

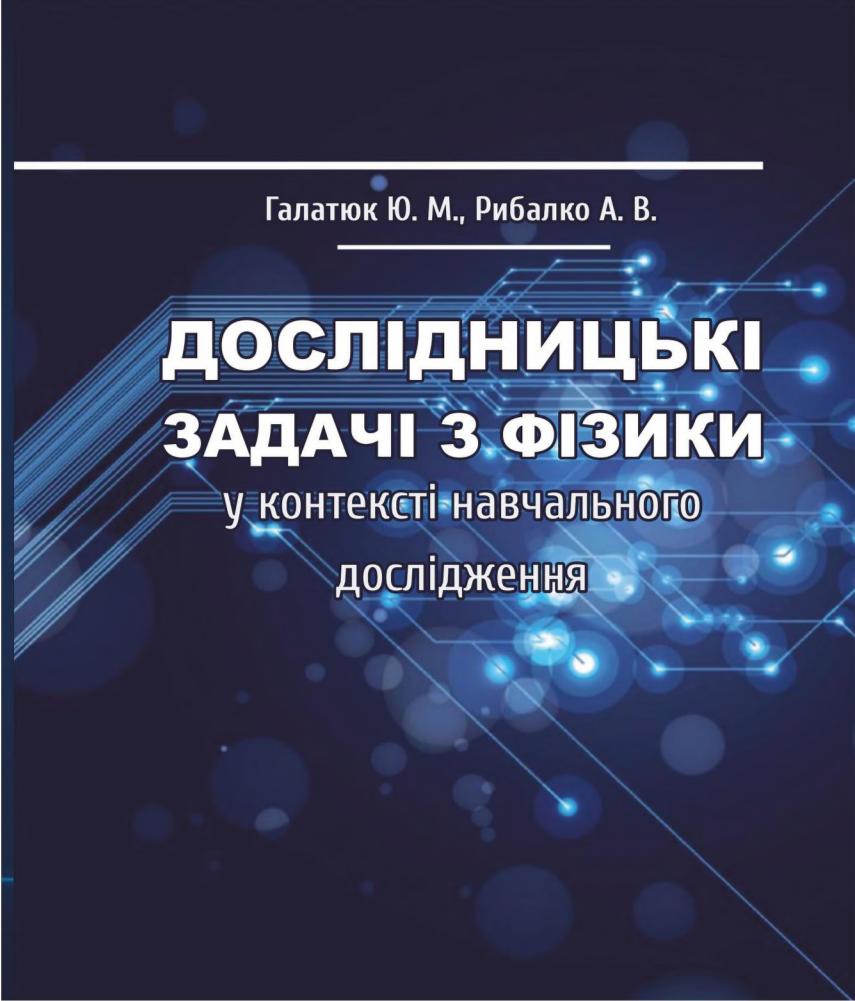
---

Галатюк Ю. М., Рибалко А. В.

---

# **ДОСЛІДНИЦЬКІ ЗАДАЧІ З ФІЗИКИ**

у контексті навчального  
дослідження



**Галатюк Ю. М., Рибалко А. В.**

**ДОСЛІДНИЦЬКІ  
ЗАДАЧІ З ФІЗИКИ  
у контексті навчального  
дослідження**

*Навчально-методичний посібник*

Рівне – 2023

УДК 53:37(075)

Г15

*Рекомендовано вченою радою  
Рівненського державного гуманітарного університету  
(протокол № 7 від 22 червня 2023 р.)*

**Рецензенти:**

**Мороз М.В.**, доктор хімічних наук, професор, завідувач кафедри хімії та фізики Національного університету водного господарства та природокористування;

**Чинчой О.О.**, кандидат педагогічних наук, доцент кафедри природничих наук і методик їхнього навчання Центральноукраїнського державного університету імені В. Винниченка;

**Лушок Т.В.**, вчитель-методист фізики, директор Рівненського ліцею №12.

**Галатюк Ю. М., Рибалко А. В.**

**Г15 Дослідницькі задачі з фізики у контексті навчального дослідження:** Навчально-методичний посібник. Рівне: Волинські обереги, 2023. 192 с.

ISBN 978-617-8260-14-9

У посібнику викладені теоретичні засади організації навчального дослідження з фізики, обґрунтований методологічний підхід до класифікації навчальних дослідницьких фізичних задач, розглянуті основні підходи систематизації цих задач за рівнями складності інтелектуальних операцій та методичні рекомендації щодо впровадження запропонованої системи у навчальний процес. Наведена система навчальних дослідницьких фізичних задач з розділів “Основи МКТ” і “Основи термодинаміки”, що дозволяє практично реалізувати дану методiku у навчанні фізики.

Посібник призначений для здобувачів вищої освіти зі спеціальностей «Середня освіта. Фізика та астрономія» та «Фізика та астрономія», викладачів курсів підвищення кваліфікації, фахівців теорії і методики навчання фізики, а також учням, що займаються самопідготовкою.

**УДК 53:37(075)**

ISBN 978-617-8260-14-9

© Галатюк Ю.М., Рибалко А.В., 2023

© "Волинські обереги", 2023

## ВСТУП

Концепція Нової Української школи передбачає підготовку соціально адаптованої, конкурентоздатної особистості, готової виконувати творчі завдання і постійно удосконалюватися та розвиватися, навчаючись протягом усього життя [44].

Відповідно державний стандарт базової середньої освіти, навчальні програми з фізики визначають результативність освітнього процесу на основі компетентнісного підходу: формування ключових компетентностей. Компетентності у галузі природничих наук, техніки і технологій передбачають формування наукового світогляду; здатність і готовність застосовувати відповідний комплекс наукових знань і методів для пояснення світу природи; набуття досвіду дослідження природи та формулювання доказових висновків на основі отриманої інформації; розуміння змін, зумовлених людською діяльністю; відповідальність за наслідки такої діяльності [26].

Формування ключових компетентностей передбачає пріоритет інноваційно-творчої функції навчання над інформаційно-ілюстративною [38]. У зв'язку з цим, важливим завданням дидактики є створення освітніх технологій, спрямованих на розвиток творчих здібностей і продуктивного мислення молоді.

Одним із напрямків реалізації таких технологій може бути удосконалення теорії та методики впровадження активних методів навчання. Зокрема організації навчального дослідження під час навчання фізики. Тому у цьому посібнику розглянуті теоретичні та практичні аспекти реалізації навчально-дослідницької діяльності через систему фізичних задач, що є її проблемно-змістовим забезпеченням.

Посібник складається із двох розділів – теоретичного та практичного.

У першому розділі розглядаються теоретичні засади організації навчального дослідження на основі реалізації діяльнісного підходу до організації освітнього процесу. Розкривається психолого-дидактична суть навчально-дослідницької діяльності на основі аналізу різних декомпозицій. Подано технологічний інваріант проектування навчального дослідження у вигляді плану-орієнтиру, що є орієнтувальною основою для творчої діяльності учителя.

Здійснена коротка психолого-педагогічна характеристика фізичної навчально-дослідницької задачі на основі безвідносного та відносного підходів до розв'язувача (суб'єкта навчання). Розглянуті засади класифікації вищевказаних типів задач на основі методологічного підходу. А також запропонована систематизація класів навчальних задач дослідницького характеру за рівнями складності інтелектуальних операцій та розроблена її структурна схема.

У першому розділі подано методичні рекомендації щодо практичного застосування системи навчальних дослідницьких задач у якості проблемно-змістового забезпечення навчально-дослідницької діяльності, а також з метою стимулювання найефективнішого розвитку продуктивного мислення суб'єктів навчання. Завершується перший розділ завданнями і запитаннями для самоконтролю.

Другий розділ фактично є дидактичним засобом реалізації запропонованої навчальної технології при вивченні розділів «Основи МКТ» й «Основи термодинаміки». У ньому наведені поурочна система навчально-діагностичних завдань та зразки дослідницьких задач і відповідей до них. Найскладніші, на нашу думку, задачі забезпечені детальним розв'язком.

У кінці посібника розміщений глосарій з визначеннями основних понять і термінів, які використовуються у контексті проблематики змісту.

Посібник буде корисним як науковцям в області теорії та методики викладання фізики та інших природничих дисциплін, так і практикуючим вчителям фізики загальноосвітніх навчальних закладів, викладачам курсів підвищення кваліфікації педагогічних кадрів, здобувачам та викладачам педагогічних університетів.

## РОЗДІЛ 1.

### Організація навчального дослідження з фізики

#### 1.1. Теоретичні засади організації навчального дослідження

Концепція Нової Української Школи ґрунтується на компетентнісному підході до організації освітнього процесу та оцінки його результатів [44]. Компетентність – інтегральна характеристика суб'єкта діяльності: динамічна комбінація знань, способів мислення, поглядів, цінностей, навичок, умінь, інших особистих якостей, що визначає здатність особи успішно провадити професійну та подальшу навчальну діяльність.

Зрозуміло, що формування ключових компетентностей можливе на основі діяльнісного підходу і передбачає домінування інноваційно-творчої функції навчання над інформаційно-ілюстративною [38]. Компетентнісний підхід реалізується залученням учнів до таких видів навчальної роботи, які за своїм дидактичним змістом і структурою дають можливість досягти позитивних результатів у розвитку творчих здібностей, сприяють формуванню системи творчих умінь і навичок.

Одним із таких видів діяльності є навчальне дослідження у процесі навчання фізики. Навчальне дослідження реалізується у дидактичних умовах, які виникають внаслідок застосування активних методів навчання: дослідницького методу та методу проєктів. Застосування в освітньому процесі активних методів навчання є набагато складнішим, ніж застосування пасивних методів, зокрема пояснювально-ілюстративного. Це є причиною домінування останніх у практиці навчання фізики в сучасній школі.

Зрозуміло, що вирішення проблеми треба шукати у контексті проєктування та впровадження відповідних педагогічних технологій організації творчої навчальної діяльності. Такі технології мають забезпечувати поєднання репродуктивних методів отримання учнями готової інформації з активними методами, які надають навчальній діяльності пошукового, творчого характеру. Зокрема дослідницького методу.

Отже, в основу має бути покладений діяльнісний підхід до навчання, де навчальна діяльність є однією із ключових категорій організацією освітнього процесу.

Реалізувати діяльнісний підхід треба, виходячи з основних психолого-педагогічних засад, що лежать в його основі як ключового методологічного принципу дидактики [2; 15; 16; 17].

Зазначимо основоположні концепти діяльнісного підходу:

✓ навчальний процес – це взаємодія двох діяльностей, навчальної, суб'єктом якої є учень, і навчаючої, суб'єктом якої є учитель;

✓ учитель моделює, організовує навчально-пізнавальну діяльність і управляє нею;

✓ учень є одночасно суб'єктом і об'єктом навчально-пізнавальної діяльності;

✓ учень є носієм прямого продукту навчальної діяльності, який не може бути відчуженим від нього;

✓ продукти навчальної діяльності – це ті психологічні новоутворення, які виникають в учня у результаті її здійснення;

✓ навчальна діяльність має місце лише у тому випадку, коли певні зміни у суб'єкті є не тільки результатом діяльності, але й відповідають її цілям;

✓ навчальна діяльність має задачний характер, тобто є процесом розв'язування пізнавальних задач;

✓ навчальна діяльність є багатограним, але цілісним системним утворенням, що має власну структуру і допускає різні способи декомпозиції.

Важлива особливість навчальної діяльності полягає у тому, що вона здійснюється у контексті навчаючої діяльності й є об'єктом управління з боку учителя.

Навчальна діяльність відрізняється від будь-якої іншої діяльності тим, що вона не тільки об'єктивно спрямована на формування особистості школяра, але й спрямована на це суб'єктивно.

Навчальна діяльність, як цілеспрямована пізнавальна активність особистості, є системною цілісністю, яка може бути представлена у різних декомпозиціях. Одна з яких: *суб'єкт, підмет, засоби, процедура, зовнішні умови та продукт діяльності*.

Зупинимось коротко на характеристиці кожного з виділених структурних елементів.

**Суб'єкт.** Суб'єкт навчальної діяльності – учень або група учнів (колективний суб'єкт) із певним рівнем знань, умінь і нави-

*IV рівень.*

**9. На комплексне застосування наукових методів пізнання:**

**9.1. Теоретичних.**

**9.2. Експериментальних.**

Практична реалізація вищевказаної системи навчальних дослідницьких фізичних задач з розділів «Основи молекулярно-кінетичної теорії» та «Основи термодинаміки» наведена у § 2.2 цього посібника.

### **1.3. Методичні рекомендації до застосування системи НДФЗ**

Ефективна організація процесу розв'язування старшокласниками навчальних дослідницьких задач неможлива без глибокої діагностики та контролю ходу їх навчальної діяльності як з боку педагога, так і самими учнями. При цьому сам процес контролю, як відомо, зводиться до порівняння наявного рівня навчальних досягнень школярів із відповідним критерієм (еталоном) [2]. Тому для використання пропонованої нами системи НДФЗ у навчанні фізики слід дотримуватись низки методичних рекомендацій. По-перше, при постановці конкретної навчальної дослідницької задачі, як і будь-якої проблемної, вчителю (викладачу) бажано володіти інформацією про зону ближнього розвитку суб'єкта навчання, тобто здійснити діагностику наявних у нього знань. Для цього пропонуємо систему поурочних навчально-діагностичних завдань, які спрямовані на:

1) активізацію такої пізнавальної діяльності учнів, яка б створювала передумови до мимовільного запам'ятовування нових інформаційних одиниць;

2) відтворення через змістову сторону у свідомості учня наочних та чуттєвих образів явищ та предметів, створюючи тим самим передумови мислення та формування понять;

3) забезпечення розумової діяльності як репродуктивного так, і продуктивного характеру, розвиваючи в учнів інтуїтивне, логічне, образне, абстрактне та інші види мислення.

Окрім цього, в ході виконання таких завдань вчитель (викладач) може вчасно отримувати інформацію про рівень засвоєн-



ня навчального матеріалу кожним учнем на даному уроці, що дозволить диференціювати їх за робочим темпом, індивідуальним стилем мислення, виконавською діяльністю; вчасно виявляти прогалини в знаннях і корегувати напрямки щодо їх ліквідації; гнучко керувати навчально-виховним процесом. Бажано, щоб під час роботи над цими завданнями учень міг здійснювати власну оцінку результату своєї навчальної діяльності та рівня опанованих ним знань; у разі необхідності скорегувати їх; самому оцінити свій внутрішній потенціал щодо природних та набутих здібностей.

За змістом пропонувані завдання різнобічно висвітлюють теоретичний матеріал: це і аналіз експериментальних даних, життєвих та природних ситуацій; і суто розрахункові задачі з використанням законів та формул, які містять нове поняття. За формою – це завдання з вибором варіанта (або декількох варіантів) правильної відповіді. Оскільки така форма забезпечує швидкий зворотній зв'язок між учнем та вчителем, що дозволяє вчасно корегувати процес опанування понять. Тому є сенс пропонувати навчально-діагностичні завдання у вигляді окремих питань, поставлених таким чином, щоб виявити ступінь розуміння учнем фактичного матеріалу, викладеного на уроці. Структура окремого завдання охоплює весь процес засвоєння знань, який, згідно психолого-педагогічних досліджень, є поетапним. *Перший етап* передбачає осмислення, аналіз, синтез, узагальнення первинного основного поняття і реалізується або на рівні сприйняття об'єктів, або через складну, у тій чи іншій мірі, систему інших понять. *Другий етап* передбачає включення нового поняття в систему інших понять, збагачуючи його конкретним змістом. *Третій етап* передбачає порівняння нових понять з іншими, включаючи часткові поняття до більш загальних. *Четвертий етап* реалізується організацією завдань розумової діяльності (якісних і розрахункових вправ, задач тощо). *П'ятий етап* передбачає закріплення знань за рахунок як мимовільного, так і довільного запам'ятовування. Першому виду запам'ятовування сприяє активізація пізнавальної діяльності учнів, а другому – повторення пройденого матеріалу попереднього уроку, теми, розділу тощо.

Зрозуміло, що крім можливості отримання вчителем (викладачем) потрібної інформації про рівень засвоєння знань, такі за-

вдання виконують і навчально-виховні функції, оскільки суб'єкт навчання пізнає певні реалії дійсності, розвиває пізнавальні здібності, здійснює перевірку власних гіпотез, самостійно визначає ступінь оволодіння знаннями та здійснює їх корекцію. Використовуючи аналіз, узагальнення, порівняння, а інколи й інтуїцію, суб'єкт дає відповіді на поставлені запитання і разом з тим отримує нову інформацію. Тому така система є засобом пізнання і, на нашу думку, частково реалізує дидактичні принципи свідомості та активності. Успішне виконання цього завдання на уроці або вдома свідчить не тільки про знання учня на певному рівні, але й має виховне значення: з'являється віра у власні можливості та певний інтерес до навчання. Самооцінка стає поштовхом до саморозвитку.

У § 2.1 наведена поурочна система навчально-діагностичних завдань з розділів «Основи МКТ» та «Основи термодинаміки». Як показує практика, пропонувати такі завдання доцільно на уроках (аудиторних заняттях) вивчення нового навчального матеріалу за 10-15 хв. до їх закінчення. Після виконання учнями (студентами) всього завдання слід ознайомити їх із варіантами правильних відповідей при обов'язковому поясненні та аналізі отриманих результатів самими учнями або вчителем. Зрозуміло, що такі завдання можна застосовувати й для перевірки та контролю знань на початку заняття.

З'ясування зони ближнього розвитку школярів (студентів) дозволяє більш ефективно ставити перед ними навчальні дослідницькі задачі як у вигляді домашнього завдання, так і на наступному уроці. При цьому педагог (викладач) сам вирішує, яку задачу і якому учню (студенту) слід пропонувати, враховуючи його індивідуальні особливості.

Підсумовуючи вищесказане, ми пропонуємо низку методичних порад щодо практичної реалізації пропонованої системи навчальних дослідницьких задач.

1. Визначити за допомогою навчально-діагностичних завдань зону ближнього розвитку кожного учня (студента).

2. При постановці задач враховувати індивідуальні особливості учнів (студентів), їх стиль мислення, рівень знань та пізнавальних інтересів, психологічний стан тощо. Для цього доцільно скористатись порадами шкільного психолога.

3. Здійснювати постановку кожної задачі таким чином, щоб реалізувати принцип проблемності навчання, тобто ставити перед школярами (студентами) задачу тоді, коли їм ще не знайомий хід її розв'язку, але знань для самостійного його знаходження в них уже достатньо.

4. Реалізовувати принципи особистісно-зорієнтованого навчання, пропонуючи учням (студентам) самостійний вибір цікавих їм задач.

5. Розумно дозувати кількість та складність задач стосовно конкретного учня.

6. Забезпечити органічне поєднання зовнішніх (наприклад, заохочувальний стимул у вигляді оцінювання навчальних досягнень) і внутрішніх (пізнавальний інтерес, допитливість) мотивів навчальної діяльності учнів (студентів).

7. Озброювати учнів (студентів) евристичними засобами розв'язування НДФЗ певних видів (побудова узагальнених планів дій, ознайомлення із різними методами розв'язування фізичних задач, застосування комп'ютерних програм тощо).

8. Розв'язок якісних задач на висунення припущень і формулювання гіпотез, що розкривають фундаментальні фізичні принципи (концепції, закони), варто організовувати фронтально, застосовуючи системи «непрямих підказок» чи евристичні бесіди;

9. Домашні задачі на формулювання висновків із спостережень та експериментів задавати перед поданням на наступному уроці (аудиторному занятті) відповідного теоретичного матеріалу, який пояснює отримані учнями (студентами) результати. Це викличе у школярів (студентів) відповідну зацікавленість щодо вивчення нового матеріалу.

10. Експериментальні задачі на розробку моделі експерименту та добір засобів вимірювання варто задавати учням (студентам) у вигляді домашнього завдання з подальшою реалізацією цього експерименту на уроці або організувати процес їх розв'язування через групову форму роботи учнів. У випадку виникнення в школярів труднощів при розв'язуванні задач цього виду є сенс застосувати систему «непрямих підказок».

11. Задачі на побудову ідеальної моделі краще ставити перед учнями (студентами) індивідуально.

Зауважимо, що поради 1-7 мають загально-дидактичний характер, а 8-11 – стосуються конкретних класів дослідницьких задач.

### *Завдання і запитання для самоконтролю*

1. Розкрийте особливості концепції Нової Української Школи.
2. Що таке компетентність у контексті навчальної діяльності?
3. Назвіть особливості діяльнісного підходу у навчанні?
4. Який зв'язок між компетентнісним і діяльнісним підходами у навчанні?
5. Чим навчальна діяльність відрізняється від інших видів діяльності?
6. Охарактеризуйте навчально-дослідницьку діяльність як системну цілісність.
7. Запропонуйте можливі декомпозиції навчально-дослідницької діяльності.
8. Назвіть особливості процедури навчально-дослідницької діяльності.
9. У чому полягає різниця між процедурою і процесом навчально-дослідницької діяльності?
10. Що таке навчально-дослідницьке уміння?
11. Охарактеризуйте операційно-процесуальний компонент навчально-дослідницької діяльності.
12. Розкрийте зміст мотиваційного компонента навчально-дослідницької діяльності.
13. Що розуміють під проблемно-змістовим забезпеченням навчально-дослідницької діяльності?
14. Що таке дослідницька фізична задача?
15. Які можливі класифікації навчальних дослідницьких задач з фізики?
16. Назвіть основні дидактичні функції дослідницьких фізичних задач.

## РОЗДІЛ 2

### Навчальні дослідницькі фізичні задачі

#### 2.1. Навчально-діагностичні завдання

*(Основи МКТ та її дослідне обґрунтування. Броунівський рух. Маса і розміри молекул. Кількість речовини)*

*Ліва сторона.*

*Права сторона.*

**Доповніть речення, вказавши правильний варіант відповіді.**

1. Молекула – це ...

1. Атом – це ...

**Відповіді на 1 завдання:**

*А – ...дрібна частинка тіла; Б – ...частика простої речовини, яка є найменшим носієм хімічних властивостей розглядуваного елемента; В – ... найдрібніша частинка однорідної речовини, яка є носієм її хімічних властивостей; Г – ... найменша неподільна частинка у природі; Д – Правильної відповіді не наведено.*

2. Атоми мають розміри порядку ...

2. Молекули (окрім деяких органічних сполук) мають розміри порядку ...

**Відповіді на 2 завдання:**

*А: ... $10^{-8}$ м; Б: ...  $10^{-9}$ м; В: ...  $10^{-10}$ м; Г: ...  $10^{-11}$ м;*

*Д – правильної відповіді не наведено.*

**Які з основних положень молекулярно кінетичної теорії:**

*А – Будь-яка речовина складається з найдрібніших частинок – молекул чи атомів, між якими є проміжки; Б – Атоми і молекули перебувають у безперервному хаотичному (тепловому) русі; В – Між молекулами (атомами) існують сили взаємодії (притягання і відштовхування), які залежать від відстані між ними;*

**пояснюють наступні факти?**

3. Збільшення об'єму тіла при його нагріванні.

3. Краплі гліцерину просочуються крізь стінки гідралічного преса.

4. Можливість здійснення таких технологічних операцій як склеювання, паяння, зварювання металів.

4. Поширення запахів деяких речовин.

5. Незначна доза барвника забарвлює весь розчин.

5. Тверді тіла, рідини та гази мають пружні властивості.

Дайте визначення наступним явищам, що підтверджують основи МКТ.

- |                                    |  |
|------------------------------------|--|
| 6. Осмос – це явище ...            | 6. Дифузія – це явище ...                |
| 7. Броунівських рух – це явище ... | 7. Теплове розширення тіл – це явище ... |

**Відповіді на 6-7 завдання:**

*А – ...при якому речовини самі по собі змішуються одна з одною;*

*Б– ...взаємного проникнення речовин крізь пористі перегородки;*

*В–... безладного руху завислих в рідині або газі дрібних твердих частинок під ударами молекул рідини або газу;*

*Г– ... збільшення об'єму тіла при нагріванні в результаті зміни проміжків між його молекулами (атомами);*

*Д – правильної відповіді не наведено.*

У завданнях 8-10 доповніть речення, вибравши правильний варіант відповіді.

- |  |  |
|--|--|
| 8. Кількість речовини ( $\nu$ ) – це ...         | 8. 1 моль – це ...                         |
| 9. Стала Авогадро – це ...                       | 9. Відносна атомна маса ( $A_r$ ) – це ... |
| 10. Відносна молекулярна маса ( $M_r$ ) – це ... | 10. Молярна маса ( $M$ ) – це ...          |

**Відповіді на 8-10 завдання:**

*А – ...відношення маси атома  $m_0$  даної речовини до  $\frac{1}{12}$  маси атома Карбону  $m_c$ ;*

*Б– ...сума відносних атомних мас атомів, які утворюють молекулу даної речовини;*

*В–... фізична величина, що є мірою кількості структурних частинок у тілі;*

*Г– ... одиниця вимірювання кількості речовини;*

*Д – ... кількість структурних частинок в 1-му молі ( $6,02 \cdot 10^{23}$  моль<sup>-1</sup>);*

*Е – маса одного моля даної речовини.*

1.16. На рис. 3 зображена установка, за допомогою якої демонструють осмос – повільне проникнення розчинника (води) в розчин якої-небудь речовини через розділяючу їх перегородку (плівку). Як зміниться у випадках *I* і *II* рівень рідини у вузькій трубці? Як буде себе поводити у цих випадках пориста перегородка – „дно” внутрішньої посудини?

1.17. Виходячи з розв’язку задачі 1.19, поясніть, чому броунівські частинки повинні бути відносно малі, щоб явище броунівського руху спостерігалось виразно.

**Дослідження на побудову ідеальної моделі.**

**а) графічної**

1.18. Відбувається лобове зіткнення молекули  $H_2$  з нерухомою молекулою  $CO_2$ . Побудуйте графік залежності швидкості молекули  $H_2$  від відстані до молекули  $CO_2$ .

**б) аналітичної**

1.19. Масу броунівської частинки збільшили в  $n$  раз. Як зміниться в результаті цього число ударів об неї молекул за деякий час?

1.20. Грудочку парафіну, об’єм якої  $1 \text{ мм}^3$ , кинули в гарячу воду. Грудочка розплавилася й утворила плівку, площа якої становить  $1 \text{ м}^2$ . Визначте діаметр молекули парафіну, вважаючи, що товщина плівки дорівнює діаметру молекули.

1.21. Кубічна решітка заліза містить один атом на елементарну комірку. Вважаючи відомими густину заліза  $\rho$  і його відносну атомну масу  $M_r$ , визначити відстань між найближчими атомами заліза.

1.22. Оцінити розміри атомів свинцю, вважаючи відомими його густину  $\rho = 11300 \text{ кг/м}^3$ , атомну масу  $A = 207$  і число Авогадро  $N_A = 6,023 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$ .

**Дослідження на добір засобів вимірювання.**

1.23. Дослідним шляхом визначити швидкість поширення пахучих речовин у повітрі кімнати. Обладнання дібрати самостійно.

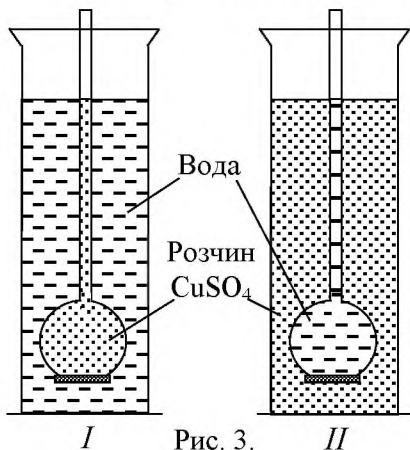


Рис. 3.

### **Дослідження на розробку моделі експерименту.**

**1.24.** Визначити, скільки молекул містить вода в склянці.

*Обладнання:* посудина з водою, склянка, мензурка (мірний циліндр).

**1.25.** Визначити кількість речовини, що міститься в певному тілі.

*Обладнання:* досліджуване тіло (мідне, залізне тощо), терези.

**1.26.** Визначити кількість речовини, що міститься в певному тілі правильної геометричної форми.

*Обладнання:* досліджуване тіло правильної геометричної форми (залізне, мідне, алюмінієве), штангенциркуль або лінійка, таблиці (густина речовин, періодичного закону хімічних елементів).

*IV рівень.*

### **На комплексне застосування наукових методів пізнання.**

**1.27.** Апарат «штучна нирка», запропонований у 50-их роках минулого століття німецьким лікарем В. Кольфом, утворює систему з плоских каналів, які розділені тонкими целофановими мембранами. Його приєднують до організму хворої людини через порожнисту та ліктьову вени таким чином, щоб діалізат – сольовий розчин, збагачений газовою сумішшю  $\text{CO}_2 + \text{O}_2$  і кров повільно рухались зустрічними потоками по суміжних каналах. Поясніть, яким чином при цьому досягається очищення крові хворого від азотистих шлаків та різноманітних токсичних речовин?

### **Ідеальний газ. Температура Основне рівняння МКТ.**

*I рівень.*

**Дослідження відмінностей між моделями та їх реальними прообразами.**

**2.1.** Як зміниться тиск повітря в кімнаті, якщо воно набуде властивостей ідеального газу?

**2.2.** Чи правильно буде уявляти собі ідеальний газ таким чином, що складається з частинок дуже малих розмірів, щось на зразок матеріальних точок? Відповідь обґрунтуйте.

**Дослідження на основі готових моделей:**

**а) відомих положень, правил, фактів, законів.**

**2.3.** Чи є температура подібно до маси, довжини тіл, часу тощо величиною адитивною? Наведіть приклади.

**2.4.** На висоті декількох сотень кілометрів молекули повітря володіють швидкостями, які відповідають температурі декількох



## Перший закон термодинаміки. Необоротність процесів у природі

*І рівень.*

**Дослідження відмінностей між моделями та їх реальними прообразами.**

- 8.1.** Чи можна роботу ідеального газу характеризувати зміною потенціальної енергії його молекул?
- 8.2.** Який газ – ідеальний чи реальний – охолоджується швидше при адіабатному розширенні? З'ясуйте причину.

**Дослідження на основі готових моделей:**

**а) відомих положень, правил, законів.**

**8.3.** Посудину з сумішшю двох різних газів, які не реагують між собою, уявно розділити на дві рівні частини. Чи можуть компоненти суміші без дії зовнішніх сил розділитись так, щоб в одній частині зібрались молекули одного, а в другій – молекули іншого сорту? За яких умов таке явище буде більш ймовірним?

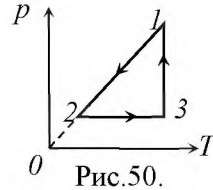
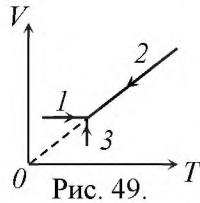
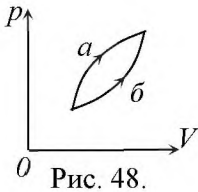
**б) відомих математичних співвідношень.**

- 8.4.** Під час ізобарного нагрівання аргон виконав роботу  $A = 8$  Дж. Яку кількість теплоти було надано газу?
- 8.5.** Одноатомному газу в балоні місткістю  $V = 1,5 \text{ м}^3$  при температурі  $T_1 = 300 \text{ К}$  і тиску  $p_1 = 1,8 \cdot 10^5 \text{ Па}$  надали кількість теплоти  $Q = 5,4 \cdot 10^4 \text{ Дж}$ . Визначити кінцеву температуру і тиск газу.
- 8.6.** У скільки разів питома теплоємність  $c_p$  одноатомного ідеального газу за сталого тиску більша за питому теплоємність  $c_v$  цього газу за сталого об'єму?

**в) графіків.**

- 8.7.** Газ у циліндрі розширився з початкового у кінцевий стан двома способами, які показано на рис. 48. Чи однакову кількість теплоти він дістав протягом переходу між станами?
- 8.8.** Визначте знак роботи газу під час переходів із станів 1, 2, 3 в кінцевий стан (рис. 49) і характер його теплообміну з навколишнім середовищем.

**8.9.** На рис. 50 у координатах  $p, T$  подано графік замкнутого процесу зміни стану якоїсь маси ідеального газу. Дослідіть, на яких стадіях процесу газ приймав якусь кількість теплоти, а на яких – віддавав.



*Прівень.*

**Дослідження на формулювання висновків із спостережень та експериментів.**

**8.10.** Накачайте насосом Шінца у товстостінну скляну посудину повітря до тих пір, доки з неї не вилетить корок. Який ефект спостерігається при вильоті корка? Перевірте, чи зміниться густина туману, якщо посудину попередньо сполоснути водою або кинути в неї палаючий сірник. Поясніть спостережуване явище.

**Дослідження на перевірку або доведення гіпотез.**

**8.11.** Чи залежить робота газу від швидкості його розширення?

**8.12.** Чи однакова кількість теплоти потрібна для нагрівання газу до тієї самої температури в посудині, закритій: 1) легко рухомим поршнем і 2) нерухомим поршнем?

**8.13.** Чи однаково нагрівається гармата, якщо для бойового і холостого пострілів використано однакову кількість пороху? Час перебування газів у стволі однаковий.

**8.14.** Чи рівноцінні однакові кількості механічної  $E_1$  і внутрішньої  $E_2$  енергій ( $E_1 = E_2$ ) з погляду можливості виконання за їх рахунок механічної роботи  $A$ ?

**8.15.** Газ у трубі закритий з торців поршнями, що мають різну масу. Чи залежить підвищення температури газу від того, який з поршнів різко зсунути? Труба горизонтальна.

**8.16.** Чи може існувати така речовина, яку можна перевести з деякого початкового стану в один і той же кінцевий стан і адіабатно, і ізотермічно?

### Ш рівень.

**Дослідження на висунення припущень і формулювання гіпотез.**

**8.17.** На рис. 51 зображено повздовжній розріз коркового пістолета. Діти помітили, що після гучного пострілу з такого пістолета біля отвору трубки утворюється сіра хмарка, а після тихого – ні. Як це пояснити?

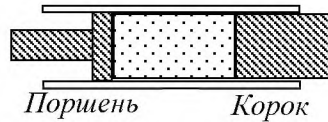


Рис.51.

**8.18.** Вуглекислотні вогнегасники заряджають зрідженим вуглекислим газом. З'ясуйте, чому при роботі вогнегасника з нього виходить щільна білувата хмара (“вуглекислий сніг”), а не рідина.

**8.19.** Чи може газ мати від’ємну теплоємність і охолоджуватись, коли він дістає теплоту?

**8.20.** Дослідіть, яке значення питомої теплоємності слід приписати ідеальному газу: 1) при ізотермічному розширенні ( $c'$ ); 2) при ізотермічному стисканні ( $c''$ ); 3) при адіабатному процесі ( $c_{ад}$ ).

**Дослідження на побудову ідеальної моделі.**

#### а) графічної

**8.21.** Накресліть в осях  $p, V$  графіки трикратного розширення сталої маси газу з певного початкового стану і порівняйте роботу газу для: а) ізотермічного; б) адіабатного; в) ізобарного процесів.

**8.22.** Який вигляд в осях  $p, V$  має зображений на рис. 45 цикл 12341 і на яких його ділянках газ віддавав або діставав теплоту?

**8.23.** Об’єм газу лінійно зріс від  $V_1 = 1$  л до  $V_2 = 2$  л, при цьому його тиск зменшився від  $p_1 = 2 \cdot 10^5$  Па до  $p_2 = 10^5$  Па. Яка кількість теплоти була підведена до газу в цьому процесі?

#### б) аналітичної

**8.24.** Що можна сказати про зміну внутрішньої енергії повітря в кімнаті, коли його нагріти при сталому тиску?

**8.25.** Волейбольний м’яч масою 200 г і об’ємом 8 л накачаний до надлишкового тиску 0,2 атм. М’яч був підкинутий на висоту 20 м і після падіння на твердий ґрунт підскочив майже на ту саму висоту. Оцініть максимальну температуру повітря у м’ячі в момент удару об ґрунт. Температура зовнішнього повітря 300 К, теплоємність повітря при постійному об’ємі 0,7 кДж/(кг·К).

**8.26.** В установках, призначених для значного нагрівання газу, його піддають різкому стисненню швидким поршнем. Оцініть, до якої максимальної температури може нагрітись одноатомний газ, що займає об'єм 3 л за нормальних умов (рис. 52), якщо поршню масою 3 кг надати швидкості 30 м/с.

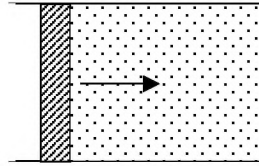


Рис. 52.

**8.27.** В розміщеному горизонтальному циліндрі (рис. 53) зліва від закріпленого поршня знаходиться одноатомний ідеальний газ, в правій частині циліндра – вакуум. Циліндр термоізований від навколишнього середовища, а пружина розміщена між поршнем і стінкою, спочатку знаходиться в недеформованому стані. Поршень звільняють, і після встановлення рівноваги, об'єм, що зайняв газ збільшився вдвічі. Як змінились при цьому температура і тиск газу? Теплоємностями циліндра, поршня і пружини знехтувати.

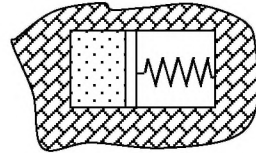


Рис. 53.

**8.28.** Для експериментального визначення відношення теплоємностей газу за сталого тиску і за сталого об'єму  $\gamma = \frac{C_p}{C_V}$  можна застосувати наступний метод. деяку кількість газу  $\nu$ , початковий об'єм і тиск якого дорівнюють  $V$  і  $p$ , нагрівається двічі за допомогою електричної спіралі, через яку пропускають струм на протязі одного й того ж часу: спочатку за постійного об'єму  $V$ , причому кінцевий тиск дорівнює  $p_1$ , потім за постійного тиску  $p$  з того ж початкового стану, причому кінцевий об'єм виявляється рівним  $V_2$ . Як за цими даними розрахувати  $\gamma$ ?

**8.29.** Термоізовану посудину із внутрішнім об'ємом  $V$  відкачали до глибокого вакууму. Оточуюче повітря має температуру  $T_0$  і тиск  $p_0$ . В деякий момент відкривається кран і відбувається швидке заповнення посудини атмосферним повітрям. Яку температуру  $T$  матиме повітря в посудині після її заповнення?

**8.30.** У гладкій термоізованій трубі знаходяться термоізовані поршні масами  $m_1$  і  $m_2$ , між якими в об'ємі  $V_0$  зна-

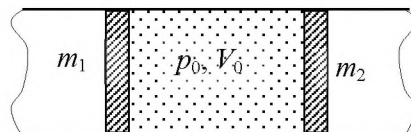


Рис. 54.

ходитьсь одноатомний газ за тиску  $p_0$  (рис. 54). Поршні відпускають. Визначте їх максимальні швидкості, якщо маса газу набагато менша маси кожного поршня, а уся система знаходиться у вакуумі.

### **Дослідження на розробку моделі експерименту.**

**8.31.** Оцініть потужність теплового випромінювання поверхні вашої долоні.

*Обладнання:* Теплоприймач, мікроманометр, секундомір, штатив, лінійка.

Примітка. Внутрішня енергія двохатомного ідеального газу обчислюється за формулою  $U = \frac{5}{2} \nu RT$ .

*IV рівень.*

### **На комплексне застосування наукових методів пізнання.**

**8.32.** Поясніть механізм утворення хмар. Оцініть зменшення температури повітря при його підйомі на 1 км, якщо відомо, що початкова температура повітря  $27^\circ\text{C}$  і що тиск повітря на вказаній висоті складає 0,9 від тиску біля поверхні. Для розрахунків скористатись формулами роботи ідеального двохатомного газу за адіабатного розширення та його внутрішньої енергії:

$$A = \frac{5}{2} \nu RT_1 \left[ 1 - \left( p_2/p_1 \right)^{2/7} \right], \quad U = \frac{5}{2} \nu RT.$$

**8.33.** Розв'язати попередню задачу, вважаючи, що при підйомі повітря відбулася конденсація наявної в повітрі водяної пари, масова частина якої складає 0,001 маси повітря, що піднялося. Питому теплоту пароутворення води вважати рівною  $2,5 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг}$ .

## **Принцип дії теплових двигунів та холодильних установок.**

### **ККД теплового двигуна**

*I рівень.*

**Дослідження відмінностей між моделями та їх реальними прообразами.**

**9.1.** Температура газів, які утворюються при згоранні палива в циліндрах карбюраторного двигуна автомобіля дорівнює  $2500 \text{ K}$ , температура вихлопних газів  $380 \text{ K}$ . Яким би був ККД двигуна автомобіля, коли б він став ідеальною тепловою машиною? Порівняти отриманий результат із значенням ККД реальних теплових машин даного типу (18-24 %).

9.2. Яку температуру розуміють під температурою холодильника у випадку ідеально діючого двигуна внутрішнього згорання?

**Дослідження на основі готових моделей:**

**а) відомих положень, правил, законів.**

9.3. Газ виконав замкнений цикл. Чи можна сказати, що виконана ним робота дорівнює: а) кількості теплоти, повернутій холодильнику; б) кількості теплоти, яку дістали від нагрівника; в) становить якусь частину цих кількостей теплоти?

9.4. Як залежить ККД автомобільного двигуна від висоти над рівнем моря, на якій його використовують?

**б) відомих математичних співвідношень.**

9.5. Газ здійснює цикл Карно. Термодинамічна температура нагрівника в  $n$  раз перевищує термодинамічну температуру холодильника. Яку частину кількості теплоти, одержаної за один цикл від нагрівника, газ передає холодильнику?

9.6. ККД ідеальної теплової машини  $\eta = 40\%$ . Чому дорівнює ККД машини, якщо внаслідок удосконалення її конструкції кількість теплоти, споживаної за цикл, збільшиться на  $20\%$ , а кількість теплоти, переданої холодильнику, зменшиться на  $10\%$ ?

**в) графіків.**

9.7. Порівняйте ККД двох циклів, зображених на рис. 43.

9.8. Над одним молем ідеального одноатомного газу здійснюють процес А – В (рис. 55). Обчисліть ККД цього процесу.

9.9. Який з циклів, зображених на рис. 42, відповідає тепловій машині, а який – холодильнику?

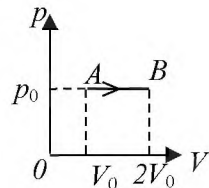


Рис. 55.

*П р і в е н ь.*

**Дослідження на формулювання висновків із спостережень та експериментів.**

9.10. Система повітряного охолодження ДВЗ в порівнянні з системою рідинного охолодження надійніша, простіша і дешевша. Які з цих типів двигунів застосовують на вантажних, сільськогосподарських та будівельних машинах. З'ясуйте, чому.

### **Дослідження на перевірку або доведення гіпотез.**

**9.11.** Двигун за той самий час використав у  $k$  раз ( $k > 1$ ) більше пального, ніж інший. Чи можна сказати, що його потужність більша?

**9.12.** Коли найдоцільніше вводити бензин у циліндр – на початку такту стиску, чи в його кінці?

**9.13.** Дослідіть, як краще підвищувати ККД ідеальної теплової машини: підвищуючи температуру нагрівника чи знижуючи температуру холодильника на  $\Delta T$ .

**9.14.** М'язи теплокровних живих істот (птахів і ссавців) виконують механічну роботу за рахунок енергії організму. Чи можна їх у зв'язку з цим вважати тепловою машиною?

### *III рівень.*

### **Дослідження на висунення припущень і формулювання гіпотез.**

**9.15.** Назвіть тепловий двигун, що працює, не здійснюючи циклічний процес.

**9.16.** Чому з підвищенням температури повітря та із збільшенням висоти польоту потужність повітряних реактивних двигунів зменшується?

**9.17.** Чому, незважаючи на зниження температури холодильника (навколишнього повітря), теплові двигуни автомобілів споживають взимку більше пального, ніж влітку?

**9.18.** Де треба розмістити в кімнаті працюючий побутовий холодильник з відкритими дверцятами, щоб він охолоджував кімнату?

**9.19.** За неправильного регулювання двигуна внутрішнього згорання інколи замість відносно повільного згорання пальної суміші починається так звана детонація, за якої суміш згорає швидко, з вибухом. Чому при цьому знижується ККД двигуна?

### **Дослідження на побудову ідеальної моделі.**

#### **а) графічної**

**9.20.** Порівняйте ККД й роботу циклів, зображених на рис. 56.

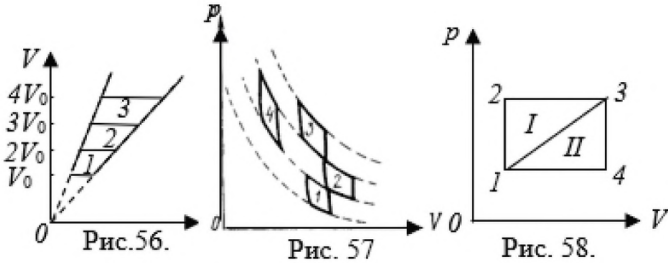
**9.21.** На рис. 57 зображено кілька циклів Карно однакової площі. Чи однакові ККД кожного циклу?

#### **б) аналітичної**

**9.22.** В холодильник, що споживає потужність 200 Вт, помістили воду масою 2 кг при температурі 301 К. Через 30 хв вся вода пе-

ретворилась на лід при температурі 268 К. Скільки теплоти розсіявав холодильник в оточуючий простір за весь цей час?

**9.23.** Визначити ККД теплових машин, які працюють за циклами  $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 1$  і  $1 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 1$ , якщо ККД машини, яка працює за циклом  $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 1$ , дорівнює  $\eta$  (рис. 58). Робоче тіло в усіх випадках – ідеальний газ.



**9.24.** Яку мінімальну кількість енергії потрібно затратити, щоб 1 кг води, взятої при  $0^\circ\text{C}$ , перетворити на лід? Температура оточуючого середовища  $20^\circ\text{C}$ .

**9.25.** Для опалювання приміщення використовується тепло, яке віддається повітрю при роботі теплового двигуна. Цей двигун приводить до дії холодильну машину, яка забирає тепло від ґрунтових вод і віддає його повітрю в кімнаті. Визначте теоретичний ККД такого циклу опалення, якщо температура у котлі теплового двигуна  $210^\circ\text{C}$ , температура води в батареї  $60^\circ\text{C}$ , а температура ґрунтових вод  $10^\circ\text{C}$ .

#### Дослідження на добір засобів вимірювання.

**9.26.** На транспорті зустрічаються автомобілі, у двигунах яких в якості палива застосовують бензин, природній газ та дизельне пальне. Експериментально дослідіть які з цих двигунів завдають найбільшої шкоди навколишньому середовищу. Засоби вимірювання доберіть самостійно.

*IV рівень.*

#### На комплексне застосування наукових методів пізнання.

**9.27.** Чому тварини малих розмірів живають відносно більшу масу їжі?



## ВІДПОВІДІ ДО ЗАДАЧ

### Основні положення МКТ

**1.1.** Металеві кульки символізують молекули рідини або газу, а циліндричне тіло – броунівську частинку. Температури. Насправді розміри та маси молекул у багато разів менші за броунівську частинку, причому у рідині відстані між молекулами сумірні їх розмірам.

**1.2.** Насправді навіть найпростіші молекули не можна вважати суцільними, оскільки вони складаються із дрібніших частинок, між якими теж є проміжки. Людина ніколи не зможе побачити молекули у звичному для нас розумінні цього слова, оскільки розміри молекул значно менші за довжину світлової хвилі (окрім деяких молекул органічних речовин). Тому ми можемо лише уявляти як вони “виглядають”. Якщо нас цікавить взаємодія або рух молекул, то з певним наближенням їх можна вважати суцільними маленькими кульками. Під діаметром молекули прийнято розуміти мінімальну відстань між їх центрами, за якої вони ще не руйнують одна одну.

**1.3.** а)  $\rho_p = \rho_u$ , б)  $\rho_p > \rho_u$ , в)  $\rho_p < \rho_u$ . **1.4.**  $10^{12}$ .

**1.5.**  $2,5 \cdot 10^{13}$  еритроцитів,  $3,3 \cdot 10^5$  молекул гемоглобіну в одному еритроциті.

**1.6.** У тілі  $l$  менша рівноважна відстань між молекулами і значно більша енергія взаємодії молекул, тому воно міцніше і має вищу температуру плавлення.

**1.11.** За однакових температур відношення імпульсів дорівнює  $\frac{p_1}{p_2} = \sqrt{\frac{m_1}{m_2}}$ . Звідки слідує, що масивніші молекули передають броунівській частинці більший імпульс.

**1.13.** За великих зовнішніх тисків, коли молекули знаходяться дуже близько одна від одної.

**1.14.** Сила тяжіння на Місяці значно менша, ніж на Землі. Тому Місяць не може втримати атмосферу.

**1.15.** Титан далі від Сонця, ніж Меркурій. Тому на ньому температура значно нижча, а значить і меншою є швидкість молекул атмосфери. Очевидно цієї швидкості молекулам недостатньо, щоб подолати гравітаційне тяжіння Титану.

**1.16.** Підніметься, опуститься, виступить назовні, втягнеться.

1.17. Із збільшенням розмірів маса броунівської частинки зростає швидше, ніж число ударів об її поверхню в  $\frac{n}{n^{2/3}} = \sqrt[3]{n}$  раз (див. 1.19). Тому під ударами молекул броунівська частинка набуває меншого прискорення. Крім того число некомпенсованих ударів молекул об частинку з обох боків від загального числа ударів з ростом площі поверхні частинки буде зменшуватись.

1.18. Відповідь на рис. 59. 1.19. Збільшиться в  $n^{2/3}$  раз. 1.20.  $1 \cdot 10^{-10}$  м. 1.21.  $2,3 \cdot 10^{-10}$  м. 1.22.  $3,12 \cdot 10^{-10}$  м.

1.23. Дві людини, одна із секундоміром, інша з флаконом одеколону, розходяться на деяку відстань. Перша вмикає секундомір у момент, коли інша знімає ковпачок з пляшки і, почувши запах, вмикає його. Після чого, вимірюючи відстань між собою, вони визначають швидкість поширення запаху.

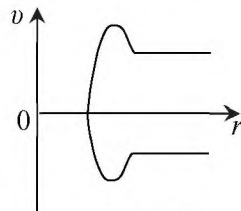


Рис. 59.

1.27. Внаслідок різниці осмотичних тисків із крові у сольовий розчин крізь мембрану проходять йони і молекули токсичних речовин та продуктів обміну.

### Ідеальний газ. Температура Основне рівняння МКТ.

2.1. Трохи збільшиться, оскільки зникнуть сили взаємодії між молекулами.

2.2. Не можна. Не маючи розмірів, частинки не зазнаватимуть зіткнень, тому їхня швидкість не буде безладно змінюватись. Такий газ не може бути моделлю реального.

2.3. Оскільки в результаті теплового контакту тіл середні кінетичні енергії поступального руху їх молекул урівнюються, то температура тіл не дорівнює сумі температур окремих тіл до контакту.

2.4. На цих висотах атмосфера дуже розріджена. Тому, хоча кожна молекула повітря й володіє значною кінетичною енергією, їх дуже рідко, щоб передати при зіткненні зі стінками супутника помітну кількість енергії. Поняття температури незастосовне до окремої молекули, а має місце лише для достатньо великої сукупності частинок.

2.5. У 4 рази. 2.6. Зменшиться у 2 рази. 2.7. Збільшиться в  $1,2^2 = 1,44$  рази. 2.8. Збільшиться, оскільки більшою стане концентрація молекул газу. 2.9. Тиск зменшився в 1,5 рази.

2.10. Згідно основного рівняння МКТ для ідеального газу, зменшити у  $\sqrt{8}$  раз, бо у 8 разів зросте концентрація молекул газу.

2.11. Збільшився в  $kz^2$  раз. 2.12.  $T \geq 0$  слідує з правої сторони рівності  $T = \frac{m_0 \bar{v}^2}{3k}$ , де всі величини додатні.

2.13. Графік *в*. 2.14. Молекули мають різні швидкості руху.

2.15. Крильчатка обертається в бік блискучих пластинок. При опроміненні пластинок крильчатки світлом їх темні поверхні нагріваються більше, ніж блискучі, що призводить до зростання середньої швидкості руху тих молекул повітря, які взаємодіють із темними поверхнями. Внаслідок чого розріджене повітря в посудині чинить на темні сторони пластин крильчатки більший тиск, ніж на блискучі.

2.16. Температура газу визначається за середньою кінетичною енергією хаотичного, а не впорядкованого руху молекул.

2.17. Власний об'єм молекул значно менший за об'єм всього газу.

2.18. Сумарна площа „поверхонь” усіх молекул в посудині об'ємом  $1 \text{ м}^3$  дорівнює  $\pi d^2 n \approx 10^5 \text{ м}^2$ , що значно більше за площу поверхонь посудини.

2.19. Водень. 2.20. Тиск буде однаковий. Збільшення середньої кінетичної енергії руху молекул повітря біля стінок грубки компенсуватиметься зменшенням їх концентрації.

2.21. Тиск буде різний під час руху дверей та при різних температурах повітря з обох їх боків.

2.22. Утворені з порошу гази мають високу температуру і їх молекули рухаються значно швидше, ніж молекули повітря.

2.23. а) вісь обертання має бути перпендикулярна до осі трубки і проходити через її кінець; б) збігатись з віссю симетрії трубки.

2.24. У початковий момент руху поршня, коли густина газу скрізь однакова, тиск його на поршень у 4 рази більший, ніж на стінки.

2.25. Тиск газу зростатиме від передньої до задньої стінки внаслідок неоднорідної концентрації його молекул.

2.26. Спочатку пластинка прискорюватиметься, рухаючись уперед холоднішим боком, а потім рухатиметься рівномірно. 2.27. Див. рис. 60. 2.28.  $7,2 \cdot 10^{22}$ .

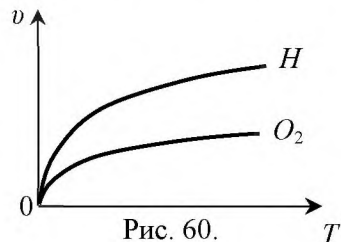


Рис. 60.

2.29. Оскільки швидші молекули віддаватимуть енергію повільнішим молекулам, то середня кінетична енергія руху молекул після змішування газів дорівнює:  $\frac{3}{2}kT = \frac{1}{2}\left(\frac{mv_1^2}{2} + \frac{mv_2^2}{2}\right)$ . Звідки

$$T = \frac{M(v_1^2 + v_2^2)}{6kN_A} = \frac{M(v_1^2 + v_2^2)}{6R}.$$

2.30. У системі відліку “поршень” молекула до удару матиме швидкість  $v_1 - v_2$ . Таку ж за модулем, але протилежну за напрямком, швидкість матиме молекула після удару об поршень. Тоді за правилом додавання швидкостей у системі відліку “стінка” молекула матиме швидкість  $v = v_1 - v_2 - v_2 = v_1 - 2v_2$ .

2.31.  $\Delta E_k \approx \frac{m_0 v_1^2}{2} - \frac{m_0}{2}(v_1 - 2v_2)^2$  (див. розв’язок попередньої задачі).

2.32. а) Оскільки удари молекул об стінку абсолютно пружні, то за час  $\Delta t$  стінка отримує імпульс  $F\Delta t = 2muN$ , де  $u$  – швидкість молекулярного пучка,  $N = nSu\Delta t$  – кількість молекул, що долетіли до стінки за цей час. Звідки  $p = 2mnu^2$ ; б) Відносна швидкість руху пучка та стінки дорівнює  $u + v$ . Звідки

$$p = 2mn(u + v)^2.$$

2.33. За час  $\Delta t$  на поверхні скла осідають ті атоми, які будуть в об’ємі  $vS\Delta t$ . Таких атомів  $\Delta N = nvS\Delta t$ , а їх маса  $\Delta m = m_0\Delta N = \frac{M}{N_A}nvS\Delta t$ , де  $m_0$  – маса атома срібла. Тоді за час  $\tau$  на скло осяде

$$\text{маса срібла } m = \frac{M}{N_A}nvS\tau. \text{ Але } m = \rho Sd. \text{ Звідки } \tau = \frac{\rho d N_A}{Mnv} = 5 \text{ хв.}$$

2.34. Тиск, який чинять молекули ідеального газу на стінки посудини, зазнаючи з нею абсолютно пружних зіткнень дорівнює

$$p = \frac{2}{3}nE. \text{ Оскільки атоми срібла прилипають до скла, то вони}$$

чинять на нього у двічі менший тиск. Тому в даному випадку

$$p = \frac{1}{3}nE = 0,2 \text{ Па. Середня відстань між атомами: } a = \frac{1}{\sqrt[3]{n}} = 3,7 \cdot 10^{-7} \text{ м. } T = 1450 \text{ К. } \frac{d}{\tau} = 0,59 \text{ мкм/с (див. розв’язок попередньої задачі).}$$

2.35. Тиск, який чинять молекули ідеального газу на стінки посудини, зазнаючи з нею абсолютно пружних зіткнень дорівнює

$$p = \frac{2}{3}nE = \frac{2}{3}n \cdot \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{3}nmv^2. \text{ Звідки } v = \sqrt{\frac{3p}{m}}.$$

2.36. Слід скористатись формулою  $\bar{v} = \sqrt{\frac{3pV}{m}}$ . Масу повітря визначаємо зважуванням кулі до та після відкачування з неї повітря. Після цього, зануривши вільний кінець трубки в посудину з во-

дою і відкривши затискач, наберемо в кулю води. Вимірюючи її об'єм знайдемо об'єм викачаного з кулі повітря. Тиск визначимо барометром.

**2.37.** Приєднуємо до однієї із скляних трубок манометр, а в іншу шприцом вприскуємо у посудину деякий об'єм рідкого ефіру  $V_p$ . Коли ефір випарується, він створить у посудині додатковий тиск, який можна визначити за різницею висот стовпчиків води у рідинному манометрі  $\Delta p = \rho g h$ . Згідно основного рівняння МКТ  $\rho g h = nkT$ . Концентрацію молекул ефіру в посудині виразимо через масу вприснутого рідкого ефіру  $n = \frac{m_p}{m_0 V} = \frac{\rho_p V_p}{m_0 V}$ , де  $m_0$  – маса молекули ефіру. Звідки  $m_0 = \frac{\rho_p V_p k T}{\rho g \square V}$ .

**2.38.**  $R \approx \sqrt{v \ell t}$ , де  $R$  – відстань поширення запаху за час  $t$ , а  $v$  і  $\ell$  – середня швидкість руху та середня довжина вільного пробігу молекул газу відповідно.  $R \sim T^{3/4}$  де  $T$  – абсолютна температура газу.

**2.39.** Можливий напрямок дослідження. Прив'язати до кульки тягарець такої маси, щоб вона вільно висіла у повітрі. Згідно закону Архімеда  $m_T + m_{OB} + m_G = \rho_{\Pi} V$ ,  $m_T$ ,  $m_{OB}$ ,  $m_G$  – маси тягарця, оболонки кулі та гелію відповідно;  $\rho_{\Pi}$  – густина повітря;  $V$  – об'єм кулі. Знайшовши з останнього рівняння масу гелію в кульці, обчислимо концентрацію його молекул за формулою  $n = \frac{m_G}{m_0 V}$ , де  $m_0$  – маса молекули гелію.

### Рівняння стану ідеального газу. Ізопроцеси в газах

**3.1.** Графіки не містять експериментальних даних про те, що відбувається з реальними газами за температур близьких до абсолютного нуля. Вони описують зміну станів ідеального газу, який є моделлю реального за певних інтервалів тисків і температур.

**3.2.** Ні. Тиск газу при стискуванні зростатиме більш круто. Добуток  $pV$  буде збільшуватися.

**3.3.** За високих тисків і низьких температур, коли газ близький до зрідження. **3.4.** Значення густин практично співпадають.

**3.5.** Значення густин змінилися б у 0,99 та в 1,03 рази.

**3.6.** У першому випадку  $p_{1i} = 3,10 \cdot 10^6$  Па, у другому –  $p_{2i} = 6,20 \cdot 10^7$  Па. Отже, в першій посудині тиск газу збільшився б на

$2,3 \cdot 10^5 \text{ Па} = 2,3 \text{ атм}$ , у другій – зменшився  $b$  на  $2,11 \cdot 10^8 \text{ Па} = 211 \text{ атм}$ . Очевидно, що за не дуже великих тисків реальні гази краще стискаються, ніж ідеальні (вплив сил притягання між молекулами), а за великих тисків краще стискаються ідеальні гази (вплив власного об'єму молекул).

**3.7.** Тиск газу визначається ударами молекул об стінки посудини. Імпульс, який кожна молекула передає стінці при ударі, пропорційна масі молекули та її швидкості. Якщо одна й та ж кількість молекул обох газів чинить однаковий тиск, то це означає що, швидкість молекул водню більша, ніж швидкість молекул кисню.

**3.8.** Вони не перетинаються в обох випадках.

**3.9.** Ні. Для доведення зручно розглянути описаний навколо кола квадрат, сторони якого є графіками ізопроцесів.

**3.10.** Підставивши у рівняння  $\frac{pV}{T} = \text{const}$ , вираз зміни об'єму, одержимо:  $T = c_1 V^2$ , де  $c_1 = \text{const}$ .

**3.11.** З рівняння стану ідеального газу  $\frac{pV}{T} = \nu R$  слідує, що кількість молекул однакова, а найбільшу масу матиме газ із найвищою молярною масою.

**3.12.** З рівняння стану ідеального газу  $V = \frac{mRT}{Mp}$  за сталих  $p$  і  $T$  слідує, що маса газу зменшувалась прямо пропорційно його об'єму. Універсальний газовий закон у цьому випадку застосовувати не можна.

**3.13.** Згідно рівняння Клапейрона  $\frac{V_1}{V_2} = \frac{\nu_1}{\nu_2}$ , отже, у даному випадку відношення тисків не залежить від температури.

**3.14.**  $25 \cdot 10^5 \text{ Па}$ . **3.15.**  $2,3 \text{ кг}$ . **3.16.**  $64,4 \text{ кг/м}^3$ . **3.17.**  $0,029 \text{ кг/моль}$ .

**3.18.** Густина кисню вдвічі більша. **3.19.**  $319 \text{ }^\circ\text{C}$ . **3.20.**  $\text{C}_5\text{H}_{12}$ .

**3.21.** Ізотермічний. Зростає втричі. **3.22.**  $100 \text{ К}$ . **3.23.**  $300 \text{ К}$ .

**3.24.** Об'єм газу зменшився.

**3.25.** Ізобари матимуть вигляд прямих, уявне продовження яких проходить через початок координат. Більший кут нахилу утворить ізобара  $b$ .

**3.26.**  $T_2$  – максимальна,  $T_1 = T_3$  – мінімальні.

**3.32.** Збільшується, оскільки із зменшенням глибини зменшується зовнішній тиск рідини, що діє на бульбашку.

**3.34.** Із рівняння стану ідеального газу слідує, що  $\frac{pM}{T} = \text{const}$ . Звідки, згідно умови повинна змінюватись молярна маса газу, отже газ не інертний.

**3.35.** Можна, якщо із зміною температури змінювати одночасно й масу газу.

**3.36.** Так.

**3.37.** У меншій посудині абсолютне підвищення тиску буде більшим, а процентне підвищення тисків в обох посудинах буде однаковим.

**3.38.** Вправо. **3.39.**  $M_A > M_B$ .

**3.40.** Оскільки  $\frac{m_2}{m_1} = \frac{p_2}{p_1} \cdot \frac{T_1}{T_2} > 1$ , то  $m_2 > m_1$ .

**3.41.** Підймальна сила визначається різницею густин повітря й газу в кулі. Оскільки,  $\Delta\rho = \frac{p(M_2 - M_1)}{RT}$ , то за сталого тиску із зменшенням температури підймальна сила зростає.

**3.42.**  $F = \rho g V = \text{const}$ . Дійсно, тиск  $p$  всередині і ззовні кулі однаковий. Густина повітря та об'єм газу в середині кулі відповідно дорівнюють  $\rho = \frac{pM_n}{RT}$ ,  $V = \frac{m_2 RT}{pM_2}$ . Звідки  $\rho V = \frac{M_n m_2}{M_2} = \text{const}$ .

**3.43.** Легені.

**3.44.** Тиск у середині сумки суглоба трохи менший від атмосферного. Тому поверхні суглобів щільно прилягають одна до одної. Високо в горах, де атмосферний тиск значно нижчий, щільність прилягання поверхонь у суглобах послаблюється, внаслідок чого легко зробити вивих.

**3.45.** Це можливо в осях  $\rho$ ,  $p$  (густина – тиск).

**3.46.** Це можливо за умов: а)  $m_2 > m_1$  за однакової молярної маси газів; б) молярна маса газу  $l$  більша при  $m_2 = m_1$ .

**3.47.** Зменшенням маси газу в посудині.

**3.48.** Кількістю речовини, кількість молів газу  $l$  більша.

**3.49.**  $\frac{m_1}{m_2} = \frac{T_2}{T_1}$ .

**3.50.** Вплив азоту на загальний тиск більший внаслідок більшої кількості молекул.

3.51. Оскільки  $m \sim \frac{V}{T} = \operatorname{tg} \alpha$ , то  $m_{\max} = m_2$ ,  $m_{\min} = m_1$  (рис. 61).

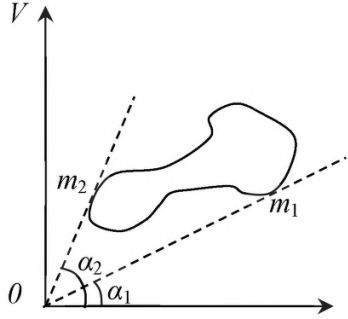


Рис. 61.

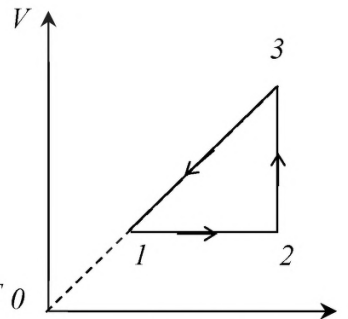


Рис. 62.

3.52. Якщо температура рідини збільшується зверху до низу.

3.53. Через відсутність конвекції (немає атмосфери) масивніші продукти згорання (частинки диму) не підніматимуться вгору, а газоподібні продукти згорання, внаслідок високих тиску і температури, розсіюються.

3.55. Див. рис. 62. 3.61. Відповідь на рис. 63. Величинам з індек-

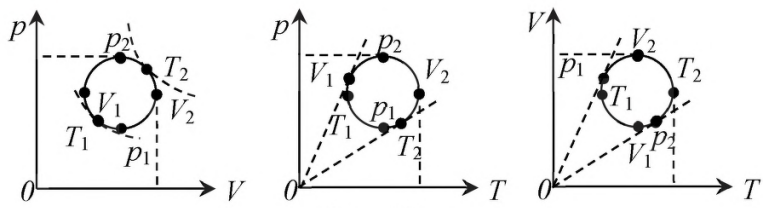


Рис. 63.

сами 1 відповідають мінімальні значення.

3.62. Див. рис. 64 ( $\rho_1 - \max$ ,  $\rho_2 - \min$ ). 3.63. Відповідь на рис. 65.

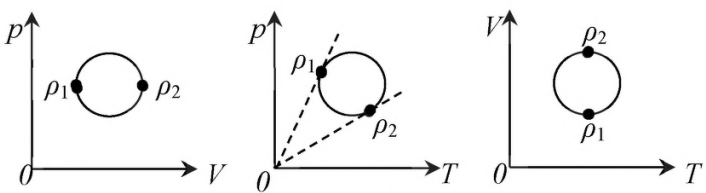


Рис. 64.



**3.64.** Згідно рівняння стану ідеального газу  $\rho = \frac{pM}{RT}$ , звідки графіки ізопроцесів матимуть вигляд як на рис. 66. **3.65.** Див. рис. 67.

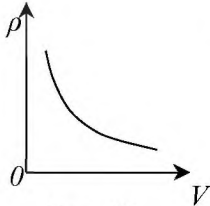


Рис. 65.

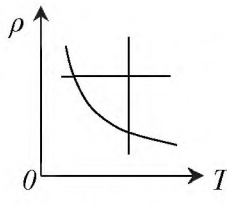


Рис. 66.

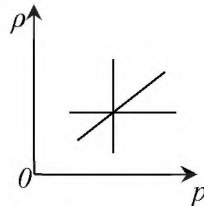


Рис. 67.

**3.66.** 29 г/моль, 28,5 г/моль. **3.67.** 2,43 кг/м<sup>3</sup>. **3.68.** 1,57 м/с.

**3.69.** 69,2 кПа.

**3.70.** Запишемо рівняння стану ідеального газу, що знаходиться в одній посудині до нагрівання (1), у посудині з незмінною температурою (2) та в посудині, в якій температура зросла (3),

$$pV = \nu RT, \quad (1)$$

$$p_1V = \nu_1RT, \quad (2)$$

$$p_2V = \nu_2RT_1. \quad (3)$$

Оскільки  $p_1 = p_2$  і  $\nu_1 + \nu_2 = \nu$ , то з (2) та (3) слідує, що  $\nu_2 = \frac{2\nu T}{T_1 + T}$ .

Підставивши отримане значення  $\nu_2$  у рівняння (3) та поділивши його на (1), одержимо, що тиск зросте в  $\frac{p_2}{p} = \frac{2T_1}{T_1 + T}$  рази. Як видно з останнього виразу, при необмеженому зростанні  $T_1$  відношення тисків прямує до 2. Тому тиск у системі максимально може збільшитись у 2 рази.

**3.71.** Записавши рівняння стану ідеального газу для трьох випадків

$$p_1V = \nu_1RT_1, \quad (1)$$

$$p_2V = \nu_2RT_2, \quad (2)$$

$$p_2V = (\nu_1 + \nu_2)RT. \quad (3)$$

і розв'язавши їх як систему, отримаємо, що  $p = \frac{T}{2} \left( \frac{p_1}{T_1} + \frac{p_2}{T_2} \right)$ .

**3.72.**  $3,0 \cdot 10^5$  Па. **3.73.** 400 кг. **3.74.** 67 °С. **3.75.** Збільшиться на 33,3

%; зменшиться на 20 %. **3.76.** 102 кПа. **3.77.**  $\square_2 = \frac{2p_0 + 3\rho g \square_1}{\rho g} \approx$

23,6м.

## ГЛОСАРІЙ

**Актуалізація знань** – відтворення раніше засвоєних знань, які необхідні як засіб для розв'язання навчальних проблем, здобуття і засвоєння нових знань.

**Аналіз** – розчленування досліджуваного об'єкта на окремі елементи і вивчення кожного елемента як частини цілого.

**Відкриття** – встановлення невідомих раніше об'єктивно існуючих закономірностей, властивостей і явищ об'єктивного світу, які вносять корінні зміни у рівень пізнання.

**Гіпотеза** – прийом наукового пізнання, який полягає у висуненні обґрунтованого припущення з метою пояснення причин, властивостей та існування явищ об'єктивної дійсності. Висунути гіпотезу – це значить сформулювати припущення про найбільш ймовірні причинно-наслідкові зв'язки, які існують між встановленими у результаті спостереження фактами і вже відомими теоретичними положеннями, явищами.

**Діяльнісний підхід у навчанні** – передбачає досягнення цілей навчання як продукту адекватної навчальної діяльності, суб'єктом якої є учень.

**Дидактичні умови** (організації навчального дослідження) – система вимог, дотримання яких в у процесі організації певного виду навчальної діяльності забезпечує її результативність.

**Дослідницький метод навчання** – це адаптована з врахуванням закономірностей і принципів навчання система прийомів (правил) відповідних наукових методів пізнання, використання яких дозволяє учням успішно здійснювати навчальне дослідження в ході виконання творчих навчальних завдань.

**Евристики** – такі загально-дидактичні прийоми, цілеспрямоване використання яких активно формує в учнів стратегії раціонального пошуку окремих етапів розв'язку навчальних проблем, навчально-дослідницьких задач тощо.

**Евристичні методи навчально-творчої діяльності** – дотримання системи евристичних правил діяльності педагога і дія-

льності учня, розроблених на основі закономірностей і принципів педагогічного керування і самокерування особистості, з метою розвитку інтуїтивних процедур діяльності учнів під час розв'язування творчих задач.

**Задача пізнавальна** – ціль, задана певними умовами, що передбачає пошук, відкриття і засвоєння нових знань, умінь (способів діяльності), спонукає до активного застосування наукових прийомів і методів пізнання.

**Задача фізична** – модель пізнавальної проблеми, викладена у словесній, знаковій формі, вирішення якої вимагає застосування структурних елементів фізичних знань (теорій, понять, законів, величин, експерименту) та методів наукового пізнання, які використовує фізика.

**Ідеальні моделі** – це моделі, які існують тільки у свідомості суб'єкта. Вони можуть фіксуватись за допомогою малюнків, певних символів (знаків), але всі перетворення елементів здійснюються у свідомості людини, яка користується при цьому логічними, математичними, фізичними правилами і законами.

**Індукція** – вид умовиводу (узагальнення), що являє собою спосіб пізнання від часткового до загального, коли на основі повторюваності певної властивості (знаки) в окремих явищах (об'єктах) робиться висновок про належність цих властивостей (ознак) до усього класу.

**Інтуїція** – здатність до безпосереднього розв'язання пізнавальної проблеми без попереднього логічного обґрунтування.

**Компетентність** – інтегральна характеристика суб'єкта діяльності: динамічна комбінація знань, способів мислення, поглядів, цінностей, навичок, умінь, інших особистих якостей, що визначає здатність особи успішно провадити професійну та/або подальшу навчальну діяльність.

**Метод навчання** – способи діяльності, які використовуються учителем і учнями у їх спільній і взаємозв'язаній роботі, спрямованій на досягнення цілей навчання, виховання і розвитку учнів.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Анісімов А. Ю. Розвиток методики складання та розв'язування задач в умовах реалізації стандартів фізичної освіти : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. пед. наук : 13.00.02. Київ, 2000. 20 с.
2. Атаманчук П. С. Управління процесом навчальної діяльності. Кам'янець-Подільський: Кам'янець-Подільський державний педагогічний інститут, 1997. 136 с.
3. Атанов Г. О. Теорія діяльнісного навчання. Навчальний посібник. Київ: Кондор, 2007. 186с.
4. Балл Г.А. Теория учебных задач. Москва: Педагогика, 1990. 183 с.
5. Білоус С. Дослідницькі ланцюжки, або методика динамічного моделювання. // Г-та "Фізика" № 17-18, 2004. К.: Шкільний світ. – 94 с.
6. Білоус С. Ю. Засвоєння досвіду творчої діяльності в педагогічній системі "Школа – Мала академія наук" на матеріалі фізики // Наукові записки. – Вип. 46. Серія: Пед. науки. – Кіровоград: РВЦКДПУ ім. Винниченка. – 2002. – 232 с.
7. Буряк В. К., Бугрій О. В. Формування в учнів узагальнених пізнавальних умінь. *Рідна школа*. 1993. №2. С.31–34.
8. Ващенко Г. Загальні методи навчання: підручник для педагогів. Видання перше. Київ: Українська Видавнича Спілка, 1997. 441 с.
9. Галатюк Ю., Рибалко А. Впровадження системи дослідницьких задач в курсі фізики середньої школи. *Сучасні технології в науці і освіті*: Збірник наукових праць: В 3-х томах. Кривий Ріг: Видавничий відділ КДПУ, 2003. Т2. С. 49–55.
10. Галатюк Ю. М., Рибалко А. В. Керування пізнавальною діяльністю учнів за допомогою навчально-діагностичних завдань. *Теорія і методика навчання математики і фізики*. Збірник наукових праць. Кривий Ріг: Видавн. відділ. Нау. МетАУ. Т. 2. 2002. С. 61–68.
11. Галатюк Ю. М., Рибалко А. В. Метод віртуальних переміщень – як засіб розвитку творчості учнів. *Науково-методичний журнал "Нова педагогічна думка"*. Рівне: РОППО, 2000. № 1. С. 115–121.

36. Костюк Г. С. Навчально-виховний процес і психічний розвиток особистості. Київ: Рад. шк., 1989. 608 с.
37. Левшенюк Я., Рибалко А. Метод розмірностей у шкільному курсі фізики. *Додаток до ж-лу "Нова педагогічна думка"*. Вип. 1. Рівне, 1997. С. 5–46.
38. Лутай В. С. Філософія сучасної освіти. Київ: Центр "Магістр-S" Творчої спілки вчителів України, 1996. 256 с.
39. Ляшенко О. І. Сучасні проблеми навчання фізики в контексті компетентнісного підходу до освіти. Збірник наукових праць Кам'янець-Подільського національного університету імені Івана Огієнка. Серія педагогічна. Кам'янець-Подільський: Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка, 2015. Вип. 21. С. 255–256.
40. Ляшенко О. І. Формування фізичного знання в учнів середньої школи: Логіко-дидактичні основи. Київ: Генеза, 1996. 128с.
41. Мартинюк М.Т. Вивчення фізики і астрономії в основній школі: Теорет. і метод. засади. Київ.: ТОВ «Міжнар. фін. Агенція», 1998. 274 с.
42. Методи розв'язування фізичних задач / Галатюк Ю.М. та ін. Харків: Вид. група "Основа", 2010. 224 с.
43. Методика розв'язування задач з фізики. Практикум. Коршак Є. В., Гончаренко С. У., Коршак Н. М. Київ: „Вища школа”, 1976. 240 с.
44. Нова українська школа. Міністерство освіти і науки України: веб-сайт. URL: <https://mon.gov.ua/storage/app/media/zagalna%20serednya/nova-ukrainska-shkola-compressed.pdf> (дата звернення: 12.06.2023).
45. Новак О. Ф. Збірник теоретичних задач і вправ з фізики: Посібник для вчителя. Київ: Рад. шк., 1989. – 189 с.
46. Павленко А. І. Методика навчання учнів середньої школи розв'язуванню і складанню фізичних задач: (теоретичні основи). Київ: ТОВ «Міжнар. фін. Агенція», 1997. 177 с.
47. Пастушенко С. М. Розв'язуємо задачі з фізики: У 3 вип.: Навч. посіб. Для загальноосвіт. навч. закл.: Вип. 2. Молекулярна фізика. Електрика і магнетизм. Київ: Діал., Кам.-Под.: Абетка, 2002. 200 с.

48. Психодіагностика – Галян І. М. – Модель Дж.-П. Гілфорда.  
URL: <https://subj.ukr-lit.com/psixodiagnostika-galyan-i-m-model-dzh-p-gilforda/> (дата звернення: 22.06.2023).

49. Рибалко А. Адаптація методу віртуальних переміщень до розв'язку задач з динаміки. *Збірник матеріалів / проблеми методики викладання фізики на сучасному етапі: матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції*. Кіровоград, 2000. С. 291–294.

50. Рибалко А. В. Систематизація навчальних дослідницьких задач за рівнями складності розумових операцій. *Нова педагогічна думка*. Рівне: Видавничий відділ РОІППО, 2004. №2. С. 38–42 с.

51. Рибалко А.В. Методологічний підхід до класифікації дослідницьких задач за їх дидактичними цілями. *Вісник Житомирського педагогічного університету*. Випуск 14. Житомир. 2004. С. 91–94.

52. Рибалко А. В., Галатюк Ю. М. Нетрадиційні методи розв'язування фізичних задач. Метод віртуальних переміщень у поступальному русі. *Газета “Фізика”*. №10, 2002. Київ: Шкільний світ. С. 20–24.

53. Розв'язування задач з фізики: Практикум / За ред. Є.В. Коршака. Київ.: Вищ. школа, 1986. 312 с.

54. Розв'язування навчальних задач з фізики: питання теорії і практики / за заг. ред. Є.В. Коршака. Київ: НПУ ім. М.П. Драгоманова, 2004. 185 с.

55. Український педагогічний словник / за ред. С. Гончаренка. Київ: Либідь, 1997. 376 с.

56. Фізика: Всеукраїнські олімпіади: завдання та їх розв'язування/ авт. -упоряд. С. У. Гончаренко. Київ: Либідь, 1997. 176 с.

57. Шут М. І., Сергієнко В. П. Науково-дослідна робота з фізики у середніх та вищих навчальних закладах: Навч. посіб. Київ: Шкільний світ, 2004. 128 с.

## ЗМІСТ

<i>Вступ</i> .....	3
<b>Розділ 1. Організація навчального дослідження з фізики</b> .....	5
1.1. Теоретичні засади організації навчального дослідження .....	5
1.2. Система навчальних дослідницьких фізичних задач.....	18
1.3. Методичні рекомендації до застосування системи НДФЗ .....	26
<b>Розділ 2. Навчальні дослідницькі фізичні задачі</b> .....	31
2.1. Навчально-діагностичні завдання.....	31
2.2. Система дослідницьких задач .....	76
а) Основи молекулярно-кінетичної теорії речовини.....	76
б) Основи термодинаміки.....	121
2.3. Відповіді до задач.....	136
<i>Глосарій</i> .....	177
<i>Список використаних джерел</i> .....	183

Навчальне видання

Галатюк Ю. М., Рибалко А. В.

**ДОСЛІДНИЦЬКІ ЗАДАЧІ З ФІЗИКИ  
У КОНТЕКСТІ НАВЧАЛЬНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ**

Навчально-методичний посібник

*Технічний редактор*

Власюк В.В.



Підписано до друку 22.08.2023 р. Формат 60x84 1/16.  
Папір офсетний. Гарнітура "Times New Roman". Друк офсет.  
Ум. друк. арк. 11,16. Наклад 100 пр. Зам. 60.  
Видавництво "Волинські обереги".  
33028 м. Рівне, вул. 16 Липня, 38; тел./факс: (0362) 62-03-97;  
e-mail: oberegi97@ukr.net  
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру  
суб'єкта видавничої справи ДК № 270 від 07.12.2000 р.  
Надруковано в друкарні видавництва "Волинські обереги".