

Міністерство освіти і науки України
Кіровоградська льотна академія
Національного авіаційного університету

Борота В.Г., Кузьменко О.С.

Фізика

Методичні вказівки
по виконанню розрахунково-графічної роботи з фізики № 1
(для курсантів КЛА НАУ)

Кіровоград
2014

УДК 22.3
ББК 531
Б 82

К о л е к т и в а в т о р і в :
В.Г. Борота – вступ, розділи 1, 2, 3.
О.С. Кузьменко – вступ, розділи 1,2, 3.

Р е ц е н з е н т :

Дмитрієв О.М. – в.о. завідувача кафедри льотної експлуатації аеродинаміки та динаміки польоту, старший викладач

В.Г. Борота, О.С. Кузьменко

Б 82 Фізика. Методичні вказівки по виконанню розрахунково-графічної роботи з фізики (робота № 1) / В.Г. Борота, О.С. Кузьменко – Кіровоград: КЛА НАУ, 2014. – 48 с.

ISBN 978-966-7878-883-0

Методичні вказівки по виконанню розрахунково-графічної роботи з фізики призначенні для курсантів льотної академії всіх спеціальностей. В методичних рекомендаціях наведено основні методи розв'язування задач, порядок їх виконання та представлення до захисту.

УДК 22.3

ББК 531

Розглянуто і рекомендовано до друку кафедрою фізико-математичних дисциплін, протокол № 6 від 22 травня 2014 року.

Розглянуто і рекомендовано до друку кафедрою льотної експлуатації, аеродинаміки та динаміки польоту, протокол № 11 від 26 травня 2014 року.

Розглянуто і рекомендовано до друку Методичною комісією Кіровоградської льотної академії Національного авіаційного університету, протокол №12 від 27.05.2014 р.

ISBN 978-966-7878-883-0

© Борота В.Г., Кузьменко О.С., 2014

ЗМІСТ

ВСТУП	4
Розділ 1 Основні методи розв’язування задач	6
Розділ 2 Етапи та загальні методи розв’язування задач	16
Розділ 3 Порядок виконання, представлення та захисту домашніх завдань.....	36
ВИСНОВКИ	38
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	39
ДОДАТОК А	40
ДОДАТОК Б	41
ДОДАТОК В	42
ДОДАТОК Г	44
ДОДАТОК Д	45

ВСТУП

Для успішного розв'язування задач з фізики велике значення відіграє знання теорії, але цього недостатньо. Необхідно, окрім конкретних знань оволодіти ще, узагальненими знаннями. Вони набуваються під час розв'язування задач, в основному до кінця вивчення курсу фізики в вузі. Узагальненими знаннями назвемо наступні: фізична задача, етапи розв'язку фізичної задачі. Основу узагальнених знань складають фундаментальні поняття фізики, які мають методологічний характер: фізична система, фізична величина, фізичний закон, стан фізичної системи, взаємодія, фізичне явище, ідеальні об'єкти, ідеальні процеси, фізична модель. Дані поняття взаємопов'язані та складають систему, знання якої набуті в школі та в подальшому удосконалюються в процесі засвоєння лекційного матеріалу з фізики у вищих навчальних закладах в умовах кредитно-модульної системи навчання.

Фізичною задачею називають певну проблему, яка в загальному випадку розв'язується за допомогою логічного обґрунтування, математичних дій та експерименту на основі законів фізики.

Розв'язати фізичну задачу – це знайти таку послідовність загальних положень фізики (законів, означень, принципів тощо), при якій застосування до умов задачі або до їхніх наслідків (проміжних результатів розв'язку) дає те, що вимагається в задачі, тобто її розв'язок. Узагальнена схема розв'язування фізичної задачі (Додаток А), передбачає цілий ряд відповідних дій мисленнєвого, діяльнісного та методичного характеру.

В даних методичних вказівках для курсантів зроблена спроба допомогти їм при виконанні розрахункової графічної роботи (РГР), навчити розв'язувати розрахункові та оціночні задачі передбачені програмою вивчення фізики, вірно оформляти виконану РГР.

Всі запропоновані методи розв'язку задач розглянуто на конкретних прикладах. Розв'язок задач, окрім 1 і 2, проведено з дотриманням відповідних етапів розв'язку.

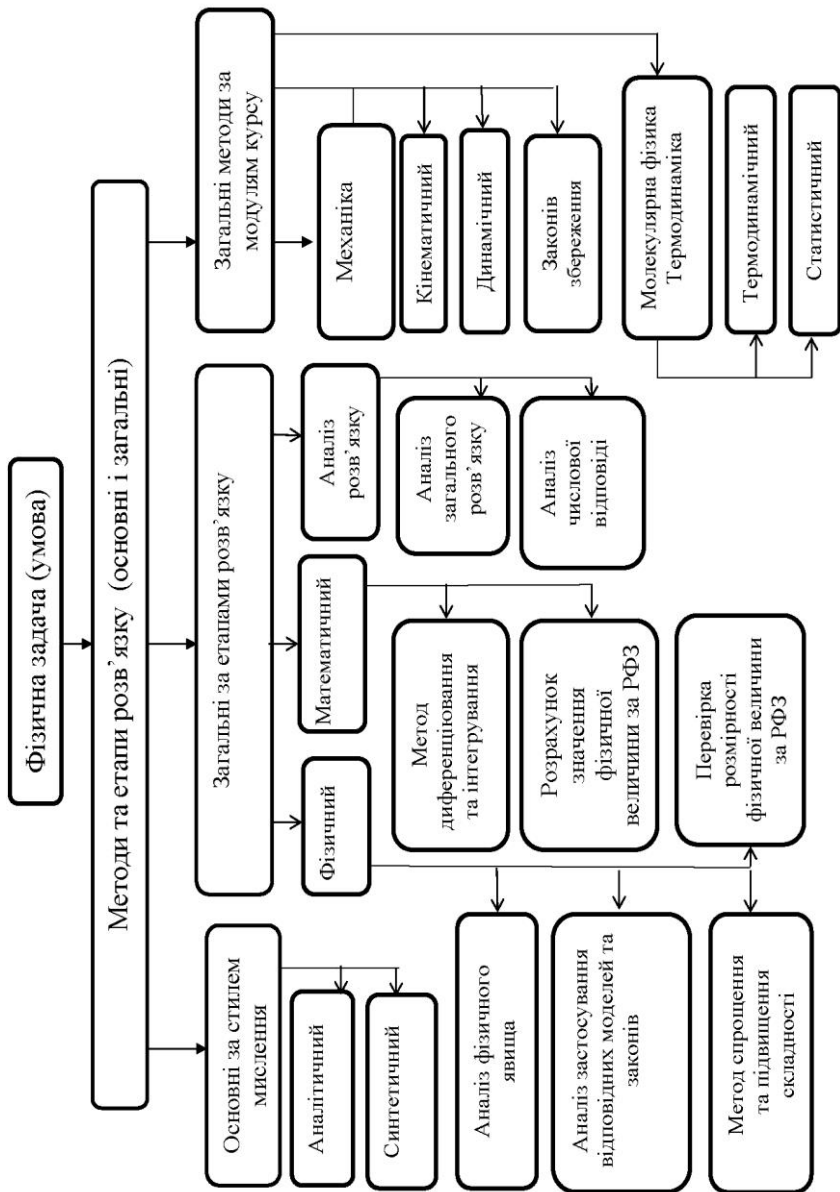


Рисунок 1.1 Загальна схема методів та етапів розв'язку задач

Розділ 1 Основні методи розв'язування задач

Аналізуючи узагальнену, досить громіздку, схему розв'язування фізичної задачі (Додаток А), доцільно виділити 4 основних, загальних етапи розв'язку задачі:

1 *Фізичний* (визначення фізичного явища, законів, зв'язків його з іншими явищами). В результаті проведення фізичного етапу розв'язку складається замкнута система рівнянь, яка відображає всі необхідні взаємодії в рамках даного фізичного явища (руху, зміни стану системи до, під час і після взаємодії).

Розв'язок даної системи рівнянь в загальному вигляді, відносно невідомої величини, дозволяє знайти робочу формулу задачі (РФЗ) (вираз, який містить в лівій частині рівності невідому шукану величину, а в правій – величини, що входили до складеної системи рівнянь разом з необхідними константами).

2 *Перевірка розмірності фізичної величини* (за РФЗ) здійснюється за робочою формулою задачі. Це дозволяє перевірити вірність розв'язку з точністю до безрозмірних величин, що входять в робочу формулу задачі.

3 *Розрахунок значення фізичної величини* (за РФЗ) здійснюється підстановкою числових значень, виражених в одиницях СІ, в робочу формулу задачі.

4 *Відповідь і аналіз одержаного результату* (правдоподібність числового значення, порівняння з запропонованим в задачі значенням для формування висновку в оціночних задачах та пояснення меж застосування даного розв'язку до реальних процесів.

Застосування 4-х загальних етапів розв'язку задач при виконанні розрахунково-графічної роботи суттєво спрощує «технологію» процесу виконання запропонованих завдань (РГР). Окрім того, розглянемо ряд основних і найбільш загальних методів розв'язування задач модулів «Механіка», «Молекулярна фізики та термодинаміка». На наш погляд, ці методи в поєднанні з запропонованими етапами розв'язку

фізичних задач, можна використовувати практично до всіх модулів курсу загальної фізики.

Загальна схема методів і етапів розв'язку задач показана на рис.1.1.

Пізнаючи предмети і явища оточуючого світу, людина подумки розділяє їх на складові частини та об'єднує їх в ціле. Розрізняють такі операції мислення – аналіз і синтез, що взаємопов'язані між собою.

Аналітичний метод полягає в тому, що розв'язувати задачу починають, відштовхуючись від конкретного питання, поставленого в умові. Аналізуючи умову задачі, виявляють, за допомогою якої формули можна визначити шукану величину. Але в більшості випадків знайдене співвідношення включає в себе невідому величину, для знаходження якої необхідно використовувати інші формули. Таким чином, здійснюється процес поділу повного розв'язку на ряд простих послідовних дій, в кожному з яких розв'язується своя мікропроблема. Цей процес продовжується до моменту, коли отримують формулу з усіма відомими величинами в правій частині. Ми назвемо її «робочою» формулою даної задачі.

В загальному випадку вихідна формула може містити декілька невідомих величин. Тоді в процесі розв'язку отримують систему формул (математичних рівнянь). В цьому випадку задача вважається розв'язаною, якщо розв'язана отримана система рівнянь.

При розв'язуванні багатьох задач необхідно розглядати фізичну систему. В цьому випадку необхідно розглянути стан її частин. Система формул, яка описує стан частин системи, складає систему рівнянь, розв'язавши яку отримують відповідь на запитання задачі.

Для прикладу розглянемо задачу.

Задача 1 Через блок, прикріплений до стелі kabіни ліфта, перекинута нитка, до кінців якої прикріплені вантажі $m_1=0,5\text{кг}$ і $m_2=0,6\text{кг}$.

Знайти силу тиску блока на вісь під час руху вантажів в двох випадках:

- 1) Ліфт піднімається рівномірно.
- 2) Ліфт піднімається з прискоренням $a_0=1,2 \text{ м/с}^2$. Маса блока нескінченно мала.

Тертям у вісі блока можна знехтувати.

Розв'язання:

1) *Фізичний етап розв'язку задачі.*

Запишемо скорочено умову задачі, виконаємо пояснювальний рисунок (рис. 1.1)

Дано:
 $m_1=0,5\text{кг}$
 $m_2=0,6\text{кг}$
 $a_0=1,2 \text{ м/с}^2$
 $g=9,8 \text{ м/с}^2$

$F_1 - ?$ $F_2 - ?$

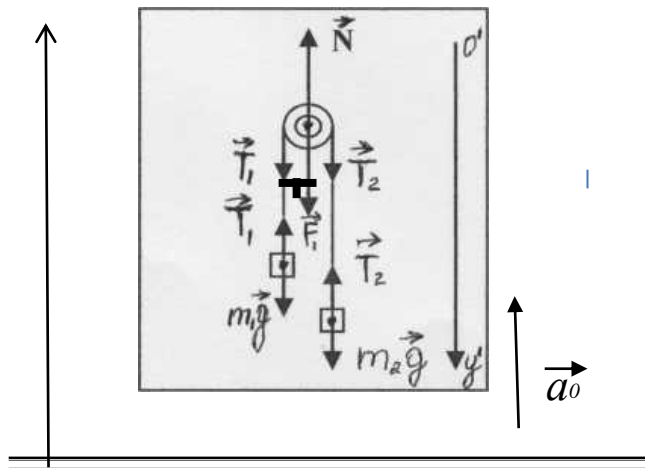


Рисунок 1.1 (до задачі 1)

В даній задачі розглядається фізичне явище механічного руху, в якому приймають участь три тіла (два вантажі зв'язані ниткою та блок), які рухаються з швидкостями значно меншими швидкостями світла. Це дозволяє використовувати закони класичної механіки для поступального руху. Вантажі в даному випадку можна розглядати як моделі матеріальних точок, які рухатимуться з однаковим прискоренням завдяки нерозтяжній невагомій нитці, що їх зв'яже та відсутності тертя в осі блока.

Запишемо II закон Ньютона в векторній формі, який дозволить визначити стан блоку і обох вантажів відносно Землі:

$$\begin{cases} m_{\ddot{a}} \cdot \vec{\ddot{a}} = \vec{N} + \vec{T}_1 + \vec{T}_2 + m_{\ddot{a}} \cdot \vec{g}, & (1.1) \\ m_1 \cdot \vec{a}_{1y} = \vec{T}_1 + m_1 \cdot \vec{g}, & (1.2) \\ m_2 \cdot \vec{a}_{2y} = \vec{T}_2 + m_2 \cdot \vec{g}. & (1.3) \end{cases}$$

де \vec{a}_{1y} і \vec{a}_{2y} - прискорення вантажів відносно Землі.

Розглянемо кожне із рівнянь окремо, враховуючи умови задачі і вибрані системи відліку. Оскільки, $|\vec{T}_1| = |\vec{T}_2| = |\vec{T}|$ рівняння (1.1) набуде вигляду:

$$\vec{N} + 2\vec{T} = 0 \Rightarrow \vec{N} = -2\vec{T}$$

Згідно III закону Ньютона $\vec{N} = -2\vec{T}$, розв'язок задачі зводиться до знаходження сили натягу \vec{T} . Тому перше рівняння остаточно набуває вигляду:

$$\vec{N} = -2\vec{T} \quad (1.4)$$

Із двох рівнянь, які залишилися (1.2) і (1.3) необхідно вивести значення \vec{a}_{1y} і \vec{a}_{2y} . В рухомій системі відліку «ліфт» вантажі будуть рухатися з прискореннями. Тоді відносно нерухомої системи (вісь у) значення прискорень \vec{a}_{1y} і \vec{a}_{2y} будуть однаковими:

$$\vec{a}_{1y} = \vec{a}_0 + \vec{a}; \quad \vec{a}_{2y} = \vec{a}_0 - \vec{a} \quad (1.5)$$

В проєкціях: $a_{1y} = a_0 + a$; $a_{2y} = a_0 - a$.

Тепер запишемо рівняння (1.1), (1.2) і (1.3) в проєкціях на вісь у':

$$\begin{cases} F = 2T, & (1.6) \end{cases}$$

$$\begin{cases} m_1(a_0 + a) = T - m_1g, & (1.7) \end{cases}$$

$$\begin{cases} m_2(a_0 - a) = T - m_2 \cdot g. & (1.8) \end{cases}$$

Отримана система рівнянь розв'язується як система трьох рівнянь з трьома невідомими F , T і a . Для того, щоб отримати

відповідь із рівнянь (1.7) і (1.8) знайдемо значення і підставимо в (1.6). Із (1.7) знаходимо значення a :

$$a = \frac{T - m_1(g + a_0)}{m_1} \quad (1.9)$$

Підставимо вираз (1.9) для a в (1.8) і знайдемо T :

$$m_2 \left(a_0 + \frac{T - m_1(g + a_0)}{m_1} \right) = T - m_2 g \Rightarrow$$

$$T = \frac{2m_1 m_2}{m_1 + m_2} (a_0 + g) \quad (1.10)$$

Після підстановки (1.10) в (1.6) отримаємо вираз для сили тиску F :

$$F_2 = \frac{4m_1 m_2}{m_1 + m_2} (g + a_0) \quad (1.11)$$

При $a_0 = 0$ отримаємо формулу для розрахунку сили тиску:

$$F_1 = \frac{4m_1 m_2}{m_1 + m_2} g \quad (1.12)$$

Формули (1.11) і (1.12) є робочими формулами даної задачі.

2) Перевірка розмірності фізичної величини за РФЗ:

Для перевірки розмірності використаємо формулу (1.11), як більш загальну:

$$[F] = \frac{[m_1] \cdot [m_2]}{[m_1 + m_2]} [[g] + [a_0]]$$

$$[F] = \frac{\hat{e}\tilde{a} \cdot \hat{e}\tilde{a}}{\hat{e}\tilde{a} + \hat{e}\tilde{a}} \left(\frac{\hat{i}}{\tilde{n}^2} + \frac{\hat{i}}{\tilde{n}^2} \right) = \frac{\hat{e}\tilde{a} \cdot \hat{i}}{\tilde{n}^2} = \hat{I}$$

3) Розрахунок значення фізичної величини за РФЗ:

$$F_1 = \frac{4 \cdot 0,5 \cdot 0,6 \cdot 9,8}{1,1} = 10,7 \text{ (} \acute{I} \text{)}$$

Для випадку $a_0 = 1,2 \text{ } \acute{i} / \ddot{n}^2$, використовуючи вираз (1.11), отримаємо значення F_2 :

$$F_2 = \frac{4 \cdot 0,5 \cdot 0,6 \cdot (9,8 + 1,2)}{1,1} = 12 \text{ (} \acute{I} \text{)}$$

4) Відповідь і аналіз одержаного результату

$F_1 = 10,7 \acute{I}$; $F_2 = 12 \acute{I}$. Таким чином, аналізуючи стан частин фізичної системи ліфта, блоку, вантажів масою m_1 і m_2 ми робимо висновок, що при русі ліфта вгору з прискоренням сила тиску блоку на вісь, зростає порівняно з рівномірним рухом системи ліфта.

Синтетичний метод представляє собою обернений до до аналітичного методу спосіб мислення.

Розгляд станів і процесів, які відбуваються в фізичній системі, починають з найбільш загальних законів, які виконуються в ній. Потім, використовуючи відомі закони, формули, закономірності, конкретизують ці найбільш загальні закони для умов даної задачі та знаходять відповідь на питання поставлені в умові. Розглянемо це на прикладі.

Задача 2 Холодильна машина працює за оберненим циклом Карно в інтервалі температур $t_1 = 27^{\circ}C$ і $t_2 = - 3^{\circ}C$. Робоче тіло – азот, маса якого $m = 0,2$ кг. Знайти кількість теплоти, яка відбирається від охолоджуваного тіла і роботу зовнішніх сил за цикл, якщо відношення максимального об'єму до мінімального $b = 5$.

Розв'язання:

1) *Фізичний етап розв'язку задачі.*

Запишемо скорочено умову задачі, виконаємо пояснювальний рисунок (рис. 1.3).

Дано:

$$t_1 = 27^\circ\text{C} \quad T_1 = 300\text{K}$$

$$t_2 = -3^\circ\text{C} \quad T_2 = 270\text{K}$$

$$m = 0,2 \text{ кг}$$

$$b = \frac{V_{\max}}{V_{\min}} = 5$$

$$\mu_{N_2} = 0,028 \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$$

$$i = 5$$

$$Q_2 - ? \quad A^* - ?$$

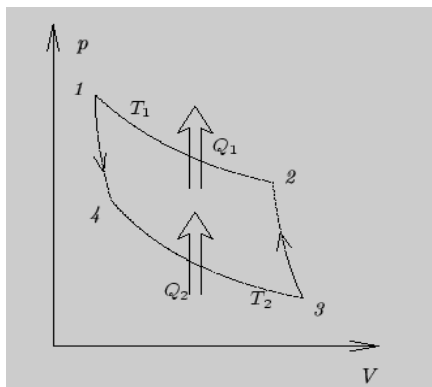


Рисунок 1.2 (до задачі 2)

В оберненому циклі Карно ізотермічне стиснення $2 \rightarrow 1$ відбувається за рахунок роботи зовнішніх сил над газом при більш високій температурі T_1 . При цьому газ віддає в навколишнє середовище кількість теплоти Q_1 . На ділянці $4 \rightarrow 3$ при більш низькій температурі T_2 від охолоджуваного тіла відбирається кількість теплоти Q_2 .

Процес в холодильній машині Карно підпорядковується таким загальним законам як перший і другий закон термодинаміки, згідно яким робота за цикл і зміна приведеної кількості теплоти будуть однаковими:

$$A = -Q_1 + Q_2; \quad \frac{Q_1}{T_1} - \frac{Q_2}{T_2} = 0 \quad (1.1)$$

На ділянках $1 \rightarrow 4$ і $3 \rightarrow 2$, $Q_{14} = Q_{32} = Q$, тому кількість теплоти:

$$Q_1 = Q_{21}, \quad \text{а} \quad Q_2 = Q_{43}$$

На ділянках $2 \rightarrow 1$ і $4 \rightarrow 3$ процес ізотермічний, тому конкретизуючи перший закон термодинаміки для даного процесу, отримуємо при $\Delta U = 0 \Rightarrow Q = A$

$$Q_2 = Q_{43} = A_{43} = \frac{m}{\mu} T_2 \ln \frac{V_4}{V_3} \quad (1.2)$$

Із рис.1.2 видно, $V_{\max} = V_3$, $V_{\min} = V_1$, тому:

$$\frac{V_{\max}}{V_{\min}} = \frac{V_3}{V_1} = b \quad (1.3)$$

Але стани 1 і 4 знаходяться на одній адіабаті, тоді із рівняння адіабатного процесу будемо мати:

$$\left(\frac{V_1}{V_4}\right)^{\gamma-1} = \frac{T_1}{T_2} \Rightarrow \frac{V_1}{V_4} = \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^{\gamma-1} \quad (1.4)$$

Перемножив почленно (4) і (3), отримаємо:

$$\frac{V_3}{V_4} = b \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^{\gamma-1} \quad (1.5)$$

Підставив відношення $\frac{V_3}{V_4}$ із (1.5) в (1.2), знайдемо вираз для кількості теплоти Q_2 :

$$Q_2 = \frac{m}{\mu} RT_2 \left(\ln b + \frac{1}{\gamma-1} \ln \frac{T_2}{T_1} \right), \quad (1.6)$$

де $\gamma = \frac{c_p}{c_v} = \frac{i+2}{i}$.

Що стосується роботи газу в оберненому циклі Карно, то вона від'ємна. Тому робота зовнішніх сил A^* визначається за формулою:

$$A^* = -A = Q_1 - Q_2$$

Використавши другий закон термодинаміки для даного процесу в виді (1), отримаємо:

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{T_2}{T_1} \Rightarrow Q_1 = Q_2 \frac{T_1}{T_2}$$

Тоді робота A^* визначається за формулою:

$$A^* = Q_2 \left(\frac{T_1}{T_2} - 1 \right) = Q_2 \frac{T_1 - T_2}{T_2} \quad (1.7)$$

Якщо підставити в (1.7) значення Q_2 із (1.6), отримаємо формулу для визначення A^* :

$$A^* = \frac{m}{\mu} R(T_1 - T_2) \left(\ln B + \left(\frac{1}{\gamma - 1} \right) \ln \frac{T_2}{T_1} \right) \quad (1.8)$$

друга робоча формула задачі.

2) *Перевірка розмірності фізичної величини за РФЗ:*

Із формули (1.6) і (1.8) видно, що вираз $\left(\ln B + \left(\frac{1}{\gamma - 1} \right) \ln \frac{T_2}{T_1} \right)$ розмірності немає. Тому розмірність визначатимемо за формулою:

$$[Q_2] = [A^*] = \frac{[m]}{[\mu]} \cdot [R] \cdot [T]$$

$$[Q_2] = \frac{\hat{e}\tilde{a}}{\hat{e}\tilde{a}/\hat{i}\tilde{e}\tilde{u}} \cdot \frac{\hat{A}\tilde{a}}{\hat{i}\tilde{e}\tilde{u}} \cdot \hat{E} = \hat{A}\tilde{a}$$

3) *Розрахунок значення фізичної величини за РФЗ:*

Числове значення Q_2 знайдемо підставив в (1.5) дані задачі, де для азоту: $\gamma = 1,4$.

$$Q_2 = \frac{0,2}{0,028} \cdot 270 \left(\ln 5 - \frac{1}{1,4 - 1} \ln \frac{300}{270} \right) = 21,6 (\hat{e}\hat{A}\tilde{a})$$

$$A^* = \frac{0,2}{0,028} (300 - 200) \cdot \left(\ln 5 - \frac{1}{1,4 - 1} \ln \frac{300}{270} \right) = 2,4 (\hat{e}\hat{A}\tilde{a})$$

4) *Відповідь і аналіз одержаного результату*

Відповідь: $A^* = 2,4$ кДж; $Q_2 = 21,6$ кДж.

Саме такими величинами визначають ефективність холодильної машини за допомогою холодильного коефіцієнта η_x :

$$\eta_x = \frac{Q_2}{A^*} = \frac{Q_2}{Q_1 - Q_2}$$

Холодильний коефіцієнта η_x завжди більший за одиницю на відміну від ККД теплових машин.

$$\text{В нашому випадку } \eta_x = \frac{21,6}{2,4} = 9.$$

Таким чином, виходячи з першого та другого законів термодинаміки, конкретизуючи їх до даної задачі, ми отримали відповіді на всі запитання поставлені в задачі. Необхідно відмітити, що дану задачу можна розв'язувати і аналітичним методом, розділив процес на окремі ділянки. Для кожного з них необхідно було б знайти значення Q , а потім зробити висновок про шукані величини Q_2 і A^* для всього процесу. Але такий шлях розв'язку задачі є громіздкішим і довшим, хоч теж приводить до правильного результату.

Вибір методу розв'язку задачі залежить від рівня підготовки курсанта. Буває так, що аналітичний метод приводить досить швидко до розв'язку задачі.

Відмітимо, що синтетичний метод розв'язку задачі буває ефективнішим під час виконання не дуже складних задач. Аналітичний є зручнішим при розв'язку складних задач. Доцільно спочатку розв'язати під проблему, а потім і основну проблему (питання), поставлений в умові задачі.

Розділ 2 Етапи та загальні методи розв'язку фізичних задач

Використання аналізу і синтезу може здійснюватися як в цілому при розгляді фізичної ситуації в задачі, так і на окремих етапах розв'язку задач.

Під час розв'язку більшості розрахункових та оціночних задач доцільно виділити наступні етапи:

- 1) Фізичний.
- 2) Перевірка розмірності за РФЗ.
- 3) Розрахунок значення фізичної величини за РФЗ.
- 4) Відповідь і аналіз одержаного результату.

Фізичний етап починається з ознайомлення з умовою задачі і закінчується складанням замкнутої системи рівнянь, яка відображає всі необхідні взаємодії в рамках даного фізичного явища (руху, зміни стану системи до, під час і після взаємодії). Даний етап вважається виконаним, якщо отримана розрахункова формула для фізичної величини, про яку запитують в умові задачі.

«Перевірка розмірності фізичної величини» за РФЗ дозволяє оцінити вірність знайденої розрахункової формули з точністю до безрозмірних величин, що входять до неї.

«Розрахунок значення фізичної величини» за РФЗ здійснюється підстановкою числових значень, виражених в одиницях СІ, в робочу формулу задачі. Аналізуючи числовий результат, досліджують відповідність числової відповіді фізично можливим значенням шуканої величини (наприклад, якщо час отриманий в ході розв'язку задачі менше нуля, то цей результат явно помилковий); якщо отримана багатозначна відповідь, то перевіряється достовірність результатів фізичному процесу описаному в задачі.

Необхідно пам'ятати, що, з точки зору практики, задача вважається розв'язаною повністю тільки в тому випадку, коли отримано вірну її загальну та числову відповідь.

«Відповідь та аналіз одержаного результату» включає перевірку правдоподібності числового значення, порівняння з

запропонованим в задачі значенням для формування висновку в оціночних задачах та пояснення меж застосування даного розв'язку до реальних процесів.

Аналіз розв'язку задачі – творчий процес, так як він може включати в себе і ряд інших елементів. В результаті аналізу використання кожного етапу розв'язку задачі можна запропонувати для розв'язку стандартних задач *систему загальних методів*, яка об'єднує: 1) метод аналізу фізичної ситуації задачі; 2) метод використання фізичного закону; 3) систему загально-вибіркових методів; 4) метод спрощення та ускладнення; 5) метод оцінки; 6) метод аналізу розв'язку.

Жоден з перелічених вище методів не є універсальним. Кожний із методів проявляє найбільшу силу тільки в системі методів.

Оскільки кожна фізична задача відтворює певне фізичне явище або ряд явищ, то для розв'язку задачі на першому (фізичному) етапі необхідно виділити ці явища, систему параметрів, законів і межі їх застосування. Для більшої ефективності роботи на першому етапі необхідно записати умову задачі, намагаючись зрозуміти дані та величини, які необхідно знайти, а також зв'язки між ними. Потім необхідно виконати креслення, схему або рисунок, позначити на ньому всі дані і величини, які необхідно знайти. Рисунок дає наочне уявлення про фізичне явище.

Спочатку визначають якісну, а потім і кількісну сторону фізичного явища.

Якісна сторона явища, це його відмінність від інших явищ, його суть, його процес. Конкретно під час таких міркувань вибирають: фізичну систему; якісні характеристики об'єктів (що собою являє фізичний об'єкт: матеріальна точка, тверде тіло, провідник, атом і т.п.); фізичний процес, в якому приймають участь фізичні об'єкти.

Потім встановлюють кількісні зв'язки різних фізичних величин у вигляді відповідних законів і закономірностей. Після

цього складають систему рівнянь, і задача вважається фізично розв'язаною.

Якщо за результатами першого етапу розв'язку, отримують відповідь, то така фізична задача називається *якісною*. Розглянемо це на прикладі.

Задача 3 Чи можна використовувати *ЕРС*, яка виникає на крилах літака для живлення бортових систем?

Розв'язання:

Суть явища полягає у взаємодії літака (фізичний об'єкт – провідник) з магнітним полем Землі, яке можна вважати постійним і у часі і в масштабах польоту.

Фізичний процес – рух провідника в постійному магнітному полі і виникнення *ЕРС* на кінцях крил літака. Для отримання електричного струму необхідно замкнути коло. Але замикання кола приведе до появи замкнутого контуру, який рухається в постійному магнітному полі рівномірно. Зв'язаний з контуром потік не буде змінюватись, значить в такому контурі не виникає *ЕРС* індукції, а значить, не виникає електричний струм.

Відповідь: *ЕРС*, яка виникає на кінцях крил літака використовувати не можливо.

Таким чином, *метод аналізу фізичної ситуації* задачі відповідає на питання: з чого починати? Що і як треба робити при розв'язку будь-якої стандартної задачі?

Система загально-вибіркових методів відрізняється тим, що може бути використана для розв'язку задач з любого розділу курсу загальної фізики.

Вона включає в себе: кінематичний, динамічний, законів збереження, розрахунку фізичних полів. Для здійснення цих методів під час математичних перетворень використовують метод диференціювання та інтегрування, методи оцінки, спрощення та ускладнення.

Для використання *методу диференціювання та інтегрування* необхідно здійснення двох принципів:

а) можливість представлення закону в диференціальній

формі;

- б) суперпозиція (якщо величини, що входять в закон, адитивні).

Суть методу полягає в тому, що фізичний процес розбивається на елементи або за часом, або в просторі, або в межах величини, яка змінюється, для того, щоб можна було примінити відомі закони для частин даного процесу або фізичної величини. Це етап *диференціювання*.

Далі, використовуючи принцип суперпозиції, сумуємо диференціальні значення за всіма ділянками зміни часу, простору або самої величини і отримуємо значення невідомої величини. Це етап *інтегрування*.

Для першого етапу є складність вибору величини для отримання її диференціалу. Це може бути і час, і координата, і сама фізична величина. Важливо, щоб вибрана величина, а точніше її диференціал, давав або рівномірний, або стаціонарний процес в уявному розподілі видовженого тіла на систему матеріальних точок.

Для другого етапу найбільш складним є вибір змінної інтегрування і визначення меж. Змінна інтегрування вибирається так, щоб вона була найбільш суттєвою. Решту змінних виражають через неї як функції головної змінної.

Потім визначаються межі інтегрування як крайні (граничні) значення змінної інтегрування. Після обчислення визначеного інтегралу отримують числове значення невідомої фізичної величини.

Розглянемо використання даного методу на конкретному прикладі.

Задача 4 Тонкий стержень довжиною $\ell=1\text{ м}$ і масою $0,8\text{ кг}$ розташований горизонтально. Визначити напруженість гравітаційного поля стержня в точці A , яка знаходиться на повздовжній осі на відстані $\Delta=1\text{ м}$ від його кінця.

Розв'язання:

1) *Фізичний етап розв'язку задачі.*

Запишемо скорочено умову задачі, виконаємо пояснювальний рисунок (рис. 2.1).

Дано:

$$\ell = 1 \text{ м}$$

$$m = 0,8 \text{ кг}$$

$$\Delta = 1 \text{ м}$$

$$\gamma = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3 / \text{кг} \cdot \text{с}^2$$

$$G = ?$$

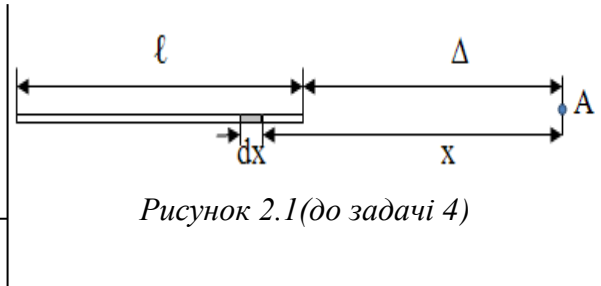


Рисунок 2.1(до задачі 4)

Після розгляду умови можна визначити, що в даній задачі досліджується гравітаційне поле, а методом розв'язку буде метод розрахунку фізичних полів. Напруженість є одна із характеристик даного поля. Із курсу загальної фізики відомо, що величина напруженості гравітаційного поля для точкової маси визначається за формулою:

$$G = \gamma \frac{m}{r^2} \quad (2.1)$$

Використати дану формулу не можливо, так як, масу стержня відповідно до умови задачі не можна вважати точковою, тому що $\Delta = l$.

Використовуємо метод диференціювання та інтегрування. Розіб'ємо стержень на дуже малі ділянки так, щоб кожному таку ділянку можна вважати матеріальною точкою. Розглянемо одну таку ділянку довжиною dx , яка знаходиться від точки A на відстані x . Маса цієї ділянки точкова і складає $dm = \frac{m}{l} dx$. Тут є головна змінна x , а m виражена через неї як функція. Маса dm створює гравітаційне поле, напруженість якого:

$$dG = \gamma \frac{\frac{m}{l} dx}{x^2}. \quad (2.2)$$

Перша частина методу закінчена. Переходимо до інтегрування, тобто знаходимо суму значень напруженості

гравітаційних полів, створених точковими масами. Змінна інтегрування уже визначена – це x . Залишається визначити межі. Змінна x змінюється в межах від $\Delta=1m$ до $\Delta+l=2m$. Інтегруючи (2.2) за x в цих межах, отримаємо значення шуканої величини:

$$G = \int_{\Delta}^{\Delta+l} \gamma \frac{m}{l} \frac{dx}{x^2} = \gamma \frac{m}{l} \left(\frac{1}{\Delta} - \frac{1}{\Delta+l} \right) \quad (2.3)$$

Ми отримали розв’язок в загальному вигляді. Підставляємо числові значення, отримуємо:

$$G = 2,66 \cdot 10^{-11} \text{ м/с}^2$$

Проаналізувавши загальний розв’язок ще раз, переконуємось в тому, що не можна замінити стержень матеріальною точкою з масою m на відстані $\Delta+l/2$, так як після перетворень формула (2.3) приймає вид:

$$G = \gamma \frac{m}{\Delta^2 + \Delta l} \quad (2.4)$$

Якби ми припустили, що стержень – матеріальна точка з масою m на відстані $\Delta+l/2$, то в цьому випадку формула (1) набуває виду:

$$G^* = \gamma \frac{m}{\left(\Delta + \frac{l}{2} \right)^2} = \gamma \frac{m}{\Delta^2 + \Delta l + l^2} \quad (2.5)$$

Зрозуміло, що $G \neq G^*$.

Аналіз числової відповіді показує, що порядок величини відповідає значенню γ , так як $m \approx 1 \text{ кг}$, а $\Delta = 1 \text{ м}$.

Розмірність величини $[G] = \frac{\dot{I}}{\hat{e}\hat{a}} = \frac{\dot{i}}{\hat{n}^2}$, що відповідає її визначенню, так як значення G повинно визначати прискорення вільного падіння тіла, гравітаційне поле якого ми досліджуємо.

Розв’язок задачі закінчено.

При розв’язуванні складніших задач використовують **метод спрощення та ускладнення**. Його широко використовують на етапі аналізу розв’язку задачі. На цьому

етапі метод спрощення та ускладнення дозволяє розгорнути будь-яку задачу в «блок» складніших або простіших задач.

Складовими частинами методу є два взаємопов'язаних і протилежних процеси спрощення та ускладнення. При спрощенні ідеалізується система, процес, відкидаються вторинні процеси, нехтують несуттєвими деталями. Ускладнюючи процес розв'язку або аналізу задачі, враховують раніше відкинуті об'єкти, зв'язки, явища, деталі. В основі цих процесів лежить метод оцінки. Оцінку проводять за величиною і порядком отриманого результату. Для системи однорідних величин порівнюють їх порядки. Розглянемо приклад.

В результаті загального розв'язку задачі отримали наступну розрахункову формулу:

$$\Delta m = \frac{V_{\mu}(p_1 T_2 - p_2 T_1)}{RT_1 T_2} \quad (2.6)$$

де $V=9\text{л}$ – об'єм газу, $\mu=0,002\text{ кг/моль}$, $p_1=52 \cdot 10^5\text{ Па}$, $T_1=296\text{ К}$, $p_2=5 \cdot 10^4\text{ Па}$, $T_2=283\text{ К}$.

Необхідно оцінити порядок величини. Переведемо всі величини в систему СІ:

$V=9 \cdot 10^{-3}\text{ м}^3 \approx 10^{-2}\text{ м}^3$, $\mu=2 \cdot 10^{-3}\text{ кг/моль}$, $p_1=5 \cdot 10^6\text{ Па}$, $T_1 \approx 3 \cdot 10^2\text{ К}$, $p_2=5 \cdot 10^4\text{ Па}$, $T_2=3 \cdot 10^2\text{ К}$.

Із цих даних видно, що $T_1 \approx T_2$ і замість формули (2.6)

можна отримати: $\Delta m = \frac{V_{\mu}(p_1 - p_2)}{RT}$ (2.7), значення $p_2 \ll p_1$,

звідки слідує, що $\Delta m \approx \frac{V_{\mu} p_1}{RT}$. Підставивши дані отримаємо

$$\Delta m = \frac{10^{-2} \cdot 2 \cdot 10^{-3} \cdot 5 \cdot 10^6}{8 \cdot 3 \cdot 10^2}; \quad \Delta m \approx 4 \cdot 10^{-2}\text{ кг.}$$

Точніший підрахунок дає результат: $\Delta m = 3,8 \cdot 10^{-2}\text{ кг}$.

При порівнянні декількох фізичних величин, які залежать одна від одної, знаходять їх відношення в загальному вигляді, а потім знаходять числове значення даного відношення і роблять висновок.

Розглянувши систему загально-вибіркових на прикладі розв'язку задачі 4, ми розглянули *метод розрахунку фізичних полів*. Не менш важливими є раніше перелічені кінематичний, динамічний і метод законів збереження.

Кінематичний метод направлений на розв'язок основної задачі кінематики. Формально цих задач дві: пряма і обернена. *Пряма задача кінематики* полягає в знаходженні любого параметру руху за відомим законом руху. *Обернена задача* – визначення закону руху за яким-небудь відомим параметром руху (вектора швидкості \vec{v} або прискорення \vec{a}). Етапи розв'язку задач при цьому, зрозуміло, зберігаються. Розглянемо приклади прямої і оберненої задач кінематики.

Задача 5 (№1.25 із (3)). Залежність пройденого шляху S від часу t задано рівнянням: $S = A + Bt + Ct^2 + Dt^3$, де $C = 0,14 \frac{м}{с^2}$,

$$D = 0,01 \frac{ї}{ї^3}.$$

- 1) Через скільки часу після початку руху прискорення тіла стане $1 \frac{м}{с^2}$?
- 2) Чому дорівнює середнє прискорення тіла за цей проміжок часу?

Розв'язання:

1) *Фізичний етап розв'язку задачі.*

Запишемо скорочено умову задачі.

Дано:
$S = A + Bt + Ct^2 + Dt^3$
$C = 0,14 \frac{м}{с^2}$
$D = 0,01 \frac{ї}{ї^3}$
$a = 1 \frac{ї}{ї^2}$

$t-?$	$a_{їд}-?$
-------	------------

Фізична система складається із тіла, яке приймаємо за матеріальну точку. Задано формально закон руху. Необхідно визначити параметри руху. Це означає, що дана задача є пряма задача кінематичного методу. Значення параметрів визначаються із закону руху. Прискорення обчислимо як другу похідну від закону залежності

пройденного шляху від часу:

$$a = S'' = (A + Bt + Ct^2 + Dt^3) \quad (2.8)$$

Формула (2.8) представляє собою фізичну умову даної задачі.

$a = v'$, тому спочатку знайдемо $v = S'$

$$v = B + 2Ct + 3Dt^2 \quad (2.9)$$

Тоді

$$a = v'' = 2C + 6Dt \quad (2.10)$$

Величина прискорення a із (2.10) є лінійна функція часу, тому середнє значення a можна визначити як середнє арифметичне значень

$$a_1 = 2C + 6Dt_1 \quad i \quad a_2 = 2C + 6Dt_2,$$

де $t_1 = 0$, $t_2 = t$ визначаємо із формули (2.10):

$$t = \frac{a - 2C}{6D} \quad (2.11)$$

Остаточно для значення середнього прискорення маємо:

$$a_{\bar{n}\delta} = \frac{a_1 + a_2}{2} = \frac{1}{2}(2C + 2C + 6D \cdot \frac{a - 2C}{6D}) = \frac{1}{2}(2C + a) = C + \frac{a}{2} \quad (2.12)$$

Формули (2.11) і (2.12) є загальним розв'язком задачі.

2) *Перевірка розмірності фізичної величини за РФЗ:*

$$\begin{aligned} [t] &= \frac{[a] - [c]}{[D]} & [t] &= \frac{\frac{\dot{i}}{\tilde{n}^2} - \frac{\dot{i}}{\tilde{n}^2}}{\frac{\dot{i}}{\tilde{n}^3}} = \frac{\frac{\dot{i}}{\tilde{n}^2}}{\frac{\dot{i}}{\tilde{n}^3}} = \tilde{n} \\ [a_{\bar{n}\delta}] &= [\tilde{N}] + [\dot{a}] & [a_{\bar{n}\delta}] &= \frac{\dot{i}}{\tilde{n}^2} + \frac{\dot{i}}{\tilde{n}^2} = \frac{\dot{i}}{\tilde{n}^2} \end{aligned}$$

3) *Розрахунок значення фізичної величини за РФЗ:*

$$t = \frac{1 - 2 \cdot 0,14}{6 \cdot 0,01} = 12 \text{ (с)}$$

$$a_{\tilde{n}\delta} = 0,14 + \frac{1}{2} = 0,64 \left(\frac{\dot{i}}{\tilde{n}^2} \right).$$

4) *Відповідь і аналіз одержаного результату:*

Із загального розв'язку задачі, зокрема формули (2.12) видно, що $\dot{a}_{\tilde{n}\delta}$ не залежить від часу. Таким чином, закон зміни прискорення може бути представлений у вигляді:

$$\dot{a} = \dot{a}_{\tilde{n}\delta} \cdot t \quad (2.13)$$

Тобто цей рух можна охарактеризувати як рух (під дією) наростаючої з часом сили. Такі види руху характерні для всіх тіл, що починають рух.

Для аналізу числової відповіді можна визначити, наприклад, через який час зазнає п'ятикратного перевантаження ракета, яка стартує, закон руху якої задано умовою задачі. Використовуючи (2.13), покладемо $a = 4g$, тому для часу отримаємо:

$$t = \frac{4g}{a_{\tilde{n}\delta}}; \quad t = \frac{4 \cdot 9,8}{0,64} = 61,25 \text{ с} \approx 1 \delta \hat{a}.$$

Задача 6 Потяг рухається рівномірно і прямолінійно з швидкістю $v_0 = 180 \hat{e}i / \tilde{a}i\tilde{a}$. Раптово на шляху виникає перешкода і машиніст вмикає гальмівний механізм. З цього моменту швидкість потягу змінюється за законом: $v = v_0 - \dot{a}t^2$, де $a = 1 \frac{\dot{i}}{\tilde{n}^3}$. Який гальмівний шлях потягу? Через який час після початку гальмування він зупиниться?

Розв'язання:

1) *Фізичний етап розв'язку задачі.*

Запишемо скорочено умову задачі.

Дано:

$$v_0 = 180 \frac{\text{км}}{\text{год}} = 50 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$v = v_0 - at^2$$

$$a = 1 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

S-? T-?

В фізичну систему включаємо одне тіло – потяг. Його можна прийняти за матеріальну точку. Рух потяга, в нашому випадку, досліджується формально, без виявлення причин. Відомо закон зміни одного з параметрів руху – швидкості. Необхідно визначити деякі інші фізичні величини, які характеризують рух потяга (час і гальмівний шлях). Таким чином, перед нами обернена задача кінематики.

По визначенню швидкості:

$$v = \frac{dx}{dt}, \quad (2.14)$$

(так як рух одномірний – вздовж осі x), звідки:

$$dx = v \cdot dt, \quad (2.15)$$

де $v = v_0 - at^2$. Після підстановки в (2.15) отримаємо:

$$dx = (v_0 - at^2)dt \quad (2.16)$$

Вираз (2.16) є фізичною умовою даної задачі.

Для знаходження закону руху потяга необхідно розв'язати диференціальне рівняння (2.16). Для інтегрування розглянемо початкові умови: при $t=0$, $x=0$ і $v = v_0$. Таким чином, нижня межа для інтегрування $t_1=0$ і $x_1=0$, а верхня $t_2=t$ і $x_2=x$. Проінтегруємо отриману фізичну умову (2.16) в межах:

$$\int_0^x dx = \int_0^t (v_0 - at^2)dt \Rightarrow x = v_0 t - \frac{at^3}{3} \quad (2.17)$$

Зважаючи на те, що $S=x$, одержимо:

$$S = v_0 t - \frac{at^3}{3} \quad (2.18)$$

Вираз для t знайдемо з закону зміни швидкості при умові, що $v = 0$

$$0 = v_0 - at^2 \quad (2.19)$$

Звідки час гальмування визначається по формулі:

$$t = \sqrt{\frac{v_0}{a}} \quad (2.20)$$

Підставимо (2.20) в (2.18):

$$S = \sqrt{\frac{v_0}{a}} \left(v_0 - \frac{a \frac{v_0}{a}}{3} \right) = \frac{2}{3} \sqrt{\frac{v_0^3}{a}} \quad (2.21)$$

Формули (2.20) і (2.21) є «робочими» формулами даної задачі.

2 Перевірка розмірності фізичної величини за РФЗ:

$$[t] = \sqrt{\frac{[v_0]}{[a]}}; \quad [t] = \sqrt{\frac{\dot{\iota} \cdot \tilde{n}^3}{\tilde{n} \cdot \dot{\iota}}} = \sqrt{\tilde{n}^2} = \tilde{n}$$

$$[S] = [x] = \sqrt{\frac{[v_0^3]}{[a]}}; \quad [S] = \sqrt{\frac{\dot{\iota}^3 \cdot \tilde{n}^3}{\tilde{n}^3 \cdot \dot{\iota}}} = \dot{\iota}$$

3 Розрахунок значення фізичної величини за РФЗ:

$$t = \sqrt{\frac{50}{1}} = 7,07 \text{ (с)}; \quad S = \frac{2}{3} \sqrt{\frac{50^3}{1}} = 235,7 \text{ (}\dot{\iota}\text{)}$$

4 Відповідь і аналіз одержаного результату:

Із загального розв'язку (формули (2.20) і (2.21)) зробимо висновок, що в даних умовах як час, так і гальмівний шлях, залежать від величини початкової швидкості і коефіцієнта a , розмірність якого говорить про те, що його можна охарактеризувати як швидкість зміни швидкості.

Дана задача є типовою оберненою задачею кінематики. Оскільки за відомими кінематичними величинами знаходиться кінематичний закон руху (формула (2.21), РФЗ даної задачі).

Динамічний метод. Вивчаючи рух тіл в динаміці, необхідно під час розгляду фізичної системи враховувати всі сили, які діють як всередині так і зовні системи і які впливають на систему в цілому. Для розв'язування задач динамічним методом спочатку необхідно вяснити, з якими іншими тілами взаємодіє дане тіло. Далі необхідно визначити як дане тіло взаємодіє з цими тілами, який вид (тип) даної взаємодії.

В класичних фізичних системах суттєвими є наступні види взаємодій: гравітаційна (закон всесвітнього тяжіння Ньютона

($\vec{F}_{12} = G \frac{m_1 m_2}{r_{12}^3} \cdot \vec{r}_{12}$) електромагнітна (його окремі випадки: сила

Кулона $\vec{F}_{12} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_1 q_2}{r_{12}^3} \vec{r}_{12}$; сила Лоренца $\vec{F}_E = q[\vec{v} \times \vec{B}]$; сила

тертя $F_{\text{од}} = \mu |\vec{N}|$; сила пружності $F_{\text{пр}} = -k \cdot \Delta x$.

Як правило, навіть під час взаємодії двох тіл виникає декілька сил. Важливо зрозуміти, чим ці сили відрізняються якісно. Наступним етапом є кількісна оцінка кожної сили: необхідно визначити який порядок її величини. Деякі сили можуть виявитися настільки малими, що ними можна знехтувати.

При розв'язуванні задач динамічним методом, крім розгляду процесу взаємодії, необхідно знати, яким чином використовується той чи інший фізичний закон. Для використання закону Ньютона необхідно виконати наступні дії:

- 1) Перевірити чи виконуються умови за якими можливе використання законів динаміки?
- 2) Вибрати інерціальну систему відліку (закон виконується лише в інерціальній системі відліку).
- 3) Знайти всі сили, що діють на дане тіло.
- 4) Визначити проекції всіх сил на осі координат.

5) Знайти алгебраїчну суму проекцій всіх сил на кожную вісь координат

$$(\sum F_x, \sum F_y, \sum F_z).$$

6) Записати II закон Ньютона в проекціях на осі:

$$\sum F_x = m \cdot a_x$$

$$\sum F_y = m \cdot a_y$$

$$\sum F_z = m \cdot a_z$$

де a_x, a_y, a_z – проекції вектора прискорення \vec{a} .

Прикладом використання динамічного методу вважатимемо розв'язок задачі 1 із даної збірки. В цій задачі можна виділити три етапи її розв'язку. Дану роботу пропонуємо виконати самостійно.

Таким чином, із виділених загально-вибіркових методів залишається познайомитися з *методом законів збереження*. Цей метод, на наш погляд, може бути признаний важливим, оскільки є універсальнішим, ніж кінематичний і динамічний. Метод законів збереження поширюється не лише на класичні, але і квантові системи. Разом з тим, далеко не всі механічні задачі розв'язуються шляхом законів збереження. Метод законів збереження в окремих випадках швидше приводить до результату, ніж використання динаміко-кінематичного методу.

В основі даного методу лежить сукупність законів збереження. В класичних системах їх чотири: закон збереження енергії, закон збереження імпульсу і моменту імпульсу, електричного заряду. В більшості випадків використовують вище названі закони, якщо відбувається взаємодія тіл. В даному процесі розрізняють три етапи:

1) Стан тіл до взаємодії.

2) Сам процес взаємодії.

3) Стан тіл після взаємодії.

Для використання законів збереження процес взаємодії не суттєвий.

В даному випадку важливо, щоб значення відповідної величини залишалось постійним. Метод використання під час розв'язування задачі законів збереження полягає в наступному:

- 1) Визначають яку фізичну систему розглядають.
- 2) Перевіряють набір умов, при дотриманні яких виконується закон збереження.
- 3) Вибирають систему відліку для визначення тієї постійної величини, яка залишається постійною.
- 4) Знаходять значення даної фізичної величини на початку і в кінці взаємодії.
- 5) Записують закон збереження у вигляді рівності цих величин на початку та в кінці процесу, або рівності нулю цих величин.
- 6) Якщо величини, що зберігаються векторні, записують всі їх рівності в проекціях на осі вибраної системи координат.

Розглянемо використання законів збереження на прикладі теми модуля «Динаміка твердого тіла».

Задача 7 (№ 3.38 з (3)). Однорідний стержень довжиною 85 см підвішений на горизонтальній осі, яка проходить через верхній кінець стержня. Яку найменшу швидкість треба надати нижньому кінцю стержня, щоб він зробив повний оберт навколо осі?

Розв'язання:

1) *Фізичний етап розв'язку задачі.*

Запишемо скорочено умову задачі і виконаємо пояснювальний рисунок.

Дано:	
$\ell = 0,85\text{ м}$	
$v = ?$	

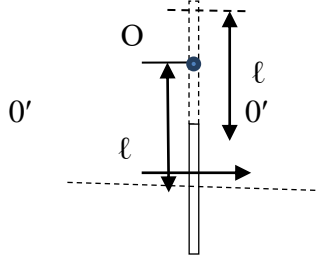


Рисунок.2.2 (до задачі 7)

1) *Фізичний аналіз задачі.*

1) Визначаємо фізичну систему. В фізичну систему включаємо два тіла: стержень і Землю. Прийняти стержень за матеріальну точку не можна, так як масштаби руху (зміщення центра мас) рівні розмірам тіла. В наслідок надання стержню швидкості він отримає кінетичну енергію і, обертаючись навколо осі O піднімається вгору за рахунок запасу енергії. Таким чином, в даній задачі можна говорити про закон збереження енергії.

2) Перевірка набору умов, при дотриманні яких виконується закон збереження, показує, що через відсутність сил опору, тертя в осі, енергія, надана стержню в процесі руху, не розсіюється, значення також можна вважати постійним, як і масу системи.

3) Систему відліку вибираємо таким чином, щоб на початку процесу центр тяжіння стержня мав потенціальну енергію, рівну нулю.

4) На початку процесу система матиме потенціальну енергію:

$$E_1 = \frac{I \cdot \omega^2}{2}, \quad (2.22)$$

в кінці вся ця енергія перетвориться в потенціальну:

$$E_2 = mgl, \quad (2.23)$$

де l - висота підняття центра тяжіння.

5) Закон збереження енергії запишемо у вигляді рівності частин (2.22) і (2.23):

$$\frac{I \cdot \omega^2}{2} = mgl \quad (2.24)$$

6) Величини E_1 і E_2 скалярні, тому необхідності знаходження проєкцій даних величин на осі координат немає. Вираз (2.24) є фізичною умовою даної задачі.

Для отримання РФЗ необхідно величину кутової швидкості

стержня ω виразити через лінійну швидкість:

$$\omega = \frac{v}{l}, \quad (2.25)$$

де l - довжина стержня.

Момент інерції стержня відносно осі O можна визначити, використовуючи теорему Штейнера пам'ятаючи, що момент інерції стержня відносно осі, яка проходить через центр мас рівний:

$$I_0 = \frac{1}{12} ml^2,$$

тоді

$$I = I_0 + m \frac{l^2}{4} = \frac{1}{3} ml^2 \quad (2.26)$$

Підставимо (2.25) і (2.26) в (2.24):

$$\frac{v^2}{6} = gl,$$

звідки

$$v = \sqrt{6gl} \quad (2.27)$$

Формула (2.27) є «робочою» формулою даної задачі.

2) *Перевірка розмірності фізичної величини за РФЗ:*

$$[v] = \sqrt{[g]} \cdot [l];$$

$$[v] = \sqrt{\frac{\dot{\imath} \cdot \dot{\imath}}{\tilde{n}^2}} = \sqrt{\frac{\dot{\imath}^2}{\tilde{n}^2} \frac{\dot{\imath}}{\tilde{n}}}.$$

3) *Розрахунок значення фізичної величини за РФЗ:*

$$v = \sqrt{9,8 \cdot 0,85} = 7,1 \left(\frac{\dot{\imath}}{\tilde{n}} \right)$$

4) *Відповідь і аналіз одержаного результату:*

Дану задачу можна розгорнути в цілий «блок» задач, ускладнюючи умови протікання процесу, змінюючи його

початкові і кінцеві етапи. Тут ми цього робити не будемо, тому остаточною числовою відповідь задачі: $\nu = 7,1 \left(\frac{i}{\tilde{n}} \right)$.

Метод закону збереження використовують до розв'язку задач, в яких використовуються закони збереження енергії, імпульсу, моменту імпульсу. В якості прикладу можна навести розв'язки задач № 3.40, № 4.2 (3, с.217, 218). Дані розв'язки можна, без особливих зусиль, привести до запропонованої нами схеми розв'язку задач з допомогою методу законів збереження.

В запропонованих прикладах основні і загальні методи виділені, так би мовити, в «чистому» вигляді, так легше їх засвоїти і використовувати за необхідності. Разом з тим, є цілий ряд задач, які можна розв'язати, використовуючи тільки декілька методів. Тому під час розв'язку фізичних задач доцільно використовувати систему методів, в тому числі розглянуті нами динаміко-кінетичний і метод законів збереження.

Під час розв'язку §5 зб. задач [3] доцільно використовувати термодинамічні та статистичні методи.

Основу *термодинамічного методу* складають перший і другий закон термодинаміки (ми ними скористались під час розв'язку задачі 2 нашого посібника). Перший закон термодинаміки справедливий для елементарних квазістатичних рівноважних процесів.

В *статистичному методі* на відміну від термодинамічного, суттєвими є основні положення молекулярно-кінетичної теорії про рух і взаємодію молекул речовини. В статистичній фізиці використовується, що експериментально фізичні величини (макропараметри) можуть бути знайдені як середні значення, обчислені за множиною мікростанів. Тому однією із основних задач, що розв'язуються статистичним методом, є знаходження середніх значень різних фізичних величин і визначення середнього числа частинок dN (із даних N), які мають деякі властивості.

Розглянемо приклад.

Задача 8 Визначити відносне число молекул газу, швидкість яких відрізняється від ймовірнішої та середньої квадратичної не більше, ніж на один відсоток.

Розв'язання:

1) *Фізичний етап розв'язку задачі.*

Дано:

$$U_1 = \frac{v_{\hat{e}i}}{v_{\hat{e}i}} = 1$$

$$U_2 = \frac{v_{\hat{e}a}}{v_{\hat{e}i}} = 1,22$$

$$\Delta U = 0,02$$

$$\frac{\Delta N_1}{N} = ?$$

Запишемо скорочено умову задачі у швидкостях $U = \frac{v}{v_{\hat{e}i}}$ для першої і другої

При цьому:

$$U_1 = \frac{v_{\hat{e}i}}{v_{\hat{e}i}} = 1 U_{I=}; U_2 = \frac{v_{\hat{e}a}}{v_{\hat{e}i}} = \frac{\sqrt{\frac{3RT}{\mu}}}{\sqrt{\frac{2RT}{\mu}}} = 1,22$$

В фізичну систему включимо молекуляр максвелівським розподілом за швидкостях. То розподілу у величинах відносних й:

$$\Delta N = \frac{4}{\sqrt{\pi}} N U^2 e^{-u^2} \Delta U \quad (2.28)$$

За умовою задачі ми можемо знайти відносне число молекул:

$$\frac{\Delta N}{N} = \frac{4}{\sqrt{\pi}} U^2 e^{-u^2} \Delta U \quad (2.29)$$

2) *Перевірка розмірності фізичної величини за РФЗ:*

В даному випадку перевірка розмірності не потрібна, оскільки в робочу формулу (2.29) входять величини, що не мають її.

3) *Розрахунок значення фізичної величини за РФЗ:*

$$1 \frac{\Delta N_1}{N} = \frac{4}{\sqrt{3,14}} \cdot 1 \cdot 2,718^{-1} \cdot 0,02 = 1,660 \cdot 10^{-2} = 1,66 \%$$

$$2 \quad \frac{\Delta N_1}{N} = \frac{4}{\sqrt{3,14}} \cdot 1,22 \cdot 2,718^{-1,22} \cdot 0,02 = 1,6259 \cdot 10^{-2} = 1,63 \%$$

Відповідь:

$$\frac{\Delta N_1}{N} = 0,0166; \quad \frac{\Delta N_1}{N} = 0,0163.$$

4) *Відповідь та аналіз одержаного результату:*

Із загального розв'язку (формули (2.29)) можна зробити висновок, що для знаходження відносної кількості молекул, які припадають на одиничний інтервал відносних швидкостей dU , можна отримати формулу:

$$\frac{\Delta N}{NdU} = \frac{4}{\sqrt{\pi}} U e^{-u^2}, \quad (2.30)$$

де права частина є функція, значення якої можна знайти в таблицях. Ця функція має максимум при значенні $U = 1$.

Розглянувши значення $\frac{\Delta N_1}{N}$ і $\frac{\Delta N_2}{N}$, ми бачимо, що

$\frac{\Delta N_1}{N} > \frac{\Delta N_2}{N}$ - відповідає отриманому нами раніше висновку із аналізу загального розв'язку.

Необхідно звернути увагу на дуже малі значення $\frac{\Delta N_1}{N}$ і

$\frac{\Delta N_2}{N}$, причому при $\Delta U=0$ ці значення перетворюються в нуль, що є підтвердженням висновку про неможливість знаходити кількість молекул газу, які мають певне значення швидкості.

Таким чином, число молекул, які мають швидкості в визначеному інтервалі, може бути визначено тільки як середнє значення, обчислене за множиною мікростанів (в нашому випадку за множиною значень U від $U - \Delta U$ до $U + \Delta U$).

Розділ 3 Порядок виконання, представлення та захисту домашніх завдань

Робочим навчальним планом по вивченню курсу загальної фізики в умовах кредитно-модульної системи навчання, передбачено виконання розрахунково-графічної роботи в кожному семестрі.

В першому семестрі воно охоплює два модулі: механіку, молекулярну фізику і термодинаміку.

Розрахунково-графічна робота (РГР) № 1 включає задачі з різних тем обох модулів, умови яких надруковані в збірнику задач В.С. Волькенштейн [3].

Видачу РГР курсанту здійснює викладач, який проводить практичні заняття. Після виконання РГР курсант здає його даному викладачу на перевірку, який і визначає день захисту. Курсанту, який успішно пройшов захист, в журналі викладача робиться помітка про здачу РГР № 1.

Курсант, який з тих чи інших причин не здав РГР, не може отримати позитивної оцінки за відповідний модуль і не допускається до складання семестрового іспиту. Повторний захист РГР проводиться в терміни визначені викладачем (через 4-5 днів після дати попереднього захисту).

Під час виконання курсантом РГР викладач здійснює проміжний контроль в режимі консультацій.

Для успішного виконання, захисту РГР необхідно не тільки правильно розв'язати всі задачі, але і правильно оформити як все завдання в цілому, так і кожен задачу.

Для правильного оформлення розв'язку кожної задачі необхідно:

- 1) Переписати із збірника повністю умову задачі.
- 2) Записати скорочено умову задачі (пояснити, якщо це потрібно, величини в скороченому записі, див. розв'язок задачі 8 даних вказівок); виконати за необхідності рисунок.
- 3) В процесі розв'язку виділити та в розв'язку відмітити всі чотири етапи:

- 3.1) Фізичний етап розв'язку задачі.
- 3.2) Перевірка розмірності фізичної величини за РФЗ.
- 3.3) Розрахунок значення фізичної величини за РФЗ.
- 3.4) Відповідь і аналіз одержаного результату.
- 4) Числові дані і відповідь виразити в системі СІ.
- 5) Визначити і записати в кінці розв'язку задачі, які основні і загальні методи використані.
- 6) Всі записи вести охайно, без виправлень, коментуючи кожний етап розв'язку.

Оформити РГР необхідно на стандартних листках (формат А-4). Один лист – одна задача. Титульна сторінка оформляється відповідно до додатку Б. На звороті титульної сторінки повинен бути записаний перелік номерів відповідного варіанту з додатку Б або додатків Г та Д.

ВИСНОВКИ

Методичні рекомендації написані для ознайомлення курсантів з різними методами розв'язування задач модулів «Механіка», «Молекулярна фізика і термодинаміка». Загальний підхід до розв'язування будь-якої задачі із курсу загальної фізики зводиться до вміння проводити аналіз будь-якого фізичного явища. Для цього необхідно знати цілий ряд узагальнених фізичних понять:

- фізична величина,
- фізична система,
- ідеальні фізичні об'єкти і процеси,
- фізичний закон.

Важливо не лише знати, але і вміти оперувати даними поняттями. Ми раніше розглянули ряд методів, якими ви повинні опанувати, але цього недостатньо. Використовуючи рекомендовану літературу з даних питань, необхідно *самостійно* розв'язувати якомога більше задач.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

Основна

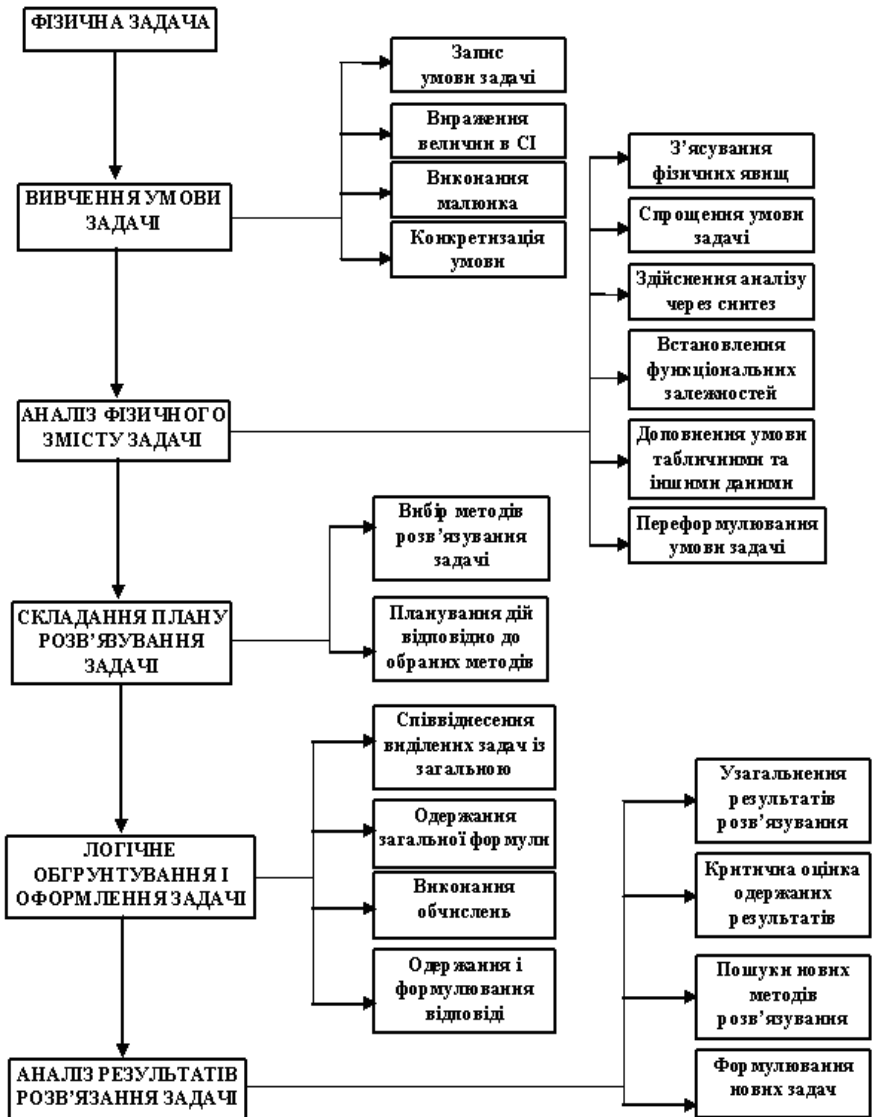
- 1 Трофимова Т.И. Курс физики. / Трофимова Т.И. – М.: Высш.шк., 1998.–478 с.
- 2 Куліш В.В. Фізика для інженерних спеціальностей. Кредитно-модульна система. [Навчальний посібник] - Частина I / Куліш В.В., Соловійов А.М., Кузнєцова О.Я., Кулішенко В.М.- К., Національний технічний університет, 2004. – 450 с.
- 3 Волькенштейн В.С. Сборник задач по общему курсу физики: Учебное пособие. / Волькенштейн В.С. – М.: Наука, 1985.- 378 с.
- 4 Савельев И.В. Курс общей физики. Т.1. / Савельев И.В. –М.: Наука, 1987.–432 с.
- 5 Детлаф А.А. Курс физики: Учеб пособие для вузов. / А.А. Детлаф, Б.М. Яворский – М.: Высш.шк., 1989.– 608 с.
- 6 Фоменко В.В. Курс загальної фізики: Модуль 1. Класична механіка: Навчальний посібник. / Фоменко В.В. – Кіровоград: ДЛАУ, 2007. – 124 с.
- 7 Фоменко В.В. Курс загальної фізики: Модуль 2. Молекулярна фізика і термодинаміка: Навчальний посібник. / Фоменко В.В. – Кіровоград: ДЛАУ, 2011. – 88 с.

Додаткова

- 1 Трофимова Т.И. Краткий курс физики. /Трофимова Т.И. – М.:Высш.школа, 2002.–352 с.
- 2 Сена Л.А. Единицы физических величин и их размерности. / Сена Л.А. –М.: Наука, 1977.–183 с.
- 3 Чертов А.Г. Единицы физических величин. / Чертов А.Г. – М.: Высш.школа, 1977.–204 с.

Додаток А

Узагальнена схема розв'язування фізичної задачі



Додаток Б
Титульна сторінка розрахунково-графічної роботи

Міністерство освіти і науки України
Кіровоградська льотна академія
Національного авіаційного університету

Кафедра фізико-математичних дисциплін

Розрахунково-графічна робота № 1
«Механіка. Молекулярна фізика і термодинаміка»

(Варіант № __)

Виконав курсант:

(група, прізвище, ініціали)

Перевірив викладач:

(прізвище, ім'я та по батькові)

Кіровоград – 201_р.

Додаток В
Завдання з розділів «Механіка» та «Молекулярна фізика і
термодинаміка» з посібника В.С. Волькенштейна

№	<i>Кінематика § 1</i>				<i>Динаміка поступового руху § 2</i>					<i>Динаміка обертового руху § 3</i>					<i>МКТ і термодинаміка § 5</i>				
1	2	26	59	20	51	74	109	126	144	14	24	26	37	31	61	65	66	151	175
2	2	27	60	22	52	75	113	127	145	15	25	27	38	33	34	67	152	176	226
3	3	8	61	23	55	76	94	125	146	16	26	28	39	1	35	68	153	177	227
4	4	9	41	24	58	77	97	123	147	17	27	29	40	2	36	69	154	178	209
5	5	16	42	1	60	78	100	127	148	18	28	33	41	3	37	70	158	179	210
6	6	11	43	2	36	79	94	126	149	19	29	37	42	4	38	71	157	180	207
7	7	12	45	3	38	80	96	116	150	1	30	38	43	5	39	72	101	181	229
8	2	13	46	4	41	81	95	124	151	2	25	31	39	6	40	73	102	182	230
9	3	14	47	5	43	82	98	122	132	3	26	33	40	7	41	74	103	183	204
10	4	15	48	6	48	83	97	116	133	4	27	34	41	8	42	75	104	184	202
11	5	16	49	7	36	84	99	122	134	5	28	35	42	9	43	76	105	159	213
12	6	17	50	8	37	89	100	123	159	6	16	29	43	10	44	77	106	160	195
13	7	18	51	19	38	67	101	124	136	7	17	30	44	11	45	78	107	161	196
14	2	19	53	10	39	68	102	126	138	8	18	20	31	12	46	79	108	162	197
15	3	20	54	11	41	69	103	128	139	9	19	21	32	90	47	80	109	164	198

продовження додатку В

№	Кінематика § 1				Динаміка поступового руху § 2						Динаміка обертового руху § 3				МКТ і термодинаміка § 5					
16	4	21	55	12	43	70	104	116	140	10	20	22	33	28	81	110	149	163	201	
17	5	22	56	14	48	71	105	122	161	11	21	23	34	29	62	111	165	174	224	
18	6	23	57	13	49	72	106	123	142	12	22	24	35	30	63	91	113	166	225	
19	7	24	58	15	50	73	107	124	143	13	23	25	36	27	64	89	114	210	222	
20	8	25	41	16	51	74	113	125	145	14	26	37	40	31	65	69	151	177	226	
21	2	27	61	24	60	79	96	124	132	4	30	35	43	12	27	113	149	174	198	
22	2	8	41	1	36	80	95	122	133	5	16	31	44	62	90	91	201	220	226	
23	3	9	42	2	38	81	98	116	134	6	17	20	32	28	63	89	151	176	224	
24	4	16	43	3	41	82	97	122	159	7	18	21	33	29	64	66	152	177	225	
25	5	11	45	4	43	83	99	123	136	8	19	22	34	30	65	67	153	178	210	
26	6	12	46	5	48	84	100	124	138	9	20	23	35	27	34	61	68	154	179	
27	7	13	47	6	36	89	101	126	139	10	21	24	36	31	35	69	158	180	226	
28	2	14	48	7	37	67	102	128	140	11	22	25	37	33	36	70	157	181	227	
29	3	15	49	8	38	68	103	116	161	12	23	26	38	1	37	71	101	182	209	
30	4	16	50	9	39	69	104	122	142	13	24	27	39	2	38	72	102	183	210	

Додаток Г

*Завдання з розділу «Механіка» з навчального посібника Фоменка
В.В. Курс загальної фізики: Модуль 1. Класична механіка*

№	Тема 1.1	Тема 1.2	Тема 1.3	Тема 1.4	Тема 1.5	Тема 1.6	Тема 1.7	Тема 1.8
1	1	30	42	43	87	88	98, 124	140
2	2	28	41	44	86	90	99, 122	137
3	3	27	40	46	85	91	100, 121	135
4	4	25	39	47	84	92	101, 120	134
5	5	24	38	48	82	93	102, 119	133
6	6	23	37	49	81	94	103, 118	132
7	8	22	36	50	80	96	105, 116	131
8	9	21	35	51	79	97	106, 115	130
9	1	20	33	52	78	88	108, 113	129
10	9	18	32	53	77	90	109, 112	128
11	8	17	33	54	76	91	98, 111	126
12	6	16	35	55	74	92	99, 110	125
13	5	15	36	57	73	93	100, 124	126
14	4	14	37	58	72	94	101, 122	128
15	3	13	38	59	71	96	102, 121	129
16	2	12	39	61	70	97	103, 120	130
17	10	11	40	62	69	88	105, 119	131
18	3	12	41	63	68	90	106, 118	132
19	5	13	42	64	67	91	108, 116	133
20	8	14	32	44	66	92	109, 115	134
21	10	15	33	46	65	93	98, 113	135
22	2	16	35	47	66	94	99, 112	137
23	4	17	36	48	67	96	100, 111	140
24	6	18	37	49	68	97	101, 110	125
25	8	20	38	50	69	91	102, 113	126
26	1	21	39	51	70	92	103, 115	128
27	4	22	40	52	71	93	105, 118	129
28	6	23	41	53	72	94	106, 119	130
29	9	24	42	54	73	96	108, 121	131
30	10	25	33	55	74	97	109, 122	132

Додаток Д

Завдання з розділу «Молекулярна фізика і термодинаміка» з навчального посібника Фоменка В.В. Курс загальної фізики: Модуль 2. Молекулярна фізика і термодинаміка

Номер варіанту	Номери задач за блоком Б2				
	Тема 2.1	Тема 2.2	Тема 2.3	Тема 2.4	Тема 2.5
1	1, 53	77	78, 100	114, 141	142,162
2	2, 52	75	79, 101	116, 140	144,152
3	3, 51	73	80, 103	117, 139	145, 153
4	4, 49	72	82,104	116,138	146, 154
5	5, 48	71	83, 105	114,137	147, 155
6	6, 47	69	84, 106	120,136	148, 156
7	7, 46	68	85, 108	122, 135	149, 157
8	8, 45	67	87, 109	123, 133	150, 158
9	9, 44	66	88, 112	118,132	151, 160
10	11, 43	65	89,113	117, 131	152, 162
11	12, 42	64	91, 109	116,130	153, 163
12	13, 41	63	78, 92	114, 128	154, 164
13	15, 39	62	79, 93	127, 141	142, 155
14	16, 38	61	80, 95	126, 140	144, 156
15	17, 37	60	82,96	125,139	145, 157
16	18, 36	59	83,98	124,138	146, 158
17	19,35	57	84, 99	123, 137	147,160
18	20, 34	56	85, 100	122, 136	148, 162
19	21, 33	55	87, 101	120, 135	149, 163
20	22, 32	77	88, 103	119,133	150, 164
21	23, 31	75	89, 104	118, 132	142, 151
22	24, 30	73	91, 105	117, 131	144,152
23	25,28	72	78, 106	116, 130	145, 153
24	26,37	71	79, 108	114, 128	146, 154
25	27, 39	69	80, 109	141, 127	147, 155
26	28, 53	68	82, 112	140, 126	148, 156

продовження додатку Д

Номер варіанту	Номери задач за блоком Б2				
	Тема 2.1	Тема 2.2	Тема 2.3	Тема 2.4	Тема 2.5
27	30,52	67	83,113	139,125	149, 157
28	5,51	66	78,106	138,124	150, 158
29	6, 42	65	79,109	137, 123	151, 162
30	8, 43	64	80, 112	136, 122	152, 164

Для приміток

Навчальне видання

Борота Володимир Григорович
Кузьменко Ольга Степанівна

Фізика

Методичні вказівки
по виконанню розрахунково-графічної роботи з фізики № 1
(для курсантів КЛА НАУ)

Редактор: *Сушкова Л.В.*
Технічний редактор: *Будулатій В.П.*
Комп'ютерна верстка: *Кухта О.Ю.*

Формат 60x84 1/16. Ум. друк. арк. 2,79. Тираж 300 прим. Зам. № 0281

Видавництво Кіровоградської льотної академії НАУ

м. Кіровоград,
вул. Добровольського, 1,
тел.. 39-44-37