

*Міністерство освіти і науки України*

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

**„ЛЕВЕНЯ – 2005”  
ВІТАЄ ПЕРЕМОЖЦІВ**

Інформаційний вісник

Львів  
Каменярь  
2005

**ББК 74.265.1-922**

**Л35**

**УДК 372.853**

*Цю книжку оргкомітет конкурсу підготував для переможців, сподіваючись, що зібрані в ній матеріали будуть корисними для учнів, що цікавляться різними видами інтелектуальних змагань (як-от олімпіади, конкурси, турніри) з фізики та для вчителів, які їх готуватимуть.*

**Директор ліцею Мар'ян Добосевич**

**Координатори конкурсу “Левеня – 2005”**

**Володимир Алексейчук**

**Раїса Кузик**

Адреса оргкомітету:

79054, Львів, вул. Караджича, 29

Львівський фізико-математичний ліцей

Тел.: (032) 240-17-02, (0322)62-00-68

Факс: (032) 240-17-02

Е-mail: [levenia@polynet.lviv.ua](mailto:levenia@polynet.lviv.ua)

<http://levenia.com.ua>

**Директор благодійного фонду “Ліцей” Михайло Мурашук**

Благодійний фонд “Ліцей”

Львівське відділення Укресімбанку

рахунок отримувача 260030260560

МФО 325718

ЗКПО 22360064

Л 4306021200 – 33 Без оголошення  
2005

ISBN 5-7745-1123-5

© Львівський фізико-математичний ліцей, 2005

*Любі друзі!*

*Вітаю вас з успішним завершенням Всеукраїнського фізичного конкурсу “Левеня-2005”, призерами якого ви стали.*

*Ваше сходження до висот науки тільки починається, вам ще належить пройти довгий і непростий шлях до досягнення найголовніших таємниць людського знання, до здійснення цікавих і потрібних людству відкриттів. На цьому, сповненому різноманітних випробувань шляху, на вас чекає багато несподіванок. Вам потрібно буде докласти чималих зусиль, щоб подолати всі труднощі і проблеми, які постануть перед вами. А допомогти у сходженні до вершин людського знання вам допоможуть постійні заняття улюбленим предметом. Як спортсмен, готуючись до складної дистанції, постійно вдосконалює свою фізичну підготовку й гартує волю та витривалість, так і той, хто прагне пов'язати своє життя з інтелектуальною працею, має постійно вдосконалювати свої розумові здібності, поглиблювати власні знання з обраного предмета, шліфувати вміння й навички в галузі точних наук.*

*Сподіваємося, що запропонований вам посібник, який містить цікаві завдання Всеукраїнської олімпіади з фізики та зразки їх розв'язків, допоможе краще осягти цю прекрасну й надзвичайно захоплюючу науку, відкрити для себе цілі поклади нових і потрібних знань, а найголовніше – переконає, що фізика, яка так зацікавила вас своїми таємницями й привернула увагу своїми явищами, має великі перспективи і є однією з тих, що відіграватимуть велику роль у майбутньому.*

*У фізиці є ще багато невідкритого, загадкового, нового... Бажаємо вам освоїти цю науку, осягнути її закони, зробити те важливе відкриття, яке збагатить її традиції! Успіхів вам, перемог і великих звершень у цій шляхетній справі!*

*Хоменко Олена Вікторівна,  
провідний спеціаліст  
управління змісту освіти  
Міністерства освіти і  
науки України*

**Міністерство освіти і науки України**  
**ХЛП Всеукраїнська олімпіада юних фізиків, м. Хмельницький, 2005**  
**Теоретичний тур**

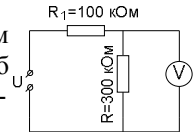
**8 клас**

1. На двох порожніх кубиках, що плавають у воді, лежить невагома паличка. Розміри ребер кубиків становлять  $a_1=0,1$  м і  $a_2=0,2$  м. Скільки води треба налити в один із кубиків, щоб паличка лежала горизонтально? Маси кубиків  $m_1=0,05$  кг і  $m_2=0,1$  кг. Товщиною стінок знехтувати. Густина води  $\rho = 1 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>.



2. Два однакові теплоізоляовані калориметри висотою  $h=75$  см заповнені на третину один – льодом, другий – водою при температурі  $t = 10$  °С. Воду з другого калориметра переливають у перший, і при цьому калориметр виявляється заповненим на дві третини. Після того як температура в калориметрі встановилась, рівень його заповнення зріс на  $\Delta h = 0,5$  см. Яка була початкова температура льоду в калориметрі? Густина льоду –  $\rho_{\text{л}} = 0,9 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>, густина води –  $\rho_{\text{в}} = 1 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>, питома теплоємність льоду –  $c_{\text{л}} = 2,1 \cdot 10^3$  Дж/(кг · К), питома теплоємність води –  $c_{\text{в}} = 4,2 \cdot 10^3$  Дж/(кг · К), питома теплота плавлення льоду –  $\lambda = 3,4 \cdot 10^5$  Дж/кг.

3. У схемі вольтметр вимірює напругу на резисторі опором  $R = 300$  кОм. Яким має бути опір вольтметра для того, щоб його покази відрізнялись від дійсного значення  $U_R$  не більше ніж на 20%? Напруга  $U$  підтримується постійною.

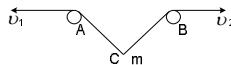


4. Першого разу в пробірку налили води при температурі  $t$ . Дно пробірки занурили у велику кількість води при температурі на  $\Delta t$  більшій. Вода в пробірці нагрілась до температури  $t + \Delta t$  за час  $\tau_1$ . Другого разу в пробірку налили води при температурі  $t$ . Дно пробірки занурили у велику кількість води при температурі  $t - \Delta t$ . Вода в пробірці охолонула до температури  $t - \Delta t$  за час  $\tau_2$ . Що більше:  $\tau_1$  чи  $\tau_2$ ? Вважати, що процес теплообміну здійснюється лише через дно пробірки.

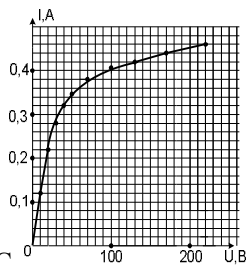
5. Пішохід пройшов  $\frac{4}{7}$  вузького моста, коли він помітив машину, яка наближалась до нього спереду і з якою він не зміг би розминутися. Все-таки він продовжував іти й дійшов до кінця мосту одночасно з машиною. Виявилось, що коли б він повернувся назад, помітивши машину, то підійшов би до початку мосту також одночасно з машиною. Вважаючи, що пішохід і машина весь час рухалися із постійною швидкістю, знайти відношення їхніх швидкостей.

## 9 клас

1. Точкове тіло масою  $m$  підіймають за допомогою двох нерозтяжних і невагомих ниток, що перекинуті через нерухомі блоки  $A$  і  $B$ . Кінці ниток рухаються горизонтально зі сталими швидкостями  $v_1 = 3,00$  м/с та  $v_2 = 6,00$  м/с. Вважаючи блоки ідеальними, знайдіть натяги ниток у положенні, коли  $AC = AB = BC = 10,0$  м.



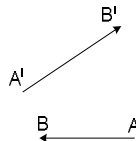
2. Опір електричної лампочки збільшується зі збільшенням температури нитки розжарювання. Залежність сили струму через нитку лампочки від прикладеної напруги подана на рисунку. Визначте найбільший і найменший опір лампочки. Оцініть середнє значення температурного коефіцієнта опору матеріалу нитки розжарювання, якщо відомо, що при напрузі 220 В температура нитки становить  $2000^{\circ}\text{C}$ .



3. У посудині містяться дві незмішувані рідини з густинами  $\rho_1$  і  $\rho_2$  і товщинами  $h_1$  і  $h_2$  відповідно. На поверхню рідини кладуть маленьке тіло обтічної форми, яке досягає дна якраз у той момент, коли його швидкість стає рівною нулеві. Визначте густину матеріалу, з якого виготовлено тіло.

4. У центрі днища прямокутної баржі з вертикальними бортами довжиною  $a = 80$  м, шириною  $b = 10$  м і висотою  $c = 5$  м утворився отвір діаметром  $d = 1$  см. Оцініть час, за який баржа затоне, якщо не відкачувати воду. Баржа відкрита, вантажу на ній немає, початкова висота бортів над рівнем води –  $h = 3,75$  м.

5. На рисунку показано предмет  $AB$  і його зображення  $A'B'$ , одержане в лінзі. Визначити побудовою розміщення лінзи і її головних фокусів.

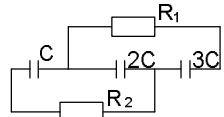


## 10 клас

1. Автомобіль скочується з вимкненим двигуном і постійною швидкістю  $v$  з гірки, кут нахилу якої дорівнює  $\alpha$ . Відстань між осями коліс автомобіля  $L$ , а його центр мас знаходиться посередині між осями на висоті  $h$  над дорогою. Вважаючи силу тертя кочення прямо пропорційною навантаженню на вісь, визначити гальмівний шлях автомобіля після раптового гальмування з повним блокуванням задніх коліс, коефіцієнт тертя ковзання яких по дорозі дорівнює  $k$ .

2. Стінки циркового льодового майданчика мають форму кола радіуса  $r = 7$  м. Клоун - хокеїст б'є по шайбі і надає їй поступального руху в напрямку протилежної стінки майданчика. Шайба перетинає майданчик на відстані  $d_0 = 4$  м від його центру, після удару відскакує від стінки, знову перетинає майданчик, знову відбивається, і так багато разів. Визначити, на якій відстані  $d$  від центру майданчика буде проходити шайба після великої кількості відбиттів. Шайбу вважати однорідним диском. Тертям об лід знехтувати. Вважати, що при ударі шайби об стінку нормальна складова швидкості не змінюється за величиною.

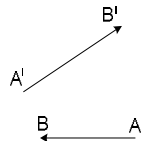
3. Три конденсатори ємностями  $C$ ,  $2C$  і  $3C$  з'єднані послідовно і приєднані до джерела е.р.с.  $\varepsilon = 30$  В. Після зарядки конденсаторів їх відключили від джерела і одночасно до них приєднали два резистори так, як показано на рисунку. Яка кількість теплоти виділиться на резисторах, якщо  $C = 3$  мкФ.



4. Як робоче тіло в тепловій машині використовується постійна маса ідеального одноатомного газу, зміну стану якого зображено на  $pV$ -діаграмі. При належному виборі масштабів по осях цієї діаграми цикл зображається двома чвертями кіл, причому точки перетину дуг 1 і 2 лежать на бісектрисі кута, утвореного осями діаграми. Визначити ККД циклу, якщо відношення максимального і мінімального об'ємів газу в цьому циклі дорівнює  $n = 3$ .



5. На рисунку показано предмет  $AB$  і його зображення  $A^1B^1$ , одержане в лінзі. Визначити побудовою розміщення лінзи і її головних фокусів.

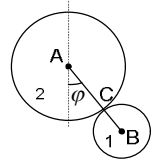


# 11 клас

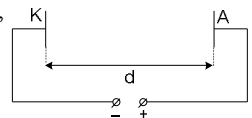
1. За повідомленням інформаційних агентств, у ніч на середу 16. 02. 2005р. російський центр керування польотами провів коригування орбіти Міжнародної космічної станції (МКС). Двигуни пристикованого до МКС космічного апарата працювали 456 с. В результаті операції орбіта станції була піднята на 3,3 км і збільшена до розрахункової висоти приблизно 360 км над Землею. Під час коригування орбіти екіпаж станції спав. На основі отриманої інформації оцініть, у скільки разів штучна сила тяжіння, що виникла на станції під час роботи двигунів, була менша від сили тяжіння на поверхні Землі.

2. Ізольована металева куля радіусом  $R = 8$  см має заряд  $q_1 = 1$  нКл. На відстані  $d = 3R$  від поверхні кулі знаходиться точковий заряд  $q_2 = -4$  нКл. Визначити: 1) силу взаємодії між зарядом  $q_2$  і кулею; 2) відстань від центру кулі до точки  $A$ , в якій напруженість електричного поля дорівнює нулю; 3) потенціал  $\varphi_A$  поля в цій точці і форму екіпотенціальної поверхні  $\varphi = \varphi_A$  поблизу точки  $A$ ; 4) прискорення точкового заряду  $q_3 = 3$  нКл, який помістили в точку  $A$ , в момент часу, коли його відпустили. Маса заряду  $q_3$  дорівнює  $m = 4$  мг. Вважати, що потенціал, який створює заряд на нескінченності, дорівнює нулю. Для малих  $\varepsilon$  ( $|\varepsilon| \ll 1$ ) можна користуватись наближеною формулою  $(1 + \varepsilon)^n \approx 1 + n\varepsilon + (1/2)n(n-1)\varepsilon^2$ .

3. Центри двох дисків з'єднані стержнем  $AB$  довжиною  $L$ . Шарніри  $A$  і  $B$  допускають відносний обертальний рух між стержнем і дисками. Диски притиснуті один до одного. В точці  $C$  контакту ковзання циліндричних поверхонь відсутне. Система з нерухомим диском 2 використовується як фізичний маятник. Диск 1 зі стержнем коливається щодо осі  $A$ . Знайти період коливань маятника при малих відхиленнях стержня від положення стійкої рівноваги. Масою стержня та втратами енергії на тертя знехтувати.

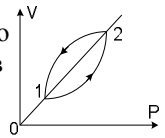


4. Між катодом і анодом, розташованими на віддалі  $d$ , прикладена деяка напруга. Міжелектродний проміжок заповнений газом. Під дією ультрафіолетового випромінювання з катоду виходять електрони, які утворюють струм  $i_0$ . Середня кількість актів іонізації атомів нейтрального газу, які здійснює один електрон на одиниці довжини шляху, дорівнює  $\alpha$  ( $\alpha d \gg 1$ ), так, що концентрація електронів у точках  $x_0$  та  $x$



пов'язані співвідношенням  $n(x) = n(x_0)e^{\alpha(x-x_0)}$ . Позитивні іони, що утворюються в результаті іонізації газу, падають на катод, вибивають із нього електрони і нейтралізуються, при цьому на один іон в середньому припадає  $\gamma (\gamma \ll 1)$  вибитих вільних електронів. Як будуть розподілені по довжині міжелектродного проміжку струми електронів та іонів? За якої умови розряд стане самостійним? Вплив об'ємного заряду, що виникає в системі, на рух заряджених частинок не враховувати. Газ вважати слабко іонізованим (концентрації електронів та іонів значно менші від концентрації нейтральних атомів). Крайовими ефектами знехтувати.

5. Як робоче тіло в тепловій машині використовується постійна маса ідеального одноатомного газу, зміну стану якого зображено на  $pV$  - діаграмі. При належному виборі масштабів по осях цієї діаграми цикл зображається двома чвертями кіла, причому точки перетину дуг 1 і 2 лежать на бісектрисі кута, утвореного осями діаграми. Визначити ККД циклу, якщо відношення максимального і мінімального об'ємів газу в цьому циклі дорівнює  $n = 3$ . Як зміниться значення шуканої величини, якщо цикл провести в зворотньому напрямку?



## Завдання експериментального туру IV етапу Всеукраїнської олімпіади з фізики 2005 року 8 клас

### Обладнання

- три різних резистори з позначками:  $\circ$  ( $R_1$ ),  $\square$  ( $R_2$ ),  $\blacksquare$  ( $R_3$ ), з'єднані трикутником;
- вольтметр зі струмом 1 мА при максимальному відхиленні стрілки;
- джерело постійної напруги;
- з'єднувальні провідники.

### Завдання

- Не змінюючи схеми з'єднання, визначте значення опорів резисторів.
- У звіті наведіть теоретичне обґрунтування вибраного методу вимірювань, вкажіть, від яких факторів залежить його точність, методи її покращення.



## 9 клас

### Обладнання

#### Групове

- ножиці;
- кусачки;
- флакон зі спиртом;
- годинник (можна користуватись власним годинником).

#### Індивідуальне

- шматок промокального паперу;
- відрізок мідного дроту відомого діаметру (0,80 мм);
- швацька голка;
- міліметровий папір;
- піпетка.

### Завдання

- Установіть залежність маси спирту в промокальному папері від часу.
- Визначте кількість молекул, що випаровується з одиниці поверхні паперу за одиницю часу.
- Оцініть точність проведених Вами вимірювань.

### Додаткові дані

Маса молекули спирту –  $7,7 \cdot 10^{-26}$  кг.

Густина міді –  $8,9 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>.

## 10 клас

### Задача 1

### Обладнання

#### Групове

- годинник (можна користуватись власним годинником);
- ножиці;

#### Індивідуальне

- синтетичні нитки;
- штатив лабораторний із лапкою;
- пластикова лінійка;
- сухий газетний папір (використовувати не обов'язково);
- алюмінієва фольга;
- кругла дерев'яна паличка;
- міліметровий папір.

### **Завдання**

- Зробіть із фольги дві циліндричні гільзи та підвісьте їх на нитках до лапки штатива в одній точці.
- Зарядіть гільзи, дослідіть залежність значення електричного заряду на них від часу та дайте її інтерпретацію.

### **Задача 2**

#### **Обладнання**

##### *Групове*

- лампа настільна із видимою спіраллю.

##### *Індивідуальне*

- збірна лінза від окулярів;
- лінійка;
- аркуш паперу.

### **Завдання**

- Користуючись наданим обладнанням, визначте:
  1. радіус увігнутої поверхні лінзи;
  2. радіус опуклої поверхні лінзи;
  3. фокусну відстань лінзи;
  4. показник заломлення скла, з якого виготовлена лінза.

#### **Довідкові дані:**

Густина алюмінію –  $2,7 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ .

Товщина фольги –  $2,0 \cdot 10^{-5} \text{ м}$ .

## **11 клас**

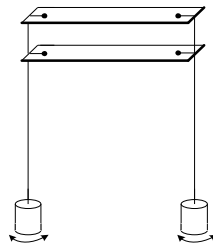
#### **Обладнання**

##### *Групове*

- годинник (можна користуватись власним годинником);

##### *Індивідуальне*

- дві дерев'яні лінійки довжиною по 30 см кожна з отворами;
- тонкий дрiт;
- два тягарці однакової маси;
- лабораторний штатив із лапкою;
- лист міліметрового паперу.



### ***Завдання***

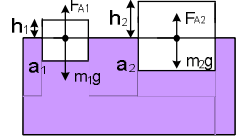
- Виготовте коливну систему, зображену на малюнку (верхню лінійку закріпіть лапкою штативу).
- Опишіть усі види можливих коливань двох маятників довжиною по 75 см кожен для випадку, коли маятники коливаються в одній вертикальній площині. Лінійки розташовані горизонтально. Віддаль між ними змінюйте в межах від 0 до 30 см.
- Дослідіть залежність характеристик цих коливань від відстані між лінійками та подайте результати у вигляді графіків.
- Опишіть аналітично результати, отримані в попередньому пункті, в наближенні малих коливань.

# РОЗВ'ЯЗКИ ЗАДАЧ

## 8 клас

**Задача 1.** Запишемо умови рівноваги кубиків і враховуючи, що  $a_2 = 2a_1$ ;  $m_2 = 2m_1$ , визначимо  $h_1$  і  $h_2$ .

$$\left. \begin{aligned} m_1 g &= \rho g a_1^2 (a_1 - h_1) \\ m_2 g &= \rho g a_2^2 (a_2 - h_2) \end{aligned} \right\} \Rightarrow h_1 = a_1 - \frac{m_1}{\rho a_1^2} = \frac{\rho a_1^3 - m_1}{\rho a_1^2},$$

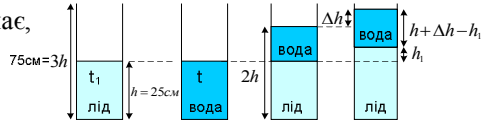


$$h_2 = a_2 - \frac{m_2}{\rho a_2^2} = \frac{4\rho a_1^3 - m_1}{2\rho a_1^2}. \text{ Оскільки } h_2 > h_1, \text{ воду необхідно долити у}$$

другий кубик так, щоб його висота над поверхнею води стала рівна  $h_1$ . Запишемо умову рівноваги другого кубика з водою.

$$(m_2 + m_{\text{в}})g = \rho g a_2^2 (a_2 - h_1) = 4g(m_1 + \rho a_1^3) \Rightarrow m_{\text{в}} = 2(m_1 + 2\rho a_1^3) = 4,1 \text{ кг.}$$

**Задача 2.** Оскільки після встановлення рівноваги рівень піднявся, це означає, що вода замерзла. Визначимо, на скільки піднявся б рівень  $\Delta h_0$  в посудині, якби вся вода замерзла.



$$\rho_{\text{в}} S h = \rho_{\text{л}} S (h + \Delta h_0) \Rightarrow \Delta h_0 = h \left( \frac{\rho_{\text{в}}}{\rho_{\text{л}}} - 1 \right) = 2,8 \text{ см} > 0,5 \text{ см} = \Delta h.$$

Зрозуміло, що вся вода не замерзла, кінцева температура системи  $-0^{\circ}\text{C}$ . З міркувань збереження маси запишемо рівняння:

$$\rho_{\text{в}} S h = \rho_{\text{в}} S (h + \Delta h - h_1) + \rho_{\text{л}} S h_1 \Rightarrow h_1 = \frac{\rho_{\text{в}} \Delta h}{\rho_{\text{в}} - \rho_{\text{л}}} \quad (1). \text{ Запишемо рівняння}$$

теплового балансу для теплообміну в системі  $c_{\text{в}} \rho_{\text{в}} S h t + \lambda m_x = -c_{\text{л}} \rho_{\text{л}} S h_1 t$  (2),

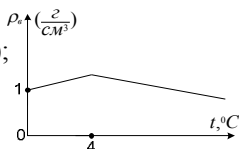
де:  $t_1$  – початкова температура льоду;  $m_x = \rho_{\text{л}} S h_1$  (3) – маса води, що замерзла. Враховуючи (1), (2) і (3), отримаємо

$$t_{\text{л}} = -\frac{c_{\text{в}} \rho_{\text{в}} t}{c_{\text{л}} \rho_{\text{л}}} - \frac{\lambda \rho_{\text{л}} \rho_{\text{в}} \Delta h}{h(\rho_{\text{в}} - \rho_{\text{л}})} = -55^{\circ}\text{C}.$$

**Задача 3.** Нехай  $\alpha = 2\% = 0,02$ . При вимірюванні напруги реальним вольтметром його покази завжди менші за реальні, оскільки при підключенні вольтметра загальний опір кола зменшується, струм і напруга на  $R_1$  збільшуються, відповідно зменшується напруга на  $R$ . Виходячи з умови, запишемо вираз для напруги на резисторі  $R$ .

$$U_R = \frac{UR(1-\alpha)}{R_1 + R} = \frac{U(\frac{RR_V}{R + R_V})}{R_1 + \frac{RR_V}{R + R_V}} \Rightarrow R_V = \frac{R^2 R_1 (1-\alpha)}{R^2 + 2RR_1 + 2R^2} = 58 \text{ кОм.}$$

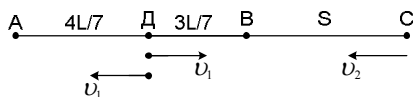
**Задача 4.** Для відповіді на запитання треба згадати:  
 1 – особливості об'ємного розширення води (див.рис.);  
 2 – при конвекції теплообмін відбувається набагато швидше, ніж при теплопровідності.



1. Розглянемо випадок:  $t > 4 \text{ } ^\circ\text{C}$ . При нагріванні води коло дна пробірки її густина зменшується і в пробірці виникає конвекція, що суттєво зменшує час теплообміну  $\tau_1$ . При охолодженні води конвекція не виникає, теплообмін відбувається тільки завдяки теплопровідності, тобто проходить повільно.  $\tau_2 > \tau_1$ .

2. Нехай:  $t < 4 \text{ } ^\circ\text{C}$ . При нагріванні конвекція не виникає, а при охолодженні виникає.  $\tau_1 > \tau_2$ .

**Задача 5.** Нехай  $L$  – довжина моста;  $AB$  – міст;  $S$  – відстань від машини до моста,  $D$  – початкове положення людини. Опишемо рух тіл до точки  $B$ .



$$t_1 = \frac{3L}{v_1} = \frac{S}{v_2} \quad (1). \text{ Рух тіл до точки A. } t_2 = \frac{4L}{v_1} = \frac{S+L}{v_2} \quad (2). \text{ Розв'язавши рівняння (1) і (2), отримаємо: } v_2/v_1 = 7.$$

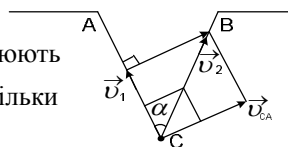
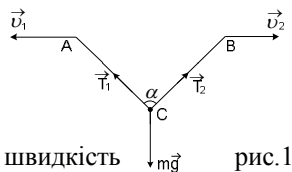
## 9 клас

**Задача 1. Розв'язок журі.** Сили натягу ниток  $\vec{T}_1$  і  $\vec{T}_2$  можна визначити з другого закону

Ньютона: (рис.1)  $\vec{T}_1 + \vec{T}_2 + m\vec{g} = m\vec{a}_c$  (1),

де  $\vec{a}_c$  – прискорення точкової маси  $m$ . Знайдемо швидкість

точкової маси  $\vec{v}_c$ . З умови нерозтяжності ниток впливає, що проекції  $\vec{v}_c$  на напрямки ниток дорівнюють відповідним швидкостям точок ниток  $\vec{v}_1$  та  $\vec{v}_2$ . Оскільки  $\vec{v}_2 = 2\vec{v}_1$ , а кут  $\alpha = 60^\circ$ , в зображеному положенні  $\vec{v}_c = \vec{v}_2$  (див. рис. 2).



Отже, відносно точки  $B$  нормальне прискорення дорівнює  $a_{ncB} = 0$ ,

а повне  $\vec{a}_c = \vec{a}_{cv}$  перпендикулярне  $\overline{CB}$  (рис.3). Рух точки  $C$

можна розглядати і відносно точки  $A$  – це переносний рух

вздовж  $AC$  з швидкістю  $\vec{v}_1$  та обертальний рух нитки  $AC$

відносно осі  $A$ .  $\vec{v}_c = \vec{v}_1 + \vec{v}_{cA}$  (рис.2). Нормальне прискорення

відносно точки  $A$ .  $a_{nCA} = \frac{(v_{cA})^2}{CA}$  (2). Повне прискорення знаходим

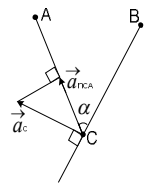


рис.3

за рис. 3 (ми знаємо його напрямок та величину його проекції на  $AC$ ).

$$a_c = \frac{a_{nCA}}{\cos(90^\circ - \alpha)} \quad (3).$$

Підставляючи (2) в (3), знайдемо, що  $a_c \approx 3,12 \frac{M}{c^2}$ .

Проектуючи рівняння (1) на осі  $O_1x$  та  $O_2y$ , (рис. 4)

отримаємо:

$$O_1x: mg \cos \alpha - T_2 \cos(90^\circ - \alpha) = ma_c \cos \alpha ;$$

$$O_2y: mg \cos \alpha - T_1 \cos(90^\circ - \alpha) = -ma_c, \text{ звідки}$$

одержимо відповідь:

$$T_1 = \frac{m(g \cos \alpha + a_c)}{\cos(90^\circ - \alpha)}; T_1 \approx 9,21 \frac{M}{c^2} \cdot m ;$$

$$T_2 = \frac{m(g - a_c) \cos \alpha}{\cos(90^\circ - \alpha)}; T_2 \approx 3,86 \frac{M}{c^2} \cdot m .$$

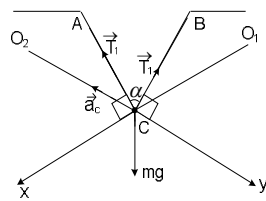
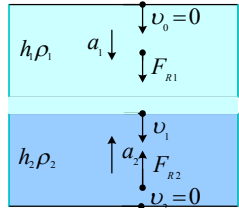


рис.4

**Задача 2.** Найбільший опір лампочки  $R_1$  при  $U = 220$  В (найбільша температура).  $R_1 = U_1/I_1 = 220/0,46 = 480$  Ом. Найменший опір лампочки  $R_0$  в початковому стані. Визначимо його, враховуючи, що при малих напругах ( $U = 10$  В,  $I = 0,12$  А) нагріванням лампочки можна знехтувати (про це свідчить прямолінійна ділянка  $V - A$  характеристики для напруг  $0 \div 10$  В).  $R_0 = 10/0,12 = 83$  Ом. Вважаючи, що опір лінійно залежить від температури  $R_1 = R_0(1 + \alpha \Delta t)$ , визначимо температурний коефіцієнт опору.

$$\alpha = \frac{R_1 - R_0}{R_0 \Delta t} = 0,003 \text{ K}^{-1}.$$

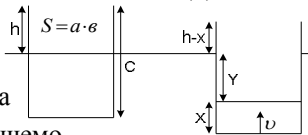
**Задача 3.** Вважаємо швидкості руху тіла малими і знехтуємо в'язкість середовища, тоді на тіло діють тільки сили Архімеда і тяжіння. При русі у першій рідині:  $F_{R1} = \rho gV - \rho_1 gV = ma_1$  (1),  $2a_1h_1 = v_1^2$  (2). При русі у другій рідині:  $F_{R2} = \rho gV - \rho_2 gV = ma_2$  (3),  $2a_2h_2 = v_2^2$  (4). Розв'язавши рівняння (1) – (4), отримаємо:



$$\rho = \frac{\rho_1 h_1 + \rho_2 h_2}{h_1 + h_2} \quad (6), \quad \rho_1 < \rho < \rho_2. \text{ Енергетичний спосіб. При опусканні}$$

тіла його потенціальна енергія зменшується  $\Delta P_1 = -\rho g(h_1 + h_2)V$ , а потенціальна енергія рідин збільшується (рідина піднімається на місце тіла)  $\Delta P_2 = \rho_1 g h_1 V + \rho_2 g h_2 V$ . Оскільки кінетична енергія системи не змінюється,  $\Delta P = \Delta P_1 + \Delta P_2 = 0 = \Delta K$  (5). З рівняння (5) отримаєм відповідь (6).

**Задача 4.** З умови плавання у початковому стані визначимо масу баржі:  $mg = \rho g a v (C - h) \Rightarrow m = \rho a v (C - h)$  (1). Оскільки отвір малий, можна вважати рух баржі практично рівномірним. Запишемо умову рівноваги баржі для довільного моменту часу (у баржі рівень води  $x$ )  $m_b g + mg = \rho g a v (y + x)$  (2).  $m_b = \rho a v x$  (3) – маса води, що потрапила у баржу. Підставимо (3) у (2):  $m = \rho a v y$  (4). Враховуючи (1), маємо  $y = C - h$ , тобто різниця рівнів води у водоймі і в баржі постійна. Запишемо рівняння Бернуллі для двох перерізів рідини: 1 – поверхня води у водоймі; 2 – поверхня отвору у дні баржі у початковий момент часу.



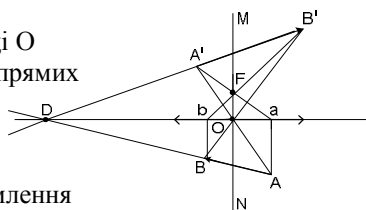
$$P_0 + \rho g(C - h) = P_0 + \frac{\rho v^2}{2} \Rightarrow v^2 = 2g(C - h) \text{ – швидкість затікання води}$$

у баржу. Час, за який баржа затоне, визначимо з геометричних міркувань.

$$\frac{\pi d^2}{4} \cdot v \cdot t = a v h \Rightarrow t = \frac{4 a v h}{\pi d^2 \sqrt{2g(C - h)}} = 7,6 \cdot 10^6 \text{ c} \approx 3 \text{ місяці.}$$

**Задача 5.** Оптичний центр лінзи лежить в точці  $O$  перетину прямих  $B'B$  і  $AA'$ . Точка  $D$  перетину прямих  $AB$  і  $A'B'$  лежить у площині лінзи. Отже, лінза розміщена вздовж прямої  $OD$ .

$MN$  ( $MN$  перпендикулярна  $OD$ ) – головна оптична вісь лінзи. Промені  $Aa$  і  $Bb$  після заломлення перетнуться у фокусі лінзи ( $Aa \parallel Bb \parallel MN$ ). Отже,  $F$  – фокус лінзи.

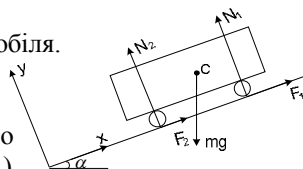


## 10 клас

**Задача 1.** 1. Розглянемо рівномірний рух автомобіля.

Зобразивши сили, що діють на автомобіль ( $F_1, F_2$  – сили тертя кочення;  $N_1, N_2$  – сили нормальної реакції опори), запишемо умову його рівномірного руху. ОУ:  $mg \cos \alpha = N_1 + N_2$  (1)

ОХ:  $mg \sin \alpha = F_1 + F_2 = \mu N_1 + \mu N_2$  (2). Враховуючи (1) і (2), отримаємо:



$\mu = \operatorname{tg} \alpha$  (3),  $\mu$  – коефіцієнт тертя ковзання.

2. Розглянемо гальмування автомобіля.

Запишемо другий закон Ньютона:

$$\text{ОУ: } N_3 + N_4 = mg \cos \alpha \quad (4);$$

$$\text{ОХ: } ma = F_3 + F_4 - mg \sin \alpha \quad (5).$$

Враховуючи (1) і (2), отримаємо:

$$ma = kN_3 + \mu N_4 - \mu (N_1 + N_2) = kN_3 + \mu N_4 - \mu (N_3 + N_4) = (k - \mu) N_3. \quad (6).$$

Оскільки автомобіль гальмує:  $a_x = a > 0$ . Враховуючи рівняння (6), отримаємо умову гальмування  $k > \mu = \operatorname{tg} \alpha$  (7).

3. Розглянемо автомобіль в неінерціальній системі відліку (СВ), що рухається разом з автомобілем. В цій СВ автомобіль нерухомий ( $F_i$  – сила інерції). Запишемо умову рівноваги.

$$\text{ОУ: } N_3 + N_4 = mg \cos \alpha \quad (8).$$

$$\text{вісь С: } (kN_3 + \mu N_4)h + N_3L/2 = N_4L/2 \quad (9).$$

$$\text{З рівняння (9) отримаємо: } N_3 = \frac{N_4(L - 2\mu h)}{L + 2kh}. \quad \text{Оскільки автомобіль гальмує}$$

не перекидаючись  $N_3 > 0$ , отримаємо умову на параметри автомобіля

$$L > 2\mu h = 2h \operatorname{tg} \alpha \quad (10). \quad \text{Розв'язавши рівняння (8) і (9), отримаємо:}$$

$$N_3 = \frac{mg \cos \alpha (L - 2\mu h)}{2(L + h(k - \mu))} \quad (11). \quad \text{Враховуючи рівняння (6), визначимо прискорення автомобіля: } a = \frac{(k - \mu)(L - 2\mu h)g \cos \alpha}{2(L + h(k - \mu))} \quad (12). \quad \text{Тоді при умовах (7) і (10)}$$

$$\text{гальмівний шлях автомобіля: } S = \frac{v^2}{2a} = \frac{v^2(L + h(k - \mu))}{g \cos \alpha (k - \mu)(L - 2\mu h)} \quad (\mu = \operatorname{tg} \alpha).$$

**Задача 2.** Нехай:  $R$  – радіус майданчика,  $O$  – його центр;

$r$  – радіус шайби,  $O_1$  – її центр,  $m$  – її маса. При стиканні зі стінкою складова швидкості шайби вздовж осі АХ зменшується, доки не зникне тертя. Тертя зникає за умови, що шайба при ударі „котиться” вздовж борта без проковзування  $v_x = v \sin \alpha = \omega r$  (1).

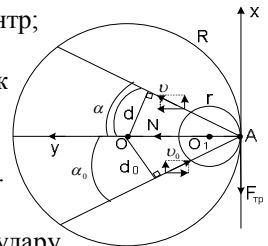
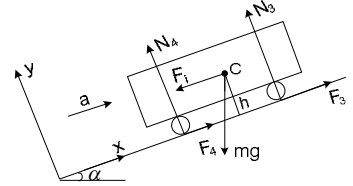
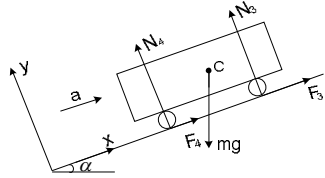
Будемо вважати, що тертя зникає вже після першого

удару, оскільки кількість ударів нас не цікавить. Для удару

запишемо другий закон Ньютона ( $\Delta t$  – час удару,  $N$  – середня сила нор-

мальної реакції опори,  $F_{\text{тр}}$  – середня сила тертя ).

$$\text{АУ: } N\Delta t = (v \cos \alpha + v_0 \cos \alpha_0)m \quad (2);$$





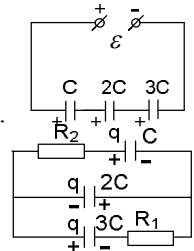
АХ:  $F_{mp} \Delta t = (v_0 \sin \alpha_0 - v \sin \alpha) m$  (3); і закон динаміки обертального руху відносно осі  $O_1$ .  $r F_{TP} \Delta t = I \omega$  (4).  $I = m r^2$  (5) – момент інерції шайби відносно осі  $O_1$ . Розв'язуючи рівняння (1) – (5) і враховуючи що  $v_0 \cos \alpha_0 = v \cos \alpha$  (за умовою задачі), отримаємо:  $2 \operatorname{tg} \alpha_0 = 3 \operatorname{tg} \alpha$  (6). Далі з геометричних міркувань отримаємо:

$$\frac{2d_0}{\sqrt{R^2 - d_0^2}} = \frac{3d}{\sqrt{R^2 - d^2}} \Rightarrow d = \sqrt{\frac{4d_0^2 R^2}{9R^2 - 5d_0^2}} = 3m.$$

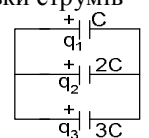
**Задача 3.** Визначимо загальну ємність ділянки ( $C_x$ ), заряд кожного конденсатора ( $q$ ) і енергію електричного поля конденсаторів ( $W$ ).  $\frac{1}{C_x} = \frac{1}{C} = \frac{1}{2C} = \frac{1}{3C} = \frac{1}{6C} \Rightarrow C_x = \frac{6C}{11}$  (1).

$q = C_x \varepsilon = 6C \varepsilon / 11$  (2);  $W = C_x \varepsilon^2 / 2 = 3C \varepsilon^2 / 11$  (3).

Після переключення в початковому стані маємо наступне коло (див. рис).



Коли конденсатори перезарядяться (струми зникнуть), отримаємо наступне коло. Резистори в колі не зображені, оскільки струмів немає. Для останнього кола визначимо: загальний заряд батареї ( $q_0$ ), загальну ємність ( $C_0$ ) і енергію електричного поля ( $W_0$ ).  $q_0 = q - q + q = q$  (4);  $C_0 = 3C + 2C + C = 6C$  (5)



$W_0 = \frac{q_0^2}{2C_0} = \frac{q^2}{12C} = \frac{3C \varepsilon^2}{121}$  (6). Тоді енергія, що виділиться на

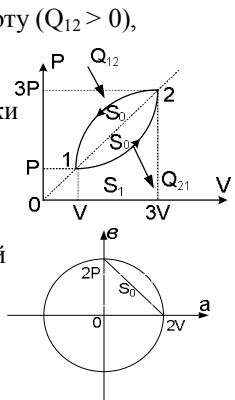
резисторах, дорівнює:  $\Delta W = W - W_0 = 30C \varepsilon^2 / 121$ .

**Задача 4.** В осях  $PV$  процес, заданий в умові, має вигляд, показаний на рисунку. На ділянці 1 – 2 газ приймає теплоту ( $Q_{12} > 0$ ), оскільки робота газу  $A_{12} > 0$ , зміна внутрішньої енергії  $\Delta U_{12} = (i/2)(P_2 V_2 - P_1 V_1) > 0$ . На ділянці 2 – 1:  $Q_{21} < 0$ ,  $A_{21} < 0$ ,  $\Delta U_{21} < 0$ . (Враховано перший закон термодинаміки  $Q = \Delta U + A$ ). К.К.Д. циклу визначають, як:

$$\eta = \frac{A_y}{Q_{12}} = \frac{A_{12} + A_{21}}{Q_{12}} = \frac{2S_0}{Q_{12}} \quad (1).$$

Враховано, що робота за цикл дорівнює площі обмеженої циклом в осях  $PV$ . Визначимо  $S_0$  з геометричних міркувань. Площу кола з осями  $P$  і  $V$  шукаємо як площу еліпсу ( $S = \pi a b$ ) (оскільки розмірності на осях різні).

$S_0 = \pi 2P \cdot 2V / 4 - 2P \cdot 2V / 2 = PV(\pi - 2)$ , тоді робота за

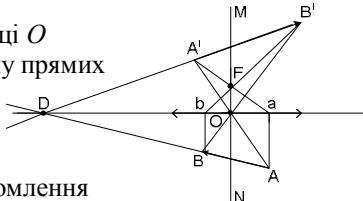


цикл  $A_{ц} = 2S_0 = 2PV(\pi - 2)$ . Теплоту ( $Q_{12}$ ), отриману за цикл визначимо з першого закону термодинаміки  $Q_{12} = \Delta U_{12} + A_{12} = (i/2) \nu R(T_2 - T_1) + A_{12} =$   
 $= (i/2)(P_2 V_2 - P_1 V_1) + 2S_0 + S_1 = (i/2)8PV + PV(\pi - 2) + 2V \cdot 2P = (14 + \pi)PV$ .

$$\eta = \frac{2(\pi - 2)}{14 + \pi} = 13\%.$$

**Задача 5.** Оптичний центр лінзи лежить в точці  $O$  перетину прямих  $B'B$  і  $AA'$ . Точка  $D$  перетину прямих  $AB$  і  $A'B'$  лежить у площині лінзи. Отже, лінза розміщена вздовж прямої  $OD$ .

$MN$  ( $MN$  перпендикулярна  $OD$ ) – головна оптична вісь лінзи. Промені  $Aa$  і  $Bb$  після заломлення перетнуться у фокусі лінзи ( $Aa \parallel Bb \parallel MN$ ). Отже,  $F$  – фокус лінзи.



## 11 клас

**Задача 1. Розв'язок журі.** Двигуни виконали роботу зі збільшення потенціальної енергії станції. І хоча кінетична енергія тіл при цьому зменшилась, оскільки більш високим орбітам відповідає менша швидкість

$$v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$$
 орбітального руху, повна механічна енергія збільшилась на величину роботи  $A = FS$  сили тяги двигунів (вважаємо силу тяги двигунів сталою, а кут між напрямом сили і переміщенням рівним нулю, що відповідає най-більш економному режиму роботи двигунів). Сила тяги викликала прискорення  $a$  станції,  $F = ma$ . Прирівняємо роботу сили тяги і збільшення повної механічної енергії тіл.

$S = vt$  – відстань, на якій діяла сила тяги,  $h = 3,3$  км – збільшення висоти орбіти,  $r_1$  і  $r_2$  – середні радіуси орбіт. Оскільки радіуси орбіт не сильно відрізняються один від другого і від радіуса  $R$  Землі, заміavimo  $r_1$  і  $r_2$  на  $R$

$$maS = \left( \frac{mv_2^2}{2} - \frac{GmM}{r_2} \right) - \left( \frac{mv_1^2}{2} - \frac{GmM}{r_1} \right) = -\frac{GmM}{2r_2} + \frac{GmM}{2r_1} = \frac{GmM}{2r_1 r_2} h, \text{ де}$$

$a \sqrt{\frac{GM}{R}} t = \frac{GM}{2R^2} h$ . Використаємо вираз для прискорення вільного падіння на земній поверхні  $g = \frac{GM}{R^2}$ . Тоді,  $a = \frac{h}{2t} \sqrt{\frac{g}{R}} \approx 0,0045 \text{ м/с}^2$ , що приблизно

у 2000 разів менше за  $g = 9,8 \text{ м/с}^2$ .

**Задача 2. Розв'язок журі.** Електричне поле, яке створює точковий заряд  $q_2$ , викликає на поверхні кулі перерозподіл електричних зарядів. Для знаходження сили взаємодії скористаємось методом електростатичних зобра-

жень, який полягає в тому, щоб розподілений на поверхні заряд замінити одним або декількома фіктивними точковими зарядами, які разом з усіма зовнішніми зарядами забезпечать еквіпотенціальність металевої поверхні. В цьому випадку зовнішнє електричне поле може бути розраховане як поле фіктивних і зовнішніх зарядів.

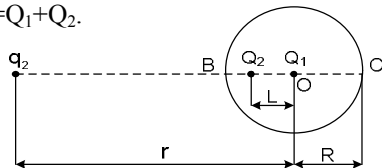
Відомо, що у випадку точкового заряду і кулі можна обійтися двома фіктивними зарядами всередині кулі, один з яких  $Q_1$  знаходиться в центрі кулі і створює в усіх точках її поверхні однаковий потенціал

$$\varphi_1 = \frac{kQ_1}{R},$$

а другий  $Q_2$  якраз відповідає за всі неоднорідності і внаслідок

симетрії знаходиться на лінії, яка з'єднує центр кулі і зовнішній заряд  $q_2$ , на деякій відстані  $L$  від центру кулі (див. рис). Внаслідок закону збереження заряду (більш наочно це зрозуміло з теореми Остроградського-Гауса) сума фіктивних зарядів дорівнює заряду кулі:  $q_1 = Q_1 + Q_2$ .

Як правило, для знаходження  $Q_1, Q_2$  і  $L$  спочатку розглядають заземлену кулю, потенціал якої вважають рівним нулю, і шукають наведений на ній заряд  $Q_2$ . Потім додають у центрі такий заряд  $Q_1$ , щоб задовольнити умові задачі відносно загального заряду кулі  $q_1 = Q_1 + Q_2$ . Зрозуміло, що цей підхід не є єдиним. Покажемо, як це можна зробити інакше.



Всі точки металевої кулі за умови відсутності струмів мають однаковий потенціал. Згідно принципу суперпозиції, потенціал в точці  $B$

дорівнює 
$$\varphi = \frac{kq_2}{r-R} + \frac{kQ_2}{R-L} + \frac{kQ_1}{R},$$
 потенціал в точці  $C$  дорівнює

$$\varphi = \frac{kq_2}{r+R} + \frac{kQ_2}{R+L} + \frac{kQ_1}{R},$$

потенціал в точці  $O$  (центрі кулі) знаходиться як сума потенціалу від заряду  $q_2$  і від загального заряду кулі  $Q_1 + Q_2$ , який розподілений вздовж її поверхні (всередині кулі користуватися фіктивними зарядами не можна). Отже, 
$$\varphi = \frac{kq_2}{r} + \frac{k(Q_1 + Q_2)}{R}.$$
 Таким чином, маємо три

рівняння для потенціалів і одне для загального заряду кулі  $q_1 = Q_1 + Q_2$ . Усього чотири рівняння і чотири невідомі  $Q_1, Q_2, L$  і  $\varphi$ . Розв'язуючи

систему, знаходимо: 
$$Q_2 = -q_2 \frac{R}{r}, \quad Q_1 = q_1 + q_2 \frac{R}{r}, \quad L = \frac{R^2}{r}, \quad \varphi = \frac{kq_2}{r} + \frac{kq_1}{R}.$$

У нашому випадку  $Q_2 = -q_2 / 4 = 1$  нКл,  $Q_1 = 0$  нКл,  $\varphi = 0$  В,  $L = R/4 = 2$  см.

1. Сила взаємодії заряду  $q_2$  і кулі дорівнює силі взаємодії заряду  $q_2$

і фіктивних зарядів  $Q_1, Q_2$ , тобто

$$F = \frac{k|q_2||Q_2|}{(r-L)^2} = \frac{kq_2^2/4}{(4R-R/4)^2} = \frac{4}{225} \frac{kq_2^2}{R^2} = 4 \cdot 10^{-7} H.$$

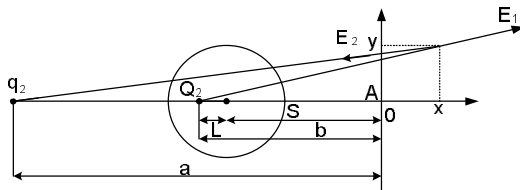
2. Знайдемо положення точки  $A$ . Зазначимо, що напруженість поля всередині кулі дорівнює нулю, тобто точка  $A$  може бути всередині кулі. Розглянемо напруженість поля ззовні кулі. Напруженість поля може дорівнювати нулю тільки на прямій, яка з'єднує заряди. Точка  $A$  повинна лежати на цій прямій по іншій бік від центру кулі, ніж від'ємний заряд  $q_2$ , оскільки  $Q_2 > 0$  і  $|Q_2| < |q_2|$ . Позначимо відстань від центру кулі до точки  $A$  через  $S$ . Тоді відстань  $a$  від заряду  $q_2$  до точки  $A$  дорівнює  $a = r + S$ , відстань  $b$  від  $Q_2$  до  $A$  дорівнює  $b = L + S$ . Напруженість електричних полів, які створюють обидва заряди в точці  $A$ , протилежно спрямовані і рівні за величиною:  $\frac{k|q_2|}{a^2} = \frac{kQ_2}{b^2}$  або  $\frac{k|q_2|}{a^2} = \frac{k|q_2|}{4b^2}$ , звідки знаходимо, що  $a = 2b$ , отже,  $r + S = 2(L + S)$  і  $S = r - 2L = 3,5R = 28$  см. Відстані від зарядів до точки  $A$  дорівнюють:

$a = 7,5R = 60$  см і  $b = a/2 = 30$  см.

3. Потенціал у точці  $A$  створюють заряди  $q_2$  і  $Q_2$ :

$$\varphi_A = \frac{kq_2}{a} + \frac{kQ_2}{b} = \frac{kq_2}{a} - \frac{kq_2}{2a} = \frac{kq_2}{2a} = -30 \text{ В.}$$

(Якщо точка  $A$  знаходиться всередині кулі,  $\varphi_A = 0$  В.) Знайдемо рівняння екіпотенціальної поверхні з  $\varphi = \varphi_A = -30$  В поблизу точки  $A$ .



Для цього введемо систему координат з початком в точці  $A$  і розглянемо потенціал у довільній точці з координатами  $(x, y)$  (див. рис). Для наочності у цій точці зображені також напруженості, які створюють обидва заряди, а значення координат  $x, y$  дещо перебільшені. Насправді  $x \ll b, y \ll b$ .

Відстань  $r_a$  і  $r_b$  від зарядів  $q_2$  і  $Q_2$  до точки  $(x, y)$  визначаються з теореми Піфагора:  $r_a = \sqrt{(a+x)^2 + y^2}$ ,  $r_b = \sqrt{(b+x)^2 + y^2}$ . Потенціал  $\varphi$  в точці

$$(x, y) \text{ дорівнює } \varphi = \frac{kq_2}{r_a} + \frac{kQ_2}{r_b} = \frac{kq_2}{\sqrt{(a+x)^2 + y^2}} + \frac{kQ_2}{\sqrt{(b+x)^2 + y^2}}.$$

Для  $\varphi = const$  останнє рівняння є рівнянням еквіпотенціальної поверхні. У неявній формі воно задає залежність  $y(x)$ . Значимо, що координата  $y$  не є декартовою координатою в традиційному розумінні, оскільки визначає відстань не до площини XAZ, а до прямої AX, яка проходить через заряди і центр кулі. Отже, форма поверхні може бути отримана обертанням навколо цієї прямої кривої  $y(x)$ , що лежить у площині рисунку. Для визначення конкретної форми поверхні поблизу точки A скористаємось тим, що  $x$  і  $y$  малі у порівнянні з  $a$  і  $b$ , а також співвідношенням

$$(1 + \varepsilon)^n \approx 1 + n\varepsilon + \frac{n(n-1)}{2} \varepsilon^2, \text{ яке для } n = -1/2 \text{ набуває вигляду}$$

$$(1 + \varepsilon)^n \approx 1 - \frac{1}{2} \varepsilon + \frac{3}{8} \varepsilon^2. \text{ Вираз для потенціалу, який створює заряд } q_2 \text{ поблизу точки A, з точністю до } \varepsilon^2 \text{ може бути записаний у наступному вигляді:}$$

$\frac{kq_2}{a} (1 - \frac{x}{a} + \frac{x^2}{a^2} - \frac{1}{2} \frac{y^2}{a^2})$ . Вираз для потенціалу, який створює заряд  $Q_2$  поблизу точки A, є аналогічним. Додамо ці два потенціали і з урахуванням того, що  $Q_2 = -q_2/4$ ,  $b = a/2$ , отримаємо потенціал  $\varphi$  у точці  $(x, y)$ :

$\varphi = \frac{kq_2}{a} (1 - \frac{x}{a} + \frac{x^2}{a^2} - \frac{1}{2} \frac{y^2}{a^2}) + \frac{kQ_2}{b} (1 - \frac{x}{b} + \frac{x^2}{b^2} - \frac{1}{2} \frac{y^2}{b^2}) = \frac{kq_2}{2a} (1 + \frac{y^2 - 2x^2}{a^2})$ .

У загальному випадку  $\varphi = const$  маємо рівняння гіперболи за єдиним винятком, коли  $\varphi$  дорівнює потенціалу точки A. У випадку  $\varphi = \varphi_A = \frac{kq_2}{2a}$

маємо рівняння двох прямих  $y = \pm\sqrt{2}x$ , які є асимптотами цих гіпербол. Обертання цих прямих навколо прямої  $y = 0$  дає дві конічні поверхні з кутом  $\alpha = \arctg\sqrt{2} \approx 55^\circ$ . Такою буде форма еквіпотенціальних поверхонь поблизу точки A, які проходять через цю точку.

4. Напруженість електричного поля в точці A дорівнює нулю. Та це не означає, що на заряд  $q_3$ , який поміщають в цю точку, не будуть діяти ніякі сили.  $q_3$  додатково викличе перерозподіл зарядів на поверхні кулі. Внаслідок принципу суперпозиції можна враховувати його взаємодію тільки з фіктивними зарядами  $Q_1^*$  і  $Q_2^*$ , які відповідають його впливу на незаряджену кулю.

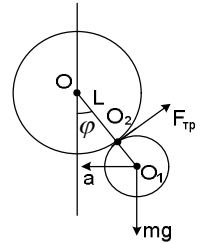
Скористаємось розрахунками пункту 1:  $Q_2^* = -q_3 \frac{R}{S} = -\frac{2q_3}{7}$ ,

$$Q_1^* = q_3 \frac{R}{S} = \frac{2q_3}{7}, \text{ відстань між фіктивними зарядами } L^* = \frac{R^2}{S} = \frac{2R}{7}.$$

Оскільки заряд  $Q_2^*$  знаходиться ближче до  $q_3$ , рівнодіюча сила буде спрямована в напрямку кулі і буде викликати прискорення

$$a = \frac{1}{m} \left( \frac{k|q_3||Q_2^*|}{(S-L)^2} - \frac{k|q_3||Q_1^*|}{S^2} \right) \approx 1,37 \text{ см/с}^2.$$

**Задача 3.** Виведемо систему з положення рівноваги на малий кут  $\varphi \ll 1$  ( $\sin \varphi \approx \varphi$ ). Тоді малий диск повернеться на кут  $\varphi_1$  відносно осі  $O_1$  і відносно миттєвої осі  $O_2$ . Для малого диска відносно осі  $O_2$  запишемо другий закон динаміки обертального руху.



$-mgR \sin \varphi = I_{O_2} \beta_{O_2} = \frac{3mR^2}{2} \cdot \varphi_1'' \Rightarrow \varphi_1'' R = -\frac{2g}{3} \varphi = \varphi'' L = a$  – лінійне прискорення осі  $O_1$ .  $\varphi'' = -\frac{2g}{3L} \varphi$  – це рівняння описує гармонічні коливання з

циклічною частотою  $\omega^2 = 2g/3L \Rightarrow T = \pi \sqrt{\frac{6L}{g}}$ . Враховано: момент інерції

малого диску відносно осі  $O_2$   $I_{O_2} = 3mR^2/2$ ;  $\varphi_1''$ ,  $\varphi''$  – кутове прискорення осі  $O_1$  малого диску відносно осі  $O$  і осі  $O_2$  відповідно.

**Задача 4. Розв'язок журі.** Електрони між зіткненнями рухаються рівноприскорено, а при зіткненнях з атомами повністю втрачають спрямовану швидкість. Тому можна вважати, що в середньому вони рухаються з постійною швидкістю  $v_0$ .

1. Спершу покладемо  $\gamma = 0$ . Тоді нові електрони виникають лише при зіткненнях вільних електронів з атомами. Приріст кількості електронів на проміжку  $dx$  буде  $dn = \alpha n(x) dx$ , звідки  $n(x) = n_0 \exp(\alpha x)$ . Помноживши на середню швидкість і заряд, отримаємо:  $i_c(x) = i_0 \exp(\alpha x)$  (враховано, що  $e n_0 v_0 = i_0$ ). Струм біля аноду буде  $i_c(d) = i_0 \exp(\alpha d)$ . Будемо вважати, що заряди в міжелектродному проміжку ніде не накопичуються. Тоді повний струм  $I$  в кожному перерізі буде однаковим. З іншого боку, біля аноду іонного струму не буде (анод має позитивний потенціал, що відштовхує іони). Тому  $I = i_c(d)$ . Значить,  $i_i(x) = I - i_c(x) = i_0 [\exp(\alpha d) - \exp(\alpha x)]$ .

2. Тепер врахуємо вибивання електронів з катоду іонами. Позначимо повний струм електронів з катоду (тобто сумарний струм фотоелектронів та вторинної електронної емісії) через  $i_e$ . Тоді іонний струм біля катоду можна записати у вигляді:  $i_i(x=0) = i_e [\exp(\alpha d) - 1]$ . Струм вторинних електронів з

катоду можна записати, по-перше, як  $\gamma i_i(x=0)$ , по-друге – як  $i_i - i_0$ , звідки  $i_i - i_0 = \gamma i_i [\exp(\alpha d) - 1]$ . Таким чином,  $i_i = i_0 - \{1 - \gamma [\exp(\alpha d) - 1]\}^{-1}$ .

Замінивши в попередніх виразах  $i_0$  на  $i_i$ , можна записати остаточні формули для розподілів електронного та іонного струмів по довжині міжелектродного проміжку:

$$i_e(x) = i_0 \exp(\alpha x) \{1 - \gamma [\exp(\alpha d) - 1]\}^{-1},$$

$i_i(x) = i_0 [\exp(\alpha d) - \exp(\alpha x)] \{1 - \gamma [\exp(\alpha d) - 1]\}^{-1}$ . Умова запалювання самостійного розряду полягає в тому, що струм у міжелектродному проміжку залишається не нульовим при  $i_0 \rightarrow 0$ . Для цього знаменники виразів для електронного та іонного струмів повинні перетворитись в нуль:

$\gamma [\exp(\alpha d) - 1] = 1$ . Іншими словами, один електрон, що вилетів з катоду, породжує таку кількість іонів, що в результаті вторинної електронної емісії з катоду знову вилітає один електрон. Ця умова й забезпечує підтримання струму в розряді.

**Задача 5.** Див. 10 клас, №4.

Розглянемо цикл, що проходить у зворотньому напрямі.

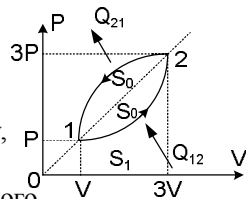
1. Нехай ми маємо тепловий насос. Тоді його ефективність дорівнює:

$$K_1 = \frac{Q_{21}}{A_y} = \frac{\Pi + 14}{2(\Pi - 2)} = 7,5 = 750\%.$$

2. Нехай ми маємо холодильну машину. Тоді її

холодильний коефіцієнт дорівнює:  $K_2 = \frac{Q_{12}}{A_y}$ . Теплоту,

яку забирає холодильна машина  $Q_{12}$ , визначимо з першого закону термодинаміки.  $Q_{12} = A_{12} + \Delta U_{12} = 2P \cdot 2V - S_0 + (i/2)(3P3V - PV) = 16PV - PV(\pi - 2) = (18 - \pi)PV$ . Тоді:  $K_2 = \frac{18 - \pi}{2(\pi - 2)} = 6,5 = 650\%$ .



*Розв'язки підготував  
Володимир Алексейчук*

## Лауреати Нобелівських премій з фізики

- 1901 **Вільгельм-Конрад Рентген** – за відкриття променів, що носять його ім'я.
- 1902 **Гендрік Лоренц** і **Пітер Зеєман** – за дослідження впливу магнетизму на процеси випромінювання.
- 1903 **Анрі Бекерель** – за відкриття природної радіоактивності; **П'єр Кюрі** і **Марія Склодовська-Кюрі** – за дослідження цього явища.
- 1904 **Джон -Уїльям Релей (Стретт)** – за дослідження густини газоподібних елементів і відкриття аргону.
- 1905 **Філіп Ленард** – за дослідження катодних променів.
- 1906 **Джозеф-Джон Томсон** – за дослідження електропровідності газів.
- 1907 **Альберт Майкельсон** – за створення прецизійних оптичних інструментів та проведення з їх допомогою спектроскопічних та метрологічних досліджень.
- 1908 **Габріель Ліннманн** – за створення методу кольорової фотографії, що ґрунтується на явищі інтерференції.
- 1909 **Гільєльмо Марконі** і **Карл Браун** – за роботи зі створення бездротової телеграфії.
- 1910 **Йоханнес Ван-дер-Ваальс** – за виведення рівнянь агрегатних станів газів та рідин.
- 1911 **Вільгельм Він** – за відкриття законів теплового випромінювання.
- 1912 **Густав Дален** – за винайдення автоматичних регуляторів для освітлювальних систем маяків та бакенів.
- 1913 **Гейке Камерлінг-Оннес** – за дослідження властивостей тіл при низьких температурах, які, зокрема, привели до відкриття рідкого гелію.
- 1914 **Макс Лауе** – за відкриття явища дифракції рентгенівських променів у кристалах.
- 1915 **Уїльям Генрі Брегг** та **Лоуренс Брегг** – за визначний внесок у вивчення структури кристалів за допомогою рентгенівських променів.



- 1917 **Чарльз Баркла** – за відкриття характеристичного рентгенівського випромінювання.
- 1918 **Макс Планк** – за відкриття кванта дії.
- 1919 **Йоханнес Штарк** – за відкриття ефекту Доплера на каналових променях і розщеплення спектральних ліній в електричному полі.
- 1920 **Шарль Гільом** – за відкриття аномалій сплавів заліза та нікелю.
- 1921 **Альберт Ейнштейн** – за заслуги в галузі математичної фізики і особливо за відкриття законів фотоефекту.
- 1922 **Нільс Бор** – за вивчення будови атома.
- 1923 **Роберт Міллікен** – за роботи з вимірювання елементарних електричних зарядів та дослідження фотоелектричного ефекту.
- 1924 **Манне Сигбан** – за спектроскопічні дослідження в діапазоні рентгенівських променів.
- 1925 **Джеймс Франк і Густав Герц** – за дослідження зіткнень електронів з атомами.
- 1926 **Жан Перрен** – за дослідження структури речовини і, насамперед, за відкриття седиментарної рівноваги.
- 1927 **Артур Комптон** – за відкриття ефекту, що носить його ім'я, **Чарлз Вільсон** – за створення приладу, що дозволяє спостерігати сліди електрично заряджених частинок при допомозі конденсації пари.
- 1928 **Оуен Річардсон** – за дослідження законів термоемісії.
- 1929 **Луї де Бройль** – за відкриття хвильової природи електронів.
- 1930 **Чандрасекхар Раман** – за дослідження розсіяння світла.
- 1932 **Вернер Гейзенберг** – за створення квантової механіки, застосування якої привело до відкриття алотропних форм водню.
- 1933 **Ервін Шредингер** та **Поль Дірак** – за розробку нових перспективних форм атомної теорії.
- 1935 **Джеймс Чедвік** – за відкриття нейтрона.
- 1936 **Віктор Гесс** – за відкриття космічних променів та,

- Карл Андерсон* – за відкриття позитрона.
- 1937 *Клінтон Девіссон* та *Джордж-Паджет Томсон* – за експериментальне відкриття явища дифракції електронів на кристалах.
- 1938 *Енріко Фермі* – за відкриття нових радіоактивних елементів, які виникають при опромінюванні повільними нейтронами.
- 1939 *Ернест Лоуренс* – за створення та удосконалення циклотрона.
- 1943 *Отто Штерн* – відкриття магнітного моменту протона.
- 1944 *Ісідор Рабі* – за розробку резонансного методу для вимірювання магнітних моментів атомних ядер.
- 1945 *Вольфганг Паулі* – за відкриття принципу заборони (принцип Паулі).
- 1946 *Персі Бріджмен* – за дослідження і відкриття у фізиці високих тисків.
- 1947 *Едвард Еплтон* – за дослідження іоносфери та відкриття ”шару Еплтона”.
- 1948 *Патрік Блекетт* – за удосконалення камери Вільсона та відкриття у фізиці космічних променів.
- 1949 *Хідекі Юкава* – за передбачення існування мезонів.
- 1950 *Сесіль Пауелл* – за удосконалення фотографічних методів, вивчення ядерних процесів і відкриття мезонів.
- 1951 *Джон Кокрофт* та *Ернест Уолтон* – за роботи по перетворенню атомних ядер під впливом штучно прискорених частинок.
- 1952 *Фелікс Блох* та *Едвард Парселл* – за відкриття з ядерного магнітного резонансу.
- 1953 *Фріц Церніке* – за розробку фазоконтрастного методу й винайдення фазоконтрастного мікроскопа.
- 1954 *Макс Борн* – за фундаментальні роботи з квантової механіки, а також *Вальтер Боте* – за розробку методу співпадань для аналізу космічної радіації.

- 1955 *Уїлліс Лемб* – за відкриття, що стосуються тонкої структури спектру водню, *Полікарп Каши* – за точне визначення магнітного моменту електрона.
- 1956 *Вільям Шоклі, Джон Бардін, Уолтер Браттейн* – за дослідження напівпровідників та відкриття транзисторного ефекту.
- 1957 *Чжен Дао Лі та Чжень-нін Янг* – за принципове дослідження законів парності, які привели до важливих відкриттів в галузі елементарних частинок.
- 1958 *Павло Черенков, Ілля Франк, Ігор Тамм* – за відкриття, пояснення та застосування ефекту Черенкова.
- 1959 *Еміліо Сегре, Оуен Чемберлен* – за відкриття антипротона.
- 1960 *Дональд Глезер* – за винайдення бульбашкової камери.
- 1961 *Роберт Хофштадтер* – за новаторські дослідження розсіяння електронів на атомних ядрах та відкриття структури нуклонів; *Рудольф Мессбауер* – за дослідження резонансного поглинання гамма-випромінювання та відкриття ефекту, що носить його ім'я.
- 1962 *Лев Ландау* – за створення теорії конденсованих систем, насамперед рідкого гелію.
- 1963 *Юджен Вігнер* – за вклад в теорію атомного ядра та елементарних частинок, насамперед за відкриття та застосування фундаментальних принципів симетрії, *Ганс Ієнсен і Марія Гепперт-Майєр* – за розробку оболонкової моделі атомного ядра.
- 1964 *Чарлз Таунс, Микола Басов та Олександр Прохоров* – за фундаментальні роботи в галузі квантової електроніки, які привели до створення генераторів і підсилювачів нового типу – лазерів та мазерів.
- 1965 *Синїтиро Томонага, Юліан Швінгер, Річард Фейнман* – за фундаментальний внесок у розвиток квантової електродинаміки.
- 1966 *Альфред Кастлер* – за розробку оптичних методів дослідження коливань атомів в діапазоні радіочастот.

- 1967 **Ганс Бете** – за внесок у створення теорії ядерних реакцій, насамперед за дослідження, що стосуються джерел енергії зір.
- 1968 **Луїс Альварець** – за визначний внесок у фізику елементарних частинок, насамперед за відкриття великої кількості резонансів.
- 1969 **Мюррей Гелл-Манн** – за відкриття, пов'язані з класифікацією елементарних частинок та їх взаємодій.
- 1970 **Ханнес Альфвен** – за фундаментальні відкриття з магнітої гідродинаміки та її результативні застосування в різних галузях фізики плазми, **Луї Неель** – за дослідження та фундаментальні відкриття з антиферомагнетизму та феромагнетизму.
- 1971 **Денніс Габор** – за створення голографії.
- 1972 **Джон Бардін, Леон Купер та Джон Шріффер** – за створення теорії надпровідності.
- 1973 **Лео Асакі** – за створення теорії тунелювання у твердих тілах, **Айвар Джайвер** – за експериментальне дослідження явища тунелювання в напівпровідниках і надпровідниках. **Брайан Джозефсон** – за теоретичне дослідження надпровідності та тунелювання, зокрема, за відкриття ефекту Джозефсона.
- 1974 **Мартін Райл та Ентоні Хьюїш** – за дослідження в галузі астрофізики. **Райл** – за розробку методів радіоастрономічних спостережень, **Хьюїш** – за відкриття пульсарів.
- 1975 **Оге Бор, Бен Моттelson та Джеймс Рейнуотер** – за дослідження зв'язку між колективними та індивідуальними рухами частинок в атомному ядрі і розвиток на цій основі теорії структури атомного ядра.
- 1976 **Бертон Ріхтер і Самюел Тінг** – за відкриття важких елементарних частинок нового типу.
- 1977 **Філіп Андерсон, Невіл Мотт та Джон Ван Флек** – за фундаментальні теоретичні дослідження в галузі електронної структури магнітних та неупорядкованих систем.

- 1978 **Петро Капіца** – за відкриття в галузі фізики низьких температур, **Арно Пензіас** і **Роберт Вільсон** – за відкриття космічного реліктового випромінювання.
- 1979 **Шелдон Глешоу**, **Абдус Салам** і **Стівен Вайнберг** – за створення теорії що об'єднує слабку та електромагнітну взаємодію елементарних частинок та передбачення існування нейтральних слабких струмів.
- 1980 **Джеймс Кронін** та **Вел Фітч** – за відкриття порушення фундаментальних принципів симетрії при розпаді нейтральних К-мезонів.
- 1981 **Ніколас Бломберген** і **Артур Шавлов** – за внесок в розвиток лазерної спектроскопії, **Кай Сигбан** – за внесок у розвиток електронної спектроскопії високої роздільної здатності.
- 1982 **Кеннет Вільсон** – за розробку теорії критичних ефектів при фазових переходах.
- 1983 **Субраманьян Чандрасекар** – за теоретичне дослідження фізичних процесів, що визначають структуру та еволюцію зірок, **Уільям Фаулер** – за теоретичне і експериментальне дослідження ядерних реакцій в надрах зір та створення теорії виникнення хімічних елементів у Всесвіті.
- 1984 **Карло Руббіа** і **Симон ван дер Меєр** – за визначальний вклад в проект, здійснення якого привело до відкриття частинок, що переносять слабкі взаємодії.
- 1985 **Клаус фон Клітцинг** – за відкриття квантового ефекту Холла.
- 1986 **Герд Біннінг** і **Г. Рорер** – за створення скануючого тунелюючого електронного мікроскопа, **Ернст Руска** – за роботу над цим приладом.
- 1987 **Г. Беднорц**, **А. Мюллер** – за важливий прорив у відкритті надпровідності у керамічних матеріалах.
- 1988 **Л. Ледерман**, **М. Шварц** та **Дж. Стейнберг** – за метод нейтринного пучка та за демонстрацію дублетної структури лептонів через відкриття мюонного нейтрино.

- 1989 **Н. Рамсі** – за винайдення методу розділених осциляторних полів та його використання у водневому мазері та інших атомних годинниках. **Г. Демельт** та **В. Пауль** – за розробку методу іонної ловушки.
- 1990 **Дж. Фрідман**, **Г. Кендалл** та **Р. Тейлор** – за дослідження глибоконепружного розсіяння електронів на протонах і зв'язаних нейтронах, суттєво важливого для розробки кваркової моделі у фізиці елементарних частинок.
- 1991 **П'єр Жіль де Женне** – за поширення методів, створених для вивчення явищ упорядкованості в простих системах на рідкі кристали та полімери. Розвинув теорію фазових переходів у рідких кристалах, що застосовується в системах відображення інформації – в годинниках, калькуляторах, рідкокристалічних екранах.
- 1992 **Г. Чарнак** – за відкриття та створення детекторів частинок, зокрема пропорційної камери.
- 1993 **Р. Халс** і **Дж. Тейлор (молодший)** – за відкриття нового типу пульсарів, що дало нові можливості у вивченні гравітації.
- 1994 **Б. Брокхаус** – за створення нейтронної спектроскопії, **К. Шулл** – за створення методу нейтронної дифракції.
- 1995 **М. Перл** – за відкриття тау-лептона, **Ф. Райнес** – за детектування нейтрино.
- 1996 **Д. Лі**, **Д. Ошерофф**, **Р. Річардсон** – за відкриття надтекучості гелію-3.
- 1997 **С. Чу**, **К. Коен-Танноджі** та **В. Філіпс** – за створення методів охолодження та вловлювання атомів лазерним пучком.
- 1998 **Р. Лаглін**, **Х. Штермер** та **Д. Цуй** – за відкриття нової форми квантової рідини з частково зарядженими збудженнями.
- 1999 **Г. Хофт**, **М. Вельтман** – за пояснення квантової структури електрослабкої взаємодії у фізиці.

- 2000 **Жорес Алфьоров, Г.Кремер, Дж. Кілбі** – за дослідження в галузі фізики гетероструктур, електроніки та оптоелектроніки. На основі гетероструктур у 1970 створено сонячні батареї.
- 2001 **Е. Корнелл, В. Кеттерле і К. Віман** – за отримання конденсату Бозе-Ейнштейна в розріджених газах лужних атомів та за фундаментальні дослідження їх властивостей.
- 2002 **Реймон Девіс, Масатосі Косіба** – за дослідження космічного нейтрино, **Ріккардо Джаконі** – за реєстрацію та вивчення рентгенівського випромінювання, що поглинається земною атмосферою.
- 2003 **Олексій Абрикосов, Віталій Гінзбург та Ентоні Леггет** – за фундаментальні роботи в галузі квантової фізики та дослідження надпровідності та надтекучості.
- 2004 **Девід Гросс, Девід Політцер, Франк Вілчек** – за відкриття асимптотичної свободи в теорії сильної взаємодії.

*Підготувала  
Раїса Кузик*

Науково - популярне видання

**“ЛЕВЕНЯ – 2004”  
ВІТАС ПЕРЕМОЖЦІВ**

*Інформаційний вісник*

Уклали: *Алексейчук Володимир Іванович*  
*Кузик Раїса Григорівна*

Технічний редактор *Леся Пелехата*  
Коректор *Євдокія Русин*

Здано на складання 20.06.2005 Підписано до друку 25.07.05  
Формат 60 x 84 1/16. Папір офсет. № 1. Гарнітура Times.  
Друк офсетний. Умов. друк. арк 1,86.  
Обл. вид. арк.2. Наклад 2000 прим. Замов.№

Видавництво “Каменяр”. Підвальна, 3, МСП, Львів, 79000  
Свідоцтво Держ. реєстру: серія ДК, № 462.

Видруковано на ПП “Галас”  
Львів, вул.Левицького, 60/6.