

*Міністерство освіти і науки України*

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

**ВСЕУКРАЇНСЬКИЙ  
ФІЗИЧНИЙ  
КОНКУРС  
„ЛЕВЕНЯ – 2021”**

*Інформаційний вісник*



Львів  
Каменяр  
2021

*Інформаційний вісник підготовлено оргкомітетом за підсумками Всеукраїнського фізичного конкурсу «Левеня–2020» – 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 – 2021”:

***Микола Петрунів, Борис Кремінський,  
Володимир Дзюбанський  
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](mailto: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 Буряк, Орест Лучків**

Чого б ти не навчався, ти навчався для себе.  
Петроній

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

З 2 по 7 квітня 2021 року, згідно з наказом Міністерства освіти і науки України № 553 від 07.05.2012 року, відбувся XX Всеукраїнський фізичний конкурс “Левеня-2021”.

Незважаючи на складну військово-політичну ситуацію на сході України, у конкурсі взяли участь **20 011** учасників з **1 126** шкіл України. Відмінні сертифікати отримали **2 501**, добрі – **7 503** конкурсантів. За цим стоїть велика організаційна робота координаторів, яким ми хочемо висловити вдячність за підтримку та поширення ідей конкурсу.

| Область                 | 2016          | 2017          | 2018          | 2019          | 2020         | 2021  |
|-------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|--------------|-------|
| АР Крим                 | –             | –             | –             | –             | –            | –     |
| м. Севастополь          | –             | –             | –             | –             | –            | –     |
| Вінницька               | 4 550         | 4 564         | 4 027         | 2 750         | 2 200        | 170   |
| Волинська               | 2 676         | 2 410         | 2 469         | 1 836         | 1 584        | 536   |
| Дніпропетровська        | 11 310        | 11 114        | 10 187        | 8 599         | 8 320        | 3 262 |
| Донецька                | 3 296         | 2 779         | 3 296         | 2 638         | 2 062        | 493   |
| Закарпатська            | 3 427         | 2 543         | 2 291         | 1 974         | 1 332        | 505   |
| Житомирська             | 5 566         | 5 422         | 5 207         | 4 716         | 3 946        | 189   |
| Запорізька              | 5 248         | 4 681         | 3 899         | 3 328         | 2 997        | 1 017 |
| Івано-Франківська       | 1 221         | 1 237         | 1 541         | 935           | 719          | 297   |
| м. Київ                 | 969           | 1 098         | 930           | 765           | 807          | 934   |
| Київська                | 2 696         | 2 702         | 2 783         | 2 222         | 1 959        | 766   |
| Кіровоградська          | 2 701         | 2 543         | 2 509         | 1 615         | 1 086        | 691   |
| Луганська               | 1 302         | 1 063         | 1 063         | 1 293         | 748          | 196   |
| Львівська               | 9 386         | 8 847         | 8 928         | 7 346         | 4 163        | 2 648 |
| Миколаївська            | 3 235         | 3 362         | 3 063         | 2 456         | 1 944        | 382   |
| Одеська                 | 1 742         | 1 928         | 2 011         | 1 719         | 1 454        | 677   |
| Полтавська              | 5 843         | 5 528         | 4 757         | 4 650         | 3 731        | 1 837 |
| Рівненська              | 4 651         | 4 233         | 4 800         | 4 444         | 1 097        | 393   |
| Сумська                 | 5 597         | 5 293         | 5 534         | 4 948         | 4 566        | 1 817 |
| Тернопільська           | 2 543         | 2 306         | 2 323         | 1 696         | 1 310        | 420   |
| Харківська              | 6 846         | 5 235         | 4 725         | 4 227         | 2 973        | 1 005 |
| Херсонська              | 2 162         | 1 665         | 1 976         | 1 700         | 1 614        | 1 008 |
| Хмельницька             | 3 568         | 3 237         | 2 208         | 2 180         | 1 558        | 718   |
| Черкаська               | 3 085         | 2 840         | 2 491         | 1 611         | 1 300        | 725   |
| Чернівецька             | 2 147         | 2 541         | 2 463         | 2 647         | 2 004        | 474   |
| Чернігівська            | 925           | 514           | 658           | 473           | 487          | 276   |
| <b>Усього учасників</b> | <b>96 692</b> | <b>89 685</b> | <b>86 139</b> | <b>72 768</b> | <b>35915</b> |       |

Активними пропагандистами конкурсу в своїх областях стали:

**Анатолій Петрович Блащук** – Вінницька обл.,  
**Олена Федорівна Бурбела** – Волинська обл.,  
**Тетяна Віталіївна Потапова** – Дніпропетровська обл.,  
**Олена Іванівна Боненко** – м. Маріуполь, Донецька обл.,  
**Оксана Миколаївна Омельченко** – м. Слов'янськ, Донецька обл.,  
**Людмила Іванівна Гайналій** – Закарпатська обл.,  
**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.,  
**Андрій Анатолійович Дробін** – Кіровоградська обл.,  
**Віталій Вікторович Гончаров** – Луганська обл.,  
**Галина Степанівна Коваль** – м. Львів,  
**Зоряна Юрївна Максимович** – Львівська обл.,  
**Олена Володимирівна Ліскович** – Миколаївська обл.,  
**Ольга Володимирівна Кривицька** – м. Одеса, Одеська обл.,  
**Олег Володимирович Кучеренко** – Полтавська обл.,  
**Анатолій Борисович Трофімчук** – Рівненська обл.,  
**Валентина Семенівна Лабудько** – Сумська обл.,  
**Світлана Геннадіївна Федченко** – Харківська обл.,  
**Оксана Миколаївна Ципцюк** – Херсонська обл.,  
**Віктор Володимирович Гудзь** – Хмельницька обл.,  
**Алла Миколаївна Северинова** – Черкаська обл.,  
**Віталій Костянтинович Борча** – Чернівецька обл.,  
**Людмила Миколаївна Ремидовська** – Чернігівська обл.

Завдяки їхній праці в областях створено розгалужену мережу координаційних центрів конкурсу, які очолили методисти.

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 підсумкової державної атестації, 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 **16 - 19 березня 2022 року**.

Умови конкурсу на сайті <http://levenia.com.ua>  
або за тел.: **(096) 891 41 07, (099) 622 98 86, (063) 656 13 07.**

Електронна адреса конкурсу: [levenia.lviv@gmail.com](mailto:levenia.lviv@gmail.com).

# УМОВИ ЗАДАЧ ВСЕУКРАЇНСЬКОГО ФІЗИЧНОГО КОНКУРСУ “ЛЕВЕНЯ – 2021”

Любий друже! Перед тим, як приступити до розв’язування задач, пам’ятай:

- за кожну задачу можна отримати від трьох до п’яти балів;
- за неправильну відповідь знімається 25 % від кількості балів, передбачених за правильну відповідь;
- на старті ти отримуєш авансом 30 балів;
- серед запропонованих варіантів відповідей є лише один правильний;
- користуватися калькулятором дозволено;
- категорично заборонено користуватися фізичними довідниками чи іншою допоміжною літературою;
- термін виконання завдань – 75 хв.

Будь уважний! Тобі під силу віднайти всі правильні відповіді!

Часу обмаль, тож поспішай! Бажаємо успіху!

## 7 К Л А С

### Завдання 1 – 10 оцінюються трьома балами.

1. Об’єм тіла неправильної форми неможливо визначити за допомогою:

А: лінійки;

Б: мірної склянки;

В: вимірювального циліндра;

Г: зливальної посудини.

2. До звукових явищ належить наступне:

А: підняття повітряної кульки;  
якому протікає електричний струм;

Б: свист;

В: нагрівання провідника, по

Г: полярне сьйво

3. Вентилятор мікропроцесора персонального комп’ютера здійснює  $10^6$  обертів за 20 хв. Яким є період (в мкс) обертання лопастей вентилятора?

А: 1 200 мкс;    Б: 1 500 мкс;    В: 120 мкс;    Г: 25 мкс;    Д: 1600 мкс



4. Закон Гука подається формулою:

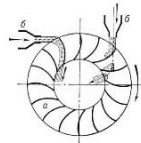
А:  $F_x = -k\Delta x$ ;

Б:  $F = \mu N$ ;

В:  $\vec{F} = m\vec{a}$ ;

Г:  $F = \frac{Gm_1m_2}{R^2}$ ;

Д:  $F = \rho g V$ .

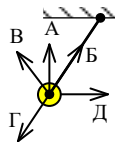


5. Швидкості води на вході ( $v_{вх}$ ) та на виході ( $v_{вих}$ ) із гідротурбіни (вид.зверху) пов’язані співвідношенням:

А:  $v_{вх} > v_{вих}$ ;

Б:  $v_{вх} < v_{вих}$ ;

В:  $v_{вх} = v_{вих}$ .



6. На міцному стрижні, жорстко закріпленому в стелі, поміщено кулю. Вкажіть правильний напрям сили пружності, що діє на кулю.

7. Мильна бульбашка і сталеву кулю мають рівні об’єми. Порівняйте сили Архімеда, що діють на них з боку повітря:

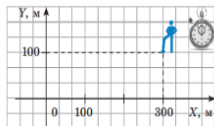
А: на мильну бульбашку більша;    Б: на сталеву кулю більша;

В: сили рівні;    Г: відповідь залежить від температури тіл;    Д: відповісти неможливо.

8. Визначте координати (х та у) футболіста на футбольному полі в даний момент часу.

А:  $x=200$  м;  $y=100$  м; Б:  $x=100$  м;  $y=300$  м;

В:  $x=200$  м;  $y=10$  м; Г:  $x=300$  м;  $y=100$  м.



9. Довжина хвилі в першому середовищі 2м, а при переході у друге середовище стає рівною 3м. Частоти коливань цих хвиль у даних середовищах ( $v_1$  та  $v_2$ ) пов'язані співвідношенням:

А:  $v_1=6 v_2$ ; Б:  $v_2=6 v_1$ ; В:  $v_1=1,5 v_2$ ; Г:  $v_2=1,5 v_1$ ; Д:  $v_1 = v_2$ .

10. Якій фізичній величині відповідає вираз:  $\frac{Fvt m}{AV}$ , де:  $F$  – сила;  $v$  – швидкість;

$t$  – час;  $m$  – маса;  $A$  – робота;  $V$  – об'єм?

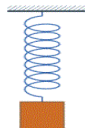
А: силі; Б: роботі; В: масі; Г: густині; Д: тиску.

### Завдання 11 – 20 оцінюються чотирма балами

11. Як зміниться частота коливань пружинного маятника, якщо :

1) збільшити жорсткість пружини; 2) збільшити масу маятника; 3) перенести маятник з Землі на Місяць (↑ - збільшиться, ↓ - зменшиться, ↔ - не зміниться).

А: ↑, ↓, ↔ Б: ↑, ↑, ↓ В: ↓, ↑, ↔ Г: ↓, ↔, ↔, Д: ↑, ↓, ↑.



12. Швидкість дифузії зменшується у наступному порядку :

А: тепла вода – водяна пара – холодна вода – лід;

Б: водяна пара – тепла вода – холодна вода – лід;

В: холодна вода – лід – тепла вода – водяна пара;

Г: лід – холодна вода – тепла вода – водяна пара.

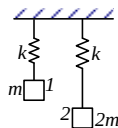
13. До двох однакових пружин  $k$  причепили два тіла (перше –  $m$ , друге –  $2m$ ). Порівняйте потенціальні енергії пружин.

А:  $E_2/E_1 = 0,5$ ;

Б:  $E_2/E_1 = 1$ ;

В:  $E_2/E_1 = 2$ ;

Г:  $E_2/E_1 = 4$ ; Д:  $E_2/E_1 = 8$ .



14. З суцільної квадратної пластини вирізали дві однакові частини. Маса утвореної фігури стала рівною 490 г. Якою була початкова маса пластинки?

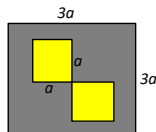
А: 180 г;

Б: 630 г;

В: 540 г;

Г: 600 г;

Д: 500 г.

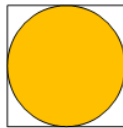


15. Відмінність між гарячою і холодною водою полягає у наступному:

А: розміри молекул гарячої води більші, ніж розміри молекул холодної; Б: розміри молекул холодної води більші, ніж розміри молекул гарячої; В: швидкість руху молекул гарячої води більша, ніж молекул холодної; Г: швидкість руху молекул холодної води більша, ніж молекул гарячої.

16. Група складається з чотирьох осіб, що вирушають з одного місця одночасно на різних транспортних засобах. Вчитель фізики рухається з швидкістю **54 км/год**, школярі: Роман – **5 м/с** і Оксана – **36 км/год**, а от Левенятко – **2 м/с**. Знайдіть довжину колони через 3 с при рівномірному прямолінійному русі кожного.

А: 39 м;      Б: 100 м;      В: 96 м;      Г: 50 м;      Д: 2 км.

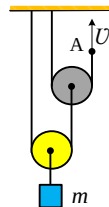


17. Який найбільший радіус може мати куля, щоб поміститися в коробку, яка має форму куба, об'єм якого  $64 \text{ см}^3$ ?

А: 1 см;      Б: 2 см;      В: 2,5 см;      Г: 3 см;      Д: неможливо розрахувати

18. Точка А рухається з швидкістю  $v_A = v$ . З якою швидкістю рухається тіло  $m$ ?

А:  $4v$ ;      Б:  $2v$ ;      В:  $v$ ;      Г:  $\frac{v}{4}$ ;      Д:  $\frac{v}{2}$ .



19. Камертон має власну частоту коливань 440 Гц. Якої частоти потрібно взяти другий камертон, щоб спостерігати явище резонансу?

А: 400 Гц;      Б: 300 Гц;      В: 440 Гц;      Г: 40 Гц;      Д: 220 Гц.

20. Що легше: 1) утримувати санки на схилі гори, чи 2) рухати їх вгору рівномірно?

А: 1;      Б: 2;      В: однаково

### Завдання 21 – 30 оцінюються п'ятьма балами

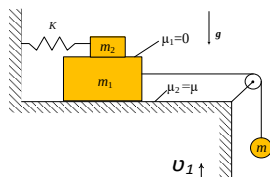
21. Півтори години хлопчик їхав на велосипеді зі швидкістю 20 км/год. Потім велосипед зламався, й останній кілометр шляху хлопчик подолав пішки. Якою була середня швидкість руху хлопчика на всьому шляху, якщо пішки він ішов півгодини?

А: 15 км/год;      Б: 15,5 км/год;      В: 20 км/год;      Г: 20,5 км/год;      Д: 10 км/год.

22. Тіло якої маси треба причепити до нитки ( $m$ -?), щоб тіло  $m_1$  рухалось рівномірно? Яке при цьому видовження пружини?

А:  $\mu(m_1 + m_2), 0$ ;      Б:  $\frac{(m_1 + m_2)}{\mu}, \frac{m_2 g}{k}$ ;      В:  $\mu m_1, \frac{m_1 + m_2}{k} g$ ;

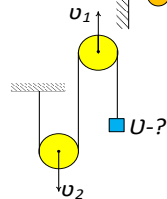
Г:  $m_1 + m_2, 0$ .



23. Знайти швидкість кубика в системі, зображеній на малюнку.

Нитка нерозтяжна. ( $v_1 = v$ ,  $v_2 = 2v$ ).

А:  $6v$ ;      Б:  $2v$ ;      В:  $3v$ ;      Г:  $4v$ ;      Д: 0.



24. Система тіл, зображених на малюнку, рухається рівномірно. Яким є коефіцієнт тертя між тілом ( $m_3$ ) та горизонтальною площиною, якщо:  $m_1 = 2 \text{ кг}$ ,  $m_2 = 4 \text{ кг}$ ,  $m_3 = 9 \text{ кг}$ ?

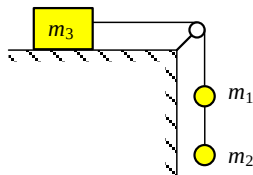
А:  $2/3$ ;

Б:  $1/3$ ;

В:  $1/2$ ;

Г:  $4/9$ ;

Д:  $3/4$ .

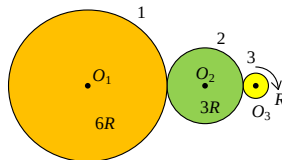


25. Дві маленькі однакові кульки, маси яких  $m$  та  $2m$ , з'єднали довгою ниткою і відпустили з високої гори. Яким буде натяг (сила пружності) нитки при падінні кульок у повітрі через достатньо великий проміжок часу?  $g$  – прискорення вільного падіння.

А:  $mg/2$ ; Б: 0; В:  $mg$ ; Г:  $3mg/2$ .

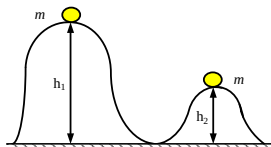
26. Три зубчатих колеса привели в контакт. Третє колесо  $R$  зробило шість обертів навколо осі  $O_3$ . Скільки обертів зробило перше колесо  $6R$  навколо осі  $O_1$ ?

А: 1; Б: 2; В: 5; Г: 6.



27. Тіло масою 1 кг скотилось з гірки висотою  $h_1 = 5$  м та піднялось на другу гірку висотою  $h_2 = 3$  м і зупинилось. Яку роботу при цьому виконала сила тертя?

А: 30 Дж; Б: 20 Дж; В: -20 Дж;  
Г: -30 Дж; Д: 2 Дж.



28. Порожню закриту пляшку (з плоским дном) занурюють у воду спочатку горлечком донизу (1), а потім вгору (2) на однакову глибину, рівну половині висоти пляшки. У якому випадку потрібно виконати більшу роботу?

А: 1; Б: 2; В: однакову; Г: неможливо відповісти.

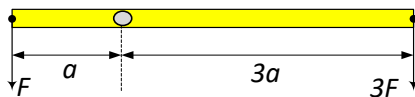


29. Тіла зважують на Місяці, Марсі та Землі. Пружинні ваги показують однакову вагу. Чи однакові маси тіл, що зважуються? ( $g_{\text{Місяця}} < g_{\text{Марса}} < g_{\text{Землі}}$ )

А: так, однакові; Б: ні, на Землі маса найбільша; В: ні, на Землі маса найменша; Г: ні, на Марсі маса тіла найменша; Д: порівняти неможливо.

30. Важіль щільно насаджено на вісь, що має форму циліндра радіуса  $R$ . До кінця важеля прикладено сили  $F$  та  $3F$ . Система перебуває в рівновазі. Знайдіть момент сили тертя, що діє на важіль.

А:  $8Fa$ ; Б:  $10Fa$ ; В:  $9Fa$ ; Г:  $6Fa$ .



## 8 К Л А С

### Завдання 1 – 10 оцінюються трьома балами

1. Дві заряджені кулі (1 – металева, 2 – діелектрик) заземлили (з'єднали з землею). У якому випадку вдалось “відвести” заряд у землю?

А: в жодному випадку; Б: у 1; В: у 2; Г: в обох випадках.

2. До дрібних клаптиків паперу наближають заряджений пластмасовий гребінець (1) та пластини зарядженого конденсатора (2). У якому з цих випадків клаптики паперу почнуть притягуватись до заряджених тіл? У випадку (1) – електричне поле неоднорідне, а у випадку (2) – однорідне.

А: у 1; Б: у 2; В: у двох випадках; Г: в жодному.



**3. Неправильним є наступне твердження:**

**А:** Запах у приміщенні поширюється швидко, хоча швидкості самих молекул не дуже великі; **Б:** дифузія протікає швидше в теплій воді, ніж у холодній; **В:** сили притягання молекул можуть зрівноважитись силами їх відштовхування; **Г:** броунівський рух продовжується необмежено довго.

**4. Використовуючи коробку передач, водій авто для збільшення сили тяги автомобіля:**

**А:** зменшує швидкість обертання ведучих колес; **Б:** збільшує швидкість обертання ведучих колес; **В:** збільшує потужність автомобіля; **Г:** зменшує потужність автомобіля; **Д:** серед відповідей А – Г немає правильної.

**5. Деякі тварини в холодну погоду сплять, згорнувшись клубком.**

**Це допомагає:**

- А:** збільшити теплообмін з навколишнім середовищем;  
**Б:** зменшити теплообмін з навколишнім середовищем;  
**В:** зменшити вологість повітря;  
**Г:** збільшити середню густину тіла.



**6. Дано чотири твердження:** 1 – розміри частинок дуже малі, 2 – всі речовини мають дискретну будову, 3 – частинки, з яких складаються речовини, перебувають у хаотичному русі, 4 – між частинками речовини існують проміжки. До основних положень про будову речовини належать наступні твердження:

**А:** 1 і 2

**Б:** 2 і 3

**В:** 3 і 4

**Г:** 1, 2 і 3

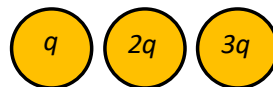
**7. Який заряд буде “накопичений” на другій кулці після того, як усі три однакові кульки попарно з’єднають довгими провідними нитками?**

**А:** 2q;

**Б:** q/2;

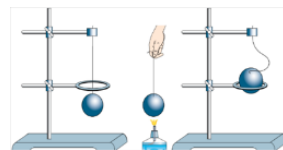
**В:** q;

**Г:** 3q.



**8. Металева куля не проходить через металеве кільце, якщо її нагріти. Чи зможе пройти куля крізь кільце, якщо нагрівати не кульку, а кільце?**

**А:** так; **Б:** ні; **В:** залежить від температури навколишнього середовища.



**9. Який об’єм займає машинне масло в каністрі, якщо при нагріванні його на 5 °С, поглинається така ж кількість тепла, яка необхідна для нагрівання 5 кг води на 1,8 °С?  $\rho_{\text{масла}} = 900 \text{ кг/м}^3$ ;  $c_{\text{масла}} = 1670 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{°С)}$ .**

**А:** 4 л;

**Б:** 3 л;

**В:** 5 л;

**Г:** 6л;

**Д:** 7 л.



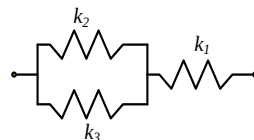
**10. Визначити коефіцієнт пружності системи пружин, зображених на малюнку.**

**А:**  $\frac{k_1 + k_2 k_3}{k_2 + k_3}$ ;

**Б:**  $k_1 + k_2 + k_3$ ;

**В:**  $\frac{k_1(k_2 + k_3)}{k_1 + k_2 + k_3}$ ;

**Г:**  $\frac{2k_1}{k_2 + k_3}$ .



### Завдання 11 – 20 оцінюються чотирма балами

11. Щоб якомога швидше охолодити воду в каструлі потрібно:  
1) її поставити на лід; 2) лід потрібно поставити зверху на кришку.

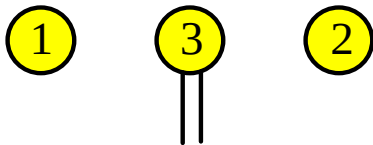
А: 1;                      Б: 2;                      В: однаково.

12. У ліфті, на нитці підвішеній до стелі, коливається кулька у вертикальній площині. У момент проходження нею положення рівноваги, ліфт починає вільно падати. Якою буде траєкторія кульки відносно ліфта?

А: точка;                      Б: коло;                      В: пряма;                      Г: спіраль;                      Д: еліпс.

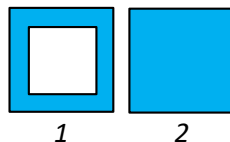
13. Дві однакові провідні сфери 1 та 2, які зображено на малюнку, мають рівні електричні заряди. Відстань між сферами набагато більша за їх діаметр. Сфери відштовхують одна одну з силою  $F$ . Така ж сфера 3 спочатку незаряджена і закріплена на ізолюваній підставці. Якщо її доторкнути до сфери 1, а потім до сфери 2 і вилучити, то сила взаємодії між сферами 1 та 2 стане рівною:

А:  $F/2$ ;                      Б:  $F/4$ ;                      В:  $3F/8$ ;                      Г:  $F/16$ ;                      Д: 0.



14. На малюнку зображено два однакові металеві кубики: 1 – суцільний, 2 – порожнистий. Довжина ребра у них однакова. Який з кубиків зазнає більшого теплового розширення після нагрівання?

А: 1;                      Б: 2;                      В: однаково.

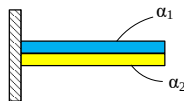


15. Вода нагрівається на електричній плитці постійної потужності. У якому випадку необхідно більше часу для нагрівання води від  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $45\text{ }^{\circ}\text{C}$  (1) чи від  $65\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $85\text{ }^{\circ}\text{C}$  (2)?

А: 1;                      Б: 2;                      В: однаковий в обох випадках.

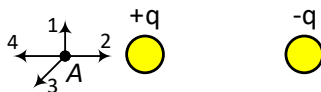
16. На малюнку зображено біметалеву пластинку (пластина виготовлена з механічно скріплених пластин двох різних металів), один кінець якої вільний. Куди почне вигинатися пластинка при нагріванні ( $\alpha_1 = \alpha_2$ )?

А: вгору;                      Б: униз;                      В: вигинатися не буде.



17. На рисунку представлено розміщення двох нерухомих точкових електричних зарядів  $+q$  і  $-q$  ( $q > 0$ ). Яка стрілка відповідає напрямку вектора напруженості сумарного електричного поля цих зарядів в точці А.

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



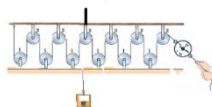
18. При різкій зміні температури у виробках з металу не виникають тріщини, на відміну від виробів з каменю. Це пов'язано з тим, що ... у металів..., ніж у каменю.

А: густина, менша;                      Б: теплопровідність, менша;                      В: густина, більша;

Г: теплопровідність, більша; Д: теплоємність, менша

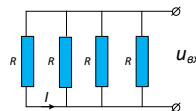
19. Вантаж якої маси можна підняти, використавши 6 рухомих і 6 нерухомих блоків та приклавши силу 300 Н?

А: 190 кг; Б: 360 кг; В: 220 кг; Г: 302 кг.



20. Вхідна напруга в електричному колі задається виразом:

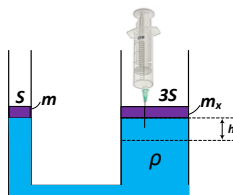
А:  $2IR$ ; Б:  $IR$ ; В:  $\frac{2IR}{3}$ ; Г:  $\frac{IR}{2}$ ; Д:  $\frac{3IR}{2}$ .



### Завдання 21 – 30 оцінюються п'ятьма балами

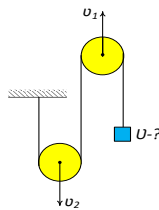
21. До пружини, коефіцієнт жорсткості якої  $k = 100$  Н/м, прицепили тягарець. Пружина видовжилась на  $\Delta x_1 = 5$  см. Якщо тягарець занурити у рідину видовження пружини стане  $\Delta x_2 = 2$  см. Яка сила Архімеда діє на тягарець у рідині?

А: 2 Н; Б: 3 Н; В: 5 Н; Г: 7 Н; Д: 200 Н.



22. У сполучених посудинах різного перерізу під двома гумовими поршнями масою  $m$  та  $m_x$ , які перебувають на одному рівні, знаходиться рідина густиною  $\rho$ . При допомозі шприца з широкої посудини відкачали певний об'єм рідини, в результаті чого великий поршень змістився на  $h$ . Знайдіть масу широкого поршня та різницю рівнів між поршнями після переливання всієї рідини з шприца у ліве коліно над малим поршнем.

А:  $3m, 2h$ ; Б:  $m, h$ ; В:  $\frac{m}{3}, h$ ; Г:  $\frac{m}{4}, 2h$ ; Д:  $3m, 4h$ .



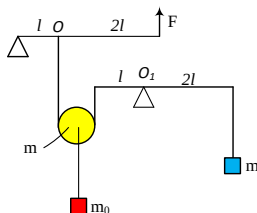
23. Знайти швидкість кубика в системі, зображеній на малюнку. Нитка нерозтяжна.

А:  $2(v_1 + v_2)$ ; Б:  $2(v_1 - v_2)$ ; В:  $2v_1 + v_2$ ; Г:  $v_1 + 2v_2$ ; Д: 0.

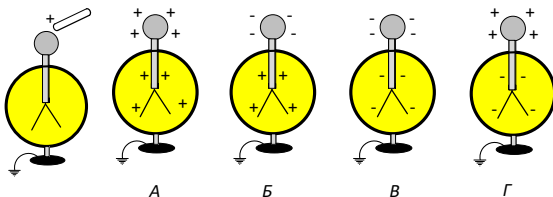
24. Два невагомні важелі (О, О<sub>1</sub>) з'єднано через рухомий блок. Яку силу F треба прикласти до важеля О, щоб система була в рівновазі і якою є маса вантажу  $m_0$ , якщо маси іншого вантажу та блоку рівні  $m$ .

А:  $\frac{2mg}{3}, 3m$ ; Б:  $\frac{mg}{3}, 2m$ ; В:  $mg, m$ ;

Г:  $\frac{3mg}{2}, \frac{mg}{2}$ ; Д:  $\frac{mg}{4}, m$ .

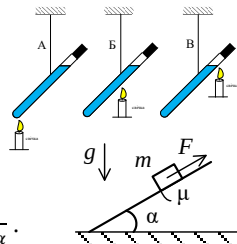


25. Не торкаючись до кулі, позитивно заряджену скляну паличку піднесли до зарядженого електроскопа. В результаті цього листочки електроскопа розійшлися на деякий кут. Розподіл заряду в електроскопі, при піднесенні палички, вірно показано на малюнку:



26. Три однакові пробірки з водою нагрівають однаковими нагрівниками. В якому випадку вода запарує швидше?

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

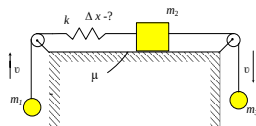


27. Тіло рівномірно піднімають вздовж похилої площини. Якою є вага тіла? ( $\mu = 0$ )

А:  $\frac{F}{\mu}$ ;                      Б:  $mg \cos \alpha$ ;                      В:  $mg$ ;                      Г:  $\frac{F}{\tan \alpha}$ .

28. Тіла рухаються рівномірно. Визначить: 1) видовження пружини ( $\Delta x$ ); 2) коефіцієнт тертя ( $\mu$ ). Вважайте, що  $m_1 = 2$  т,  $m_2 = 3$  т,  $m_3 = 4$  т.

А:  $\frac{2mg}{k}, \frac{2}{3}$     Б:  $\frac{7mg}{k}, \frac{1}{3}$     В:  $\frac{9mg}{k}, \frac{2}{3}$     Г:  $\frac{3mg}{k}, \frac{1}{3}$     Д:  $0, \frac{2}{3}$ .

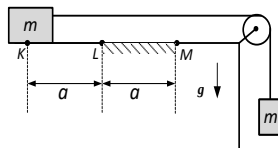


29. Стальна кулька плаває на поверхні ртуті. Як зміниться глибина її занурення, якщо підвищити температуру системи?  $\beta_p > \beta_{ст}$ , де  $\beta$  - коефіцієнт об'ємного розширення відповідної речовини.

А: збільшиться;                      Б: зменшиться;                      В: не зміниться;                      Г: залежить від погодніх умов;                      Д: не можливо передбачити.

30. Почавши рух з точки К, тіло зупиняється в точці М. Використовуючи інформацію представлену на рисунку, встановить, яке з нижче наведених виразів визначає силу тертя на ділянці LM? (всі інші ділянки є гладкі).

А:  $mg$ ;    Б:  $mg/2$ ;    В:  $3mg/2$ ;    Г:  $5mg/2$ ;    Д:  $2mg$ .



## 9 К Л А С

### Завдання 1 – 10 оцінюються трьома балами

1. До електричних явищ належать наступні:

А: притягування волосся до гребінця при розчісуванні;  
В: охолодження води;                      Г: коливання струни.

Б: веселка;

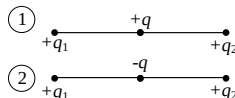
2. Як змінюватиметься об'єм повітря у закритій пляшці, якщо вода почне замерзати?

А: збільшуватиметься;    Б: зменшуватиметься;    В: не змінюватиметься;  
Г: спочатку не змінюватиметься, а потім збільшуватиметься;    Д: спочатку не змінюватиметься, а потім зменшуватиметься.

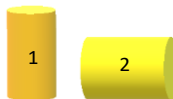


3. На кінцях діелектричних стрижнів закріплені заряди  $q_1$  і  $q_2$ . По стрижнях без тертя можуть ковзати заряджені  $q$  бусинки ( $1 - q > 0$ ,  $2 - q < 0$ ). В обох випадках бусинки перебувають у рівновазі. Яка рівновага бусинок? (с – стійка, нс – нестійка).

А: 1 і 2 – с;                      Б: 1 і 2 – нс;                      В: 1 – с, 2 – нс;                      Г: 1 – нс, 2 – с.

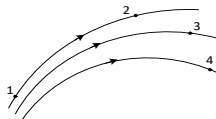


4. Суцільний сталевий циліндр, діаметр якого рівний висоті, добре прогріли в кип'ятку. У якому випадку він швидше охолідеться до кімнатної температури, якщо його поставити на теплоізолюючу підставку: вертикально (1) чи на бічну поверхню (2) ?



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

5. У яку з точок, що належать силовим лініям, потрібно розмістити провідник зі струмом, перпендикулярно до площини малюнку, щоб дія на нього з боку магнітного поля була найбільшою?



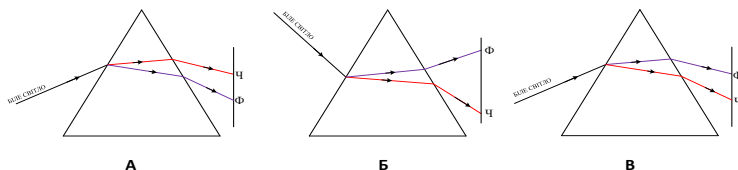
А: 1; Б: 2; В: 3; Г: 4; Д: в усіх.

6. Космонавти виходять у відкритий космос, коли корабель знаходиться в тіні Землі. Цим вони, насамперед, рятуються від:

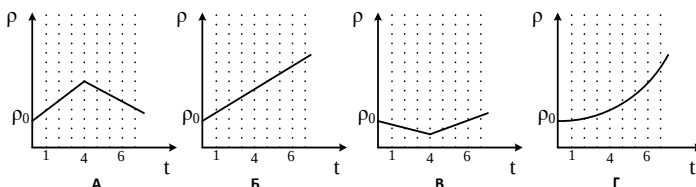


А: перегріву; Б: сліпучого сонячного світла; В: сонячної радіації.

7. На якому малюнку показано вірний хід променів після проходження крізь призму (показник заломлення матеріалу призми відносно середовища, в якому вона знаходиться:  $n > 1$ )?



8. Який вигляд має залежність густини води від температури?

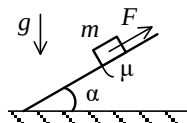


9. Людське око найбільш чутливе до жовто-зеленого світла, проте сигнали, що попереджають про небезпеку, роблять на червоному фоні. Це пов'язано з явищем:

А: поглинання; Б: розсіювання; В: інтерференції;  
Г: дифракції; Д: відбивання.

10. Щоб утримувати тіло на похилій площині ( $\mu < \tan \alpha$ ) необхідно вздовж неї до тіла прикласти силу  $F$  рівну:

А:  $mg(\sin \alpha - \mu \cos \alpha)$ ; Б:  $mg(\sin \alpha + \mu \cos \alpha)$ ;  
В:  $mg$ ; Г:  $mg/(2 + \tan^2 \alpha)$ ; Д:  $\mu mg \cos \alpha$ .



### Завдання 11 – 20 оцінюються чотирма балами

11. При вільному падінні з даху будинку крейда долітає до Землі за 3с. Скільки часу падатиме половина цієї крейди? Опором повітря знехтуйте.

А: 3 с;

Б: 1,5 с ;

В: залежить від того, яка половина падає;

Г: залежить від того, в якому положенні відпустити кусок крейди.

12. Як зміниться опір ділянки кола, що складається з 5 однакових провідників опором  $r$  кожний, якщо додати ще два такі самі провідники, так, як показано на малюнку штрих-пунктирною лінією?



А: зменшиться у  $\frac{5}{3}$  разів;

Б: зросте у  $\frac{5}{3}$  разів;

В: не зміниться;

Г: стане рівним нулю;

Д: неможливо відповісти.

13. Корпуси потужних електродвигунів виготовляють з металу, тому що ...

А: це легкий матеріал;

Б: у металів висока теплопровідність;

В: у металів низька теплопровідність; Г: у металів мала

пружність; Д: правильної відповіді немає.



14. На рухомому кораблі кинули кульку вертикально вгору. Чи повернеться вона у вихідне положення, якщо корабель рухається: 1 – рівномірно, 2 – прискорено? Впливом сили опору з боку повітря знехтуйте.

А: 1 – так, 2 – ні;

Б: 1 – так, 2 – так;

В: 1 – ні, 2 – так;

Г: 1 та 2 – ні.

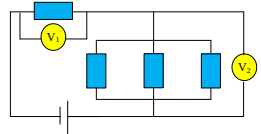
15. Покази якого з вольтметрів більші? Опори резисторів рівні.

А:  $V_1$ ;

Б:  $V_2$ ;

В: однакові;

Г: неможливо визначити.



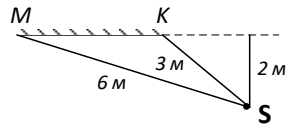
16. Розміщення плоского дзеркала МК і джерела світла S представлено на рисунку. Яка відстань від джерела S до його зображення в дзеркалі МК ?

А: 6 м;

Б: 3 м;

В: 2 м;

Г: нема правильної відповіді



17. До якої межі можна збільшити прискорення рухомого тіла на похилій площині, збільшуючи кут її нахилу до горизонту?  $g$  – прискорення вільного падіння.

А:  $2g$ ;

Б:  $>g$ ;

В:  $<g$ ;

Г:  $g$ ;

Д:  $g/2$ .

18. Між двома колесами (1 та 2), що обертаються в протилежних напрямках з кутовими швидкостями  $\omega_1$  та  $\omega_2$  затиснуто третє колесо (3) колеса навколо власної осі, якщо  $R=2r$ ,  $\omega_1=\omega$ ,  $\omega_2=2\omega$ . Прокочування немає.

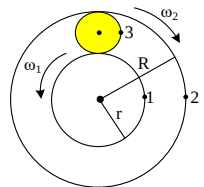
А:  $\omega_0=2,5\omega$ ;

Б:  $\omega_0=1,5\omega$ ;

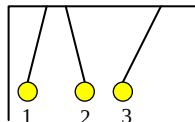
В:  $\omega_0=\omega$ ;

Г:  $\omega_0=2\omega$ ;

Д:  $\omega_0=5\omega$ .

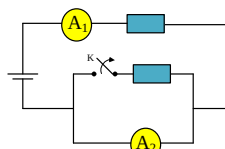


19. Кульки однакового по модулю заряду підважені на однакових нитках. Заряди якого знаку **НЕ** можуть бути на нитках?



- А: 1 – від'ємний, 2 – від'ємний, 3 – додатний;  
 Б: 1 – додатний, 2 – додатний, 3 – від'ємний;  
 В: 1 та 2 – однойменні, 3 – різнойменні з 2.  
 Г: 1 – додатний, 2 – від'ємний, 3 – додатний;  
 Д: серед варіантів А – Г не має вірної відповіді.

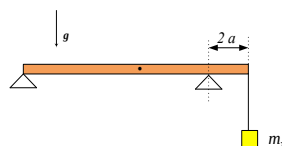
20. Як зміняться покази амперметрів, якщо в схемі на мал.1 розімкнути вимикач (к)? (↑-зростає, ↓-зменшуються, ↔-не зміняться). Амперметри не ідеальні.



- А:  $A_1 \downarrow, A_2 \uparrow$ ;      Б:  $A_1 \uparrow, A_2 \downarrow$ ;      В:  $A_1 \leftrightarrow, A_2 \downarrow$ ;  
 Г:  $A_1 \leftrightarrow, A_2 \leftrightarrow$ ;      Д:  $A_1 \uparrow, A_2 \leftrightarrow$ .

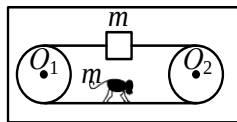
### Завдання 21 – 30 оцінюються п'ятьма балами

21. Однорідна балка масою  $m$  і довжиною  $l$  лежить на двох опорах ( $l=12a$ ). Тіло якої максимальної маси  $m_x$  можна причепити до нитки, щоб балка залишилася у рівновазі?



- А:  $m_x = m$ ;      Б:  $m_x = 6m$ ;      В:  $m_x = \frac{2}{3}m$ ;  
 Г:  $m_x = 2m$ ;      Д:  $m_x = \frac{1}{3}m$ .

22. На гладкій горизонтальній поверхні знаходяться два легких колеса, з закріпленими вертикальними вісями обертання ( $O_1, O_2$ ), через які перекинута легка мотузку, що причеплена до нерухомого тіла  $m$ . Нерухома мавпа, потягнувши за мотузку, почала рухатись вправо зі швидкістю  $v$ . (На мал. вигляд зверху). З якою швидкістю почне рухатись тіло  $m$ ?

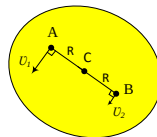


- А:  $v/4$ ;      Б:  $v/3$ ;      В:  $v/2$ ;      Г:  $v$ ;      Д:  $2v$ .

23. Дві свинцеві кулі – одна діаметром 10 см, друга діаметром 5 см – витягнули з окропу і поклали на один і той самий стіл. У скільки разів довше буде охолоджуватись до температури  $50^\circ\text{C}$  велика куля у порівнянні з малою?

- А: 8 разів;      Б: 4 рази;      В: 2 рази;      Г:  $\sqrt{2}$  разів;      Д:  $2\sqrt{2}$  разів.

24. Тіло рухається поступально і при цьому обертається. Відомо, що швидкість точок А і В тіла вектори  $\vec{v}_1, \vec{v}_2$  і точки А, В і С – центр мас – лежать в одній площині. З якою кутовою швидкістю обертається тіло?



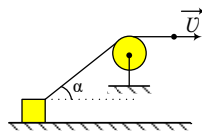
- А:  $\omega=0$ ;      Б:  $\omega = \frac{v_1}{2R}$ ;      В:  $\omega = \frac{v_2}{2R}$ ;      Г:  $\frac{v_1+v_2}{2R}$ ;      Д:  $\frac{v_1-v_2}{2R}$ .

25. Кулька спливає з постійною швидкістю у воді. Якщо до неї прив'язати на нитці таку ж кульку, але густина якої в 5 разів більша, то система буде тонути з такою ж швидкістю. Сила опору пропорційна швидкості. Яка густина першої кульки?

- А:  $500 \text{ кг/м}^3$ ;      Б:  $2,5 \text{ г/см}^3$ ;      В:  $400 \text{ кг/м}^3$ ;      Г:  $800 \text{ кг/м}^3$ .

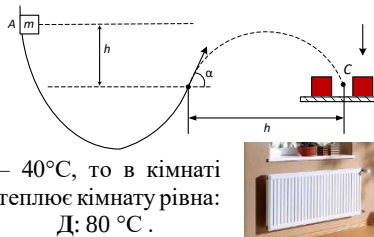
26. Тіло рухають рівномірно за допомогою мотузки. Швидкість мотузки  $v$ , кут її нахилу до горизонту  $\alpha$ . Яка швидкість тіла?

- А:  $v_T = v$ ; Б:  $v_T = v \cos \alpha$ ; В:  $v_T = v / \cos \alpha$ ; Г:  $v_T = v \tan \alpha$ ;  
Д:  $v_T = v \cot \alpha$ .



27. Під яким кутом до горизонту ( $\alpha$ ) вилітають тіла з гладкого трампліну (див. малюнок), якщо вони влучають у мішень С?

- А:  $30^\circ$ ; Б:  $45^\circ$ ; В:  $15^\circ$ ; Г:  $60^\circ$ ; Д:  $90^\circ$ .



28. Коли температура на вулиці  $-20^\circ\text{C}$ , то в кімнаті вона рівна  $+20^\circ\text{C}$ , а якщо на вулиці  $-40^\circ\text{C}$ , то в кімнаті встановлюється  $+10^\circ\text{C}$ . Температура батарей, що отоплює кімнату рівна:

- А:  $40^\circ\text{C}$ ; Б:  $50^\circ\text{C}$ ; В:  $60^\circ\text{C}$ ; Г:  $70^\circ\text{C}$ ; Д:  $80^\circ\text{C}$ .



29. Оцініть максимальну товщину льодовика на Землі.  
 $\lambda = 330 \text{ кДж/кг}$ ,  $g = 10 \text{ Н/кг}$ .

- А: 33 м; Б: 330 м; В: 33 км; Г: 990 м; Д: 1000 км.



30. На рухомому кораблі кинули м'яч вертикально вгору. Якою буде траєкторія руху м'яча відносно берега? корабля?

- А: дуга кола, спіраль; Б: парабола, пряма; В: гіпербола, еліпс;  
Г: пряма, пряма; Д: не можливо передбачити.

## 10 К Л А С

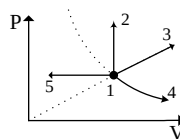
### Оцінювання завдань

**Н е с п е ц і а л і з о в а н і к л а с и:** завдання 1–10 – три бали;  
11–20 – чотири бали; 21–30 – п'ять балів.

**С п е ц і а л і з о в а н і к л а с и:** завдання 11–20 – три бали;  
21–30 – чотири бали; 31–40 – п'ять балів.

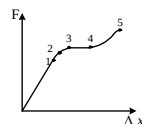
1. На малюнку показано початковий стан газу – точка 1. Під час якого процесу газ не виконує роботу?

- А: 1–2; Б: 1–3; В: 1–4; Г: 1–5; Д: нема такого процесу.



2. На малюнку зображено графік залежності зміщення  $\Delta x$  кінця пружини від прикладеної сили  $F$ . На якій ділянці графіка виконується закон Гука?

- А: 0–1; Б: 0–2; В: 0–3; Г: 0–4; Д: 0–5.



3. До світлових явищ належать наступні:

- А: утворення тіні; Б: випаровування рідини;  
В: зіткнення куль; Г: гудіння провідників.

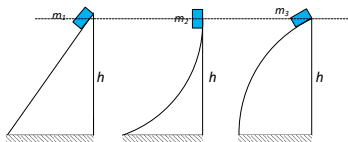


4. Молекули водню в одній посудині мають таку ж середню квадратичну швидкість, як і молекули кисню в іншій посудині. Які наступні висновки можна зробити на основі цього твердження:

- А: кисень має більш високу температуру, ніж водень; Б: більш високу температуру має водень; В: температура обох газів є однаковою; Г: водень має більш високий тиск; Д: тиск обох газів є однаковий.

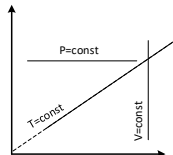
5. Три бруски різної маси починають рух без тертя з вершин похилих площин різної форми (див. мал.). Порівняйте швидкості тіл біля основи похилої площини.

- А:  $v_1 > v_2 > v_3$ ; Б:  $v_1 > v_2 = v_3$ ; В:  $v_3 > v_2 > v_1$ ; Г:  $v_1 = v_2 = v_3$ ; Д:  $v_1 = v_2 < v_3$ .



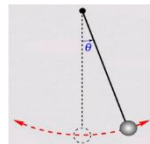
6. Вкажіть осі, в яких графіки процесів зображених на малюнку мають вигляд прямих ліній. (Р – тиск; V – об'єм; Т – температура;  $\rho$  – густина газу).

- А: Р – V; Б: Р – T; В: Р –  $\rho$ ; Г: V – T; Д: це не можливо.



7. Ненасичена пара перетворюється в насичену пару при:

- А: стисканні та нагріванні; Б: стисканні та охолодженні; В: розширенні та нагріванні; Г: розширенні та охолодженні.



8. Математичний маятник здійснює гармонічні коливання. Максимальні значення кінетичної енергії маятника 20 Дж, потенціальної 20 Дж. Яка повна енергія маятника?

- А: 20 Дж; Б: 40 Дж; В: 80 Дж; Г: 10 Дж; Д: 0 Дж.

9. Утворення хмарного сліду за літаком, що летить на значній висоті, пов'язано з явищем:

- А: кристалізації; Б: конденсації; В: поляризації; Г: плавлення.



10. В балоні, об'єм якого V, міститься газ з концентрацією молекул n. Маса однієї молекули  $m_0$ . Маса газу рівна:

- А:  $\sqrt{m_0 nV}$ ; Б:  $m_0 nV$ ; В:  $N_a$ ; Г:  $n\sqrt{m_0 V}$ ; Д:  $n^2 m_0 V$ .

11. Математичний маятник коливається за законом:  $x = 5 \sin(2\pi t + \frac{\pi}{3})$ . Яка довжина маятника?  $\pi^2 = 10$ .

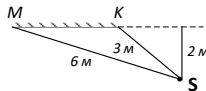
- А: 0,25 м; Б: 1 м; В: 2 м; Г: неможливо визначити.

12. Молекули газу А мають в z раз більшу масу, ніж молекули газу В. При якому відношенні температур їхні молекули матимуть однакові середні швидкості?

- А:  $\frac{T_A}{T_B} = z^{-2}$ ; Б:  $\frac{T_A}{T_B} = z^{-1}$ ; В:  $\frac{T_A}{T_B} = 1$ ; Г:  $\frac{T_A}{T_B} = z$ ; Д:  $\frac{T_A}{T_B} = z^2$

13. Розміщення плоского дзеркала МК і джерела світла S показано на малюнку. Яка відстань від джерела S до його зображення в дзеркалі МК?

А: 6 м; Б: 3 м; В: 2 м; Г: нема правильної відповіді.



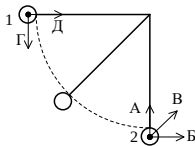
14. Маятник відхилили від положення рівноваги і відпустили. Куди напрямлене повне прискорення маятника у положеннях 1 та 2?

А: 1 – Г, 2 – Б;

Б: 1 – Г, 2 – А;

В: 1 – Д, 2 – В;

Г: Визначити неможливо.



15. Швидкість візочка ( $m = 1$  кг), що коливається на пружині, змінюється з часом за законом:  $v_x = 4\cos(10t)$ .

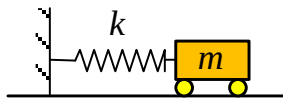
Кінетична енергія змінюється з часом за законом:

А:  $4\sin(10t)$ ;

Б:  $8\cos^2(10t)$ ;

В:  $20\cos^2(10t)$ ;

Г:  $80\sin^2(10t)$ .



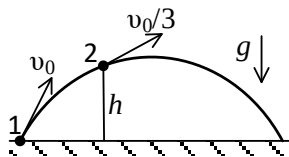
16. М'яч кинули з швидкістю  $v_0$  під кутом до горизонту. На висоті  $h = 2v_0^2/(9g)$  його швидкість зменшилась втричі. Визначити роботу сили тертя м'яча об повітря на ділянці 1 – 2.

А:  $-\frac{2}{9}mv_0^2$ ;

Б:  $\frac{1}{9}mv_0^2$ ;

В:  $-\frac{1}{9}mv_0^2$ ;

Г:  $\frac{2}{9}mv_0^2$ .



17. Прискорення вільного падіння на поверхні планети ( $\rho$  – густина планети;  $G$  – гравітаційна стала,  $R$  – радіус планети):

А:  $\frac{4\rho R\pi G}{3}$ ;

Б:  $\frac{3\rho R\pi G}{4}$ ;

В:  $\frac{3\rho R\pi}{4G}$ ;

Г:  $\frac{6\pi}{5GR\rho}$ ;

Д: 0.

18. На малюнку зображено картину силових ліній навколо прямого провідника зі струмом ( $I$ ). В якій точці вектор індукції магнітного поля найменший і напрямлений донизу?

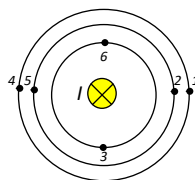
А: 2;

Б: 1;

В: 3;

Г: 4;

Д: 6 і 3.



19. Два близько розміщені на поверхні води сірники: 1 – притягуються; 2 – відштовхуються; 3 – не взаємодіють.

А: 1;

Б: 2;

В: 3;

Г: залежить від температури.

20. Всередині заземленої металеві сфери знаходиться точковий заряд  $q$  ( $R$  – радіус сфери). Якою буде напруженість електричного поля ззовні сфери?

А:  $\frac{kq}{r^2}$ ;

Б:  $\frac{kq}{R^2}$ ;

В: 0;

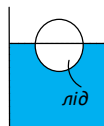
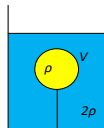
Г:  $\frac{2kq}{R^2}$ ;

Д:  $\frac{kq}{4R^2}$ .

21. У посудині з водою знаходиться кулька прив'язана ниткою до його дна (див. мал.). Порівняйте сили Архімеда, що діятимуть на кульку у випадках коли посудина: 1 – нерухома; 2 – рухається горизонтально рівномірно; 3 – рухається горизонтально

рівноприскорено з прискоренням  $g$ ; 4 – рухається рівноприскорено вгору з прискоренням  $g$ .

**A:**  $F_{A4} > F_{A3} > F_{A2} = F_{A1}$ ; **Б:**  $F_{A4} < F_{A3} < F_{A2} = F_{A1}$ ; **В:**  $F_{A1} < F_{A2} < F_{A3} < F_{A4}$ ; **Г:**  $F_{A4} > F_{A3} > F_{A2} = F_{A1}$ ; **Д:**  $F_{A1} = F_{A2} = F_{A3} = F_{A4}$ .

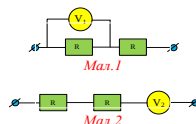


**22.** Крижинка плаває в посудині з водою: 1 – лід розтанув; 2 – посудина рухається вгору рівномірно; 3 – посудина рухається донизу з прискоренням  $2g$ . У якому з випадків рівень рідини в посудині зміниться?

**A:** 1; **Б:** 2; **В:** 3; **Г:** в усіх; **Д:** у жодному не зміниться.

**23.** Яким є опір  $R$  кожного з двох однакових резисторів, якщо вольтметр з опором  $R_v = 3$  кОм при включенні за схемами на мал. 1 та мал. 2 показує однакову напругу. Напруга в колі однакова.

**A:** 3 кОм; **Б:**  $\frac{3}{2}$  кОм; **В:** 1 кОм; **Г:** 2 кОм; **Д:** 4 кОм.



**24.** Куля, що вилетіла з гвинтівки, не може відчиняти двері, проте проходить наскрізь, тоді як силою тиску пальця відчинити двері легко, проте зробити отвір неможливо. Це пов'язано з тим, що:

**A:** палець недостатньо твердий;

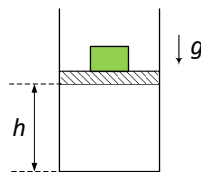
**Б:** час взаємодії кулі і дверей дуже малий;

**В:** куля в русі породжує ударну хвилю, що руйнує двері;

**Г:** у випадку пальця не працює закон збереження енергії.

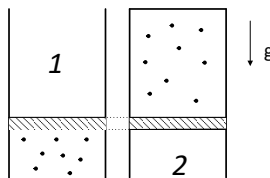
**25.** У циліндричній посудині під поршнем знаходиться ідеальний газ. На легкому поршні лежить тіло певної маси  $m$ . Тіло забирають. Поршень піднімається. Після того, як вантаж знову поклали на поршень, він опускається, досягнувши положення, що знаходиться на висоті  $h_1$  над основою. Порівняйте величини  $h$  і  $h_1$ . Процеси ізотермічні.

**A:**  $h = h_1$ ; **Б:**  $h > h_1$ ; **В:**  $h < h_1$ ; **Г:** відповісти неможливо.



**26.** В циліндричній посудині з поршнем знаходиться ідеальний газ деякої маси. У якому випадку для нагрівання цього газу до певної температури  $T$  потрібно більше тепла, коли циліндр знаходиться в положенні 1 чи 2? Початкова температура в обох випадках однакова.

**A:** 1; **Б:** 2; **В:** однакова; **Г:** не можливо визначити.



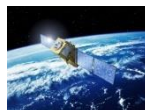
**27.** З ШСЗ (штучний супутник Землі) скидають бомбу. Нехтуючи опором повітря, визначити в якій точці вона впаде на Землю?

**A:** під супутником в момент скидання;

**Б:** позаду супутника, оскільки він рухається по криволінійній траєкторії;

**В:** попереду супутника, оскільки вона набуває швидкість при падінні;

**Г:** бомба ніколи не впаде на Землю.



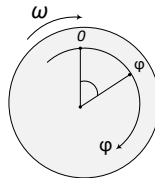
28. Два бруски ( $m$ ,  $2m$ ) з'єднані ниткою та деформованою пружиною, знаходяться на гладкій горизонтальній поверхні. Після розриву нитки брусок ( $2m$ ) набуває максимальної кінетичної енергії  $K$ . Яку максимальну кінетичну енергію набуде вантаж ( $m$ )?

А:  $2K$ ; Б:  $K$ ; В:  $K/2$ ; Г:  $K/4$ .



29. При обертанні рівняння руху диску довільної точки в кутових координатах має вигляд:  $\varphi = 3t + t^2$  (усі величини подано в системі СІ). Кутова швидкість цієї точки через 1 с після початку спостереження становить:

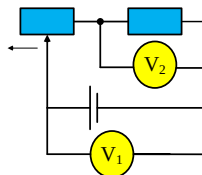
А:  $5 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$ ; Б:  $3 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$ ; В:  $2 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$ ; Г:  $1 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$ ; Д:  $0 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$ .



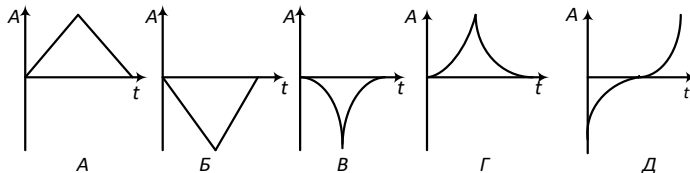
30. Як змінюватимуться покази вольтметрів, якщо повзунок реостата переміщувати ліворуч?

( $\uparrow$  – зростатимуть,  $\downarrow$  – зменшуватимуться,  $\leftrightarrow$  – не змінюватимуться)

А:  $V_1 \uparrow$ ,  $V_2 \downarrow$ ; Б:  $V_1 \leftrightarrow$ ,  $V_2 \downarrow$ ; В:  $V_1 \leftrightarrow$ ,  $V_2 \uparrow$ ;  
Г:  $V_1 \downarrow$ ,  $V_2 \downarrow$ ; Д:  $V_1 \downarrow$ ,  $V_2 \uparrow$ .

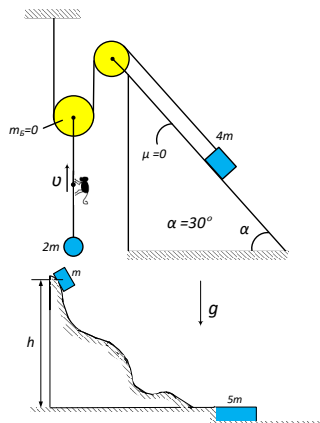


31. Тіло кинуте вертикально вгору. Який з нижче поданих рисунків вірно відображає залежність роботи сили тяжіння за час всього руху?



32. У зрівноваженій системі, зображеній на малюнку, мавпа почала рухатись вгору зі швидкістю  $v$ . У якому напрямку і з якою швидкістю почне рухатись тіло  $2m$ ? Тертя в системі відсутнє.

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

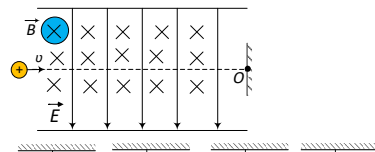


33. Брусок масою  $m$  з'їжджає з гірки висотою  $h$  на дошку масою  $5m$  і продовжує рух разом з дошкою по гладкій горизонтальній поверхні до зупинки (гірка гладка). Яку роботу при цьому виконує сила тертя?

А:  $\frac{5mgh}{6}$ ; Б:  $-\frac{mgh}{6}$ ; В:  $\frac{mgh}{6}$ ; Г:  $-\frac{5mgh}{6}$ ; Д:  $mgh$ .

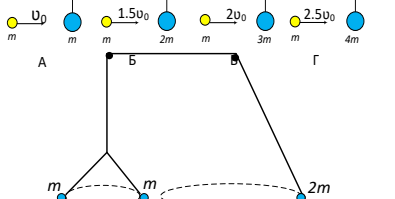
34. З якою швидкістю  $v$  позитивно заряджена частинка повинна влетіти в зону дії взаємно перпендикулярних електричного ( $E$ ) і магнітного ( $B$ ) полів, щоб влучити в мішень в точці  $O$ ?

- А:  $v = \frac{B^2}{E}$ ;      Б:  $v = \frac{E}{B^2}$ ;      В:  $v = \frac{E}{B}$ ;  
Г:  $v = \frac{B}{E}$ ;      Д:  $v = EB$ .



35. У якому випадку із зображених на малюнку система кульок після абсолютно непружного удару підніметься на більшу висоту?

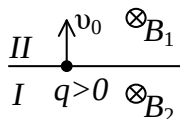
- А: 1;    Б: 2;    В: 3;    Г: 4;    Д: однаково.



36. До кінців нитки, перекинутої через 2 цв'яхи, прикріплені тіла, що рухаються по колах в горизонтальній площині. Ліворуч два вантажі масою  $m$  кожний і праворуч один вантаж масою  $2m$ . Чи буде ця система в рівновазі?

- А: так;    Б: ні, другий вантаж перетягне;    В: ні, перші вантажі перетягнуть.

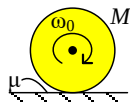
37. Заряджена частинка перебуває на межі, яка розділяє області з різним за величиною магнітним полем (в області  $I$  та  $II$  магнітні поля напрямлені від нас перпендикулярно площині малюнка), причому  $B_2 < B_1$ . Яка траєкторія руху частинки?



- А:    Б:    В:    Г: не можливо передбачити.

38. Твердий суцільний диск розкрутили навколо власної осі до кутової швидкості  $\omega_0$  і поставили на горизонтальну поверхню. Яку кутову швидкість набуде диск на момент завершення проковзування?

- А:  $\mu\omega/2$ ;    Б:  $\omega_0/2$ ;    В:  $\omega_0/3$ ;    Г:  $3\omega_0/5$ .

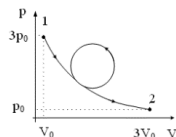


39. Гвинтівка, приціл якої націлений на яблуко, розташована строго горизонтально. Яблуко висить на нитці. В момент пострілу нитка обривається. Швидкість кулі 500 м/с. Діаметр яблука 8 см. На якій відстані від яблука має перебувати гвинтівка, щоб куля попала в нього. Опором повітря знехтувати.

- А: 100 м;    Б: 320 м;    В: завжди влучить;    Г: ніколи не влучить;    Д: 500 м.

40. Ідеальний газ, розширюючись з стану 1 в стан 2 (див. мал.), виконав роботу  $A$ . Яку кількість теплоти він отримав?

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



# 11 К Л А С

**Н е с п е ц і а л і з о в а н і к л а с и:** завдання 1–10 – три бали;

11–20 – чотири бали; 21–30 – п'ять балів.

**С п е ц і а л і з о в а н і к л а с и:** завдання 11–20 – три бали;

21–30 – чотири бали; 31–40 – п'ять балів.

1. Явище зміни напрямку поширення хвилі при її проходженні через плоску межу двох однорідних середовищ називають:

**А:** дисперсією;

**Б:** поляризацією;

**В:** дифракцією;

**Г:** заломленням;

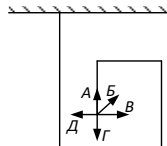
**Д:** інтерференцією.

2. Якою енергією володіє коливальний контур, коли струм у котушці максимальний?

**А:** енергією електричного поля; **Б:** енергією магнітного поля;

**В:** енергією гравітаційного поля; **Г:** енергією і електричного і магнітного полів.

3. Тонкий металевий дріт одним кінцем прикріплений до стелі і має форму фігури, що зображена на малюнку. Весь стрижень нагрівають до певної температури. В якому напрямку переміститься при цьому вільний кінець стержня?



4. Яку розмірність має величина, яка визначається наступним

співвідношенням  $\frac{\nu I}{C a U}$ , де  $\nu$  – швидкість,  $I$  – сила струму,  $C$  – електроємність,

$a$  – прискорення,  $U$  – напруга.

**А:** м/с;

**Б:** Н;

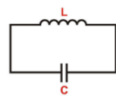
**В:** Дж;

**Г:** Вт;

**Д:**

1.

5. В котушку коливального контуру внесли осердя (магнітна проникність  $\mu$ ), а між пластинами конденсатора – діелектричну пластинку (діелектрична проникність  $\epsilon$ ). У скільки разів змінився період електромагнітних коливань?



**А:**  $\epsilon/\mu$ ;

**Б:**  $\mu/\epsilon$ ;

**В:**  $\sqrt{\epsilon\mu}$ ;

**Г:**  $2\epsilon/(3\mu)$ ;

**Д:**  $\epsilon^2/(2\mu)$ .

6. Динамо-машина може працювати як:

**А:** лише двигун;

**Б:** лише генератор;

**В:** двигун і генератор;

**Г:** амперметр та вольтметр.



7. Супутник рухається навколо планети по еліпсу.

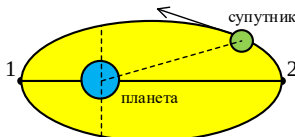
Порівняйте прискорення та повну механічну енергію в точках 1 та 2 його траєкторії?

**А:**  $a_1 = a_2$ ;  $E_1 = E_2$ ;

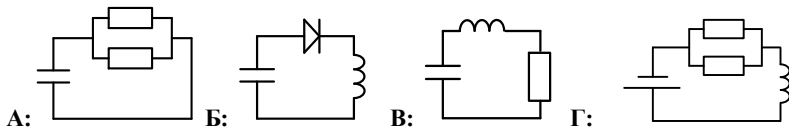
**Б:**  $a_1 > a_2$ ;  $E_1 = E_2$ ;

**В:**  $a_1 < a_2$ ;  $E_1 > E_2$ ;

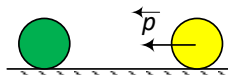
**Г:**  $a_1 < a_2$ ;  $E_1 = E_2$ .



8. В коливальній системі, виведеній з стану рівноваги, відбуваються згасаючі коливання через наявність тертя. У якій схемі спостерігається подібна картина?

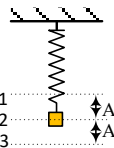


9. Куляка, імпульс якої  $\vec{p}$ , котиться по гладкій поверхні і зазнає абсолютно пружного зіткнення з нерухомою кулькою удвічі більшої маси. Яким буде імпульс системи після удару?



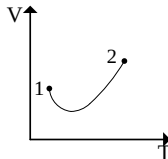
- А:  $\frac{\vec{p}}{2}$ ;      Б:  $\frac{3\vec{p}}{2}$ ;      В:  $\frac{2\vec{p}}{3}$ ;      Г:  $\vec{p}$ .

10. Тіло, закріплене на пружині, здійснює вздовж вертикальної осі гармонічні коливання з амплітудою А. Кінетична енергія цього тіла максимальна...



- А: тільки в положенні 1;      Б: тільки в положенні 3;  
В: в точках 1 та 2;      Г: тільки в положенні 2;  
Д: однакова у всіх положеннях.

11. На діаграмі  $V - T$  зображено графік залежності об'єму даної маси ідеального газу від температури. Як у процесі переходу газу з стану 1 в стан 2 змінювався тиск газу?



- А: весь час зростає;      Б: весь час зменшується;      В: спочатку збільшується, а потім зменшується;      Г: спочатку зменшується, а потім збільшується;      Д: тиск газу весь час постійний.

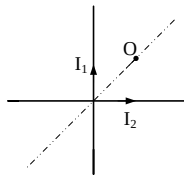
12. Яку форму прагне прийняти замкнений гнучкий провідник, по якому тече струм?

- А: квадрата;      Б: еліпса;      В: спіралі;      Г: кола;      Д: будь-яку, цей процес випадковий.

13. Щоб запобігти замерзанню овочів, взимку у підземних сховищах використовують:

- А: трансформатор;      Б: транзистор;      В: свічки;  
Г: посудину з водою;      Д: електромагнітне реле.

14. Куди напрямлений вектор індукції магнітного поля, створеного двома довгими провідниками зі струмами  $I_1$  та  $I_2$  в точці О, що лежить на бісектрисі кута між провідниками, у випадку, коли  $I_1 = I_2$ ?



- А: від нас;      Б: до нас;      В: 0;      Г: неможливо визначити.

15. Повна енергія коливань тіла, що виконує гармонічні коливання, рівна Е, а максимальна сила, що діє на нього –  $F_0$ . Якою є амплітуда (А) коливань тіла?

- А:  $\frac{E}{F}$ ;      Б:  $2EF$ ;      В:  $\frac{2E}{F}$ ;      Г:  $\frac{E}{2F}$ ;      Д:  $EF$ .

16. На одній з пластин плоского конденсатора ємністю  $C$  знаходиться заряд –  $9q$ , а інший заряд  $3q$ . Визначити різницю потенціалів між пластинами конденсатора.

- А:  $\frac{6q}{C}$ ;      Б:  $\frac{q}{C}$ ;      В:  $\frac{2q}{3C}$ ;      Г:  $\frac{2q}{C}$ ;      Д:  $\frac{3q}{C}$ .

17. Молярна маса  $\mu$  суміші двох газів ( $\mu_1$  і  $\mu_2$ ), маси яких  $m_1$  та  $m_2$ , визначається формулою:

А:  $\mu = \mu_1 + \mu_2$ ;

Б:  $\mu = \frac{\mu_1 + \mu_2}{2}$ ;

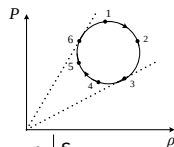
В:  $\mu = \frac{(m_1 + m_2)\mu_1\mu_2}{\mu_1 m_2 + \mu_2 m_1}$ ;

Г:  $\mu = \frac{\mu_1}{m_1} + \frac{\mu_2}{m_2}$ ;

Д:  $\mu = (m_1 + m_2) \left( \frac{\mu_1}{m_1} + \frac{\mu_2}{m_2} \right)$ .

18. З сталою масою газу здійснюють коловий процес у  $p - \rho$  координатах, де  $p$  – тиск газу, а  $\rho$  – густина. Знайдіть точки, в яких температура максимальна, а густина мінімальна.

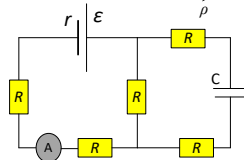
А: 3, 2;      Б: 6, 2;      В: 3, 5;      Г: 6, 5;      Д: 3, 4.



19. В електричному колі на малюнку всі елементи відомі ( $r = R$ ). Визначте напругу на конденсаторі С.

Амперметр ідеальний.

А:  $\varepsilon/4$ ;      Б:  $\varepsilon/2$ ;      В:  $\varepsilon$ ;      Г:  $2\varepsilon$ .



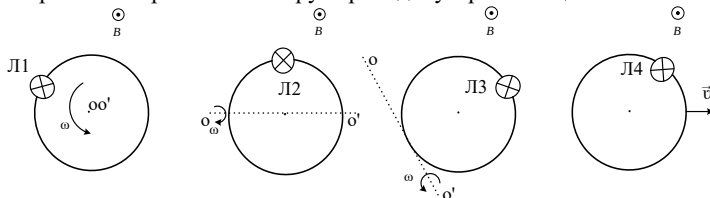
20. Два близько розміщені на поверхні рідини сірники притягуються. У такому випадку рідина ... сірник?

А: змочує;      Б: не змочує;      В: такий процес не можливий;      Г: залежно від зовнішніх умов може змочувати, або не змочувати.

21. Кільце з надпровідника знаходиться поблизу постійного магніту і пронизується магнітним потоком  $\Phi$ . Струму в кільці немає. Яким буде магнітний потік через кільце, якщо вилучити магніт?

А: 0;      Б:  $3\Phi$ ;      В:  $2\Phi$ ;      Г:  $\Phi/2$ ;      Д:  $\Phi$ .

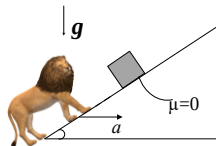
22. В якому провідному контурі лампа не горить?  $\odot$  – вісь обертання; магнітне поле  $\mathbf{B}$  напрямлене вертикально вгору перпендикулярно площині малюнка.



А: Л1;      Б: Л2;      В: Л3 та Л2;      Г: Л1 та Л4;      Д: лише Л4.

23. Левеня покляло на похилу площину з кутом нахилу  $\alpha$  монету. Яке прискорення воно повинно надати клину, штовхнувши його горизонтально, щоб монета почала вільно падати?  $g$  – прискорення вільного падіння.

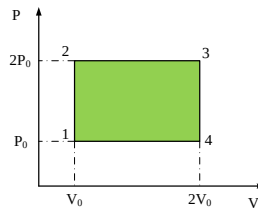
А:  $g \cdot \operatorname{ctg} \alpha$ ;      Б:  $g \cdot \operatorname{tg} \alpha$ ;      В:  $2g$ ;      Г:  $g \cdot \sin \alpha$ ;      Д:  $g \cdot \cos \alpha$ .





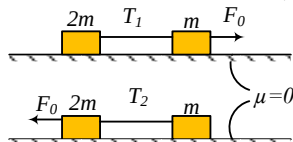
24. На рисунку зображена діаграма циклу в координатах  $P - V$  одноатомного ідеального газу. Температура газу в точці 1 дорівнює  $T_0$ . Яка кількість теплоти була надана нагрівником протягом циклу?

А:  $RT_0$ ; Б:  $2RT_0$ ; В:  $\frac{9}{2}RT_0$ ; Г:  $\frac{11}{2}RT_0$ ; Д:  $\frac{13}{2}RT_0$ .



25. Порівняйте сили натягу ниток у двох випадках.

А:  $T_1 > T_2$ ; Б:  $T_1 < T_2$ ; В:  $T_1 = T_2$ ; Г:  $T_1 = T_2 = 0$ .

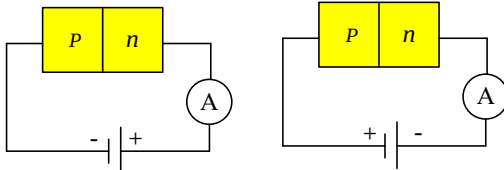


26. Сплав з двох напівпровідників р-типу і n-типу включено в електричне коло за схемами (рис. 1, рис. 2).

Порівняйте покази амперметрів.

А:  $I_1 = I_2$ ; Б:  $I_1 < I_2$ ;

В:  $I_1 > I_2$ ; Г: відповісти неможливо.



27. Довгий тонкий капіляр занурили у рідину, яка його змочує. Рідина підніметься по капіляру на більшу висоту, коли система знаходиться:

А: на полюсі Землі;

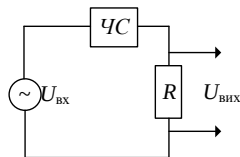
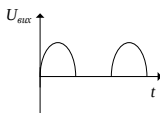
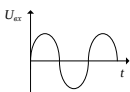
Б: на Місяці;

В: в умовах невагомості;

Г: на Земному екваторі;

Д: на географічній широті  $60^\circ$ .

28. Який елемент приховано в чорній скриньці (ЧС) у схемі на мал.1?



Мал.1

А: конденсатор; Б: котушка індуктивності В: діод;

Г: джерело постійного струму;

Д: транзистор.

29. Електричне поле в точці А створене позитивним зарядом  $+q$ . Як зміниться електричне поле і потенціал електричного поля в точці А, якщо розмістити поблизу точки А провідну кулю (див. мал). ( $\uparrow$  - зросте;  $\downarrow$  - зменшиться;  $\leftrightarrow$  - не зміниться).

А:  $\vec{E} \uparrow$ ,  $\varphi \uparrow$ ;

Б:  $\vec{E} \downarrow$ ,  $\varphi \downarrow$ ;

В:  $\vec{E} \uparrow$ ,  $\varphi \downarrow$ ;

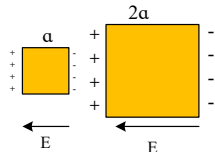
Г:  $\vec{E} \uparrow$ ,  $\varphi \leftrightarrow$ ;

Д:  $\vec{E} \leftrightarrow$ ,  $\varphi \leftrightarrow$ .

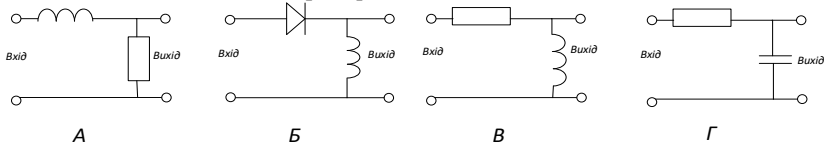


30. На малюнках зображено два квадратні металеві каркаси, що перебувають в однакових електричних полях. Внаслідок дії електричного поля на меншому індукується заряд  $q$ . Який заряд наведеться на іншому каркасі?

А:  $q$ ;      Б:  $2q$ ;      В:  $4q$ ;      Г:  $8q$ ;      Д:  $16q$ .

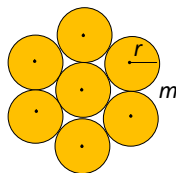


31. Яка з схем є високочастотним фільтром?



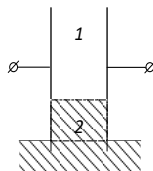
32. На малюнку зображено сім однакових дисків ( $m$ ,  $r$ ). Момент інерції системи відносно осі, що перпендикулярна до площини малюнка та проходить крізь центр центрального диска ( $OO_1$ ), рівний:

А:  $\frac{7}{2}mr^2$ ;      Б:  $\frac{13}{2}mr^2$ ;      В:  $\frac{29}{2}mr^2$ ;  
Г:  $\frac{49}{2}mr^2$ ;      Д:  $\frac{55}{2}mr^2$ .



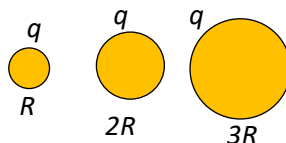
33. Заряджений конденсатор у вертикальному положенні занурили частково у рідкий діелектрик. У якій частині конденсатора напруженість електричного поля між його обкладками буде більшою?

А: 1;      Б: 2;      В: всюди однакова;      Г: залежить від  $\epsilon$ ;  
Д: залежить від температури навколишнього середовища.



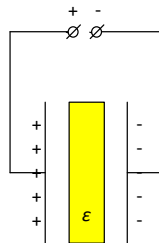
34. Який заряд буде “накопичений” на другій кульці після того, як усі три кульки попарно з’єднають довгими провідними нитками?

А:  $2q$ ;      Б:  $q/2$ ;      В:  $q$ ;      Г:  $3q$ .



35. Якщо обкладки плоского (повітряного) конденсатора приєднати до батареї, то вони почнуть притягуватись одна до одної. Як зміниться сила їх притягання, якщо між ними помістити діелектричну пластинку?

А: зросте в  $\epsilon$  разів;      Б: зменшиться в  $\epsilon$  разів;      В: зросте в  $\epsilon^2$  разів;  
Г: не зміниться;      Д: зменшиться в  $\epsilon^2$  разів.



36. Дано три концентричні металеві сфери. Перша (1) і третя (3) мають заряд  $q$ , друга – заземлена. Порівняйте потенціали сфер.

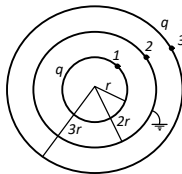
А:  $\varphi_1 > \varphi_2 > \varphi_3$ ;

Б:  $\varphi_1 < \varphi_2 < \varphi_3$ ;

В:  $\varphi_3 > \varphi_1 > \varphi_2 = 0$ ;

Г:  $\varphi_3 = \varphi_1 > \varphi_2 = 0$ ;

Д:  $\varphi_1 > \varphi_3 > \varphi_2 = 0$ .



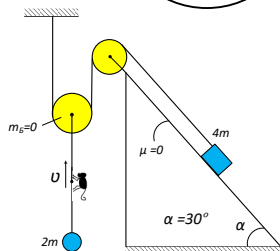
37. У зрівноваженій системі, зображений на малюнку, мавпа почала рухатися вгору зі швидкістю  $v$ . У якому напрямку і з якою швидкістю почне рухатися тіло  $4m$ ? Тертя у системі відсутнє.

А:  $\frac{v}{9}$ , вгору;

Б:  $\frac{2v}{9}$ , донизу ;

В:  $\frac{3v}{9}$ , донизу;

Г:  $\frac{2v}{9}$ , вгору.



38. Дуже складна електрична схема складається з великої

кількості однакових конденсаторів ємністю  $C$  кожний. Для визначення невідомої ємності цієї схеми ( $C_{\text{зар}}$  -?) зібрали таку ж саму схему, лише кожний конденсатор замінено резистором, опір якого  $R$ . Опір такої схеми став рівний  $R_{\text{зар}}$ . Визначіть  $C_{\text{зар}}$ .

А:  $\frac{RC}{C_{\text{зар}}}$ ;

Б:  $\frac{RC_{\text{зар}}}{C}$ ;

В:  $\frac{RC}{R_{\text{зар}}}$ ;

Г:  $\frac{R_{\text{зар}}C}{R}$ ;

Д:  $\frac{R_{\text{зар}}C^2}{R}$

39. Магнітний потік через контур змінюється так, як показано на графіку. Абсолютне значення ЕРС індукції в момент  $t=3$  с дорівнює:

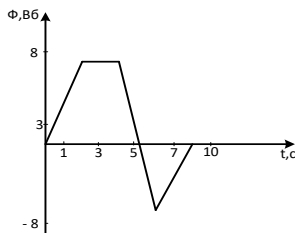
А: 0 В;

Б: 2 В;

В: 4 В;

Г: 6 В;

Д: 8 В.



40. На малюнку зображено сліди електрона та позитрона ( $m_e = m_n$ ;  $q_e = -e$ ;  $q_n = +e$ ), отримані в камері Вільсона, що знаходилась у магнітному полі, індукція якого  $B$ . Який із слідів належить 1) електрону? 2) позитрону? Яка частинка мала більшу кінетичну енергію? Частинки влетіли в камеру знизу.

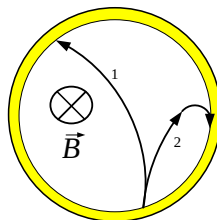
А: 1 – позитрон, 2 – електрон,  $K_n > K_e$ ;

Б: 1 – електрон, 2 – позитрон,  $K_e > K_n$  ;

В: 1 – електрон, 2 – позитрон,  $K_e = K_n$ ;

Г: 1 – позитрон, 2 – електрон,  $K_e > K_n$  ;

Д: неможливо визначити.



# Таблиця правильних відповідей до завдань Всеукраїнського фізичного конкурсу “Левеня–2021”

## 7 клас

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

## 8 клас

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

## 9 клас

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

## 10 клас

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

## 11 клас

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

# РОЗВ'ЯЗКИ ТА ВКАЗІВКИ ДО ДЕЯКИХ ЗАДАЧ

## 7 клас

5. Швидкість води, що виходить з турбіни, є меншою, ніж на вході, бо гідротурбіна виконує роботу за рахунок зменшення кінетичної енергії потоку води.

6. Кулька знаходиться у рівновазі. Отже, сила пружності, що діє на неї з боку стержня, урівноважує силу тяжіння. Тобто сила пружності з боку стержня направлена вгору і дорівнює за модулем силі тяжіння.

7. Сила Архімеда, що діє на кульки, визначається густиною середовища та об'ємом кульки і не залежить від їх густини.

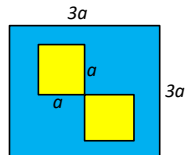
9.  $v_1 = v_2 = \text{const}$  (при переході крізь межу поділу двох середовищ частота хвилі залишається незмінною).

$$11. v = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} \rightarrow v \sim \sqrt{k}, \quad v \sim \frac{1}{\sqrt{m}}, \quad v \neq f(g).$$

12. Швидкість дифузії спадає у наступному порядку: водяна пара – тепла вода – холодна вода – лід.

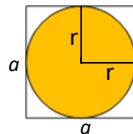
13. Для положення рівноваги:  $k\Delta x = mg$ ; потенціальна енергія деформованої пружини:  $E = \frac{k\Delta x^2}{2}$ . Звідси випливає, що  $E = \frac{m^2 g^2}{2k}$ . Отже,  $E_2/E_1 = 4$ .

14. Маса суцільної пластинки:  $m = \rho \cdot (3a)^2$ ; маса утвореної фігури:  $m_0 = \rho \cdot ((3a)^2 - 2 \cdot (a^2))$ , де  $\rho$  – густина одиниці площі пластинки; звідси отримуємо:  $m = \frac{9}{7} m_0 = 630\text{г}$ .



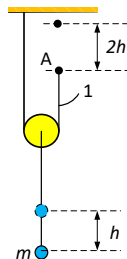
15. Відмінність між гарячою і холодною водою полягає у тому, що швидкість руху молекул гарячої води більша, ніж молекул холодної.

16. Довжина колони в даний момент часу – це відстань між найшвидшим (вчителем фізики) та найповільнішим (Левенятком) учасником руху.



17. Радіус кулі має бути рівним половині довжини ребра куба.

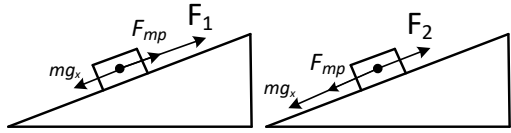
18. Потрібно використати властивість рухомого блоку: для того, щоб перемістити тіло  $m$  на висоту  $h$ , необхідно кінець нитки 1 (т. А) перемістити на висоту  $2h$  (так, як це показано на малюнку)  $\rightarrow$  швидкість точки А удвічі менша за швидкість тіла  $m$ . Якщо ці міркування повторити двічі, то отримаємо відповідь на поставлене в даному завданні запитання.



20.  $F_1 = mg_x - F_{\text{тер}};$

$F_2 = mg_x + F_{\text{тер}};$  де  $mg_x$  - це

складова сили тяжіння, що діє вздовж похилої площини (в обох випадках однакова)  $\rightarrow F_2 > F_1 \rightarrow$  важче тягти рівномірно тіло вгору.



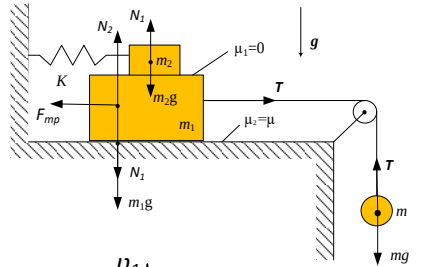
22. Умови рівноваги та рівномірного руху:

$N_2 = N_1 + m_1 g = m_1 g + m_2 g;$

$T = F_{\text{тр}} = \mu N_2;$

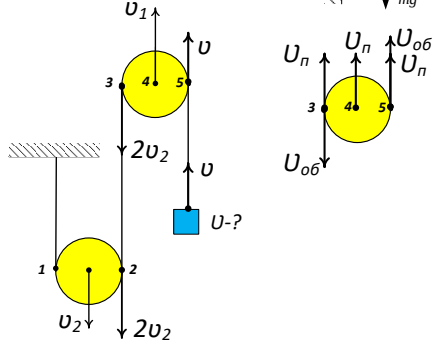
$T = \mu(m_1 + m_2)g ; T = mg.$

Звідси:  $m = \mu(m_1 + m_2)$ . Оскільки  $\mu_1 = 0$ , то  $\Delta x = 0$ .



23. Позначимо точки на блоках так, як показано на малюнках. Оскільки точка 1, дотику нитки та першого блока, в будь який момент часу, залишається нерухомою (миттєва вісь обертання), то швидкість точки 2 є рівною  $2v_2$ . Швидкості усіх точок дотику нитки до блоків показані на малюнку. Оскільки різні точки блока беруть участь одночасно в поступальному та обертальному русі, то:

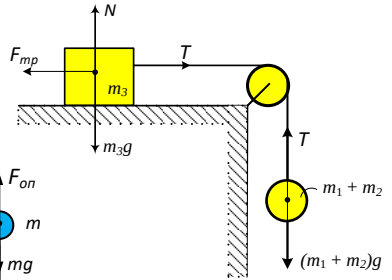
$U_n + U_{об} = U; U_{об} - U_n = 2v_2; U_n = U \rightarrow U = 2(U_1 + U_2) = 6U.$



24. Оскільки система рухається рівномірно, то:

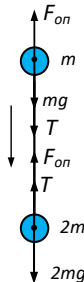
$T = (m_1 + m_2)g; N = m_3 g; T = F_{\text{тр}};$

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



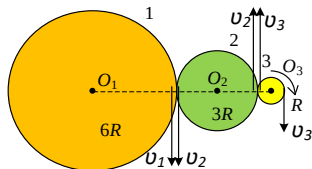
25. Через великий проміжок часу встановиться рівномірний рух кульок:

$F_{on} = T + mg; F_{on} + T = 2mg; \rightarrow T = \frac{mg}{2}.$



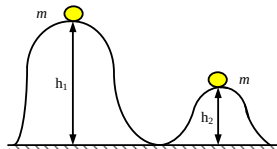
26. Оскільки відсутнє проковзування між приведеними в контакт зубчастими колесами то  $v_1 = v_2 = v_3$ ,  $N_3 = 6$  (умова),

$$v_1 = \frac{2\pi 6R \cdot N_1}{t} = v_3 = \frac{2\pi R \cdot N_3}{t} \rightarrow N_1 = \frac{1}{6} N_3 = 1.$$



27. Відповідно до теореми про кінетичну енергію:

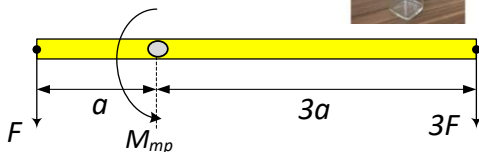
$\Delta K = A_{mg} + A_{mp}$ , де  $A_{mg}$  – робота сили тяжіння,  $A_{mp}$  – робота сили тертя. Оскільки  $\Delta K = 0$  (умова),  $\rightarrow A_{mp} = -A_{mg} = -(mgh_1 - mgh_2) = -20 \text{ Дж}$ .



28. У пляшках зовнішній об'єм нижньої частини завжди більший за об'єм верхньої частини, тому у випадку 2 приходится виконувати більшу роботу для занурення пляшки у воду.



30. Система, зображена на малюнку, перебуває у рівновазі, тому  $M_{mp} = 3F \cdot 3a - Fa = 8Fa$ .



## 8 клас

2. Електричні диполі втягуються в область сильнішого електричного поля, тому клаптики паперу притягуються до зарядженого гребінця (електричне поле неоднорідне) і не притягуються до пластини зарядженого конденсатора (однорідне електричне поле).

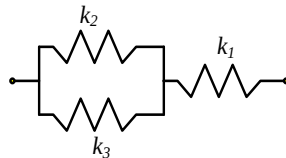
4. Коробка передач (швидкостей), не змінюючи потужності двигуна, зменшує швидкість обертання ведучих коліс, збільшуючи за рахунок цього силу тяги ( $P = F_{тяги} \cdot v$ ).

6. До основних положень про будову речовини належать наступні твердження: 2 – всі речовини мають дискретну будову, 3 – частинки, з яких складаються речовини перебувають у хаотичному русі.

7. Відповідно до закону збереження заряду:  $q_{кін} = \frac{q + 2q + 3q}{3} = 2q$ .

10. Пружини, коефіцієнти жорсткості яких  $k_2$  та  $k_3$ , з'єднані паралельно, тому їх можна замінити пружиною з еквівалентною жорсткістю:  $k_{23} = k_2 + k_3$ , яка з'єднана послідовно з пружиною жорсткістю  $k_1$ . Тому коефіцієнт пружності системи пружин визначається, як:

$$k_{123} = \frac{k_1(k_2 + k_3)}{k_1 + k_2 + k_3}.$$



12. Якщо ліфт почне падати в момент, коли вантаж знаходиться в одній із точок максимального відхилення від положення рівноваги, то в подальшому вантаж буде нерухомим відносно стінок ліфта. У всіх інших випадках вантаж буде описувати кругову траєкторію навколо точок підвісу, причому найбільша швидкість обертання буде в тому випадку, якщо ліфт починає падати в момент, коли вантаж проходить нижню точку своєї траєкторії.

13. Після дотику третьої сфери до перших двох, на них накопичуються заряди:  $\frac{q}{2}$  (на першій) і  $\frac{3q}{4}$  (на другій), що впливає з закону збереження заряду.

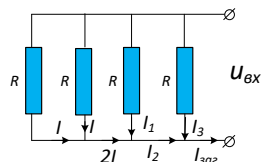
$$F = k \frac{qq}{r^2}; \quad F_1 = k \frac{\frac{q}{2} \cdot \frac{3q}{4}}{r^2} = \frac{3}{8} \frac{kq}{r^2} = \frac{3}{8} F.$$

15. Кількість теплоти, яку віддає нагріте тіло навколишньому середовищу за одиницю часу прямо пропорційне різниці температур тіла і навколишнього середовища  $\rightarrow$  для нагрівання води на певну кількість градусів  $\Delta t$  у випадку 2 потрібно більше часу.

16. Оскільки коефіцієнти лінійних розширень обох пластинок однакові, то біметалева пластинка при нагріванні веде себе як суцільна, тобто збільшує свої розміри лише в повздовжньому напрямку.

20. Використовуючи закони послідовного та паралельного з'єднання провідників отримаємо (див. мал):  $2I \frac{R}{2} = I_1 R \rightarrow I_1 = I = I_3, \rightarrow I_2 = 2I + I_1 = 3I \rightarrow I_{\text{зар}} =$

4I. Оскільки,  $R_{\text{зар}} = \frac{R}{4}$ , то  $U_{\text{вх}} = I_{\text{зар}} R_{\text{зар}} = IR$ .



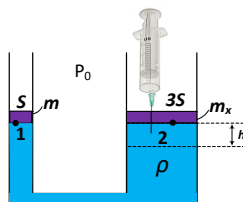
21. Запишемо умову рівноваги тіла у двох випадках:  $k\Delta x_1 = mg$ ,  $k\Delta x_2 + F_a = mg$ ,  
де  $F_a = \rho_a g \frac{m}{\rho}$ , або  $k\Delta x_2 + F_a = k\Delta x_1 \rightarrow$

$$F_a = k\Delta x_1 - k\Delta x_2 \rightarrow F_a = 3H.$$

22. Відповідно до закону сполучених посудин:  $p_1 = p_2 \rightarrow$

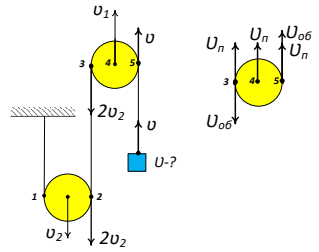
$$p_0 + \frac{mg}{s} = p_0 + \frac{m_x g}{3s} \rightarrow m_x = 3m.$$

Після того, як відкачали воду, обидва поршні опустились на  $h$  і знову зайняли положення на одному рівні. Об'єм рідини, що був відкачаний  $4Sh$ , вливають у вузьке коліно площею перерізу  $S \rightarrow$  висота стовпчика рідини після переливання над малим поршнем буде рівною  $4h$ , а отже, різниця висот, на яких перебуватимуть поршні буде рівною  $4h$





23. Позначимо точки на блоках так, як показано на малюнках. Оскільки точка 1, дотику нитки та першого блока, в будь який момент часу, залишається нерухомою (миттєва вісь обертання), то швидкість точки 2 є рівною  $2v_2$ . Швидкості усіх точок дотику нитки до блоків показані на малюнку. Оскільки окремі точки блока беруть участь одночасно в поступальному та обертальному рухах, то:



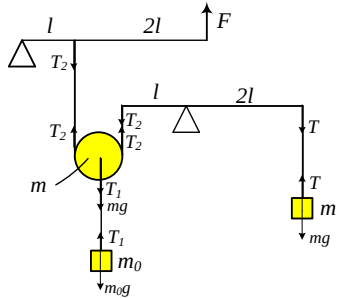
$$U_n + U_{ob} = U; U_{ob} - U_n = 2v_2; U_n = U \rightarrow U = 2(U_1 + U_2).$$

24. Оскільки система перебуває в положенні рівноваги :

$$\begin{aligned} T &= mg, & T_1 &= m_0 g, \\ 2T_2 &= T_1 + mg, & T_2 l &= T_2 l, \\ F 3l &= T_2 l. \end{aligned}$$

$$\text{Звідси} \rightarrow m_0 = 3m, a \quad F = \frac{2mg}{3}.$$

26. У випадку А вода у всьому об'ємі швидше прогріється і запарує завдяки конвекційним потокам.



28. Рух рівномірний :

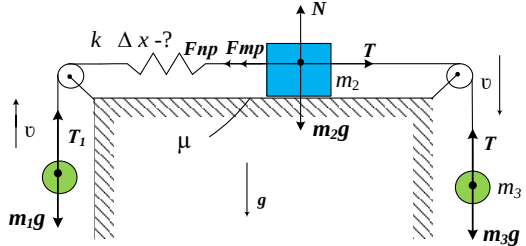
$$T = m_3 g, \quad T = F_{np} + F_{mp};$$

$$T_1 = m_1 g = F_{np} = k \Delta x;$$

$$\rightarrow \Delta x = \frac{m_1 g}{k} = \frac{2mg}{k};$$

$$m_3 g = k \Delta x + \mu m_2 g;$$

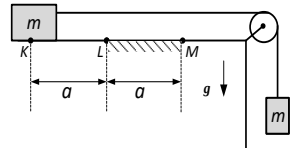
$$4mg = 2mg + \mu 3mg \rightarrow \mu = \frac{2}{3}.$$



29. При нагріванні ртуть

зазнає більшого теплового розширення, ніж сталь, тому виштовхувальна сила зменшується і куля опуститься глибше у рідину.

$$(\rho_p = \rho_{po}(1 - \beta_{pmt}), \quad V_k = V_{ko}(1 - \alpha_{pmt})).$$



30. Зміна потенціальної енергії системи рівна

роботі, яку вона виконала для подолання тертя на ділянці LM:

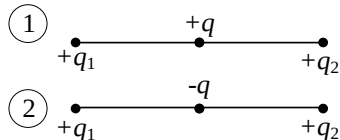
$$mg \cdot 2a = F_{mp} \cdot a \rightarrow F_{mp} = 2mg.$$

## 9 клас

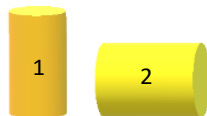
2. При замерзанні води її об'єм почне збільшуватися (густина льоду менша ніж води, а маса системи не змінюється). Відповідно, буде зменшуватись об'єм закритої пляшки? зайнятий повітрям.



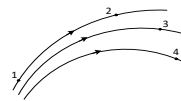
3. Рівновага є стійкою, якщо при відхиленні тіла з положення рівноваги на нього діє рівнодійна сила (момент сили), що направлена до положення рівноваги і повертає тіло назад у попереднє положення. Це положення з мінімально можливою енергією системи. Цим критерієм відповідає випадок, зображений на малюнку 1.



4. У другому випадку циліндр охолоне швидше, оскільки випромінююча поверхня (поверхня, що не дотикається до землі) буде більшою.



5. В області, де силові лінії магнітного поля зображені густіше (більша густина ліній), індукція магнітного поля є більшою. Отже, в даній області (1) рамка зі струмом буде зазнавати сильнішої дії з боку цього поля.

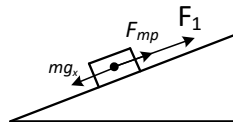


7. При проходженні білого світла крізь призму воно розкладається в спектр внаслідок дисперсії (залежність показника заломлення від довжини світлової хвилі), причому  $n_F > n_C \rightarrow$  найбільше заломлюється світло (хвиля) фіолетового кольору, тобто вірного є картина зображена на малюнку А.

8. Як правило, в разі зменшення температури густина збільшується, але є речовини, чия густина в певних температурних діапазонах поводить інакше, наприклад, вода і чавун. Найбільшу густину прісна вода має при  $4^\circ \text{C}$ . При цій температурі один кілограм води займає мінімальний об'єм. При зниженні температури від  $4^\circ \text{C}$  до  $0^\circ \text{C}$  густина зменшується, тобто вода з температурою  $4^\circ \text{C}$  знаходиться знизу, а більш холодна підіймається на поверхню, де замерзає, перетворившись у кригу.

9. Червоний колір видно з великих відстаней, оскільки найменше розсіюється в атмосфері

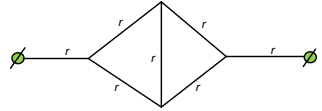
10. Щоб втримати тіло на похилій площині, необхідно прикласти вздовж неї силу, як видно з малюнка, рівну:



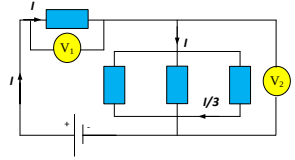
$$F_1 = mg \cdot (\sin \alpha - \mu \cos \alpha).$$

11. Час падіння тіла у безповітряному середовищі не залежить від його розмірів та маси.

12. Після додавання двох провідників коло набуде вигляду: Опір такої системи  $3r$ . Оскільки в початкової схеми опір  $5r$ , то опір схеми зменшиться в  $\frac{5}{3}$  рази.



14. А: 1 – так, 2 – ні; у випадку прискореного руху корабля, на кульку діятиме в СВ -корабель сила інерції, яка діятиме на кульку в напрямку протилежному до вектора прискорення і не дозволить кульці впасти в попереднє положення.

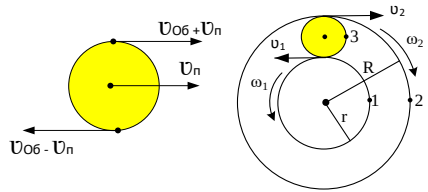


15.  $U_1 = IR, U_2 = \frac{I}{3} R, \rightarrow U_1 > U_2$ .

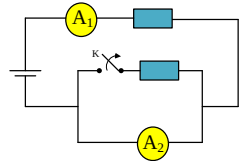
17.  $ma = mg \cdot \sin \alpha - \mu \cdot mg \cdot \cos \alpha; a = g(\sin \alpha - \mu \cos \alpha)$ . При  $\alpha \rightarrow 90^\circ, a \rightarrow g$ .

18.  $v_2 = \omega_2 R = 2\omega \cdot 2r = 4\omega r$ ,

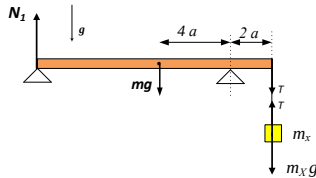
$$\begin{cases} v_1 = \omega_1 r = \omega r \\ v_{\text{п}} + v_{06} = 4\omega r \\ v_{06} - v_{\text{п}} = \omega r \end{cases} \rightarrow \begin{cases} 2v_{06} = 5\omega r \rightarrow v_{06} = 2,5\omega r \\ \omega_{06} \cdot \frac{r}{2} = 2,5\omega r \rightarrow \omega_{06} = 5\omega \end{cases}$$



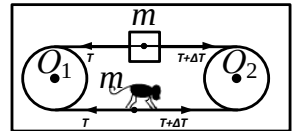
20. Після розмикання вимикача загальний опір схеми зростає, а сила струму зменшується. При цьому спад напруги на першому амперметрі  $A_1$  зменшується, а на амперметрі  $A_2$  – зростає. Тому покази амперметра  $A_1$  зменшуються, а амперметра  $A_2$  – збільшуються.



21. Коли  $m_x \rightarrow \max, N_1 \rightarrow 0$ ,  
 $mg \cdot 4a = m_x g \cdot 2a, m_x = 2m$ .



22. Доки мавпа була не рухома, сила натягу мотузки (Т) всюди була однакою. У момент збільшення швидкості від 0 до  $v$  мавпа збільшувала натяг мотузки справа на  $\Delta T$ . В цей момент на тіло  $m$ , вправо, діяла більша на  $\Delta T$  сила натягу мотузки. Тіло, як і мавпа, почало рухатись вправо, зі швидкістю  $v$  (на мавпу і тіло весь час діяли однакові сили)



23. При контакті нагрітого тіла і навколишнього середовища, кількість теплоти, яку віддає тіло прямо пропорційне площі його поверхні (площі дотику), яка пропорційна квадрату діаметру тіла, а маса пропорційна кубу діаметра. Тому записавши рівняння теплового балансу, отримаємо, що час остигання прямо пропорційний діаметру кулі.

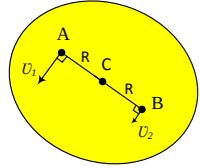
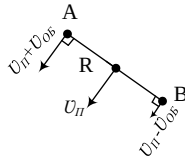
24.

$$U_{II} + U_{OB} = U_1$$

$$U_{II} - U_{OB} = U_2$$

$$\text{Звідси, } U_{OB} = \frac{v_1 - v_2}{2}, \text{ або}$$

$$\omega = \frac{v_1 - v_2}{2R}$$



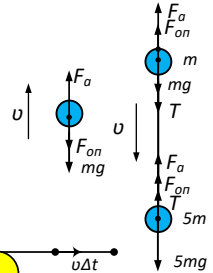
25. Оскільки у двох випадках ми маємо справу з рівномірним рухом, то:

$$F_a = mg + F_{on}$$

$$F_a + F_{on} = mg + T$$

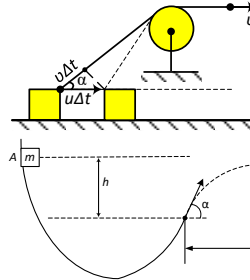
$$F_a + F_{on} + T = 5mg$$

$$\text{Звідси, } F_a = 2mg \rightarrow \rho_0 g V = 2\rho V g \rightarrow \rho_0 = 2\rho \rightarrow \rho = 500 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$



26. За однаковий (дуже маленький) проміжок часу кінець нитки проходить відстань  $v\Delta t$ , а тіло по горизонтальній поверхні  $u\Delta t$ , причому в силу малості проміжку часу, ці відстані пов'язані співвідношенням:

$$v\Delta t = u\Delta t \cdot \cos\alpha, \text{ звідси: } u = v / \cos\alpha.$$



27. Оскільки поверхня гладка, то:  $\frac{mv^2}{2} = mgh$

$$h = \frac{v^2 \sin 2\alpha}{g} \rightarrow \sin 2\alpha = \frac{1}{2} \rightarrow \alpha = 15^\circ$$

28. Введемо позначення:  $T_{K1}$ ,  $T_{K2}$ ,  $T_{B1}$ ,  $T_{B2}$  – температури в кімнаті та на вулиці у 1-му та 2-му випадках.  $T$  – температура батареї. Тепло, яке віддає батарея за 1 с:  $k(T - T_K)$ , де  $k$  – коефіцієнт пропорційності. Тепло, яке віддає кімната навколишньому середовищу за 1 с:  $k_1(T_K - T_B)$ ,  $k_1$  – інший коефіцієнт. Рівняння теплового балансу:

$$\{k(T - T_{K1}) = k_1(T_{K1} - T_{B1})$$

$$(k(T - T_{K2}) = k_2(T_{K2} - T_{B2}))$$

$$\text{Звідси, } T = 60^\circ\text{C}.$$



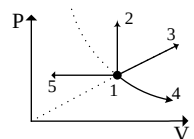
29. При плавленні льоду в основі льодовика його висота зменшується на  $\Delta h$ . Зменшення потенціальної енергії рівне енергії, яка поглинається при плавленні льоду масою  $\Delta m = \rho S \Delta h$ , ( $\rho$  – густина льоду;  $S$  – площа перерізу льодовика).  $q_L \Delta m = mg \Delta h \rightarrow \rho S g \Delta h = q_L \rho S \Delta h \rightarrow h = \frac{q}{g} = \frac{330 \cdot 10^3}{10} = 33 \cdot 10^3 \text{ м} = 33 \text{ км}.$

30. Парабола (СВ – Земля), пряма (СВ – корабель).

## 10 клас

1. Газ не виконує роботу під час ізохорного процесу ( $V = \text{const}$ ):

$$A = \sum_i p_i \Delta V_i = 0, \text{ тобто на ділянці 1 - 2.}$$



3. Коли на шляху поширення світлової хвилі опиняється перешкода, лінійні розміри якої  $\gg$  за довжину хвилі, то світло практично не попадає в область геометричної тіні, утворення якої є оптичним процесом.

4. А:  $\frac{m_0 v^2}{2} = \frac{3}{2} kT \rightarrow m_0 \overline{v^2} \sim T \rightarrow \mu \sim T$

5. Оскільки похилі площини різної форми є гладкими, то, відповідно до закону збереження енергії, швидкості тіл біля основ цих площин будуть рівними.

8.  $E = K + \Pi = K_{\max} = \Pi_{\max}$ , де  $K$ -кінетична енергія,  $\Pi$ -потенціальна енергія.

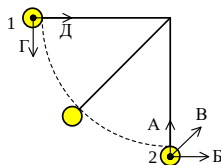
9. Водяна пара, що знаходиться в атмосфері на великих висотах, є перенасиченою. Продукти згорання палива (маленькі частинки), які викидає літак, стають центрами конденсації, утворюючи хмарний слід.

10.  $m = m_0 N = m_0 n V$

11.  $x = 5 \sin\left(2\pi t + \frac{\pi}{3}\right) \rightarrow \omega = 2\pi$  (рад/с).  $\omega = \sqrt{\frac{g}{l}} \rightarrow l = \frac{g}{\omega^2} = \frac{10}{4\pi^2} = 0,25$  (м)

12.  $\overline{v} = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}}, \quad \overline{v_A} = \sqrt{\frac{3kT_A}{m_{0A}}}, \quad \overline{v_B} = \sqrt{\frac{3kT_B}{m_{0B}}}$   
 $\frac{3kT_A}{Z m_{0B}} = \frac{3kT_B}{m_{0B}} \rightarrow \frac{T_A}{T_B} = Z$

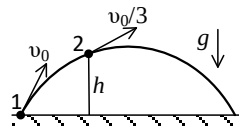
14. В положенні 1 швидкість кульки рівна нулю, тому кулька має лише тангенціальне прискорення (доцентрове прискорення рівне нулю), яке напрямлене в напрямку Г. А в положенні 2 кулька має максимальну швидкість, отже, володіє доцентровим прискоренням (тангенціальне рівне нулю), яке напрямлене вздовж напрямку А.



16. Відповідно до теореми про кінетичну енергію:

$$\Delta K = A_{\Sigma}, \quad \frac{mv_0^2}{2 \cdot 9} - \frac{mv_0^2}{2} = (mgh - 0) + A_{mp}, \quad \text{де } h = 2 v_0^2 / (9g)$$

Звідси,  $A_{mp} = -\frac{2}{9} m v_0^2$ .



17.  $\frac{GM}{r^2} = mg \rightarrow g = \frac{GM}{r^2} \rightarrow g = \frac{GM}{r^2} = \frac{4\rho R \pi G}{3}$ .

19. Внаслідок капілярних ефектів вода між двома близько розташованими сірниками піднімається вгору. Тиск у воді між сірниками стає меншим за атмосферний. Це призводить до того, що сірники приближуються.

20. Напруженість електричного поля ззовні заземленої сфери рівна нулю.

21. У першому та другому випадках сили Архімеда, що діють на кульку занурену в рідину є рівними:  $F_{A1} = F_{A2} = 2\rho g V$ .

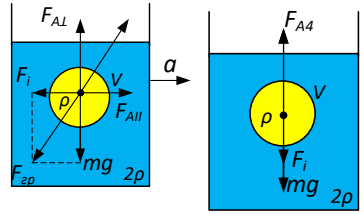
У третьому випадку:

$$F_{A3} = \sqrt{F_{A\text{в}}^2 + F_{A\text{п}}^2} = \sqrt{(2\rho g V)^2 + (2\rho a V)^2} = 2\rho V \sqrt{g^2 + a^2} = \sqrt{2} F_{A1}$$

У четвертому випадку:

$$F_{A4} = 2\rho (g + a) V = 4\rho g V = 2 F_{A1}$$

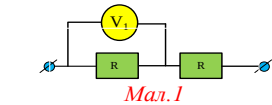
Звідси:  $F_{A4} > F_{A3} > F_{A1} = F_{A2}$ .



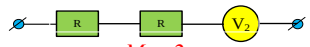
22. У загальному випадку у СВ – посудина:  $F_A = mg_{\text{еф}}$ , де  $\vec{g}_{\text{еф}} = \vec{g} + \vec{a}$ , звідси:

$\rho g_{\text{еф}} V_{\text{зан}} = mg_{\text{еф}} \rightarrow V_{\text{зан}}$  не залежить від  $g_{\text{еф}}$ , тому у всіх трьох випадках рівень води в посудині не зміниться.

23. В обох випадках струм, що тече через вольтметр, повинен бути однаковим,  $\rightarrow$  у другому випадку струм в колі у 2 рази менший, ніж у першому. А це виконується, якщо опір кожного резистора  $R = R_V = 3 \text{ кОм}$ .



Мал.1



Мал.2

24. Час зіткнення кулі з дверима дуже малий. За цей час деформація, викликана тиском кулі, не встигає поширитись на великі відстані. Тому імпульс, що втрачає куля, передається невеликій ділянці дверей і куля пробиває в них невеликий отвір.

25. Різниця сил тиску, що діють на поршень (збоку газу під поршнем і атмосферного повітря) збільшується з висотою (чим більша висота поршня над рівнем дна посудини, тим меншим є тиск газу під поршнем, бо за умовою:  $T = \text{const}$ ). Для простоти вважатимемо поршень легким. У положенні рівноваги на певній висоті (початкова умова): різниця цих сил урівноважується вагою тіла масою  $m$  ( $P = mg$ , бо поршень у положенні рівноваги). Коли поршень проходить це положення рівноваги і на нього поклали тіло  $m$ , то під дією сили тиску з боку тіла він набуде прискореного руху до положення рівноваги і пройде його за інерцією. У випадку відсутності тертя в системі поршень виконуватиме коливальні рухи  $\rightarrow h_1 < h$ .

26. При нагріванні газу при постійному тиску він розширюється. Якщо циліндр знаходиться в положенні 1, то газ при розширенні виконує роботу, затрачену на підняття поршня, тобто на збільшення потенціальної енергії поршня і збільшення потенціальної енергії газу, бо при розширенні газу в циліндрі центр тяжіння газу піднімається. Ця робота виконується за рахунок підведеного до газу тепла. У положенні 2 поршень опускається. Робота по зменшенню потенціальної енергії газу і поршня здійснюється силою тяжіння.  $\rightarrow$  в цьому випадку для нагрівання газу до температури  $T$  потрібно менше тепла, ніж у попередньому випадку.

27. Г: бомба ніколи не впаде на Землю (стане супутником).

28. Відповідно до закону збереження імпульсу:  $2m \cdot v_1 = m \cdot v_2$ , звідки  $2v_1 = v_2$ .

Максимальна кінетична енергія першого вантажу:  $E_1 = \frac{2mv_1^2}{2}$ , а другого

$$: E_2 = \frac{mv_2^2}{2} \rightarrow E_2 = 2E_1 = 2K.$$

29.  $\varphi = 3t + t^2 \rightarrow \omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} = 3 + 2t$ , при  $t_1 = 1$  с отримаємо  $\omega_1 = 5$  рад/с.

30. Покази першого вольтметра будуть збільшуватись, а другого – зменшуватимуться.

32. Щоб збільшити швидкість від 0 до  $v$ , мавпа збільшує натяг нитки зверху на  $\Delta T_1$  (її прискорення напрямлене вгору, а натяг нитки під мавпою зменшується на  $\Delta T$ ). Відповідно зростає сила натягу мотузки, що діє на тіло  $4m$ , на  $\frac{\Delta T_1}{2}$ , яке почне рухатись з прискоренням  $a_2$ , а тіло  $2m$  почне рухатись донизу з прискоренням  $a_1$ .

Коли мавпа нерухома:

$$T = 2mg, \quad T_1 = m_x g + T, \quad 2T_2 = T_1,$$

$$T_2 = 4mg \sin \alpha, \quad \text{звідси: } m_x = 2m.$$

Коли мавпа починає рухатись:

$$2ma_1 = 2mg - (T - \Delta T)$$

$$m_x a = (T_1 + \Delta T_1) - m_x g - (T - \Delta T)$$

$$4ma_2 = T_2 + \frac{\Delta T_1}{2} - 4mg \sin \alpha$$

Із кінематичних зв'язків:  $a_2 = 2a_1$ . З попередніх співвідношень випливає, що:

$$a = 4a_2 + a_1, \quad \text{або: } a_1 = \frac{a}{9}. \quad \text{Якщо } t - \text{ час розгону, то: } \frac{v_1}{t} = \frac{1}{9} \frac{v}{t} \rightarrow v_1 = \frac{v}{9},$$

донизу.

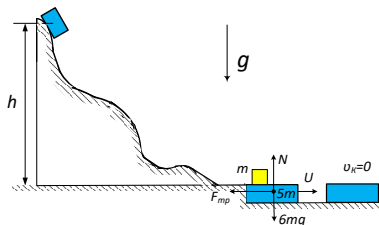
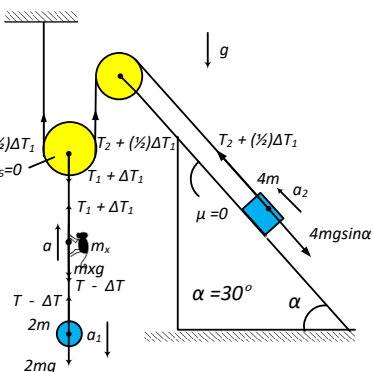
33. Оскільки гірка гладка, то:

$$mgh = \frac{mv^2}{2}, \quad \text{де } v - \text{ швидкість тіла } m \text{ в кінці спуску.}$$

Із закону збереження імпульсу випливає:

$$mv = 6mU, \quad \text{де } U - \text{ швидкість системи після зіткнення } \rightarrow U = \frac{v}{6} = \frac{1}{6} \sqrt{2gh}.$$

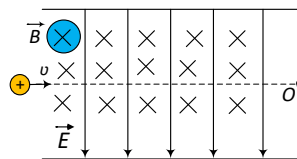
$$\text{робота сили тертя: } A_{\text{тр}} = mgh - \frac{6mu^2}{2} = \frac{5}{6} mgh$$



34. Щоб позитивно заряджена частинка, влетівши в зону дії взаємно перпендикулярних електричного ( $E$ ) і магнітного ( $B$ ) полів, влучила в мішень в точку О, потрібно щоб вона продовжувала рухатись прямолінійно.

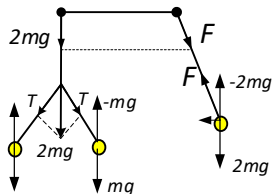
А це можливо у випадку, коли сили, що діють на неї з боку електричного та магнітного полів, взаємно компенсуються (протилежно напрямлені) і рівні по модулю:

$$F_{el} = F_m, \quad qvB = qE \rightarrow v = \frac{E}{B}.$$



**35.** Записавши закон збереження імпульсу при непружному ударі і закон збереження енергії для системи двох кульок після удару, отримаємо, що кульки після співудару піднімуться на однакову висоту.

**36.** Правий вантаж переважить. На малюнку зображено ситуацію, коли нитки закріплені на цвяхах. З нього можна зробити висновок, що сила натягу правої нитки є більшою, ніж лівої.



**38.** Рівняння динаміки поступального та обертального руху:

$$F_{mp} = \mu mg = m \cdot a,$$

$$M_{mp} = \mu mgR = \frac{1}{2} mR^2 \cdot \epsilon, \quad \text{де } R - \text{радіус}$$

суцільного циліндра. Звідси,

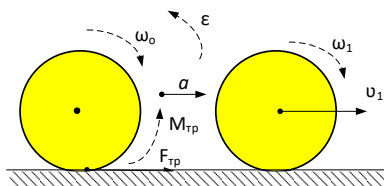
$$\mu g = a, \quad 2\mu g = \epsilon.$$

З кінематичних співвідношень:  $v_1 = at$ ,  $\omega_1$

$= \omega_0 - \epsilon t$  та  $v_1 = \omega_1 R$  (умова припинення проковзування). На основі цих

рівнянь:  $\omega_1 = \frac{\omega_0}{3}.$

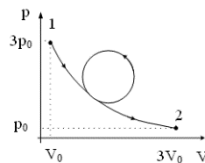
**39.** В умовах відсутності опору з боку середовища, два тіла, що перебувають на однаковій висоті над певним рівнем: (одне з яких відпустили без початкової швидкості, а інше кинули горизонтально) опустяться до цього рівня одночасно. Тому куля завжди влучить в яблуко.



**40.** За першим законом термодинаміки :  $Q = \Delta U + A'$ .  $T_1$

$= T_2$  (див. малюнок),  $\Delta U = 0 \rightarrow Q = \Delta U + A' = A'$ . За

умовою  $A' = A$  – робота виконана газом.  $Q = A$ .



## 11 клас

**1.** Явище зміни напрямку поширення хвилі при її проходженні через плоску межу двох однорідних середовищ називають заломленням.

**2.**  $W_{\text{магн}} = \frac{LI^2}{2}$  – енергія магнітного поля котушки.

**5.**  $T_0 = 2\pi\sqrt{L_0C_0}$ ,  $T = 2\pi\sqrt{LC} = \sqrt{\mu L_0 \epsilon C_0} = T_0\sqrt{\epsilon\mu}.$

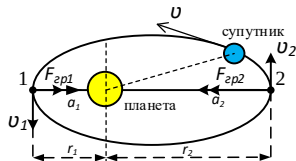


6. Динамо-машина може працювати як двигун і генератор.

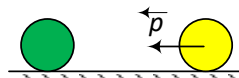
7. Відповідно до закону збереження енергії для замкнених систем  $E_1 = E_2$ .

$$ma_1 = \frac{GmM}{r_1^2}; ma_2 = \frac{GmM}{r_2^2} \rightarrow a_1 = \frac{GM}{r_1^2}, a_2 = \frac{GM}{r_2^2},$$

$$a_1 > a_2.$$

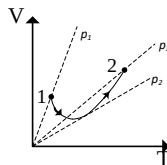


9. За законом збереження імпульсу: імпульс системи до удару буде рівним імпульсу системи після удару, тобто  $\vec{p}$ .



10. Кінетична енергія, що гармонічно коливається, максимальна в положенні рівноваги.

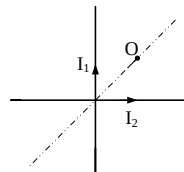
11. Чим вище ізобара, тим менший тиск:  $p = \frac{\nu RT}{V}$ . Тому при переході з стану 1 в стан 2 тиск спочатку зростає, а потім зменшується.



12. Коло (гнучкий провідник набуває форми, при якій сумарна сила, що діє на провідник з боку магнітного поля, була рівна нулю).

13. При утворенні льоду виділяється тепло, внаслідок чого припиняється подальше охолодження повітря в підземних сховищах, що дозволяє вберегти овочі від переохолодження.

14. Вектори індукції магнітних полів, створених кожним з провідників, рівні по модулю, але напрямлені в протилежних напрямках  $\rightarrow B_{\Sigma} = 0$ .



$$15. x = A \sin \omega t \rightarrow a_x = x'' = -A \omega^2 \sin \omega t \rightarrow a_{max} = A \omega^2 \rightarrow F = m A \omega^2, \\ E = \frac{KA^2}{2} = \frac{m \omega^2 A^2}{2} \rightarrow A = \frac{2E}{F}.$$

$$16. E_1 = \frac{\sigma_1}{2\epsilon_0} = \frac{9q}{2\epsilon_0 S}, \quad E_2 = \frac{\sigma_2}{2\epsilon_0} = \frac{3q}{2\epsilon_0 S},$$

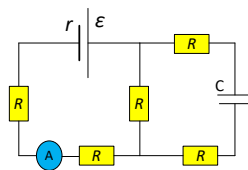
де  $\sigma_1, \sigma_2$  – густина електричного заряду на пластинах конденсатора.  $E = E_1 + E_2 = \frac{11q}{2\epsilon_0 S}$

$$\Delta \phi_{12} = Ed = \frac{12q}{2\epsilon_0 S} d, \quad c = \frac{\epsilon_0 S}{d} \rightarrow \Delta \phi_{12} = \frac{12}{2} \frac{q}{c} = 6 \frac{q}{c}.$$

$$17. \quad \mathbf{B}: \frac{m_1 + m_2}{\mu} = \frac{m_1}{\mu_1} + \frac{m_2}{\mu_2}, \quad (v = v_1 + v_2)$$

$$19. \quad I = \frac{\epsilon}{3R + r} = \frac{\epsilon}{4R}; \quad U = IR = \frac{\epsilon}{4R} R = \frac{\epsilon}{4}.$$

В установленим режимі через конденсатор не тече струм, різниця потенціалів на пластинах конденсатора рівна нулю.



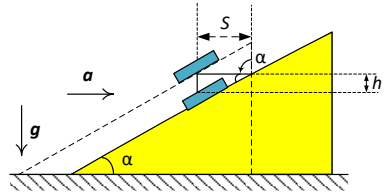
20. Внаслідок капілярних ефектів вода між двома близько розташованими сірниками піднімається вгору (змочування). Тиск води між сірниками нижчий від атмосферного. Це приведе до того, що сірники зближаться.

21. При забиранні магніту в кільці виникає індукційний струм, магнітне поле якого створить потік  $\Phi$  через кільце ( $\Phi = \text{const}$ ).

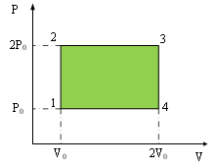
22. Потік вектора індукції магнітного поля крізь довільну замкнуту поверхню:  $\Delta\Phi = B\Delta S \cos\alpha \rightarrow$  зміна потоку крізь контур, обмежений провідним колом (виникнення ЕРС) спостерігається у другому та третьому випадках, тому горить  $L_2$  і  $L_3$ .

23. Почавши вільно падати, тіло за деякий час зміститься по вертикалі на висоту  $h$ , пропорційну прикорню  $g$ . За цей час клин повинен зміститись у горизонтальному напрямку не менше ніж на  $S$ , що пропорційне  $a$ .  $\rightarrow t g \alpha = \frac{h}{S} = \frac{\frac{gt^2}{2}}{\frac{at^2}{2}} = \frac{g}{a} \rightarrow$

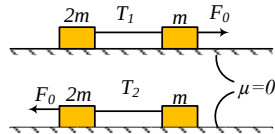
$$a = g \operatorname{ctg} \alpha.$$



24. Для ділянок, на яких газ отримує тепло:  $Q = Q_{12} + Q_{23} =$   
 $= \frac{3}{2}(2p_0V_0 - p_0V_0) + 2p_0V_0 + \frac{3}{2}(2p_02V_0 - 2p_0V_0) =$   
 $= \frac{13}{2}p_0V_0 = \frac{13}{2}RT_0.$



25. Для системи, що складається з двох тіл, напишемо рівняння динаміки поступального руху:  $3ma_1 = F_0$ ,  $F_0 = 3ma_2$ ,  $a_1 = a_2 = a$ ,  $T_1 = 2ma$ ,  $T_2 = ma \rightarrow T_1 > T_2$



27. В умовах невагомості, тому що сили поверхневого натягу не скомпенсовані зовнішніми силами і рідина заповнить капіляр повністю.

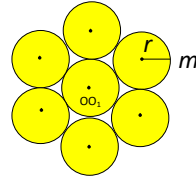
28. Оскільки в колі змінного струму півперіоду струм тече, а півперіоду – ні, то в чорній скриньці напівпровідниковий діод.

30.  $E_a = \Delta\phi$ ,  $\Delta\phi = \frac{aQ}{a}$ , де  $a$  – коефіцієнт пропорційності  $\rightarrow \frac{Q}{a^2} = \text{const} \rightarrow Q = 4q$ . Потенціал рамки однаковий. Різниця потенціалів зумовлена зовнішнім полем має бути скомпенсована різницею потенціалів наведеного заряду. Потенціал точкового заряду  $\phi = k \frac{q}{r}$ , а для рамки певної форми з'явиться коефіцієнт пропорційності, який враховує геометричну конфігурацію.

32. За теоремою Штейнера :

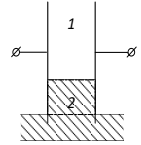
$$I_{(OO_1)}^1 = \frac{mr^2}{2} + m \cdot (2r)^2 = \frac{9}{2} mr^2$$

$$I_{\text{сист.}} = 6 \cdot \frac{9}{2} mr^2 + \frac{mr^2}{2} = \frac{55}{2} mr^2$$



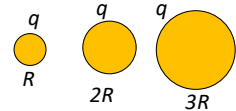
33. Напруженість полів в повітрі і в діелектрику рівні.

Послаблення поля всередині діелектрика внаслідок поляризації компенсується збільшенням густини заряду на нижній частині обкладок конденсатора.



34. При з'єднанні кульок попарно між собою довгими нитками, заряди перерозподіляться між кульками до тих пір, поки потенціали не стануть рівними:

$\varphi_1 = \varphi_2 = \varphi_3 = \frac{kq_1}{R} = \frac{kq_2}{2R} = \frac{kq_3}{3R}$ , де  $q_1, q_2, q_3$  – заряди, що накопичуються на кульках після з'єднання. Відповідно до закону збереження заряду:  $q_1 + q_2 + q_3 = 3q$ . Звідси:  $q_2 = q$ .



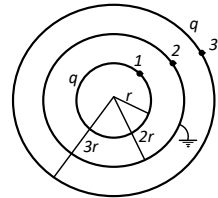
35. Оскільки конденсатор приєднаний до джерела, то різниця потенціалів між його пластинами має залишатись постійною  $\rightarrow$  поле між пластинами не повинно змінитись, а оскільки між пластинами знаходиться діелектрик, який послаблює внаслідок поляризації зовнішнє поле в  $\epsilon$  разів, то заряд кожної обкладки збільшиться  $\epsilon$  разів, бо у стільки ж разів зросте напруженість поля, що породжує у повітрі кожна з обкладок конденсатора. Оскільки сила притягання між пластинами пропорційна  $q^2 \rightarrow F_{\text{притягання}}$  зросте в  $\epsilon^2$  разів.

36.  $\varphi_2 = 0 = \frac{kq_x}{2r} + \frac{kq}{2r} + \frac{kq}{3r} \rightarrow \frac{q_x}{2} = -\left(\frac{q}{2} + \frac{q}{3}\right) = -\frac{5q}{6} \rightarrow$

$$q_x = -\frac{5q}{3}$$

$$\varphi_1 = \frac{kq}{r} + \frac{kq_x}{2r} + \frac{kq}{3r} = \frac{kq}{2r}; \quad \varphi_3 = \frac{kq}{3r} + \frac{kq_x}{3r} + \frac{kq}{3r} = \frac{kq}{9r};$$

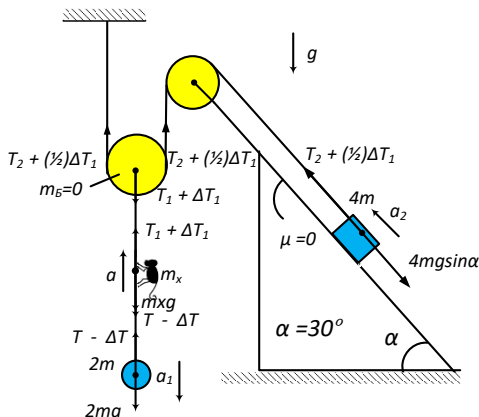
Отже,  $\varphi_1 > \varphi_3 > \varphi_2 = 0$ .



37. Щоб збільшити швидкість від 0 до  $v$ , мавпа збільшує натяг нитки зверху на  $\Delta T_1$  (її прискорення напрямлене вгору, а натяг нитки під мавпою зменшується на  $\Delta T$ ). Відповідно зростає сила натягу мотузки, що діє на тіло 4m, на  $\frac{\Delta T_1}{2}$ , яке почне рухатись вгору з прискоренням  $a_2$ , а тіло 2m почне рухатись донизу з прискоренням  $a_1$ . Коли мавпа нерухома:

$$T = 2mg, \quad T_1 = m_x g + T, \quad 2T_2 = T_1,$$

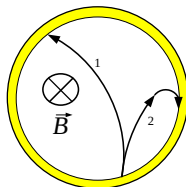
$$T_2 = 4mg \cdot \sin \alpha, \quad \text{звідси: } m_x = 2m.$$

$$\frac{v_1}{t} = \frac{1}{9} \frac{v}{t} \rightarrow v_1 = \frac{v}{9} \rightarrow v_2 = \frac{2v}{9}.$$


$\frac{1}{\omega C}$ ). Загальний опір такого кола буде  $\sim \frac{1}{C_{\text{зар}}} \cdot \frac{\frac{1}{c}}{\frac{1}{C_{\text{зар}}}} = \frac{R}{R_{\text{зар}}} \rightarrow C_{\text{зар}} = \frac{Rc}{R_{\text{зар}}}$ .

**39.**  $\varepsilon_i = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \rightarrow$  ЯКЩО  $\Phi = \text{const}$ , ТО  $\varepsilon_i = 0$ .

40. За правилом лівої ( $q>0$ ) та правої ( $q<0$ ) руки можна визначити тип зарядженої частинки. 1- позитрон, 2- електрон. Чим більша кінетична енергія (швидкість) тим більший є радіус кривизни траєкторій  $\rightarrow K_{II} > K_e$ .



## ЗАДАЧІ ІІІ ЕТАПУ Фізичного марафону

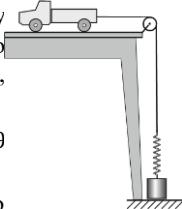
## 8 клас

### ***Задача № 1***

Сучільний алюмінієвий кубик, що лежить на підлозі під столом, прикріпили до невагомої пружини. Ця пружина (жорсткістю  $k=4 \text{ Н/м}$ ) в свою чергу прив'язана легкою ниткою перекинutoю через нерухомий блок до іграшкової вантажівки на гумових колесах масою  $M=200 \text{ г}$ . Вважаючи, що густина алюмінію  $2700 \text{ кг/м}^3$ , а  $g=10 \text{ Н/кг}$ , знайдіть:

1) масу кубика  $m$ , якщо відомо, що він створює на підлогу тиск  $0,9$  кПа. Пружина в початковий момент недеформована.

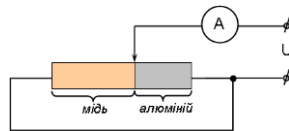
2) машинку заводять і всі її колеса починають обертатись з постійною та однаковою швидкістю. Коефіцієнт тертя коліс по поверхні стола 0,4. Заведену машинку розміщують на поверхні стола так, що система перебуває в рівновазі. Знайдіть видовження пружини у цьому випадку.



- 3) З якою силою в цей момент буде діяти кубик на підлогу?
- 4) В певний момент у вантажівку юний дослідник почав щосекунди класти монетки масою  $m_0=5$  г кожна. Через який час після того, як поклали першу монету кубик відірветься від підлоги?

### Задача № 2

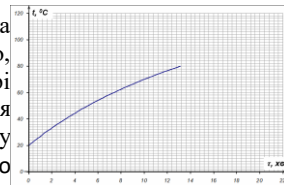
Реостат являє собою керамічний циліндр діаметром 6 см, на який намотано мідний та алюмінієвий дроти однакового діаметру 0,75 мм, одні кінці яких спаяні між собою. На циліндрі виявилось 220 витків мідного дроту та 200 витків алюмінієвого. Вільні кінці дротів та повзунок підключені до джерела постійної напруги 12 В, так як показано на рисунку. Витки дроту щільно прилягають один до одного та ізольовані один від одного. Нехтуючи опором амперметра і з'єднувальних провідників знайдіть:



- 1) покази амперметра для випадку, коли повзунок знаходиться у місці з'єднання алюмінієвого та мідного дротів;
- 2) покази амперметра, коли повзунок знаходиться посередині мідної намотки;
- 3) мінімальні покази амперметра; питомий опір міді  $1,7 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$ , питомий опір алюмінію  $2,9 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$ .

### Задача № 3

Виконуючи лабораторну роботу, учень поставив на електроплитку постійної потужності посудину з водою, початкова температура якої дорівнює температурі оточуючого середовища  $20^\circ\text{C}$ . Маса води 1 кг. Після ввімкнення нагрівника учень вимірював температуру води через рівні проміжки часу, нагріваючи воду до температури кипіння  $100^\circ\text{C}$ .

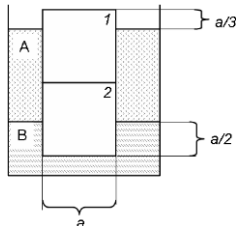


Графік залежності температури води  $t$  від часу  $t$  показаний на рисунку. Вважайте, що потужність теплообміну з оточуючим середовищем пропорційна різниці температур води та середовища. Нехтуючи випаровуванням води та теплоємністю калориметра, дайте відповіді на такі запитання:

- 1) якою є потужність електроплитки?
  - 2) яка потужність теплообміну з оточуючим середовищем при температурі  $100^\circ\text{C}$ ?
  - 3) через який час від моменту закипання уся вода википить?
- Питома теплоємність води  $4,2 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$ ; питома теплота кипіння  $2,3 \text{ МДж}/\text{кг}$ .

### Задача № 4

Два скріплені між собою кубики 1 та 2 з однаковими ребрами довжиною  $a$  та густинами  $\rho_1$  і  $\rho_2$  відповідно плавають у двох рідинах А та В так, що верхній кубик густиною  $\rho_1$  виринає на  $a/3$  над рівнем рідини А, а межа поділу рідин проходить через середину нижнього кубика густиною  $\rho_2$ . Густина рідини В на 20% більша за густину рідини А. Визначте:



- 1) Які густини рідин?
- 2) З якими силами діють кубики один на одного.
- 3) Якими будуть напрямки цих сил?

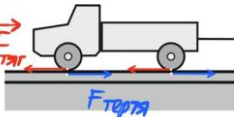
Для пунктів 2) та 3) розгляньте два випадки: а) рідина потрапляє у простір між кубиками; б) рідина не проникає у простір між кубиками.

**Укладачі: Березовський А. М., Колеснікова О. А., Сапсай В. Ю.**

### Задача №1

- 1) За визначенням тиску:  $p = \frac{F}{S} = \frac{mg}{a^2} = \frac{\rho g a^3}{a^2} = \rho g a$ , тоді сторона куба  $a = \frac{p}{\rho g} = \frac{1}{30}$  м, а його маса відповідно:  $m = \rho V = \rho a^3 = 0,1 \text{ кг}$

2) Після запуску двигуна машинки її колеса почнуть обертатися. В точці дотику коліс з поверхнею виникають сили тертя спокою. Одні прикладені до поверхні та направлені проти напрямку руху машинки, інші прикладені до коліс та направлені в сторону руху. Це і є сили тяги, що приводять в рух машинку. В міру просування вперед пружина деформується, натяг нитки зростає, і в певний момент машинка зупиняється, а колеса починають проковзувати. Сила тертя ковзання може бути обчислена за законом Амонтона-Кулона:



$$F_{mp} = \mu N_1 = \mu M g = 0,8 \text{ Н}$$

Видовження пружини спричинене силою тяги:

$$F_{тяги1} = T = k \cdot x$$

$$k \cdot x = \mu M g$$

$$x = \frac{\mu M g}{k} = 0,2 \text{ м.}$$

- 3) Сила, з якою кубик діє на опору - це його вага, яка за модулем дорівнює силі реакції пори,  $P = N_1$ .

з умови рівноваги:  $mg = N_1 + F_{np1}$ , звідки  $P = mg - k \cdot x = 0,2 \text{ Н}$ .

Умовою відриву кубика від опори є те, що він перестав на цю опору діяти:  $N_2 = 0$

$$F_{np2} = mg = F_{тяги2},$$

$$\mu (M + n \cdot m_0) g = mg,$$

Де  $n$  - це необхідна кількість монет:

$$n = \frac{m - \mu M}{\mu m_0} = 10$$

Отже, для відриву кубика потрібно покласти 10 монет. Оскільки їх кладуть щосекунди, то на це буде потрібно 9 секунд.

### Задача №2

Введемо позначення: діаметр керамічного циліндра  $D=0,06$  м; діаметр дроту  $d=0,75 \cdot 10^{-3}$  м; кількість витків мідного дроту  $N_M=220$ ; кількість витків алюмінієвого дроту  $N_A=200$ ; напруга на клеммах джерела  $U=12$  В, питомий опір мідного дроту  $\rho_M = 1,7 \cdot 10^{-8}$  Ом•м; питомий опір алюмінієвого дроту  $\rho_A = 2,9 \cdot 10^{-8}$  Ом•м.

Виконаємо деякі підготовчі дії, щоб спростити подальші математичні перетворення.

Знайдемо довжину намотки з мідного дроту:

$$L_M = N_M \cdot \pi \cdot D \approx 41,4 \text{ м.}$$

Знайдемо довжину намотки з алюмінієвого дроту:  $L_A = N_A \cdot \pi \cdot D \approx 37,7 \text{ м.}$

$$\text{Знайдемо опір одиниці довжини мідного дроту: } \Gamma_M = \frac{R_M}{L_M} = \frac{\rho_M}{S} = \frac{4\rho_M}{\pi d^2} \approx 0,038 \frac{\text{Ом}}{\text{м}}.$$

$$\text{Знайдемо опір одиниці довжини алюмінієвого дроту: } \Gamma_A = \frac{R_A}{L_A} = \frac{\rho_A}{S} = \frac{4\rho_A}{\pi d^2} \approx 0,066 \frac{\text{Ом}}{\text{м}}.$$

1) Знайдемо покази амперметра для випадку, коли повзунок знаходиться у місці з'єднання алюмінієвого та мідного дротів.

В цьому випадку дану схему можна замінити еквівалентною (див. мал.):

Загальний опір з'єднання:

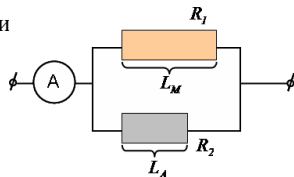
$$R = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}, \text{ де } R_1 = \Gamma_M \cdot L_M, R_2 = \Gamma_A \cdot L_A.$$

Підставивши значення  $r_M$  та  $r_A$ , отримаємо:

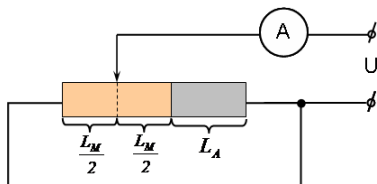
$$R = \frac{r_M L_M \cdot r_A L_A}{r_A L_A + r_M L_M} \approx 0,96 \text{ Ом.}$$

Покази амперметра:

$$I = \frac{U}{R} \approx 12,4 \text{ А.}$$



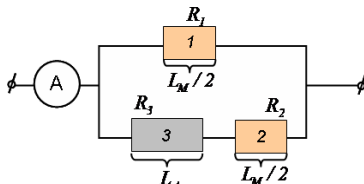
2) Знайдемо покази амперметра, коли повзунок знаходиться посередині мідної намотки.



В цьому випадку дану схему можна замінити еквівалентною (див. мал.) Загальний опір з'єднання:

$$R = \frac{R_1(R_2 + R_3)}{R_1 + R_2 + R_3}, \text{ де } R_1 = R_2 = \frac{r_M L_M}{2}, R_3 = r_A L_A.$$

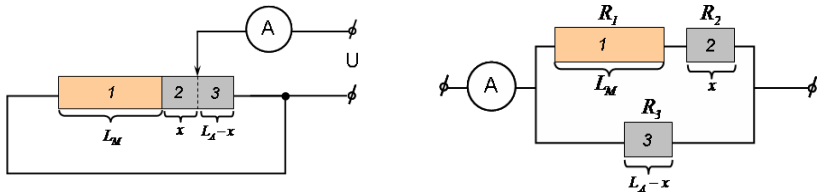
Підставивши значення  $r_M$  та  $r_A$  та спростивши, отримаємо:



$$R = \frac{r_M L_M \cdot (2 r_A L_A + r_M L_M)}{4(r_A L_A + r_M L_M)} \approx 0.63 \text{ Ом. Покази амперметра: } I = \frac{U}{R} \approx 19 \text{ А.}$$

3) Знайдемо мінімальну силу струму.

Сила струму буде мінімальною, якщо опір ділянки кола буде максимальним. Знайдемо положення повзунка, при якому опір даної ділянки кола найбільший. Нехай при максимальному опорі ділянки кола повзунок реостата змістили на відстань  $x$  від точки з'єднання провідників в бік алюмінієвої намотки. В цьому випадку дану схему можна замінити еквівалентною (див. мал.):



Загальний опір з'єднання:

$$R = \frac{R_3(R_2 + R_1)}{R_1 + R_2 + R_3}, \text{ де } R_1 = r_M L_M, R_2 = r_A x, R_3 = r_A \cdot (L_A - x)$$

Підставивши  $R_1, R_2, R_3$  отримаємо:

$$R_{\max} = \frac{r_A \cdot (L_A - x) \cdot (r_A x + r_M L_M)}{(r_A L_A + r_M L_M)}.$$

Перепишемо даний вираз у такому вигляді:

$$x^2 \cdot r_A^2 - x(r_A(r_A L_A - r_M L_M) + (R_{\max}(r_A L_A + r_M L_M) - (r_A L_A r_M L_M))) = 0.$$

Ми отримали квадратне рівняння відносно  $x$ . Оскільки значення опору ділянки максимальне  $R_{\max}$ , то дане квадратне рівняння повинно мати два однакові корені, тобто дискримінант цього рівняння має дорівнювати нулю:

$$D = (r_A(r_A L_A - r_M L_M))^2 - 4r_A^2(R_{\max}(r_A L_A + r_M L_M) - (r_A L_A r_M L_M)) = 0.$$

Звідси:

$$R_{\max} = \frac{(r_A L_A + r_M L_M)}{4} = 1,02 \text{ Ом.}$$

Таке значення опору буде при:

$$x = \frac{(r_A L_A - r_M L_M)}{2r_A} = 6,9 \text{ м} - \text{довжина алюмінієвого дроту від місця намотки.}$$

При цьому опори частин  $R_1 + R_2 = r_A x + r_M L_M = 2,03 \text{ Ом}$  та

$$R_3 = r_A \cdot (L_A - x) = 2,03 \text{ Ом}$$

Покази амперметра:  $I = \frac{U}{R} \approx 11,8 \text{ А.}$

### Задача № 3

Введемо позначення:  $C$  – питома теплоємність води;  $L$  – питома теплота кипіння води;  $m$  – маса води;  $P$  – потужність нагрівника;  $P_{\text{то}}$  – потужність теплообміну з оточуючим середовищем.

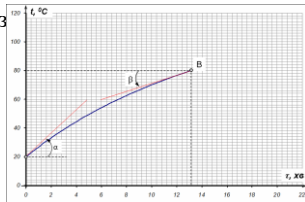


1) Щоб знайти **потужність електроплитки** розглянемо точку А на графіку, координати якої (0 хв; 20 °С). Проведемо дотичну до графіка функції у цій точці (див. мал.). Тепло, яке виділяє нагрівник, іде частково на нагрівання води, а частково на теплообмін із середовищем:

$$P \cdot \tau = cm\Delta t + P_{TO} \cdot \tau.$$

Тангенс кута нахилу дотичної дорівнює відношенню:

$$\frac{\Delta t}{\Delta \tau} = \frac{P - P_{TO}}{cm}.$$



Для невеликої різниці температур між водою і середовищем потужністю  $P_{TO}$  можна знехтувати, тому:  $\frac{\Delta t}{\Delta \tau} = \frac{P}{cm}$ , звідки знаходимо потужність нагрівника:

$$P = \frac{cm\Delta t}{\Delta \tau}. \text{ Зручно взяти } \Delta t = 6^\circ\text{C}, \Delta \tau = 0,8 \text{ хв.}$$

В цьому випадку залежність температури від часу дуже близька до лінійної, тоді:

$$P = \frac{cm\Delta t}{\Delta \tau} = 525 \text{ Вт} \approx 530 \text{ Вт}$$

2) Щоб знайти **потужність теплообміну з оточуючим середовищем при температурі 100 °С** виконаємо наступні кроки: знайдемо потужність теплообміну при 80 °С. Для цього проведемо дотичну до графіка у точці В з координатами (13,2 хв; 80 °С). Тангенс кута нахилу дотичної дорівнює відношенню :

$$\frac{\Delta t}{\Delta \tau} = \frac{P - P_{TO}}{cm}, \text{ звідки } P_{TO}(80^\circ\text{C}) = P - \frac{cm\Delta t}{\Delta \tau}. \text{ Зручно взяти } \Delta t = 6^\circ\text{C}, \Delta \tau = 2 \text{ хв.}$$

Тоді  $P_{TO}(80^\circ\text{C}) = 320 \text{ Вт}$ . Оскільки потужність теплообміну прямо пропорційна різниці температур води та оточуючого середовища, отже,  $P_{TO} = k(t_{\text{води}} - t_{\text{серед}})$ , звідки можемо скласти пропорцію

$$\frac{P_{TO}(80^\circ\text{C})}{80^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C}} = \frac{P_{TO}(100^\circ\text{C})}{100^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C}}, \text{ звідси:}$$

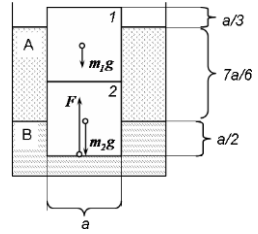
$$P_{TO}(100^\circ\text{C}) = \frac{4}{3} P_{TO}(80^\circ\text{C}) = 427 \text{ Вт}$$

3) **Знайдемо час, який знадобиться для википання усієї води з посудини.**

Під час кипіння температура води змінюватись не буде, тому потужність теплообміну з оточуючим середовищем залишатиметься сталою і дорівнюватиме 427 Вт. Тоді для процесу википання води можна записати:  $P\tau_k = Lm + P_{TO}(100^\circ\text{C}) \cdot \tau_k$ , де  $\tau_k$  – час википання води. Звідки  $\tau_k = \frac{Lm}{P - P_{TO}(100^\circ\text{C})} = 6,2 \text{ год.}$

### Задача № 4

1) Знайдемо густини рідин *A* та *B*, врахувавши, що  $\rho_B = 1,2 \rho_A$ . Розглянемо систему кубиків як одне ціле. На кубики діють сили тяжіння  $m_1g$  та  $m_2g$  та на нижню грань кубика 2 діє сила тиску стовпчика рідини  $F$  (див.рис). Силу атмосферного тиску ми не врахували, оскільки сила атмосферного тиску на верхню грань системи і складова сили атмосферного тиску, що діє на нижню грань системи кубиків будуть однакові.



Запишемо умову рівноваги системи кубиків:

$$F = m_1g + m_2g$$

$$\text{або: } a^2(\rho_A g \frac{7}{6}a + \rho_B g \frac{1}{2}a) = \rho_1 g a^3 + \rho_2 g a^3, \rho_B = 1,2 \rho_A = \frac{6}{5} \rho_A$$

Розв'язавши ці рівняння, отримаємо:

$$\rho_A = \frac{30(\rho_1 + \rho_2)}{53}, \rho_B = \frac{36(\rho_1 + \rho_2)}{53}$$

2-а) Знайдемо величину і напрям сил взаємодії кубиків для випадку, коли у простір між ними потрапляє рідина.

Розставимо сили, які діють на кожен з кубиків. На кубик 1 діє сила тяжіння  $m_1g$ , сила Архімеда  $F_{A1}$ , сила взаємодії кубика 2 -  $F_1$ , припустимо, що ця сила направлена вниз; на другий кубик діють сила тяжіння  $m_2g$ , сила Архімеда  $F_{A2}$ , сила взаємодії кубика 1 -  $F_2$ , яка направлена вгору (див.мал.). Запишемо умову рівноваги для кожного кубика:

$$\begin{cases} m_1g + F_1 = F_{A1} \\ m_2g = F_2 + F_{A2} \end{cases} \quad \text{Розписавши сили, які входять до}$$

цієї системи отримаємо:

$$\rho_1 g a^3 + F_1 = \rho_A g \frac{2}{3}a \cdot a^2, \rho_2 g a^3 = F_2 + (\rho_A g \frac{1}{2}a \cdot a^2 + \rho_B g \frac{1}{2}a \cdot a^2).$$

Підставивши значення  $\rho_A$  та  $\rho_B$  отримаємо, що  $F_1 = F_2 = \frac{(20\rho_2 - 33\rho_1)}{53} g a^3$ , з цього виразу випливає:

- ✓ Якщо  $20\rho_2 > 33\rho_1$  сили будуть направлені так як показано на рисунку ;
- ✓ Якщо  $20\rho_2 < 33\rho_1$ , то сили будуть мати протилежні напрямки, до тих, які вказані на малюнку.
- ✓ Якщо  $20\rho_2 = 33\rho_1$ , то кубики взаємодіяти не будуть.

2-б) Знайдемо величину і напрям сил взаємодії кубиків для випадку, коли у простір між ними рідина НЕ потрапляє.

Якщо між кубиками не проникає рідина, отже, сила Архімеда на кубик 1 НЕ діє.

Розставимо сили, які діють на кожен з кубиків. На кубик 1 діє сила тяжіння  $m_1g$ , сила нормальної реакції  $N$  збоку кубика 2 ; на другий кубик діють сила тяжіння  $m_2g$ , вага кубика 1 -  $F_2$ , сила тиску стовпчиків рідини  $F$ , яка діє на нижню грань кубика 2 (див

рис.). Причому за величиною сили  $N$  та  $F_2$  рівні. Запишемо умову рівноваги для будь-якого з кубиків:

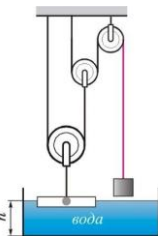
$$N = m_1 g = \rho_1 g a^3, \quad m_2 g + F_1 = F,$$

З першої умови значно простіше отримати величину взвешодії кубиків:

$$N = F_2 = \rho_1 g a^3.$$

## 9 клас

**Задача 1.** У тонку крижану пластинку масою 270 г вморожена алюмінієва кулька масою 81 г. Ця пластинка через систему блоків урівноважує тягарець масою 10 г (див. мал). Блоки та нитки невагомі, тертя відсутнє, температура всієї показаної на малюнку системи  $0^\circ\text{C}$ . Площа поверхні води набагато більша за площу пластинки, глибина води  $h = 40$  см, довжина червоної ділянки нитки більша за 1,6 м. У воді вмикають електронагрівник потужністю 330 Вт, що спричиняє повільний рух тягарця. Визначте приблизно середню швидкість переміщення тягарця між моментами початку та закінчення його руху.



Опір під час руху в воді не враховуйте. Густини води, льоду та алюмінію дорівнюють відповідно 1000, 900 і 2700 кг/м<sup>3</sup>; питома теплота плавлення льоду становить 330 кДж/кг.

### Розв'язання.

Тягарець не може витягти пластинку загальною масою 351 г з води (навіть з урахуванням виграшу в силів 4 рази, що дає система блоків), але зменшує її «осадку» в воді. Після вмикання нагрівача лід потроху тоне (протягом цього процесу жодних втрат енергії немає, тому що температура всіх частин системи однакова). Тому осадка пластинки збільшується, вона опускається, а тягарець рухається вгору. Легко переконатися, що пластинка повністю зануриться за умови :

$$4m_{\text{тяг}} + \rho_{\text{в}} \left( \frac{m_{\text{л}}}{\rho_{\text{л}}} + \frac{m_{\text{ал}}}{\rho_{\text{ал}}} \right) = m_{\text{л}} + m_{\text{ал}}.$$

Тобто коли маса льоду зменшиться до  $m_{\text{л}} = 99$  г (коли маса льоду зменшиться на  $\Delta m = 171$  г). На це піде час  $t = \frac{\lambda \Delta m}{P} = 171$  с. Практично відразу після цього пластинка опуститься на дно, піднявши тягарець на висоту  $4h$  (довжина червоної ділянки нитки це дозволяє). Після цього рух частин системи припиниться, після повного танення льоду кулька лежатиме на дні. Отже, шукана середня швидкість дорівнює  $\frac{4h}{t}$ , тобто приблизно 0,94 см/с. Насправді середня швидкість трохи менша оскільки опускання на дно теж триває певний час. Проте легко показати, що час руху в воді не перевищує кількох секунд. Якщо припустити  $a=kt$ , то  $h=kt^3/6$ . У нас коефіцієнт дорівнює десь  $1/162$  м/с<sup>3</sup> (це початкове значення, далі він ще зростає). Звідси час(точніше, верхня границя часу) 7,3с. Це не дуже суттєво, середня швидкість зменшиться не більше ніж на 0,04 см/с.



**Задача 2.** Головна оптична вісь лінзи з оптичною силою 2 дптр горизонтальна. Траєкторія руху світної кульки, що вільно падає, проходить через точку головної оптичної осі на відстані 2 м від лінзи. Одночасно з цим гладенькою похилою площиною П з'їжджає маленька плоска пластина. Протягом певного часу лінза та розташоване за нею плоске дзеркало (див. малюнок) утворюють на поверхні пластини, як на екрані, зображення кульки. Визначте кути нахилу площини дзеркала та похилої площини до горизонту. Тіло зісковзує з гладенької похилої площини з прискоренням  $g \sin \alpha$ , де  $\alpha$  — кут нахилу площини до горизонту.

**Розв'язання.** Позначимо шукані кути: кут нахилу площини дзеркала до горизонту  $\alpha$ , а кут нахилу похилої площини  $\beta$ . Очевидно, рухи кульки та пластини почалися одночасно, тому модулі їх переміщень за певний час відповідно

$h = \frac{gt^2}{2}$  і  $H = \frac{at^2}{2}$ . Це означає, що наша оптична система дає дійсне зображення вертикального відрізка - відрізок під кутом  $\beta$  до горизонту, з лінійним збільшенням  $\Gamma = \frac{H}{h} = \frac{a}{g} =$

$\sin \beta$ .

Це зображення утворюється «у два кроки». Спочатку лінза дає дійсне перевернуте зображення **1** на відстані  $2/3m$  праворуч від себе (це легко отримати з формули тонкої лінзи). Це зображення зменшене втричі:  $\Gamma = \frac{f}{a} = \frac{1}{3}$ .

Далі вже це зображення є «предметом» для дзеркала, яке й дає остаточне зображення **2**. Оскільки розмір зображення в плоскому дзеркалі збігається з розміром предмета, маємо  $\sin \beta = \frac{1}{3}$ , звідки  $\beta = 19,47^\circ$ .

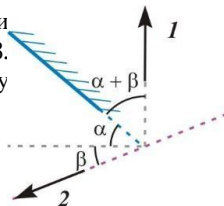
Зазначимо, щоб плоске дзеркало давало *дійсне* зображення, на нього має падати *збіжний* пучок світла (інакше кажучи, «предмет» має бути *уявним*). У даному випадку це просто означає, що дзеркало розташоване між лінзою та зображенням **1**.

Тепер ми можемо відповісти на поставлене запитання. Скористаємося тим, що зображення **1** і **2** розташовані симетрично відносно площини дзеркала (див. мал.). З рисунку бачимо, що  $2\alpha + \beta = 90^\circ$ , тобто шуканий кут нахилу площини дзеркала  $\alpha = 45^\circ - \beta/2 = 35,26^\circ$ .

**Задача 3.** Щоб доставити групу туристів з готелю до музею, треба подолати відстань 18 км. Для цього можна скористатися автобусом, швидкість руху якого по місцевих дорогах дорівнює 45 км/год. Проте автобус вміщує тільки половину групи, до того ж має обмежений запас ходу через обмежену кількість пального. Туристи можуть пересуватися пішки зі швидкістю 5 км/год. Визначте мінімальний час  $t$  доставки всієї групи, якщо запас ходу  $s$  автобусу становить: а) 12 км; б) 30 км; в) 45 км. Накресліть графік залежності  $t(s)$ . Час посадки та висадки пасажирів не враховуйте.

**Розв'язання.**

Позначимо відстань від готелю до музею  $L$ , швидкості автобуса та туристів-пішоходів відповідно  $v_a$  і  $v_n$ . *Мінімальний* час відповідає випадку, коли обидві половини групи витрачають на переміщення *однаковий* час. Адже якщо якась половина групи дістанеться музею раніше, то це за рахунок «надмірного» використання



автобуса. Тим самим збільшується час руху іншої половини групи (отже, й загальний час руху).

Таким чином, кожна половина групи має проїхати автобусом однакову відстань  $l$  і пройти пішки  $L - l$ . Зрозуміло, що час руху  $t = \frac{l}{v_a} + \frac{L-l}{v_n}$  тим менший, чим більша відстань  $l$ . Слід розглянути різні можливі випадки.

1. Якщо запас ходу  $s$  не перевищує  $L$ , то  $l = s/2$ : автобус підвозить першу половину групи (далі ці туристи йдуть пішки), зупиняється та чекає на решту туристів, після чого підвозить їх на таку саму відстань. Очевидно, що немає сенсу їхати назустріч туристам, бо це зменшить можливе значення  $l$  і збільшить час руху. У цьому випадку:  $t_1 = \frac{s}{2v_a} + \frac{2L-s}{2v_n}$  (перевірте самі, що виходить у випадках  $s \rightarrow 0$  і  $s \rightarrow L$ ).

2. Якщо  $s > L$ , то з'являється можливість ще зменшити час: автобус підвозить половину групи на відстань  $l > L/2$ , потім рухається назад до зустрічі з рештою туристів і везе їх уже до музею (теж на відстань  $l$ ). Очевидно, що автобус проїжджає *назад* відстань  $s - 2l$ . Тому решта туристів має пройти до зустрічі з автобусом відстань  $AB = 3l - s$  (див. мал., на якому умовно показано рух автобуса). Ця відстань має збігатися з довжиною пішого переходу  $CD = L - l$ , звідки отримуємо  $l = (L + s)/4$ .

Отже, у цьому випадку загальний час руху  $t_2 = \frac{L+s}{4v_a} + \frac{3L-s}{4v_n}$ , за умови  $s \rightarrow L$  отримуємо, як і в попередньому випадку, час  $\frac{L}{2v_a} + \frac{L}{2v_n}$ .

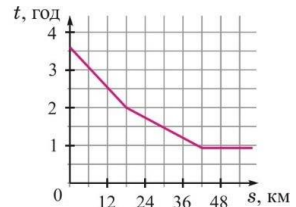
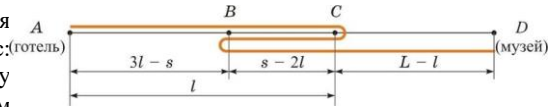
Час руху автобуса  $t_a = \frac{s}{v_a}$ . За умови:

$s < s_0 = L \frac{v_n + 3v_a}{v_a + 3v_n}$  цей час менший від загального часу руху  $t_2$ , тобто автобус має певний час стояти (наприклад, у точці  $B$ ), чекаючи на пасажирів. За умови

$s > s_0 = L \frac{v_n + 3v_a}{v_a + 3v_n}$  формально отримуємо час руху автобуса, більший за  $t_2$ , що неможливо. Фактично нема сенсу збільшувати пробіг автобуса понад  $s_0$ , тобто «надлишкове пальне» просто не треба витрачати. Якщо  $s \geq s_0$ , мінімальний час руху вже не залежить від  $s$  і дорівнює  $t_0 = \frac{s_0}{v_a} = \frac{L(v_n + 3v_a)}{v_a(v_a + 3v_n)}$ . За наведених в умові даних графік

$t(s)$  див. на рисунку

( $t_0 = \frac{14}{15}$  год  $\approx 0,93$  год). Мінімальний час руху: а) 2,53 год (2 год 32 хв); б) 1,47 год (1 год 28 хв); в) 0,93 год (56 хв).



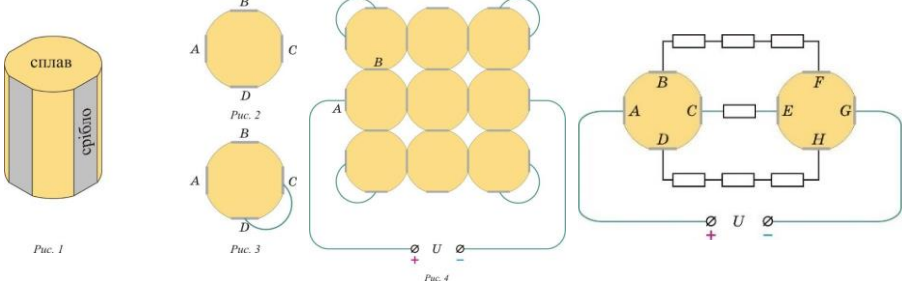
**Задача 4.** Однакові циліндри виготовлено зі сплаву з великим питомим опором. На боковій поверхні кожного циліндра зроблено чотири симетричні плоскі «зрізи», паралельні осі циліндра; їх поверхню посріблено для кращого електричного контакту

(див. мал. 1). Електричний опір циліндра між контактами  $A$  і  $C$  виявився рівним  $r$  (див. рис. 2). Опір між контактами  $A$  і  $B$  виявився таким самим (під час останнього вимірювання контакти  $C$  і  $D$  були з'єднані провідниками з нехтовно малим опором, на рис. 3, 4 такі провідники показані як зелені лінії).

З дев'яти циліндрів склали систему, показану на мал. 4, щільно притиснувши сусідні плоскі поверхні одну до одної, та приєднали цю систему до ідеального джерела струму з напругою  $U$ .

1. Визначте силу струму через джерело струму.

2. Яку напругу покаже ідеальний вольтметр, приєднаний до контактів  $A$  і  $B$ ?



### Розв'язання.

Закон Ома, який виконується для металів і сплавів, означає що середня швидкість упорядкованого руху вільних електронів пропорційна «силі» електричного поля. Якщо ми маємо справу з так званим двополюсником (наприклад, з одним резистором або з'єднанням резисторів з двома зовнішніми контактами), то сила струму  $I$  пропорційна напрузі  $U$  між зовнішніми контактами. Наші циліндри мають по чотири контакти. Отже, сила струму через певний контакт має лінійно залежати від трьох напруг (між даним контактом і кожним із решти контактів). Наприклад,  $I_A = k_{AB}U_{AB} + k_{AC}U_{AC} + k_{AD}U_{AD}$ . Тут з'явилися три сталі коефіцієнти перед напругами замість одного (цей один, обернений до опору, називають провідністю). Якщо знати всі коефіцієнти, то можна розрахувати силу струму через будь-який контакт. Із симетрії циліндра випливає, що два з трьох коефіцієнтів однакові:  $k_{AB} = k_{AD}$ . Для зручності позначимо  $k_{AB} = k_1$ ,  $k_{AC} = k_2$ . Очевидно, що  $k_{CD} = k_1$ ,  $k_{BD} = k_2$  тощо.

Спробуємо виразити коефіцієнти  $k_1$ ,  $k_2$  через відомий опір  $r$ . Для цього знов-таки скористаємося симетрією наших чотиріполюсників. Якщо прикласти напругу  $U$  до контактів  $A$  і  $C$  (див. мал. 2),  $U_{AB} = U_{AD} = \frac{U}{2}$ . Отже,  $I_A = 2k_1 \frac{U}{2} + k_2 U = \frac{U}{r}$ , тобто  $k_1 + k_2 = r^{-1}$ .

Якщо ж прикласти напругу  $U$  до контактів  $A$  і  $B$  (див. мал. 3),  $U_{AC} = U_{AD} = \frac{U}{2}$ .

Отже,  $I_A = k_1 U + k_1 \frac{U}{2} + k_2 \frac{U}{2} = \frac{U}{r}$ , тобто  $\frac{3}{2} k_1 + \frac{1}{2} k_2 = r^{-1}$ .

З останніх двох рівнянь маємо  $k_1 = k_2 = (2r)^{-1}$ . Тепер ми можемо розглянути й систему з 9 циліндрів. Перш за все помітимо, що можна трохи відсунути «верхній» і «нижній» (на малюнку) циліндри від центрального, тобто перервати контакти між ними. Після цього напруга (різниця потенціалів) між «розірваними» контактами

лишається рівною нулю, тобто струм через ці пари контактів не потече навіть якщо їх знов з'єднати. Отже, три з дев'яти циліндрів «працюють» у режимі, показаному на мал. 2, тобто як резистори з опором  $r$ . Чотири ж «кутові» циліндри «працюють» в режимі мал. 3 — тобто теж як резистори з опором  $r$ . Тепер ми можемо навести значно спрощену еквівалентну схему кола (див. рисунок, де всі резистори мають опір  $r$ ). Нам залишилося розібратися з двома симетрично розташованими циліндрами. Зазначимо, що загальна сила струму в колі  $I = I_A = I_G$ , а сила струму в центральному резисторі дорівнює  $I_C = I_E$ . Відповідно до закону збереження електричного заряду (або першому правилу Кірхгофа) та симетрії кола можна записати співвідношення:  $I_A = I_B + I_C + I_D$ ,  $I_B = I_D$  та аналогічні співвідношення для контактів  $E - H$ .

Позначимо для зручності  $U_{AB} = U_{AD} = x$ . Очевидно, що  $U_{FG}$  і  $U_{HG}$  теж дорівнюють  $x$ . Аналогічно позначимо  $U_{AC} = U_{EG} = y$ . Тоді можна скласти рівняння:  $I_C = \frac{U-2y}{r} = (2r)^{-1}(y + 2(y-x))$ ,  $I_B = \frac{U-2x}{3r} = (2r)^{-1}(x + (x-y))$ .

Звідси легко отримати  $x = \frac{5}{16}U$ ,  $y = \frac{3}{18}U$ . Тоді  $I_C = \frac{U}{4r}$ ,  $I_B = \frac{U}{8r}$ . Повна ж сила струму (сила струму через джерело)  $I = 2I_B + I_C = \frac{U}{2r}$ . Інакше кажучи, загальний опір системи  $R = \frac{U}{I} = 2r$ . Що ж до напруги  $U_{AB} = x$ , то ми вже знайшли цю величину: вона дорівнює  $\frac{5}{16}U$ .

## 10 клас

### Задача 1. Кулька і коробка.

Вздовж горизонтального стрижня, як по направляючій, ковзає без тертя коробка масою  $m=90$  г та довжиною  $L=27$  см. Коробка частково занурена у рідину, а її задня та передня стінки перпендикулярні до стрижня. Посередині коробки знаходиться алюмінієва кулька такою ж масою, як і коробка,  $m=90$  г. Кулька без тертя може переміщуватися по дну коробки. У початковий момент коробка не рухається, а кульці надають горизонтальну швидкість  $v=2,7$  м/с, спрямовану вздовж стрижня. Вважаючи зіткнення кульки зі стінками абсолютно пружними, знайдіть, на яку відстань  $S$  переміститься до зупинки коробка і скільки ударів  $n$  об стінки зробить кулька за цей час? З боку рідини на коробку діє пропорційна до швидкості руху сила в'язкого тертя  $F=kv$ , де  $k=0,2$  кг/с. Відстань  $S$  визначити у м з точністю до десятих.

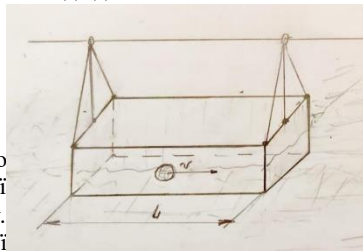
#### Розв'язання.

Врахуємо розміри кульки.

1. Густина алюмінію  $\rho=2,7$  г/см<sup>3</sup>. Радіус

алюмінієвої кульки:  $R = \sqrt[3]{\frac{3m}{4\pi\rho}} = 2$  см.

2. Як відомо із законів збереження, після прямого центрального пружного удару двох тіл однакової маси, вони обмінюються швидкостями руху. Кулька, після удару об праву стінку зупиняється, її маса дорівнює масі коробки, а коробка, придбавши швидкість  $V$ , рухається у в'язкому середовищі і до моменту другого зіткнення з кулькою проходить відстань  $L-2R$ . У момент другого зіткнення швидкість коробки за рахунок опору стала меншою  $V_1 < V$ .



Після другого зіткнення коробка зупиняється, а кулька, набравши швидкість  $V_1$ , рухається до правої стінки і після удару надає коробці її колишню швидкість  $V_1$  і т. д.

Висновок: 1. Можна розглядати рух коробки як безперервний процес – рух до зупинки у в'язкій рідині.

2. На відрітку шляху в  $L-2R$  відбувається 2 зіткнення. Запишемо другий закон Ньютона:

$$m \frac{\Delta v}{\Delta t} = -kv \rightarrow m \Delta v = -kv \Delta t \rightarrow m \Delta v = -k \Delta S. \text{ Отже, } m(-v) = -kS.$$

$$\text{Шлях коробки до зупинки: } S = \frac{mv}{k} = 1,215 \text{ м} \approx 1,2 \text{ м}.$$

На цьому шляху коробка зробила  $\frac{S}{L-2R} = 5,28$  переміщень. З них повних переміщень 5, за кожне з яких відбулося 2 зіткнення, а неповне переміщення дає ще одне зіткнення. Тому:  $S = 1,2 \text{ м}$ ;  $N = 2 \cdot 5 + 1 = 11$ .

*Ймовірно, що більшість не стане враховувати розміри кульки. За звичкою. Але ж нехтувати можна, лише порівнявши, якщо в умові про це не сказано. Тоді у них вийде:  $S/L = 4,5$  переміщень. Слід округлити у меншу сторону до 4 і тоді  $N = 2 \times 4 + 1 = 9$ .*

## Задача 2. Мавпа на жердині.

Легка жердина підвішена на двох однакових паралельних легких гумових стрічках. Мавпа забралася на середину жердини і трохи погойдалася.

1. Доведіть у загальному випадку, що період малих вертикальних коливань мавпи на жердині менший за період її малих горизонтальних погойдувань.

2. Занудьгувавши, мавпа перелізла на кінець жердини і зависла на ньому. Намалюйте можливі положення мавпи і жердини у новому стані рівноваги.

3. Визначте, яку найменшу роботу має виконати мавпа, щоб перебраться назад з кінця жердини на її середину, якщо довжина жердини  $s = 3 \text{ м}$ , довжина кожної гумової стрічки, до того, як мавпа забралася на жердину  $l = 2,5 \text{ м}$ , відстань між стрічками  $d = 2 \text{ м}$ . Коли мавпа всілася посередині жердини, гумові стрічки видовжилися

$L = 3 \text{ м}$  кожна. Маса мавпи  $m = 10 \text{ кг}$ .

### Розв'язання.

Припустимо, що рівноважне видовження, коли мавпа на середині жердини, дорівнює  $x$ , а жорсткість кожної гумової стрічки  $k$ . Тоді  $mg = 2kx$ , а період вертикальних коливань

$$\text{пружного маятника: } T_B = 2\pi \sqrt{\frac{m}{2k}} = 2\pi \sqrt{\frac{x}{g}}$$

Період малих горизонтальних коливань маятника довжиною  $L = l + x$  (мал.1).

$$T_{\Gamma} = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}} = 2\pi \sqrt{\frac{l+x}{g}} > 2\pi \sqrt{\frac{x}{g}} = T_B.$$

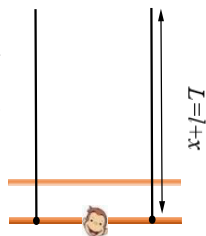
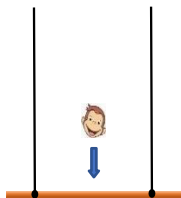


Рис.1



Як бачимо,  $T_1 > T_B$ . Те, що під час горизонтальних коливань ефективна довжина маятника може додатково збільшуватися, лише підсилює отриману нерівність.

Відповідь на друге питання залежить від видовження  $x$ , яке, в свою чергу, залежить від жорсткості  $k$  і маси  $m$ .

Справді, розглянемо два граничні випадки: видовження дуже мале і дуже велике. За малого видовження  $x$ , як тільки мавпа почне перелізати через місце закріплення гумової стрічки до жердини, жердина одразу ж повернеться і набуде вертикального положення, якщо тільки це дозволить довжина другої стрічки (рис.2). Далі мавпа просто спуститься на край жердини. Оскільки її утримуватиме одна гумова стрічка, видовження буде удвічі більшим (рис.3).

За великого видовження  $x$  розтягнуться обидві стрічки. Але це може відбутися й при невеликих видовженнях, якщо великою буде відстань між стрічками або стрічки будуть достатньо короткими (форму стелі, яка може обмежувати рух жердини, не обговорюємо). Знайдемо загальну умову, за якої жердина буде вертикальною, одна з ниток нерозтягнутою, а друга максимально видовженою, оскільки всю вагу мавпи прийме на себе (рис. 4). Умова проста – відстань між точками закріплення нерозтягнутої стрічки має бути меншою за її нерозтягнуту довжину  $l$ :  $\sqrt{d^2 + (l + 2x - d)^2} \leq l$  (1), де  $2x = \frac{mg}{k}$ .

Якщо ж ця умова не виконується, розтягнутими виявляться обидві стрічки, і положення мавпи на жердині набуде неочікуваного вигляду (рис.5). Саме за такого положення лінії дії трьох сил (двох сил натягу  $\vec{T}_1$  і  $\vec{T}_2$  сили тяжіння  $m\vec{g}$ ) перетинатимуться в одній точці (точка О на рис.5), що й забезпечить статичну рівновагу відносно поворотів.

Перевіримо виконання умови (1) для випадку «довжина жердини  $s = 3$  м, довжина кожної гумової стрічки до того як мавпа забралася на жердину,  $l = 2,5$  м, відстань між стрічками  $d = 2$  м. Коли мавпа всілася посередині жердини, гумові стрічки видовжилися до  $L = 3$  м кожна. Маса мавпи  $m = 10$  кг». За умовою видовження  $x = L - l = 0,5$  м, звідси знаходимо і жорсткість стрічки  $k = \frac{mg}{2x}$ , і перевіряємо умову:  $\sqrt{d^2 + (l + 2x - d)^2} = 2,5$  м., що точно співпадає з довжиною нерозтягнутої гумової стрічки  $l = 2,5$  м. Отже, масо випадок, зображений на рис.4. Нехтуючи розмірами мавпи, проводимо через нижній кінець жердини рівень відліку потенціальної енергії мавпи у полі земного тяжіння. Тоді її початкова енергія

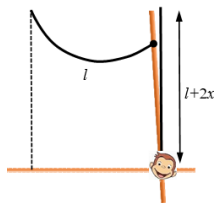


Рис. 2

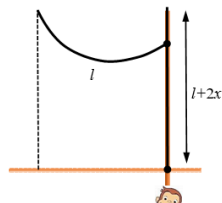


Рис. 3

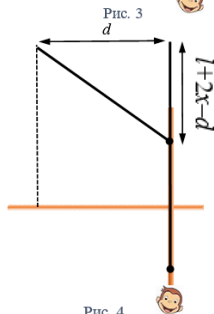


Рис. 4

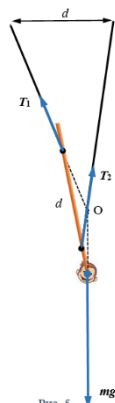


Рис. 5

дорівнюватиме нулю, а кінцева, коли мавпа дістанеться середини жердини,  $mg\left(x + \frac{S-d}{2}\right)$ .

Початкова енергія розтягнутої на  $2x$  стрічки:  $2kx^2$ . Кінцева енергія пружної деформації двох розтягнутих на  $x$  стрічок:  $kx^2$ . Отже, робота мавпи піде на збільшення власної потенціальної енергії, а стрічки їй у цьому допомагатимуть.

$$A = mg\left(x + \frac{S-d}{2}\right) + kx^2 - 2kx^2 = \frac{1}{2}mg(x + S - d) = 75 \text{ Дж.}$$

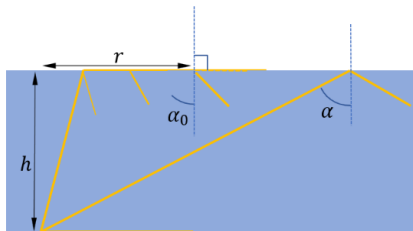
В останньому виразі ми скористалися тим, що  $k = \frac{mg}{2x}$ , а прискорення вільного падіння взяли за  $10 \text{ м/с}^2$ .

### **Задача 3. Невидима геометрія.**

На блакитній горизонтальній поверхні дна басейну глибиною  $h$  лежить жовтий опуклий багатокутник площею  $S$  і периметром  $p$ .

1. Знайдіть найменшу площу тонкого плоту, який слід розмістити на поверхні води над багатокутником, щоб з повітря цей багатокутник не можна було побачити.

2. Проілюструйте на конкретному випадку яку форму матиме такий пліт. Коefіцієнт заломлення води  $n$ . Хвиль на поверхні немає.



#### **Розв'язання.**

Точку на дні не видно з повітря, якщо промені від неї падають на поверхню води під кутом  $\alpha$ , більшим за граничний кут повного внутрішньовідбиття  $\alpha_0$  (див. Рис.1). Формально для кута повного внутрішньовідбиття кут заломлення набуває максимально можливого значення  $90^\circ$ :  $\frac{\sin \alpha_0}{\sin 90^\circ} = \frac{1}{n}$ .

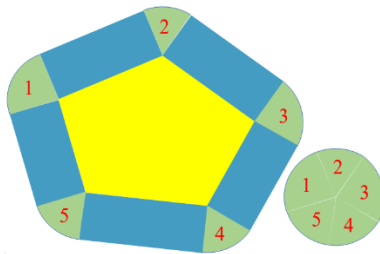
Тоді відстань по горизонталі, яку слід перекрити:

$$r = h \operatorname{tg} \alpha_0 = h \frac{\sin \alpha_0}{\sqrt{1 - \sin^2 \alpha_0}} = \frac{h}{\sqrt{n^2 - 1}}.$$

Тобто границя плоту, що перекриватиме сторону багатокутника, буде паралельна стороні, але віддалена від неї по горизонталі на відстань  $r$ . Що стосується вершини, то тут на однаковій відстані від неї буде дуга кола радіусом  $r$ .

Отже, форму плоту мінімальної площі можна отримати, домалювавши сторони багатокутника прямокутниками, а їхні зовнішні вершини з'єднавши дугами кола. На рис.2, як приклад, зображений жовтий п'ятикутник, як частина плоту, який доповнений прямокутниками і секторами кругів. Контур плоту складається з прямолінійних відрізків, загальна довжина яких дорівнює периметру багатокутника  $p$ , і дуг кіл. Не складно довести, що для будь-якого багатокутника всі сектори кругів у сумі дають повний круг з площею  $\pi r^2$ . Наочно це зображено на мал.3. А сума площ усіх прямокутників є добутком периметру на відстань  $r$ :  $pr$ . Отже, площа плоту:

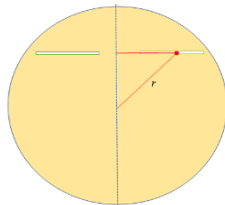
$$S_{\text{пл}} = S + pr + \pi r^2, \text{ де } r = \frac{h}{\sqrt{n^2 - 1}}.$$



Зазначимо, що отриманий результат є вірним для будь-якої опуклої фігури, оскільки навіть її гладкий контур можна уявити як ламану, що складається з нескінченно великої кількості нескінченно малих відрізків, що ніяк не змінює логіку розв'язання нашої задачі для довільного многокутника.

#### **Задача 4. Астероїдне місто.**

Освоєння астероїдів задля корисних копалин – одна з найближчих амбітних комерційних задач, над якою вже активно працюють приватні компанії та навіть окремі країни. Уявіть, що у надрах астероїду, який можна вважати однорідною кулею, вирішили побудувати велике місто. Як зробити поверхню міста зручною, такою, щоб, незважаючи на кривизну астероїду, вона була пласкою з перпендикулярно спрямованою до себе силою тяжіння?

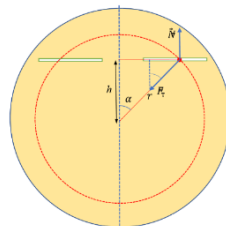


Проаналізуйте, чи можна цього досягти на астероїді, що обертається? Якщо так, проведіть розрахунки, намалюйте площину розташування такого міста, визначте прискорення вільного падіння  $g$  у ньому та кутову швидкість  $\omega$  обертання астероїду. За якою траєкторією рухатиметься запущене вздовж цієї поверхні тіло, якщо знехтувати силами тертя та опору? В аргументаціях «так, це можливо» чи «ні, не можливо» використайте розрахунки та стандартні позначення: густина речовини астероїду  $\rho$ , відстань до центру  $r$ , гравітаційна стала  $G$ .

**Підказка:** з міркувань симетрії пропонується розглянути перпендикулярне до осі обертання розташування міста і сили, що діють на деяке тіло в ньому (див. мал.)

#### **Розв'язання.**

Скориставшись симетрією, припустимо, що площина міста перпендикулярна до осі обертання. Визначимо прискорення вільного падіння у місті, площина якого розташована на «висоті»  $h$  від центру астероїду (див. рис.). Запишемо проекції другого закону Ньютона для матеріальної точки, відстань від якої до центру астероїду  $r$ , вважаючи, що у її системі відліку ніякі горизонтальні сили на неї не діють. В інерціальній системі відліку це означає, що доцентрове прискорення викликає тільки проекція сили тяжіння на напрям до осі обертання.



$$\begin{cases} m\omega^2 r \sin\alpha = F_T \sin\alpha \\ N = F_T \cos\alpha \end{cases}, \text{ де сила тяжіння (гравітація зовнішніх шарів компенсується)}$$

$$F_T = \frac{GM_r m}{r^2} = \frac{4}{3} \pi \rho G m r.$$

Отже, для того, щоб досягти поставленої мети, слід розкрутити астероїд до кутової швидкості:

$$\omega = \sqrt{\frac{4}{3} \pi \rho G}.$$

Прискорення вільного падіння (виходимо з  $N = mg$ ) у такому місті буде всюди однаковим і перпендикулярним до поверхні:  $g = \omega^2 h$ .

Тобто можна побудувати міста на різних рівнях з різним значенням прискорення вільного падіння, якщо розкрутити астероїд до визначеної кутової швидкості. Головне, щоб площина міста була перпендикулярною до осі обертання. У таких містах відцентрова сила інерції повністю компенсується проекцією сили тяжіння. Якщо якомусь тілу надати швидкість вздовж поверхні, на нього у горизонтальному напрямку діятиме лише сила Коріоліса, яка, як відомо, перпендикулярна до швидкості і тому роботи не виконує, лише змінюючи напрям швидкості. Якщо ж тіло рухається зі сталою швидкістю (нехтуємо силами тертя та опору) під дією спрямованої перпендикулярно до швидкості сталої сили, то будь-які фрагменти траєкторії будуть однаковими. Таку властивість у площині має лише коло. Тіло зі сталою швидкістю рухатиметься вздовж кола і, якщо не зустріне перепон, повернеться назад, або вздовж дуги кола, якщо тілу надати значну швидкість. Такий самий рух спостерігається в однорідному магнітному полі під дією сили Лоренца. Радіуси кіл різні, періоди однакові. В інерціальній системі відліку аналіз руху складніший. На тіло у горизонтальному напрямку діятиме лише проекція сили тяжіння, що пропорційна відстані до осі обертання. Під дією її складових, як під дією сил Гука, у площині виникнуть взаємоперпендикулярні гармонічні коливання з однаковою частотою. Це відпосає руху вздовж еліпсу з центром в точці перетину площини з віссю обертання. Цьому еліпсові з точки зору системи відліку, що обертається разом з містом з кутовою  $\omega = \sqrt{\frac{4}{3}\pi\rho G}$ , відповідають кола.

### **Задача 5. Зіткнення.**

Свинцеву і пластилінову кульки одночасно кидають з поверхні землі під кутами  $\alpha_1$  і  $\alpha_2$  до горизонту і швидкостями  $v_{01}$  і  $v_{02}$ , відповідно.

1. Запишіть необхідну умову їхнього зіткнення (у термінах  $\alpha_1, \alpha_2, v_{01}, v_{02}$ )
2. За якого відношення маси свинцевої кульки  $m_1$  до маси пластилінової  $m_2$  їхня температура після непружного зіткнення збільшиться на максимальне значення  $\Delta t$ ? Чому воно дорівнюватиме? Питомі теплоємності кульок  $c_1$  і  $c_2$ , їхні початкові температури однакові. Опором повітря знехтувати.

### **Розв'язання.**

Кульки можуть рухатись до зіткнення, як в одній площині, так і в різних, але, якщо вертикальні складові їх початкових швидкостей будуть різними, то кульки весь час руху перебуватимуть на різній висоті і зіткнення не відбудеться. Отже, необхідною умовою, яку можна записати, використовуючи тільки  $\alpha_1, \alpha_2, v_{01}, v_{02}$  є рівність їх вертикальних швидкостей:  $v_{01}\sin\alpha_1 = v_{02}\sin\alpha_2$ .

Це наочно зрозуміло з точки зору неінерціальної системи відліку, яка одночасно з кульками починає падати з прискоренням вільного падіння. Відносно неї кульки рівномірно переміщуються вздовж прямих. Точка перетину прямих буде на певній відстані від горизонтальної площини початку руху. Цю відстань (у перпендикулярному до площині напрямку) за однаковий час мають пройти обидві кульки, що потребує однакового значення їх вертикальних швидкостей.

Припустимо, що у момент зіткнення швидкості кульок  $\vec{v}_1$  і  $\vec{v}_2$ . Запишемо закон збереження імпульсу і зміну кінетичної енергії, яка йде на нагрів кульок.

$$\begin{cases} m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = (m_1 + m_2) \vec{v} \\ (c_1 m_1 + c_2 m_2) \Delta t = \frac{m_1 \vec{v}_1^2}{2} + \frac{m_2 \vec{v}_2^2}{2} - \frac{(m_1 + m_2) \vec{v}^2}{2} \end{cases} \quad \text{З першого рівняння}$$

виражаємо  $\vec{v}$ , підставляємо у друге і після спрощення отримуємо:  $(c_1 m_1 +$

$$c_2 m_2) \Delta t = \frac{m_1 m_2 (\vec{v}_1 - \vec{v}_2)^2}{2(m_1 + m_2)}, \text{ звідки } \Delta t = \frac{x(\vec{v}_1 - \vec{v}_2)^2}{2(x+1)(c_1 x + c_2)} \quad (1), \text{ де для зручності } \frac{m_1}{m_2} = x.$$

Аналіз формули (1) на максимум можна провести без використання похідних, наприклад, так:

$$\Delta t = \frac{x(\vec{v}_1 - \vec{v}_2)^2}{2(x+1)(c_1 x + c_2)} = \frac{x(\vec{v}_1 - \vec{v}_2)^2}{2(c_1 x^2 + (c_1 - c_2)x + c_2)} = \frac{(\vec{v}_1 - \vec{v}_2)^2/2}{c_1 x + (c_1 + c_2) + \frac{c_2}{x}} = \frac{(\vec{v}_1 - \vec{v}_2)^2/2}{\left(\sqrt{c_1 x} - \sqrt{\frac{c_2}{x}}\right)^2 + (\sqrt{c_1} + \sqrt{c_2})^2}.$$

Найбільше значення  $\Delta t$  буде за найменшого знаменника, тобто коли повний квадрат

$\left(\sqrt{c_1 x} - \sqrt{\frac{c_2}{x}}\right)^2$  дорівнюватиме нулю. Звідси знаходимо відношення маси свонцевої кульки  $m_1$  до маси пластилінової  $m_2$ , за якого збільшення температури максимальне:

$$x = \frac{m_1}{m_2} = \sqrt{\frac{c_2}{c_1}}. \text{ Як бачимо, шукане відношення мас не залежить від швидкості тіл}$$

$$\text{перед зіткненням. Одночасно з цим отримуємо найбільше } \Delta t : \Delta t = \frac{(\vec{v}_1 - \vec{v}_2)^2}{2(\sqrt{c_1} + \sqrt{c_2})^2}.$$

Зазначимо, що максимальне  $\Delta t$  вже залежить від швидкостей перед зіткненням, точніше кажучи від відносної швидкості тіл  $\vec{v}_1 - \vec{v}_2$ , яка враховуючи вираз  $\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{g}t$  для рівноприскореного руху, дорівнює початковій відносній швидкості :

$$\vec{v}_1 - \vec{v}_2 = \vec{v}_{01} + \vec{g}t - (\vec{v}_{02} + \vec{g}t) = \vec{v}_{01} - \vec{v}_{02}.$$

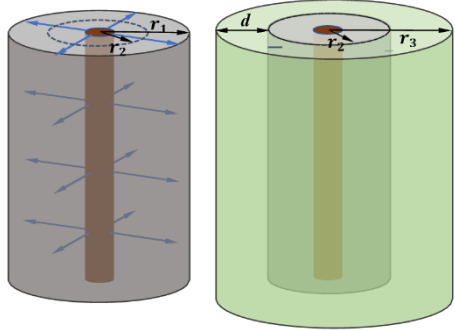
Оскільки вертикальні складові початкових швидкостей однакові, то відносна початкова швидкість буде горизонтальною і матиме максимальне абсолютне значення, коли тіла рухатимуться в одній площині назустріч одне одному. Тобто :

$$\Delta t_{max} = \frac{(v_{01} \cos \alpha_1 + v_{02} \cos \alpha_2)^2}{2(\sqrt{c_1} + \sqrt{c_2})^2}$$

Зазначимо, що величини, які входять до останньої формули, не довільні. На них накладені обмеження, що забезпечують можливість зіткнення, а саме :  $v_{01} \sin \alpha_1 = v_{02} \sin \alpha_2$  та інше аналогічне йому, якщо спроектувати горизонтальні складові швидкостей на перпендикуляр до лінії, що з'єднує початкові точки. Звісно, що є ще одне обмеження – це зіткнення тіл у повітрі. Оскільки геометрія розташування початкових точок та рельєф не задані, останні обмеження записати у термінах умови задачі не можна. Зазначимо також, що випадок непрямого нецентрального зіткнення, після якого тіло з двох кулек обертатиметься, зменшить частину енергії, яка піде на нагрів, що не відповідає умові задачі.

### Задача 6. Циліндричний опір.

У технологічному процесі провідник вкривають захисною циліндричною оболонкою і занурюють у розплавлений метал. Струми розходяться від провідника крізь оболонку у радіальних напрямках (мал.1). За нормою захисна циліндрична оболонка повинна мати зовнішній радіус  $r_1 = 10$  см, але з часом, знаходячись в агресивному середовищі, вона зменшується. Коли її зовнішній радіус суттєво зменшився,



циліндр відшлифували до  $r_2 = 5$  см і вкрили поверх шаром товщиною  $d$  більш стійкої речовини з удвічі меншим питомим опором (мал.2).

1. Виходячи з міркувань розмірності та геометрії, запропонуйте загальну формулу залежності опору  $R$  такої циліндричної оболонки від її питомого опору  $\rho$  та геометричних розмірів: висоти  $h$ , внутрішнього та зовнішнього радіусів  $r_0$  та  $r$ .

2. Розрахуйте товщину  $d$  нової оболонки, за якої загальний опір відновленого циліндру (мал. 2) буде таким самим, як у нового нормативного (мал.1). Опором центрального мідного стержня знехтуйте.

#### Розв'язання.

Спробуємо з'ясувати, як може залежати опір провідника між двома циліндричними поверхнями при радіальному розподілі струму. Відомо, що для однорідного провідника, площа перерізу  $S$  якого не змінюється і перпендикулярна його довжині  $l$ , опір:  $R = \rho \frac{l}{S}$ . Якщо внутрішня циліндрична поверхня має радіус  $r_0$ , зовнішня радіус  $r$ ,

а висота  $h$ , можна записати наближену формулу, взявши за довжину провідника  $l$  – товщину шару в напрямку проходження струму  $l = r - r_0$ , а за площу перерізу  $S$  – добуток висоти  $h$  на деяку середню довжину кола:  $2\pi r_c h$ . За середній радіус  $r_c$  перпендикулярного до напрямку струму перерізу оціночно можна взяти середнє арифметичне внутрішнього та зовнішнього радіусів,  $r_c = \frac{r+r_0}{2}$ . Тоді  $R = \rho \frac{l}{2\pi r_c h} =$

$$\frac{\rho}{\pi h} \cdot \frac{r-r_0}{r+r_0} = \frac{\rho}{\pi h} \cdot \frac{\frac{r}{r_0}-1}{\frac{r}{r_0}+1}.$$

З аналізу розмірностей і геометрії циліндру випливає, що у загальному випадку опір має бути пропорційний питомому опору  $\rho$  і обернено пропорційним висоті  $h$ , зі збільшенням якої зростає площа перерізу. Тоді радіуси входять у вигляді безрозмірного відношення. Тобто:  $R = \frac{\rho}{h} f(r/r_0)$ . (2)

Рівняння (1) задовільняє (2), хоча і є приблизним для розрахунків у випадку, коли не вдається отримати точну відповідь. Для того, щоб опір не змінився, необхідно, щоб опір нової захисної оболонки  $r_2$  від  $r_3$  дорівнював опору тієї частини старої оболонки від  $r_2$  до  $r_1$ , що була вилучена.

$$\frac{\rho}{2h} f\left(\frac{r_3}{r_2}\right) = \frac{\rho}{h} f\left(\frac{r_1}{r_2}\right).$$

Але при послідовному з'єднанні опори додаються, тому опір нової оболонки можна уявити як два послідовних від  $r_2$  до  $r_1$  та від  $r_1$  до  $r_3$  (див. мал.2):

$$\frac{\rho}{2h} f\left(\frac{r_1}{r_2}\right) + \frac{\rho}{2h} f\left(\frac{r_3}{r_1}\right) = \frac{\rho}{h} f\left(\frac{r_3}{r_2}\right).$$

Скорочуючи, знаходимо:  $f\left(\frac{r_3}{r_1}\right) = f\left(\frac{r_1}{r_2}\right)$ . Отже для нашої монотонної функції це означає рівність аргументів:  $\frac{r_3}{r_1} = \frac{r_1}{r_2}$ , звідки  $r_3 = \frac{r_1^2}{r_2} = 20$  см. Тоді товщина нової оболонки  $d = r_3 - r_2 = 15$  см. Радіус циліндру зменшився удвічі, а для відновлення опору з використанням удвічі менш провідної речовини знадобився утричі товщий її шар, замість відпрацьованого. Наближена формула дає досить велику похибку. Наприкінці зауважимо, що функція  $f(x)$  з точністю до множника є натуральним логарифмом, а опір між двома циліндричними поверхнями визначається за формулою:  $R = \frac{\rho}{2\pi h} \ln\left(\frac{r}{r_0}\right)$ , без якої ми обійшлись.

### **Задача 7. Майже експеримент.**

Для визначення атмосферного тиску відкриту з обох кінців скляну трубку занурюють у воду у вертикальному положенні, після чого верхній кінець перекривають і виймають трубку з води (вода частково залишається у трубі).

1. На скільки слід занурити нижній кінець у воду, щоб з найменшою відносною похибкою визначити атмосферний тиск?

2. Опишіть, як слід проводити вимірювання, та спрогнозуйте найменше значення цієї похибки за нормальних зовнішніх умов.

Вимірювання проводяться лінійкою з міліметровими поділками. Довжина трубки 1 м. Капілярними явищами для цієї трубки можна знехтувати.

#### **Розв'язання.**

Позначимо через  $X$  глибину занурення нижнього кінця трубки. Тоді довжина стовпчика повітря у трубці при атмосферному тиску  $P_0$ , буде  $L-X$ . Після перекриття верхнього кінця і підняття трубки над водою, рівень води в ній зменшиться до деякого значення  $Y$ , тобто довжина стовпчика повітря стане  $L-Y$ , а тиск  $P=P_0 - \rho g Y$  (мал.1). Дослід проводимо не поспішаючи, отже процес можна вважати ізотермічним і скористатись  $P_0 V_0 = P V$ , що в нашому випадку набуває вигляду  $P_0(L-X) = (P_0 - \rho g Y)(L-Y)$ , звідки знаходимо:  $P_0 = \frac{\rho g Y(L-Y)}{X-Y}$ .

Вважаємо довжину  $L$  трубки, а також довідкові дані (густина води і прискорення вільного падіння) відомими точно. Відносна похибка визначення атмосферного тиску:

$$\varepsilon = \frac{\Delta P}{P_0} = \frac{\Delta Y}{Y} + \frac{\Delta(L-Y)}{L-Y} + \frac{\Delta(X-Y)}{X-Y} = \frac{\Delta Y}{Y} + \frac{\Delta Y}{L-Y} + \frac{\Delta(X-Y)}{X-Y}.$$

Для того, щоб мінімізувати  $\varepsilon$ , слід зменшити чисельники і збільшити знаменники. У чисельниках стоять інструментальні похибки:  $\Delta Y = 0,5$  мм і  $\Delta(X - Y) = \Delta X + \Delta Y = 1$  мм, якщо міряти  $X$  та  $Y$  окремо. Однак ми можемо безпосередньо виміряти зміну висоти стовпчика  $x = X - Y$ , і тоді  $\Delta(X - Y) = \Delta x = 0,5$  мм – відносна похибка останнього доданку в  $\varepsilon$  зменшиться вдвічі.

$$\varepsilon = \frac{1}{2} \left( \frac{1}{Y} + \frac{1}{L - Y} + \frac{1}{X} \right) \text{ м} = \frac{1}{2} \left( \frac{L}{L - Y} + \frac{1}{X} \right) \text{ мм.}$$

Саме останній доданок дає найбільший внесок в інструментальну похибку, оскільки вимірюється мала величина (атмосферний тиск значно перевищує гідростатичний). Звісно,  $x$  залежить від  $X$ , а отже, і від  $Y$ . Тому для того, щоб остаточно мінімізувати  $\varepsilon$ , виразимо з формули (1)  $x = \frac{\rho g Y (L - Y)}{P_0}$  і підставимо в (2):

$$\varepsilon = \frac{1}{2} \left( \frac{L + \frac{P_0}{\rho g}}{Y(L - Y)} \right) \text{ мм.}$$

Мінімального значення  $\varepsilon$  набуває за максимального значення знаменника. Беремо похідну, або виділяємо повний квадрат, і знаходимо  $Y = \frac{L}{2}$ . Тоді скориставшись значенням приблизного значення атмосферного тиску, густини води і прискорення вільного падіння, знаходимо:  $x = \frac{\rho g}{P_0} \frac{L^2}{4} \approx 2,5$  см,  $X = Y + x = 52,5$  см,  $\varepsilon = \frac{1}{2} \frac{L + \frac{P_0}{\rho g}}{Y(L - Y)} = 2,2$  %. Отже, трубку слід занурити на 52,5 см, що після її підняття очікувано дає стовпчик довжиною 50 см в межах абсолютної похибки 0,5 мм.

Існує **інший, більш точний, метод** визначення атмосферного тиску, який дозволяє майже вдвічі збільшити зміщення стовпчика. Після того, як трубку витягли з води, слід виміряти  $Y$ , після чого її перевернути і виміряти зміщення стовпчика  $y$  (див. Рис.2). Знову для ізотермічного процесу запишемо:

$$(P_0 - \rho g Y)(L - Y) = (P_0 + \rho g Y)(L - Y - y).$$

$$\text{Звідки знаходимо: } P_0 = \rho g \frac{Y(2L - 2Y - y)}{y}. \quad (3)$$

$$\text{Відносна похибка: } \varepsilon = \frac{\Delta P}{P_0} = \frac{\Delta Y}{Y} + \frac{\Delta(2L - 2Y - y)}{2L - 2Y - y} + \frac{\Delta Y}{Y}.$$

Знову аналізуємо чисельник  $\Delta(2L - 2Y - y)$ . Якщо міряти  $Y$  і  $y$ , маємо  $\Delta(2L - 2Y - y) = 2\Delta Y + \Delta y = 1,5$  мм. Якщо ж,

наприклад, додатково міряти  $l = Y + y$  разом, маємо

$\Delta(2L - 2Y - y) = \Delta Y + \Delta(Y + y) = \Delta Y + \Delta l = 1$  мм, виграш у 1,5 рази. Таким чином

$$\text{маємо: } \varepsilon = \frac{1}{2} \left( \frac{1}{Y} + \frac{2}{2L - 2Y - y} + \frac{1}{Y} \right) \text{ мм.} \quad (4)$$

Виразимо з (3) і підставимо у (4):

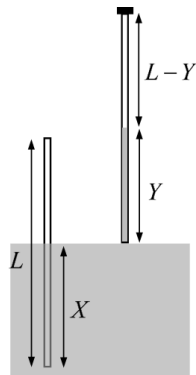


Рис.1

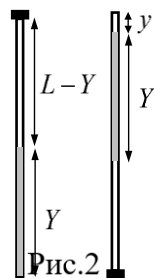


Рис.2



$\varepsilon = \frac{2Y^2 + aLY + a(a+2)L^2}{4aLY(L-Y)}$  мм, де  $a = \frac{P_0}{\rho g L} \approx 10$ . Візьмемо похідну, прирівняємо до нуля і отримаємо квадратне рівняння (можна обійтися без похідної, виділивши після деяких перетворень повний квадрат):  $Y^2 + 2aLY - aL^2 = 0$ .

Фізичним умовам задовільняє  $Y = L(\sqrt{a + a^2} - a) \approx 48,8$  см, звідси з формули (1)  $X = \frac{Y(L-Y)}{aL} + Y \approx 51,3$  см, що на 1,2 см менше ніж у попередньому випадку. Відносна похибка  $\varepsilon = 1,254 \% \approx 1,3 \%$ .

Отже, для максимальної точності слід занурити трубку на 51,3 см, потім витягти, заміряти висоту стовпчика води 48,8 см, далі перевернути трубку і заміряти як зміщення стовпчика  $y$ , так і довжину або частини повітря, або водяного стовпчика зі зміщенням  $l$ . Звісно, реальна похибка буде дещо більшою за рахунок інших похибок. Зазначимо, що такі ж самі відповіді для  $X$  можна було отримати, не мінімізуючи  $\varepsilon$ , а шукаючи максимальні зміщення (це можна довести за допомогою математичного аналізу). Додаток (як знайти екстремум у задачі «Майже експеримент» без похідної).

1 випадок.  $\varepsilon = \frac{1}{2} \frac{L + P_0/\rho g}{Y(L-Y)}$  мм,  $\varepsilon \rightarrow \min$ , коли  $Y(L-Y) \rightarrow \max$ . Тоді:

$Y(L-Y) = \frac{L^2}{4} - \left(\frac{L}{2} - Y\right)^2$ . Оскільки мінімальне значення квадрату 0, маємо

$$Y = \frac{L}{2} \text{ і } \varepsilon_{\min} = \frac{1}{2} \frac{L + P_0/\rho g}{L^2/4} \text{ мм.}$$

2 випадок.  $\varepsilon = \frac{2Y^2 + aLY + a(a+2)L^2}{4aLY(L-Y)}$  мм. Треба мінімізувати:

$$\begin{aligned} F(Y) &= \frac{2Y^2 + aLY + a(a+2)L^2}{Y(L-Y)} = \frac{2(Y^2 - LY) + 2LY + aLY + a(a+2)L^2}{Y(L-Y)} = \\ &= -2 + (a+2)L \frac{Y + aL}{LY - Y^2} = -2 + \frac{(a+2)L}{\frac{LY - Y^2}{Y + aL}} \end{aligned}$$

$F(Y) \rightarrow \min$ , коли  $F(Y) = \frac{LY - Y^2}{Y + aL} \rightarrow \max$ . Для зручності позначимо  $z = Y + aL$ . Тоді:

$$\begin{aligned} f(z) &= \frac{L(z - aL) - (z - aL)^2}{z} = (1 + 2a)L - \left(z + \frac{(a+a^2)L^2}{z}\right) = \\ &= (1 + 2a)L - 2\sqrt{a + a^2}L - \left(\sqrt{z} - \sqrt{\frac{(a+a^2)L^2}{z}}\right)^2. \end{aligned}$$

Ми досягнемо поставленої мети, коли повний квадрат в останньому виразі набуде свого мінімального значення 0 ( $z = \sqrt{a + a^2}L$ ).

Тоді

$$f = (1 + 2a)L - 2\sqrt{a + a^2}L = (\sqrt{1 + a} - \sqrt{a})^2 L \text{ і } \varepsilon = \frac{1}{4aL} \left(-2 + \frac{a+2}{(\sqrt{1+a} - \sqrt{a})^2}\right) \text{ мм}$$

Значення висоти водяного стовпчика  $Y = z - aL = (\sqrt{a + a^2} - a)L$ .

### Задача 1.1 «Хвильовий тиск»

Відомо, що жорстке електромагнітне випромінювання (наприклад, рентгенівське) може проходити крізь шар металу. Нехай плоска лінійно поляризована електромагнітна хвиля падає нормально (рис.1) на закріплену нерухомо металеву пластинку товщиною  $h$  ( $h$  набагато більше довжини хвилі) з питомим опором  $\rho_{\text{ел}}$  та викликає в ній появу електричних струмів. Амплітудне значення напруженості електричного поля дорівнює  $E$ , а магнітної індукції  $B$ . Нехтуючи відбиванням енергії, крайовими ефектами та вторинним випромінюванням струмів та вважаючи затухання хвилі невеликим, визначте **середній тиск** з боку електромагнітної хвилі на пластинку.

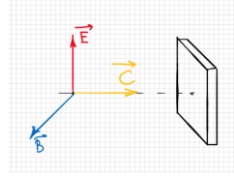


Рис.1

#### Розв'язання.

Розглянемо фрагмент пластинки зі сторонами  $l$  та  $d$ . Електрична компонента електромагнітної хвилі викликає у пластині появу вертикального струму із густиною:  $j(t) = \frac{E(t)}{\rho_{\text{ел}}}$ . Знайдемо струм в пластинці на відстані  $x$  від поверхні. Площа поперечного перерізу для такого струму  $l \cdot dx$ . Тоді струм:

$$dI(t) = j(t)dx = \frac{E(t)}{\rho_{\text{ел}}} l dx.$$

З боку магнітного поля електромагнітної хвилі на цей струм діє сила Ампера:  $dF_A = dI(t)B(t)d$ . Електромагнітна хвиля є біжучою, отже :

$$dF_A = \frac{E \sin(\omega t - kx)}{\rho_{\text{ел}}} B \sin(\omega t - kx) d l dx = \frac{EB \sin^2(\omega t - kx)}{\rho_{\text{ел}}} S dx$$

Тут  $S = d l$  – площа фрагменту пластинки, на яку падає електромагнітна хвиля. Тоді повний тиск на всю пластинку дорівнює:

$$p = \frac{1}{S} \int_0^h dF_A(t) = \frac{EB}{\rho_{\text{ел}}} \int_0^h \sin^2(\omega t - kx) dx = \frac{EBh}{2\rho_{\text{ел}}}.$$

### Задача 1.2 «Магнітний годинник»

Стрілки циферблата годинника та його обід виконано з металевого дроту з однакового матеріалу. Хвилинна та годинна стрілки мають однакову довжину  $L=9,00$  см, що є радіусом циферблату, рухаються плавно (без ривків) і дотикаються до обода. Усі контакти ідеальні. На годинній стрілці міститься маленька лампочка нехтовно малого опору, яка світитися, якщо струм, що проходить через неї, перевищує  $0,9$  А, і гасне, якщо струм стає меншим, ніж  $0,9$  А. **Покажіть вид графіку** (вказіть на ньому характерні значення часу) залежності сили струму у лампочці від часу протягом доби, починаючи від опівночі, якщо годинник помістити в однорідне магнітне поле індукцією

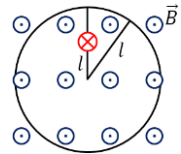


Рис.2.

$B=4800$  мТл, силові лінії якого перпендикулярні площині годинника (рис. 2). Опір одиниці довжини дроту, з якого виготовлені стрілки та обід,  $\lambda=1,57 \cdot 10^{-5}$  Ом/м. Визначте, **скільки часу** світитиметься лампочка протягом доби. Вважайте  $\pi=3,14$ .

#### Розв'язання.

Дано:

$$l = 9 \text{ см}$$

$$T = 12 \text{ год}$$

$$B = 0,48 \text{ Тл}$$

$$\lambda = 1,25 *$$

$$10^{-5} \text{ Ом/м}$$

$$I(t) - ?$$

$$\Delta t - ?$$

Під час руху стрілки у зовнішньому магнітному полі кожна її маленька ділянка стає джерелом електричного струму.

Розглянемо нескінченно малу ділянку стрілки, яка обертається з деяким періодом  $\tau$  довжиною  $dx$  на відстані  $x$  від центру шиферблата:

ЕРС, яка виникає у цій ділянці:

$$d\varepsilon = Bv_x dx \sin 90^\circ.$$

(1)

Швидкість цієї ділянки:

$$v_x = \frac{2\pi x}{\tau}.$$

(2)

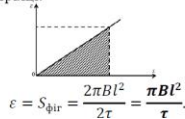
$$d\varepsilon = \frac{2\pi B x dx}{\tau}.$$

(3)

Загальну ЕРС, яка виникає у всій стрілці, можна знайти декількома способами:  
1) швидкість частин стрілки зростає лінійно при збільшенні відстані від центру шиферблата. Тоді можна використовувати середнє значення величини ЕРС

$$\varepsilon = \frac{\frac{2\pi B l^2}{\tau} - 0}{2} = \frac{\pi B l^2}{\tau}.$$

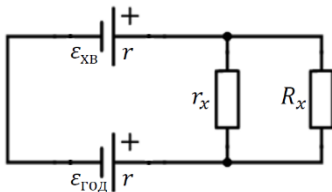
2) побудуємо залежність величини  $\frac{2\pi B x}{\tau}$  від відстані від центру шиферблата  $x$ . Площа фігури під цим графіком має фізичний сенс ЕРС, яка виникає у всій хвилинній стрілці:



3) сумарна ЕРС визначається за правилами додавання (інтегрування):

$$\begin{aligned} \varepsilon &= \int_0^l d\varepsilon = \int_0^l \frac{2\pi B x dx}{\tau} = \\ &= \frac{2\pi B}{\tau} \int_0^l x dx = \\ \frac{2\pi B}{\tau} \left( \frac{l^2}{2} - 0 \right) &= \frac{\pi B l^2}{\tau}. \end{aligned}$$

(4)



У довільний момент часу  $t$  еквівалентне електричне коло має вигляд:

$$l_x = \left( \frac{2\pi l}{T} - \frac{2\pi l}{T} \right) t = \frac{22\pi l t}{T},$$

де  $r = \lambda l$  – опір стрілок;

$r_x = \lambda l_x$  – опір ділянки обода між стрілками;

$R_x = \lambda(2\pi l - l_x)$  – опір зовнішньої ділянки обода.

Де  $T = 12$  год – період обертання годинної стрілки.

За законом Ома для повного кола:

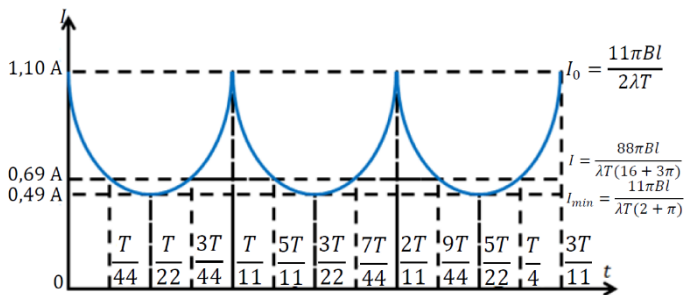
$$I = \frac{\varepsilon_{\text{хв}} - \varepsilon_{\text{год}}}{\frac{r_x R_x}{r_x + R_x} + 2r}.$$

$$I = \frac{11\pi B l^2}{T \left( \frac{\lambda l_x \lambda (2\pi l - l_x)}{2\pi l \lambda} + 2\lambda l \right)} = \frac{11\pi B l}{2\lambda T \left( 1 + \frac{11\pi t}{T} - 121\pi \left( \frac{t}{T} \right)^2 \right)}.$$

Функція (8) визначає залежність сили струму у хвилинній стрілці від часу.

Графік даної функції

- при  $t \in \left[ 0; \frac{T}{22} \right]$  має вигляд квадратичної гіперболи;
- при  $t \in \left[ \frac{T}{22}; \frac{T}{11} \right]$  є симетричним відтворенням попередньої гілки;
- а надалі періодично повторюється.



Максимальне значення струму чисельно дорівнює:

$$I = \frac{11\pi Bl}{2\rho T} = \frac{11 \cdot 3,14 \cdot 480 \cdot 10^{-3} \cdot 9 \cdot 10^{-2}}{2 \cdot 1,57 \cdot 10^{-5} \cdot 12 \cdot 3600} = 1,1 \text{ A.}$$

З урахуванням того, що лампочка починає світитися лише за сили струму, більшої за 0,9 A, то протягом часу, доки годинна і хвилинна стрілки не співпадуть знову, лампочка світитися на початку свого руху, після чого гасне, а потім запалюється під кінець періоду. Моменти часу, коли лампочка гасне чи запалюється визначимо, підставивши числові значення у рівняння:

$$0,9 = \frac{1,1}{1 + \frac{11\pi t}{T} - 121\pi \left(\frac{t}{T}\right)^2}$$

Після математичних перетворень отримаємо квадратне рівняння:

$$\frac{0,9}{\pi} \left( \frac{11\pi t}{T} \right)^2 - 0,9 \left( \frac{11\pi t}{T} \right) + 0,2 = 0$$

$$\frac{11\pi t}{T} = \frac{0,9 \pm \sqrt{0,9^2 - 0,8 \cdot \frac{0,9}{\pi}}}{2 \cdot \frac{0,9}{\pi}} = \frac{\pi \left( 1 \pm \sqrt{1 - \frac{0,8}{0,9\pi}} \right)}{2},$$

Звідки

$$t = \frac{1 \pm \sqrt{1 - \frac{0,8}{0,9\pi}}}{22} T$$

Перший момент часу, коли лампочка гасне:

$$t_1 = \frac{1 - \sqrt{1 - \frac{0,8}{0,9 \cdot 3,14}}}{22} \cdot 12 \cdot 3600 = 301 \text{ s.}$$

Отже, протягом доби лампочка світитися протягом

$$\Delta t = 44 t_1 = 13244 \text{ s.}$$

**Відповідь:**

$$I = \frac{11\pi Bl}{2\lambda T \left( 1 + \frac{11\pi t}{T} - 121\pi \left( \frac{t}{T} \right)^2 \right)}$$

$$\Delta t = 13244 \text{ s} = 220 \text{ хв } 44 \text{ сек} = 3 \text{ год } 40 \text{ хв } 44 \text{ сек}$$

**1.3 “Вгору по стінці”** Деякі рідини здатні підійматись по стінках посудин значно вище, ніж це дозволяє їх коефіцієнт поверхневого натягу. Оцінити цей ефект можна, розглянувши взаємодію між атомами рідини та атомами стінки посудини. Для моделювання взаємодії одного атома стінки із атомом рідини добре підходить формула

Ленарда-Джонса:

$U(r) = \frac{\alpha}{r^{12}} - \frac{\beta}{r^6}$ , де  $U(r)$  – функція залежності енергії взаємодії від відстані між атомами,  $\alpha = 53 \cdot 10^{-139}$  Дж $\cdot$  м<sup>12</sup>,  $\beta = 0.73 \cdot 10^{-80}$  Дж $\cdot$  м<sup>6</sup>,  $g = 9.8$  м/с<sup>2</sup>.

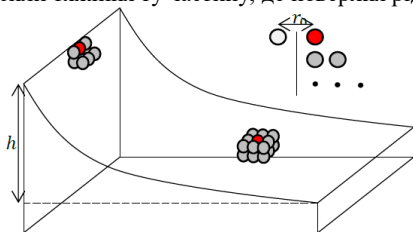
Вважаємо, що енергія взаємодії атома рідини зі стінкою набагато більша за енергію його взаємодії з іншими атомами рідини. Для зручності, враховуємо взаємодію лише найближчих атомів. Маса атому рідини  $m = 66 \cdot 10^{-27}$  кг. **Оцініть**, якої висоти зможе дістатися хоч якась частина рідини.

**Оцініть**, який коефіцієнт поверхневого натягу має мати рідина, щоб її меніск доходив до такої висоти. Проаналізуйте відповідь на адекватність. Така оцінка буде непогано працювати для дуже багатьох рідин. **Вкажіть** можливі причини того, чому, наприклад, для звичайної води не спостерігається такої її поведінки при контакті зі стінкою посудин, в яких вона зберігається. Коефіцієнт поверхневого натягу води за температури 20°C дорівнює 73 мН/м.

#### Розв’язання.

За умовою, взаємодія атома рідини зі стінкою набагато більша за значенням, ніж енергія її взаємодії з іншими атомами рідини. Тому атоми рідини, що «відчули» притягання до атомів стіни, починають стрімко підійматися вгору вздовж стінки. Під час цього процесу шар рідини поблизу стіни буде зменшуватися з висотою. Максимальною можна вважати висоту, до якої досягне хоча б одна молекула, як показано на малюнку. Нехай наша посудина має нескінченно високі стінки, що дозволить досягнути такого ефекту (деякі рідини здатні підніматися достатньо високо).

Оскільки поверхня рідини у стані рівноваги еквіпотенційна, то напишемо закон збереження енергії для атому рідини, обравши за нульовий рівень потенційної енергії сили тяжіння ту частину, де поверхня рідини практично горизонтальна:



$$W_1 = W_2$$

$$W_1 = W_{з\text{ водою}_1}$$

$$W_2 = W_{з\text{ стінкою}} + W_{з\text{ водою}_2} + mgh$$

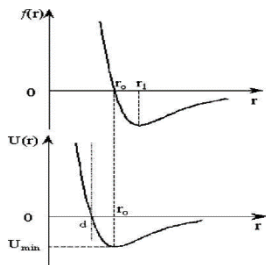
$$\left(\frac{\alpha}{r_0^{12}} - \frac{\beta}{r_0^6}\right) + (W_{з\text{ водою}_2} - W_{з\text{ водою}_1}) + mgh = 0$$

Не зважаючи на те, що у першому та другому положеннях атом безпосередньо взаємодіє з різною кількістю атомів рідини, цю енергію можна знехтувати у порівнянні з енергією взаємодії атома рідини з атомами стіни:  $W_{з\text{ водою}_2} - W_{з\text{ водою}_1} \approx 0$ .

Тоді отримуємо у стані рівноваги:  $\left(\frac{\alpha}{r_0^{12}} - \frac{\beta}{r_0^6}\right) + mgh = 0$ ,

де  $r_0$  – це середня відстань між атомами стіни та рідини, що досягли найвищої висоти, підіймаючись угору. Значення  $r_0$  можна оцінити з тих міркувань, що у положенні

рівноваги, де рівнодійна сил міжатомного притягання та відштовхування дорівнює нулю, спостерігається потенційна «яма». Візьмемо похідну від виразу енергії:



$$F = U' = 0$$

$$-\frac{12}{r_0^{13}} + \frac{6b}{r_0^7} = 0$$

$$r_0 = \sqrt[6]{\frac{2a}{b}}$$

Враховуючи це, закон збереження енергії дає наступне значення максимальної висоти.

$$\frac{ab^2}{4a^2} - \frac{b^2}{2a} + mgh = 0$$

$$h = \frac{b^2}{4mga} = 3.8 \text{ м}$$

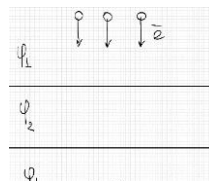
Для знаходження висоти підняття рідини скористуємося законом Ньютона для частини рідини, рівень якої вище за рівень горизонтальної поверхні рідини, вважаючи змочування повним.  $\sigma \Delta L = \rho \Delta L \frac{h^2}{2}$ . Це дасть нам наступний вираз та оціночне значення коефіцієнту поверхневого натягу для густини води:

$$\sigma = \rho \Delta L \frac{h^2}{2} = 71 \frac{\text{кН}}{\text{м}}$$

Як бачимо, це значення суттєво перевищує порядок табличних значень коефіцієнтів. Це підтверджує, що для рідин, для молекул яких сила притягання до стіни значно більша за сили притягання однієї до іншої, «працює» зовсім інша модель поведінки рідини. Існує велика кількість факторів, що впливають на здійсненність такого явища, найбільш суттєвим з яких, на наш погляд, є в'язкість рідини та великий вплив випаровування, яким ми при розв'язанні знехтували.

### Задача 2. «Фотони-електрони» (50 балів) 2.1. (20 балів)

Пройдення світла через зони з різними показниками заломлення є достатньо відомою оптичною задачею. Одним з її результатів є той факт, що при нормальному падінні променів на межу двох прозорих середовищ з різними показниками заломлення, частина світлової енергії відбивається.



Мал.3

Енергетичний коефіцієнт відбивання світла при цьому може бути розрахований

наступним чином:  $R = \left( \frac{n_2 - n_1}{n_2 + n_1} \right)^2$ , де  $n_2, n_1$  – показники заломлення середовищ по різні сторони від поверхні розділу. Цікаво, що аналогічну теорію можна застосувати й до потоку електронів.

Уявіть, що в нескінченній області з потенціалом  $\phi_1 = 16,58 \text{ В}$  знаходиться плоскопаралельна область кінцевої товщини з потенціалом  $\phi_2 = 15,00 \text{ В}$  (мал. 3). Пучок електронів падає нормально на цю плоскопаралельну область зі швидкістю  $V_1 = 106 \text{ м/с}$ . Визначте, яка частина електронів пройде крізь область з потенціалом  $\phi_2$ . Вважайте, що ймовірність зіткнення електронів між собою вкрай мала, кулонівською взаємодією між електронами знехтуйте, інтерференційні ефекти не враховуйте. Заряд електрону  $qe = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$ , маса електрону  $m = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$ .

2.2 (10 балів) Відомо, що мінімальний розмір предметів, які можуть бути розрізненими за допомогою мікроскопу, має значення дуже близьке до довжини хвиль, що використовуються при дослідженнях. Наприклад, для оптичних мікроскопів значення цієї довжини хвилі можна для зручності вважати рівним 500 нм.

Для спостережень за більш дрібними об'єктами використовують електронний мікроскоп, який фокусує потоки електронів замість світлових пучків. Історично в основі квантової механіки лежало припущення, що будь-які частинки (навіть ті, що мають масу) можуть виявляти не тільки корпускулярні, але й хвильові властивості. Тобто кожна частинка ототожнюється із квантом (порцією) енергії. Співвідношення між енергією та імпульсом такого кванту буде таким самим, як і для фотону.

Оцініть, у скільки разів зміняться розміри найдрібніших предметів, що можуть бути досліджені за допомогою мікроскопу, якщо замість оптичного мікроскопу використати електронний. Вважайте, що електрони в мікроскопі розганяються зі стану спокою напругою 150 В. Релятивістськими ефектами знехтувати. Стала Планка  $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$  Дж \* с.

2.3. (20 балів) Під час дослідження розрідженого інертного газу його опромінюють електронним пучком, що прискорюється невеликою напругою, яку можна змінювати. У результаті цих досліджень було отримано графік залежності сили струму від прискорюючої напруги.

Графік являє собою послідовність максимумів та мінімумів струму (мал.4). Перший максимум струму та наступний за ним мінімум струму спостерігалися за прискорюючих напруг  $U_1 = 1,10$  В та  $U_2 = 4,30$  В. Для пояснення цього ефекту можна застосувати наближену модель, в якій:

а) атом – це частина простору, з чіткими межами, потенціал якої різко відрізняється від потенціалу електростатичного поля зовні так, як показано на рис.5;

б) електрон – це хвиля, яка пролітає крізь атом, та якій притаманні хвильові властивості – наприклад інтерференція.

Поясніть наявність мінімумів та

максимумів на рис.4 та розрахуйте ефективний розмір атомів  $d$  цього інертного газу та значення потенціалу атому  $\phi_a$ .

Розв'язання. 2.1 При переході між зонами з різними потенціалом електрони змінюють свою швидкість. Отже, в даній задачі потік електронів можна розглядати як світловий промінь, що падає на плоскопаралельну пластину з коефіцієнтом заломлення, відмінним від навколишнього середовища.

За законом збереження енергії знайдемо швидкість електронів в зоні з потенціалом  $\phi_2$ :

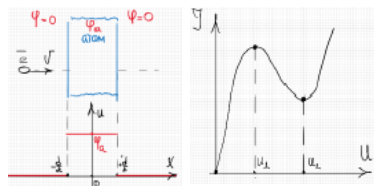
$$-q_e \phi_1 + \frac{mV_1^2}{2} = -q_e \phi_2 + \frac{mV_2^2}{2},$$

$$V_2 = \sqrt{V_1^2 - q_e(\phi_1 - \phi_2)} < V_1$$

Застосуємо оптичну аналогію, знайшовши відносний коефіцієнт заломлення зони з потенціалом  $\phi_2$  відносно зони з  $\phi_1$ :  $n = \frac{V_1}{V_2}$

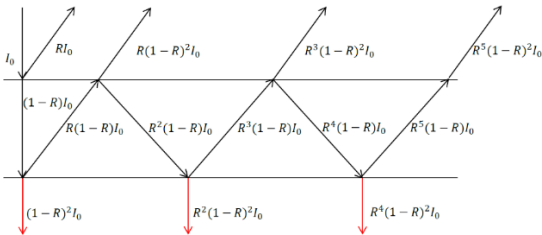
5

При проходженні електронів крізь зону з потенціалом  $\phi_2$  пучок електронів



мал. 4

мал.



буде багаторазово розділятися і буде відбуватися нескінченно повторюване відбиття та проходження частини пучка падаючих електронів як це зображено на рисунку. Додамо всі пучки, які проходять крізь зону з потенціалом  $\varphi_2$  та скористаємося формулою для суми геометричної прогресії:

$$\begin{aligned}\Sigma I &= (1-R)^2 I_0 + R^2(1-R)^2 I_0 + R^4(1-R)^2 I_0 + \dots = \frac{(1-R)^2}{1-R^2} I_0 = \\ &= I_0 \frac{0.96^2}{1-16 \cdot 10^{-4}} = 0.923 I_0\end{aligned}$$

$\frac{I}{I_0} = 92.3\%$  - отримуємо кількість електронів, що пройде крізь плоскопаралельну зону.

2.2 За квантовою теорією частинки, які мають масу, можуть розглядатись як хвилі. Отже, необхідно знайти довжину хвилі, яка відповідає поведінці пучків електронів. Знайдемо швидкість електронів, які розганяються потенціалом  $U$  з закону зміни енергії:

$$\frac{mV^2}{2} = q_e U, \quad V = \sqrt{\frac{2q_e U}{m}}$$

Імпульс цих електронів:  $p = \sqrt{2meU}$

Співвідношення, яке пов'язує довжину хвилі частинок, які мають масу, та їх імпульси, описується гіпотезою де Бройля. Виведемо його зі співвідношення між енергією кванта та його імпульсом, яке постулюємо таким самим, як і для фотона:

$$E = hv = \frac{hc}{\lambda} = pc$$

$$\begin{aligned}\text{Звідси: } \lambda &= \frac{h}{p} = \frac{h}{\sqrt{2meU}} = \frac{6.63 \cdot 10^{-34}}{\sqrt{2 \cdot 9.1 \cdot 10^{-31} \cdot 16 \cdot 10^{-20} \cdot 150}} \text{ м} = 10^{-10} \text{ м} \\ \frac{\lambda_{\text{опт}}}{\lambda_{\text{електр}}} &= \frac{500 \cdot 10^{-9}}{10^{-10}} = 5000\end{aligned}$$

2.3 Напруги, що прискорюють електрони, при яких спостерігаються максимуми та мінімуми на графіку залежності струму в системі є меншими, ніж потенціали збудження атомів, які фігурують в аналогах дослідів Франка і Герца (особливо явно це проявляється для так званих благородних газів), де відбувались непружні удари електронів з атомами через наявність у атомах внутрішньої структури (квантових рівнів). Отже, причини наявності максимумів та мінімумів на графіку є іншими. В реальності при малих напругах максимуми та мінімуми спостерігаються на графіку через явище інтерференції електронів на атомі (аналог просвітленої оптики). Це явище має назву ефекта Рамзауера. Якщо ми знаємо напруги, при яких відбувається підсилення або послаблення потоку електронів через газ, то записуючи умови максимумів та мінімумів проходження електронів як хвиль крізь атом (який, для спрощення, ми розглядаємо у вигляді плоскопаралельної пластинки із потенціалом,



відмінним від навколишнього нульового) можна отримати оціночні значення розміру атома та середнього потенціалу всередині нього.

Знайдемо спочатку коефіцієнти заломлення в атомі для електронної хвилі.

За Законом Збереження Енергії:

$$eU = -e\varphi_A + \frac{mV^2}{2},$$

$$V = \sqrt{\frac{2eU}{m}(U + \varphi_A)},$$

$$V_0 = \sqrt{\frac{2eU}{m}}$$

$$n = \frac{V}{V_0} = \sqrt{\frac{(U + \varphi_A)}{U}},$$

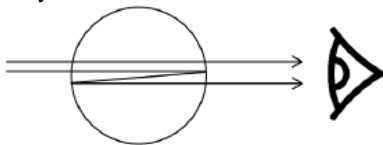
$$n_1 = \frac{V}{V_0} = \sqrt{\frac{(U_1 + \varphi_A)}{U_1}},$$

$$n_2 = \frac{V}{V_0} = \sqrt{\frac{(U_2 + \varphi_A)}{U_2}}$$

Довжина хвилі електронів у міжатомному просторі після прискорення певним потенціалом  $U$  (див. попередній пункт 2.2):

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2meU}}$$

Знайдемо умови максимуму та мінімуму на графіку через умови на оптичні різниці ходу:



$$\Delta = 2dn_1 = 2k \frac{\lambda_1}{2} - \text{максимум}$$

$$2dn_2 = (2k + 1) \frac{\lambda_2}{2} - \text{мінімум}$$

Запишемо рівняння для першого максимуму та першого мінімуму (за умовою задачі  $k$  для

максимуму = 1;  $k$  для мінімуму = 1):

$$\begin{cases} 2d\sqrt{U_1 + \varphi_A} = \frac{hk}{\sqrt{2me}} = \frac{h}{\sqrt{2me}} \\ 2d\sqrt{U_2 + \varphi_A} = \frac{h(2k+1)}{2\sqrt{2me}} = \frac{3h}{2\sqrt{2me}} \end{cases}$$

Розв'язуючи систему, отримуємо:

$$\varphi_A = \frac{9U_1 - 4U_2}{5} = 1.46\text{В.}$$

$$d = \frac{h\sqrt{5}}{\sqrt{32me(U_2 - U_1)}} \approx 3.8 \cdot 10^{-10}\text{М.}$$

### Задача 3. «І знову гравітаційна лінза». (50 балів)

3.1. (20 балів) Фотон пролітає повз зорю з масою  $M$ . Головною особливістю гравітаційного поля, як відомо, є той факт, що вона надає однакового прискорення всім тілам. Як наслідок, гравітаційне поле здатне відхиляти світлові промені. Використовуючи цей факт та розмірні оцінки, знайдіть кут  $\alpha$ , на який повернеться напрям руху фотону.

Вважати, що:

- цей кут дуже малий;
- гравітація істотно впливає на траєкторію лише на ділянці максимального зближення фотону з зорею, коли відстань між ними складає  $R$ ;

Примітки:

- для спрощення траєкторію променя можна рисувати у вигляді ламаної;
- якщо Вам не вдалося отримати вираз для кута  $\alpha$ , то у наступних пунктах вважайте що він обернено пропорційний до відстані  $R$  з деяким відомим коефіцієнтом пропорційності  $Z$ .

3.2. (15 балів) Між спостерігачем С та зорею З на одній прямій знаходиться галактика масою М. Використовуючи результат з попереднього пункту, поясніть який вигляд буде мати зірка для цього спостерігача. Знайдіть кутовий розмір зображення цієї зірки?



Мал. 6

Усі кути вважати малими. Розміром галактики та зорі знехтувати. Відстань між спостерігачем та галактикою  $L_1$ , зорею та галактикою  $L_2$  (рис. 6).

3.3. (15 балів). Припустимо, що для подальших розрахунків чисельне значення кутового розміру зображення з п.3.2. дорівнює 1,73 кутових секунди. Нехай тепер спостерігач у тій самій точці рухається зі швидкістю  $c/2$  вздовж прямої С-З у напрямку галактики.  $c=3 \cdot 10^8$  м/с – швидкість світла у вакуумі.

а) Визначити, яким тепер стане кутовий розмір зображення зорі для спостерігача в цьому випадку?

б) Знайти, у скільки разів внаслідок такого руху зміниться довжина хвилі, на яку припадає максимум випромінювання зорі?

в) Спробуйте аргументовано охарактеризувати зображення зорі, яким його побачить спостерігач, який буде віддалятися від галактики зі швидкістю, максимально наближеною до  $c$ ?

### Розв'язання.

1.1. Наведемо можливий варіант розв'язання.

Поблизу зорі фотон набуває прискорення:

$$\alpha = \frac{GM}{R^2}. \text{ Внаслідок цього швидкість змінюється}$$

за напрямком і її приріст за оціночний час  $R/c$

можна оцінити як:  $\Delta v = \frac{GM}{R^2} \cdot \frac{R}{c}$ . Тому кут зміни напрямку фотону:

$$\alpha \sim \frac{GM}{RC^2} \Rightarrow \alpha = 4 \frac{GM}{RC^2}.$$

2.2. Внаслідок симетрії бачимо, що для спостерігача зображення зорі має вигляд кільця. Знайдемо, наприклад, його кутовий радіус  $\beta$  як  $\beta = R/L_1$

Як бачимо,  $\beta = \alpha - \gamma$ , де  $\beta = \frac{R}{L_2}$

Враховуючи це та результат попереднього пункту:

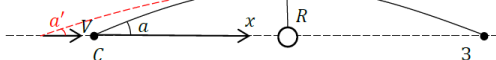
$$R \left( \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} \right) = \frac{4GM}{R \cdot c^2} \Rightarrow R^2 = \frac{4GML_1L_2}{c^2(L_1 + L_2)}$$

$$\beta = \frac{R}{L_1} = \sqrt{\frac{4GML_2}{c^2L_1(L_1 + L_2)}}$$

3.3. а) Застосуємо релятивістський закон додавання швидкостей:

$$Ux = \frac{U_x + V}{1 + U_x V / c^2} \Rightarrow U_{x'} = \frac{U_x - V}{1 - U_x V / c^2}.$$

$U_x, U_{x'}$  – це проекції швидкості тіла на напрямку руху спостерігача у двох різних



системах відліку.  $V$  – швидкість спостерігача.

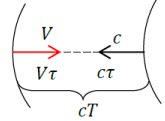
$$\text{Зрозуміло, що } U_x = -c \cos \alpha, U_x' = -c \cos \alpha' \Rightarrow -c \cos \alpha' = \frac{-c \cos \alpha - \frac{V}{c}}{1 + \frac{V}{c} \cos \alpha} \Rightarrow \cos \alpha' = \frac{\cos \alpha + \frac{V}{c}}{1 + \frac{V}{c} \cos \alpha}$$

Як бачимо, кути дуже малі, тому застосуємо наближені формули розрахунку косинуса:

$$1 - \frac{a'^2}{2} = \frac{c \cos \alpha + V}{c + V \cos \alpha} = \frac{c - c \frac{a^2}{2} + V}{c + V - V \frac{a^2}{2}} \quad a' = \sqrt{\frac{c - V}{c + V}} a$$

$$3.3 \text{ б)} \quad V = \frac{c}{2} \Rightarrow a' = \frac{\phi}{\sqrt{3}} \text{ М} \approx 1''.$$

Розглянемо, як буде змінюватися довжина хвилі внаслідок руху приймача назустріч світловим променям (ефект Доплера). Нехай,  $T$ -період хвилі у системі відліку, в якій спостерігач нерухомий а умовою  $(V + c)\tau = cT$



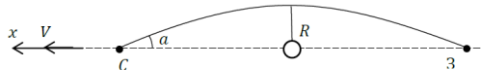
$$\tau = \frac{T}{1 + \frac{V}{c}}, \tau - \text{інтервал часу між отриманням сигналу рухомих спостерігачем з точки}$$

зору нерухомого  $T' = \tau'$ - цей інтервал у системі відліку «рухомих спостерігач».

$$T' = \tau' = \tau \sqrt{1 - \left(\frac{V}{c}\right)^2} = \frac{T}{1 + \frac{V}{c}} \sqrt{1 - \left(\frac{V}{c}\right)^2} = T \sqrt{\frac{1 - \frac{V}{c}}{1 + \frac{V}{c}}} \Rightarrow v' = v \sqrt{\frac{1 + \frac{V}{c}}{1 - \frac{V}{c}}}$$

$$\text{Тоді, } \frac{\lambda'}{\lambda} = \frac{v}{v'} = \sqrt{\frac{1 - \frac{V}{c}}{1 + \frac{V}{c}}} = \frac{1}{\sqrt{3}}$$

3.3 в) Розглянемо випадок з віддаленням спостерігача.



$$U_x = \frac{U_x - V}{1 - \frac{U_x V}{c^2}}$$

$$\text{Зрозуміло, що } U_x = c \cdot \cos \alpha, U_x' = c \cdot \cos \alpha' \Rightarrow \cos \alpha' = \frac{\cos \alpha - \frac{V}{c}}{1 - \frac{V}{c} \cos \alpha}$$

Тобто зображення зорі виявляється попереду спостерігача і поступово стискається у точку.

Довжина хвилі, що сприймається спостерігачем, буде суттєво зростати:

$$\lambda' = \lambda \sqrt{\frac{1 + \frac{V}{c}}{1 - \frac{V}{c}}}$$

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–2021”

*Інформаційний вісник*

Упорядник **Петрунів Микола Іванович**

Редактор і коректор *Олександр Хміль*. Технічний редактор *Роксоляна Бедрій*

Підписано до друку з готових діапозитивів 12.11.2020.

Формат 60 x 84 1/16. Папір офсет. Гарнітура Times.

Друк офсетний. Умов. друк. арк 4,88.

Обл.- вид. арк. 5, 83 п. Наклад 6500 прим.

Видавництво “Каменяр”, 79008, Львів, Підвальна, 3.

Свідоцтво Держ. реєстру: серія ДК, № 462.

Ел. адреса: [vvd@kamenyar.com.ua](mailto:vvd@kamenyar.com.ua)

Віддруковано Друк ТзОВ "Друкарня "Папуга"

м.Львів, вул. Любінська 92

Всеукраїнський фізичний конкурс «Левеня – 2020» [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, 2021. – 76 с: іл.

ISBN 978-966-607-586 - 3

*Інформаційний вісник підготовлено оргкомітетом за підсумками Всеукраїнського фізичного конкурсу «Левеня–2020» – 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**