

Факультет енергетики, енергозберігаючих технологій та
автоматизації енергетичних процесів
Кафедра фізики, електротехніки та електроенергетики

“ФІЗИКА” (I семестр)

Лекція №1

КІНЕМАТИКА ПОСТУПАЛЬНОГО Й ОБЕРТАЛЬНОГО РУХУ

Доцент кафедри ФЕТіЕЕ
к.т.н. Руденко Дмитро Васильович

Харків 2019

Питання лекції

1. Предмет фізики та її зв'язок з іншими науками.
2. Методи фізичного дослідження.
Розмірності фізичних величин і їх аналіз.
3. Предмет механіки.
4. Фізичні моделі в механіці. Система відліку.
5. Траєкторія, шлях, переміщення, швидкість і прискорення.
6. Нормальне і тангенціальне прискорення.
7. Кутова швидкість і кутове прискорення.

1. Предмет фізики та її зв'язок з іншими науками.

Фізика (від грецького слова physics – природа) вивчає найбільш загальні властивості та закони руху речовини й фізичних полів, як різних форм існування матерії, що перебуває у безперервному русі.

Матерія – це філософська категорія для позначення об'єктивної реальності, що дана людині у її відчуттях і існує незалежно від неї.

Фізика вивчає одні з найпростіших і в той же час найбільш загальних форм руху матерії: механічні, електромагнітні, внутрішньоатомні й внутрішньоядерні процеси.

Більш складні форми руху (хімічний, біологічний, суспільний) – це теж фізичний рух, хоча й не зводяться

Фізика тісно пов'язана з іншими природничими науками.

Цей зв'язок фізики з іншими галузями природознавства призвів до того, що фізика найглибшими коріннями вросла в астрономію, геологію, хімію, біологію й інші природничі науки. В результаті утворився ряд нових суміжних дисциплін, таких як: астрофізика, геофізика, фізична хімія, біофізика та інші.

Фізика тісно пов'язана і з технікою, причому цей зв'язок має двобічний характер. На підтвердження цього наведемо такий приклад. Завдання створення більш економічних теплових двигунів викликало бурхливий розвиток термодинаміки, необхідність створення промислових електродвигунів призвела до розвитку теорії феромагнетизму. В свою чергу, розвиток фізики елементарних частинок був би неможливим без використання досягнень вакуумної техніки, промислової електроніки й ряду інших галузей техніки.

Для того, щоб мати можливість встановлювати кількісні зв'язки між різними фізичними величинами, робити висновки з фізичних теорій і застосовувати їх при вирішенні різноманітних практичних завдань, у фізиці широко використовується **математичний апарат**.

Мова фізики – це математична мова, без знання якої обійтися зовсім неможливо.

У курсі загальної фізики, крім **елементарної математики**, ми будемо використовувати також **елементи векторної алгебри, диференціального й інтегрального числень**.

Фізика тісно пов'язана з філософією.

Вся історія фізики, як і інших природничих наук, беззаперечно доводить матеріальність світу, об'єктивність і пізнаваність законів його розвитку.

Метод діалектичного матеріалізму, що розглядає всі явища в їхньому взаємозв'язку, розвитку й зміні шляхом переходу кількісних змін у якісні, є основним принципом правильного тлумачення результатів конкретних фізичних досліджень, розуміння їхнього місця в загальній картині світу.

З іншого боку, висновки з наукових відкриттів у галузі фізики, в кінцевому підсумку, завжди підтверджували правильність основних положень діалектичного матеріалізму, тому вивчення цих відкриттів і їхнє філософське узагальнення відіграють основну роль у формуванні наукового світогляду.

2. Методи фізичного дослідження. Розмірності фізичних величин і їх аналіз.

Як і в будь-якій науці, що вивчає природу, першим необхідним ступенем усякого знання у фізиці є **спостереження**.

Достатня кількість спостережень, що стосуються досліджуваного кола явищ, дозволяє висунути **гіпотезу** – наукове припущення, що повинно не тільки пояснити всі спостережувані закономірності, а й дозволить передбачати нові.

Правильність передбачень гіпотези перевіряється дослідом – ставиться **експеримент**.

Гіпотеза, підтверджена експериментально, стає науковою **теорією**, не підтверджена дослідом гіпотеза відкидається й замінюється іншою

Оскільки справедливість фізичних теорій перевіряється дослідом, **фізика є наукою експериментальною.**

Дійсно, накопичення спостережень за падінням тіл, а також астрономічних спостережень за рухом небесних тіл, призвели до **гіпотези про існування сил тяжіння між двома будь-якими тілами.**

Підтверджена дослідом, ця гіпотеза набула характер **фізичного закону всесвітнього тяжіння.**

Рано чи пізно всяка фізична теорія стикається з явищами, пояснити які вона не може, і замінюється новою теорією, здатною пояснити більш широке коло явищ.

При цьому колишня теорія не відкидається, вона зберігає своє значення, стаючи окремою, справедливою лише в деякому обмеженому колі випадків більш загальної теорії.

Таким чином, фізичні теорії дають приблизно вірне відображення дійсності, будучи **відносними істинами**, кроками на шляху до пізнання невичерпно різноманітних властивостей навколишнього світу.

Для того, щоб одержати які-небудь кількісні співвідношення між фізичними величинами, необхідно виразити ці величини у вигляді чисел, тобто зробити їх вимірювання.

Щоб виміряти фізичну величину, треба порівняти її з величиною такого ж роду, прийнятою за одиницю виміру. Тому для кожної фізичної величини існує своя власна **одиниця виміру**.

Різні фізичні величини не є, однак, незалежними, так що можна обмежитися невеликим числом величин, через одиниці виміру яких виражаються одиниці виміру всіх інших величин.

Залежно від вибору цих основних одиниць виміру ми одержуємо різні **системи одиниць**, використовуваних у фізиці.

Вибір основних одиниць виміру може бути зроблений різним чином, що призводить до можливості існування різних фізичних систем одиниць.

Найбільш зручною для практичного застосування в різних галузях науки й техніки виявилася так звана **Міжнародна система одиниць**, скорочено позначувана **СІ**, якою ми й будемо користуватися при вивченні курсу загальної фізики.

За основні одиниці виміру в СІ прийнято:

1. Одиниця довжини – метр (м);
2. Одиниця маси – кілограм (кг);
3. Одиниця часу – секунда (с);
4. Одиниця сили струму – ампер (А);
5. Одиниця температури – Кельвін (К);
6. Одиниця сили світла – кандела (кд);
7. Одиниця кількості речовини – моль (моль).

Поряд з основними одиницями СІ допускається використання кратних і часткових одиниць, які утворюються шляхом множення основної одиниці на 10^n , де n – ціле (позитивне або негативне) число.

Назви таких одиниць виходять із назви основних одиниць шляхом додавання відповідних префіксів, наведених у таблиці 1.

Більшість фізичних величин, з якими ми будемо мати справу в механіці, пов'язана з довжиною, часом і масою (таблиця 2).

Таблиця 1

Префікси до метричних одиниць

Префікс	Позначення	Множник
Тера	т	10^{12}
Гіга	Г	10^9
Мега	М	10^6
Кіло	к	10^3
Сант	с	10^{-2}
Мілі	м	10^{-3}
Мікро	мк	10^{-6}
Нано	н	10^{-9}
Піко	п	10^{-12}
Фемто	Ф	10^{-15}

Таблиця 2

Розмірності деяких фізичних величин, виражені через довжину L, масу M і час T

Величина	Розмірність
Площа	L^2
Об'єм	L^3
Швидкість	LT^{-1}
Прискорення	LT^{-2}
Щільність	ML^{-3}
Імпульс	MLT^{-1}
Сила	MLT^{-2}
Енергія	ML^2T^{-2}
Момент імпульсу	ML^2T^{-1}
Тиск	$ML^{-1}T^{-2}$

Оскільки закономірності, що пов'язують різні величини, не повинні залежати від вибору одиниць виміру, розмірності обох частин рівнянь, що виражають ці закономірності, повинні бути однаковими. Зазначена обставина використовується при перевірці правильності отриманих при розв'язку якої-небудь фізичної задачі співвідношень.

Рівняння, розмірності правої й лівої частин якого не збігаються, не може бути правильним.

У кожному випадку, коли це можливо, кмітливий студент повинен використовувати аналіз розмірностей для перевірки всіх викладок і розрахунків.

3. Предмет механіки.

Механіка – частина фізики, яка вивчає закономірності механічного руху, що є переміщенням тіл або їхніх частин один відносно одного.

Механіка І. Ньютона має назву **класичної механіки**. Вона вивчає закони руху макроскопічних тіл, швидкості яких малі у порівнянні зі швидкістю світла у вакуумі ().

Закони руху макроскопічних тіл зі швидкостями, порівнюваними зі швидкістю світла, вивчаються **релятивістською механікою**, сформульованою А. Ейнштейном (1879–1955 рр.).

Рух мікрочастинок (атомів, елементарних частинок) підпорядковується законам **квантової механіки**.

У класичній механіці загальноприйнятою є концепція простору й часу, розроблена І. Ньютоном («Математичні принципи натуральної філософії», 1687 р.)

Відповідно до цієї концепції :

Абсолютний, дійсний, математичний час сам по собі й по самій своїй суті, без усякого відношення до чого-небудь зовнішнього, протікає рівномірно й інакше називається тривалістю.

Всі рухи можуть прискорюватися або уповільнюватися, спливання ж абсолютного часу змінюватися не може.

Абсолютний простір за самою своєю сутністю, безвідносно до чого-небудь зовнішнього, залишається завжди однаковим і нерухомим.

Таким чином, механіка Ньютона розглядає простір і час у відриві один від одного й від руху

матеріальних тіл, що відповідає рівнозначності того

Механіка поділяється на такі розділи: кінематика, динаміка, статика.

Кінематика вивчає рух тіл, не розглядаючи причин, які цей рух викликали.

Динаміка вивчає причини виникнення того чи іншого руху.

Статика вивчає закони рівноваги системи тіл. Закони статички окремо від законів динаміки фізика не розглядає.

4. Фізичні моделі в механіці. Система відліку.

У фізиці, як і в будь-якій іншій науці, буває корисним абстрагуватися від тих властивостей і характеристик тіл, які не грають істотної ролі при вивченні даного явища, інакше кажучи, побудувати **модель** даного явища.

Описуючи рух реальних тіл, ми часто будемо користуватися однією з найважливіших механічних моделей – поняттям матеріальної точки.

Матеріальна точка – це тіло, розмірами якого в умовах даної задачі можна знехтувати.

Чи можна конкретне тіло вважати матеріальною точкою залежить від точності, необхідної при розв'язанні даної задачі. Наприклад, обчислюючи шлях, пройдений за деякий час автомобілем, що рухається із заданою швидкістю, цілком розумно розглядати автомобіль як матеріальну точку. Вважати матеріальною точкою той же автомобіль, що в'їжджає у вузькі ворота гаража, було б, принаймні, легковажним.

При взаємодії тіла можуть **деформуватися**, тобто змінювати свою форму й розміри, однак у багатьох задачах, хоча й не можна не враховувати розміри розглядуваного тіла, його деформацію при взаємодії з іншими тілами можна вважати дуже малою. У цьому випадку виправданим буде використання моделі абсолютно твердого тіла.

Абсолютно твердим називають тіло, розміри й форму якого в умовах даної задачі можна вважати незмінними.

У деяких випадках (наприклад, при розгляді багатьох задач про рух рідин і газів) можна не враховувати молекулярну будову речовини, розглядаючи її як безперервно розподілене в просторі **суцільне середовище**.

Знов-таки, можливість використання моделі суцільного середовища також визначається умовами конкретної задачі.

Будь-який рух твердого тіла можна представити як комбінацію **поступального й обертального рухів**.

Поступальний рух – це рух, при якому всі точки тіла за однаковий час роблять рівні за величиною й напрямком переміщення, тобто в кожен момент часу швидкості й прискорення всіх точок тіла однакові, а це значить, що будь-яка пряма, жорстко пов'язана з тілом, що рухається, залишається паралельною до свого первісного положення.

Обертальний рух – це рух, при якому всі точки тіла рухаються по колах, центри яких лежать на одній і тій же прямій, що називається **віссю обертання**.

Рух тіл відбувається у просторі й часі. Говорити про переміщення взагалі – немає сенсу. Треба попередньо вказати відносно чого переміщується дане тіло, тобто вказати **систему відліку**.

Системою відліку називається система координат і вміщений в ній годинник, пов'язаний з тілом, відносно якого розглядається рух.

У декартовій системі координат положення точки A у цей момент часу стосовно цієї системи характеризується трьома координатами X , Y і Z або радіус-вектором \vec{r} , проведеним з початку системи координат у дану точку (див. рис. 1.1).

При русі матеріальної точки її координати з часом змінюються. У загальному випадку її рух визначається скалярними рівняннями

$$\begin{aligned} X &= X(t), \\ Y &= Y(t), \\ Z &= Z(t), \end{aligned} \tag{1.1}$$

еквівалентними до векторного рівняння

$$\vec{r} = \vec{r}(t). \tag{1.2}$$

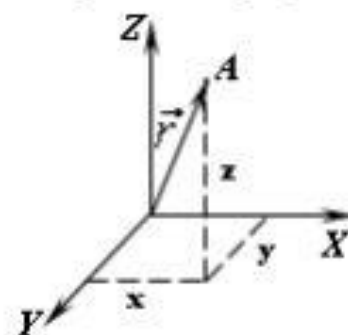


Рис. 1.1

5. Траєкторія, шлях, переміщення, швидкість і прискорення.

Лінія, яку описує матеріальна точка при своєму русі в просторі, називається її **траєкторією** (див. рис. 1.2).

Якщо точка перемістилася по своїй траєкторії з A в B , то довжина кривої AB є її **шлях** S , а відрізок \vec{r}_{AB} – її **переміщення**.

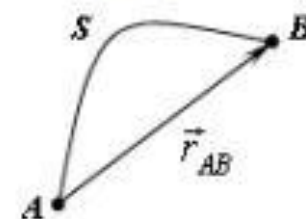


Рис. 1.2

Переміщення характеризується як величиною $|\vec{r}_{AB}|$, так і напрямком, тобто переміщення, на відміну від шляху, є векторною величиною.

Для характеристики руху матеріальної точки вводиться векторна величина, називана швидкістю. **Швидкість** характеризує як **бистроту** руху, так і його **напрямок** у цей момент часу.

Нехай матеріальна точка, рухаючись по деякій криволінійній траєкторії в напрямку від A до B , пройшла за час Δt шлях ΔS (див. рис. 1.3). Тоді середня швидкість (відношення пройденого шляху до часу, за який його пройдено) визначається виразом

$$v_{\text{сеп}} = \frac{\Delta S}{\Delta t}. \quad (1.3)$$

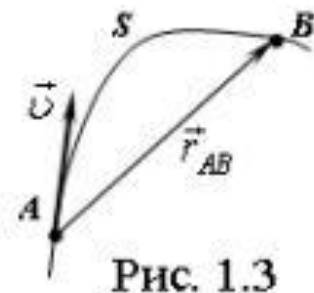


Рис. 1.3

Миттєву швидкість, тобто швидкість у цей момент часу, одержимо, спрямувавши розглянутий проміжок часу Δt до нуля, тобто

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta S}{\Delta t}, \quad (1.4)$$

що, як відомо, можна записати у вигляді

$$v = \frac{ds}{dt}. \quad (1.5)$$

Нескінченно малий відрізок будь-якої кривої можна замінити відрізком прямої, що з'єднує його кінці, так що при $\Delta\vec{r} \rightarrow 0$ величини $|\Delta\vec{r}|$ й ΔS збігаються й, отже,

$$v = \frac{ds}{dt} = \frac{d|\vec{r}|}{dt}, \quad (1.6)$$

а з урахуванням напрямку переміщення

$$\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt}. \quad (1.7)$$

Вектор швидкості завжди спрямований по дотичній до траєкторії убік руху.

Величина, що характеризує швидкість зміни швидкості, називається **прискоренням**. Середнє прискорення визначається як відношення зміни швидкості до часу, за який вона відбулася, тобто

$$\bar{a}_{\text{сер}} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}. \quad (1.8)$$

Тоді миттєве прискорення, очевидно, дорівнює

$$\vec{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d^2 \vec{r}}{dt^2}. \quad (1.9)$$

Знайдемо розмірність прискорення

$$[a] = \frac{[v]}{[t]} = \frac{m \cdot c^{-1}}{c} = \frac{m}{c^2}.$$

Швидкість у довільний момент часу можна знайти, знаючи прискорення й швидкість у початковий момент часу (початкову швидкість)

$$d\vec{v} = \vec{a}dt; \int_{v_0}^v d\vec{v} = \int_0^t \vec{a}dt; \vec{v} - \vec{v}_0 = \int_0^t \vec{a}dt; \vec{v} = \vec{v}_0 + \int_0^t \vec{a}dt.$$

Якщо $\vec{a} = const$ (рівноприскорений рух), то $\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a}t$. Якщо, до того ж, вектори \vec{v} й \vec{a} збігаються за напрямком (рівноприскорений прямолінійний рух), то легко знайти й шлях, пройдений тілом. У цьому випадку

$$v = v_0 + at, \quad (1.10)$$

і, отже,

$$S = \int_0^t v dt = \int_0^t (v_0 + at) dt = v_0 t + \frac{at^2}{2}. \quad (1.11)$$

6. Нормальне і тангенціальне прискорення.

Якщо напрямок швидкості матеріальної точки, що рухається, змінюється, то рух у цьому випадку буде криволінійним. У найпростішому випадку рівномірного руху матеріальної точки по колу радіуса R вектор прискорення спрямований, як відомо, до центра кола (доцентрове прискорення) і дорівнює по величині

$$a = v^2 / R. \quad (1.12)$$

У загальному випадку криволінійного руху прискорення може бути спрямовано довільним чином. Обмежуючись випадком плоского руху, при якому вектори \vec{v} й \vec{a} лежать у площині траєкторії, розкладемо вектор прискорення (див. рис. 1.4) на дотичну (тангенціальну) складову, спрямовану уздовж вектора швидкості, і нормальну складову, спрямовану перпендикулярно до швидкості.

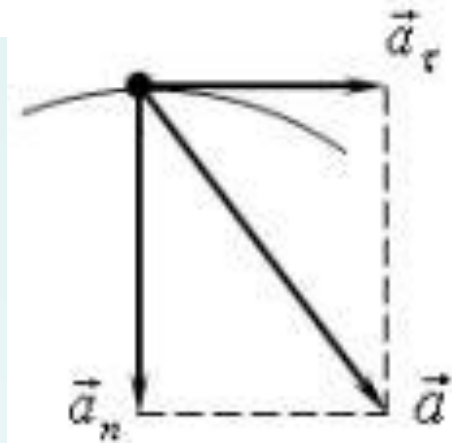


Рис. 1.4

Тангенціальна складова прискорення a_τ не змінює напрямку швидкості, змінюючи лише її величину,

$$a_\tau = \frac{dv}{dt}, \quad (1.13)$$

нормальна ж складова a_n змінює напрямок швидкості, не змінюючи, як ми бачили у випадку рівномірного руху по колу, її величину. У загальному випадку вираз для нормальної складової прискорення також може бути записано у вигляді

$$a_n = \frac{v^2}{R}. \quad (1.14)$$

Який зміст має тут символ R – адже в цьому випадку точка вже не обов'язково рухається по колу? Відомо, однак, що малий відрізок будь-якої кривої можна замінити дугою кола відповідного радіуса (див. рис. 1.5), що називається **радіусом кривизни** у цій точці кривої. Саме радіус кривизни й входить у наведений нами вираз (1.14).

Якщо тангенціальне й нормальне прискорення відомі, то, як видно з рис. 1.4, повне прискорення може бути знайдене за формулою

$$a = \sqrt{a_t^2 + a_n^2}. \quad (1.15)$$

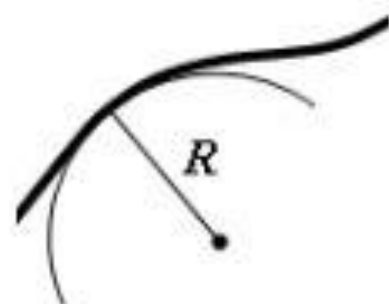


Рис. 1.5

Характер руху, залежно від значень тангенціальної й нормальної складових прискорення, можна класифікувати в такий спосіб:

- 1) $a_\tau = 0; a_n = 0$ – прямолінійний рівномірний рух;
- 2) $a_\tau = a = const; a_n = 0$ – прямолінійний рівнозмінний рух;
- 3) $a_\tau = f(t); a_n = 0$ – прямолінійний рух зі змінним прискоренням;
- 4) $a_\tau = 0; a_n = const$ – рівномірний рух по колу;
- 5) $a_\tau = 0; a_n \neq 0$ – рівномірний криволінійний рух;
- 6) $a_\tau = const; a_n \neq 0$ – рівнозмінний криволінійний рух;
- 7) $a_\tau = f(t); a_n \neq 0$ – криволінійний рух зі змінним прискоренням.

7. Кутова швидкість і кутове прискорення.

Якщо тверде тіло обертається навколо нерухомої осі, то окремі точки цього тіла будуть описувати кола різних радіусів, центри яких лежать на осі обертання. Нехай деяка точка рухається по колу радіуса R (див. рис. 1.6). У цьому випадку її рух зручніше характеризувати не величиною переміщення ΔS , а кутом повороту $\Delta\varphi$.

Кутовою швидкістю називається величина, що дорівнює першій похідній від кута повороту за часом

$$\omega = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} = \frac{d\varphi}{dt}. \quad (1.16)$$

Кутова швидкість є векторною величиною. Вектор $\vec{\omega}$ спрямований уздовж осі обертання в той бік, з якого обертання виглядає таким, що відбувається проти годинникової стрілки. Одиниця виміру кутової швидкості радіан у секунду (рад/с).

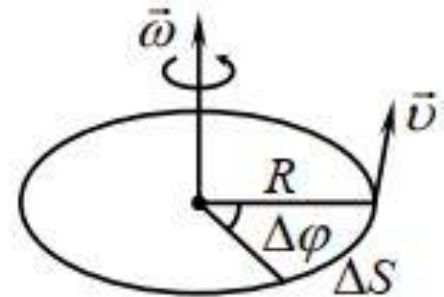


Рис. 1.6

Лінійна швидкість точки (див. рис. 1.6)
$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta S}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{R\Delta\varphi}{\Delta t} =$$

$$= R \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} = R\omega, \text{ тобто}$$

$$v = \omega R. \quad (1.17)$$

Якщо $\omega = \text{const}$, то обертання рівномірне і його можна характеризувати **періодом обертання** T – часом, за який точка робить один повний оберт, тобто повертається на кут 2π . Отже, $T = 2\pi/\omega$.

Число повних обертів, здійснюваних точкою при її русі по колу, в одиницю часу називається **частотою обертання**: $n = 1/T = \omega/(2\pi)$.

Тоді

$$\omega = 2\pi n. \quad (1.18)$$

Кутовим прискоренням називається величина, що дорівнює першій похідній кутової швидкості за часом, тобто

$$\varepsilon = \frac{d\omega}{dt}. \quad (1.19)$$

Одиницею виміру кутового прискорення є радіан у секунду у квадраті (рад/с²). Кутове прискорення також є векторною величиною. При прискореному обертанні вектор кутового прискорення $\vec{\varepsilon}$ збігається за напрямком з вектором кутової швидкості $\vec{\omega}$, при вповільненому обертанні – протилежний до нього.

Тангенціальна складова прискорення $\vec{a}_\tau = d\upsilon/dt$ й, оскільки $\upsilon = \omega R$, то

$$a_\tau = \frac{d}{dt}(\omega R) = R \frac{d\omega}{dt} = R\varepsilon. \quad (1.20)$$

Нормальна складова прискорення

$$a_n = \upsilon^2/R = (\omega^2 R^2)/R = \omega^2 R. \quad (1.21)$$

За аналогією з формулами (1.10) і (1.11), для рівнозмінного поступального руху точки по колу ($\varepsilon = \text{const}$) маємо

$$\omega = \omega_0 \pm \varepsilon t; \varphi = \omega_0 t \pm \frac{\varepsilon t^2}{2}, \quad (1.22)$$

де ω_0 – початкова кутова швидкість.

Виключивши t з формули (1.22), одержимо досить корисне співвідношення

$$\omega^2 - \omega_0^2 = 2\varphi\varepsilon. \quad (1.23)$$

Література

1. Шкілько А.М., Руденко Д.В. Фізика. Механіка. Молекулярна фізика і термодинаміка [Текст]: для студентів інженерно-педагогічних спеціальностей. / Укр. інж.-пед. академія; упорядник: А.М. Шкілько, Д.В. Руденко, –Х.: [б. в.], 2012. –140 с.
2. Савельев И.В. Курс физики. Т.1. –М.: Наука, 1989. –352 с.