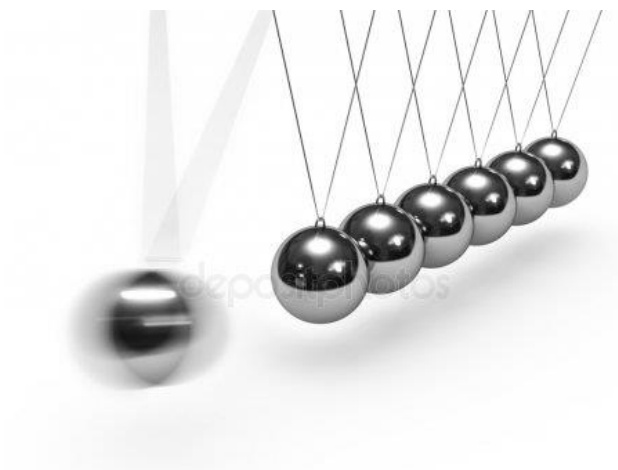


**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

КАФЕДРА ВИЩОЇ МАТЕМАТИКИ І ФІЗИКИ

***Методичні рекомендації
щодо організації
практичних занять з фізики,
частина 1. Механіка
для студентів денної та заочної форм навчання
технічних спеціальностей***



Покровськ, 2019

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

КАФЕДРА ВИЩОЇ МАТЕМАТИКИ І ФІЗИКИ

*Методичні рекомендації
щодо організації
практичних занять з фізики,
частина 1. Механіка
для студентів денної та заочної форм навчання
технічних спеціальностей*

Покровськ, 2019

УДК

Методичні рекомендації з курсу загальної фізики для студентів технічних спеціальностей всіх форм навчання. Фізика. Частина 1. *Механіка* для студентів денної та заочної форм навчання технічних спеціальностей /Л.Г.Сергієнко – ДонНТУ, 2019р.– 54 с.

Мета вказівок – надати методичну та організаційну допомогу студентам для організації та реалізації самостійної роботи під час підготовки до практичних занять з курсу фізики.

Вказівки містять технологічні планкарти лекційних та практичних занять із указівкою літератури для самостійної роботи.

Укладач: Сергієнко Л. Г., к.п.н., доцент кафедри ВМФ

Рецензент: Новікова Ю.В., к.ф.-м.н., доц. кафедри ВМФ

Відповідальний за випуск: Медведєва М. І., зав. кафедрою ВМФ

Затверджено навчально-методичним відділом ДонНТУ,
протокол № 9 від 23.04.2019 р.

Розглянуто на засіданні кафедри вищої математики і фізики,
протокол № 3 від 26.03.2019 р.

ЗМІСТ

Вступ	5
1. Технологічна планкарта лекційних занять	6
2. Практичне заняття 1. Кінематика поступального й обертального рухів.....	8
3. Практичне заняття 2. Динаміка поступального руху.....	18
4. Практичне заняття 3. Динаміка обертального руху	26
5. Практичне заняття 4. Робота, потужність, енергія. Закони збереження в механіці.....	30
6. Практичне заняття 5. Елементи спеціальної теорії відносності	37
7. Практичне заняття 6. Механічні коливання і хвилі	41
Екзаменаційні питання з фізики	47
Список рекомендованої літератури	50
Додаток А	51
Додаток Б.....	52
Додаток В.....	53

ВСТУП

Вивчення курсу загальної фізики є одним з найважливіших елементів підготовки висококваліфікованого інженера, воно сприяє розвитку логічного мислення, підвищенню загального наукового рівня і виробленню навичок дослідження прикладних питань.

Мета даних методичних рекомендацій – допомогти студентам–першокурсникам у самостійній організації та реалізації їхньої роботи з вивчення курсу загальної фізики. Рекомендації містять технологічні плани-карти лекцій та практичних занять, варіанти карток МК і БМК, які проводяться в аудиторії по окремих розділах курсу в якості поточного контролю. Докладний перелік тем кожної лекції супроводжується докладними літературними посиланнями через відсутність фундаментального підручника для студентів технічних спеціальностей різних форм навчання. Особливо виділяються ті питання, що виносяться на самостійне вивчення.

По всіх темах практичних занять приводяться номери задач, які варто вирішити для успішного засвоєння курсу. Частина цих задач вирішується на практичних заняттях в аудиторії (приклади їхнього рішення приводяться в даних рекомендаціях), а частина - складає завдання студенту для самостійного рішення.

Контрольні та індивідуальні завдання виконуються після вивчення студентами відповідних розділів курсу фізики з урахуванням наступних вимог:

1. Студент виконує завдання тільки відповідно до свого варіанту.
2. Контрольні роботи виконуються в окремих зошитах або на аркушах формату А-4, залишаючи поля для зауважень рецензента.
3. На титульному листі обов'язково вказується предмет (фізика), номер контрольної роботи, прізвище та ім'я по-батькові, номер варіанту, дату виконання роботи.
4. Перш за все, необхідно уважно прочитати умову завдання, записати його в повній і стислій формах.
5. Вказати основні закони та формули, на яких базується рішення цієї задачі, дати пояснення цих законів.
6. Навести креслення, яке пояснює зміст задачі (якщо це необхідно та можливо).
7. Супроводити рішення задачі короткими, але вичерпними поясненнями.
8. Завдання з невеликою кількістю розрахунків слід виконувати в загальному вигляді, а потім у одержані формули підставити чисельні значення величин. Зробити їх перевірку.
9. Для завдань з великою кількістю розрахунків необхідно спочатку показати загальний засіб рішення, скласти відповідні рівняння, які зручніше потім виконувати з підставленими численними значеннями.

10. Результати, які одержані під час виконання завдань, слід перевіряти та обґрунтовувати. Оцінити правдоподібність одержаних численних результатів, зробити висновки.
11. Якщо під час виконання завдань, або при вивченні навчальної літератури з фізики та спеціальних дисциплін виникають труднощі, необхідно звернутися за консультацією до викладача, вказуючи при цьому на особисті міркування щодо рішення цієї задачі.

1. Технологічна планкарта лекційних занять

№	Найменування тем лекцій	Сітка годин	Література	Завдання для самостійного вивчення
1	Введення. Предмет та методи фізичних досліджень. Зв'язок фізики з майбутнім фахом. Кінематика поступального руху. Кінематика криволінійного руху. Кінематичні залежності руху	2	(1) § 1-4 (3) Ч.1 Вступ, розділи 1-2	Механічний рух. Поступний рух Поняття кутової швидкості та кутового прискорення
2	Динаміка матеріальної точки. Поняття маси, сили, імпульсу. Закони Ньютона. Закон збереження імпульсу.	2	(1) § 5 (3) Ч.1 Розділ 3	Вектори та їх властивості. Дії з векторами
3	Динаміка обертального руху твердого тіла. Момент імпульсу обертального руху. Теорема Гюйгенса-Штейнера. Закон збереження моменту імпульсу.	2	(1) § 6 (3) § Ч.1 Розділ 5	Неінерціальні системи відліку. Сили інерції
4	Механічна робота потужність, енергія. Теорема про зміну кінетичної енергії. Механічний удар. Закони збереження в механіці та їх використання	2	(1) § 7-9 (3) § Ч.1 Розділ 4	Робота сил тяжіння, пружності, тертя. Поле як форма матерії
5	Елементи спеціальної теорії відносності. Перетворення Галілея. Постулати СТВ Ейнштейна. Релятивістська динаміка.	2	(1) § 10 (3) Ч.1 Розділи 6, 8	Поняття одночасності. Відносність довжин і проміжків часу.

6	Механічні коливання. Гармонічні механічні коливання. Диференційне рівняння гармонічних коливань. Механічні осцилятори. Додавання механічних коливань. Резонанс	2	(2) §1-7 (3) § Ч.1 Розділ 7	Фігури Ліссажу. Автоколивання Резонанс
7	Механічні хвилі та хвильові процеси. Поздовжні та поперечні хвилі. Кінематичні характеристики хвиль. Енергія хвиль. Принцип суперпозиції. Звукові хвилі.	2	(2) §8-11 (3) § Ч.1 Розділ 7	Елементи акустики. Інтерференція механічних хвиль
8	Механіка рідин і газів. Основи гідро- аеростатики та динаміки. Закони Паскаля, Архімеда, сполучених посудин тощо, та їх використання. Рівняння Бернуллі та наслідки з нього	2	(4) Гл.6 § 28-33	Поняття в'язкості та нерозривності струменя. Режим руху рідин та газів
9	Основи молекулярної фізики і термодинаміки. Статистичний і термодинамічний методи дослідження. Модель ідеального газу і його термодинамічні параметри. Основне рівняння МКТІГ. Середня енергія молекул. Ступені свободи.	2	(1) §11-20 (3) § Ч.2 Розділ 1	Рівновага стану і термодинамічні процеси. Закони ідеальних газів та їх графічна інтерпретація
10	Перше начало термодинаміки (ТД). Застосування I-го началу ТД до ізопроцесів. Кількість теплоти. Адіабатний процес. Рівняння Пуассона.	2	(1) §23-25, 27 (3) Ч.2 Розділи 2, 3	Ступені свободи
11	Розподіл Максвелла. Розподіл Больцмана. Внутрішня енергія та шляхи її зміни. Зворотні і незворотні теплові процеси. Кругові процеси і цикли. Цикл Карно. II начало ТД. Ентропія ідеального газу. Явища перенесення, Капілярні явища.	2	(1) § 17-26, 28,29 (3) § Ч.2 Розділ 4	(1) § 98-100 Поняття внутрішньої енергії. Статистичне тлумачення II начала ТД.

12	Реальні гази. Рівняння Ван-дер-Ваальса. Фазові переходи. Критичний стан. Внутрішня енергія реального газу.	2	(3) § Ч.2 Розділи 5, 6	Внутрішня енергія реального газу. Фізична кінетика
13	Електростатика. Закон Кулона. Основні характеристики електричного поля. Теорема Остроградського-Гауса для електростатичного поля	2	(1) §30-34 (3) § Ч.3 Розділ 1	Діелектрики. Сегнетоелектрики та їх застосування
14	Робота електростатичного поля по переміщенню заряду. Електричне поле в речовинах. Діелектрики, провідники та їх використання.	2	(1) § 43 (3) § Ч.3 Розділ 1	Поле диполя. Принцип суперпозиції полів та його використання
15	Провідники в електричному полі. Електроємність. Конденсатори та їх застосування. Енергія електростатичного поля.	2	(1) § 37-38 (3) Ч. 3 Розділ 1	Електричне поле в речовинах.
16	Сталий електричний струм. Сторонні сили. Електрорушійна сила. Напруга. Закони Ома. Правила Кірхгофа. Термоелектричні явища та їх застосування.	2	(1)§ 39-41 (3)Ч. 3 Розділи 2, 4	Термоелектричні явища та їх застосування.

2. Практичне заняття 1. «Кінематика поступального й обертального рухів». Основні теоретичні уявлення

Мета: Оволодіння основними положеннями, що стосуються методики формування основних понять кінематики, формування знань, вмінь та навичок з кінематики.

Завдання: навчитися оперувати та використовувати знання з кінематики.

Під час руху матеріальної точки її координати з часом змінюються. У загальному випадку її рух визначається трьома скалярними кінематичними рівняннями (див. рис. 1):

$$\begin{cases} x = x(t); \\ y = y(t); \\ z = z(t) \end{cases}$$

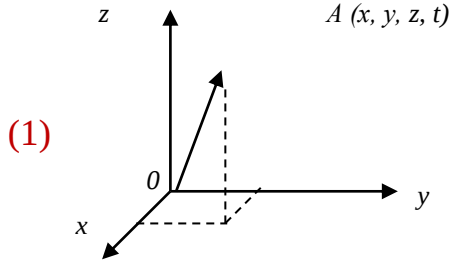


Рис. 1. Координати матеріальної точки під час руху.

Ці рівняння еквівалентні наступним векторним рівнянням:

$$\vec{r} = \vec{r}(t); \quad (2)$$

$$\vec{r}(t) = x(t)\vec{i} + y(t)\vec{j} + z(t)\vec{k}$$

Швидкість зміни переміщення і його напрямок визначаються швидкістю:

$$\vec{V} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} = \frac{d\vec{r}}{dt} \quad (3)$$

Рівняння (2) називають законом руху матеріальної точки.

Фізичною величиною, яка характеризує швидкість зміни швидкості по модулю і напрямку, є прискорення:

$$\vec{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{V}}{\Delta t} = \frac{d\vec{V}}{dt} \quad (4)$$

Пряма задача кінематики полягає в визначенні будь-якого параметра руху по відомому закону руху. Вона вирішується шляхом послідовного застосування основних законів кінематики (2) - (4).

В залежності від форми траєкторії, рух може бути прямолінійним чи криволінійним. У випадку руху матеріальної точки вздовж кола вводяться, додатково до лінійних характеристик швидкості та прискорення, кутова швидкість і кутове прискорення (див. рис. 2).

Кутовою швидкістю є векторна величина, яка дорівнює першій похідній від кутового переміщення за часом:

$$\vec{\omega} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{\varphi}}{\Delta t} = \frac{d\vec{\varphi}}{dt} \quad (5)$$

Лінійна швидкість точки зв'язана з кутовою швидкістю і радіусом

обертання: $\vec{V} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{S}}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{R \Delta \vec{\varphi}}{\Delta t} = R \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{\varphi}}{\Delta t} = R \vec{\omega}$

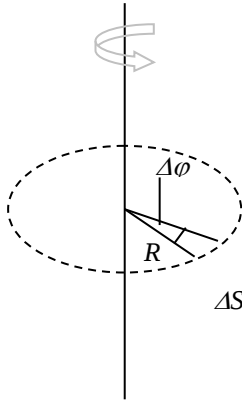


Рис.2. Рух матеріальної точки вздовж кола

Кутовим прискоренням є векторна величина, яка дорівнює першій похідній кутової швидкості за часом:

$$\vec{\varepsilon} = \frac{d\vec{\omega}}{dt} \quad (6)$$

При криволінійному русі прискорення можна представити як суму нормальної $\vec{a}_n$ і тангенціальної $\vec{a}_i$ складових (див.рис.3):

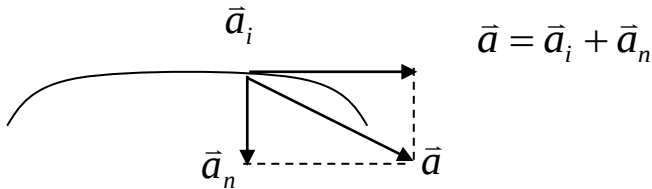


Рис. 3. Складові повного прискорення

Абсолютне значення цих прискорень:

$$a_n = \frac{V^2}{R} = \omega^2 R; \quad a_i = \frac{dV}{dt}; \quad a = \sqrt{a_n^2 + a_i^2};$$

де R - радіус кривизни в даній точці траєкторії.

Зіставлення рівнянь поступального руху з рівняннями обертального руху

Поступальний рух	Обертальний рух
Рівномірний	
$\vec{S} = \vec{S}_0 + \vec{V}t$	$\varphi = \varphi_0 + \omega t$
$\vec{V} = Const$	$\vec{\omega} = Const$
$\vec{a} = 0$	$\vec{\varepsilon} = 0$
Рівно змінний	
$\vec{S} = \vec{V}_0 t + \frac{\vec{a} t^2}{2}$	$\varphi = \omega_0 t + \frac{\varepsilon t^2}{2}$
$\vec{V} = \vec{V}_0 + \vec{a} t$	$\vec{\omega} = \vec{\omega}_0 + \vec{\varepsilon} t$
$\vec{a} = const$	$\vec{\varepsilon} = const$
$V^2 - V_0^2 = 2aS$	$\omega^2 - \omega_0^2 = 2\varepsilon\varphi$
Нерівномірний	
$S = f(t)$	$\varphi = f(t)$
$\vec{V} = \frac{d\vec{S}}{dt}$	$\vec{\omega} = \frac{d\varphi}{dt}$
$\vec{a} = \frac{d\vec{V}}{dt} = \frac{d^2 S}{dt^2}$	$\vec{\varepsilon} = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d^2 \varphi}{dt^2}$
Формули переходу	$S = \varphi R$ $V = \omega R$ $a_i = \varepsilon R$ $a_n = \omega^2 r = \frac{V^2}{R}$

Питання для самоперевірки

1. Що таке скаляр, вектор? Наведіть приклади скалярних та векторних фізичних величин. В чому суть правила складання векторів?

1. Дайте тлумачення поняттю “матерія”.
2. Який рух називається механічним? Наведіть приклади механічного руху.
3. Перелічіть способи опису рухів матеріальної точки та кінематичні характеристики механічного руху.
4. Які рухи є поступальними?, обертальними? Наведіть приклади.
5. Які рухи називаються рівномірними, нерівномірними, рівно змінними?
6. Що таке миттєва швидкість та в чому її фізичний зміст?
7. Чому будь який рух або стан спокою є відносним? Відповідь обґрунтуйте.
8. Чим відрізняється переміщення точки від шляху? При яких умовах довжина вектора переміщення буде дорівнювати шляху?
9. Як підраховується шлях при нерівномірному русі?
10. Яка швидкість є середньою; чим вона відрізняється від миттєвої?
11. Що називається прискоренням рівно змінного руху і якими одиницями воно вимірюється?
12. Як за законом руху визначити швидкість, прискорення і шлях?
13. Який вид графіків залежності модуля переміщення, шляху, швидкості і прискорення в часі для рівномірного та рівно змінного рухів?
14. Докажіть, що $V^2 - V_0^2 = 2aS$?
15. Що називається вільним падінням тіл? Наведіть формули вільного падіння.
16. Як рухається тіло, кинуте вертикально угору? Чому дорівнює при цьому русі прискорення тіла?
17. Тіло кинуте вертикально угору з початковою швидкістю V_0 . Чому дорівнює час підйому? час падіння? кінцева швидкість при падінні на землю?
18. Як виражаються повне прискорення $\vec{a}$, його нормальна $\vec{a}_n$ і тангенціальна $\vec{a}_t$ складові при русі точки вздовж кола?
19. При яких умовах точка рухається вздовж кола рівномірно? Чи буде при такому русі вектор $\vec{a}$ постійним?
20. Що називається кутовою швидкістю руху тіла вздовж кола? Дайте визначення виміру одиниці кутової швидкості.
21. Який зв'язок лінійної швидкості з кутовою при рівномірному русі точки вздовж кола?
22. Як записується закон рівномірного руху точки через кутові величини?
23. Що називають кутовим прискоренням рівно змінного руху вздовж кола? Дайте визначення одиниці виміру кутового прискорення.
24. Який напрямок мають кутова швидкість та кутове прискорення?

Приклади рішення задач

Задача 1. Рух шахтної вагонетки задано рівнянням $x = At + Bt^2$, де $A = 4$ м/с; $B = -0,05$ м/с². Визначте момент часу, в який швидкість V вагонетки дорівнює нулю.

Знайдіть координату і прискорення в цей момент. Побудуйте графіки залежності координати, шляху, швидкості і прискорення цього руху від часу.

Аналіз і рішення задачі

1. Миттєву швидкість у довільний момент часу знайдемо, взявши першу похідну координати x за часом:

$$x = 4t - 0,05t^2 \qquad x = At + Bt^2$$

$$V = \frac{dx}{dt} = 4 - 0,1t \qquad V = A + 2Bt$$

Тоді в заданий момент часу (за умовою) миттєва швидкість вагонетки дорівнює нулю:

$$0 = 4 - 0,1t, \quad \text{відкіля} \quad t = 40\text{с.}$$

2. Координату вагонетки, для якої відомо кінематичне рівняння руху, знайдемо, підставивши в рівняння руху замість t задане значення часу $t_1 = 40$ с:

$$x_1 = 4t - 0,05 t^2; \qquad x_1 = 4 \cdot 40 - 0,05 \cdot (40)^2 = 80 \text{ м.}$$

3. Миттєве прискорення в даний момент часу знайдемо, узявши другу похідну від координати x за часом:

$$a = \frac{d^2 x}{dt^2} = \frac{dV}{dt} = 2B, \text{ підставивши значення } B, \text{ одержимо: } a = 0,1 \text{ м/с}^2$$

1. Графік залежності координати шахтної вагонетки від часу являє собою криву другого порядку. Для його побудови необхідно мати мінімум п'ять точок: $x = 4t - 0,05 t^2$ (див. табл. 1).

Таблиця 1

t	0	10	20	30	40
x	0	35	60	75	80

Використовуючи дані таблиці 1 креслимо графік залежності координати від часу (див. рис.4 а – чорним суцільним кольором).

Графік шляху побудуємо, виходячи з наступних розумінь:

- 1) шлях і координата до моменту зміни знака швидкості збігаються;
- 2) починаючи з моменту повернення $t_6 = 40$ с точки вона рухається в зворотному напрямку і, отже, координата її убыває, а шлях зростає по тому ж закону, по якому убыває координата.

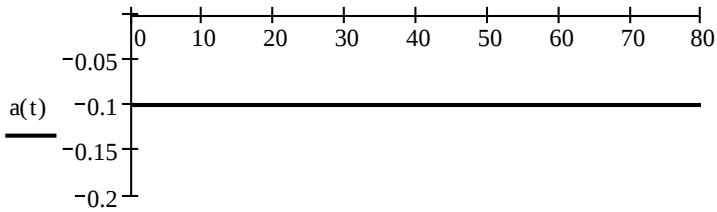
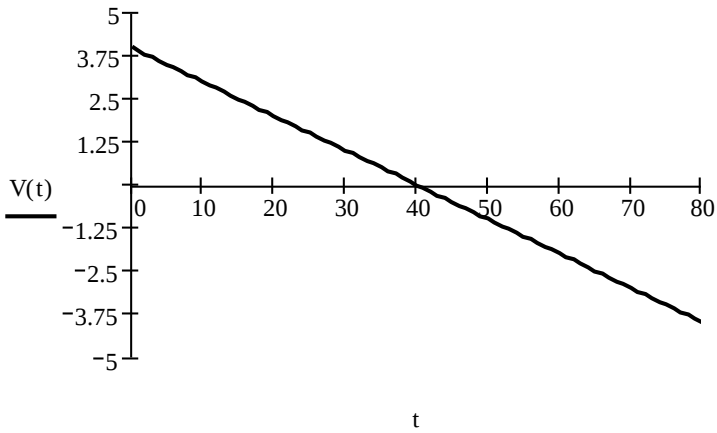
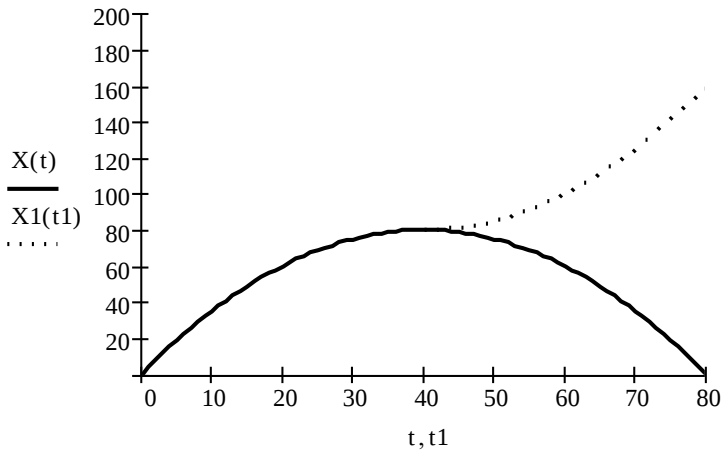


Рис. 4 (а, б, в) Графіки залежності переміщення, швидкості та прискорення від часу

Отже, графік шляху до моменту часу $t_6 = 40$ с збігається з графіком координати, а починаючи з цього моменту є дзеркальним відображенням графіка координати (рис.4а чорним пунктирним кольором).

Графік залежності швидкості від часу являє собою лінійну залежність (див. рис. 4 б).

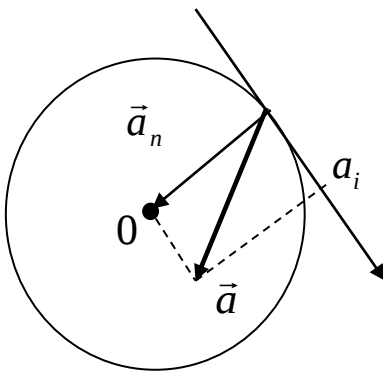
Таблиця 2

t	0	10	20	30	40
V	4	3	2	1	0

Графік залежності прискорення від часу являє собою пряму, рівнобіжну осі часу, тому що $a = \text{const} = -0,1 \text{ м/с}^2$ (див. рис.4 в).

Задача 2. Ківш комбайну обертається навколо нерухомої осі за законом $\varphi = A + Bt + Ct^2$, де $A = 5$ рад; $B = 16$ рад/с, $C = -1$ рад/с². Визначити повне прискорення ковшу, що знаходиться на відстані 12см від осі обертання, для моменту часу $t = 5$ с.

Аналіз і рішення задачі



Повне прискорення $\vec{a}$ ковшу, що рухається вздовж кривої лінії, визначається як геометрична сума тангенціального прискорення $\vec{a}_i$, спрямованого по дотичній до траєкторії, і нормального прискорення $\vec{a}_n$, спрямованого до центру кривизни траєкторії (див. рис. 5):

$$\vec{a} = \vec{a}_i + \vec{a}_n \quad (1)$$

Рис.5 Повне прискорення ковшу

У зв'язку з тим, що вектори $\vec{a}_i$ і $\vec{a}_n$ перпендикулярні, то модуль прискорення

дорівнює:

$$a = \sqrt{a_n^2 + a_i^2} \quad (2)$$

Нормальне і тангенціальне прискорення точки обертального тіла виражаються формулами:

$$a_n = \frac{V^2}{R} = \omega^2 R; \quad a_i = \varepsilon R, \text{ де}$$

ω - кутова швидкість ковшу;

ε - її кутове прискорення.

Кутову швидкість точки знайдемо, узявши першу похідну кута повороту за часом:

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt} = B + 2Ct$$

В момент часу $t = 5$ с кутова швидкість дорівнює: $\omega = [16 + 2(-1)5] = 4$ рад/с.

Кутове прискорення знайдемо, узявши першу похідну від кутової швидкості.

$$\varepsilon = \frac{d\omega}{dt} = 2C = -2 \text{ рад/с}^2.$$

Підставляючи значення ω , ε і R у формулу (2), одержимо:

$$a = \sqrt{\omega^4 R^2 + \varepsilon^2 R^2} = R\sqrt{\omega^4 + \varepsilon^2}$$

$$\text{отже, } a = 0,12\sqrt{4^4 + [(-2)]^2} = 1,93 \text{ м/с}^2.$$

Задача 3. З даху будинку висотою $H=20$ м горизонтально кинутий м'яч зі швидкістю $V_0 = 10$ м/с. Знайти:

- скільки часу м'яч буде в польоті?
- на якій відстані від підстави будинку він упаде на землю?
- чому дорівнює швидкість м'яча в момент падіння на землю?
- який кут α складе траєкторія м'яча з обрієм у точці його падіння на землю. Опором повітря зневажити.

Аналіз і рішення задачі

Переміщення м'яча, кинутого горизонтально, має дві складові (тому що цей вид руху є складним - рис 6), горизонтальну S_x , уздовж якого м'яч

переміщається рівномірно, і вертикальну S_y , уздовж якої вільно падає.

Застосовуючи закон незалежності руху, запишемо:

$$\begin{cases} S_y = H = \frac{gt^2}{2} & (1) \end{cases}$$

$$\begin{cases} S_x = V_x t & (2) \end{cases}$$

де t – час руху м'яча.

$$V_x = V_0$$

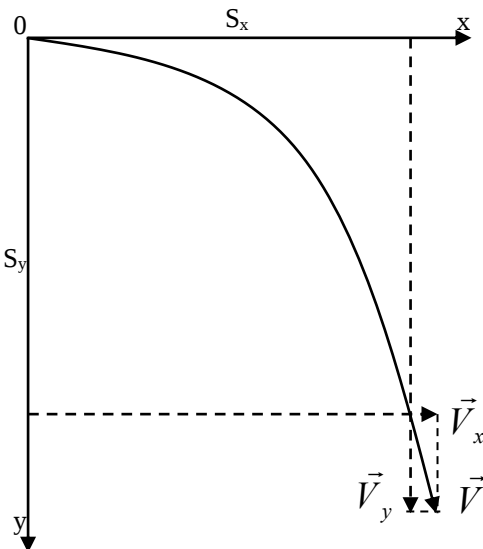


Рис. 6. Траєкторія руху м'яча

1) З рівняння (1) визначимо час польоту м'яча:

$$t = \sqrt{\frac{2h}{g}}; \quad t = \sqrt{\frac{2 \cdot 20}{9,8}} = 2 \text{ с}$$

2) З рівняння (2) визначимо дальність польоту м'яча S_x

$$S_x = V_{0t} = 10 \text{ м/с} \cdot 2 = 20 \text{ м}$$

3) Швидкість м'яча в момент падіння на землю як видно з рис. 6, визначиться:

$$V = \sqrt{V_x^2 + V_y^2}, \quad \text{де}$$

$$V_x = V_0; \quad V_y = gt$$

$$V = \sqrt{(10 \text{ м/с})^2 + (9,8 \text{ м/с}^2 \cdot 2 \text{ с})^2} = 22,4 \text{ м/с}$$

4) Кут α визначимо зі співвідношення (див. рис. 6).

$$\sin \alpha = \frac{V_y}{V}; \quad \alpha = \arcsin \frac{V_y}{V}$$

$$\alpha = \arcsin \frac{20}{22,4} = \arcsin 0,893$$

$$\alpha = 63,2^\circ.$$

Завдання для самостійного розв'язування в аудиторії

1.00. Залежність пройденого шахтною вагонеткою шляху S від часу t дається рівнянням $S = At - Bt^2 + Ct^3$, де $A=2 \text{ м/с}$, $B=3 \text{ м/с}^2$ і $C=4 \text{ м/с}^3$. Знайдіть та Побудуйте залежності пройденого шляху S , швидкості v і прискорення a від часу t . Визначте відстань S , пройдену вагонеткою, швидкість v і прискорення a через час $t = 2 \text{ с}$ після початку руху.

1.01. Рівняння руху шахтної вагонетки (пройдений шлях x за час t) має вигляд: $x = At + Bt^2 + Ct^3$, де $A=5 \text{ м/с}$, $B = 0,2 \text{ м/с}^2$, $C = 0,1 \text{ м/с}^3$. Визначте швидкість вагонетки в моменти часу $t_1 = 2 \text{ с}$ і $t_2 = 4 \text{ с}$, а також середню швидкість в інтервалі часу від t_1 до t_2 . Побудуйте графік залежності швидкості від часу для заданого руху.

1.02. Визначте шлях, який проходить шахтний електровоз, що рухається по прямолінійній траєкторії впродовж 10 с , якщо його швидкість змінюється за законом $v = 30 + 2t$. В момент часу $t_0 = 0$, $S = 0$. Побудуйте графік залежності координати від часу для заданого руху.

1.03. Рух двох шахтних вагонеток виражається рівняннями: $X_1 = A_1 + B_1 t + C_1 t^2$, та $X_2 = A_2 + B_2 t + C_2 t^2$, де $A_1 = 20 \text{ м}$; $A_2 = 2 \text{ м}$; $B_1 = B_2 = 2 \text{ м/с}$; $C_1 = -4 \text{ м/с}^2$; $C_2 = 0,5 \text{ м/с}^2$. В який момент часу t швидкості цих точок будуть однаковими? Визначте графічно та аналітично швидкості V_1 і V_2 та прискорення a_1 і a_2 точок в цей момент.

1.04. Автомобіль рухається зі швидкістю $V_1 = 25 \text{ м/с}$. На шляху $S = 40 \text{ м}$ проводиться гальмування, після якого швидкість зменшується до $V_2 = 15 \text{ м/с}$. Вважаючи рух автомобіля рівноуповільненим, знайти модуль прискорення і час гальмування.

1.05. Визначити час піднімання ліфта у висотному будинку, вважаючи його рух при розгоні і гальмуванні рівно змінним з прискоренням $a = 1 \text{ м/с}^2$, а на середній ділянці - рівномірним зі швидкістю $V = 2 \text{ м/с}$. Висота підйому $H = 60 \text{ м}$.

1.06. Визначте кутове прискорення маховика, частота обертання якого за час здійснення $N = 20$ повних обертів зросла рівномірно від $n_1 = 1 \text{ об/с}$ до $n_2 = 2 \text{ об/с}$.

1.07. Диск радіусом $r = 10 \text{ см}$, що знаходився в стані спокою, почав обертатися з постійним кутовим прискоренням $\epsilon = 0,5 \text{ рад/с}^2$. Знайти тангенціальне a_τ , нормальне a_n і повне прискорення точок на ободі диска в кінці другої секунди після початку обертання.

1.08. Диск обертається з кутовим прискоренням $\epsilon = -2 \text{ рад/с}^2$. Скільки обертів N зробить диск при зміні частоти обертання від $n_1 = 4 \text{ с}^{-1}$ до $n_2 = 1,5 \text{ с}^{-1}$. Знайти час t , протягом якого це станеться.

1.09. Колесо обертається з кутовим прискоренням $\epsilon = 2 \text{ рад/с}^2$. Через час $t = 0,5 \text{ с}$ після початку руху повне прискорення точки, що лежить на ободі колеса $a = 13,6 \text{ см/с}^2$. Знайдіть радіус R колеса.

1.10. Точка рухається вздовж кола радіусом $R = 10 \text{ см}$. з постійним тангенціальним прискоренням $a_\tau = 5 \text{ м/с}^2$. Через який час після початку руху нормальне прискорення точки буде дорівнювати тангенціальному?

Література: [1, 3, 4, 5, 11].

3. Практичне заняття 2. “Динаміка поступального руху”

Основні теоретичні уявлення

Мета: Провести науково-методичний аналіз структури і змісту навчального матеріалу. Оволодіти формуванням знань, вмінь та навичок з динаміки поступального руху.

Завдання: навчитися оцінювати динамічну ситуацію та розраховувати її.

Динаміка розглядає закони руху тіл і ті причини, що його викликають. В основі динаміки лежать три закони Ньютона.

Основний закон динаміки (другий закон Ньютона) виражається рівнянням:

$$\vec{F}dt = d(m\vec{v}), (1) \quad \text{або} \quad d\vec{p} = \vec{F}dt$$

якщо маса постійна, то

$$\vec{F} = m \frac{d\vec{v}}{dt} = m\vec{a} \quad (2)$$

Сили, які розглядаються в механіці:

а) сила пружності: $\vec{F}_{\text{упр}} = -k\vec{x}$ (закон Гуку);

де k – коефіцієнт пружності (твердості),

x – абсолютна деформація;

б) сила гравітаційної взаємодії: $F = G \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$ (закон всесвітнього

тяжіння Ньютона);

де G – гравітаційна постійна;

m_1, m_2 – маси взаємодіючих тіл, розглянутих як матеріальні точки;

r – відстань між ними;

в) сила тертя (ковзання)

$$\vec{F} = \mu \cdot \vec{N}, \quad (\text{закон Амонтона-Кулона});$$

де μ – коефіцієнт тертя;

N – сила нормального тиску (див. рис. 7).

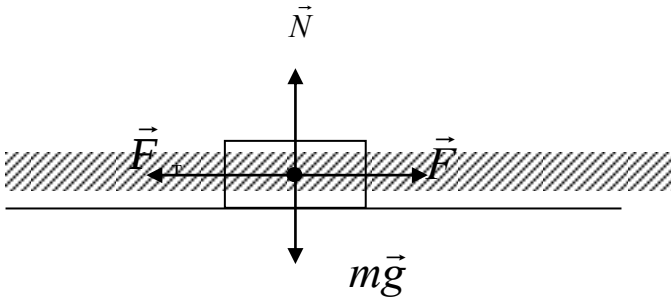


Рис.7. Динаміка горизонтального руху механічного тіла

В ізолюваній системі кількість руху усіх вхідних у неї тіл залишається незмінною (закон збереження імпульсу), тобто:

$$\sum_{i=1}^n m_i \cdot \vec{V}_i = \text{const} \quad \text{чи} \quad \sum_{i=1}^n \vec{p}_i = \text{const}$$

Універсальною кількісною мірою руху і взаємодії усіх видів матерії є енергія. Енергія є міра здійснення роботи:

$$A = \int_e F(r) \cdot \cos \alpha dr, \quad F = -\text{grad} \Pi$$

де інтегрування ведеться уздовж усієї траєкторії l.

Робота, чинена постійною силою

$$A = F \cdot S \cdot \cos \alpha, \quad \text{де}$$

α – кут між силою F і переміщенням S .

Кінетична енергія тіла, що рухається поступально:

$$T = \frac{mV^2}{2} \quad \text{або} \quad T = \frac{p^2}{2m}$$

Потенціальна енергія: а) пружно деформованої пружини: $\Pi = \frac{1}{2} kx^2$;

б) гравітаційної взаємодії: $\Pi = -G \frac{m_1 m_2}{r}$;

в) тіла, що знаходиться в однорідному полі сили тяжіння:

$$\Pi = mgh.$$

Закон збереження механічної енергії:

$$E = T + \Pi = \text{const}$$

Швидкість здійснення роботи характеризується потужністю: $N = \frac{dA}{dt}$

У випадку постійної потужності: $N = \frac{A}{t} = \frac{F \cdot s \cdot \cos \alpha}{t} = F \cdot v \cdot \cos \alpha$.

ПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

1. Сформулюйте перший закон Ньютона. Яку інформацію містить цей закон? Які системи відліку називають інерціальними і які неінерціальними?
2. Яка фізична величина служить мірою інертності тіла? Дайте характеристику цієї величини.
3. Який зміст має поняття сили в класичній механіці?
4. Сформулюйте другий закон Ньютона. Поясніть, чому він відноситься до матеріальної точки, а не до тіла взагалі?
5. Сформулюйте третій закон Ньютона. Приведіть приклади прояви цього закону в навколишній дійсності?
6. У чому полягає закон всесвітнього тяжіння? Який його математичний запис?
7. По якій ознаці тіла поділяються на пружні і не пружні? Що називають деформацією тіла? Яка особливість сил, що виникають усередині тіла при деформаціях?
8. У чому суть закону Гуку? Приведіть запис закону Гуку для абсолютної та пластичної деформації.
9. Яке тертя називають сухим і яке рідким? Наведіть приклади. Поясніть механізм утворення сили тертя спокою.
10. Що називають імпульсом тіла?, імпульсом сили? Запишіть зв'язок зміни імпульсу тіла з імпульсом сили в диференціальній формі? Сформулюйте закон збереження імпульсу матеріальної точки.

ПРИКЛАДИ РІШЕННЯ ЗАДАЧ

Задача 1. Два тіла масами $m_1=100\text{г}$ і $m_2=200\text{г}$ зв'язані невагомою ниткою і рухаються по горизонтальній поверхні (на Землі) під дією сили $F=2\text{ Н}$. Визначити сили, що діють на кожне тіло, якщо коефіцієнт тертя між кожним тілом m_1 і m_2 і горизонтальною поверхнею дорівнює $\mu = 0.5$.

Аналіз і рішення задачі

Розглянемо кожне тіло окремо (див. рис. 8). На перше тіло діють: сила F , сила ваги $m_1 g$, спрямована вниз, пружна сила реакції опори N_1 (спрямована нагору) сила тертя $F_{mp_1} = \mu N_1$ і сила натягу нитки F_{H1} , спрямована вліво.

На перше тіло діють: сила F , сила ваги $m_1 g$, спрямована вниз, пружна сила реакції опори N_1 (спрямована нагору) сила тертя $F_{mp_1} = \mu N_1$ і сила натягу нитки F_{H1} , спрямована вліво.

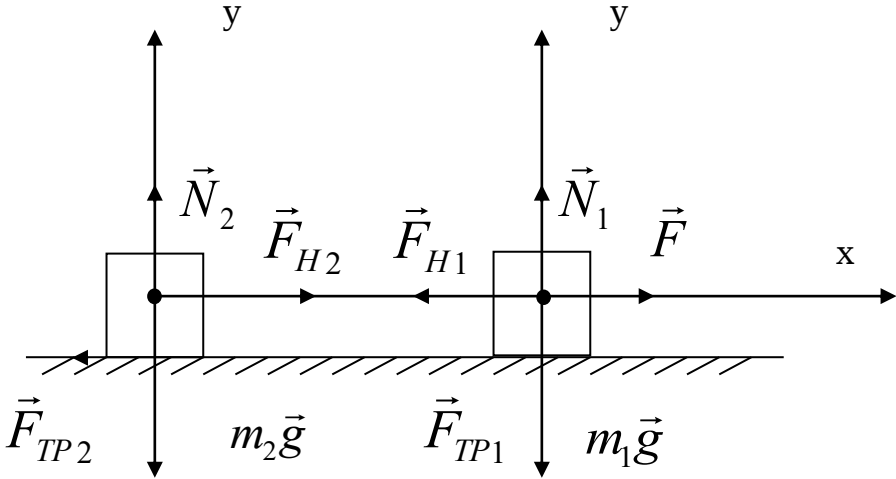


Рис.8. Динаміка горизонтального руху системи тіл

Тіло m_1 може взаємодіяти з тілом m_2 тільки за законом всесвітнього тяжіння, але ця сила настільки мала, що нею в умовах даної задачі можна зневажити.

На тіло m_2 діють чотири сили: пружна сила реакції опори N_2 , сила ваги $m_2 g$, пружна сила натягу нитки F_{H2} і сила тертя $F_{mp_2} = \mu N_2$.

На підставі другого закону Ньютона:

$$\sum_{i=1}^n \vec{F}_i = m\vec{a}$$

так як маса нитки $m=0$, то $F_{H1} = F_{H2}$.

Проекція сил на вісь X:

$$\begin{cases} F - F_{H1} - F_{mp_1} = m_1 a(1) \\ F_{H2} - F_{mp_2} = m_2 a(2) \end{cases}$$

Проекція сил на вісь Y:

$$N_1 - m_1 g = 0 \quad (3)$$

$$N_2 - m_2 g = 0 \quad (4)$$

Вирішуючи спільно ці рівняння, одержимо:

$$F - F_{mp_1} - F_{mp_2} = (m_1 + m_2)a$$

$$a = \frac{F - \mu g(m_1 + m_2)}{(m_1 + m_2)} = \frac{F}{m_1 + m_2} - \mu g \quad \text{відкіля}$$

$$a = \frac{2}{0,1 + 0,2} - 0,5 \cdot 9,8 = 1,77 \text{ м/с}^2$$

Підставляючи прискорення a в рівняння (2), одержимо силу натягу

$$F_{H_2} = m_2 a + F_{mp_2}$$

$$F_{H_2} = 0,2 \cdot 1,77 + 0,5 \cdot 9,8 \cdot 0,2 = 4,52 \text{ Н}$$

$$F_{H_1} = F_{H_2} = 4,52 \text{ Н}$$

Задача 2. На похилій площині, що складає з горизонтом кут $\alpha = 30^\circ$, знаходиться вантаж масою $m_2 = 2 \text{ кг}$ (див. рис. 9). До вантажу прив'язаний легкий шнур, перекинутий через блок, укріплений на вершині похилої площини. До іншого кінця шнура підведена ги́ря масою $m_1 = 20 \text{ кг}$. Представлена сама собі, система приходить у рівно прискорений рух. Визначити прискорення вантажів і силу тиску на вісь блоку за умови, що коефіцієнт тертя між вантажем і площиною дорівнює $\mu = 0,1$. Масу блоку не враховувати.

Рішення

Розставимо всі зовнішні сили, які діють на систему вантажів у цілому, і, спроектувавши їх на осі координат ХОУ, визначимо напрямки прискорення. Легко довести, що система буде рухатися як показано на рисунку 9. Розглянемо рух кожного тіла окремо.

Складемо два рівняння динаміки для вантажу і ги́рі на підставі 2-го закону Ньютона:

$$+ \begin{cases} m_1 g - F_{H_1} = m_1 a & (1) \\ F_{H_2} - F_{\text{ч}} - F_{mp} = m_2 a & (2), \end{cases} \quad \begin{matrix} N_2 - F_y = 0 \\ \text{т.к. } F_{H_1} = F_{H_2}, \text{ то} \\ m_1 g - F_x - F_{mp} = a(m_1 + m_2), \end{matrix}$$

відкіля визначимо прискорення системи:

$$a = \frac{m_1 g - F_x - F_{mp}}{m_1 + m_2} \quad (3)$$

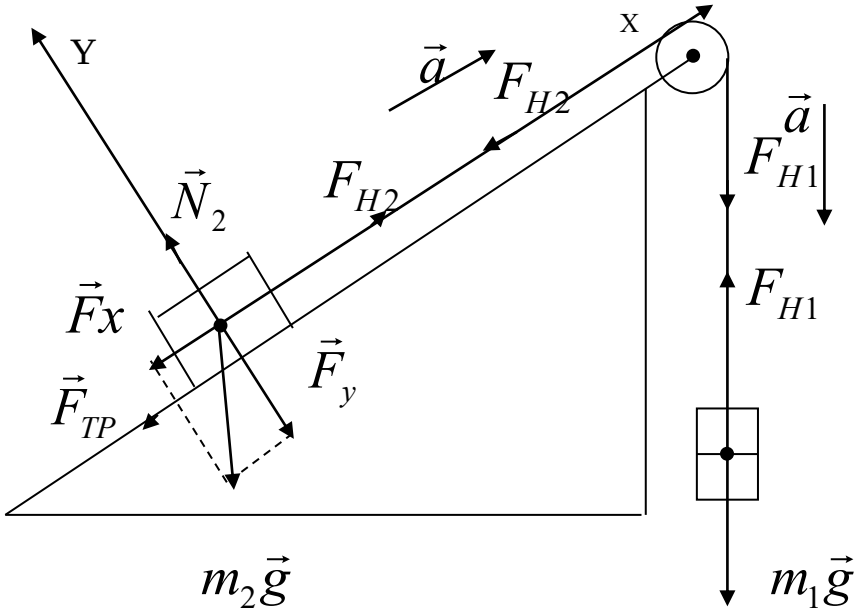


Рис.9 Приклад руху механічного тіла вздовж похилої площини
Так як:

$$F_x = m_2 g \sin \alpha,$$

$$N_2 = F_y = m_2 g \cos \alpha$$

$$F_{mp} = \mu N_2 = \mu m_2 g \cos \alpha$$

при підстановці цих залежностей у рівняння (3), одержимо:

$$a = \frac{m_1 g - m_2 g \sin \alpha - \mu m_2 g \cos \alpha}{m_1 + m_2} \cdot g \quad (4)$$

Так як за умовою задачі маса блоку не враховується, то можна вважати, що на нього діють тільки дві сили натягу F_{H1} і F_{H2} з боку шнура ($\vec{F}_{H1} = \vec{F}_{H2} = \vec{F}_H$) і нормальна реакція опори $\vec{N}_1$ з боку осі (див. рис. 9).

Відповідно до третього закону Ньютона блок діє на вісь з такою ж по модулю силою, але спрямованою в протилежну сторону. Під дією прикладених

сил блок знаходиться в рівновазі: його прискорення дорівнює нулю.
Відповідно до другого закону динаміки:

$$\vec{F}_{H_1} + \vec{F}_{H_2} + \vec{N}_1 = 0$$

$$|\vec{F}_{H_1} + \vec{F}_{H_2}| = 2F_H \cos(45^\circ - \frac{\alpha}{2})$$

Як видно з рисунка діагональ паралелограма дорівнює:

$$2F_H \cos(45^\circ - \frac{\alpha}{2}) - N_1 = 0$$

$$N_1 = 2F_H \cos(45^\circ - \frac{\alpha}{2}) \quad (5)$$

Силу натягу F_H визначимо з рівняння (1)

$F_H = m_1(g-a)$ і підставимо в (5),

$$\text{одержимо: } N_1 = \frac{2m_1m_2}{m_1 + m_2} g(1 + \sin \alpha + \mu \cos \alpha) \cos(45^\circ - \frac{\alpha}{2}) \quad (6)$$

При підстановці числових даних у рівняння (4) і (6), одержимо:

$$a \cong 4 \frac{M}{c^2}$$

$$N_1 \cong 200H$$

Задача 3. Електрон масою $m=9,1 \cdot 10^{-31}$ кг, що летить зі швидкістю $V=2,3 \cdot 10^6$ м/с, вдаряється об стінку циклотрона під кутом 60° до нормалі і під таким же кутом пружно відскакує від неї без утрати швидкості. Знайти імпульс сили, отриманого стінкою за час удару (див. рис. 10 а,б).

Рішення й аналіз задачі

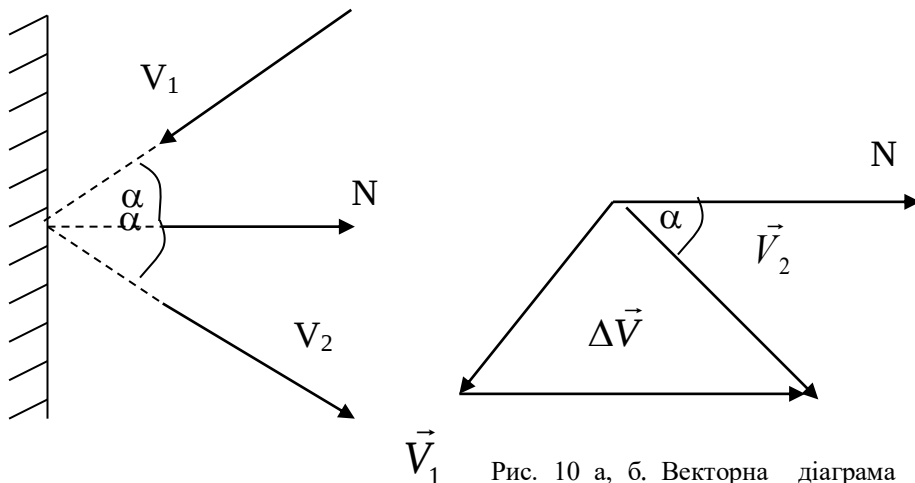


Рис. 10 а, б. Векторна діаграма

швидкостей

Згідно другого закону Ньютона маємо:

$F \cdot dt = mdV$, або $F \cdot \Delta t = m \cdot \Delta V$, де $\Delta \vec{V}$ - векторна різниця швидкостей (див. рис.10 б).

Вважаючи позитивним напрямком нормалі, зовнішньої до стіни (рис.10а), одержимо:

$\Delta V = V_2 \cos \alpha - (-V_1 \cos \alpha) = V_2 \cos \alpha + V_1 \cos \alpha$. Але за умовою задачі $V_1 = V_2 = V$, тоді $\Delta V = 2V \cos \alpha$.

Таким чином $F \cdot \Delta t = 2mV \cos \alpha$, тому що $\Delta p = F \cdot \Delta t$, то

$$\Delta p = 2mV \cos \alpha;$$

$$\Delta p = 2 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 2,3 \cdot 10^6 \cdot \frac{1}{2} = 2,09 \cdot 10^{-24} \text{ кг} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Завдання для самостійного розв'язування в аудиторії

1.11. Похила площина конвеєру, що утворює кут $\alpha = 25^\circ$ з площиною горизонту, має довжину $l = 2$ м. Вугілля, рухаючись рівно прискорено, зісковзнуло з цієї площини за час $t = 2$ с. Визначити коефіцієнт тертя μ вугілля і площини.

1.12. Через нерухомий блок перекинута тонка нерозтяжна нитка, на кінцях якої підвішені два вантажі масами $m_1 = 200$ г і $m_2 = 300$ г. Який шлях пройде кожен з вантажів за 1 с? Вважати, що блок обертається без тертя. Масою блока знехтувати.

1.13. Щоб визначити коефіцієнт тертя μ між дерев'яними поверхнями, брусок поклали на дошку і стали піднімати один кінець дошки доти, доки брусок не почав ковзати по дошці. Це сталося, коли кут нахилу дошки становив $\alpha = 14^\circ$. Чому дорівнює μ ?

1.14. В нижній точці мертвої петлі “Нестерова” реактивний літак рухається зі швидкістю $V = 1200$ км/год. Визначити, якого перевантаження (відношення сили тиску на сидіння до сили тяжіння) зазнає пілот, якщо діаметр петлі 1 км.

1.15. Дві гири, які мають маси $m_1 = 3$ кг і $m_2 = 6,8$ кг, висять на кінцях нитки, перекинutoї через нерухомий блок. Легка гиря знаходиться на 2 м нижче від важкої. Гири почали рухатись без початкової швидкості. Через який час вони будуть на однаковій висоті?

1.16. Шахтна кліть вагою $P = 3 \cdot 10^4$ Н піднімається з прискоренням $a = 0,49$ м/с². Визначити силу натягу канату, за допомогою якого піднімається кліть. Якою буде сила натягу канату за рівномірного руху кліті вгору і вниз?

1.17. Молот масою $m = 20$ кг, піднятий на висоту $h = 1,2$ м, вільно надає на ковадло. Знайти середню силу удару молота в ковадло, якщо удар не пружний, а тривалість удару $\Delta t = 0,005$ с?

1.18. З якою швидкістю V_1 повинна летіти куля масою $m_1 = 100$ г, щоб після її

удару об візок з піском, який стоїть на рейках, візок дістав швидкість $u = 2$ см/с? Маса візка $m_2 = 30$ кг, куля рухається паралельно до рейок, удар повністю не пружний.

1.19. Автомобіль, маса якого $m = 1000$ кг, рухається зі швидкістю $v_1 = 36$ км/год по опуклому мосту, радіус кривини якого $R = 50$ м. З якою силою тисне автомобіль на середину мосту? З якою найменшою швидкістю v_2 має рухатись автомобіль, щоб у верхній точці він зовсім не тиснув на міст?

1.20. Кулька масою $m = 20$ г прикріплена до кінця невагомго стрижня довжиною $l = 40$ см, який рівномірно обертається у вертикальній площині довкола іншого кінця, роблячи 10 обертів за секунду. Знайти силу натягу стрижня, коли кулька проходить верхню і нижню точку своєї траєкторії.

Література: [1, 3, 4, 5, 12]

4. Практичне заняття 3. «Динаміка обертального руху»

Основні теоретичні уявлення

Мета: Провести науково-методичний аналіз структури і змісту навчального матеріалу. Оволодіти основними положеннями, що стосуються методики формування основних понять динаміки обертального руху.

Завдання: навчитися оцінювати динаміку обертального руху та розраховувати її

Основне рівняння динаміки обертального руху твердого тіла щодо нерухомої осі має вигляд:

$$\vec{M} \cdot dt = d(I\vec{\omega}) , \text{ де}$$

M – момент сили, що діє на тіло протягом часу dt ;

I – момент інерції тіла;

ω - кутова швидкість .

Момент сили щодо якої-небудь осі обертання визначається формулою:

$$\vec{M} = \vec{F} \cdot d , \text{ де}$$

d – відстань від осі обертання до лінії дії сили.

У випадку постійного моменту інерції:

$$\vec{M} = I \cdot \vec{\epsilon} , \text{ де}$$

ϵ – кутове прискорення, що здобувається тілом під дією даного обертового моменту.

Момент інерції твердого тіла щодо його осі обертання

$$I = \int r^2 dm ,$$

де інтегрування ведеться по всьому обсязі

$$I = \sum_{i=1}^n m_i r_i^2 , \text{ де}$$

r_i – відстань елемента маси m_i від осі обертання.

Моменти інерції деяких тіл правильної геометричної форми

Тіло	Вісь, щодо якої визначається момент інерції	Формула
Тонке кільце, обруч, маховик радіусом R , матеріальна точка, тонкостінний порожній циліндр	Проходить через центр $\perp$ площі підстави	mR^2
Круглий однорідний диск (циліндр) радіусом R і масою m	Проходить через центр диска $\perp$ площі підстави	$\frac{1}{2}mR^2$
Однорідна куля масою m і радіусом R	Проходить через центр кулі	$\frac{2}{5}mR^2$
Однорідний тонкий стрижень масою m і довжиною l	Проходить через центр ваги стрижня $\perp$ стрижню	$\frac{1}{12}ml^2$
Однорідний тонкий стрижень масою m і довжиною l	Проходить через кінець стрижня $\perp$ стрижню	$\frac{1}{3}ml^2$
Порожній циліндр (обруч) із внутрішнім радіусом R_1 і зовнішнім R_2	Проходить через центр циліндра $\perp$ площини підстави	$m \cdot \frac{R_1^2 + R_2^2}{2}$

Момент інерції тіла щодо довільної осі визначається теоремою Гюйгенса-Штейнера: $I = I_0 + ma^2$, де

I_0 – момент інерції цього тіла щодо осі, що проходить через центр ваги тіла паралельно заданій осі;

a – відстань між осями;

m – маса тіла.

Тіло, яке обертається, володіє також моментом імпульсу, рівним добутку моменту інерції тіла щодо осі на кутову швидкість обертання: $\vec{L} = J\vec{\omega}$

ПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. Сформулюйте і виведіть основний закон динаміки обертального руху твердого тіла.
2. Зіставляючи $\vec{J} \cdot \vec{\varepsilon} = \vec{\dot{M}}$ з другим законом Ньютона, зробіть порівняння та обґрунтуйте відповідь.
3. Чому дорівнює момент інерції сили, рівнобіжної до осі обертання? Що називають моментом сили щодо осі?
4. Дайте визначення моменту інерції тіла щодо осі.

5. Що називається моментом імпульсу тіла щодо осі?
6. Сформулюйте і виведіть теорему Гюйгенса-Штейнера.
7. Виведіть формулу для кінетичної енергії тіла, що обертається біля нерухомої осі.
8. Сформулюйте закон збереження моменту імпульсу тіла, що обертається навколо нерухомої осі. Розповісти, як цей закон використовується фігуристами й акробатами.
9. Опишіть дослід з лавою Жуковського.

Приклади рішення задач

Задача 1. Через блок, виконаний у вигляді колеса, перекинута нитка, до кінців якої прив'язані вантажі масою $m_1=100\text{г}$ і $m_2=300\text{г}$. Маса колеса $M=200\text{г}$ вважати рівномірно розподіленою по ободу, масою спиць зневажити. Визначити прискорення, з яким будуть рухатися вантажі, і сили натягу нитки по обох сторін блоку.

Рішення

Скористаємося другим законом Ньютона. Для цього розглянемо сили, що діють на кожен вантаж окремо і на блок (див. рис.11).

Спроєктуємо ці сили на вісь Y , отримаємо:

$$m_2 g - F_{H2} = m_2 a \quad (1)$$

$$F_{H1} - m_1 g = m_1 a \quad (2)$$

Під дією двох моментів сил $\mathbf{M}_1$ і $\mathbf{M}_2$ щодо осі, перпендикулярної площі креслення, блок здобуває кутове прискорення ε . Відповідно до основного рівняння динаміки обертального руху:

$$F_{H2}^{\perp} R - F_{H1}^{\perp} R = J \varepsilon \quad (3),$$

Де $\varepsilon = \frac{a}{R}$; $J = \frac{1}{2} M R^2$ - момент інерції блоку

Відповідно до третього закону Ньютона $F_{H1}^{\perp} = F_{H1}$ і $F_{H2}^{\perp} = F_{H2}$.

Скориставшись цим, підставимо в рівнянні (3) замість F_{H1} і F_{H2} вирази, які одержані попередньо з рівнянь (1) і (2):

$$(m_2 g - m_2 a) R - (m_1 g + m_1 a) R = \frac{M a R}{2} \quad (4)$$

Після скорочення на R вирішуємо рівняння (4) щодо прискорення

$$a = \frac{(m_2 - m_1) g}{m_1 + m_2 + \frac{M}{2}}; \quad a = \frac{(0,3 - 0,1) 9,8}{(0,1 + 0,3 + \frac{0,2}{2})} = 3,92 \text{ м/с}^2$$

З рівнянь (1) і (2) визначаємо сили натягу F_{H1} і F_{H2} :

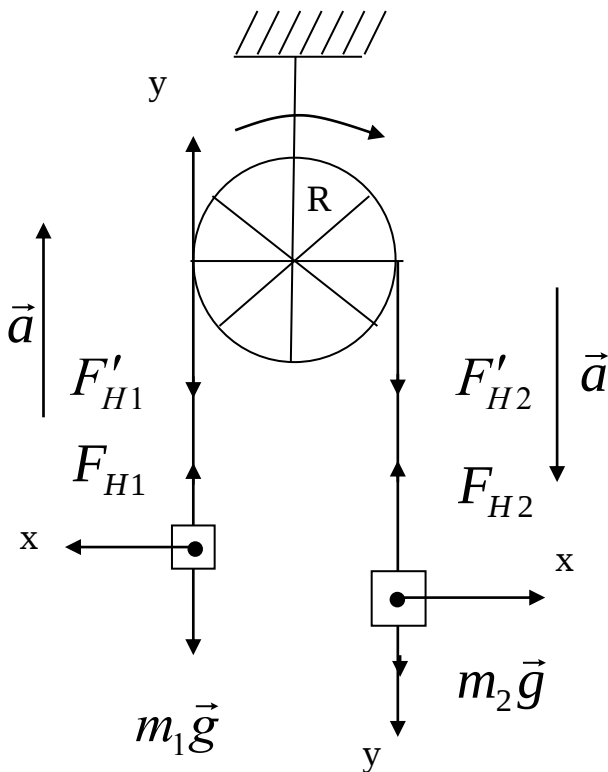


Рис.11

$$F_{H2} = m_2(g - a)$$

$$F_{H2} = 1,95H$$

$$F_{H1} = m_1(g + a)$$

$$F_{H1} = m_1(g + a)$$

$$F_{H1} = 1,37H$$

Завдання для самостійного розв'язування в аудиторії

1.21. Обчислити момент інерції тонкого обруча радіусом $r = 0,5$ м і масою $m = 3$ кг відносно осі, що проходить через кінець діаметра перпендикулярно до площини обруча.

1.22. Визначити момент інерції суцільної кулі масою $m = 10$ кг і радіусом $R = 0,1$ м відносно осі, дотичної до кулі.

1.23. Визначити момент інерції Землі відносно осі обертання, вважаючи її кулею радіусом $R = 6370$ км і масою $M = 6 \cdot 10^{24}$ кг.

1.24. До ободу однорідного суцільного диска радіусом $R = 0,5$ м прикладена

постійна дотична сила $F = 100$ Н. При обертанні диска на нього діє момент сил тертя $M = 2$ Н*м. Визначити масу диска, якщо відомо, що його кутове прискорення постійне і дорівнює $\varepsilon = 12$ рад/с².

1.25. На вал масою $m_1 = 20$ кг намотана нитка, до кінця якої прив'язали вантаж масою $m_2 = 1$ кг. Визначте прискорення вантажу, що опускається під дією сили тяжіння. Масою нитки і тертям знехтувати.

1.26. Маховик, що являє собою диск масою $m = 10$ кг і радіусом $R = 10$ см, вільно обертається довкола осі, яка проходить через центр, з круговою частотою $\omega = 6$ рад/с. При гальмуванні маховик зупиняється через час $t = 5$ с. Визначте гальмівний момент.

1.27. На барабан радіусом $R = 10$ см намотана нитка, до кінця якої прив'язаний вантаж масою $m = 0,5$ кг. Знайти момент інерції барабана, якщо вантаж опускається з прискоренням $a = 1,0$ м/с².

1.28. На краю нерухомої платформи маси $M = 560$ кг знаходиться двоє людей, маса кожного з них дорівнює $m = 70$ кг. Нехтуючи тертям, знайти швидкість платформи після того, як обоє людей зіскочать з однією й тією ж горизонтальною швидкістю $u = 1$ м/с відносно платформи: а) одночасно; б) один за одним.

1.29. На платформі встановлено без відкату гармату, з якої робиться постріл вздовж залізничного полотна під кутом $\alpha = 45^\circ$ до горизонту. Визначити початкову швидкість снаряду, якщо відомо, що після пострілу платформа відкотилась на відстань $s = 3$ м. Маса платформи з гарматою $M = 2 \cdot 10^4$ кг, маса снаряду $m = 10$ кг, коефіцієнт тертя кочення між колесами платформи і рейками $\mu = 0,02$.

1.30. Аеростат масою $m = 250$ кг почав опускатись із прискоренням $a = 0,20$ м/с². Визначити масу баласту, яку потрібно скинути за борт, щоб аеростат одержав таке ж прискорення, спрямоване вгору. Опором повітря знехтувати.

Література [1, 3, 4, 7, 11]

5. Практичне заняття 4. «Робота, потужність, енергія».

Закони збереження в механіці». Основні теоретичні уявлення

Мета: формування знань, вмінь та навичок основних фізичних понять: роботи, потужності, енергії, а також законів збереження в механіці.

Завдання: навчитися оцінювати отримані знання та вміти їх використовувати.

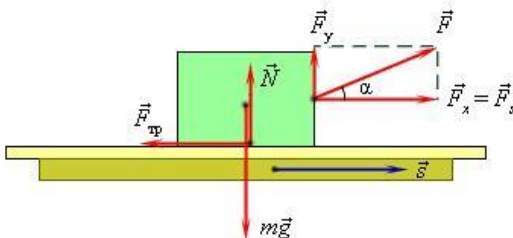
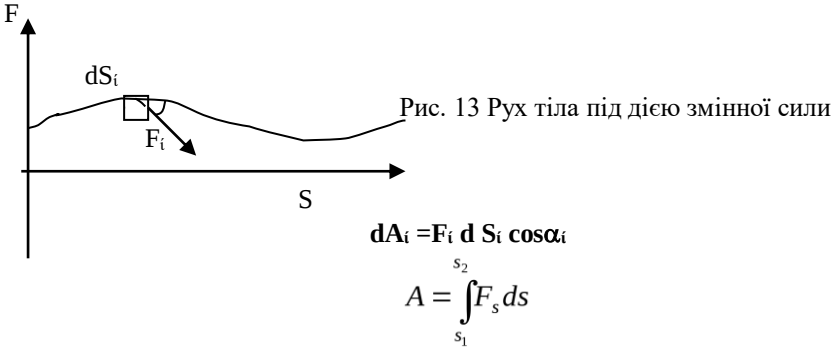


Рис. 12. Переміщення тіла під дією сталої сили

Якщо на тіло масою m діє стала сила і тіло під дією цієї сили переміщається, то сила здійснює механічну роботу (див. рис. 12): $A = F s \cos \alpha$ [Дж]

Якщо на тіло діє змінна сила (див. рис. 13), то робота визначається наступним чином:



Робота сталої сили, що здійснюються в одиницю часу, називається потужністю.

$$N = A / t \quad [\text{Вт}]$$

Потужність змінної сили: $N = \lim \frac{\Delta A}{\Delta t} = \frac{dA}{dt}$

Якщо тіло здатне виконувати роботу, то воно володіє енергією. Універсальною кількісною мірою руху і взаємодії усіх видів матерії є енергія. Енергія є міра здійснення роботи:

$$A = \int_e F(r) \cdot \cos \alpha dr, \quad F = -\text{grad} \Pi$$

де інтегрування ведеться уздовж усієї траєкторії l .

Робота, чинена постійною силою

$$A = F \cdot S \cdot \cos \alpha, \quad \text{де}$$

α - кут між силою F і переміщенням S .

Кінетична енергія тіла, що рухається поступально:

$$T = \frac{mV^2}{2} \quad \text{або} \quad T = \frac{p^2}{2m}$$

Потенціальна енергія: а) пружно деформованої пружини: $\Pi = \frac{1}{2} kx^2;$

б) гравітаційної взаємодії: $\Pi = -G \frac{m_1 m_2}{r};$

в) тіла, що знаходиться в однорідному полі сили тяжіння:

$$\Pi = mgh.$$

Закон збереження механічної енергії: $E = T + \Pi = \text{const}$

Швидкість здійснення роботи характеризується потужністю:

$$N = \frac{dA}{dt}.$$

У випадку постійної потужності: $N = \frac{A}{t} = \frac{F \cdot s \cdot \cos \alpha}{t} = F \cdot v \cdot \cos \alpha.$

Механічна робота є мірою зміни енергії в різних процесах: $A = \Delta E.$

Повна механічна енергія тіла дорівнює сумі його кінетичної і потенційної енергій: $E = E_k + E_p$

Кінетична енергія - це енергія тіла, яка обумовлена його рухом:

$$E_k = \frac{mv^2}{2}$$

Якщо тіло рухається зі швидкістю, то для його повної зупинки необхідно виконати роботу:

$$A = -\frac{mv^2}{2} = -E_k$$

Потенційна енергія тіла в полі сили тяжіння (потенційна енергія тіла, піднятого над землею):

$$E_p = mgh$$

Потенційною енергією пружини (або будь-якого пружно деформованого тіла) називають величину:

$$A_{упр} = -(E_{p2} - E_{p1}) = -\left(\frac{kx_2^2}{2} - \frac{kx_1^2}{2}\right)$$

P.S. В реальних умовах практично завжди на рухомі тіла поряд з силами тяжіння, силами пружності і іншими консервативними силами діють сили тертя або сили опору середовища. Сила тертя не є консервативною. Робота сили тертя залежить від довжини шляху. Якщо між тілами, складовими замкнутої системи, діють сили тертя, то механічна енергія не зберігається. Частина механічної енергії перетворюється у внутрішню енергію тіл (нагрівання).

Закон збереження моменту імпульсу для обертального руху:

$$\sum_{i=1}^n J_i \bar{\omega}_i = const$$

Кінетична енергія тіла, яке котиться по площині без ковзання:

$$T = \frac{mV^2}{2} + \frac{J\omega^2}{2},$$

де $\frac{mV^2}{2}$ - кінетична енергія поступального руху тіла;

$\frac{J\omega^2}{2}$ - кінетична енергія обертального руху тіла навколо осі, що проходить через центр інерції.

Робота, чинена при обертанні тіла, і зміна кінематичної енергії його зв'язані співвідношенням: $A = \frac{1}{2} J(\omega_2^2 - \omega_1^2)$.

Питання для самоперевірки

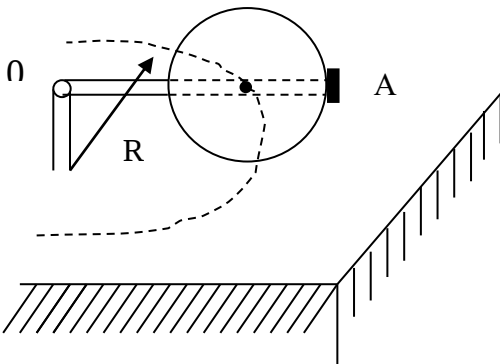
1. Як називають фізичну величину, що характеризує швидкість виконання роботи?
2. Яку потужність розвиває людина під час стрибка, що триває певний час t . При цьому відомі витрати енергії людини.
3. Що таке консервативні та неконсервативні сили?
4. Як визначається робота сил тяжіння, пружності, тертя?
5. Чи здійснює роботу сила тяжіння, яка діє в наступних випадках:
а) гиря стоїть на столі;
б) випущений із рук камінь падає на землю;
в) трактор оре землю;
г) людина тримає в руках сумку з картоплею?
6. Що таке механічна енергія?
7. Які види енергій Ви знаєте?
8. У чому полягає фізичний зміст кінетичної енергії?
9. Що таке механічна потужність?
10. Обґрунтуйте поняття коефіцієнта корисної дії – ККД.

Приклади рішення задач

Задача 1. Однорідна куля масою 200 г і радіусом $r = 10$ см котиться без ковзання по горизонтальній площині, обертаючись навколо горизонтальної осі ОА (див. рис. 14). При цьому, центр кулі рухається зі швидкістю 3 м/с по колу радіусом $R = 0,5$ м. Знайти кінетичну енергію кулі.

Рішення й аналіз задачі

Кінетична енергія кулі складається з кінетичних енергій поступального й обертального рухів, тобто:



$$T = \frac{mV^2}{2} + \frac{J\omega^2}{2} \quad (1), \text{ де}$$

$$J = \frac{2}{5} mV^2$$

момент інерції кулі.

Рис. 14. Рух тіла з обертанням навколо осі

Врахуємо, що лінійна і кутова швидкості зв'язані наступною залежністю:

$$\omega = \frac{V}{R}; \quad (2)$$

Рівняння (1) з урахування рівняння (2) буде мати вигляд:

$$T = \frac{mV^2}{2} + \frac{2}{5}mV^2 \frac{V^2}{2R^2} = \frac{7}{10}mV^2 \left(1 + \frac{r^2}{R^2}\right)$$

$$T = \frac{7 \cdot 0,2 \cdot 9}{10} \left(1 + \frac{0,1^2}{0,5^2}\right) = 1,31 \text{ (Дж)}$$

Задача 2. На краю круглої платформи (рис.15), що обертається навколо своєї осі, знаходиться людина масою 80 кг. Платформа разом з людиною робить 12 об/хв. Як стане обертатися система, якщо людина перейде в центр платформи? Яку роботу при цьому зробить людина? Маса платформи 200 кг, її радіус 1,2 м.

Рішення й аналіз задачі

Платформа обертається по інерції. Отже, момент зовнішніх сил щодо осі обертання Z можна вважати рівним нулю. При цьому

$$L_z = J_z \omega = \text{const} \quad (1), \text{ де}$$

J_z – момент інерції платформи з людиною відносно осі Z .

ω – кутова швидкість платформи.

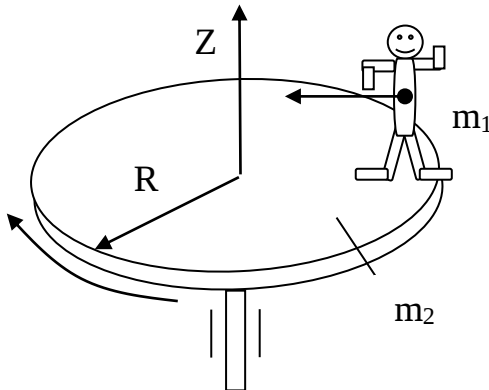


Рис.15. Приклад використання закону збереження моменту імпульсу

Момент інерції системи дорівнює сумі моментів інерції тіл, що входять у систему, тому в початковому стані $J_z = J_1 + J_2$, а в кінцевому стані $J_z = J_1$; тому що $J_2 = 0$ (у центрі платформи).

З урахуванням цього, рівняння (1) матиме вигляд:

$$(\mathbf{J}_1 + \mathbf{J}_2)\boldsymbol{\omega}_1 = \mathbf{J}_1 * \boldsymbol{\omega}_2 \quad (2)$$

де J_1 – момент інерції платформи

$$J_2 = \frac{1}{2} m_2 R_2$$

$J_2 = m_1 R^2$ – момент інерції людини.

$$\left(\frac{1}{2} m_2 R^2 + m_1 R^2\right) \omega_1 = \frac{m_2 R^2}{2} \omega_2 \quad (3)$$

Після скорочення обох частин рівняння на R^2 і врахувавши, що $\omega = 2\pi n$,

одержимо $(m_1 + \frac{1}{2} m_2) n_1 = \frac{m_2 n_2}{2}$, відкіля частота обертання платформи в

кінцевому стані:

$$n_2 = \frac{2(m_1 + \frac{m_2}{2})n_1}{m_2}; n_2 = \frac{2(80 + 100) * 12}{200} = 21,6 \text{ об/хв}$$

Для визначення роботи, чиненої людиною при переміщенні,

скористаємося формулою: $A = \frac{1}{2} J_2 (\omega_2^2 - \omega_1^2)$

$$A = \frac{1}{2} m_1 R^2 (-2 * 3,14 * 0,2^2 + 0,36^2 * 2 * 3,14) = 32,4 \text{ Дж.}$$

Питання для самоконтролю

1. Що виражає собою енергія і робота? Чи завжди роботу в широкому змісті цього слова можна виразити через силу і шлях?
2. Що називають потужністю? Наведіть одиниці її вимірювання.
3. Що називають кінетичною енергією тіла? Потенціальною енергією? Від чого вони залежать?
4. У чому складається закон збереження механічної енергії матеріальної точки, що рухається в консервативному полі? Планета рухається по еліпсу. Чи буде повна енергія залишатися постійною?
5. По якій ознаці поділяються удари тіл на абсолютно пружні й абсолютно не пружні? Виведіть формули для кінцевої швидкості куль при ударі і проаналізуйте їх.

Завдання для самостійного розв'язування в аудиторії

1.31. Яка енергія пішла на деформацію двох вагонеток масами $m_1 = m_2 = 400 \text{ кг}$, що зіткнулися, якщо вони рухалися назустріч одна одній зі швидкостями $V_1 = 3 \text{ м/с}$ і $V_2 = 8 \text{ м/с}$, а удар був прямий і не пружний.

1.32. Дві кулі масами $m_1 = 0,2 \text{ кг}$ і $m_2 = 0,8 \text{ кг}$, підвішені на двох паралельних нитках довжиною $L = 2 \text{ м}$, дотикаються одна до одної. Менша куля відводиться на кут $\alpha = 90^\circ$ від початкового положення і відпускається. Знайти швидкість

куль після зіткнення, вважаючи удар абсолютно не пружним. Яка частина механічної енергії піде на нагрівання куль?

1.33. Після вибуху гранати, що летіла зі швидкістю $V = 8$ м/с, утворились два осколки. Осколок, маса якого становила 0,3 від маси гранати, продовжував рухатись у попередньому напрямку зі швидкістю $V_1 = 30$ м/с. Визначити швидкість другого осколка.

1.34. На підніжку вагонетки, що рухається прямолінійно зі швидкістю $V = 2$ м/с, стрибає людина масою $m = 60$ кг у напрямку, перпендикулярному до ходу вагонетки. Маса вагонетки $M = 240$ кг. Визначити швидкість вагонетки разом з людиною.

1.35. Два човни масою $M = 100$ кг кожен ідуть паралельним курсом назустріч один одному з однаковою швидкістю $V = 5$ м/с. Коли човни зустрічаються, з першого човна на другий перекидають вантаж масою $m = 25$ кг, а потім з другого човна в перший перекидають такий же вантаж. Визначити швидкості човнів.

1.36. Якою кінетичною енергією володіло тіло масою $m = 2$ кг, якщо воно піднялось по похилій площині з кутом нахилу $\alpha = 30^\circ$ на висоту $H = 1$ м? Коефіцієнт тертя між тілом і похилою площиною $\mu = 0,1$.

1.37. На тонкій нитці підвішений пружинний пістолет так, що ствол розміщений горизонтально. На який кут відхилиться нитка після пострілу, якщо куля масою $m = 20$ г при вильоті зі ствола має швидкість $V = 10$ м/с? Маса пістолета $M = 200$ г.

1.38. Знайдіть роботу, яка виконується при підніманні вантажу масою $m = 10$ кг по похилій площині конвеєра з кутом нахилу $\alpha = 45^\circ$ на відстань $S = 2$ м, якщо час піднімання вантажу $t = 2$ с, а коефіцієнт тертя $\mu = 0,1$.

1.39. Парашутист масою $m = 70$ кг здійснює зтяжний стрибок і через час $t = 14$ с має швидкість $v = 60$ м/с. Вважаючи рух парашутиста рівноприскореним, знайти роботу по подоланню опору повітря.

1.40. Кулька для гри в настільний теніс радіусом $r = 15$ мм і масою $m = 5$ г занурена у воду на глибину $H = 30$ см. Коли кульку відпустили, вона вистрибнула з води на висоту $h = 10$ см. Яка кількість тепла виділиться внаслідок тертя кульки і води?

1.41. Яку роботу потрібно здійснити, щоб маховик у вигляді диска масою $m = 100$ кг і радіусом $R = 0,4$ м, який знаходився у стані спокою, став обертатися з частотою $n = 20$ об/с?

1.42. Обчислити кінетичну енергію диска масою $m = 2$ кг, що котиться без ковзання по горизонтальній поверхні зі швидкістю $V = 2$ м/с.

1.43. Куля котиться без ковзання по горизонтальній поверхні. Повна кінетична енергія кулі $T = 14$ Дж. Визначити кінетичну енергію T_1 поступального і T_2 обертального руху кулі.

1.44. Однорідний тонкий стрижень довжиною $l = 1$ м може вільно обертатися відносно горизонтальної осі, що проходить через його кінець. Стрижень відхилили на кут $\varphi = 60^\circ$ і відпустили. Визначити кутову швидкість ω і лінійну швидкість V нижнього кінця стрижня в момент проходження ним положення рівноваги.

1.45. Кінетична енергія маховика, що обертається, дорівнює $T = 1$ кДж. Під дією постійного гальмівного моменту маховик почав обертатись рівно сповільнено і, зробивши $N = 80$ обертів, зупинився. Визначити момент сил тертя.

Література [1, 3, 5, 9, 10]

6. Практичне заняття 5. “Елементи спеціальної теорії відносності”

Мета: формування вміння, знань та навичок із спеціальної теорії відносності.

Завдання: навчитися оцінювати та використовувати фізичні поняття релятивістської механіки.

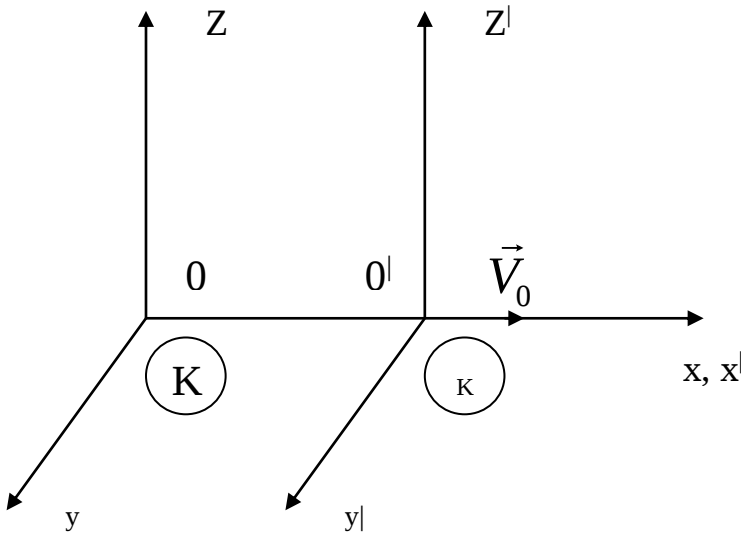


Рис. 16. Принцип відносності Галілея

У спеціальній теорії відносності розглядаються тільки інерціальні системи відліку. Якщо системи відліку рухаються відносно одна одної рівномірно і прямолінійно і в одній з них справедливі закони Ньютона, то обидві ці системи є інерціальними (див. рис. 16). Г.Галілей встановив, що у всіх інерціальних системах відліку закони класичної динаміки мають однакову форму запису.

Основи спеціальної теорії відносності закладені А.Ейнштейном і мають наступний вигляд:

1. Релятивістське (лоренцево) скорочення довжини стрижня (тіла):

$$l = l_0 \sqrt{1 - \left(\frac{V}{C}\right)^2}, \text{ де}$$

l_0 – довжина стрижня (тіла) у системі координат K^I , щодо якій стрижень спочиває (власна довжина);

c – швидкість поширення електромагнітного випромінювання;

V – швидкість руху стрижня.

2. Релятивістське уповільнення ходу часу:

$$\tau = \frac{\tau_0}{\sqrt{1 - \beta^2}}, \text{ де } \beta = \frac{V}{c},$$

τ_0 – проміжок часу між двома подіями, що відбуваються в одній точці системи K^I , обмірюваний по годиннику цієї системи (власний час годинника, що рухається);

τ – проміжок часу між двома подіями, обмірюваний по годиннику системи K .

3. Релятивістське додавання швидкостей:

$$V = \frac{V^I + V_0}{1 + \frac{V_0 V^I}{c^2}}$$

де V^I – відносна швидкість (швидкість тіла щодо системи K^I);

V_0 – переносна швидкість (швидкість системи K^I відносно K);

V – абсолютна швидкість (швидкість тіла щодо системи K).

У спеціальній теорії відносності абсолютні швидкості називаються швидкістю тіла в системі координат, умовно прийнятої за нерухому.

4. Релятивістська маса:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{V}{c}\right)^2}} \text{ чи } m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \beta^2}},$$

де m_0 – маса спокою частинки;

β – швидкість частинки, виражена в частках швидкості світла ($\beta = \frac{V}{c}$).

5. Релятивістський імпульс:

$$p = mV = \frac{m_0 V}{\sqrt{1 - \beta^2}}, \text{ чи } p = m_0 c \frac{\beta}{\sqrt{1 - \beta^2}}$$

6. Повна енергія релятивістської частинки.

$$E = mc^2 = m_0 c^2 + T$$

де T – кінетична енергія частинки;

$E_0 = m_0 c^2$ – енергія спокою частинки.

Частинка називається релятивістською, якщо її швидкість порівнянна зі швидкістю світла; і класичною, якщо $V \ll C$.

7. Зв'язок повної енергії з імпульсом релятивістської частинки має вигляд:

$$E^2 - p^2 c^2 = m_0^2 c^4$$

8. Зв'язок кінетичної енергії з імпульсом релятивістської частинки.

$$p^2 c^2 = T(T + 2E_0)$$

Питання для самоперевірки

1. У чому складається принцип відносності Галілея?
2. Напишіть перетворення Галілея і поясніть, як вони виходять. Яку роль грають ньютонівські уявлення про простір і час?
3. Які величини (і закони) називають інваріантними до перетворень Галілея? Покажіть інваріантність до перетворень Галілея законів Ньютона, закону збереження імпульсу і моменту імпульсу, закону збереження механічної енергії.
4. Напишіть перетворення Лоренца. Яке тлумачення простору і часу в спеціальній теорії відносності?
5. Наведіть ефект уповільнення часу.
6. В чому суть релятивістського правила додавання швидкостей.
7. Наведіть елементи релятивістської динаміки.
8. Наведіть закон Ньютона в релятивістській формі.
9. Наведіть релятивістський імпульс і масу.
10. Наведіть релятивістську енергію та зв'язок маси й енергії.
11. Наведіть закони збереження енергії й імпульсу для замкнутих систем.

Приклади рішення задач

Задача 1. При якій відносній швидкості руху релятивістське скорочення довжини тіла, що рухається, складає 25 %.

Аналіз і рішення задачі

Довжина l тіла, що рухається зі швидкістю V щодо деякої системи відліку зв'язана з довжиною l_0 тіла, нерухомого в цій системі, співвідношенням

$$l = l_0 \sqrt{1 - \beta^2}, \text{ де} \quad (1)$$

$$\beta = \frac{V}{c}; \text{ } c - \text{швидкість світла в вакуумі.}$$

$$\text{За умовою задачі } \frac{l_0 - l}{l_0} = 1 - \frac{l}{l_0} = 0,25, \quad \frac{l}{l_0} = 0,75 \text{ чи відкіля}$$

$$l = 0,75 l_0 \quad (2)$$

Підставляючи рівність (2) в рівняння (1), одержимо:

$$\sqrt{1 - \beta^2} = 0,75 \text{ чи } 1 - \beta^2 = (0,75)^2 = 0,5625$$

$$\beta = \frac{V}{c} = \sqrt{0,4375} = 0,6615$$

швидкість V тіла, що рухається: $V = \beta * c = 0,6615 * 3 * 10^8 = 1,98 * 10^8 \text{ м/с.}$

Задача 2. Визначити, при якій швидкості повна енергія π -мезона в 10 разів більше її енергії спокою.

Аналіз і рішення задачі

Повна енергія π -мезона складається з кінетичної енергії π -мезона T і з власної енергії π -мезона E (енергія спокою).

$$E = E_0 + T \quad \text{або} \quad E = m_0 c^2 + T \quad (1) \quad \text{де } E_0 = m_0 c^2.$$

Тому що $E = mc^2$, то з огляду на залежність маси від швидкості,

одержимо:
$$E = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \beta^2}} \quad \text{за умовою задачі} \quad \frac{E}{E_0} = 10,$$

$$\text{тобто} \quad \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}} = 10, \quad \text{відкіля} \quad \beta = \frac{V}{c} = 0,995$$

Швидкість π -мезона визначимо наступним чином :

$$V = \beta * c = 0,995 * 3 * 10^8 \text{ м/с} = 2,985 * 10^8 \text{ м/с}.$$

Задача 3. Визначити релятивістський імпульс p і кінетичну енергію T протона, що рухається зі швидкістю $V = 0,662c$ (де c – швидкість світла у вакуумі).

Аналіз і рішення задачі

$$\text{Релятивістський імпульс: } p = mV = m_0 c \frac{\beta}{\sqrt{1 - \beta^2}},$$

$$p = \frac{1.672 * 10^{-27} * 3 * 10^8 * 0.662}{\sqrt{1 - (0.662)^2}} = 4,41 * 10^{-19} \text{ кг.м/с}.$$

В релятивістській механіці кінетична енергія T частинки визначається як різниця між повною енергією E і енергією спокою E_0 цієї частинки: $T = E - E_0$, так як $E_0 = m_0 c^2$ то з огляду на залежність маси від швидкості, одержимо:

$$T = c^2 (m - m_0) = m_0 c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}} - 1 \right)$$

Підставивши дані, одержимо:

$$T = 1,627 * 10^{-27} (3 * 10^8)^2 * \left(\frac{1}{\sqrt{1 - (0,662)^2}} - 1 \right) = 6,02 * 10^{-11} \text{ Дж}$$

Завдання для самостійного аудиторного розв'язання

1.46. Чому дорівнює довжина космічного кораблю, який рухається зі швидкістю $0,8c$. Довжина кораблю у стані спокою 100м.

1.47. З якою швидкістю повинна рухатися частинка, щоб її маса збільшилася у 3 рази?

- 1.48.** Чому повинна бути маса космонавта, який рухається у космічному кораблі зі швидкістю $0,8 \text{ с}$? Маса космонавта у стані спокою 80 кг .
- 1.49.** З якою швидкістю рухається тіло, якщо його повздовжні розміри зменшилися на 30% ?
- 1.50.** Визначте швидкість частинки, якщо її повна енергія в 4 рази більше кінетичної?
- 1.51.** Повна енергія частинки з масою m у 5 разів більше її кінетичної енергії. Визначте імпульс частинки.
- 1.52.** Дві частинки в деякий час перебувають на відстані $S=1000 \text{ м}$ одна від одної й рухаються назустріч зі швидкостями $v_1 = 0,4 \text{ с}$ і $v_2 = 0,6 \text{ с}$. Через який час частинки зіштовхнуться?
- 1.53.** Протон рухається зі швидкістю $0,7$ швидкості світла. Знайти імпульс і кінетичну енергію протона.
- 1.54.** Космічна ракета рухається з великою відносною швидкістю. Релятивістське скорочення її довжини складає 36% . Визначте швидкість руху ракети.
- 1.55.** При якій швидкості руху кінетична енергія електрона дорівнює 5 МеВ ?
- 1.56.** З моменту утворення до розпаду π -мезон пролетів відстань $1,35 \text{ км}$. Час життя π -мезона в нерухомій системі координат 5 мкс . Визначте час життя π -мезона згідно годинника у системі координат, яка рухається разом з ним.
- 1.57.** Протон рухається зі швидкістю $0,8 \text{ с}$. Назустріч йому рухається електрон зі швидкістю $0,9 \text{ с}$. Які їхні швидкості відносно один одного. Визначте їхню повну енергію.

Література: [1, 3, 5, 10, 11]

7. Практичне заняття 6. “Механічні коливання і хвилі”

Мета: формування вміння, знань та навичок із механічних коливань і хвиль.

Завдання: навчитися використовувати фізичні поняття механічних коливань та хвиль.

Механічні періодичні коливання описують рухи, що повторюються через однакові проміжки часу. Коливання, що відбуваються за законом синуса або косинуса, називаються гармонійними та описуються рівняннями гармонічних коливань: $x = A \sin(\omega t + \varphi_0)$, або $x = A \cos(\omega t + \varphi_0)$ (1)

Графік гармонійних коливань представлений на рис.1

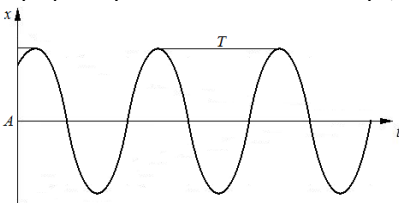


Рис.1. Графік гармонійних коливань

Швидкість точки, яка коливається, це перша похідна зміщення за часом:

$$v = \dot{x} = -A\omega \sin(\omega t + \varphi_0) = A\omega \cos\left(\omega t + \varphi_0 + \frac{\pi}{2}\right) \quad (2)$$

Прискорення визначається повторним диференціюванням:

$$a = \dot{v} = -A\omega^2 \cos(\omega t + \varphi_0) \quad (3)$$

Диференціальне рівняння гармонійних коливань

Підстановка виразу (3) у другий закон Ньютона визначає квазіпружну силу під дією якої виникають гармонійні коливання:

$$F = ma = -mA\omega^2 \cos(\omega t + \varphi_0) = m\omega^2 x \quad (4)$$

$$F = -k \cdot x, \quad \text{де } k = m\omega^2 \quad (5)$$

Перетворення рівняння, записаного за другим законом Ньютона: $ma = F$,

$$\text{дає: } m\ddot{x} = -kx \quad \text{або} \quad m\ddot{x} + kx = 0, \quad \text{таким чином: } \ddot{x} + \frac{k}{m}x = 0. \quad (6)$$

Якщо прийняти, що: $\omega^2 = \frac{k}{m}$, то диференціальне рівняння гармонійних

коливань набуде вигляду: $\ddot{x} + \omega^2 x = 0$. (7)

Рішенням цього рівняння є рівняння гармонійного коливання:

$$x = A \cos(\omega t + \varphi_0). \quad (8)$$

Енергія гармонічних коливань

Кінетична енергія точки, що коливається з початковою фазою $\varphi_0 = 0$, дорівнює:

$$W_k = \frac{mv^2}{2} = \frac{(A\omega \sin \omega t)^2}{2} = \frac{mA^2\omega^2}{2} \cos^2\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) =$$

$$\frac{mA^2\omega^2}{4} [1 - \cos(2\omega t + \pi)], \quad (9)$$

Потенційна енергія дорівнює негативної роботі квазіпружної сили:

$$W_n = -\int_0^x (-kx) dx = \frac{kx^2}{2} = \frac{m\omega^2 A^2}{2} \cos^2 \omega t = \frac{m\omega^2 A^2}{4} [1 - \cos 2\omega t]. \quad (10)$$

Повна механічна енергія гармонічного осцилятора визначається:

$$W = W_k + W_n = \frac{m\omega^2 A^2}{2} \sin^2 \omega t + \frac{m\omega^2 A^2}{2} \cos^2 \omega t = \frac{m\omega^2 A^2}{2} = \text{const} \quad (11)$$

Пружні хвилі

Хвилею називається процес поширення коливань у суцільному середовищі. Основною властивістю хвилі є перенесення енергії без перенесення речовини.

Пружними називаються хвилі, що поширюються у пружному середовищі (твердому, рідкому або газоподібному).

Відстань між найближчими частинками, що коливаються в однаковій фазі, називається довжиною хвилі, тобто довжина хвилі дорівнює відстані, на яке поширюється хвиля за період T : $\lambda = \nu T$, (1)

де ν - швидкість поширення хвилі.

Період коливань пов'язаний з частотою: $T = \frac{1}{\nu}$, тоді: $\lambda \nu = \nu$.

Рівняння плоскої і сферичної хвилі

Рівнянням хвилі називається вираз, який дає зміщення коливної точки, як функцію її координат: x, y, z і часу t : $\xi = \xi(x, y, z, t)$. (2).

Коливання точок, що лежать в площині $x = 0$ має вигляд:

$$\xi = \xi(0, t) = A \cos \omega t. \quad (3)$$

Рівняння плоскої хвилі має вигляд: $\xi(x, t) = A \cos \omega(t - \frac{x}{\nu})$, (4)

де $k = \frac{\omega}{\nu} = \frac{2\pi}{\nu T} = \frac{2\pi}{\lambda}$ - фаза хвилі, або: $\omega(t - \frac{x}{\nu}) = \omega t - \frac{\omega}{\nu} x = \omega t - kx$,

де $k = \frac{\omega}{\nu} = \frac{2\pi}{\nu T} = \frac{2\pi}{\lambda}$ - називається хвильовим числом.

Рівняння плоскої хвилі (1) можна переписати з урахуванням хвильового числа:

$$\xi(x, t) = A \cos(\omega t - kx). \quad (5)$$

Рівняння сферичної хвилі має вигляд: $\xi(r, t) = \frac{A}{r} \cos \omega(t - \frac{r}{\nu})$, (6)

де r - відстань від центру хвилі до розглянутої точки середовища,

A - амплітуда коливань, яка зменшується з відстанню за законом: $\frac{1}{r}$.

Задача 1. Матеріальна точка здійснює гармонічне коливання з частотою $\nu = 50$ Гц, В момент прийнятий за початковий, точка мала максимальне зміщення $X_{\max} = 5$ см. Написати рівняння коливань матеріальної точки.

Розв'язання

Рівняння коливань точки можна записати у вигляді $x = A \sin(\omega t + \varphi)$ (1)

Де A - амплітуда коливань, ω - циклічна частота, φ_0 - початкова фаза.

За визначенням, амплітуда коливань $A = X_{\max}$.

Циклічна частота ω пов'язана з частотою співвідношенням $\omega = 2\pi \nu$ (2).

Початкова фаза коливань залежить від форми запису. Якщо використовувати формулу (1), то початкову фазу можна визначити з умови: у момент часу $t = 0$

$X_{\max} = A \sin \varphi_1$ звідси $\varphi_1 = \arcsin(X_{\max}/A) = \arcsin 1$, тобто $\varphi_0 = \pi/2$ (3).

З урахуванням виразів (1) - (3) рівняння коливань набудуть вигляду:
 $X = X_{\max} \sin(2\pi \nu t + \pi/2)$, після пістановки
 даних отримаємо: $X = 0,05 \sin(100\pi t + \pi/2)$, м.

Задача 2. Матеріальна точка масою $m = 10$ г здійснює гармонічне коливання із частотою $\nu = 0,5$ Гц. Амплітуда коливань $A = 6$ см, початкова фаза $\varphi_0 = 0$. Визначити: 1) швидкість v точки у момент часу, коли зміщення $X = 3$ см; 2) максимальну силу $F_{\max}$, що діє на точку; 3) повну енергію E точки, що коливається.

Розв'язання

Рівняння гармонічного коливання має вигляд $x = A \sin(\omega t + \varphi_0)$ (1).

Щоб визначити швидкість через зміщення, треба із формули (1) визначити час:
 $3 = 6 \sin(2\pi \cdot 0,5)t = 6 \sin \pi t$;
 звідки $t = 1/6$ с.

Формулу швидкості одержимо, взявши першу похідну за часом від зміщення X :
 $v = dx/dt = A\omega \cos(\omega t + \varphi_0)$ (2).

Підставивши числові значення, одержимо: $v = \pm 5,2$ см/с.

Знак $+$ відповідає випадку, коли напрям швидкості збігається з позитивним напрямом осі X .

Силу, що діє на точку, знайдемо за другим законом Ньютона: $F = ma$ (3)

$a = dv/dt = -A\omega^2 \sin(\omega t + \varphi_0)$. Підставивши цей вираз для прискорення у формулу (3) матимемо: $F = -4\pi^2 \nu^2 m A \sin(\omega t + \varphi_0)$.

Звідси отримаємо максимальне значення сили: $F_{\max} = 4\pi^2 \nu^2 m A$

Підставивши числові значення величин, знайдемо: $F_{\max} = 0,64$ Н.

Повна енергія точки, що коливається, є сумою кінетичної і потенціальної енергій, обчислених для будь-якого моменту часу.

Простіше обчислити повну енергію в мить, коли кінетична енергія досягає максимального значення. У цей момент потенціальна енергія дорівнює нулю. Тому повна енергія W точки, що коливається, дорівнює максимальній кінетичній енергії і $W_{\max}$ може бути визначена за формулою: $E = mv^2/2$ (4)

Підставивши цей вираз для швидкості у формулу (6), знайдемо: $W = 2\pi^2 \nu^2 m A^2$. (5). Після пістановки числових значень отримаємо: $W = 1,92 \cdot 10^{-6}$ Дж.

Задача 3. Повз нерухомого спостерігача, який знаходиться на березі озера, за 10 с пройшло 6 гребенів хвилі. Відстань між першим та четвертим гребенями дорівнює 18 м. Визначити: 1) період коливань частинок хвилі; 2) швидкість розповсюдження; 3) довжину хвилі..

Розв'язання

1) Відстань між першим та четвертим гребенями: $S = 3\lambda$.

Отже, довжина хвилі $\lambda = S/3$; $\lambda = 18/3 = 6$ м.

2) Шістьом гребеням відповідає 5λ - тобто, $N = 5$. Якщо хвильовий процес розповсюджується на 5λ , то:

$T = t/N$; $T = 10/5 = 2$ с.

3) Швидкість розповсюдження хвилі: $v = \lambda/T$; $v = 6/2 = 3$ м/с.

Питання для самоперевірки

1. Наведіть приклади коливань. Які з них є механічними?
2. Що таке період, частота та колова, або циклічна, частота коливань? Як ці величини пов'язані між собою?
3. Які величини, що характеризують коливальний рух, змінюються періодично?
4. Які властивості повинні мати сили, що викликають коливальний рух?
5. Які коливання вважають гармонічними? Запишіть рівняння гармонічних коливань.
5. В яких точках траєкторії тіло, що коливається, має лише потенціальну енергію?
6. В які моменти руху тіло, що коливається, має лише кінетичну енергію?
7. Як визначають потенціальну енергію тіла, що коливається? Яке максимальне значення може мати ця енергія?
8. Яке максимальне значення кінетичної енергії може мати тіло, що коливається? Яке у цьому разі значення швидкості тіла?
9. Яку повну механічну енергію має тіло, що коливається, у будь-якій точці траєкторії?
10. Чому в реальних системах відбуваються втрати механічної енергії? Чи існують у природі власні коливання?
11. За яких умов спостерігаються вільні коливання? Який характер має їхній графік?
12. За яких умов коливання зовсім неможливі?

Завдання для самостійного розв'язання в аудиторії

- 1.58.** Точка здійснює коливання за законом $x = A \sin(\omega t)$. В певний момент часу зміщення точки виявилось рівним $x_1 = 5$ см. Коли фаза коливань збільшилась удвічі, зміщення стало рівним $x_2 = 8$ см. Знайти амплітуду A коливань.
- 1.59.** Точка здійснює гармонічні коливання. Найбільше зміщення точки $x_{\max} = 10$ см, найбільша швидкість $v_{\max} = 20$ см/с. Знайти циклічну частоту коливань ω і максимальне прискорення точки $a_{\max}$.
- 1.60.** Початкова фаза гармонічного коливання $\phi_0 = 0$. При зміщенні точки від положення рівноваги $x_1 = 2,4$ см швидкість точки $V_1 = 3$ см/с, а при зміщенні $x_2 = 2,8$ см її швидкість $V_2 = 2$ см/с. Знайти амплітуду A і період T цього коливання.
- 1.61.** Точка здійснює гармонічне коливання. Період коливання $T = 2$ с, амплітуда $A = 5$ см, початкова фаза $\phi_0 = 0$. Знайти швидкість V в момент часу, коли зміщення точки від положення рівноваги $x = 2,5$ см.
- 1.62.** Визначити амплітуду вимушених коливань вантажу масою $m = 0,2$ кг, підвішеного на пружині жорсткістю $k = 20$ Н/м, якщо діє змушуюча сила з амплітудою $F_{\max} = 2$ Н і частотою, удвічі більшою від власної частоти коливань вантажу, а коефіцієнт згасання $\beta = 0,5$ с⁻¹.
- 1.63.** Визначити період коливань вантажу на пружинних терезах, якщо у стані рівноваги він зміщує стрілку ваги на $\Delta x = 2$ см від нульової поділки, яка відповідає ненавантаженій пружині.
- 1.64.** Кулька масою $m = 200$ г підвішена на пружині і коливається з частотою $\nu = 5$ Гц. Визначити коефіцієнт жорсткості пружини.

1.65. У скільки разів зменшиться повна енергія коливань секундного маятника за $t = 5\text{хв}$, якщо логарифмічний декремент згасання $\delta = 0,031$?

1.66. Амплітуда коливань камертона за час $t = 15\text{ с}$ зменшилась у 100 разів. Знайти коефіцієнт згасання коливань.

1.67. Знайти частоту коливань вантажу масою $m = 0,2\text{ кг}$, підвішеного на пружині і зануреного в олію, якщо коефіцієнт тертя в олії $\eta = 0.5\text{ кг/с}$, а жорсткість пружини $k = 50\text{ Н/м}$.

1.68. Знайти швидкість поширення звукових коливань в повітрі, довжина хвилі яких $\lambda = 1\text{ м}$, а частота коливань $\nu = 340\text{ Гц}$. Чому дорівнює максимальна швидкість зміщення частинок повітря, якщо амплітуда коливань $A = 0,2\text{ мм}$?

1.69. На якій відстані від джерела коливань, які здійснюються за законом синуса, в момент часу $t = T/2$ зміщення точки від положення рівноваги дорівнює половині амплітуди? Швидкість поширення коливань $V = 340\text{ м/с}$. Період коливань $T = 10^{-3}\text{ с}$.

1.70. У скільки разів зміниться довжина ультразвукової хвилі при переході хвилі зі сталі у мідь, якщо швидкості поширення ультразвуку у міді і сталі відповідно дорівнюють $v_1 = 3600\text{ м/с}$ і $v_2 = 5500\text{ м/с}$?

1.71. Дві точки знаходяться на відстані $x = 50\text{ см}$ одна від одної на прямій, вздовж якої поширюється хвиля із швидкістю $v = 50\text{ м/с}$. Період коливань $T = 0,05\text{ с}$. Знайти різницю фаз $\Delta\phi$ коливань у цих точках.

1.72. Плоска звукова хвиля має період $T = 3\text{ мс}$, амплітуду $A = 0,2\text{ мм}$ і довжину хвилі $\lambda = 1,2\text{ м}$. Для точок середовища, віддалених від джерела коливань на відстань $x = 2\text{ м}$, знайти зміщення $\xi(x, t)$, швидкість; і прискорення для моменту часу $t = 7\text{ мс}$. Початкову фазу коливань вважати рівною нулю.

1.73. Визначити різницю фаз $\Delta\phi$ коливань джерела хвиль, що знаходиться в пружному середовищі і точки цього середовища, яка знаходиться на відстані $x = 2\text{ м}$ від джерела. Частота коливань дорівнює $\nu = 5\text{ Гц}$; хвилі поширюються із швидкістю $v = 40\text{ м/с}$.

1.74. Хвиля поширюється в пружному середовищі зі швидкістю $v = 100\text{ м/с}$. Найменша відстань між точками середовища, фази яких протилежні, дорівнює $\Delta x = 1\text{ м}$. Визначити частоту ν коливань.

1.75. Визначити швидкість v поширення хвилі у пружному середовищі, якщо різниця фаз коливань двох точок середовища, які знаходяться одна від одної на відстані $\Delta x = 10\text{ см}$, дорівнює $\Delta\phi = \pi/3$. Частота коливань $\nu = 25\text{ Гц}$.

1.76. Знайти зміщення x від положення рівноваги точки пружного середовища, віддаленої від джерела коливань на відстань $l = \lambda/12$, для моменту часу $t = T/6$. Амплітуда коливань $A = 0,05\text{ м}$.

1.77. Зміщення від положення рівноваги точки, яка віддалена від джерела коливань на відстань $l = 4\text{ см}$, в момент часу $t = \pi/6$ дорівнює половині амплітуди. Знайдіть довжину біжучої хвилі.

Література: [2, 3, 4, 5, 9, 10]

8. ЕКЗАМЕНАЦІЙНІ ПИТАННЯ З ФІЗИКИ (частина 1)

БЛОК №1 КІНЕМАТИКА (основи класичної механіки)

1. Предмет фізики. Методи фізичного дослідження. Об'єктивний характер законів фізики. Зв'язок фізики з майбутнім фахом.
2. Механічний рух. Кінематичні характеристики: м. т., траєкторія, системи відліку, відносність руху, переміщення, швидкість, прискорення).
3. Класифікація механічного руху. Кінематика поступального руху. Рівномірний та рівно змінний рухи. Кінематичні залежності механічного руху та їх графічна інтерпретація.
4. Вільне падіння та рух тіла, кинутого вертикально в безповітряному просторі. Кінематичні залежності руху та приклади їх використання.
5. Криволінійний рух. Нормальне та тангенціальне прискорення. Кінематичні залежності обертального руху (кутова швидкість, кутове прискорення).
6. Рух тіла, кинутого горизонтально і під кутом до горизонту.

БЛОК №2 ДИНАМІКА ПОСТУПАЛЬНОГО РУХУ

1. Поняття маси, сили, імпульсу, закон збереження маси та її адитивність. Додавання сил. Закон збереження імпульсу та його використання.
2. Інерціальні та неінерціальні системи відліку. Закони Ньютона, їх значення та використання для розрахунку механічного обладнання.
3. Сили в механіці: тяжіння, пружності, тертя. Закони Ньютона, Гуку, Амонтона-Кулона.
4. Закон збереження імпульсу та його використання до зіткнення тіл.
5. Енергія як універсальна міра різних форм руху матерії. Потенціальна та кінетична енергія поступального руху. Теорема про зміну кінетичної енергії.
6. Механічна робота та потужність. Робота сталої та змінної сили. Робота сил тяжіння, пружності, тертя.
7. Закон збереження та перетворення енергії. Використання закону збереження енергії для пружного зіткнення тіл.

БЛОК №3 МЕХАНІКА ТВЕРДОГО ТІЛА

1. Аксиоми статички. Додавання сил. Умови рівноваги тіла.
2. Момент сили. Правило моментів. Прості механізми та їх використання.
3. Момент інерції тіла. Момент інерції тіл правильної геометричної форми. Теорема Гюйгенса-Штейнера та її використання.
4. Кінетична енергія тіла, яка обертається навколо осі. Повна кінетична енергія.
5. Момент інерції тіла відносно осі. Основне рівняння динаміки обертального руху твердого тіла (другий закон Ньютона для абсолютно твердого тіла).
7. Закон збереження моменту імпульсу та його використання.

БЛОК №4 ЕЛЕМЕНТИ СПЕЦІАЛЬНОЇ ТЕОРІЇ ВІДНОСНОСТІ

Перетворення Галілея. Механічний принцип відносності Галілея. Постулати спеціальної теорії відносності Ейнштейна.

2. Перетворення Лоренца. Наслідки з перетворень Лоренца. Відносність довжини і проміжку часу.
3. Релятивістська динаміка: маса, швидкість, імпульс, сила, енергія. Основний закон релятивістської динаміки матеріальної точки.
4. Закон взаємозв'язку маси та енергії.

БЛОК №5 МЕХАНІКА РІДИН І ГАЗІВ

1. Основи гідростатики та аеростатики. Стисливість рідин та їх рівновага. Закон Паскаля та його використання.
2. Гідростатичний тиск. Сполучені посудини та їх використання. Гідростатичний парадокс.
3. Закон Архімеда. Умови плавання тіл. Використання закону Архімеда.
4. Основи гідродинаміки та аеродинаміки. Стаціонарна течія ідеальної рідини. Теорема про нерозривність струменя.
5. Рівняння Бернуллі. Застосування теореми Бернуллі до руху повітря.

БЛОК №6 МЕХАНІЧНІ КОЛИВАННЯ І ХВИЛІ

1. Механічні коливання. Класифікація та характеристики коливань.
2. Гармонічні механічні коливання. Диференційне рівняння гармонічних коливань.
3. Механічні осцилятори: математичний, пружний та фізичний маятники.
4. Повертаюча сила (квазіпружна). Енергія коливального руху.
5. Додавання коливань. Биття та захист від нього. Фігури Ліссажу.
6. Вимушені коливання. Диференційне рівняння і його рішення. Автоколивання. Резонанс.
7. Акустика. Характеристики звуку. Швидкість звуку. Явище Допплера.
8. Хвильові процеси. Механізм виникнення механічних хвиль. Поздовжні та поперечні хвилі. Кінематичні характеристики хвиль.
9. Гармонічні хвилі. Рівняння прохідної хвилі. Енергія хвилі.
10. Принцип суперпозиції хвиль. Когерентність хвиль. Інтерференція. Стоячі хвилі. Складні хвилі.

БЛОК №7 ОСНОВИ МОЛЕКУЛЯРНОЇ ФІЗИКИ ТА ТЕРМОДИНАМІКИ

1. Статистичні та термодинамічні методи дослідження. Термодинамічні параметри та їх характеристики.
2. Основні положення МКТ та їх дослідне обґрунтування. Броунівський рух. Дифузія. Взаємодія молекул. Молекулярні сили.
3. Модель ідеального газу. Газові закони: Авогадро, Дальтона, Паскаля, Клапейрона, Менделєєва-Клапейрона.
4. Ізопроцеси. Закони Бойля-Маріотта, Гей-Люссака, Шарля, Пуассона.
5. Основне рівняння МКТ ідеального газу та його порівняння з рівнянням Менделєєва-Клапейрона.

6. Середня кінетична енергія молекул. Кількість ступенів свободи. Закон рівномірного розподілу енергії по ступеням свободи молекул (закон Больцмана). Внутрішня енергія ідеального газу та шляхи її зміни.
7. Робота газу при зміні його об'єму.
8. Кількість теплоти. Теплоємність. Залежність питомої теплоємності від виду процесу. Рівняння Майєра.
9. Перше начало термодинаміки та його застосування до ізопроеесів.
10. Явища переносу: теплопровідність, в'язкість, дифузія. Закони переносу.
11. Зворотні і незворотні процеси. Коловий процес. Цикл Карно і його ККД.
12. Теплові двигуни та холодильні машини. Їх використання.
13. Друге начало термодинаміки та його статистичний зміст. Ентропія ідеального газу.
14. Реальні гази. Рівняння Ван-дер-Ваальса. Ізотерми Ван-дер-Ваальса. Фазові переходи I і II роду. Критичний стан. Внутрішня енергія реального газу.

БЛОК № 8 ЕЛЕКТРОСТАТИКА

1. Електричний заряд. Закон збереження та квантування заряду. Закон Кулона. Електричне поле. Характеристики поля. Принцип суперпозиції.
2. Потенціал електростатичного поля. Енергія взаємодії системи зарядів.
3. Циркуляція і ротор електростатичного поля. Теорема Остроградського-Гауса для розрахунку електростатичного поля.
4. Електричне поле в діелектриках. Електричний диполь. Полярні і неполярні діелектрики. Напруженість поля в діелектриках. Поляризованість. Об'ємні і поверхневі зв'язані заряди. Сегнетоелектрики.
5. Провідники в електричному полі. Рівновага зарядів на провіднику. Провідник у зовнішнім електричному полі. Електроємність. Конденсатори.
6. Енергія електричного поля. Енергія зарядженого провідника. Енергія зарядженого конденсатора. Енергія електричного поля.

БЛОК №10 СТАЛИЙ ЕЛЕКТРИЧНИЙ СТРУМ

1. Електричний струм. Характеристики струму. Умови виникнення та існування електричного струму.
2. Сторонні сили. Електрорушійна сила. Напруга.
3. Закон Ома для однорідної ділянки кола. Опір провідників.
4. Закон Ома для неоднорідної ділянки кола.
5. Закони Ома в диференційній та інтегральній формах.
6. Розгалужені ланцюги. Правила Кірхгофа для розгалужених кіл.
7. Робота та потужність струму. Закон Джоуля-Ленца.
8. Термoeлектричні явища та їх застосування.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Волков О.Ф., Лумпієва Т.П. Курс фізики: У 2-х т. Т.1: Физические основы механики. Молекулярная физика и термодинамика. Электростатика. Постоянный ток. Электромагнетизм: Учебное пособие для студентов инженерно-технических специальностей высших учебных заведений .– Донецк: ДонНТУ, 2009. – 232 с.
2. Волков О.Ф., Лумпієва Т.П. Курс фізики: У 2-х т. Т.2: Колювання і хвилі. Хвильова і квантова оптика. Елементи квантової механіки. Основи фізики твердого тіла. Елементи фізики атомного ядра. Навчальний посібник для студентів інженерно-технічних спеціальностей вищих навчальних закладів. – Донецьк: ДонНТУ, 2009. – 208 с.
3. Лумпієва Т.П. Практикум з фізики. Розв'язання задач. Частина 1: Фізичні основи механіки. Молекулярна фізика і термодинаміка. Електростатика. Постійний струм. Електромагнетизм: навчальний посібник для студентів інженерно-технічних спеціальностей вищих навчальних закладів / Т.П. Лумпієва, Н.М. Русакова, О.Ф. Волков – Донецьк: ДВНЗ «ДонНТУ», 2014. – 248 с.
4. Трофимова Т.И. Курс физики.– Москва: Высшая школа, 1990.
5. Чертов А.Г., Воробьев А.А. Задачник по физике. – М. : Высшая школа, 1981, 1985
6. Фізика для інженерів. – Під ред. Лопатинського, - Львів: Либідь, 2000.
7. Волькенштейн В.С. Сборник задач по общему курсу физики. – М. : «Наука», 1987.
8. Яворский Б.М., Детлаф А.А. Справочник по физике. – М. : Наука, 1985.
9. Загальна фізика. Лабораторний практикум. За загальною редакцією І.Т.Горбачука. – Київ: “Вища школа”, 1992.
10. Матвеев А.Н. Механіка та теорія відносності. М., Вища школа, 1991.
11. Сергієнко Л.Г., Гого В.Б., Сергієнко О.І. Завдання та методичні вказівки з фізики для студентів для індивідуальної СРС технічних спеціальностей, №250, Красноармійськ: “Видавничий центр КП ДВНЗ ДонНТУ”, 2014 – 50с.
11. І.М.Кучерук, І.Т.Горбачук, П.П.Луцик. Загальний курс фізики, ч.1. Київ: Техніка, 1999.
12. І.Г.Богацька, Д.В. Головка, А.А. Маляренко, Ю.Л. Ментковський. Загальні основи фізики. Київ: Либідь, 1998.

ТЕСТ ПО ФІЗИЦІ (тема "Механіка")

1. Повне прискорення точки робочого колеса шахтного турбокомпресора (турбомашини) визначається ... зовнішніх сил.
2. Кутове прискорення обертового колеса шахтної піднімальної установки зворотно пропорційне ... цього колеса.
3. Мірою інертності тіла є
4. Розрізняють сили тертя ..., ...,
5. Зміна механічної енергії незамкнутої системи визначається роботою ... дисипативних сил і усіх ... сил.
6. Продуктивність шахтного турбокомпресора ... швидкості обертання робочого колеса чи руху поршня.
7. Тиск, створюваний шахтною турбомашиною, ... швидкості обертання.
8. Потужність, яка споживається шахтною турбомашиною, ... швидкості обертання.
9. Приведена маса системи дорівнює не ... масі, а
10. Для пружного удару двох шахтних вагонеток коефіцієнт відновлення механічної енергії
11. Відповідно до рівняння Бернуллі при збільшенні швидкості потоку в шахтному трубопроводі його тиск
12. Сила тертя ковзання пропорційна ... силі.
13. При пружному ударі ... енергія системи
14. При русі тіла в рідині чи газі з відносно малими швидкостями сила опору пропорційна
15. Сила Коріолісу зв'язана с... рухом в обертовій... системі відліку.
16. Закон Гуку виражає ... залежність між напругами і малими деформаціями в пружному тілі.
17. Мірою зміни енергії є
18. Сили пружності, що виникають у канаті шахтної піднімальної лебідки, спрямовані убік
19. Рівновага шахтного обладнання може бути
20. Сумарна робота внутрішніх дисипативних сил може бути тільки

ТЕСТ ПО ФІЗИЦІ (тема "Термодинаміка")

1. Система, що не обмінюється з зовнішнім середовищем ні речовиною, ні енергією, називається...
2. Тиск обумовлений взаємодією ... робочого тіла з ... поверхнею.
3. Температурою називається фізична величина, що характеризує, ... тіла.
4. Якщо всі термодинамічні параметри постійні в часі і однакові у всіх точках термодинамічної системи, то такий стан називається...
5. Внутрішня енергія системи містить у собі:
 - а) ... енергію;
 - б) ... енергію;
 - в) енергію ... ;
 - г) ... енергію.
6. Внутрішня енергія молекул є функцією ... тіла.
7. Процес без теплообміну з зовнішнім навколишнім середовищем називається
8. Ексергія є ... системи.
9. Компресором є пристрій, призначений для ... і ... газів.
10. Зміна ... при дроселюванні газу називається ефектом ... Джоуля-Томсона.
11. У тепло ізольованій системі термодинамічні процеси ... протікають с... ентропії.
12. Дифузією називають явище переносу ..., яке обумовлене ... тепловим рухом молекул.
13. В'язкість полягає в переносі імпульсу з одного шару газу в інший при ... русі.
14. Ідеальною є рідина, в'язкістю якої
15. Рідини, які не стискаються, в трубці, яка звужується, мають ... прискорення і навпаки...
16. Рівняння Бернуллі уявляє собою закон збереження ...
17. Згідно рівнянню Бернуллі при збільшенні швидкості потоку його тиск ... , а при зменшенні швидкості -
18. Наближення рідини до ідеальної справедливо при ... значеннях числа Рейнольдса (Re).
19. Течія вважається ламінарною при Re ...
20. Течія вважається турбулентною, якщо Re ...

ДОВІДКОВІ МАТЕРІАЛИ

Таблиця 1. Основні фізичні постійні

Атомна одиниця маси, а.о.м.	$1,66 \cdot 10^{-27} \text{ кг} = 931 \text{ Мев}$
Маса спокою електрона, m_e	$9,11 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$
Маса спокою протона, m_p	$1,67 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
Маса спокою нейтрона, m_n	$1,68 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
Гравітаційна стала (γ)	$6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Нм}^2/\text{кг}^2$
Постійна Авогадро N_A	$6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$
Постійна Больцмана (k)	$1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$
Універсальна газова стала (R)	$8,31 \text{ Дж/К} \cdot \text{моль}$
Елементарний заряд (q)	$1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$
Число Фарадея (F)	$9,65 \cdot 10^7 \text{ Кл/кмоль}$
Електрична стала (ϵ_0)	$8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$
Магнітна стала (μ_0)	$4\pi 10^{-7} \text{ Гн/м}$
Швидкість світла в вакуумі (c)	$3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$
Нормальне прискорення вільного падіння (g)	$9,81 \text{ м/с}^2$

Таблиця 2. Молярні маси деяких хімічних елементів та газів
(10^{-3} кг/моль)

№ п/п	Назва газу	Молярна маса, а.о.м
1	водень	1
2	гелій	4
3	вуглець	12
4	азот	14
5	кисень	16
6	повітря	29
7	аргон	40

Таблиця 3. Властивості деяких рідин

Назва речовини	Поверхневий натяг, Н/м	Густина, кг/м^3
Спирт	0,02	-
Вода	0,073	1000
Гліцерин	0,064	1200
Ртуть	0,50	13600

Таблиця 4. Густина твердих тіл

Речовина	Густина, кг/м ³	Речовина	Густина кг/м ³
Осмій	22500	Мармур	2700
Іридій	22400	Граніт	2600
Платина	21500	Скло	2500
Золото	19300	Порцеляна	2300
Вольфрам	19000	Бетон	2200
Уран	18700	Сіль кухонна	2100
Свинець	11300	Глина суха	1800
Срібло	10500	Антрацит	1600
Мідь	8900	Оргскло, ебоніт	1200
Вісмут, нікель	8800	Капрон	1140
Латунь	8500	Поліетилен	940
Ніхром	8400	Парафін	900
Сталь, залізо	7800	Лід	900
Олово	7300	Дуб сухий	800
Цинк	7100	Береза суха	700
Чавун	7000	Ялина суха	600
Германій	6400	Сосна суха	440
Алмаз	3600	Сніг пухкий	250
Алюміній	2700	Пробка	240