

С В І Т

ФІЗИКА

науково-популярний журнал

№2
2013



*Усе ж таки вона крутиться
Галілео Галілей*





ФІЗИКА – ОСНОВА НАУКОВО-ТЕХНІЧНОГО ПРОГРЕСУ

У Технічному коледжі Національного університету “Львівська політехніка” 13 червня 2013 року відбулася науково-практична конференція “Фізика – основа науково-технічного прогресу”. У конференції брали участь провідні науковці Львівського національного університету імені Івана Франка, Національного університету “Львівська політехніка”, викладачі Львівської комерційної академії, викладачі та студенти Технічного коледжу Національного університету “Львівська політехніка”.

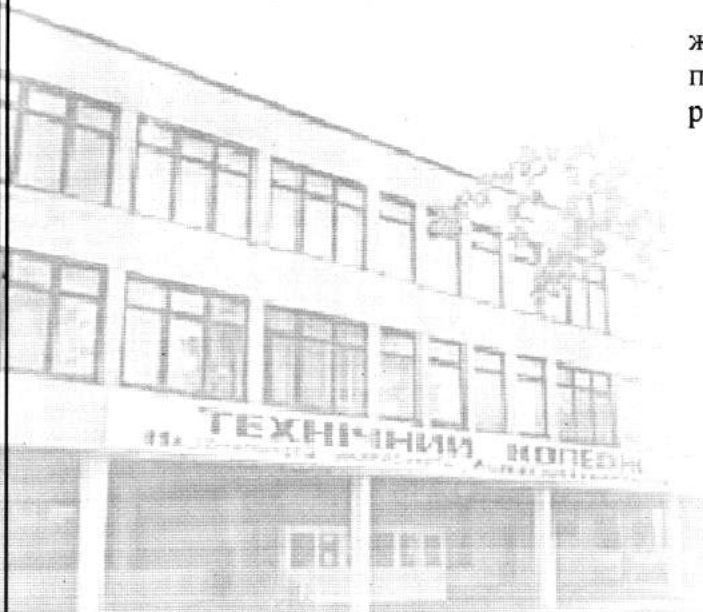
“Введення студентів у світ наукових відкриттів дає змогу показати суперечливий, тернистий шлях народження істини, відчути красу і водночас простоту фізичної теорії та експерименту, підвищити рівень засвоєння теоретичного матеріалу, сформувані світоглядні позиції студентів, підвищити мотивацію до вивчення фізики”, – наголосила у вступному слові голова циклової комісії викладачів фізики Технічного коледжу Галина Кормило.

Із зацікавленням слухали студенти змістовну доповідь “Фізика і кіно” з використання сучасних мультимедійних комплексів доктора фізико-математичних наук, професора Львівського національного університету імені Івана Франка Ярослава Шопи.

Заступник директора коледжу, кандидат педагогічних наук Ганна Шемелюк запропонувала студентам мандрівку у світ сплавів, сполук та штучних кристалів у доповіді “Вплив фізики на створення матеріалів з наперед заданими властивостями”.

З доповідями також виступили: кандидат фізико-математичних наук, доцент Львівської комерційної академії Андрій Коструба, викладачі коледжу Петро Антоневич, Роман Паславський, Галина Кормило, Роман Землинський та інші.

Редактор науково-популярного журналу “Світ фізики” розповіла присутнім про проблеми популяризації фізики в Україні.



Журнал "СВІТ ФІЗИКИ",
заснований 1996 року,
реєстраційне свідоцтво № КВ 3180
від 06.11.1997 р.

Виходить 4 рази на рік

Засновники:

Львівський національний університет
імені Івана Франка,
Львівський фіз.-мат. ліцей,
СП "Євросвіт"

Головний редактор

Іван Вакарчук

заступники гол. редактора:

Олександр Гальчинський

Галина Шопа

Редакційна колегія:

Ігор Анісімов

Михайло Бродин

Петро Голод

Семен Гончаренко

Ярослав Довгий

Іван Климишин

Юрій Ключковський

Богдан Лукіянець

Олег Орлянський

Максим Стріха

Юрій Ранюк

Ярослав Яцків

Художник **Володимир Гавло**

Літературний редактор **Мирослава Прихода**

Комп'ютерне макетування та друк
СП "Євросвіт"

Адреса редакції:

Редакція журналу "Світ фізики"

вул. Саксаганського, 1,
м. Львів 79005, Україна

тел. у Львові 380 (0322) 39 46 73

у Києві 380 (044) 416 60 68

phworld@franko.lviv.ua

www.franko.lviv.ua/publish/phworld

Великий ювілей

19 лютого 2013 року виповнилося 540 років від дня народження видатного вченого, польського астронома, автора геліоцентричної теорії побудови Сонячної системи Миколая Коперника.

Народився Миколай Коперник у м. Торунь (Польща) в родині заможного купця. Він навчався у Ягелонському університеті, де вивчав математику, теологію та медицину. Та найбільше його цікавила астрономія. До слова, на той час у цьому університеті викладав астрономію український учений Юрій Котермак (нам відомий як Юрій Дрогобич). Продовжував навчатися М. Коперник в Італії в Болонському університеті, також у Римі, Падуї.

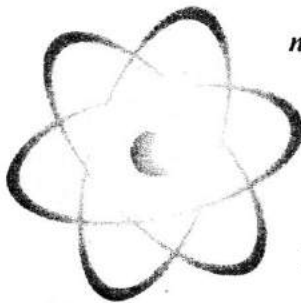
Найголовнішу свою наукову працю "Про обертання небесних сфер" Коперник опублікував у рік своєї смерті (1543), де узагальнив свої багаторічні спостереження та обчислення. У ній учений виклав принципово нову теорію будови Всесвіту. На пам'ятнику Коперника у Варшаві є напис:

*"Він зупинив Сонце, зрушив Землю"
("Solis stator, Terrae motor").*

Дуже довго було не відомо, де похований М. Коперник. Та 2008 року за допомогою аналізу ДНК вдалося з'ясувати, що вчений похований у кафедральному соборі міста Фромборка (Польща).

Докладніше про цього ученого читайте у наступних числах журналу "Світ фізики".

*Не забудьте
передплатити журнал
"Світ фізики"*



**Передплатний індекс
22577**

Передрук матеріалів дозволяється лише з письмової згоди редакції та з обов'язковим посиланням на журнал "Світ фізики"

© СП "Євросвіт"



1. Нові та маловідомі явища фізики

Стріха Максим. Український внесок у квантову фізику

3

Шопа Ярослав. Фізика та кіно

14

2. Олімпіади, турніри...

Умови задач IV етапу Всеукраїнської олімпіади з фізики (Херсон, 2013)

20

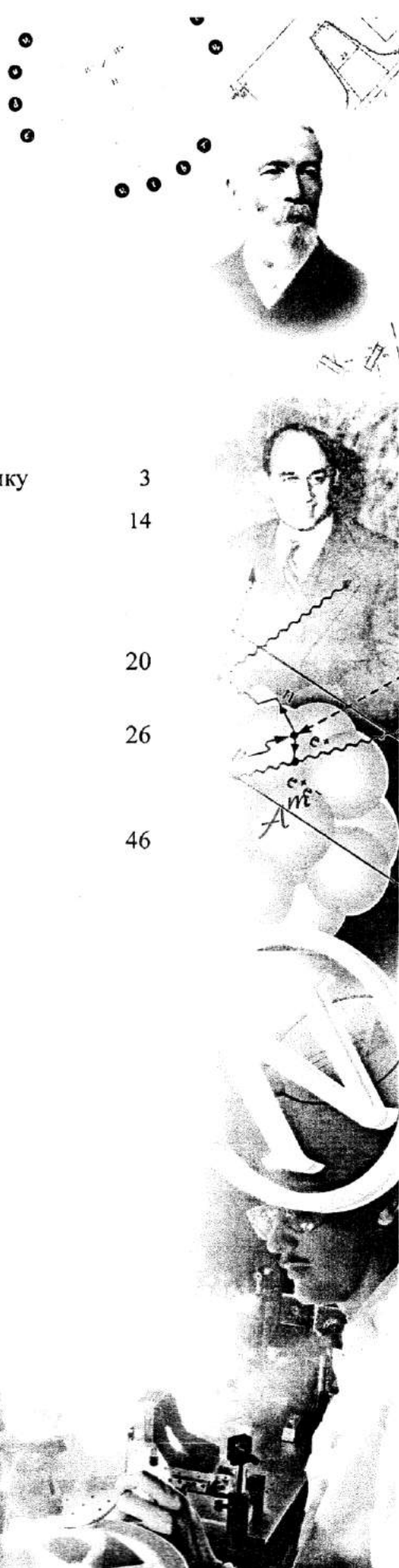
Розв'язки задач IV етапу Всеукраїнської олімпіади з фізики (Херсон, 2013)

26

3. Інформація

Шопа Галина. Годинник – інструмент відліку часу

46





УКРАЇНСЬКИЙ ВНЕСОК У КВАНТОВУ ФІЗИКУ

Максим Стріха,

*президент Українського фізичного товариства,
доктор фізико-математичних наук*

До 1917 року Україна залишалася поділеною між двома імперіями – Російською та Австро-Угорською. На її території діяло п'ять класичних університетів (три – Харківський, Київський та Новоросійський в Одесі – в імперії Романових, два – Львівський та Чернівцький – в імперії Габсбургів).

До навчальних програм цих університетів входили курси фізики, проте відповідні кафедри за невеликими винятками (праці Мар'яна Смолуховського у Львові чи Миколи Пильчикова в Одесі) через проблеми з кваліфікованими кадрами й лабораторним обладнанням рідко виходили на передній край світового наукового пошуку.

Активний розвиток промисловості наприкінці XIX століття спричинив відкриття нових політехнічних та технологічних інститутів, – у Харкові, Києві, Катеринославі (тепер Дніпропетровськ), Львові та інших. Ці інститути також ставали осередками фізичних досліджень, здебільшого – прикладного характеру.

Проте учених-фізиків, які працювали тоді в цих університетах та інститутах, було лічені одиниці. Адже навіть у столиці російської імперії Петербурзі, за підрахунками істориків науки, працювало на початку XX століття не більше двадцяти активних фізиків. Не набагато більше було їх у Москві.

У 1892 року академічного статусу набуло Наукове товариство імені Тараса Шевченка¹ у Львові, до складу якого входила й математично-природописно-лікарська секція. Члена-

ми якої були відомі фізики, і українці (І. Пулюй), і іноземці (М. Планк, А. Айнштайн, А. Йоффе). Проте ця організація діяла без державної підтримки, спираючись лише на ентузіазм українських патріотів. Відтак її робота мала величезне просвітницьке й термінологічне значення (саме в межах “Записок НТШ” почала формуватися сучасна українська наукова термінологія, оскільки аж до 1917 року над використанням української мови в громадському житті в Російській імперії тяжіла царська заборона). Однак власних наукових інституцій у царині фізики, конкурентних з провідними тогочасними світовими науковими центрами, НТШ створити, звісно, не мало змоги.

У 1917 році Україну було проголошено незалежною. Це відкрило нові шанси для розвитку національної науки.



*Будинок Наукового товариства
імені Шевченка (НТШ) у Львові*



Володимир Вернадський
(1863–1945)

Попри нестабільність воєнного часу, 14 листопада 1918 року гетьман України Павло Скоропадський підписав закон про створення Академії наук (до 1936 року – Всеукраїнська Академія Наук (ВУАН); нині – Національна Академія Наук України). 27 листопада відбулися перші збори академіків, на яких прези-

дентом Академії було обрано визначного природознавця, автора учення про ноосферу Володимира Вернадського².

Хоча українські “визвольні змагання” 1917–1921 років зазнали військової поразки у війні з більшовицькою Росією, однак їхнім позитивним наслідком стало те, що переможці упродовж 1920-х років здійснювали політику підтримки національно-культурного і наукового розвитку проголошеної ними формально суверенної Української Соціалістичної Радянської Республіки в складі СРСР.

У 1928 році було засновано Український фізико-технічний інститут у Харкові, що відразу зробило тодішню столицю України одним з центрів світової фізичної науки.

Ось дуже короткий перелік досягнень першого десятиліття роботи УФТІ. Там виконували найпередовіші дослідження з ядерної фізики. В Інституті 1932 року було здійснено

¹Першу новітню українську академію наук, яку було створено у Львові 1873 року під назвою “Товариство імені Шевченка”, 1892 року реорганізовано в НТШ. Упродовж більшої частини історії НТШ його структуру визначали три секції: історично-філософська, філологічна та математично-природописно-лікарська. В останній секції яскраво виділяються імена математиків Володимира Левицького, Михайла Кравчука, природодослідників Івана Верхратського, Івана Раковського та Миколи Мельника, фізика та електротехніка Івана Пулюя, біохеміка Івана Горбачевського, лікаря Євгена Озаркевича.

Фізики становили значну частину дійсних членів математично-природописно-лікарської секції НТШ. Другої світової війни секція налічувала 106 членів, 25 з них мали стосунок до фізики. Серед них: Ю. Гірняк, Р. Цегельський, В. Кучер, І. Феценко-Чопівський, М. Крилов, С. Тимошенко, О. Смакула, В. Міліянчук, А. Ластовецький, З. Храпливий, О. Стасів. До іноземних дійсних членів НТШ належали Альберт Айнштайн, Давид Гільберт, Фелікс Кляйн, Макс Планк.

2013 року Наукове товариство ім. Шевченка відзначатиме 140-річчя від часу заснування.

Серед періодичних видань, які заснувало Товариство, – “Збірник математично-природописно-лікарської секції”, перший україномовний науковий журнал у галузі природничих наук, математики та медицини. У цьому журналі публікувалися дослідницькі та оглядові праці, які формували, обговорювали та впроваджували українську наукову термінологію. Редактором “Збірника” в 1897–1938 рр. був Володимир Левицький.

У 1928 році журнал опублікував статтю М. М. Крилова та М. М. Боголюбова: “Про декілька критеріїв, що стосуються існування похідних функцій дійсної змінної”.

НТШ було ліквідовано радянською владою 1939 року, інституція поновила свою діяльність 1947 року в Західній Європі та США (Shevchenko Scientific Society), а 1989 року відновлене НТШ повернулося в Україну. М. М. Боголюбов 1990 року став членом Наукового товариства ім. Шевченка.

(Із книжки І. Мриглод, В. Ігнатюк, Ю Головач “Микола Боголюбов і Україна”. – Львів: Євро-світ, 2009).



першу в СРСР і другу в світі ядерну реакцію на швидких нейтронах. Було створено першу в СРСР і третю в світі криогенну лабораторію, яку з 1930 року очолював, повернувшись із Лейдена, визначний фізик-експериментатор Лев Шубніков (1901–1937).

Ще під час роботи в Лейдені Л. Шубніков разом із Вандером де Гаазом (1878–1960) відкрив у вісмуті осциляції провідності за низьких температур. Ці осциляції Шубнікова-де Гааза й сьогодні широко використовують для визначення густини заряду в металах і напівпровідниках.

В УФТІ Л. Шубніков виконав низку пріоритетних робіт із надпровідності й антиферромагнетизму, разом з Іваном Обреїмовим (1894–1981) запропонував метод вирощування монокристалів металів. Саме в УФТІ Шубніков відкрив надпровідники II роду, які (на відміну від відкритих Каммерлінг-Оннесом 1911 року надпровідників I роду) в певному інтервалі температур не “виштовхують” назвні магнетне поле.

Першим керівником теоретичного відділу УФТІ був Дмитро Іваненко. Учений народився в селі Мачухи під Полтавою. Навчаючись у Полтавському педінституті, він паралельно працював у місцевій обсерваторії, далі продовжив освіту в Харківському та Ленінградському університетах.

Після короткого періоду роботи в фізикоматематичному інституті АН СРСР він повер-



*Дмитро Іваненко
(1904–1994)*

нувся до України – створювати УФТІ. Саме в цей час у нього народилися ідеї дискретності простору й народження та анігіляції масивних частинок, які лежать в основі сучасної квантової теорії поля та елементарних частинок.

У 1932 році Л. Шубніков опублікував працю, в якій обґрунтував протонно-нейтронну модель ядра (до того вважали, що ядро складається з протонів і електронів, які “врівноважують” приблизно половину протонного заряду). Зауважмо – це сталося того ж року, коли Джеймс Чедвік виявив експериментально нейтрон!

На жаль, Дмитро Іваненко працював в УФТІ недовго. У 1931 році він повернувся до Ленінграда.

Після нього у 1932–1937 роках відділ теоретичної фізики в УФТІ очолював геніальний фізик-теоретик Лев Ландау (1908–1968). Дослідження Ландау охоплюють майже всі галузі сучасної теоретичної фізики – від механіки рідин до квантової теорії поля.

До історії фізики він увійшов як автор понять “рівні Ландау”, “діамагнетизм Ландау”, “рівняння Ландау–Ліфшиця” для магнетного моменту тощо.

²Світова та українська наукова громадськість 2013 року відзначила 150-річчя від дня народження видатного українського вченого, одного із засновників та першого президента Української академії наук Володимира Івановича Вернадського.

Він був академіком Петербурзької АН, професором Московського університету, засновником наукової бібліотеки в Києві, дійсним членом НТШ, членом Паризької та Чеської академії наук.



Лев Ландау під час роботи в УФТІ (1937)

У період роботи в УФТІ Ландау розробив сучасну теорію феромагнетизму, ввів поняття “антиферомагнетиків” і розробив загальну теорію фазових переходів II роду (1936–1937).

Одночасно Ландау очолював кафедру експериментальної фізики в Харківському університеті. Саме тоді в нього з’явилася ідея “теормінімуму” – базового набору теоретичних знань, потрібного для сучасних фізиків. На підставі теормінімуму Ландау спільно з Євгеном Ліфшицом (1915–1985), який також працював у 1930-ті в теоретичному відділі УФТІ, створив унікальний багатотомний “Курс теоретичної фізики”, який досі є настільною книжкою для фізиків усього світу.

Під час написання курсу був своєрідний “розподіл праці”: Ландау генерував і викладав ідеї, а Ліфшиць оформлював їх у вигляді тексту.

Л. Ландау був безумовно унікальною людиною. Він народився в Баку в родині інженера-нафтовика. У чотирнадцять років вступив до Бакинського університету, де навчався одночасно на двох факультетах: фізико-математичному і хемічному. Закінчивши Ленінградський університет (1927), він став аспірантом Ленінградського фізико-технічного інституту.

Дау (так називали Ландау друзі й колеги) був неймовірно обдарований математично.

Сам він жартома говорив про себе: “Інтегрувати навчився у тринадцять років, а диференціювати умів завжди”. Уже у віці 18–19 років він опублікував перші зрілі праці з теоретичної фізики. Коли радянських науковців ще скеровували стажуватися за кордон, 1927 року Ландау (ще навіть не 20-річного!) відрядили до Данії до Нільса Бора, якого відтоді він вважав своїм учителем.

Був Ландау обдарований і філологічно. Як свідчить його особиста анкета з архівів Харківського університету, крім російської, він вільно володів німецькою, англійською і французькою, говорив по-данському, читав голландською, італійською та українською.

Професор Ландау був вимогливий до своїх студентів. Отримати в нього позитивну оцінку без глибоких знань предмета було неможливо. На жаль, у 1937-му, коли цінувалися не реальні знання, а комуністичне начотництво, це стало небезпечним. На професора пишуть політичні доноси. Про атмосферу тих років свідчить доповідь секретаря парткому Харківського університету Кравченка на бюро Харківського міського КП(б)У 15 січня 1937 року: “Ландау і Шубніков пропагують расові фашистські теорії, а саме: вони заявляють, що “фізиками можуть бути люди особливої породи, з дитинства обдаровані фізичним талантом” і, звертаючись до студентів фізико-математичного факультету, заявляють, що “з усіх вас, якщо й закінчать університет 15% (фізичне відділення), то це буде добре, решта мають відсіятись”.

Крім того, професорові Ландау закидали “ідеалізм” і зневажливі відгуки про філософські праці Енгельса (за іронією долі, Ландау був якраз переконаним матеріалістом і войовничим атеїстом). Звинувачення як на той час більш ніж серйозні.

Бажаючи вберегти Ландау від більших неприємностей, ректор Харківського університету Олексій Нефоросний ще наприкінці 1936 року пропонував йому звільнитися за влас-



ним бажанням. Та на захист колеги стали провідні харківські фізики (Лев Шубніков, Ісаак Померанчук, Олександр Ахієзер, Євген Ліфшиць, Абрам Кікоїн, Вадим Горський), які також подали заяви про звільнення з університету за власним бажанням. Усе набуло присмаку політичної акції солідарності – немислимої в тоталітарному СРСР.

Як наслідок, ректор повернув Ландау до університету, до того ж завідувачем кафедри теоретичної фізики (досі теоретик Ландау завідував кафедрою фізики експериментальної). Та Ландау все ж вирішив переїхати до Москви, до Інституту фізичних проблем. Туди його покликав Петро Капиця, який щойно відкрив явище надплинності гелію і потребував його теоретичного пояснення.

Однак за рік у Москві Ландау заарештували – і лише після року допитів відпустили на межі фізичного виснаження після звернення особисто до Сталіна Петра Капиці, який виявив у цій справі неабияку мужність. Важлива підтримка надійшла і від директора Фізичного інституту АН СРСР Сергія Вавілова.³

У 1941 році Л. Ландау створив теорію надплинності. За неї він аж за 21 рік був нагороджений Нобелівською премією з фізики. На жаль, це сталося вже тоді, коли після важкої автомобільної катастрофи (початок 1962 року) учений вже не міг активно займатися наукою.

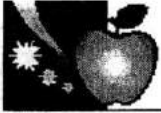
³Сергій Вавілов (1891–1951) – визначний фізик, з 1945 року – президент АН СРСР, за спостереженням нобелівського лавреата Віталія Гінзбурга (1916–2009), виконував у сталінському СРСР ту ж роль, що й Макс Планк у гітлерівському Рейху – намагався, використовуючи своє офіційне становище, врятувати всіх, кого можна було врятувати. Це тоді, коли його старший брат, видатний генетик Микола Вавілов був засуджений 1941 року до розстрілу й загинув за два роки в Саратовській тюрмі).

Доля його харківських колег склалася значно трагічніше. І Лева Шубнікова, і ректора Олексія Нефоросного, і блискучого 32-річного фізика Вадима Горського розстріляли 1937 року. Шубнікова – як “шпигуна, диверсанта і шкідника”, Горського – як “троцькіста”, Нефоросного – як “українського націоналіста”.

Відтак до кінця 1950-х років, коли почалася кампанія “реабілітації” репресованих, ім’я розстріляного Шубнікова згадці не підлягало, – навіть тоді, коли він відкрив ефект. Аж до кінця 1980-х років усі довідкові видання СРСР друкували фальшиву дату смерті ученого – 1945 рік, і ні словом не згадували про трагічні обставини цієї смерті.

Не обминули репресії й Дмитра Іваненка. У 1935 році його засудили на три роки заслання. Але заступництво провідних радянських фізиків тієї доби, Сергія Вавілова, Якова Френкеля та Абрама Йоффе, призвело до того, що заслання Іваненкові дозволили відбувати в Томську, працюючи в Сибірському фізико-технічному інституті. У 1940 році учений встиг ще раз повернутися в Україну, де очолював до початку війни кафедру теоретичної фізики Київського університету. Повоєнна робота Дмитра Іваненка пов’язана вже з Московським університетом, де він викладав до майже 90-річного віку.

Звичайно, Лева Шубнікова і Лева Ландау називати “українськими фізиками” можна лише з значними застереженнями. Самі себе вони ідентифікували напевно як радянських фізиків, яким припало певний час працювати в Україні. Та вони зробили великий внесок у розвиток фізичної науки в Україні. До того ж, сьогодні ніхто не дивується, коли “польським астрономом” називають Миколая Коперника – уродження вільної ганзейської Торуні, урядовця напівавтономної Вармії, який у побуті послуговувався переважно німецькою і наукові праці писав виключно латиною!



Україна багато важила і в особистому житті двох учених – саме тут Ландау зустрів дружину, студентку хемічного факультету Конкордію Дробанцеву, яка згодом допомогла буквально повернути геніального вченого до життя після страшної автокатастрофи і вже після смерті чоловіка написала дуже відверті та емоційні спогади про великого фізика і його добу “Академік Ландау. Як ми жили” (1983). І саме тут, у Холодногірській тюрмі Харкова, обірвалося від НКВДистської кулі життя Шубнікова...

А ось один з найвидатніших фізиків-теоретиків і математиків ХХ століття Микола Боголюбов (1909–1992) безумовно ідентифікував себе саме як українського вченого – попри те, що народився він у Нижньому Новгороді над Волгою. Коли майбутньому академікові виповнився рік, його батько – священик і викладач богослов'я та філософії – отримав призначення до Ніжинського історико-філософського інституту князя Безбородька, а ще за певний час – став професором богослов'я в Київському університеті Святого Володимира. Мати майбутнього вченого була вчителькою музики – що також сприяло формуванню гармонійної, духовно багатой особистості.

Після перемоги більшовиків університет перетворили на КІНО – Київський інститут народної освіти, а богослов'я з числа навчальних програм викреслили. То ж батько вченого мусив перебратися до села Велика Круча над мальовничою річкою Удай приблизно на півдороги від Києва до Полтави, де став парафіяльним священиком.

Семирічну школу в Великій Кручі Микола Боголюбов з вдячністю згадував до кінця життя. Звідси він виніс, крім усього, добре знання української мови й любов до “Кобзаря”, рядки з якого любив цитувати з будь-якої нагоди. До речі, посвідчення про закінчення школи-семирічки було єдиним документом про освіту, який Боголюбов отримав за все життя!

Річ у тому, що в Києві, куди 14-річний Микола Боголюбов вирушив після закінчення семирічки, всі тогочасні вищі не відповідали рівневі запитів і знань талановитого юнака, який жадібно займався самоосвітою. Батько вченого (який завжди дуже уважно ставився до сивої освіти) порадився з цього приводу зі своїм колишнім університетським колегою, визначним математиком, академіком ВУАН Дмитром Граве (1863–1939). Поговоривши з юнаком, академік зрозумів: університетські лекції йому вже нічого не дадуть. Відтак Микола Боголюбов отримує дозвіл відвідувати математичний семінар у Граве, а ще за кілька місяців його запросили (без формальної університетської освіти!) аспірантом на кафедру іншого визначного математика, академіка Миколи Крилова (1879–1955).

У 15 років Микола Боголюбов надрукував свою першу самостійну наукову працю. А в квітні 1930 року фізико-математичний відділ ВУАН за поданням академіків Крилова і Граве присвоїв 20-річному (!) Миколі Боголюбову ступінь доктора фізико-математичних наук.

Основні праці Боголюбова з математики й механіки присвячено варіаційному численню, наближеним методам математичного аналізу й диференціальних рівнянь, теорії динамічних систем. Особливо значний його внесок у розвиток статистичної механіки, де вчений створив метод отримання кінетичних рівнянь, виходячи з механіки системи молекул.

Повоєнні роботи Миколи Боголюбова присвячені квантовій фізиці. У 1946 році він створив квантову теорію надплинності, а ще за десять років – квантову теорію надпровідності. У 1950-ті роки він працював над квантовою теорією поля.

У 1949 році вчений видав у Києві свою піонерську фундаментальну працю “Лекції з квантової статистики. Питання статистичної механіки квантових систем”. Цю написану



українською мовою книжку читали в оригіналі всі теоретики колишнього Радянського Союзу і країн “народної демократії”.

З 1950 року Микола Боголюбов працював у Москві. З 1965 року він очолив Об’єднаний інститут ядерних досліджень у Дубні, що мав міжнародний статус. Незалежна Україна сьогодні є членом цієї відомої міжнародної наукової організації.

Не полишав Микола Боголюбов і зв’язків з Україною. У 1966 році за його ініціативи в Києві створили Інститут теоретичної фізики АН – і він перші сім років працював його директором, водночас працюючи в Дубні. За ініціативи Боголюбова в Києві 1970 року відбулася Рочестерська конференція – найбільший міжнародний форум з фізики високих енергій. У ній брали участь провідні тодішні фізики – Янг, Дірак, Марков, Салам, Маршак, Редже, Понтекорво...

Безумовно, допомогла підтримка тодішнього керівника України Петра Шелеста, син якого Віталій обрав собі шлях фізика-теоретика. Невдовзі після усунення Петра Шелеста від влади зі звинуваченням у “націоналістичних помилках” (1972) залишив посаду директора в Інституті теоретичної фізики Микола Боголюбов. Мусив “емігрувати” до Москви і його учень, член-кореспондент АН УРСР Віталій Шелест.

Ім’я М. Боголюбова, вшанованого за життя всіма можливими відзнаками колишнього СРСР, сьогодні носить заснований ним Інститут теоретичної фізики НАН України.

У 2009 році Україна на державному рівні відзначила 100-річчя вченого, про якого його брат Олексій згадував: “Починаючи від великокочування епопеї, він поріднився з Україною, а поезія Шевченка була, по суті, першою поезією, якою він захопився. Молодий аспірант кафедри математичної фізики писав протоколи семінарів кафедри по-українському і перші його роботи також були написані по-українському. Від батька він успадкував дух

протиріччя. Той, коли був священиком, носив коротку зачіску і маленьку борідку. А коли священиків стали переслідувати і носити довгу бороду стало непристойним – він відростив бороду. Микола Миколайович у тяжкі для України часи, коли почали знищувати українську інтелігенцію, коли в Харкові проходив ганебний процес СБУ, а українські книжки горіли, – визнав себе українцем і вважав себе ним усе життя. Та, по суті, і все становлення його наукової творчості проходило в Україні, і далі теж було пов’язане з Україною. Не даремно він називав Київ своїм улюбленим містом, прирівнюючи до нього лише Париж”.

У 1928 році в Києві було засновано Інститут фізики ВУАН. Основними напрямками його досліджень стали електронні властивості твердих тіл та оптика. Школи академіків Олександра Давидова (1912–1993) та Антоніни Прихотько (1906–1991) теоретично та експериментально довели існування нового типу квазічастинок – екситонів малого радіусу, що відіграють ключову роль у процесах переносу енергії й заряду не лише в конденсованих середовищах, а й у біомолекулярних структурах. Ще один тип квазічастинок – поляронів (електронів, які самоузгоджено взаємодіють із середовищем і знижують тим свою енергію) запровадив у науковий обіг 1946 року визначний теоретик, киянин за місцем народження і за місцем праці впродовж усього життя, академік Соломон Пекар (1917–1985). Про захист його кандидатської дисертації 1941 року (за неї 24-річному пошукачеві було відразу присуджено ступінь доктора фізико-математичних наук) Ландау у властивій йому експресивній манері сказав: “У Києві відбулося самозародження теоретичної фізики!”

У цьому ж Інституті фізики активно розвивалися дослідження з нової актуальної галузі – фізики напівпровідників.

Річ у тім, що основою радіотехніки 1930-х були лампові діоди й тріоди. Двоелектронну лампу – діод – використовували для випрям-



Вадим Лашкар'юв
(1903–1974)

лення струму: під час прикладання негативної напруги на катод і позитивної на анод струм проходив, за протилежної полярності – ні. Проте лампи були громіздкі і ненадійні, і стояло завдання замінити їх компактними твердотільними замінниками, які б були позбавлені недоліків перших примітивних кристалічних детекторів (для них навіть точку притискання металевого дротика до кристала, у якій ефект випрямлення виявлявся б найкраще, треба було шукати вручну). Це завдання виконав основоположник фізики напівпровідників в Україні академік Вадим Лашкар'юв.

Майбутній учений народився в Києві. Його батько був товаришем прокурора, мати – закінчила Інститут шляхетних дівчат. Цю обставину після встановлення радянської влади довелося приховувати – що не врятувало родину від адміністративного 5-річного заслання до Казахстану. Вадим Лашкар'юв 1924 року закінчив Київський інститут народної освіти – і перші самостійні кроки в науці зробив на кафедрі фізики Київського політехнічного інституту.

У 1929–1930 роках учений очолив відділ рентгенофізики новоствореного Інституту фізики ВУАН. Помітивши яскраві праці молодого киянина, Абрам Йоффе запросив його на роботу до ленінградського Фізико-технічного інституту. Тут 1935 року Вадим Лашкар'юв без публічного захисту докторської отримав ступінь доктора фізико-математичних наук. Того ж року, одночасно з Дмитром Іваненком, молодого доктора наук вислали з Ленінграда. Завдяки заступництву Абрама Йоффе Лашкар'юву пощастило – він відбував заслання у провінційному Архангельську на кафедрі фізики місцевого медінституту. Там він став викладачем у майбутнього славетного хірурга, письменника й громадського діяча Миколи Амосова.

Вадим Лашкар'юв 1939 року повернувся до Києва на посаду завідувача відділу напівпровідників Інституту фізики й водночас – завідувача кафедри фізики в Київському університеті імені Тараса Шевченка. Він 1941 року зробив головне відкриття свого життя. Досліджуючи за допомогою термозонду запірні шари примітивних міднозакисних випрямлячів, учений відкрив *p-n*-перехід. Тоді ж він з'ясував роль *p-n*-переходу у виникненні вентильного фотоефекта – появи напруги під час освітлення контакту ділянок напівпровідника з двома типами провідності.

Ця праця Лашкар'юва, надрукована в журналі "Известия АН СССР", за своїм науковим значенням не поступалася працям Шоклі, Бардіна й Браттейна, які були нагороджені Нобелівською премією. Адже функціонування *p-n*-переходу лежить в основі роботи сучасних напівпровідникових приладів – від простих випрямлячів до найскладніших інтегральних схем. А фотоефект у напівпровідниках забезпечує роботу відомих усім сьогодні сонячних батарей.



Проте тоді на цю роботу не звернули тієї уваги, на яку вона заслуговувала. Можливо, через те, що точилася Друга світова війна, можливо, тому, що вона суттєво випереджала розвиток технології германію і кремнію, яким у наступному десятилітті судилося стати основними напівпровідниковими матеріалами.

Після війни Вадим Лашкар'юв реалізує велику програму дослідження напівпровідників. Робив він це паралельно в Інституті фізики і в Київському університеті імені Тараса Шевченка. Там він створив і в 1950–1958 роках очолив потужну кафедру фізики напівпровідників, яку згодом упродовж понад 20 років очолював його учень професор Віталій Стріха (1931–1999), творець загальної теорії контакту метал-напівпровідник, засновник і перший президент АН вищої школи України. На базі відділу напівпровідників Інституту фізики 1960 року було організовано новий Інститут фізики напівпровідників, який учений очолював упродовж наступного десятиліття і який сьогодні носить ім'я Вадима Лашкар'юва. Роботи академіка Лашкар'юва знайшли широке практичне застосування в електроніці, автоматичній, телемеханіці, обчислювальній техніці.

Розвивалися дослідження в галузі квантової фізики й у Львові. Лідером львівської наукової школи в останнє передвоєнне і перші повоєнні десятиліття був професор Василь Міліянчук (1905–1958)⁴. Учений народився в Добровідці на Прикарпатті. Після закінчення Львівського університету і Львівської політехніки 1936 року стажувався у Фізичному інституті Лейпцигського університету, де на той час працювали Гайзенберг, Гунд, Дебай. Перші роботи Міліянчука були присвячені релятивістській квантовій механіці Дірака, поперечному та поперечному ефекту Зеємана квадрупо-

льних ліній й комптонівському розсіянню. За ці роботи учений отримав ступінь доктора філософії (1935). В. Міліянчук 1932 року став членом.

Входження Західної України до складу УРСР 1939 року потягнуло за собою ліквідацію всіх колишніх українських громадських організацій, зокрема й НТШ (офіційно розпущене в СРСР, Товариство продовжило діяльність за кордоном).

Водночас колишній польський університет Яна Казимира у Львові було "українізовано". Від 1940 року В. Міліянчук – професор кафедри теоретичної фізики Львівського університету імені Івана Франка, а від 1945 року й до останніх днів життя очолював цю кафедру.

У повоєнні роки спектр наукових зацікавлень ученого надзвичайно широкий. Це – вплив неоднорідності електричного поля в газорозрядній плазмі на атомні спектри, задачі мезодинаміки з похідними вищих порядків, теорія мезон-нуклонних взаємодій, квантова електродинаміка й теорія поля. На жаль, рання смерть не дала В. Міліянчукові до кінця реалізувати свій потенціал дослідника.

Проте й упродовж 1940–1960-х років століцею української квантової фізики залишався Харків. Тут 1960 року було засновано на основі частини колишнього УФТІ новий Фізико-технічний інститут низьких температур, який сьогодні носить ім'я його засновника академіка Бориса Веркіна (1919–1990).

Борис Веркін народився в Харкові в родині вчителів. Перші 8 класів він закінчив у школі з німецькою мовою викладання (були до погрому 1933 року в Україні й такі, зорієнтовані на обслуговування потреб німецької меншини). Дарма, що Веркін не був німцем – мову цю він вивчив бездоганно. Після школи він вступив на фізичний факультет університету – і паралельно вчився два роки у консерваторії за класом фортепіано. Певний час він навіть вагався щодо вибору дальшого фаху. Та навіть обравши фізику, залишився до кінця життя від-

⁴Докладніше про вченого можна прочитати у книжці "Василь Міліянчук. До 100-річчя від дня народження" / упорядник Олександр Попель. – Львів: ЄвроСвіт, 2005.



даним шанувальником музики. Аж до інсульту середини 1980-х він бездоганно грав складні фортепіанні твори, а для співпрацівників інституту влаштовував високого рівня філармонійні вечори, на які запрошував найкращих виконавців. Символічно, що сьогодні Харківську консерваторію очолює донька вченого – професор Тетяна Веркіна.

Борис Веркін був людиною надзвичайно широких гуманітарних зацікавлень. Ще в дитинстві він відвідував вистави театру “Березіль” Леся Курбаса, про які зберіг спогад на все життя. А вже після тяжкої хвороби він розробляв паралізовані пальці тим, що передруковував на друкарській машинці взяті зі спецховів бібліотеки імені В. Короленка твори недрукованих тоді російських поетів “срібного віку” – Гумільова, Гіппіус, Мережковського, опрацьовував саморобні книжечки в палітурки і дарував їх друзям.

Борис Веркін 1940 року вступив до аспірантури в криогенну лабораторію УФТІ. Але за рік його мобілізують на радянсько-німецький фронт. Під Сталінградом лейтенант піхоти Веркін зазнав тяжкої контузії й дивом лишився живий. Тому решту війни він прослужив у тилу й був демобілізований, коли потреби розгортання радянського атомного проекту (його куратором був особисто всесильний нарком Лаврентій Берія) вимагали дедалі більшої кількості фізиків.

В УФТІ Веркін поновив перервані війною дослідження і опублікував праці з низькотемпературних осциляцій магнетної сприйнятливості металів, які стали класичними. У перші повоєнні роки панувала думка, що правильно вживати термін “фізика за низьких температур”. Веркін натомість наполягав, що якісні зміни конденсованих середовищ з переходом від температур, де діє класична фізика, до температур, де все визначає квантова механіка, де реалізуються явища надпровідності й надплинності, дають підстави говорити про нову фізику низьких температур.

Б. Веркін не встиг зустрітися в УФТІ з Л. Шубніковим, який загинув 1937 року. Але вважав його своїм учителем і еталоном справжнього вченого. Наприкінці 1950-х років він зробив усе можливе для помертної реабілітації Шубнікова й повернення його імені в науковий світ у СРСР (на Заході це ім’я ніколи не зникало).

За ініціативи Бориса Веркіна 1960 року було створено Фізико-технічний інститут низьких температур. Ініціативу організації ФТІНТ підтримали Петро Капиця, відомий своїми криогенними працями ще передвоєнного часу (саме за них він 1978 року отримав Нобелівську премію) і Сергій Корольов. Веркін взяв із собою у ФТІНТ команду блискучих молодих учених. Водночас він домагається спорудження для ФТІНТ масштабного комплексу на тодішній околиці Харкова.

У ФТІНТ апробували в умовах, наближених до реальних, чимало речей, які згодом пройшли через космос: піропатрони, системи астронавігації, навіть страхувальний фал, на якому 1965 року вперше вийшов у відкритий космічний простір космонавт Леонов. Водночас тут було здійснено широкий спектр фундаментальних і прикладних досліджень.

Інститут робив усе: від найтоншої кріохірургії до заморожування м’ясних туш для тривалого зберігання. Від потужних надпровідних генераторів електростанцій до надчутливих магнетометрів, які відчують мозкові процеси людини. Від систем дихання на зріджених газах для підводників до методів консервації крові для кісткового мозку.

Водночас тут було отримано фундаментальні результати в експериментальній і теоретичній фізиці та математиці. Зокрема, саме тут майбутні академіки Ігор Дмитренко (нар. 1928) та Ігор Янсон (1938–2011) разом з В. Свистуновим 1964 року вперше в світі експериментально реалізували нестационарний ефект Джо-зефсона, що полягав у генерації НВЧ випромінювання на контакті двох надпровідників. Цей ефект теоретично передбачив ще два роки



до того молодий англійський фізик Браян Джоозефсон (нар. 1940), якого за таке передбачення 1973 року нагородили Нобелівською премією.

Ще одним цікавим штрихом особистості Веркіна – організатора науки було те, що всі без винятку статті свого велетенського (4000 співпрацівників) інституту він “пропускав” крізь себе. І кращі з них друкував у заснованому ним журналі “Фізика низьких температур” – цей журнал і досі перебуває на чолі рейтингу українських наукових видань, знаних у світі.

Водночас удома на затишній харківській вулиці Чернишевського Борис Веркін не тримав жодної книжки з фізики. Тут панували література, поезія, мистецтво (учений був відомим збирачем картин), і музика. У музиці він ділив, за аналогією з зірками, композиторів на класи: від найяскравішого (перший) до ледь видимого оку (шостий). До надяскравих (клас “нуль”) він відносив Баха і Бетговена. Якщо застосувати таку ж градацію до вчених, академік Борис Веркін опинився б на найвищих її щаблях.

Перелічені вище портрети не вичерпують і близько всієї картини українського внеску в квантову фізику. Не відтворюють вони цілком і тих воістину драматичних умов, у яких ученим доводилося працювати. Адже за умов тоталітарного режиму наукова ситуація середини ХХ століття й філософські дискусії довкола основ квантової механіки залишали (за бажання) багато простору для ідеологічних і політичних звинувачень.

Наприкінці 1940-х років у СРСР розгорнулася так звана “дискусія в біології”. Її наслідком стало торжество напівграмотного, але озброєного комуністичною тріскотливою термінологією агронома Трохима Лисенка і справжні гоніння на видатних учених-генетиків. Майже водночас статус “буржуазної лже-науки” отримала й кібернетика.

В останні роки життя Сталіна аналогічну дискусію планували розгорнути і в фізиці.

Формальним її початком стало цькування 1950 року професора горьковського університету Г. Горелика за начебто “ідеалістичні помилки” в його книжці “Коливання і хвилі”. Причому в статтях, які викривали “ідеологічні злочини” Горелика, лунали нотки, на диво подібні до тих, які звучали за півтора десятиліття перед тим у гітлерівському Рейху у виступах ревнителів “арійської фізики” Ленарда!

Фізики були по-справжньому налякані.

Як згадував згодом автор поняття “полярон” академік Соломон Пекар, він тоді на всі наявні в нього гроші... передплатив наперед фахову літературу.

Розрахунок був простий: за обстоювання квантової фізики напевно не заарештують, але вислати з Києва до якогось провінційного педінституту можуть. А там не буде можливості спілкуватися з колегами відповідного рівня. То ж єдиний спосіб не дискваліфікуватися як учений – це принаймні надовго забезпечити себе фаховими журналами.

На щастя, провідні фізики переконали куратора радянського атомного проекту Лаврентія Берію, а той переконав Сталіна, що з заборонною квантової механіки радянська воднева бомба ніколи не вибухне. І плановану “дискусію у фізиці” потихеньку згорнули.

Але навіть за таких складних, часом драматичних умов українські вчені зробили свій гідний внесок у квантову фізику ХХ століття.

У 2008 році до 90-річчя НАН України було видано спеціальний випуск “Українського фізичного журналу”, куди ввійшли добрані експертами найкращі праці 35 визначних українських фізиків від кінця 1920-х років і майже до нашого часу. Кожна з цих праць посіла помітне місце в історії науки, ознаменувавши початок нового важливого напрямку досліджень, або ж сповістивши про одне з тих наукових відкриттів, на яких стоїть споруда сучасної фізики. Основу цього випуску складають праці тих науковців, чиї портрети було коротко окреслено.



ФІЗИКА ТА КІНО

Ярослав Шопа,

професор Львівського національного університету імені Івана Франка

Кіноіндустрія ігнорує фізику

Гучні вибухи у космосі, вибухи автомобілів від попадання однієї кулі, загоряння бензину від однієї цигарки, необмежений боезапас до автоматичної зброї, спалахи вогню у місцях попадання куль, падіння антигероїв від попадання куль, безпечні стрибки крізь скляні вікна, яскраві лінії лазерних променів, неправдиві за гучністю звуки тощо. Ось далеко не повний перелік стандартних спецефектів, які давно стали нормою в багатьох кінофільмах. Та прискіпливий аналіз переконує, що вони не мають нічого спільного з дійсністю.

Фізики давно звернули увагу на несумісність низки епізодів у кінофільмах із елементарними законами. Достатньо знань у межах шкільної програми, щоб спростувати багато епізодів. Деякі з них виділяються особливо незграбними чи смішними сценами.

На інтернет-сторінці Intuitor.com можна ознайомитися із деякими цими питаннями. Там подано аналіз окремих фізичних явищ у кіно, подано відповідні формули та доведення. Цікаво, що тут подано рейтинг відповідності законам фізики для приблизно півсотні кінофільмів. Використавши запропоновану на Intuitor.com шкалу із шести градаций, можна легко перевести її на звичнішу для нас шкільну 12-бальну систему оцінювання. Список двадцяти добре відомих голлівудських фільмів з відповідними оцінками бачимо у таблиці нижче. Найгіршими з погляду фізики є кінострічки "Матриця", "Людина-павук", "Зоряні війни", "Ядро". Існують, що правда, і відносно досконалі фільми, однак їх небагато.

Спробуймо проаналізувати декілька достатньо показових фактів, застосовуючи фізичні закони та вибираючи початкові умови для задач за матеріалами сценаріїв до відповідних кінострічок.

Аватар (Avatar) 2009	4
Квант милосердя (Quantum of Solace) 2008	8
Індіана Джонс (Indiana Jones and the Kingdom of the Crystal Skull) 2008	8
Казино Рояль (Casino Royal) 2006	8
Зоряні війни: Епізод III (Star Wars: Episode III - Revenge of the Sith) 2005	2
Післязавтра (The Day After Tomorrow) 2004	4
Ядро (The Core) 2003	2
К-19 (K-19 The Widowmaker) 2002	6
Дорога до прокляття Road to Perdition (2002)	10
Людина-павук (Spider-Man) 2002	1
Перл-Харбор (Pearl Harbor) 2001	6
Зоряні війни: Епізод I (Star Wars: Episode I—The Phantom Menace) 1999	2
Армагедон (Armageddon) 1998	2
Титанік (Titanic) 1997	8
День незалежності (Independence Day) 1996	4
Швидкість (Speed) 1994	6
Термінатор (The Terminator) 1984	8
Матриця. Революція (The Matrix Revolutions) 2003	1
Матриця. Перезавантаження (The Matrix Reloaded) 2003	4
Матриця (The Matrix) 1999	4



“Міні-гани” та необмежена амуніція

Голлівудський стиль стрільби, тобто з рук, упродовж тривалого часу викликає низку запитань щодо маси зброї із боекомплектom до неї, а також віддачі. Потужна зброя в руках виглядає ефектно і має захоплювати глядачів своєю силою. Стрільба сама по собі – добрий спецефект, а грізний вигляд стволів, що обертаються під час ведення вогню, зробив ці кулемети добре упізнаваним видом зброї в голлівудських бойовиках і комп’ютерних іграх.

Американські військові давно мріяли про такі потужні ручні кулемети зі стволами, що обертаються. Багатоствольний кулемет M134 Minigun використовували ще у В’єтнамі, але не як ручну зброю. Випробування показали, що в руках вони неефективні через значну вібрацію під час стрільби та низьку точність вогню.

Сама ідея використання стволів, що обертаються, не нова. Запатентував її Р. Гатлінг ще 1862 року, створивши один із перших зразків кулемета. Однак головна проблема, яка виникає під час стрільби з рук, зовсім не низька точність, а значна сила віддачі.

Запишімо співвідношення для обчислення сили віддачі F , що діє на зброю. Імпульс сили дорівнює зміні кількості руху за час Δt , тобто

$$F\Delta t = \Delta(mv).$$

Сумарний імпульс усіх куль, що вилетіли зі ствола за цей час пропорційний до кількості пострілів за 1 с (скорострільності) r , тому

$$F\Delta t = mv \cdot r \cdot \Delta t,$$

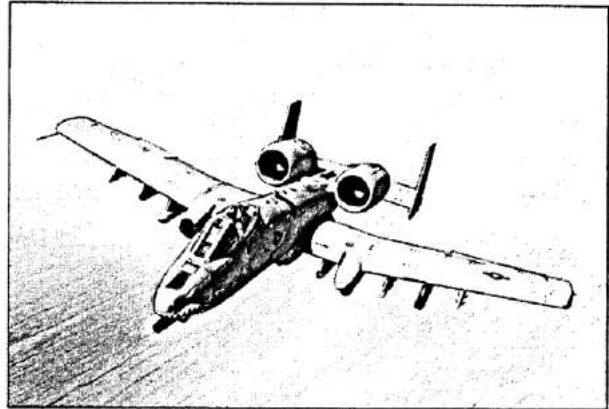
де m – маса кулі; v – її початкова швидкість.

Отже, силу віддачі зброї легко обчислити:

$$F = mvr.$$

Величина F – дуже важлива характеристика. Візьмімо для прикладу одну з найпотужніших авіаційних гармат GAU-8, яка встановлена на американському штурмовику А-10 (мал. 1). Снаряди до неї масою 0,425 кг вилітають зі швидкістю 1067 м/с за максимальної скорострільності 70 пострілів за секунду. Це означає, що сила віддачі гармати GAU-8 дорівнює приблизно $F \approx 32$ кН. Зауважмо, що сумарна максимальна сила тяги двох турбо-

реактивних двигунів А-10 дорівнює 80 кН. Оскільки більшу частину польоту двигуни не працюють на повну потужність, то зрозуміло, що стрільба суттєво впливає на динамічні властивості цього літака. Гарматна черга на А-10 зазвичай не перевищує 2 с.



Мал. 1. Штурмовик А-10 з гарматою GAU-8 калібру 30 мм, яка дає віддачу 30 кН, тобто більше третини максимальної тяги обох двигунів

Для АК-47 (всесвітньо відомого автомата) $m = 0,008$ кг; $v = 700$ м/с; $r = 10$ постр./с, сила віддачі $F \approx 56$ Н, що досить відчутно.

Та повернімося до голлівудських прикладів. Згадайте добре відомі епізоди в фільмах “Термінатор 2: Судний день”, чи “Хижак”. Там застосовували М134 у ручному варіанті, виглядало справді ефектно (мал. 2).



Мал. 2. Кадр із кінофільму “Хижак”. Сержант Макк веде вогонь із мінігана М134 і мав би відчувати майже 50 кг віддачі



Розрахована віддача для цього кулемета ($m = 0,01$ кг; $v = 860$ м/с; $r = 50$ постр./с) досягає 430 Н за максимального темпу стрільби. Та далі ще цікавіше. Електромотор на M134 має потужність 1,5 кВт, до того ж акумуляторну батарею для нього потрібно носити на собі. У фільмі така батарея просто лежала на землі, а електричні дроти приховали від очей глядача.

Щодо боекомплекту, то коробка з типовою ємністю 1500 патронів має масу 58 кг, а це лише на 0,5 хв вогню. Додаймо 30 кг для самого кулемета і ще акумулятор потягне принаймні на 15 кг, то стає очевидно, що така зброя зовсім не ручна. Просто у Голлівуді нас обманюють, не демонструючи її з усіма елементами.

Стрибок автобуса

Кінофільм “Швидкість” уже майже 20 років у кінопрокаті. Саме завдяки ролі у ньому Сандра Баллок (випадковий водій автобуса) стала відомою кіноактрисою. Кіану Рівз (працівник спецпідрозділу) мав змогу зупинити автобус ще до того моменту, коли він перевищив швидкість 50 миль/год. Для цього достатньо було прострелити одну-дві шини. Зате надалі він став винахідливішим.

Можна зауважити, що покази спідометра (у милях/год) часто не відповідали справжній швидкості автобуса. Пронизуючись крізь міські вулиці, розбиваючи автомобілі та інші масивні предмети, автобус жодного разу не втратив швидкості.

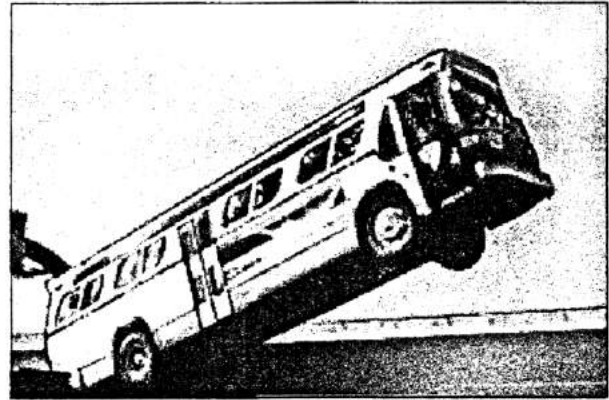
Найцікавіший момент для фізики – долання обриву на шосе. На момент стрибка автобуса Сандра Баллок, розіграла його майже до 70 миль/год, тобто 31 м/с. Але ніякого трампліна перед 50-ти футовою (16 м) прірвою не було. Тому за час $t = 16/31 \approx 0,5$ с автобус опуститься вниз на глибину 1,25 м нижче рівня протилежного боку моста.

Навіть непомітних 2 градуси нахилу траси не рятують ситуації. За час

$$t = 2 \cdot \frac{v \cdot \sin 2^\circ}{g} = 2 \cdot \frac{31 \cdot \sin 2^\circ}{9,8} = 0,22 \text{ с}$$

автобус пролетить у горизонтальному напрямку лише 6,8 м, чого явно недостатньо для долання перешкоди.

На екранах видно (мал. 3), як виразно стрибає автобус, не маючи достатньої вертикальної складової швидкості. Це неможливо.



Мал. 3. Голлівудський автобус може стрибати, якщо немає моста

В одному із епізодів серіалу “Руйнівники міфів” команда марно намагалася повторити стрибок автобуса.

Невинне падіння тарілок ворожих прибульців?

Фільм “День незалежності” насамперед має розсмішити фахівців з програмного забезпечення через те, що комп’ютери прибульців сумісні з Apple MAC і вразливі до вірусів. Навіть сьогодні ми можемо уникати проблем з комп’ютерними вірусами, просто вибравши іншу операційну систему, наприклад, Linux. А якими будуть наші комп’ютери за років 50, нині ніхто не знає. Достатньо ще кількох простих міркувань, щоб спростувати низку фактів, які показані у “Дні незалежності”.

Гравітаційне поле космічного корабля прибульців масою у чверть Місяця на геостаціонарній орбіті (вдесятеро ближче) має бути величезним (приблизно у 25 разів більшим, ніж у Місяця) і викликати на Землі значні припливи, навіть землетруси. Про це у фільмі навіть не згадується.

Тарілки над містами мали змогу левітувати, на них не діяла сила притягання Землі. Але після знищення 15-мильної тарілки масою 100 млрд. тонн та її падіння з висоти 1000 м вивільниться енергія

$$mgh = 10^{14} \text{ кг} \cdot 10 \frac{\text{М}}{\text{с}^2} \cdot 1000 \text{ м} = 10^{18} \text{ Дж}$$



Відомо, що одна тонна тринітротолуолу (ТНТ) еквівалентна енергії $4,184 \cdot 10^9$ Дж. Отже, енергія атомного вибуху 20-ти кілотонної бомби, яку американці скинули на Хіросиму 1945 року, приблизно дорівнювала $E \approx 10^{14}$ Дж. А просте падіння знищеної тарілки прибульців еквівалентне вибуху 10000 бомб, скинутих на Хіросиму. У фільмі від цього зайнялися лише кущі неподалік від загалом недуже ушкодженої тарілки.

Бомби “Перл Харбора”

Фільм “Перл Харбор” також цікавий з погляду фізики. Тут можна побачити ідеальні траєкторії від куль на воді, непробивний автомобіль героїв і похливі всі решта авто, невразливі до дружнього вогню кораблі, універсальні пілоти, що брали участь у головних подіях (обороні Перл Харбора та рейді на Токіо) початку війни на Тихому океані. І звичайно ж, усе це на тлі класичного “трикутника кохання” – стандартний режисерський прийом, щоб фільм став привабливим і для тих, хто не любить дивитися про війну.



Мал. 4. Лінкор “Арізона” у бомбовому прицілі японського літака B5N “Кейт”

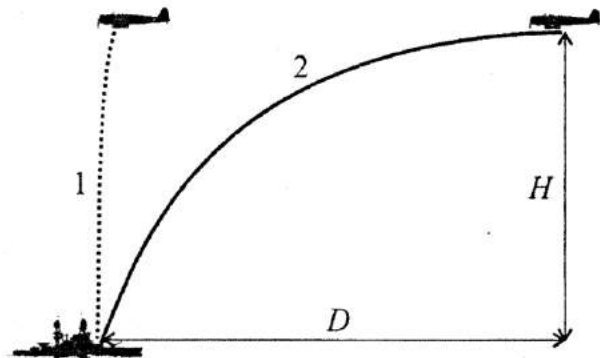
Бомбування американського флоту японськими літаками загалом відповідає подіям, що відбувалися там 7 грудня 1941 року.

Розгляньмо один із центральних моментів атаки – знищення лінкора “Арізона”. Перехрестя бомбового прицілу точно показує місце потрапляння бомби у цей бойовий корабель (мал. 4). Пілот бачить “Арізону” з такого ракурсу, що можливий лише тоді, коли бомбардувальник перебуває точно над кораблем у момент скидання бомби.

Далі у фільмі слідує кадр камери, яка ніби летить позаду бомби аж до моменту її зіткнення з ціллю. Отже, за сценарієм виходить, що бомба

падає майже вертикально від моменту відокремлення від бомбувальника до попадання в лінкор (траєкторія 1 на мал. 5). Але чи це узгоджується з розрахунками, які добре знали пілоти часів Другої світової війни?

Відомо, що 7 грудня 1941 року 50 японських висотних бомбувальників B5N підходили до цілі на висоті 3000 м. Така значна висота потрібна була передусім для того, щоб бронебійна бомба масою 800 кг набула достатньої кінетичної енергії, що забезпечувала пробиття броньованої палуби американських лінійних кораблів. Бойова швидкість цього типу японських літаків не перевищувала 255 км/год (приблизно 70 м/с).



Мал. 5. Дві траєкторії бомби: 1 – за сценарієм фільму “Перл Харбор”; 2 – реальна, розрахована за умов нехтування опору повітря

За таких початкових умов можемо розрахувати реальну траєкторію. З висоти 3 км бомба впаде за час 24,7 с без врахування опору повітря. Балістичні таблиці для прицілів (з книжки Ефрос И. Е. Основы устройства прицелов для бомбометания. – М.: Военное издательство, 1947) дають величину 25,3 с, тобто не дуже більшу. За час 25 с бомба, маючи початкову швидкість, яка дорівнює швидкості літака, пролетить у горизонтальному напрямку

$$D = 70 \text{ м/с} \cdot 25 \text{ с} = 1750 \text{ м}.$$

Слід також врахувати відставання завдяки опору повітря, але й воно незначне для цього типу бронебійних бомб, які мали спеціальну обтічну форму. Отже, у момент скидання бомби літак B5N мав перебувати щонайменше за 1700 м від “Арізони”, це майже у десять разів більше, ніж довжина корабля. Тобто, кадр із фільму на мал. 4



не відповідає взаємному положенню корабля і літака, а реальною є траєкторія 2 на мал. 5.

Вертикальна швидкість бомби у момент падіння на палубу "Арізони" буде

$$v = \sqrt{2 \cdot 9,8 \cdot 3000} \text{ м/с} \approx 240 \text{ м/с}.$$

Вона пробила броньовану палубу, проникла у сховище боєприпасів, які за кілька секунд детонували. Загибель "Арізони" очевидець зафіксував на кінокамеру, ці кадри стали історичною цінністю.

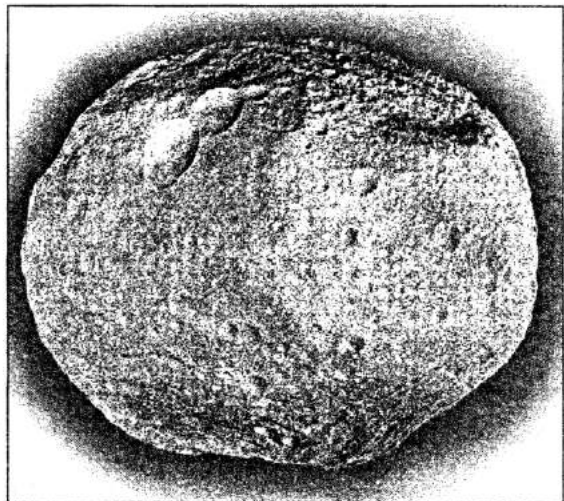
Сумнозвісний для нас "Армагедон" – яскравий приклад ігнорування фізики

В Україні цей фільм запам'ятався трагедією в кінотеатрі м. Червоноград, яка сталася 30 листопада 1998 року. Кілька учнів заплатили життям за надмірну цікавість до "Армагедону". Та сама картина насправді посередня, її критикували майже усі – фахівці кіноіндустрії, астронавти, фізики, та й просто глядачі. NASA навіть використовує його для тренування своїх менеджерів, пропонуючи шукати у фільмі технічні помилки, яких експерти налічили понад 150. Деякі сцени викликали обурення у Росії, оскільки зневажливо зображали російського космонавта та умови його перебування на космічній станції "Мир".

Отож, велетенський астероїд розміром з Техас (діаметр 700 миль, або більше 1100 км) наближається до Землі. Вже сама форма астероїда, що показана у фільмі, не узгоджується із спостереженнями (мал. 6). Важко пояснити, як він утворився. Справжні астероїди, як наприклад, 900-кілометрова Церера – майже правильні сфери.

Незрозуміло також, чому його побачили лише за 18 днів до ймовірного зіткнення із Землею? Цереру виявили ще 200 років тому. А сучасні засоби дають змогу детектувати завчасно (за десятки років) такі загрози і прогнозувати можливі зіткнення у майбутньому. Тільки дуже малі небесні тіла розмірами в десятки метрів, але також небезпечні, важко побачити здалеку.

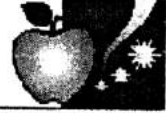
Основне ж питання, яке виникає у фізиків під час перегляду "Армагедону" – чи може термоядерний вибух розірвати навпіл астероїд і врятувати Землю? За сценарієм астронавти заглибили бомбу лише на 800 футів (майже 240 м), що мізер-



Мал. 6. Видуманий астероїд (угорі) та реальна Веста діаметром 530 км (внизу)

но мало порівняно із радіусом астероїда у 550 км. Фактично поверхневий вибух не може бути ефективним.

Та нехай справді вибух розірвав астероїд. Його початкову масу m оцінимо, вибравши густину $3 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ (приблизно таку ж, як у Юнони – другого за величиною відомого астероїда), тоді $m \approx 2 \cdot 10^{21} \text{ кг}$. Далі для переміщення двох однакових частин у протилежних напрямках, що перпендикулярні до початкової траєкторії астероїда, на віддаль одного радіуса Землі $R = 6,4 \cdot 10^6 \text{ м}$ за час 3 год 56 хв (за сценарієм) потрібна початкова швидкість обох частин приблизно



$$v = \frac{6,4 \cdot 10^6}{3,9 \cdot 3600} \approx 460 \text{ м/с.}$$

Це без врахування того, що між ними завжди діятиме сила взаємного притягання та притягання Землі, які неминуче зменшать їхню швидкість.

Можна розрахувати й сумарну кінетичну енергію, якої мають набути уламки під час вибуху:

$$\frac{mv^2}{2} = \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot 10^{21} \cdot 460^2 \text{ Дж} \approx 2 \cdot 10^{26} \text{ Дж.}$$

Порівняймо цю енергію з ядерним вибухом. Найпотужніша воднева бомба, яка є в арсеналі США, має тротиловий еквівалент лише 10 Мт. У Радянському Союзі термоядерний заряд потужністю майже 50 Мт (Цар-бомба) випробували 1961 року. Цікаво, що параметри тієї бомби (маса – 27 тонн, довжина – 8 м, діаметр – 2 м) були такими, що не давали змоги повністю помістити її у бобвовому відсіку найбільшого на той час Ту-95. Можливо, що за 40 років аналогічний за потужністю заряд вдалося б зробити дещо компактнішим. Але навіть 100 Мт буде недостатньо, оскільки енергія вибуху такого заряду становитиме лише

$$100 \cdot 10^6 \cdot 4,2 \cdot 10^9 \text{ Дж} = 4,2 \cdot 10^{17} \text{ Дж.}$$

Отже, нескладні навіть для шкільного уроку з фізики обчислення показують, що потрібно підірвати не одну бомбу, як це є у кінофільмі, а майже 500 000 000 таких бомб!

Ще один епізод, який вартий уваги фізиків, стосується штучної гравітації на станції “Мир”, від якої шатли одержали пальне. Не торкатимемося очевидних ляпів, пов’язаних із несумісністю за паливом двигунів шатлів і російської (раніше радянської, бо вона функціонувала у 1986–2001 рр.) станції. Створення штучного пришвидшення вільного падіння з величиною $g = 9,8 \text{ м/с}^2$ за сучасними технологіями можливе завдяки обертання з кутовою швидкістю $\omega = \sqrt{g/R}$.

Центральний блок станції “Мир” мав радіус $R = 2,1 \text{ м}$, тому $\omega \approx 2,2 \text{ с}^{-1}$, або один повний оберт приблизно за 2,9 с. Ніби не так швидко, але маса станції з усіма блоками це майже 125

тонн і щоб розкрутити її, потрібно досить багато енергії, якої в космосі завжди бракує.

Нарешті з’ясуємо, чи пролетівши мимо Землі на віддалі майже 1000 км, уламки астероїда не накоплять лиха своєю гравітацією.

Відомо, що сила взаємного притягання Землі і Місяця дорівнює приблизно $F_{ЗМ} \approx 2 \cdot 10^{20} \text{ Н}$. Та обидві частини астероїда пролітають щонайбільше за 1000 км від поверхні Землі, або 7500 км від її центра. Хоча їхні маси менші у 74 рази порівняно з масою Місяця, зате й віддаль у 50 разів менша. Це означає, що сила гравітаційної взаємодії Землі і кожної з частин астероїда

$$F_{ЗА} = F_{ЗМ} \cdot 50^2 / 74 \approx 34 F_{ЗМ},$$

у 34 рази більша, ніж сила взаємного притягання Землі і Місяця. Зрозуміло, що ця сила дуже відрізнятиметься у різних точках астероїда і може розірвати його ще на менші уламки. Однак вона також призведе й до масштабних деформацій водної та твердої поверхні Землі з усіма наслідками, які можуть оцінити геофізики.

Підсумовуючи цей далеко не повний огляд прикладів ігнорування законів фізики у деяких фільмах, варто зауважити, що вони дають змогу цікаво провести шкільні уроки, удосконалити свої здібності критично аналізувати переглянуті кінострічки. Фізики неодмінно мають це робити!



Мал. 7. Нещасний койот завжди зазнавав невдачі у спробах зловити птаха через незнання фізики, та у багатьох фільмах його невдалі експерименти стали нормою

УМОВИ ЗАДАЧ ІV ЕТАПУ ВСЕУКРАЇНСЬКОЇ ОЛІМПІАДИ З ФІЗИКИ (Херсон, 2013)

8 клас

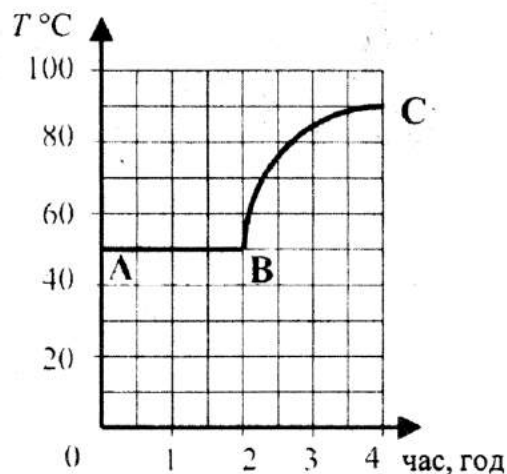
Задача 1.

Полімер помістили в калориметр із нагрівачем. Перші дві години температура полімера була 50°C . При цьому потужність нагрівача становила $P_0 = 0,6$ Вт. Наступні дві години температура полімера змінювалася так, як зображено на малюнку (криву BC можна брати за чверть кола).

Яку кількість теплоти було передано доколишньому середовищу за перші дві години?

Яку кількість теплоти було передано доколишньому середовищу за наступні дві години?

Потужність втрат тепла з калориметра прямо пропорційна різниці температур всередині й зовні калориметра. Теплоємністю калориметра знехтуйте. Температура в лабораторії становить 20°C . Агрегатний стан полімера не змінюється.

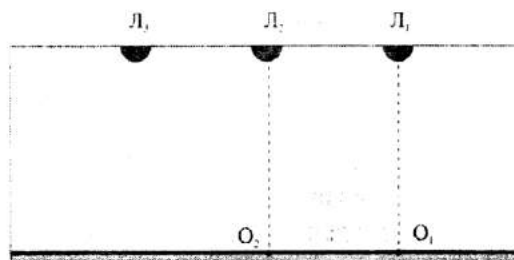


Задача 2.

У кімнаті по черзі вмикають три однакові лампи L_1 , L_2 і L_3 (див. мал.). Освітленість у точці O_1 , що розташована прямо під першою лампою, зростає в 1,8 рази з увімкненням другої лампи, і ще в 1,26 рази з увімкненням третьої.

Як зростає освітленість з увімкненням другої і третьої ламп у точці O_2 , що розташована під другою лампою?

Відстані між лампами однакові, стіни кімнати світла не відбивають.



Задача 3.

Дві вертикальні стіни сходяться під кутом 60° і утворюють ущелину. Турист встановив намет на однаковій відстані 200 м від обох стін. Тихою морозяною ніччю він вийшов із намету і заблукав, тоді зупинився і крикнув. Перше відлуння турист почув за $3/4$ с, друге – за $5/4$ с.

За який час він почує інші відлуння і скільки їх буде?

Що слід робити туристові, щоб повернутися до намету і скільки кроків відділяє його від нього?

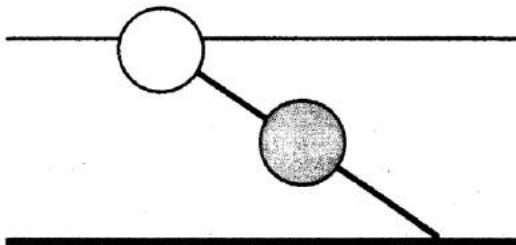
Вважайте, що швидкість звуку у повітрі становить $v = 20\sqrt{T}$, де T – температура в Кельвінах; v – швидкість в м/с. Температура повітря становить -17°C , довжина кроку туриста – 50 см.

Задача 4.

Дві кулі однакового розміру прикріплені до тонкого стрижня, до того ж масивна куля – до середини стрижня, а легка – до його кінця. Під час занурення у воду в неглибокому місці вільний кінець стрижня спирається на дно, і з води виступає лише частина легкої кулі (див. рис.). Відношення об'єму частини, що виступає, до об'єму всієї кулі дорівнює n .

За яких значень n система плаватиме на глибокій воді?

Маси легкої кулі і стрижня вважайте мізерно малими.



Задача 5.

На зеленому лузі пасуться два козлики (див. рис.). Сірий козлик увесь час рухається на захід і до вечора проходить 800 метрів. Білий козлик увесь час рухається на північ і до вечора проходить 600 метрів. При цьому відстань між ними ввечері була такою ж, як і вранці – 1300 метрів.

Яка мінімальна відстань була між козликами, якщо вони рухалися з постійною швидкістю?

На яку мінімальну відстань могли б зближитися козлики, якби їм було дозволено довільно змінювати величину своєї швидкості (не змінюючи, однак, напрямки руху й величини кінцевих переміщень)?



Білий

Сірий

Задачі запропонували
Є. П. Соколов (1, 2, 5),
О. Ю. Орлянський (3),
С. У. Гончаренко (4).

9 клас

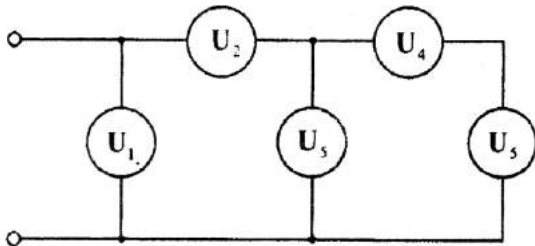
Задача 1.

Легкий одномоторний літак масою $m = 1000$ кг може летіти за мінімальної сили тяги двигуна $F = 2000$ Н. Під час польоту на висоті 1 км, на відстані 4 км до посадкової смуги аеродрому у літака раптово відмовляє двигун. Чи зможе він у такому випадку спланувати (долетіти як планер) до аеродрому?

Задача 2.

З п'яти однакових вольтметрів зібране електричне коло (див. мал). Покази вольтметрів будуть: $U_1 = 5 \text{ В}$, $U_2 = 4 \text{ В}$, $U_3 = 2 \text{ В}$, $U_4 = 1 \text{ В}$, $U_5 = 1 \text{ В}$. Відомо, що в одного з вольтметрів зігнута стрілка, і його покази неправильні.

Який з вольтметрів несправний? Яке значення напруги він мав би показувати?

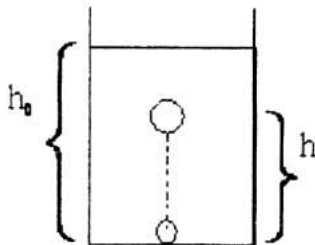

Задача 3.

На дні широкої посудини, заповненої важкою в'язкою рідиною, є повітряна бульбашка, що відривається від дна і починає повільно спливати (див. мал.).

Яка кількість тепла виділиться в рідині до того моменту, коли бульбашка підніметься на висоту $h = 3h_0/4$, якщо при цьому її об'єм збільшився удвічі?

Рух бульбашки настільки повільний, що кінетичною енергією рідини можна знехтувати.

Глибина рідини $h_0 = 1,5 \text{ м}$, її густина $\rho = 13600 \text{ кг/м}^3$, початковий об'єм бульбашки $V_0 = 1 \text{ см}^3$.


Задача 4.

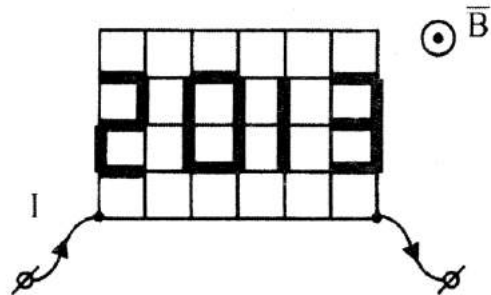
У прямокутній сітці 4×6 вісімнадцять ребер виготовлені з товстішого дроту (див. рис.). Сітку вміщують у магнетне поле з індукцією $B = 0,01 \text{ Тл}$, перпендикулярне до площини рисунка, і підводять електричний струм силою $I = 0,61 \text{ А}$.

Чому дорівнює сила Ампера, що діє на сітку, якщо сторона кожного квадрата сітки дорівнює $a = 5,5 \text{ см}$?

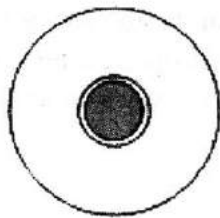
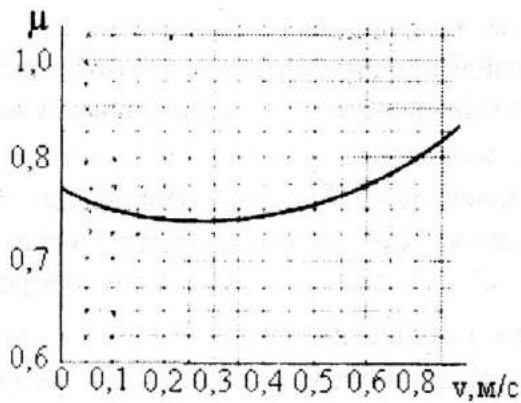
Силу Ампера можна розрахувати за формулою:

$$F_A = I \cdot B \cdot l,$$

де l – довжина провідника.


Задача 5

Два тягарці масами $M = 5 \text{ кг}$ і $m = 3 \text{ кг}$ з'єднали легкою довгою ниткою, яку перекинули через блок (нитка по блоку не проковзує) масою $m_0 = 2 \text{ кг}$. Тягарцям надали деяку швидкість. За деякий час швидкість стала постійною. Знайдіть цю швидкість. Блоком є диск радіусом R з отвором радіусом $r = R/3$, надітий на горизонтальну вісь трохи меншого, ніж r , радіуса (див. рис.).



Залежність коефіцієнта тертя ковзання μ від швидкості відносного руху поверхонь для матеріалів блоку та осі, що зображена на графіку $\mu(v)$ (див. рис.).

Задачі запропонували:

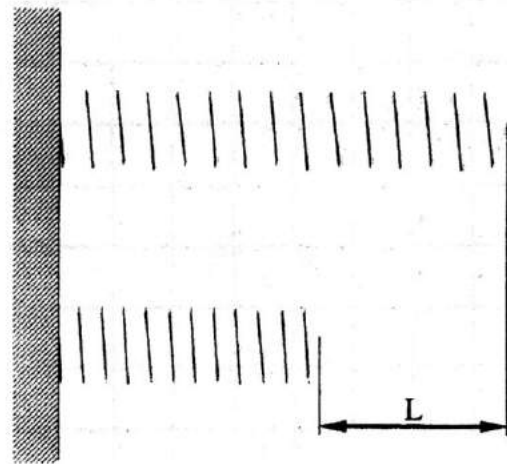
- В. П. Сохацький (1),
С. У. Гончаренко (2),
Є. П. Соколов (3–4),
О. Ю. Орлянський (5)*

10 клас

Задача 1.

Кінці двох невагомих пружин жорсткостями k_1 і k_2 прикріплені до стіни, так як показано на рисунку. Спочатку пружини недеформовані, і перша на L довша від другої.

Яку мінімальну роботу A треба виконати, щоб вільні кінці пружин встановити на однаковій відстані від стіни?



Задача 2.

Циліндричну посудину, яка наповнена водою, рівномірно обертають довкола її вертикальної осі симетрії з кутовою швидкістю ω . Паралельний пучок світла, що падає вертикально, відбивається від поверхні води.

Визначте відстань від нижньої точки поверхні води до точки, в якій інтенсивність відбитого світла буде найбільшою.

Задача 3.

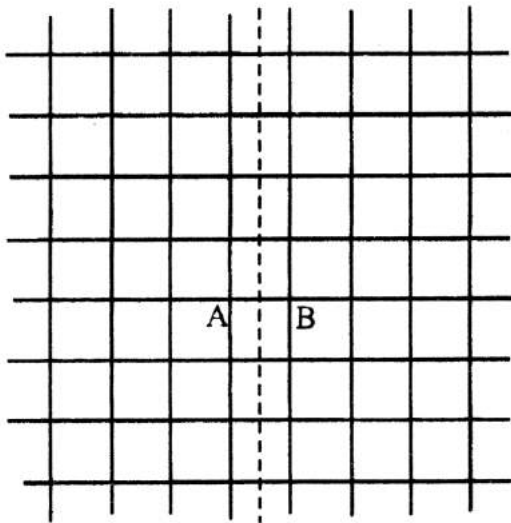
З тонкого дроту площею перерізу S спаяли сітку з величезною кількістю квадратних комірок. На значному віддаленні від країв сітки до точок A і B , у сусідніх вузлах, приклали напругу U (див. рис.).

Визначте сумарний струм у всіх провідниках, які на рисунку перетинає пунктирна лінія.

Знайдіть ділянки дроту, через які струм не йтиме.

Доведіть, що у центрі будь-якого квадрата сітки загальне магнетне поле, створене чотирма струмами сторін квадрата, дорівнює нулеві.

Сторона квадрата дорівнює a , питомий опір матеріалу дроту ρ .

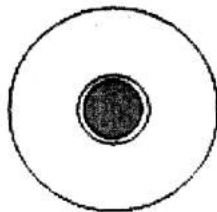


Задача 4.

Два тягарці масами m і M ($m < M$) з'єднали ниткою. Нитку перекинули через невагомий блок, і тягарці обережно відпустили.

Знайдіть залежність пришвидшення α тягарців від відношення їхніх мас $x = m/M$, та побудуйте графік $\alpha(x)$.

Блоком – є диск радіусом R з отвором радіусом $r = R/3$, надягнутий на горизонтальну вісь трохи меншого, ніж отвір, радіуса (див. рис.). Коефіцієнт тертя між внутрішньою поверхнею блока та віссю $\mu = 0,75$. Перекинута через зовнішній обід блока нитка не проковзує.



Задача 5.

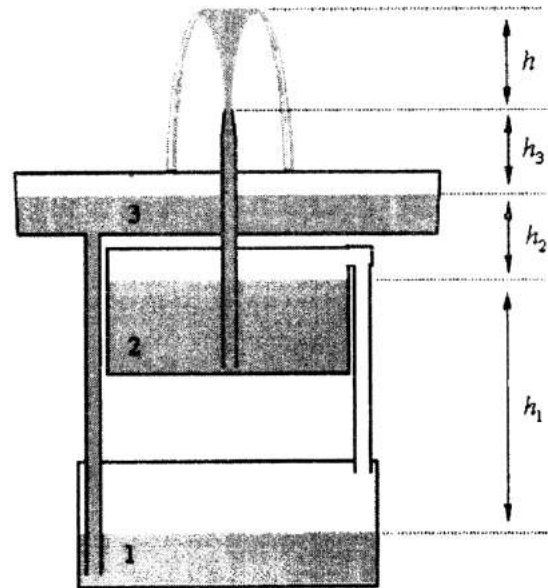
2000 років тому Герон Олександрійський запропонував конструкцію фонтану (див. рис.), що складається з трьох сполучених посудин, у дві з яких (1 і 2) нема доступу повітря.

Поясніть принцип дії фонтану.

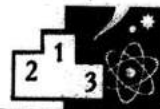
Знайдіть висоту фонтану h , а також швидкості зміни рівня води в усіх посудинах у момент часу, коли $h_1 = 3$ м, $h_2 = 1$ м, $h_3 = 0,5$ м, а загальний об'єм повітря у першій і другій посудинах 4 м³. Площі перерізу посудин $S_1 = 3$ м², $S_2 = 2$ м², $S_3 = 4$ м², площа перерізу вузького отвору, з якого вилітає вода, $S = 1$ см².

Енергетичними втратами під час руху води всередині фонтану, а також товщиною трубок порівняно з розмірами посудин знехтуйте.

Вважайте, що атмосферний тиск 10^5 Па і температура повітря залишаються сталими, а пришвидшення вільного падіння дорівнює $9,8$ м/с².



Задачі запропонували
С. У. Гончаренко (1),
В. П. Сохацький (2),
О. Ю. Орлянський (3–5)



II клас

Задача 1.

Експериментально визначити відношення теплоємностей газу за сталого тиску і сталого об'ємі $g = C_p/C_v$ можна таким методом. Певну кількість молів газу n , початкові значення об'єму і тиску якого дорівнюють V та p , нагрівають двічі за допомогою спіралі, по якій пропускають той самий струм упродовж однакового часу: спершу за сталого об'єму, до того ж кінцевий тиск становить p_1 , далі за сталого тиску, до того ж кінцевий об'єм становить V_2 .

Як за цими даними знайти g , вважаючи газ ідеальним?

Задача 2.

Визначіть, як рухатиметься розріджена повністю йонізована плазма, вміщена в електричне та магнетне поля, спрямовані взаємно перпендикулярно. Чи можна вважати, що плазма рухатиметься як єдине ціле?

Швидкості усіх частинок плазми вважайте набагато меншими від швидкості світла. Зіткненнями між частинками плазми знехтуйте.

Задача 3.

Штучний супутник Землі рухається коловою орбітою, яка проходить над полюсами. Виникла потреба перевести його на іншу колову орбіту такого самого радіуса, яка теж проходить над полюсами. Площини орбіт мають утворювати двогранний кут α .

Як можна змінити орбіту, вмикаючи двигун на короткий час, щоб витратити якнайменше пального?

Розгляньте випадки:

$$\alpha_1 = 15^\circ, \alpha_2 = 45^\circ, \alpha_3 = 90^\circ.$$

Зміну маси супутника через витрату пального не враховуйте.

Задача 4.

До двох контактів, що знаходяться один від одного на відстані S по горизонталі і h по вертикалі, підвісили за краї тонкий немагнетний металевий ланцюжок довжиною l з великою кількістю ланок. Ланцюжок висить в однорідному магнетному полі, перпендикулярному до площини ланцюжка. Коли через ланцюжок почали пропускати деякий сталий струм, його форма змінилася так, що біля нижчого контакту він став горизонтальним, а біля вищого – вертикальним.

Знайдіть відношення сили Ампера до сили тяжіння, що діють на кожен ланку ланцюжка, а також на весь ланцюжок загалом.

Задача 5.

Коші запропонував наближену формулу $n = \alpha + b/\lambda^2$ залежності показника заломлення n від вакуумної довжини хвилі λ .

Визначіть коефіцієнти α і b для води, якщо показник заломлення фіолетового світла ($\lambda = 390$ нм) дорівнює 1,341, а червоного ($\lambda = 730$ нм) – 1,326. Завдяки дисперсії світла ми спостерігаємо веселку.

Зобразіть хід променів через краплю води, який зумовлює веселку, і визначте, під якими кутами до напрямку сонячних променів спостерігаються її граничні смуги.

Крім первинної веселки, деколи можна спостерігати вторинну.

Завдяки чому утворюються вторинна веселка?

Чи знайдеться за межами оптичного діапазону довжина λ' електромагнетної хвилі, для якої первинна і вторинна веселки починають зливатися в одну? Якщо так, оцініть λ' , якщо ні, поясніть чому.

Задачі запропонували:

С. У. Гончаренко (1), І. О. Анісімов (2),
І. М. Гельфгат (3), О. Ю. Орлянський (4, 5)

РОЗВ'ЯЗКИ ЗАДАЧ ІV ЕТАПУ ВСЕУКРАЇНСЬКОЇ ОЛІМПІАДИ З ФІЗИКИ (Херсон, 2013)

8 клас

Задача 1.

1. Перше запитання – це невелика підказка для відповіді на друге запитання.

Зрозуміло, що оскільки температура зразка не змінювалася, то все тепло, що виділилося за рахунок роботи нагрівача, було передано довколишньому середовищу:

$$Q_1 = P_0 \cdot t_1 = 4320 \text{ Дж.}$$

Це і є відповідь на перше запитання.

2. Слова "потужність втрат тепла з автоклава прямо пропорційна різниці температур усередині й зовні автоклава" означають, що в тому випадку, коли різниця температур ΔT постійна, формулу для потужності теплопередачі можна записати так:

$$P_1 = k \cdot \Delta T,$$

а для кількості тепла

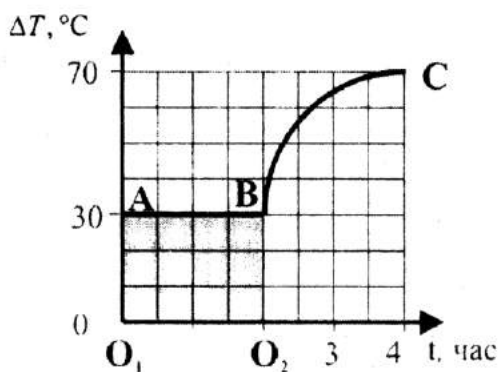
$$Q_1 = k \cdot \Delta T \cdot t_1,$$

де t_1 – час теплообміну; k – коефіцієнт пропорційності.

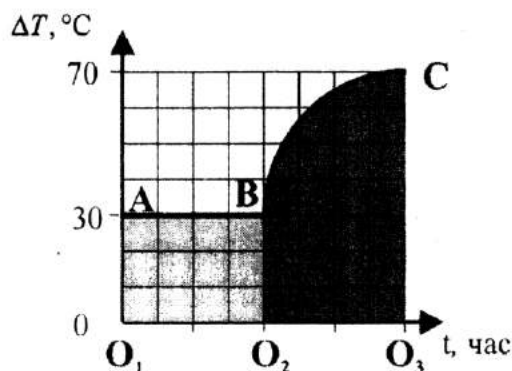
А як слід записати формулу для кількості тепла в тому випадку, якщо різниця температур змінюється (другий етап)?

Підказку дає таке спостереження: добуток $\Delta T \cdot t_1$, який входить до формули для тепла $Q_1 = k \cdot \Delta T \cdot t_1$, можна трактувати як площу S_1 під графіком залежності різниці температур від часу $\Delta T(t)$ (площа фігури $O_1 A B O_2$ на рис. 1, а). Тому формулу для втрат тепла можна записати:

$$Q_1 = k \cdot S_1.$$

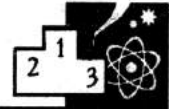


а



б

Рис. 1



Ця форма запису є загальною і годиться й для випадку, коли різниця температур змінюється згодом (див. як у підручнику виводиться формула шляху для випадку, коли швидкість змінюється).

Тепер ми можемо дати відповідь на друге запитання:

$$Q_2 = k \cdot S_2 = \frac{S_2}{S_1} \cdot k \cdot S_1 = \frac{S_2}{S_1} \cdot Q_1,$$

де S_1 – площа прямокутника O_1ABO_2 ; S_2 – площа фігури O_2BCO_1 (рис. 1, б).

Геометрія дає

$$\frac{S_2}{S_1} = \frac{3 \cdot 4 + \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 4^2}{3 \cdot 4} = 1 + \frac{\pi}{3}.$$

Тут ми врахували, що фігуру O_2BCO_1 можна представити як прямокутник і чверть кола. Тому на друге запитання

$$Q_2 = \left(1 + \frac{\pi}{3}\right) \cdot Q_1 = 8844 \text{ Дж}.$$

Отже,

$$Q_1 = P_0 \cdot t_1 = 4320 \text{ Дж},$$

$$Q_2 = \left(1 + \frac{\pi}{3}\right) \cdot Q_1 = 8844 \text{ Дж}.$$

Задача 2.

Нехай у точці O_1 перша лампа створює освітленість E_1 , друга – E_2 , а третя – E_3 .

Використовуючи ці величини, можемо знайти значення освітленості в точках O_1 і O_2 за послідовного увімкнення ламп (див. табл.).

	L_1	$L_1 + L_2$	$L_1 + L_2 + L_3$
точка O_1	E_1	$E_1 + E_2$	$E_1 + E_2 + E_3$
точка O_2	E_2	$E_1 + E_2$	$E_1 + 2E_2$

Умова, що в точці O_1 під час увімкнення другої лампи освітленість збільшується в $k = 1,8$ рази, дає змогу знайти відношення E_2/E_1 . Справді,

$$k = \frac{E_1 + E_2}{E_1},$$

звідси

$$\frac{E_2}{E_1} = k - 1 = 0,8.$$

Після увімкнення другої лампи, освітленість у точці O_2 збільшується у

$$\frac{E_1 + E_2}{E_2} = 1 + \frac{1}{0,8} = 2,25 \text{ рази}.$$

Після увімкнення третьої лампи, освітленість у точці O_2 збільшується у

$$\frac{E_1 + 2E_2}{E_1 + E_2} = \frac{1 + 2 \cdot 0,8}{1 + 0,8} \approx 1,44 \text{ рази}.$$

Задача 3.

Якщо перше відлуння турист почув за

$$t_1 = 3/4 \text{ с},$$

відстань, яку пройшов звук до ближчої стіни ущелини і повернувся назад, дорівнює

$$S_1 = v \cdot t_1 = 240 \text{ м}.$$

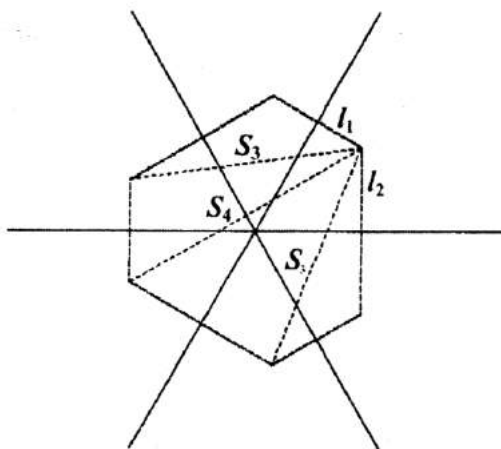
Отже, відстань від туриста до цієї стіни ущелини буде:

$$l_1 = \frac{1}{2} v \cdot t_1 = 120 \text{ м}.$$

Аналогічно, відстань до другої стіни ущелини:

$$l_2 = \frac{1}{2} v \cdot t_2 = 200 \text{ м}.$$

Щоб знайти, скільки всього було відлунь і за який час вони надійшли, скористаємось методом дзеркальних відображень (див. рис.).



Ми бачимо шестикутник з вершинами у місцях, де перебуває турист та п'ять його зображень. Складається враження, що турист має почути п'ять відлунь, але, оскільки дві відстані (позначені S_3) є однаковими, за час $t_3 = S_3/v$ два відлуння (кожне після двох відбиттів) прозвучать одночасно. Останнє відлуння прозвучить за час $t_4 = S_4/v$.

Знайдімо відстані S_3 та S_4 . Позначмо $S_1 = 2l_1$ та $S_2 = 2l_2$. Відстань S_4 є основою рівнораменної трапеції з кутами 60° і 120° :

$$S_4 = S_2 + S_1 = 2(l_2 + l_1) = 640 \text{ м.}$$

Відстань S_3 можна знайти, якщо опустити з точки третього зображення перпендикуляр на S_4 та визначити катети утвореного прямокутного трикутника ($2l_2 + l_1$ і $\sqrt{3}l_1$). Тоді S_3 є гіпотенузою і за теоремою Піфагора

$$S_3^2 = (2l_2 + l_1)^2 + 3l_1^2 = 560^2 \text{ м}^2.$$

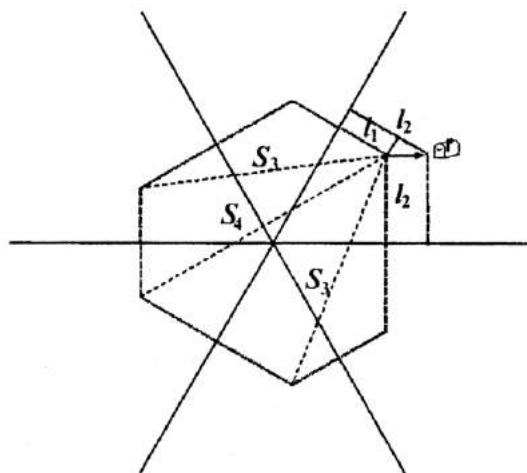
Отже,

$$S_3 = 560 \text{ м, } t_3 = 7/4 \text{ с, } t_4 = 7/4 \text{ с.}$$

Оскільки відстань до другої стіни становила 200 м, тобто, такою ж, як і відстань до цієї стіни від намету, туристу слід рухатись перпендикулярно до напрямку, звідки надійшло друге відлуння (паралельно до другої стіни), залишаючи за спиною звуки третіх і четвер-

того відлунь. Упродовж його руху час t_2 , за який надходить друге відлуння, має залишатися незмінним, а час надходження першого відлуння t_1 буде збільшуватись. Коли час t_1 зрівняється з t_2 слід шукати намет.

Кількість кроків легко знаходиться з прямокутного трикутника з кутами 30° і 60° . Маємо 185 кроків.



Задача 4.

Розгляньмо сили, що діють на кулі. На легку кульку діє тільки сила Архімеда, величина якої пропорційна зануреному об'єму (за умовою нехтуємо силою тяжіння). На важку кулю діє і сила тяжіння, і сила Архімеда. Сума всіх діючих на систему сил дорівнює нулеві, оскільки система перебуває в рівновазі:

$$F_T = F + F(1-n) + Q.$$

Запишімо рівність моментів сил відносно центру масивної кулі.

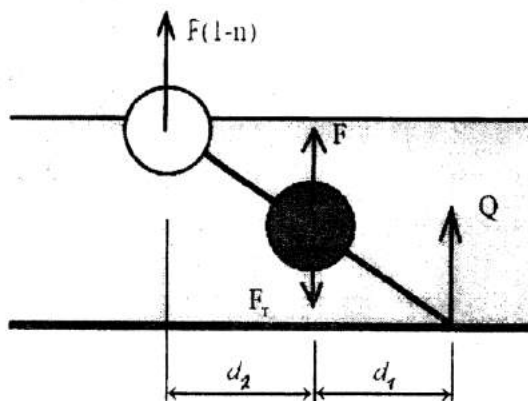
$$Q \cdot d_1 = F(1-n) \cdot d_2.$$

Врахуймо, що плечі сил однакові

$$d_1 = d_2.$$

тоді отримаємо

$$Q = F(1-n).$$



Остаточно співвідношення між силами буде таким:

$$F_T = F + 2F(1-n) = F(3-2n).$$

На глибокому місці максимальне значення сили Архімеда досягатиметься за повного занурення обох куль, що дорівнює $2F$.

Якщо сила $2F$ виявиться більшою від сили тяжіння F_T , то стрижень з кулями плаватиме у вертикальному положенні і легка куля, розташовуючись зверху, частково виступатиме з води, або (в стані байдужої рівноваги) буде повністю занурена у воду.

Отже, умова плавання на глибокій воді матиме вигляд:

$$F_T \leq 2F.$$

Підставляючи в ліву частину цієї нерівності

$$F_T = F(3-2n),$$

отримасмо $3-2n \leq 2$,

а, отже,

$$n \geq \frac{1}{2}.$$

Це означає, що система не потоне, коли на мілкій воді легка куля виступатиме з води не менше, ніж на половину.

Задача 5.

Складно стежити за двома козликami, що рухаються одночасно, тому перейдемо у систему відліку, пов'язану, наприклад, з сірим козликom. У цій системі відліку сірий козлик нерухомий і перебуває в точці С, а білий козлик (початково у точці У) матиме дві компоненти швидкості: одну напрямлену на схід та іншу, напрямлену на північ (рис. 1, а). Переміщення за день білого козлика становитиме 800 метрів на схід та 600 метрів на північ.

1. Знайдемо відстань у випадку мінімального зближення.

Якщо швидкості козликів не змінюються, то траєкторія білого – відрізок УВ довжиною 1000 метрів. А мінімальну відстань між козликami дає перпендикуляр, проведений з точки С на цей відрізок. Його довжину можна знайти, записуючи теорему Піфагора для трикутника УРС:

$$\begin{aligned} UC &= \sqrt{US^2 - US^2} = \\ &= \sqrt{1300^2 - 500^2} = 1200 \text{ м.} \end{aligned}$$

Це перша відповідь.

2. Якщо величини швидкостей можна змінювати довільно (при цьому залишаючи незмінними напрямки руху), то білий козлик може прийти у будь-яку точку трикутника УВК (рис. 1, б). Тут точка У – початкове положення білого козлика. Найближчою до точки С точкою цього трикутника є точка К. Довжина відрізка КС і буде відповіддю на друге запитання. Знайдемо її. З рис. 1, в видно, що прямокутні трикутники УР₁К і УКВ подібні.

Оскільки $UB = 1000$ м, справедливе співвідношення:

$$\frac{500 + PP_1}{800} = \frac{800}{1000} \Rightarrow PP_1 = 140 \text{ м} = KK_1.$$

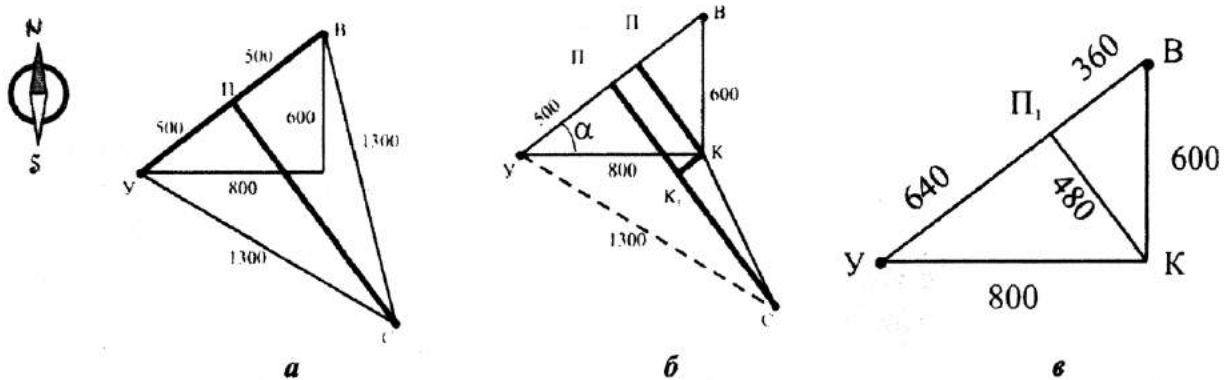


Рис. 1 до задачі 5

За теоремою Піфагора

$$KP_1 = 480 \text{ м} = PK_1.$$

З попереднього пункту відомо, що

$$PC = 1200 \text{ м},$$

отже,

$$K_1C = 720 \text{ м},$$

за теоремою Піфагора остаточно отримуємо:

$$KC = \sqrt{KK_1^2 + K_1C^2} \approx 733 \text{ м}.$$

9 клас

Задача 1.

Сила тяги F потрібна для подолання сил опору повітря під час підтримання літаком мінімальної польотної швидкості (що приблизно дорівнює “швидкості звалювання”, за якої втрачається достатня повітряна підймальна сила). Отже, в найгіршому випадку – продовженні польоту зі згаданою мінімальною швидкістю (за більших швидкостей кут напрямку глісади¹ до горизонту зменшиться, що збільшить відстань планування) сила опору повітря

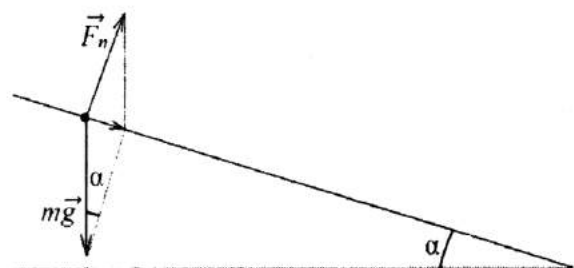
дорівнюватиме силі тяги F , яку створюватиме рівнодіюча сили тяжіння mg та підйомної сили F_n , направленої перпендикулярно до напрямку глісади, отже

$$F = mg \sin \alpha.$$

Звідси можна отримати чисельне значення для $\sin \beta = 0,2$ і, порівнюючи його з кутом, який потрібний для досягнення смуги аеродрому:

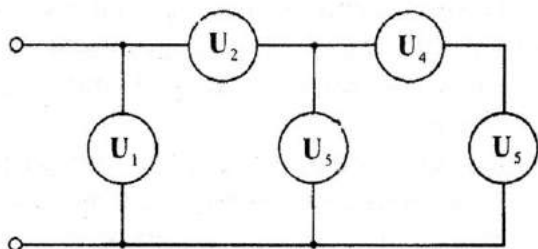
$$\sin \beta = \frac{1}{4} = 0,25.$$

Отже, глісада, по якій може спланувати цей літак дасть змогу йому досягти смуги аеродрому.



¹Глісада – це авіаційний термін, що означає траєкторію польоту літака під час заходу на посадку.

Задача 2.



Із зображеної схеми в умові задачі має виконуватись:

$$U_1 = U_2 + U_3, \quad (1)$$

$$U_3 = U_4 + U_5, \quad (2)$$

Підставмо числові дані:

$$5 < 4 + 2, \quad (3)$$

$$2 = 1 + 1, \quad (4)$$

Очевидно, що рівність (1) не виконується. Отже, несправний вольтметр 1, або вольтметр 2, оскільки покази вольтметра 3 входять до обох рівностей.

Щоб виявити конкретний зіпсований вольтметр, скористаємось ще однією рівністю для струмів:

$$I_2 = I_3 + I_4,$$

або

$$\frac{U_2}{R} = \frac{U_3}{R} + \frac{U_4}{R},$$

тобто

$$U_2 = U_3 + U_4,$$

де R – опір вольтметра.

Підставивши, отримаємо

$$4 > 2 + 1.$$

Отже, вольтметр 2 дає значення, які завищені на 1 В. Тобто,

$$U_2 = 3 \text{ В.}$$

Задача 3.

Головною у цьому завданні є крапля в'язкої рідини (як свідчить густина ртуті) об'ємом $V = 2V_0$, що у початковий момент перебувала на висоті $h = 3h_0/4$ (рис. 1). Виникає запитання – куди вона подінеться, якщо на це місце підніметься повітряна бульбашка?

Частина відповіді видно відразу: частина ртуті зайняло старе місце бульбашки на дні. Та це тільки половина ртутної краплі. А куди перемістилася друга половина? Відповідь – на поверхню (рис. 2).

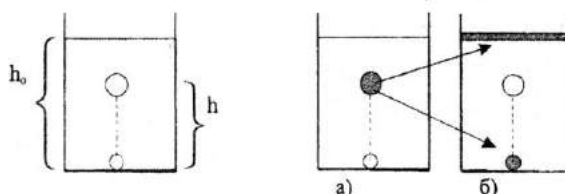


Рис. 1

Рис. 2

Тепер можна здійснити розрахунок повної механічної енергії системи $E = E_k + E_p$ у початковому та кінцевому станах.

Початкова потенційна енергія системи дорівнювала:

$$E_{\text{поч}} = 2\rho gV_0h = \frac{3}{2}\rho gV_0h_0.$$

Кінцева потенційна енергія системи буде:

$$E_{\text{кін}} = \rho gV_0 \cdot 0 + \rho gV_0h_0 = \rho gV_0h_0.$$

Кінетична енергія рідини і на початку, і наприкінці дорівнює нулеві. Тому

$$E_{\text{поч}} = \frac{3}{2}\rho gV_0h_0,$$

$$E_{\text{кін}} = \rho gV_0h_0.$$

Як видно, повна механічна енергія системи зменшилася – частина її перейшла в тепло.

Кількість теплоти, що виділилася, буде:

$$Q = E_{\text{поч}} - E_{\text{кін}} = \frac{1}{2}\rho gV_0h_0 = 0,102 \text{ Дж.}$$

Задача 4.

Якщо в однорідному магнетному полі перебуває дротовий каркас (рис. 1) із замкненою системою струмів (проводів, що підводять струм, немає), то сумарна сила Ампера, що діє на цю систему струмів дорівнює нулеві.

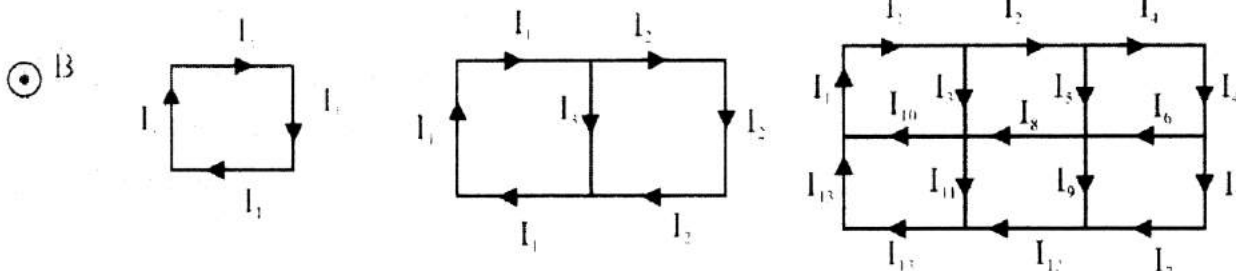
Знаючи це, уявне додамо до нашої сітки два шматки дроту довжиною $6a$, по одному з яких струм I тече вліво, а по іншому – вправо (рис. 2. а). Зрозуміло, сила Ампера, що діє на сітку, від додавання цього “силового нуля” не зміниться.

Тепер розглянемо нашу схему як дві схеми: “замкнену схему”, до якої не підходять зовнішні дроти, і провідник довжиною $6a$, по якому тече струм I .

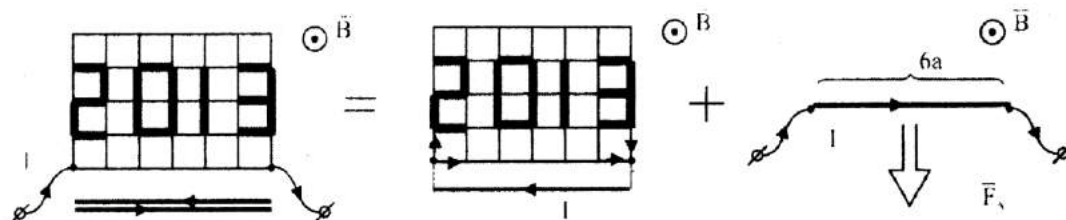
Сила, що діє на “замкнену систему струмів”, дорівнює нулеві. Тому одержуємо, що результуюча сила Ампера дорівнює силі, що діє на вставлений шматок дроту:

$$F_A = I \cdot 6a \cdot B = 0,61 \cdot 6 \cdot 5,5 \cdot 10^{-2} \cdot 0,01 = 2,013 \cdot 10^{-3} \text{ Н} = 2013 \text{ мкН}.$$

Доведення того факту, що сумарна сила Ампера, що діє на сітку з струмами, дорівнює нулеві.



До задачі 4. Рис. 1



До задачі 4. Рис. 2

Доведення 1 (пряме)

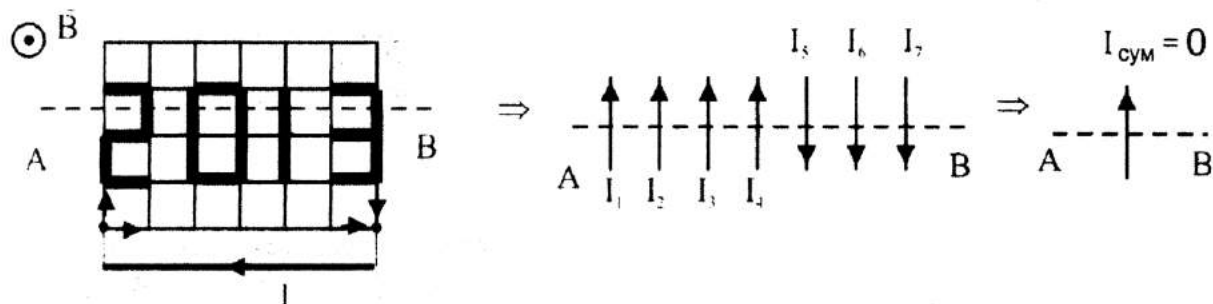
Уявно розділемо нашу сітку з струмами на ребра з струмами. І розглянемо, наприклад, усі паралельні ребра, що перетинають переріз AB (рис. 3).

Зберемо їх в один пучок. Сила Ампера, що діє на цей пучок, буде прямо пропорційна до сумарної сили струму, що протікає по цьому пучку. А вона дорівнюватиме нулеві, тому що переносу заряду через переріз AB немає (верхня половина сітки не заряджається).

Застосовуючи такі ж міркування до всіх інших ребер, ми одержимо, що сила Ампера, що діє на всі ребра в однорідному магнетному полі, дорівнює нулеві.

Доведення 2 (за допомогою закону збереження енергії)

Припустимо, що наше твердження неправильне, й на сітку діє сила. Тоді сітка почне рухатися, і її кінетична енергія буде збільшуватися без усякої зміни струмів (під час руху в одному магнетному полі магнетні потоки, що пронизують різні грані не змінюються, тому



До задачі 4. Рис. 3

ЕРС індукції не виникають, і струми не змінюються). Якщо струми не змінюються, то не змінюється й енергія магнетного поля.

Одержуємо, що кінетична енергія сітки береться нізвідки, що суперечить закону збереження енергії.

Отримане протиріччя доводить, що наше твердження правильне.

Задача 5

Щоб знайти швидкість за поданим в умові графіком, спочатку треба знайти коефіцієнт тертя μ , який забезпечує рівномірний рух тягарців.

Блок під дією сил натягу нитки тисне на вісь. Сила тертя при цьому заважатиме йому проковзувати. За великого коефіцієнту тертя система може взагалі загальмувати і зупинитися.

Здається, що дотик між блоком і віссю наявний у верхніх точках осі та отвору блоку (рис. 1). Це неправильно, що легко зрозуміти, спроектвавши сили, що діють на блок, на горизонтальну вісь. Сила тертя виявляється нічим не компенсована.

Отже, місце дотику блоку та осі зміститься праворуч (рис. 2), тоді рівнодійна сили тертя $F_{тр}$ і реакції опори N буде спрямована догори, а за теоремою Піфагора дорівнюватиме

$$\sqrt{N^2 + F_{тр}^2}$$

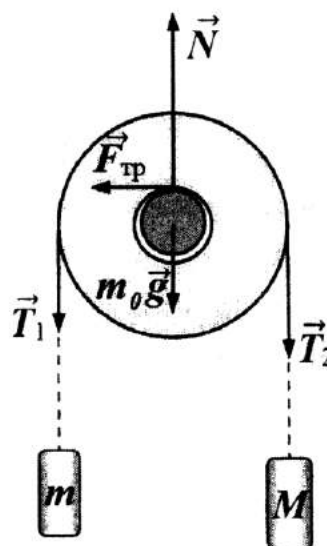


Рис. 1

Вниз на блок діють сили натягу нитки

$$T_1 = mg, T_2 = Mg$$

і сила тяжіння m_0g (тягарці рухаються зі сталою швидкістю).

Отже,

$$\sqrt{N^2 + F_{тр}^2} = (m_0 + m + M)g. \quad (1)$$

І для випадку статичної рівноваги, і для руху зі сталою швидкістю, сума моментів сил на блок дорівнюватиме нулеві.

Відносно осі симетрії блока (перетину N і m_0g) маємо:

$$T_1 R + F_{\text{тр}} r - T_2 R = 0. \quad (2)$$

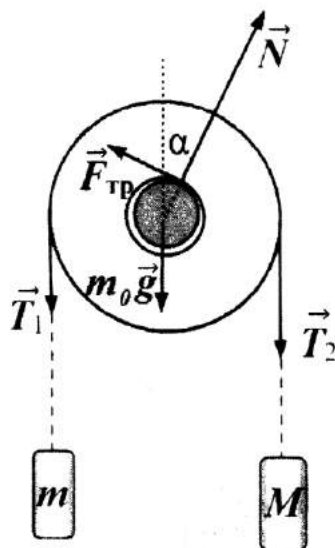


Рис. 2

Для статички це рівняння тривіальне. У випадку руху отримати рівняння (1) можна також з енергетичних міркувань, розглянувши зміну потенціальної енергії тягарців і роботу сили тертя.

Враховуючи, що

$$F_{\text{тр}} = \mu N,$$

перепишемо систему рівнянь (1) і (2):

$$\begin{cases} N\sqrt{1+\mu^2} = (m_0 + m + M)g \\ \mu Nr = (M - m)gR \end{cases}$$

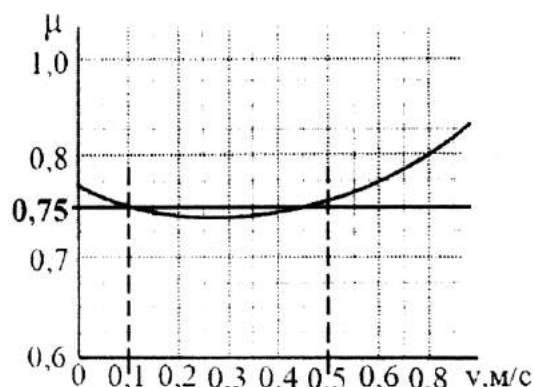
Де враховано, що під час рівномірного руху вантажів, сила натягу ниток дорівнюватиме їхній вазі.

Розв'язуючи систему, знаходимо коефіцієнт тертя:

$$\begin{cases} N\sqrt{1+\mu^2} = (m_0 + m + M)g \\ \mu Nr = (M - m)gR \end{cases}$$

$$\begin{aligned} \mu &= \frac{1}{\sqrt{\frac{r^2}{R^2} \left(\frac{m_0 + m + M}{M - m} \right)^2 - 1}} = \\ &= \frac{3}{4} = 0,75 \end{aligned}$$

За графіком коефіцієнту тертя $\mu = 0,75$ відповідають дві швидкості: 0,1 та 0,45 м/с.



Проаналізуємо, що відбудеться, якщо швидкість трохи зменшиться.

Якщо зменшиться швидкість 0,1 м/с, це, за графіком, призведе до збільшення коефіцієнта тертя, що ще більше загальмує рух системи аж до повної її зупинки.

Якщо зменшиться швидкість 0,45 м/с, це, за графіком, призведе до зменшення коефіцієнта тертя, що приведе до пришвидшення системи і повернення до попередньої швидкості.

Якщо ж швидкість 0,45 м/с збільшиться, коефіцієнт тертя за графіком також збільшиться, і рух системи загальмується до знову ж таки швидкості 0,45 м/с. Отже, встановиться швидкість 45 см/с руху внутрішньої поверхні блоку відносно осі.

Цій швидкості відповідає втричі більша швидкість руху тягарців – 1,35 м/с.

Зазначимо, що для того, щоб така швидкість встановилася, на самому початку тягарці слід було розігнати так, аби швидкість блоку від-

носно осі перевищувала приблизно 0,3 м/с (мінімум графіка).

Отже, встановлена швидкість рівномірного руху тіл дорівнює 1,35 м/с.

10 клас

Задача 1.

У такій спрощеній системі робота може бути витрачена тільки на збільшення потенціальної енергії пружної деформації пружин.

Якщо перша пружина деформується на величину x_1 (під час її розтягування $x_1 > 0$, а під час стиснення $x_1 < 0$), то деформація другої має бути

$$x_2 = x_1 + L.$$

Робота як зміна потенціальної енергії обох пружин

$$A = \frac{k_1 x_1^2}{2} + \frac{k_2 x_2^2}{2} = \frac{k_1 + k_2}{2} \left(x_1 + \frac{k_2 L}{k_1 + k_2} \right)^2 + \frac{k_1 k_2 L^2}{2(k_1 + k_2)}.$$

При $x_1 = -\frac{k_2 L}{k_1 + k_2}$ (перша пружина стискається, а друга розтягується) останній вираз набуває свого найменшого значення

$$A = \frac{k_1 k_2 L^2}{2(k_1 + k_2)}.$$

Задача 2.

Розглянувши сили, що діють на невеличкий об'єм води в околі точки $A(x_0; y_0)$ на поверхні, і надають доцентрове пришвидшення, знаходимо тангенс кута нахилу дотичної:

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{\omega^2 x_0}{g}. \quad (1)$$

Припустивши, що всі відбиті від поверхні промені перетнуться в точці $F(0; F_y)$, одержимо:

$$y_0 = F_y + x_0 \cdot \operatorname{ctg}(\pi - 2\beta). \quad (2)$$

Урахувавши, що

$$\operatorname{ctg}(\pi - 2\beta) = \frac{1}{2}(\operatorname{tg}\beta - \operatorname{ctg}\beta),$$

підставимо значення тангенса з (1) до рівняння (2):

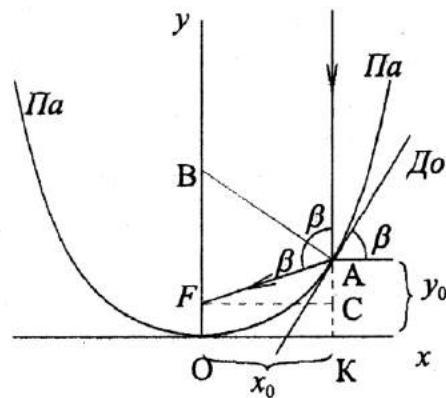
$$y_0 = F_y + \frac{1}{2} \left(\frac{\omega^2 x_0^2}{g} - \frac{g}{\omega^2} \right)$$

або

$$y_0 - \frac{1}{2} \frac{\omega^2 x_0^2}{g} = F_y - \frac{g}{2\omega^2}.$$

Щоб це співвідношення справджувалося для будь-якої точки поверхні, утвореної обертанням графіка функції $y(x)$ навколо осі Oy , функція має мати вигляд:

$$y(x) = \frac{\omega^2 x^2}{2g}.$$



Відповідно,

$$F_y = \frac{g}{2\omega^2}.$$

Задача 3.

Припустимо, що на точку A подано додатний потенціал, а на точку B – від’ємний. Тоді струми крізь усі провідники, які перетинає пунктирна лінія, йтимуть зліва направо. Внаслідок закону збереження електричного заряду сума всіх цих струмів дорівнюватиме струму I , який входить з джерела у точку A і повертається до джерела з точки B . Отже, треба знайти струм через джерело. Для цього скористаємось принципом суперпозиції, тобто спочатку розглянемо тільки струми, які виходять з точки A і, внаслідок симетрії, порівну розходяться в усіх чотирьох напрямках. Тобто, від A “навпростець” до B прямуватиме струм $I/4$. Тепер так само (незалежно від A) розглянемо струми, що входять з квадратної сітки у точку B . Аналогічно матимемо, що “навпростець” до B від A прямуватиме струм $I/4$. Нарешті, накладемо один розподіл струмів на інший. По провіднику між точками A і B йтиме струм $I/4 + I/4 = I/2$, що лише у двічі менше від струму через джерело. Отже, сума струмів через безліч усіх інших провідників, які перетинає пунктирна лінія, також дорівнюватиме $I/2$, або струму через один провідник AB . Все це добре демонструє стрімке зменшення величин струмів при віддаленні від точок A і B , і правомірність формальної заміни великої сітки на нескінченно велику, а також нехтування її формою десь далеко на краях.

Скористаємося законом Ома і визначмо струм крізь провідник AB , на який подано напругу U :

$$I_{AB} = \frac{U}{R_{AB}} = \frac{US}{\rho a}$$

Загальний струм удвічі більший від

$$I = 2 \frac{US}{\rho a}$$

і дає відповідь на перше запитання.

Для того, щоб знайти відповідь на друге запитання, тобто знайти ділянки дроту, через які струм не йде, знову скористаємось принципом суперпозиції.

Тільки розглянемо розподіл струмів на більших відстанях від точок A і B .

Як бачимо з рис. 1, кожний із струмів $I/4$ ділиться на струм i_1 і два струми i_2 .

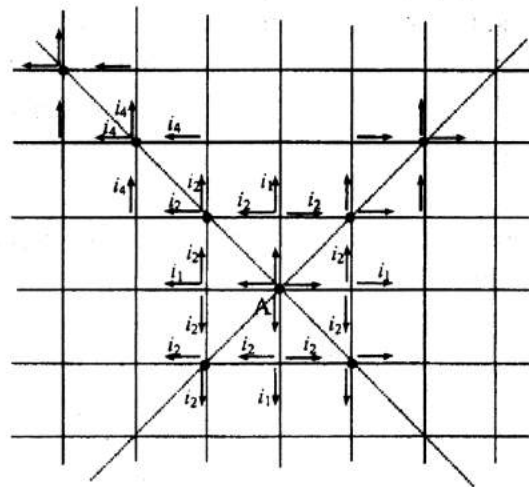


Рис. 1

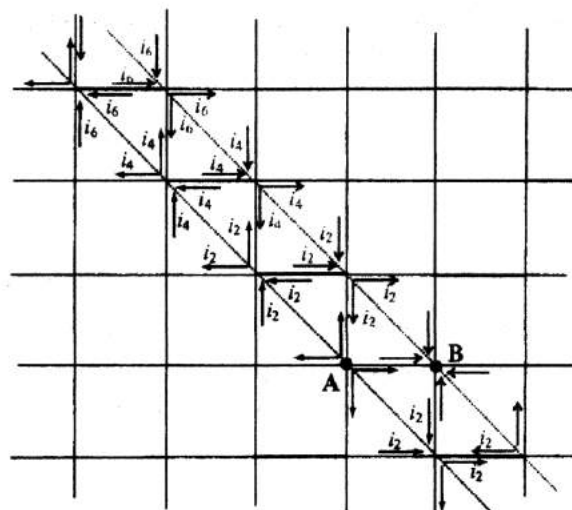
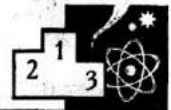


Рис. 2



Далі привертає увагу симетрія діагоналей (пунктирні лінії, що проходять через точку A). Внаслідок симетрії у вузли на цих лініях входять і виходять однакові струми.

У найближчому діагональному вузлі від точки A

$$i_2 + i_2 = i_2 + i_2,$$

у наступному:

$$i_4 + i_4 = i_4 + i_4$$

і так далі.

Аналогічну картину, тільки зі зворотними напрямками струмів, дає точка B .

Накладемо один діагональний розподіл струмів на інший. Як бачимо з рис. 2, в усіх паралельних AB ділянцях, що розташовані вздовж діагональних напрямів, струми компенсуються.

Нарешті, відповідь на третє запитання задачі про магнетне поле у центрі будь-якого квадрата сітки, не потребує знання відповідей на перше і друге запитання.

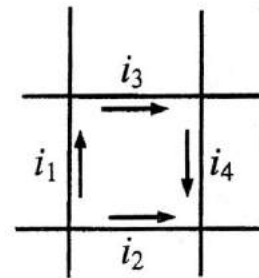
Спочатку зрозуміємо, як залежить магнетне поле провідника зі струмом від величину струму. Струм у провіднику I створює певне магнетне поле. Але струм (потік заряджених частинок) I завжди можна уявити як n струмів величиною I/n кожний.

Інакше, магнетне поле струму I можна обчислити, як суму магнетних полів n струмів величиною I/n кожний. Це можливо, якщо магнетне поле пропорційне величині струму, $B \sim I$. Звичайно, воно ще залежить від відстані, але у нашому випадку (центр квадрата) відстані до сторін є однаковими.

Як відомо, лінії магнетного поля прямолінійного провідника охоплюють його в напрямку, який задає рух свердлика. Отже, струм через сторону квадрата створює у його центрі перпендикулярне до площини квадрата магнетне поле.

Тепер розгляньмо суму падінь напруги у будь-якому контурі сітки. Вона дорівнюва-

тиме нулеві, оскільки сітка не містить джерел струму. Оскільки опори сторін квадрата однакові, рівність нулеві суми падінь напруги призведе до того, що сума струмів, які спрямовані за годинниковою стрілкою відносно центра квадрата, дорівнюватиме сумі струмів, які спрямовані проти годинникової стрілки. Це означає, що магнетні поля у центрі квадрата компенсуються. Наочніше це ілюструє рис. 3.



$$i_1 R + i_3 R + i_4 R = i_2 R$$

або

$$i_1 + i_3 + i_4 = i_2.$$

Струми i_1, i_3, i_4 створюють у центрі квадрата магнетні поля, спрямовані від нас. А струм i_2 створює поле, спрямоване до нас. Оскільки магнетне поле пропорційне до величини струму, поле струму $i_2 = i_1 + i_3 + i_4$ повністю компенсує поля трьох інших струмів.

Висновок про компенсацію магнетного поля може бути узагальнений на центр будь-якого правильного багатокутника, сторони якого мають однакові опори.

Задача 4.

Блок під дією сили натягу нитки тиснутиме на вісь. Сила тертя при цьому заважатиме йому проковзувати. Якщо відношення мас тягарців $x = m/M$ близьке до одиниці, система може взагалі залишитися у стані спокою, і при швидшення дорівнюватиме нулеві. Здається, що при цьому дотик між блоком і віссю наявний у верхніх точках осі та отвору блока (рис. 1).

Це неправильно. Щоб у цьому переконатися, достатньо розглянути моменти сил відносно осі обертання, що проходить через ці точки. Моменти сили реакції опори N та сили тертя $F_{\text{тр}}$ дорівнюють нулеві, а сили натягу нитки мають різні значення T_1 і T_2 , але однакові плечі. Отже, моменти некомпенсовані, статична рівновага неможлива.

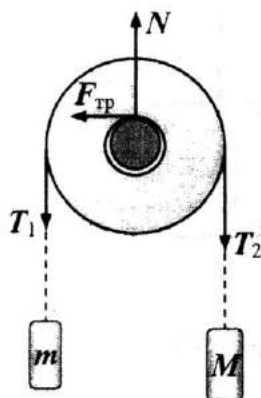


Рис. 1

Оскільки $T_2 > T_1$ місце дотику блоку та осі зміститься праворуч (рис. 2). І для випадку статичної рівноваги, і для руху з пришвидшенням, сума моментів сил на блок дорівнюватиме нулеві. Під час руху це зумовлено невагомістю блоку. Відносно горизонтальної осі симетрії блоку маємо:

$$T_1 R + F_{\text{тр}} r - T_2 R = 0. \quad (1)$$

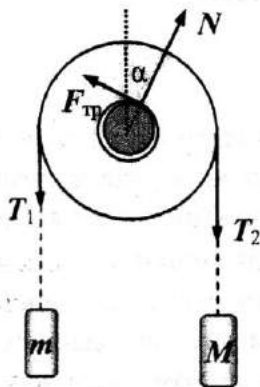


Рис. 2

Для статички це рівняння тривіальне. Для випадку руху з пришвидшенням у правильності рівняння (1) можна переконатися також з енергетичних міркувань, розглянувши роботу сил натягу і сили тертя.

Спроекуємо тепер сили, що діють на блок, на горизонтальний та вертикальний напрямки:

$$\begin{aligned} OX: N \sin \alpha - F_{\text{тр}} \cos \alpha &= 0, \\ OY: N \cos \alpha + F_{\text{тр}} \sin \alpha &= T_1 + T_2. \end{aligned} \quad (2)$$

У випадку статичної рівноваги певного зв'язку між силою тертя та реакцією опори не існує, можна тільки стверджувати, що

$$F_{\text{тр}} \leq \mu N.$$

Отже, маємо три рівняння і три невідомі $F_{\text{тр}}$, N , α (сили натягу нитки $T_1 = mg$, $T_2 = Mg$).

У випадку руху, $F_{\text{тр}} = \mu N$ (тут і далі вважатимемо, що максимальна сила тертя спокою дорівнює силі тертя ковзання), і з першого рівняння (2) відразу знаходимо кут:

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \alpha &= \mu, \\ \left(\cos \alpha = \frac{1}{\sqrt{1 + \mu^2}} = \frac{4}{5}, \sin \alpha = \frac{3}{5} \right). \end{aligned}$$

Але тепер з'являється інша невідома – пришвидшення a .

Запишімо для тягарців проекцію другого закону Ньютона на вертикальну вісь

$$\begin{cases} ma = N_1 - mg, \\ Ma = Mg - T_2. \end{cases} \quad (3)$$

і розв'яжемо систему (1), (2), (3) з урахуванням даних задачі.

$a = g \frac{2/3 - x}{2/3 + x},$	якщо $x \leq 2/3,$
$a = 0,$	якщо $x \geq 2/3.$

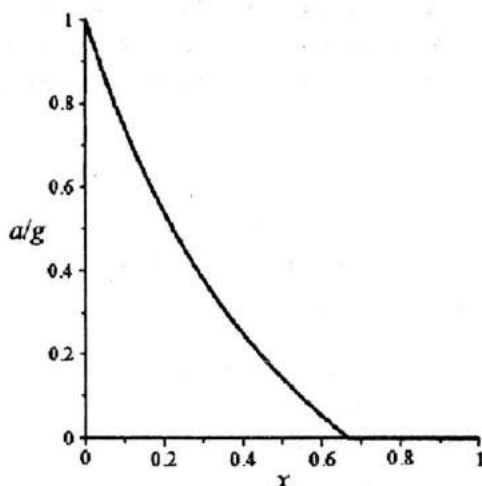
Якщо ж помилково вважати, що дотик між блоком і віссю наявне у верхніх точках осі та отвору (рис. 1) і проігнорувати моменти сил, слід очікувати таку відповідь:

$$a = g \frac{0,6 - x}{0,6 + x}.$$

Правильний графік функції

$$a = g \frac{2/3 - x}{2/3 + x}$$

має вигляд:



Задача 5.

Площа перерізу вузького отвору фонтану $S = 1 \text{ см}^2$ досить невелика порівняно з площами перерізу посудин. Отже, інтуїтивно здається, що фонтан має працювати досить довго, а рівні води у посудинах змінюватись повільно. Повітря у посудинах 1 і 2 перебуває під підвищеним тиском, який забезпечує вода, що перетікає з верхньої посудини у найнижчу. Нехтуючи швидкістю руху води у лівій трубці, знаходимо, що цей тиск має дорівнювати сумі атмосферного і гідростатичного:

$$P = P_A + \rho g(h_1 + h_2). \quad (1)$$

Повітря тиском $P = P_A + \rho g(h_1 + h_2)$ “видавлює” воду з посудини 2 у трубку, створюючи фонтан.

Якби трубка була вищою (подумки збільшимо h_3 до деякого H_3), то вода б перестала витікати, коли $P = P_A + \rho g(h_2 + H_3)$. Порівнюючи з (1), знаходимо, що за висоти $H_3 = h_1$, вода перестала б витікати. Саме на цю висоту підніматиметься вода у фонтані, тобто

$$h_3 + h = H_3 = h_1,$$

звідси

$$h = h_1 - h_3 = 2,5 \text{ м}.$$

Цей результат можна було отримати інакше, скориставшись рівнянням Бернуллі.

Визначмо тепер об'єм води, який за одиницю часу вилітає у вигляді фонтану. Оскільки ми знаємо

$$h = h_1 - h_3,$$

із закону збереження енергії

$$\Delta mgh = \frac{\Delta mv^2}{2}$$

знайдемо швидкість води на виході з вузького отвору:

$$v = \sqrt{2gh} = \sqrt{2g(h_1 - h_3)}.$$

Об'єм води, що за одиницю часу проходить крізь вузький отвір, дорівнює

$$vS = \sqrt{2gh}S = \sqrt{2g(h_1 - h_3)}S.$$

Саме на цю величину зменшується об'єм води у посудині 2:

$$\frac{\Delta V_2}{\Delta t} = v_2 S_2 = \sqrt{2gh}S = \sqrt{2g(h_1 - h_3)}S.$$

Звідси знаходимо швидкість зменшення рівня води у посудині 2:

$$v_2 = \sqrt{2gh} \frac{S}{S_2} = \sqrt{2g(h_1 - h_3)} \frac{S}{S_2} = 0,35 \text{ мм/с}. \quad (2)$$

Вода з посудини 2 попадає у посудину 3, але ж у той самий час якась кількість води витікає з посудини 3 у посудину 1, збільшуючи в останній рівень води. Розглянемо зміну води у посудині 3 за одиницю часу. Вважатимемо, що рівень води у посудині 3 збільшується.

Тоді

$$\frac{\Delta V_3}{\Delta t} = \frac{\Delta V_2}{\Delta t} - \frac{\Delta V_1}{\Delta t}$$

або

$$v_3 S_3 = v_2 S_2 - v_1 S_1. \quad (3)$$

Потрібне ще одне рівняння для знаходження швидкостей v_1 і v_3 . Ми ще не розглянули повітряний зв'язок між посудинами 1 і 2. Завдяки зміні об'ємів води у цих посудинах, змінюється й об'єм повітря V у них:

$$\frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{\Delta V_2}{\Delta t} - \frac{\Delta V_1}{\Delta t} = \frac{\Delta V_3}{\Delta t} = v_3 S_3.$$

За умовою процес ізотермічний. Отже,

$$PV = (P + \Delta P)(V + \Delta V), \quad (4)$$

або

$$P\Delta V + \Delta PV + \Delta P\Delta V = 0.$$

Якщо Δt достатньо малий проміжок часу тоді $\Delta P\Delta V \ll P\Delta V + \Delta PV$ і ним можна знехтувати.

З попередніх рівнянь $\Delta V = v_3 S_3 \Delta t$, а з рівняння (1) і рисунка

$$\Delta P = \rho g \Delta(h_1 + h_2) = \rho g (v_3 - v_1) \Delta t.$$

Підставляємо у (4) і, вважаючи проміжок часу Δt малим, отримуємо:

$$v_1 = v_3 \left(1 + \frac{PS_3}{\rho g V} \right). \quad (5)$$

Як бачимо з рівняння (5), знаки швидкостей однакові. Виходить припущення, що рівень води у верхній посудині збільшується, правильне!

Далі розв'яжемо систему рівнянь (3) і (5).

$$v_1 = v_2 \frac{\left(1 + \frac{PS_3}{\rho g V} \right)}{\frac{S_3}{S_2} + \frac{S_1}{S_2} \left(1 + \frac{PS_3}{\rho g V} \right)} \approx 0,214 \text{ мм/с},$$

$$v_3 = \frac{v_2}{\frac{S_3}{S_2} + \frac{S_1}{S_2} \left(1 + \frac{PS_3}{\rho g V} \right)} \approx 0,014 \text{ мм/с}$$

II клас

Задача 1.

За обох умов нагріву газу передається однакова кількість теплоти відповідно закону Джоуля–Ленца,

$$\Delta Q_1 = \Delta Q_2 = \Delta Q.$$

Але різні умови нагріву приводять до різних значень кінцевої температури ($\Delta T_1 \neq \Delta T_2$) за рахунок різних теплоємностей газу в цих процесах

$$\Delta Q = C_V \Delta T_1 = C_P \Delta T_2.$$

Відповідно відношення молярних теплоємностей визначається відношенням різниць температур, отриманих у двох процесах нагріву газу

$$g = \frac{C_P}{C_V} = \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}.$$

Під час ізохоричного нагрівання ($V = \text{const}$) з рівняння $PV = nRT$ маємо

$$\Delta T_1 = \frac{V(P_1 - P)}{nR}.$$

Під час ізобаричного нагрівання ($P = \text{const}$) з рівняння $PV = nRT$ маємо

$$\Delta T_2 = \frac{P(V_2 - V)}{nR}.$$

Остаточно отримуємо

$$g = \frac{C_P}{C_V} = \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2} = \frac{V(P_1 - P)}{P(V_2 - V)}.$$

Задача 2.

Розглянемо спершу рух окремої зарядженої частинки. Нехай магнетне поле спрямоване вздовж осі z , електричне – вздовж осі x .

Нехай початкова швидкість зарядженої частинки спрямована довільно, її проекція на напрямок магнетного поля – v_{\parallel} , перпендикулярна до поля компонента – v_{\perp} . За відсутності електричного поля рух частинки складатиметься з рівномірного руху вздовж магнетного поля зі швидкістю v_{\parallel} і циклотронного обер-



тання в площині xOy з частотою $\omega_c = eB/m$ по колу ларморівського радіусу $R_L = mv_{\perp}/eB$.

Наявність електричного поля приведе до того, що в протилежних (у напрямку x) точках орбіти швидкість зарядженої частинки відрізнятиметься на величину

$$2\Delta v = \left(\frac{eE}{m}\right)\left(\frac{\pi}{\omega_c}\right) = \frac{\pi E}{B}.$$

Якщо припустити, що точка $x = 0$ суміщена з центром орбіти, то можна спрощено вважати, що половини орбіти, що відповідають додатнім і від'ємним x , частинка пролітає зі швидкостями $v_{\perp} + \Delta v$ та $v_{\perp} - \Delta v$. У результаті орбіта не замикається, і з'являється середня дрейфова швидкість у напрямку y :

$$v_{\text{др}} = \frac{\omega_c}{2\pi} 2[R_L(v_{\perp} + \Delta v) - R_L(v_{\perp} - \Delta v)] = \frac{eB}{\pi m} \frac{m}{eB} \frac{\pi E}{B} = \frac{E}{B}.$$

Видно, що ця швидкість – швидкість дрейфу в схрещених полях – не залежить ні від швидкості, ні від маси, ні від заряду частинки. Отже, електрони та позитивні йони дрейфуватимуть з однаковою швидкістю.

Отже, плазма рухатиметься як ціле з дрейфовою швидкістю $v_{\text{др}} = E/B$ (можна чекати, що ця формула справедлива з точністю до числового коефіцієнта порядку одиниці, але, як показує акуратніший розрахунок, вона є точною).

Задача 3.

Позначмо радіус орбіти r маси Землі та супутника відповідно M і m . Тоді початкова швидкість супутника буде:

$$v_0 = \sqrt{G \frac{M}{r}}. \quad (1)$$

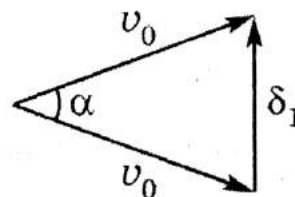
Якщо ж збільшити цю швидкість у $\sqrt{2}$ разів, то супутник подолає тяжіння Землі та віддаляться від неї на необмежену відстань.

Витрата пального під час кожного вмикання двигуна прямо пропорційна до імпульса, який отримує супутник, тобто модулю зміни швидкості δ .

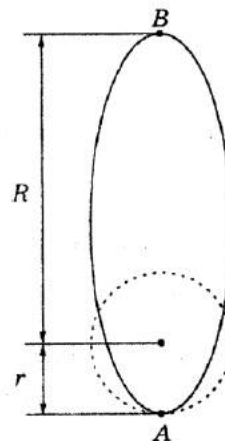
Можна запропонувати два способи зміни орбіти.

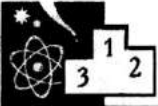
1. Треба увімкнути двигун один раз над полюсом, щоб “повернути” швидкість на кут α . На рисунку зображено відповідний рівнобедрений трикутник (зазначено модулі швидкостей), з якого отримуємо

$$\delta_1 = 2v_0 \sin \frac{\alpha}{2}.$$



2. Треба спочатку над одним полюсом (у точці A див. рис.) надати супутнику додаткової швидкості u , щоб перевести його на витягнуту еліптичну орбіту; тоді над іншим полюсом (у точці B) швидкість v_1 супутника буде меншою і її легше буде “повернути” на кут α .





Після половини оберту новою еліптичною траєкторією треба зменшити швидкість супутника знову ж таки на u , щоб орбіта стала коловою. Відтак, витрата пального буде пропорційна до зміни швидкості

$$\delta_2 = 2u + 2v_1 \sin \frac{\alpha}{2}.$$

Щоб виразити v_1 через u , скористаємося законами збереження енергії та моменту імпульса:

$$-G \frac{Mm}{r} + \frac{m(v_0 + u)^2}{2} = -G \frac{Mm}{R} + \frac{mv_1^2}{2},$$

$$m(v_0 + u)r = mv_1 R.$$

З цих співвідношень, урахувавши вираз (1), отримуємо квадратне рівняння відносно v_1 .

$$v_1^2 - 2 \frac{v_0^2}{v_0 + u} v_1 + v_0^2 - u^2 - 2uv_0 = 0.$$

Формула для коренів квадратного рівняння нам не потрібна: два його корені відповідають максимальному та мінімальному значенням швидкості супутника на еліптичній орбіті. Отже, один із коренів має дорівнювати $(v_0 + u)$ (це легко перевірити), а другий, тобто v_1 , знайдемо з теореми Вієта:

$$v_1 = \frac{v_0^2 - u^2 - 2uv_0}{v_0 + u}.$$

Отже,

$$\delta_2 = 2u + 2 \frac{v_0^2 - u^2 - 2uv_0}{v_0 + u} \sin \frac{\alpha}{2}. \quad (2)$$

Очевидно, досить розглядати значення u в інтервалі $(0; (\sqrt{2} - 1)v_0)$.

Якщо $u \rightarrow 0$, отримуємо $\delta_2 \rightarrow \delta_1$.

Якщо $u \rightarrow v_0(\sqrt{2} - 1)$ (швидкість $(v_0 + u)$ — це аналог другої космічної швидкості для цієї орбіти), другий доданок у формулі (2) прямує

до нуля (поворот площини орбіти відбуватиметься майже за нульової швидкості).

Цей варіант вигідніший за варіант 1, якщо $\sin \frac{\alpha}{2} > \sqrt{2} - 1$ (тобто якщо $\alpha > 49^\circ$). Проте час такого руху прямує до нескінченності...

Дослідження залежності $\delta_2(u)$ можна провести, наприклад, визначивши відповідну похідну. Це дослідження показує, що за умови

$\frac{1}{3} < \sin \frac{\alpha}{2} < \frac{1}{2}$ (тобто $39^\circ < \alpha < 60^\circ$) функція

$\delta_2(u)$ має мінімум всередині інтервалу

$(0; (\sqrt{2} - 1)v_0)$, за

$$u_{\min} = v_0 \left(\sqrt{\frac{2 \sin \frac{\alpha}{2}}{1 - \sin \frac{\alpha}{2}}} - 1 \right).$$

Якщо

$$\alpha = \alpha_2 = 45^\circ,$$

то отримуємо

$$u_{\min} = 0,11v_0 \text{ і } \delta_2 = 0,75v_0.$$

Отже, слід виконати такі послідовності дій для кожного із трьох випадків, які задано в умові задачі:

1. Увімкнути двигун один раз над полюсом, змінивши напрям швидкості на 15° .

2. Увімкнути двигун над полюсом, збільшивши швидкість супутника на 11 %, над іншим полюсом змінити напрям швидкості на 45° і ще через половину оберту зменшити швидкість до початкового значення.

3. Увімкнути двигун над полюсом, збільшивши швидкість супутника трохи менше ніж на 41 %, над іншим полюсом змінити напрям швидкості на 90° і ще через половину оберту зменшити швидкість до початкового значення.

Задача 4.

Оскільки за умовою ланок у ланцюжку дуже багато, розглянемо ланцюжок у вигляді дуги кривої. Спроекуємо сили, що діють на маленький фрагмент ланцюжка довжиною Δl , на горизонтальний і вертикальний напрямки (Δl має горизонтальну і вертикальну проєкції

$$\Delta x = \Delta l \cos \alpha \text{ і } \Delta y = \Delta l \sin \alpha,$$

див. рис. 1).

Почнемо з сили тяжіння.

Горизонтальна проєкція дорівнює нулеві, а вертикальна

$$\Delta mg = \tau g \Delta l,$$

де $\tau = m/l$ – лінійна густина ланцюжка.

Отже, сума всіх вертикальних складових дасть спрямовану донизу силу

$$\sum \Delta mg = \tau g \sum \Delta l = \tau gl = mg$$

– очікуваний результат, до якого ми добре звикли.

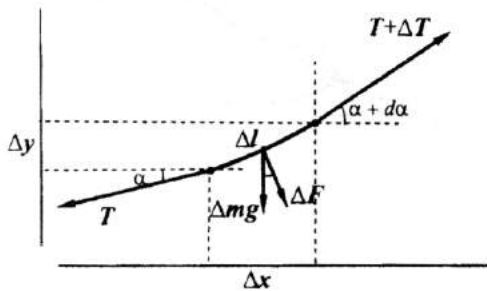


Рис. 1.

Розглянемо тепер проєкції сили Ампера:

$$\Delta F = IB \Delta l.$$

Горизонтальна проєкція буде:

$$\Delta F_x = IB \Delta l \sin \alpha = IB \Delta y.$$

Вертикальна проєкція буде:

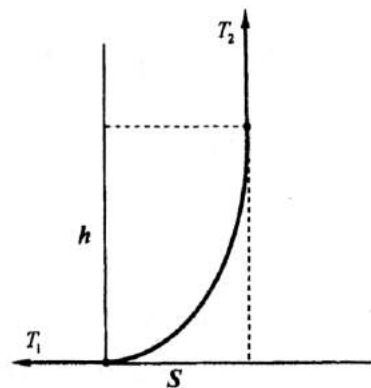
$$\Delta F_y = -IB \Delta l \cos \alpha = -IB \Delta x.$$

Горизонтальна складова сили Ампера, що діє на весь ланцюжок, буде:

$$F_x = \sum \Delta F_x = IB \sum \Delta y = IBh. \quad (1)$$

Проєкція сили Ампера на вертикальний напрямок дає

$$F_y = \sum \Delta F_y = -IB \sum \Delta x = -IBS. \quad (2)$$



Отже, у нашому випадку для всього ланцюжка (рис. 2) маємо

$$\begin{cases} T_1 = IBh, \\ T_2 = IBS + mg. \end{cases} \quad (3)$$

Ми ще не використали задану в умові довжину ланцюжка l . Найпростіше це зробити або за допомогою аналізу роботи сил натягу за невеликого уявного зміщення на Δl ланцюжка вздовж його довжини

$$(T_2 - T_1) \Delta l = \Delta mg h,$$

або, спроектувавши сили, що діють на маленький фрагмент ланцюжка (рис. 1), на його напрям:

$$\Delta T = \Delta mg \sin \alpha = \tau g \Delta l \sin \alpha = \tau g \Delta y.$$

Тоді

$$T_2 - T_1 = \sum \Delta T = \tau g \sum \Delta y = \tau gh = mgh/l. \quad (4)$$

Отже, ми отримали три рівняння (система (3) і (4)). Треба знайти відношення сили Ампера до сили тяжіння, що діють на ланку ланцюжка, тобто, безрозмірну величину

$$a = \frac{IB \Delta l}{\Delta mg} = \frac{IB}{\tau g}.$$

Запишемо всі отримані рівняння у безрозмірному вигляді:

$$(t_1 = T_1/mg, t_2 = T_2/mg):$$

$$\begin{cases} t_1 = a \frac{h}{l}, \\ t_2 = a \frac{S}{l} + 1, \\ t_2 - t_1 = \frac{h}{l} \end{cases} \quad (5)$$

і знайдемо

$$a = \frac{l-h}{h-S}.$$

Рівнодійна сила Ампера, що діє на весь ланцюжок, дорівнює

$$F_A = IB\sqrt{h^2 + S^2}.$$

Відношення сили Ампера до сили тяжіння, що діють на весь ланцюжок загалом, буде:

$$\begin{aligned} \frac{F_A}{mg} &= \frac{IB\sqrt{h^2 + S^2}}{\tau gl} = \frac{IB}{\tau g} \frac{\sqrt{h^2 + S^2}}{l} = \\ &= a \frac{\sqrt{h^2 + S^2}}{l} = \frac{l-h}{h-S} \frac{\sqrt{h^2 + S^2}}{l}. \end{aligned}$$

Задача 5.

Знайдімо коефіцієнти a і b із системи двох рівнянь для фіолетового і червоного променів:

$$\begin{cases} n_\phi = a + b/\lambda_\phi^2, \\ n_v = a + b/\lambda_v^2. \end{cases} \Rightarrow$$

$$\begin{cases} a = 1,320008 \approx 1,32 \\ b = 3192,782 \text{ нм}^2 \approx 3200 \text{ нм}^2 \end{cases} \quad (1)$$

Хід променя через краплю води зображений на рисунку.

Оскільки показник заломлення фіолетового променя більший, кут γ для нього буде менший. Це означає, що фіолетова смуга у веселці нижча, а червона вища.

За рисунком $\gamma = 4\beta - 2\alpha$, де кут β можна виразити із закону заломлення світла

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n;$$

$$\beta = \arcsin(\sin \alpha / n).$$

Отже, кут γ залежить від кута падіння променя α .

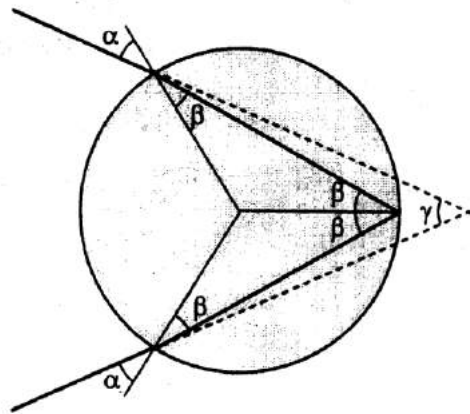


Рис. 1

$$\gamma = 4 \arcsin\left(\frac{1}{n} \sin \alpha\right) - 2\alpha. \quad (2)$$

Промені падають на краплю під різними кутами α , ми їх бачимо, відповідно, під різними кутами γ .

Підсилення променів відбудеться тоді, коли порівняно широкому діапазону $\Delta\alpha$ відповідатиме вузький діапазон $\Delta\gamma$, тобто, коли

$$\frac{d\gamma}{d\alpha} = 0.$$

Візьмемо похідну від (2) і прирівняємо її до нуля:

$$\frac{d\gamma}{d\alpha} = 2 \frac{2 \cos \alpha - \sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}}{\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}} = 0$$

Знаходимо,

$$\sin \alpha = \sqrt{\frac{4 - n^2}{3}}$$

і, підставивши у (2), формулу для кута γ :

$$\gamma = 4 \arcsin\left(\frac{1}{n} \sqrt{\frac{4 - n^2}{3}}\right) - 2 \arcsin\left(\sqrt{\frac{4 - n^2}{3}}\right)$$

Підставимо показники заломлення 1,341 для фіолетового і 1,326 для червоного світла:

$$\gamma_{\text{п}} = 40,9^\circ \approx 41^\circ, \quad \gamma_{\text{ч}} = 43,1^\circ \approx 43^\circ$$

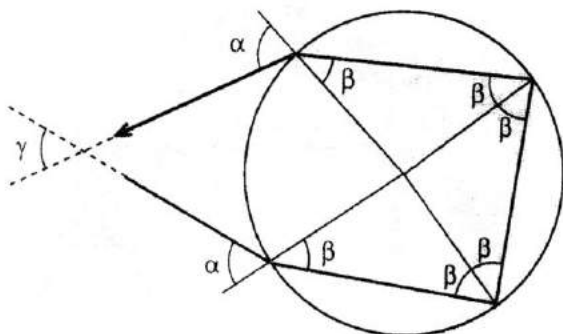


Рис. 2

Для відповіді на останнє запитання треба знайти кут γ для вторинної веселки.

У вторинній веселці, промінь двічі відбивається всередині краплі від її поверхні.

На відміну від первинної веселки, промінь обходить краплю проти годинникової стрілки (рис. 2).

Саме тому кольори у вторинній веселці йдуть у зворотній послідовності: нижчий – червоний, вищий – фіолетовий.

$$\text{Кут } \gamma = 180^\circ + 2\alpha - 6\beta,$$

$$\text{або } \gamma = 180^\circ + 2\alpha - 6 \arcsin\left(\frac{1}{n} \sin \alpha\right).$$

Аналогічно первинній веселці знаходимо екстремальне значення γ :

$$\gamma = 180^\circ + 2 \arcsin\sqrt{\frac{9 - n^2}{8}} - 6 \arcsin\left(\frac{1}{n} \sqrt{\frac{9 - n^2}{8}}\right)$$

Для червоного кольору ($n = 1,326$) знаходимо:

$$\gamma_{\text{ч}} = 49,03^\circ \approx 49^\circ$$

Червоні кольори обох веселок найближчі один до одного (43° і 49°).

Смуги інфрачервоного випромінювання будуть ще ближчі.

Однак, за формулою Коші

$$n = a + b/\lambda^2$$

показник заломлення обмежений знизу.

Навіть, якщо $\lambda \rightarrow \infty$ (що взагалі достатньо безглуздо внаслідок дифракції світла на краплях води) коефіцієнт заломлення має кінцеву межу $n = a = 1,32$.

Розрахуємо для $n = 1,32$ кути γ у первинній та вторинній веселках:

$$\gamma_1 \approx 44,01^\circ \approx 44^\circ, \quad \gamma_2 \approx 47,42^\circ$$

Як бачимо, $\gamma_2 > \gamma_1$.

Отже, злиття першої і другої веселок не відбувається ні в якому діапазоні.

Щоправда, зазначимо, що для вичерпної відповіді слід врахувати залежність показника заломлення від температури і користуватися точною формулою замість наближеної. Все це за певних умов може ще зблизити значення γ_1 і γ_2 .



ГОДИННИК – ІНСТРУМЕНТ ВІДЛІКУ ЧАСУ

Галина Шопа,

Львівський національний університет імені Івана Франка

Найдавніші годинники

Годинники, як інструменти для вимірювання проміжків часу, люди використовували здавна.

На різних етапах розвитку цивілізації були сонячні, зоряні, водяні, вогневі, пісочні, колісні, механічні, електричні, електронні та атомні годинники.

Першими серед них були *сонячні годинники*, що визначали час за напрямком тіні. Недоліком сонячних годинників було те, що вони працювали лише за ясної погоди й зовсім не працювали вночі.

Найбільші сонячні годинники “Самрат Янгра” мають довжину гномона 27 м і висоту 36 м. Їх побудовано 1724 року в Джайпурі (Індія).

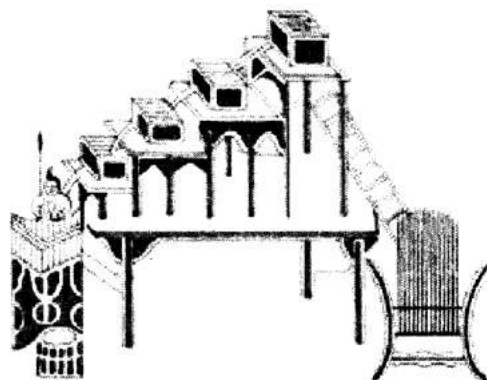
Перші механічні годинники з анкерним механізмом були виготовлені в Китаї в 725 році.

Найточніші механічні годинники в світі виготовлено для ратуші Копенгагена (Данія) у грудні 1955 року і називають їх “Ольсен”. На їхнє виробництво витратили понад 14 тисяч деталей і тривало воно майже 10 років.

Повністю механічний наручний годинник “Планетарій Коперника” (виготовлено у Швейцарії) показує час доби, дату, фази Місяця, астрономічне положення Сонця, Землі, Місяця і планет, відомих за часів Коперника. Вони містять також птолемеєвську систему світу, яка показує астрологічні “аспекти” на будь-який час.

Найдавніші збережені в світі годинники без циферблату датуються 1386 року, або ще раніше. Вони знаходяться на соборі в Солсбері (Велика Британія).

Водяні годинники були відомі ще в Давньому Єгипті та Межиріччі.



Стародавній китайський
водяний годинник

Важливою подією в розвитку годинників було відкриття Галілео Галілеєм ізохронності коливань маятника, тобто того факту, що період малих коливань маятника не залежить від амплітуди. Після цього виникла ідея маятникового годинника.

Механічний годинник із годинниковою і хвилинною стрілками винайдено лише в XVII сторіччі.



Перший маятниковий годинник з анкерним обмежувачем¹ винайшов 1657 року нідерландський фізик та астроном Христіан Гюйгенс (1629–1695). Це був найточніший годинник серед інших годинників.

Праця Х. Гюйгенса з кінематики пришвидшеного руху під назвою “Маятниковий годинник” була опублікована 1673 року. Вона стала настільною книжкою Ньютона, який завершив розпочату Галілеєм і продовжену Гюйгенсом побудову основ механіки.

Незалежно від Гюйгенса маятниковий годинник побудував Роберт Гук (1635–1703). Анкерний механізм винайшов 1670 року англійський механік Вільям Клемент.

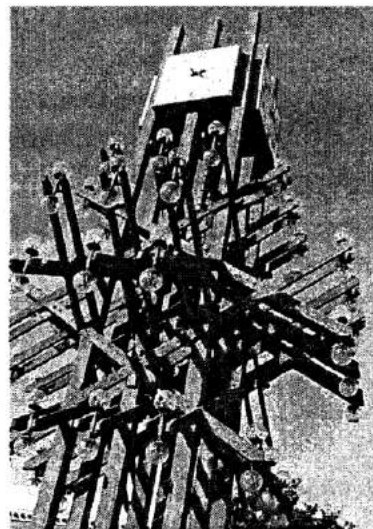
У 1675 році Томас Томпсон сконструював ще точніший годинник, у якому маятник він замінив пружиною.

Поштовхом до швидкого розвитку годинникової справи стали практичні потреби навігації. Для точного визначення координат кораблів на морі були потрібні годинники, що визначали б дуже точно час, особливо під час штормів. Такий годинник називали хронометром, його створив британець Джон Гаррісон.

У XIX сторіччі з’явився перший електричний годинник, а з 1918 року електрогодинник вже міг працювати на струмі від мережі.

Із розвитком електроніки у другій половині XX сторіччя механічні годинники почали замінювати на електронні. В електронних го-

¹Анкерний пристрій – це невеликий механізм, який “нормує” рушійну силу і забезпечує тікання, відомий також як поворотний анкерний пристрій; його можна спостерігати на прикладі секундної стрілки підлогових годинників, коли вона здригається чи “віддає назад” по мірі її руху по колу циферблата. Анкерний механізм називається якірним, тому що він подібний на якоря, що обертається по центральній осі над зубчастим колесом, взаємодіючи з зубами у міру того, як він розгойдується взад і вперед в одній площині.



Японський годинник

динниках, які відлічують час із великою точністю, використовують кристали кварцу. Такий принцип ґрунтується на природній вібрації (100 000 коливань за секунду) у кристалах кварцу, джерелом живлення там є батарейка. Сучасні годинники нагадують крихітний комп’ютер. Вони мають будильник і секундомір, а час відображають на електронному дисплеї. Електронні годинники стали складовою частиною комп’ютерів, мобільних телефонів та інших побутових приладів.

Надточні годинники

Наукові експерименти потребують вимірювання часу ще з більшою точністю, завдяки чому виникли атомні годинники, які використовують коливання електромагнетного поля, створеного випромінюванням атомів під час переходів між електронними рівнями. За дуже низьких температур цезієві атомні годинники можуть забезпечити точність вимірювання часу до 10^{-11} секунди.

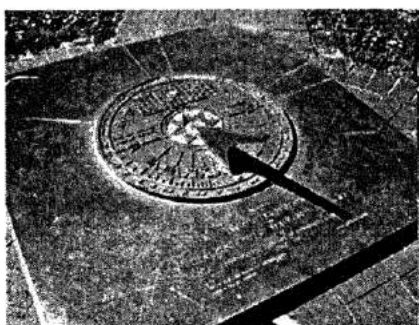
Науковці 2011 року повідомили про створення оптичного годинника з відносною точністю 10^{-17} . Нині у літературі з’являються повідомлення про годинники з точністю 10^{-18} й вище.



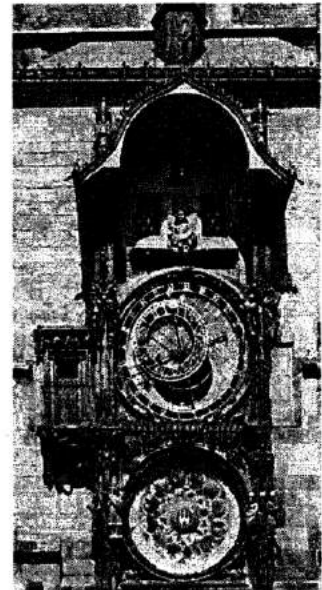
Практичне використання надточного стандарту частоти в тому, що він дає змогу фіксувати і використовувати для практичних цілей саме слабкі фізичні ефекти. Яскравим прикладом є праці американської групи учених під керівництвом Девіда Вайнленда. Використання надточних годинників особливо важливо у геодезії і гідрології. З віддаленням від поверхні Землі гравітаційне поле починає слабшати, тому швидкість ходу годинника, розташованих на різних висотах, буде відрізнятися. Група Вайнленда повідомила, що їй вдалося зафіксувати цю розбіжність за різниці висоти менше одного метра!

Результатом наукових досліджень французького фізика Сержа Ароша та американського Девіда Вайнленда стало створення надточних годинників, які в майбутньому можуть стати основою нового стандарту часу, в сто разів точнішого, ніж сучасні цезієві годинники. За ці праці обидва науковці 2012 року отримали Нобелівську премію з фізики.

І якщо вже казати про практичну користь фундаментальної фізики, то роботи нинішніх нобелівських лавреатів зайвий раз підтверджують це.



Горизонтальний сонячний годинник у м. Перт (Австралія), (тінь у полудень – на півдні, а Сонце – на півночі; видимий шлях Сонця по небі йде справа наліво, тому нумерація годин йде проти годинникової стрілки



Астрономічний годинник у Празі на ратуші

Цікаво про годинники

Найвищий годинник у світі – це годинник тисячоліття та вежі в Палаці культури і науки у Варшаві (розташований на висоті 165 м).

У Техасі (США) буде розміщено годинник на 10000 років, стрілка якого робитиме один крок у 100 років.

Найбільшим годинником у світі довший час вважали годинник Біг-Бен у Лондоні, та віднедавна найбільшим став годинник Мекки, що розташований на висоті 425 метрів. Його розробив швейцарський інженер.

Читачеві добре відомий годинник у Москві – куранти. У Москві XVII ст. на годинниках Спаської вежі рухалася не єдина годинна стрілка, а увесь циферблат.

У Львові в Етнографічному музеї зберігається найбільша в Україні колекція унікальних годинників із різних країн світу. Про них та інші відомі львівські годинники (дзигарки, як годинники називають на Галичині) варто розповісти нашому читачеві окремо. Читайте в наступному числі журналу “Світ фізики”.

Ярослав Довгий. Резонанси. – Львів: Євросвіт, 2013. – 104 с.

Цей і наступний томики, які фіксують рефлексії професійного науковця і педагога на красу і загадки Природи, на прочитане, запримічене й осмислене, на дивне й кумедне у побуті, мали б викликати резонанс у читачів. Тому і назва – “Резонанси”.

Фізики знають різні типи резонансів, механізми і параметри їх вияву вміють активізувати і використовувати їх. Автор якраз і є фізиком, він знається і на антирезонансах, хоча тональність останніх його не приваблює.

Автор бажає, щоб думки та емоції читачів були творчими, оптимістичними.



1. Загадки Природи)))))))■

Природа завжди готова відповісти на наші запитання, треба тільки кожне запитання поставити чітко та недвозначно.
Галілео Галілей

2. Винахідливість)))))))■

– Фіртка вашої дачі чомусь важко відкривається, – сказав гість Едісону. – Я мусив добре помоцуватися, щоб її зрушити.
– Відкриваючи фіртку, ви наповнили 30-ти літровий резервуар води на даху...

3. Умова поступу)))))))■

Якщо б ми задовольнилися знайденим, ми б тоді ніколи нічого не знаходили.
Сенека Молодший

4. Вікно до неба)))))))■

Щоб відчувати небо над головою, не конче треба руйнувати дах.

5. Експериментатор)))))))■

Експериментатору, щоб бути гідним цього імені, треба бути водночас і теоретиком, і практиком.
Клод Бернар

6. “Зачиніть вікно”)))))))■

Ньютона за наукові заслуги було вшановано званням лорда...
Двадцять шість років він нудьгував на засіданнях Палати лордів.
Лише одного разу вимовив:
– Панове, якщо ви не заперечуєте, я попросив би зачинити вікно. Бо протяг...

7. Загадки минулого)))))))■

Зустрівши знайомого історика, він завжди запитував:
– Що нового у минулому?

8. Причини і наслідки)))))))■

Наслідки витікають з причин, що самі були колись наслідками...
Ю. Щербак. “Час Великої Гри”

9. У пошуках істини)))))))■

Тут вчать сумніватися.
Напис на фронтоні Ліссабонського університету

10. Повчання нашого філософа)))))))■

З усіх втрат втрата часу найтяжча.
Григорій Сковорода



Леопольд Левицький
(1906–1973)
Копиці, лінорит. 1950



Леопольд Левицький народився 7 серпня 1906 року в селі Бурдяківці (нині Борщівський район Тернопільської області) в сім'ї сільського коваля. Згодом Левицькі переїхали до Чорткова, де батько працював у залізничному депо, а Леопольд навчався у місцевій гімназії. Тут помітили та оцінили його малярські здібності. Батько хотів бачити сина адвокатом. Коли Леопольд закінчив гімназію (1925), його посилають навчатися до Кракова. Та він вступає до Академії красних мистецтв на відділ скульптури.

Спочатку Левицький навчався в групі відомого польського скульптора Ксаверія Дуніковського, згодом перейшов – на графіку.

Під час навчання Л. Левицький захопився лівими авангардовими ідеями, він увійшов до складу прокомуністичної "Краківської групи". Він з групою однодумців 1932 року організував виставку, яка через свою соціальну спрямованість і гостру тематику творів («Павук», «Тюрма», «Боротьба робітників з поліцією») не сподобалася владі і була закрита. Леопольда на чотири місяці ув'язнили, а згодом виключили з Академії.

Молодого художника приваблював дух пошуків, нестримної експресії, бунту – як і в житті, де він віддавав перевагу ідеям суспільної справедливості. Після неспокійного Кракова – ще бурхливіший Париж, остаточне окреслення мистецьких засад, захоплення лівими ідеями, авангардом.

Повернувшись до Чорткова, Левицький брав активну участь в мистецькому житті краю. Після вересня 1939 року Левицький очолив у Чорткові міську Раду. Та незабаром почав працювати в пресі, згодом обійняв посаду художника-декоратора в Будинку офіцерів.

Війна загнала майстра в далеку еміграцію. У Центральній Азії, в містечку Кара-Дарія поблизу Самарканду Левицький працював вчителем малювання.

Л. Левицький 1946 року оселився у Львові. Коли в країні підняли чергову хвилю боротьби з абстракціонізмом і вже готували розправу над талановитою художницею-графіком Софією Гебус-Баранецькою, він зголосився: «Першим судіть мене, я тут – найбільший абстракціоніст!..» Та створена ним пізніше "Дума про возз'єднання" припала до душі посадовцям і на деякий час забезпечила йому спокій від критики влади.

Помер Л. Левицький з різцем у руці за робочим столом 14 травня 1973 року. Похований у Львові на Личаківському цвинтарі.