216,5 \text{ K}, b_2 = 0 \text{ для } y \in [11 \text{ км}; 20 \text{ км}];$$

$$3) a_3 \approx -36,5^\circ\text{C} \approx 196,5 \text{ K}, b_3 \approx 1 \frac{\text{K}}{\text{км}} = 1 \frac{^\circ\text{C}}{\text{км}} \text{ для } y \in [20 \text{ км}; 32 \text{ км}].$$

В) Для знаходження рівняння залежності тиску від висоти, розв'яжімо систему рівнянь

$$\begin{cases} P = \frac{\rho}{\mu} RT, \\ T = a + by, \\ dP = -\rho g dy, \end{cases}$$

де останнє рівняння – вираз для гідростатичного тиску, який з висотою зменшується, звідки й знак мінус. Це рівняння впливає з рівноваги у гідростатиці невеликого шару повітря або рідини під дією різниці тисків знизу й зверху, яка компенсує силу тяжіння, що діє на нього.

З другого рівняння системи підставимо T в перше, а з першого ρ у третє:

$$dP = -\frac{P\mu}{R(a+by)} g dy,$$

звідки

$$\frac{dP}{P} = -\frac{\mu g}{R} \frac{dy}{a+by}$$

Інтегруємо від P_0 на висоті y_0 до P на висоті y :

$$\int_{P_0}^P \frac{dP}{P} = -\frac{\mu g}{R} \int_{y_0}^y \frac{dy}{a+by} \rightarrow P = P_0 \left(\frac{a+by}{a+by_0} \right)^{-\frac{\mu g}{bR}}$$

Для другого випадку, коли $b = 0$, маємо ізотермічну атмосферу

$$P = P_0 e^{-\frac{\mu g}{aR}(y-y_0)}$$

Таким чином можна сказати, що тиск від висоти залежить за наступним виразом:

$$P(h) = \begin{cases} P_0 \left(\frac{a_1 + b_1 h}{a_1} \right), & h \in [0; 11 \text{ км}] \\ P(11\text{км}) \cdot e^{-\alpha \frac{h-11\text{км}}{216,5\text{км}}}, & h \in (11 \text{ км}; 20 \text{ км}] \\ P(20\text{км}) \cdot \left(\frac{a_3 + b_3 h}{a_3 + b_3 \cdot 20\text{км}} \right)^{-\frac{\alpha}{b_3}}, & h \in (20 \text{ км}; 30,48 \text{ км}] \end{cases}$$

де

$$\alpha = \frac{\mu g}{R} = \frac{29 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}} \cdot 9,81 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}}{8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}} \approx 34,2 \cdot 10^{-3} \frac{\text{К}}{\text{м}} = 34,2 \frac{\text{К}}{\text{км}}$$

Заради цікавості знайдемо тиск на висоті $y_1 = 11$ км позначимо як P_1 , на висоті $y_2 = 20$ км – як P_2 , а на максимальній висоті підйому $y_3 \approx 30,5$ км – як P_3 . На рівні моря ($y_0 = 0$) тиск за умовою $P_0 = 101,3$ кПа.

$$P_1 = P_0 \left(1 + \frac{b_1}{a_1} y_1\right)^{-\frac{\mu g}{b_1 R}}, \quad P_2 = P_1 e^{-\frac{\mu g}{a_2 R}(y_2 - y_1)}, \quad P_3 = P_2 \left(\frac{a_3 + b_3 y_3}{a_3 + b_3 y_2}\right)^{-\frac{\mu g}{b_3 R}}$$

Звідки

$$\frac{P_3}{P_0} = \left(\frac{1 + \frac{b_3}{a_3} y_3}{1 + \frac{b_3}{a_3} y_2}\right)^{-\frac{\mu g}{b_3 R}} e^{-\frac{\mu g}{a_2 R}(y_2 - y_1)} \left(1 + \frac{b_1}{a_1} y_1\right)^{-\frac{\mu g}{b_1 R}} \approx 0,0106$$

Оскільки атмосферний тиск обумовлений силою тяжіння, що діє на шари повітря, відношення тисків дорівнюватиме відношенню маси шару атмосферного повітря, розташованого вище 30,48 км до усієї маси атмосфери (змінюю прискорення вільного падіння з висотою нехтуємо). Отже, під рівнем 30,48 км за нашими розрахунками залишиться $(1 - \frac{P_3}{P_0}) \cdot 100\% \approx 99\%$ атмосфери.

Г) Закон заломлення світла отримується з припущення, що розповсюджуються хвилі. Отже, за аналогією зі світлом маємо такий самий закон заломлення для звукових хвиль:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = \frac{v_1}{v_2}$$

Якщо взяти стос плоскопаралельних пластин з різними показниками заломлення (таким стосом дуже тоненьких пластин можна змоделювати неперервну зміну показника заломлення, а отже і швидкості розповсюдження світла) і перемножити рівняння заломлення для кожної границі розділу, то після скорочення залишаться лише початкові і кінцеві значення:

$$\frac{\sin \alpha_0}{\sin \alpha} = \frac{v_0}{v}$$

Щоб промінь світла або звукова хвиля не пройшли далі, необхідний такий їх розворот, за якого напрямок розповсюдження стає горизонтальним, тобто, $\alpha = 90^\circ$. Отже, з урахуванням виразу середньої квадратичної швидкості для звукової хвилі маємо кут α_0 повного внутрішнього відбиття:

$$\sin \alpha_0 = \frac{v_0}{v} = \sqrt{\frac{T_0}{t}} = \cos \beta_0$$

де β_0 – кут між напрямком випромінювання звукової хвилі і горизонтом. З рівності зрозуміло, що $T > T_0$. Це означає, що процес повернення звуку назад до поверхні відбувається на висотах, де температура підвищується. Це з 20 км до 47 км і з 90 км до 105 км (далі можна вважати, що атмосфера Землі закінчилась). Повернення звукової хвилі, що рухалась під кутом вниз, відбувається на висотах з 11 км до 0 км і з 85 км до 51 км. Найбільш сприятлива для відповіді на питання ситуація, коли куля знаходилась у тропопаузі на висотах 11-20 км за температури $T_2 = 216,5$ К. Найбільшу температуру $T_{max} \approx 270,5$ К визначає ділянка підйому у момент, коли вона закінчується ізотермою. Отже

$$\beta_0 = \arccos \sqrt{\frac{T_2}{T_{max}}} = \arccos \sqrt{\frac{216,5}{270,5}} \approx 26,5^\circ$$

Якщо з висот від 11 км до 20 км звукова хвиля піде вгору під кутом $26,5^\circ$ до горизонту, вона підніметься до висоти 47 км, де набуде горизонтального напрямку і далі повертатиме назад вздовж деякої дуги до висоти 20 км, після чого рухатиметься прямолінійно під кутом $26,5^\circ$ до висоти 11 км, далі почне повертати вгору, розвертаючись на висоті приблизно 2,5 км і так далі. При кутах менших за $26,5^\circ$ амплітудний коридор відхилень хвилі буде меншим. Все це справедливо для стандартної моделі атмосфери.

Задача 3. Те, що опір двох кульок, які дотикаються, набагато більший, ніж однієї кульки, і те, що від взаємної орієнтації двох кульок він практично не залежить, говорить про те, що в цій задачі основний опір припадає саме на контакти, а не на кульки. За умовою він дорівнює R . Тепер розглянемо циліндр з кульками. Оскільки кульки добре струсили, означає, що їх упаковка близька до максимально щільної. При щільній упаковці кожна кулька (крім верхнього і нижнього шарів) дотикається до 6 кульок у своєму шарі, до 3 у нижньому шарі і до 3 – у верхньому. (На малюнку зображено варіант упаковки, в якому кульки третього шару розміщені над кульками першого шару. Можливий інший варіант, в якому вони розміщуються над порожнинами першого шару, але при цьому відстані між шарами по висоті і щільність упаковки не змінюються). Для розрахунку кількості кульок в циліндрі можна розрахувати щільність упаковки в шарі – коефіцієнт заповнення площі круга кульками і кількість шарів по вертикалі. Для цього врахуємо, що в кожному рівносторонньому трикутнику площею $\sqrt{3}a^2$, утвореному центрами сусідніх кульок, міститься по $\frac{1}{2}$ повної кульки (три сектори по $1/6$ кульки), тобто

$$N_s = \frac{1}{2} \cdot \frac{\pi b^2}{\sqrt{3}a^2}$$

$N_y = H \frac{\sqrt{6}}{4a}$ - кількість шарів, оскільки відстань між серединами сусідніх шарів по вертикалі визначається висотою $4a/16$ тетраедра, утвореного кульками, що контактують. Їх добуток визначає кількість кульок в циліндрі (нехтуючи крайовими ефектами):

$$N = N_s N_y = \frac{\pi b^2 H}{4\sqrt{2}a^3}$$

Цікаво знайти результуючу щільність упаковки (коефіцієнт заповнення об'єму циліндра кульками)

$$\frac{N \frac{4}{3} \pi a^3}{\pi b^2 H} = \frac{\pi}{3\sqrt{2}} \approx 0,74$$

(відомий результат, отриманий Кеплером). Очевидно, що потенціали у кожному шарі кульок практично однакові, і ці вузли-кульки з'єднані з кульками з нижнього шару трьома опорами-контактами і з кульками з верхнього шару трьома опорами-контактами. Тому, нехтуючи тепер опором контактів з кришкою і дном, повний опір представимо як послідовне з'єднання N_y шарів, в кожному з яких N_s кульок з'єднані трьома опорами з кульками з наступного шару. Загальний опір тоді дорівнює

$$R_3 \approx R \frac{N_y}{3N_s}$$

Знайдемо кількість кульок в одному шарі. Таким чином, отримаємо

$$R_3 \approx \frac{Ha\sqrt{2}}{2\pi b^2} R.$$

Як бачимо, результуючий опір і кількість кульок не пропорційні. Це можна пояснити якісно, враховуючи властивості паралельного і послідовного з'єднання опорів. Результуючий опір дасть можливість визначити іншу величину – радіус кульки.

Задача 4. А) Єдиний заряд у системі – це заряд Q , нанесений на оболонку, зовнішні електромагнітні поля відсутні, тому будь-яка сила електростатичної природи буде залежати лише від квадрату цього заряду. Таким чином, динаміка системи не чутлива до знаку заряду. При зникненні поверхневого натягу в системі залишаться лише сили, що прагнуть розширити оболонку: сила тиску газу і сила електростатичного відштовхування між зарядами, розподіленими по оболонці. Тому оболонка буде необмежено розширюватися поки не зруйнується. При цьому її прискорення буде поступово зменшуватися, бо обидві сили зменшуються зі зростанням радіусу оболонки. Якщо поверхневий натяг буде від'ємним, то сила поверхневого натягу стане третьою силою, що намагатиметься розширити оболонку. Отже, оболонка також буде необмежено розширюватися поки не зруйнується. При цьому прискорення оболонки буде постійно наростати, бо сила поверхневого натягу зростає зі збільшенням радіусу оболонки. Б) Нехай у деякий момент часу радіус оболонки r . На оболонку діють три сили: (а) сила поверхневого натягу (лапласівського тиску), що діє в напрямку до центру, прагнучи стиснути оболонку; (б) сила тиску з боку газу, спрямована назовні; (в) сила електростатичного тиску, який виникає за рахунок кулонівського відштовхування між елементарними зарядами, рівномірно розподіленими по поверхні сфери, теж спрямована назовні. Знайдемо кожен із цих тисків окремо:

Лапласівський тиск для сферичної поверхні

$$p_{\text{лапл}}(r) = \frac{2\sigma}{r} \quad (1)$$

Оскільки оболонка теплонепроникна, то газ усередині оболонки розширюється чи стискається адіабатно. Запишемо рівняння Пуассона для цього процесу:

$$pV^\gamma = p_0V_0^\gamma \quad (2)$$

де p_0 та V_0 – початкові тиск та об'єм газу, p та V – поточні значення тиску та об'єму, $\gamma = c_p/c_v$ – показник адіабати для газу, який за умовою дорівнює $4/3$.

Враховуючи, що об'єм кулі визначається за формулою $V = \frac{4\pi}{3} r^3$, а також те, що у початковий момент часу тиск газу був скомпенсований лапласівським тиском, тобто $p_0 = p_{\text{лапл}}(r_0) = 2\sigma/r_0$, перепишемо рівняння (2) у вигляді:

$$p \left(\frac{4\pi}{3}\right)^\gamma r^{3\gamma} = \frac{2\sigma}{r_0} \left(\frac{4\pi}{3}\right)^\gamma r_0^{3\gamma} \quad (3)$$

що дає змогу визначити тиск газу як функцію радіуса оболонки:

$$p_{\text{газ}}(r) = 2\sigma \frac{r_0^{3\gamma-1}}{r^{3\gamma}} = 2\sigma \frac{r_0^3}{r^4} \quad (4)$$

Електростатичний тиск всередині краплі знайдемо методом віртуальних переміщень. За умовою, оболонка ідеально провідна, тому заряд рівномірно розподілиться по її поверхні. Тобто можна розглядати оболонку як рівномірно заряджену сферу. Її потенціал дорівнює

$$\varphi = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r} \quad (5)$$

Розіб'ємо всю поверхню оболонки на малі частини, кожна з яких можна розглядати як точковий заряд. Енергія взаємодії системи точкових зарядів:

$$W = \frac{1}{2} \sum_i q_i \varphi_i \quad (6)$$

де q_i – i -й точковий заряд, φ_i – потенціал у місці знаходження i -го заряду, а множник $1/2$ враховує те, що в сумі (6) двічі врахована взаємодія між кожною парою точкових зарядів. Оскільки потенціал на поверхні провідника однаковий, то всі $\varphi_i = \varphi$, що дається формулою (5). Тому його можна винести за знак суми. Враховуючи, що $\sum_i q_i = Q$, маємо:

$$W = \frac{1}{2} Q \varphi = \frac{Q^2}{8\pi\epsilon_0 r} \quad (7)$$

Уявно дамо оболонці розширитись під дією лише (!) власного електростатичного тиску. При цьому її радіус зросте на $\Delta r \ll r$. При розширенні сила електростатичного тиску виконує роботу за рахунок зменшення потенціальної енергії оболонки:

$$\begin{aligned} A &= F \cdot \Delta r = p_{\text{ел}} \cdot 4\pi r^2 \cdot \Delta r, \\ \Delta W &= \frac{Q^2}{8\pi\epsilon_0 r} - \frac{Q^2}{8\pi\epsilon_0 (r + \Delta r)} \approx \frac{Q^2 \Delta r}{8\pi\epsilon_0 r^2}, \\ A &= \Delta W \Rightarrow p_{\text{ел}}(r) = \frac{Q^2}{32\pi^2 \epsilon_0 r^4} \quad (8) \end{aligned}$$

Бачимо, що тиск газу (4) і електростатичний тиск (8) мають однакове спрямування і однакову залежність від радіусу, тому вони однаково впливають на рух оболонки. Тепер можемо записати рівняння другого закону Ньютона для радіального руху елемента оболонки масою m у такому вигляді:

$$m a_r = -F_{\text{лапл}}(r) + F_{\text{газ}}(r) + F_{\text{ел}}(r),$$

де a_r – радіальне прискорення, а $F_{\text{лапл}}$, $F_{\text{газ}}$ та $F_{\text{ел}}$ позначають абсолютні значення сил лапласівського тиску, тиску газу і електростатичного тиску, відповідно.

$$M \frac{d^2 r}{dt^2} = -8\pi\sigma r + \left(8\pi\sigma_0^3 + \frac{Q^2}{8\pi\epsilon_0} \right) \cdot \frac{1}{r^2} \quad (9)$$

Якісний аналіз руху оболонки:

- Є дві протилежно спрямовані сили з різними залежностями від радіусу. Отже, можна знайти точку, де вони компенсують одна одну – положення рівноваги:

$$\begin{aligned} -8\pi\sigma_{\text{eq}} + \left(8\pi\sigma_0^3 + \frac{Q^2}{8\pi\epsilon_0} \right) \cdot \frac{1}{r_{\text{eq}}^2} &= 0, \\ r_{\text{eq}}^3 &= r_0^3 + \frac{Q^2}{64\pi^2 \epsilon_0 \sigma} \quad (10) \end{aligned}$$

- При зміщенні з цього положення рівноваги у напрямку до центру (стисненні оболонки) сила лапласівського тиску зменшується, а сила тиску газу і електростатичного відштовхування навпаки зростає, тому результуюча сила буде спрямована від центру, тобто назад до положення рівноваги.
- При зміщенні з положення рівноваги (10) у напрямку від центру (розширенні оболонки) ситуація протилежна: сила лапласівського тиску росте, а сила тиску газу та електростатичного відштовхування зменшується, тому результуюча сила спрямована до центру, тобто повертає оболонку назад до положення рівноваги.

- При намаганні зменшити радіус оболонки до нуля або збільшити його до нескінченності сила протидії необмежено зростає, тому рух оболонки обмежений у просторі.
- При виведенні оболонки з положення рівноваги (10) результуюча сила завжди спрямовує оболонку назад до положення рівноваги. Але в положенні рівноваги швидкість оболонки вже є ненульовою, тому вона пролітає цю точку за інерцією і знову виходить з положення рівноваги. Оскільки в системі немає дисипації енергії і тепловтрат, повна енергія зберігається, а тому оболонка буде знову і знову пролітати положення рівноваги то в одному, то в іншому напрямку. Таким чином, рух оболонки періодичний. Але ці коливання не є гармонічними, бо другий доданок у правій частині рівняння руху (9) не є лінійним за радіусом.

В) Отже, рух оболонки є періодичним і нам потрібно знайти період та амплітуду малих коливань. До нанесення заряду оболонка була нерухома і мала радіус r_0 . Після нанесення заряду Q з'являється нове положення рівноваги r_{eq} , задане рівнянням (10). Вважатимемо, що r_0 та r_{eq} близькі одне до одного, щоб коливання можна було вважати малими. Означимо відхилення від положення рівноваги

$$x = r - r_{eq} \quad (11)$$

і розкладемо праву частину рівняння (9), вважаючи $x \ll r_{eq}$. При цьому

$$\frac{1}{r^2} = \frac{1}{(r_{eq} + x)^2} = \frac{1}{r_{eq}^2 \left(1 + \frac{x}{r_{eq}}\right)^2} = \frac{1}{r_{eq}^2} \left(1 + \frac{x}{r_{eq}}\right)^{-2} \approx \frac{1}{r_{eq}^2} \left(1 - \frac{2x}{r_{eq}}\right) \quad (12)$$

де використано співвідношення

$$(1 + y)^\alpha \approx 1 + \alpha y \quad \text{за умови } y \ll 1$$

З урахуванням (10) і (12) рівняння (9) набуде вигляду

$$\begin{aligned} \frac{d^2x}{dt^2} &= -\frac{8\pi\sigma}{M} \left(r - \frac{r_{eq}^3}{r^2}\right) \approx -\frac{8\pi\sigma}{M} (r_{eq} + x - r_{eq} + 2x), \\ \frac{d^2x}{dt^2} + \frac{24\pi\sigma}{M} x &= 0 \quad (13) \end{aligned}$$

Це рівняння гармонічних коливань з циклічною частотою

$$\omega = \sqrt{\frac{24\pi\sigma}{M}} \quad (14)$$

Тоді період малих коливань дорівнює

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \sqrt{\frac{\pi M}{6\sigma}} \quad (15)$$

Зазначимо, що цей же результат можна було отримати і з енергетичних міркувань. Дійсно, повну енергію оболонки з газом можна отримати, якщо домножити рівняння (9) на dr/dt і виділити повну похідну по часу. Тоді отримаємо

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \left[\frac{1}{2} M \left(\frac{dr}{dt}\right)^2 + \sigma \cdot 4\pi r^2 + \left(8\pi\sigma r_0^3 + \frac{Q^2}{8\pi\epsilon_0}\right) \frac{1}{r} \right] &= 0 \\ E = \frac{1}{2} M \left(\frac{dr}{dt}\right)^2 + \sigma \cdot 4\pi r^2 + \left(8\pi\sigma r_0^3 + \frac{Q^2}{8\pi\epsilon_0}\right) \frac{1}{r} &= 12\pi\sigma r_0^2 + \frac{Q^2}{8\pi\epsilon_0 r_0} = const \quad (16) \end{aligned}$$

Тут перший доданок – кінетична енергія оболонки, другий – поверхнева енергія, третій і четвертий – внутрішня енергія газу та електростатична енергія зарядів на

оболонці. Якщо підставити у цей вираз $r = r_{eq} + x$ і розкласти його до другого порядку за x , отримаємо

$$E = \frac{1}{2} M \left(\frac{dx}{dt} \right)^2 + 12\pi\sigma x^2 + 12\pi\sigma r_{eq}^2 \quad (17)$$

Порівнюючи цей вираз з енергією пружинного маятника, бачимо, що ефективна жорсткість пружини $k = 24\pi\sigma$ і циклічна частота має вигляд (14), а період – (15). Амплітуда малих коливань визначається початковими умовами, адже в початковий момент часу оболонка мала нульову швидкість, що відповідає максимальному відхиленню від положення рівноваги. Тоді амплітуда дорівнює

$$\begin{aligned} x_{max} = r_{eq} - r_0 &= \sqrt[3]{r_0^3 + \frac{Q^2}{64\pi^2\varepsilon_0\sigma}} - r_0 = r_0 \left(1 + \frac{Q^2}{64\pi^2\varepsilon_0\sigma r_0^3} \right)^{\frac{1}{3}} - r_0 \approx \\ &\approx r_0 \left(1 + \frac{Q^2}{192\pi^2\varepsilon_0\sigma r_0^3} \right) - r_0 = \frac{Q^2}{192\pi^2\varepsilon_0\sigma r_0^2} \quad (18) \end{aligned}$$

Знайдемо тепер умову, за якої розглянуті коливання будуть дійсно малими. Вона полягає в тому, що амплітуда коливань має бути значно менша за радіус оболонки у рівноважному положенні r_{eq} або, еквівалентно, за r_0 :

$$\begin{aligned} x_{max} &\approx \frac{Q^2}{192\pi^2\varepsilon_0\sigma r_0^2} \ll r_0, \\ Q &\ll \sqrt{192\pi^2\varepsilon_0\sigma r_0^3} \quad (19) \end{aligned}$$

Таким чином, маємо обмеження на заряд оболонки.

Г) До цього ми увесь час вважали, що газ всередині оболонки є однорідним, тобто в будь-який момент часу його тиск в усіх точках однаковий. Так можна вважати лише тоді, коли протягом одного періоду коливань звук всередині газу встигне багато разів пройти через весь об'єм газу. Дійсно, саме швидкість звуку характеризує наскільки швидко відбувається поширення інформації про зміну стану системи у середовищі. Тому щоб формула для тиску газу (4) і рівняння руху (9) були справедливими у будь-який момент під час коливань оболонки, потрібно виконати умову:

$$c_s T \gg r_0 \quad (20)$$

Умова (20) з урахуванням (15) запишеться як

$$\begin{aligned} c_s \sqrt{\frac{\pi M}{6\sigma}} &\gg r_0, \\ M &\gg \frac{6\sigma r_0^2}{\pi c_s^2} \quad (21) \end{aligned}$$

що дає шукану умову на масу оболонки. Якщо цю умову не виконано, газ не встигатиме змінювати свої параметри синхронно з оболонкою. Внаслідок цього можливі наступні явища:

- Виникнення радіального розподілу густини газу за рахунок стоячих звукових хвиль, виникнення приповерхневого шару, розподіл може бути навіть нестационарним
- Зміщення рівноважного положення оболонки за рахунок тиску в приповерхневому шарі, що не визначається рівнянням (4)

- Навіть малі коливання будуть не гармонічними: при стисненні оболонки вона «згрібає» газ і відчуває більший опір, при розширенні газ відстає від оболонки і вона відчуває менший тиск. Тому крива коливання буде не симетричною.

Примітки: * У формулі (1) може бути 4σ замість 2σ з відповідним обґрунтуванням, що враховано наявність в оболонки двох поверхонь, а σ – поверхневий натяг однієї з них; тоді в усіх подальших рівняннях має бути $\sigma \rightarrow 2\sigma$.

** Бали нараховуються тільки за один правильний шлях розв'язання – динамічний чи енергетичний.

І н ф о р м а ц і й н е в и д а н н я

Міністерство освіти і науки України
Львівський фізико-математичний ліцей-інтернат
при Львівському національному університеті
імені Івана Франка

ВСЕУКРАЇНСЬКИЙ ФІЗИЧНИЙ КОНКУРС “ЛЕВЕНЯ–2025”

Інформаційний вісник

Упорядник **Петрунів Микола Іванович**

Редактор і коректор **Владислав Ляшко, Владислав Ткачук**

Підписано до друку з готових діапозитивів 12.11.2025.

Формат 60 x 84 1/16. Папір офсет. Гарнітура Times.

Друк офсетний. Умов. друк. арк 3,72.

Обл.- вид. арк. 4,п. Наклад 5000 прим.

Видавництво “Каменяр”, 79008, Львів, Підвальна, 3.

Свідоцтво Держ. реєстру: серія ДК, № 462.

Ел. адреса: vud@kamenyar.com.ua

Віддруковано ТЗОВ “Видавничий Дім ІНБУК”

79070 Львів, Г. Хоткевича, 14/117

Всеукраїнський фізичний конкурс «Левеня – 2025» [текст]:

B85 Інформаційний вісник/ Упорядник М.І.Петрунів ; Міністерство освіти і науки України; Львівський фізико-математичний ліцей-інтернат при Львівському національному університеті ім. І. Франка. – Львів: Каменяр, 2025. – 99 с: іл.

ISBN 978-966-607-591-2

Інформаційний вісник підготовлено оргкомітетом за підсумками Всеукраїнського фізичного конкурсу «Левеня–2025» – як один з призів учасникам цього творчого змагання. У виданні відображено результати конкурсу, вміщено статистичний звіт про нього. Вісник допоможе вчителям, учням та їх батькам у підготовці до наступного конкурсу, державної підсумкової атестації і незалежного тестування з фізики. Друга частина книжки адресована переможцям конкурсу, сподіваючись, що зібрані в ній матеріали будуть корисними для учнів, які цікавляться різними видами інтелектуальних змагань (олімпіади, конкурси, турніри) з фізики, та для вчителів, які їх готуватимуть.

УДК 372.853