

**МІНІСТЕРСТВО ВНУТРІШНІХ СПРАВ УКРАЇНИ  
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ВНУТРІШНІХ СПРАВ  
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ ЛЬОТНИЙ КОЛЕДЖ**

**Циклова комісія економіки, соціально-гуманітарних та  
фундаментальних дисциплін**

**ТЕКСТ ЛЕКЦІЇ**

**з навчальної дисципліни «Фізика»  
обов'язкових компонент  
освітньо-професійної програми  
першого (бакалаврського) рівня вищої освіти**

**173 Авіоніка  
Авіоніка**

**за темою - Динаміка та закони збереження**

**Кременчук 2023**

**ЗАТВЕРДЖЕНО**

Науково-методичною радою  
Харківського національного  
університету внутрішніх справ  
Протокол від 22.02.2024 №2

**СХВАЛЕНО**

Методичною радою  
Кременчуцького льотного  
коледжу Харківського  
національного  
університету внутрішніх справ  
Протокол від 17.01.2024 №6

**ПОГОДЖЕНО**

Секцією науково-методичної ради  
ХНУВС з гуманітарних та соціально-  
економічних дисциплін  
Протокол від 22.02.2024 №2

Розглянуто на засіданні циклової комісії економіки, соціально-гуманітарних та фундаментальних дисциплін, протокол від 05.01.2024 №14

**Розробник:**

*Викладач циклової комісії економіки, соціально-гуманітарних та фундаментальних дисциплін, Пузир М.С.*

**Рецензенти:**

- 1. Доцент кафедри автомобілів та тракторів Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського, кандидат технічних наук, доцент Черниш А.А.*
- 2. Начальник відділу організації наукової роботи та гендерних питань КЛК ХНУВС, к.т.н., спеціаліст вищої категорії, викладач-методист Власов С.І.*

### План лекції:

1. Перший закон Ньютона. Сила. Маса. Імпульс.
2. Другий закон Ньютона. Прискорення і сила. Прискорення і маса.
3. Основний закон класичної динаміки. Третій закон Ньютона.
4. Закони збереження в механіці
5. Потужність. Енергія. Кінетична енергія. Потенціальна енергія
6. Закон збереження механічної енергії

### Рекомендована література:

#### Основна

1. Дмитрієва В. Ф. Фізика : навчальний посібник / В. Ф. Дмитрієва. – К.: Техніка, 2008. – 608 с.

#### Додаткова

2. Курс фізики : навчальний посібник / [Зачек І. Р., Кравчук І. М., Романишин Б. М., Габа В. М., Гончар Ф. М.]. – Львів : Видавництво «Бескид Біт», 2002. – 376 с.
3. Волков О. Ф. Курс фізики ; у 2-х т. – Т.1: Фізичні основи механіки. Молекулярна фізика і термодинаміка. Електростатика. Постійний струм. Електромагнетизм : навчальний посібник для студентів інженерно-технічних спеціальностей вищих навчальних закладів / О. Ф. Волков, Т. П. Лумпієва. – Донецьк : ДонНТУ, 2009. – 224 с.
4. Волков О. Ф. Курс фізики ; у 2-х т. – Т.2: Коливання 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 / О. Ф. Волков, Т. П. Лумпієва. – Донецьк: ДонНТУ, 2009. – 208 с.
5. Збірник задач з фізики : навчальний посібник / [Лопатинський І. Є., Зачек І. Р., Серeda В. М., Крушельницька Т. Д., Українець Н. А.]. – Львів : Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2003. – 124с.

### Текст лекції

#### 1. Перший закон Ньютона. Сила. Маса. Імпульс

Перший закон Ньютона говорить: **будь-яка матеріальна точка (тіло) зберігає стан спокою або рівномірного прямолінійного руху до щодо часу, поки зовнішні діяння з боку інших тіл не змінять цього стану.**

Перший закон Ньютона виконується в системах відліку, котрі називаються **"інерціальні"**. і встановлює факт існування інерціальних систем відліку.

**Інерціальні** - це системи відліку. в яких вільне тіло рухається прямо-лінійно і рівномірно.

Питання про те, чи є' вибрана система відліку інерціальною` вирішується експериментально. Якщо в межах точності вимірювань у даній системі відліку перший закон Ньютона виконується, то вона може вважатися інерціальною.

Рівномірний і прямолінійний рух вільного тіла в інерціальній системі відліку називають рухом за інерцією. Рухаючись за інерцією, вільне тіло не змінює швидкість ні за модулем, ні за напрямом.

**Сила** - це векторна величина, яка є мірою механічного діяння на тіло з боку інших тіл або полів.

Якщо на матеріальну точку (тіло) одночасно діють кілька сил, то кожна з сил діє незалежно від інших сил.

### **Маса- міра інертності**

**Маса** — це фізична величина, яка є мірою інертності тіла при його поступальному русі.

Найважливіша властивість маси - її збереження. Маса замкненої системи тіл лишається незмінною при будь-яких процесах, що відбуваються в системі.

### **Імпульс**

Імпульс матеріальної точки

Механічний стан матеріальної точки в даній системі відліку визначають координати  $x, y, z$  (або радіус-вектор  $\mathbf{r}$ ) та її швидкість  $\mathbf{v}$

Якщо одна з величин змінюється. то матеріальна точка переходить в інший механічний стан.

Функцію механічного стану матеріальної точки  $\epsilon$ ; фізична величина. котра називається **імпульсом**.

**Імпульс матеріальної точки** — векторна величина, яка дорівнює добутку маси точки на швидкість її руху.

$$\mathbf{P} = m \mathbf{v}$$

## **2. Другий закон Ньютона. Прискорення і сила. Прискорення і маса**

**Другий закон Ньютона говорить:** прискорення тіла в інерціальній системі відліку прямо пропорційне. діючій на тіло силі та обернено пропорційне масі тіла:

$$\mathbf{a} = \frac{\mathbf{F}}{m}.$$

Вектори прискорення **a** та сили **F** співнапрямлені: **a** ↑↑ **F**.

У такій формі другий закон Ньютона є слухним для поступального руху незмінного за масою тіла скінченних розмірів, при цьому всі точки тіла рухаються з однаковим прискоренням.

Для розв'язання задач динаміки другий закон Ньютона часто записують у вигляді

$$\mathbf{F} = m\mathbf{a}$$

Сила, що діє на тіло, дорівнює добуткові маси тіла на його прискорення.

Одиниця сили - ньютон (Н).

Ньютон дорівнює силі, яка надає масі 1 кг прискорення 1 м/с<sup>2</sup> в напрямку дії сили:  $1 \text{ Н} = 1 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}^2}$ .

Якщо на тіло діє кілька сил, то за формулою закону Ньютона під силою **F** слід розуміти рівнодійну всіх цих сил. Такий висновок впливає з принципу незалежності дії сил.

### 3. Основний закон класичної динаміки. Третій закон Ньютона

**Основний закон класичної динаміки** – зміна імпульсу тіла пропорційна прикладеній до нього силі і відбувається за напрямом тієї прямої, вздовж якої ця сила діє.

Математично цей закон можна записати так:

$$\Delta(\mathbf{mv}) = \mathbf{F}\Delta t \text{ або } \Delta \mathbf{p} = \mathbf{F}\Delta t,$$

де **p** = **mv** – імпульс тіла.

#### Третій закон Ньютона

Сила дії та протидії

Поняття "сила" завжди стосується двох тіл. Сила виникає, коли взаємодіють діють два тіла. В процесі взаємодії матеріальні точки або тіла є рівноправними.

На рівність сил при взаємодії тіл указував ще голландський фізик Х. Гюйгенс. Цього висновку він дійшов, вивчаючи зіткнення тіл.

Рівноправність взаємодіючих матеріальних точок або тіл відбиває третій закон Ньютона.

Ньютон сформулював цей закон так: "Будь-якій дії 'завжди перешкоджає рівна і протилежна протидія". В наш час третій закон Ньютона гласить:

**сили взаємодії двох тіл в інерціальній системі відліку рівні 'за модулем. протилежні та напрямом і діють вздовж прямої. що з'єднує ці тіла:**

$$\mathbf{F}_{12} = -\mathbf{F}_{21}.$$

Одну з цих сил, наприклад  $\mathbf{F}_{12}$ , називають силою дії, іншу ( $\mathbf{F}_{21}$ ) - силою протидії. Сила дії та сила протидії 'завжди діють парами і є силами однієї природи, оскільки виникають у процесі взаємодії тіл. Ці сили прикладені до різних тіл і не можуть зрівноважувати одна одну.

#### 4. Закони збереження в механіці

##### Закон збереження імпульсу

*Зміна імпульсу системи тіл*

Розглянемо систему, яка складається з двох тіл, наприклад двох зорь.

*Сили взаємодії між тілами, що входять до системи (між зорями), називаються внутрішніми силами.* Внутрішні сили позначаємо символом  $\mathbf{F}_{ik}$ .

Тут перший індекс означає номер тіла, на яке діє сила  $\mathbf{F}_{ik}$ , а другий індекс  $k$  – номер тіла, з боку якого діє сила  $\mathbf{F}_{ik}$ .

За третім законом Ньютона

$$\mathbf{F}_{ik} = -\mathbf{F}_{ki}.$$

*Сили діяння на тіла даної системи (дві зорі) з боку тіл, які не входять до цієї системи (наприклад, сусідні космічні тіла), називаються зовнішніми силами.*

Рівнодійну всіх зовнішніх сил, які діють на  $i$ -те тіло системи, позначаємо  $\mathbf{F}_i$ .

*Закон збереження імпульсу*

Замкнена система – це система тіл, на кожне з яких не діють зовнішні сили.

Якщо система тіл замкнена, то сума всіх зовнішніх сил, які діють на систему, дорівнюють нулю. Оскільки зовнішні сили не діють ні на жодне тіло системи, то в рівнянні

$$\mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_0 = 0.$$

Тоді  $\frac{\Delta p}{\Delta t} = 0$ , або  $\Delta p = 0$ ,  $\Delta t \neq 0$ , отже,

$$p = \text{const або } m_1 v_1 + m_2 v_2 = 0.$$

**В інерціальній системі відліку сумарний імпульс замкненої системи тіл у часі не змінюється:**

$$\sum_{i=1}^n p_i = \text{const.}$$

Імпульс системи дорівнює добуткові маси  $m$  системи на швидкість її центра мас  $V_c$ :

$$p = m V_c$$

Для замкненої системи тіл  $p = m V_c = \text{const}$ ; оскільки  $m = \text{const}$ , то і

$$V_c = \text{const.}$$

**В інерціальній системі відліку центр мас замкненої системи тіл рухається прямолінійно і рівномірно.**

## **5 Потужність. Енергія. Кінетична енергія. Потенціальна енергія**

Конструюючи та експлуатуючи машини слід брати до уваги не лише роботу, виконувану машиною, але й швидкість виконання роботи. Величина, яка характеризує швидкість виконання роботи, називається потужністю.

Середня потужність чисельно дорівнює відношенню роботи  $A$  до проміжку часу  $\Delta t$ , за який вона здійснюється:

$$N_{\text{сер}} = \frac{A}{\Delta t}.$$

Одиниця потужності - ват (Вт);  $1 \text{ Вт} = 1 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 / \text{с}.$

Ват дорівнює потужності, при якій робота 1 Дж здійснюється за час 1 с. підставивши у формулу вираз роботи  $A$ . дістанемо

$$N_{\text{сер}} = \frac{\Delta s \cos \alpha}{\Delta t} = F \frac{\Delta s}{\Delta t} \cos \alpha = F v_{\text{сер}} \cos \alpha,$$

де  $v_{\text{сер}} = \frac{\Delta s}{\Delta t}.$

Якщо машина працює нерівномірно, тобто, її потужність змінюється в часі, то формула визначатиме середню потужність, а границя цього відношення при  $\Delta t \rightarrow 0$  виражає миттєву потужність (потужність у даний момент):

$$N = F \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} \cos a = F v \cos a,$$

$$\text{де } \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = v.$$

Потужність дорівнює добуткові модуля вектора сили на модуль вектора швидкості та на косинус кута між напрямками цих векторів або скалярному добуткові вектора сили на вектор швидкості:

$$N = (Fv).$$

Потужність, як і робота, - величина скалярна.

Потужність різних двигунів, у тому числі й автомобільних, до цього часу вимірюється в кінських силах: 1 к.с. = 735 Вт.

Потужність людини становить приблизно 702 Вт.

### **Енергія**

Термін "енергія" сучасного змісту виник на початку XIX ст. Англійський фізик Г. Юнг (1773-1829) перший визначив енергію як працездатність рухомих, мас (1807 р.).

У середині XIX ст. були опубліковані праці Р. Майєра (1814-1878), Д. Джоуля (1818-1889) і Г. Гельмгольца (1821-1894) в яких викладався закон збереження і перетворення енергії. Поняття енергії поширилося крім механічного. на інші види руху`

Можна провести аналогію між перетворенням енергії та обміном валюти: інші банкноти. інша назва. але основне - купівельна спроможність - лишається. Так само і енергія` зазнаючи перетворення` лишається енергією і характеризує здатність тіла або системи тіл виконувати роботу.

Взаємодіючі тіла. наприклад у гравітаційному полі. здатні виконувати роботу, отже, вони "володіють" енергією.

Таким чином. поняття руху і взаємодії матеріальних об'єктів та поняття енергії пов'язані між собою.

Енергія Е - це скалярна фізична величина. яка є єдиною мірою різних форм руху та взаємодії матерії.

Відповідно до різних форм руху матерії говорять про різні види енергії - механічну. внутрішню. ядерну тощо. У процесі взаємодії тіл форма руху матерії може змінюватись; наприклад. при терті тіла нагріваються. змінюючи вид енергії; механічна енергія переходить у внутрішню.

Зміна виду енергії зумовлена дією на тіло сил і пов'язана з виконанням роботи.

Одиниця енергії` як і одиниця роботи, - джоуль (Дж).



Виконуючи механічну роботу, тіло або система тіл переходять з одного стану в інший. Стан механічної системи визначається радіусами-векторами або координатами тіл та їхніми швидкостями.

У разі зміни стану тіла або системи тіл їхня енергія змінюється.

Робота  $A$ , виконана тілом або системою тіл при цьому, є мірою змінення їхньої енергії  $\Delta E$ :

$$A = \Delta E \text{ або } A = E_2 - E_1.$$

Запас енергії тіла (системи тіл) визначається найбільшою роботою, котру може виконати тіло (система тіл).

Виконання роботи силами пов'язане зі зміненням енергії:

-якщо система тіл виконує роботу над 'зовнішніми тілами то енергія системи тіл зменшується. Наприклад, механічний (пружинний) годинник "йде" (працює) протягом певного проміжку часу, оскільки енергія пружини витрачається на виконання роботи з подолання сил тертя коліщаток, стрілок, механізму годинника;

- якщо зовнішні сили (зовнішні тіла) виконують роботу над системою тіл, то енергія системи тіл збільшується. Щоб механічний годинник працював, його треба завести, тобто зовнішні сили мають виконувати роботу з деформації пружини годинника.

Механічна енергія  $E$  - це фізична величина, яка є функцією швидкостей і взаємного розташування тіл.

### ***Кінетична енергія***

Кінетична енергія  $E_k$  матеріальної точки або тіла є мірою механічного руху і залежить від швидкості руху в данній інерціальній системі відліку.

У процесі руху тіла переходять з одного стану в інший, отже змінюється їх енергія. Зміна енергії дорівнює роботі зовнішніх сил.

Обчислимо роботу сталої сили  $F = \text{const}$ , яка діє на тіло масою  $m$ . Тіло рухається поступально прямолінійно вздовж осі  $X$ , вектори сили і швидкості тіла спів напрямлені.

При переміщенні тіла на  $\Delta x$  сила  $F$  виконує роботу

$$\Delta A = F \cdot \Delta x.$$

При цьому за час  $\Delta t$  швидкість руху тіла змінюється від  $v_1$  до  $v_2$ .

Під дією сталої сили  $F = ma$  тіло рухається рівноприскорено ( $a = \text{const}$ ):

$$a = \frac{v_2 - v_1}{\Delta t}, F = \frac{(v_2 - v_1)m}{\Delta t}.$$

За час  $\Delta t$  тіло проходить шлях

$$\Delta x = v_1 \Delta t + \frac{a(\Delta t)^2}{2} = v_1 \Delta t + \frac{(v_2 - v_1)(\Delta t)^2}{2} = \frac{(v_2 + v_1)\Delta t}{2}$$

Із порівняння формул робимо висновок, що

$$E_k = \frac{mv^2}{2}, E_{k1} = \frac{mv_1^2}{2}.$$

**Кінетична енергія при поступальному русі тіла дорівнює половині добутку маси тіла ( $m$ ) на квадрат його швидкості:**

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

Часто у розв'язанні задач зручніше користуватися виразом кінетичної енергії тіла через його імпульс  $p = mv$ . Помноживши і розділивши на  $m$  ( $m \neq 0$ ) праву частину формули дістанемо

$$E_k = \frac{mv^2}{2} = \frac{m^2 v^2}{2m} = \frac{p^2}{2m}$$

**Кінетична енергія тіла дорівнює квадрату імпульсу тіла, розділеному на подвоєну масу тіла.**

Кінетична енергія системи тіл дорівнює алгебричній сумі кінетичних енергій усіх тіл, з яких складається система:

$$E_k = \sum_{i=1}^n \frac{m_i v_i^2}{2}$$

Значення кінетичної енергії тіла залежать від вибору системи відліку, але вони не можуть бути від'ємними, тобто  $E_k \geq 0$ .

### **Потенціальна енергія**

Тіла, підняті на деяку висоту  $H$  над поверхнею Землі, надаючи, можуть виконати роботу. Наприклад, копер забиває палю в ґрунт. Отже, такі тіла володіють енергією. Ця енергія називається потенціальною.

Потенціальна енергія  $E$  - це енергія, котра залежить від взаємного розпнищ'вання тіл або частин того самого тіла.

Тіла, що падають на Землю, виконують роботу, оскільки тіло взаємодіє з Землею. Пружно деформована пружина здатна виконати роботу, тому що відбувається взаємодія між її частинами.

Потенціальна енергія - це енергія взаємодії.

Поняття потенціальної енергії стосується системи взаємодіючих об'єктів. Коли говорять про потенціальну енергію одного тіла, завжди мають на увазі інші тіла, з якими дане тіло взаємодіє. Тому іноді її нагнаною взаємною потенціальною енергією або енергією потенціальних н шгмодій, наприклад гравітаційної взаємодії.

Мірою зміненням потенціальної енергії в процесі переходу системи з одного стану в інший є робота потенціальних сил, які спрямовані на взаємодію між тілами системи або частинами того самого тіла. Робота потенціальних сил  $A_{\text{п}}$ , дорівнює спаданню потенціальної енергії системи

$$(E_{1\text{п}} - E_{2\text{п}}):$$

$$A_{\text{п}} = E_{1\text{п}} - E_{2\text{п}} = - \Delta E_{\text{п}},$$

де  $E_{1\text{п}}$ , - потенціальна енергія системи в початковому стані;  $E_{2\text{п}}$  и потенціальна енергія системи в кінцевому стані.

### **Закон збереження механічної енергії**

#### **Повна механічна енергія**

Механічна енергія  $E$  є мірою механічного руху та взаємодії тіл і залежить від швидкостей і взаємного розташування тіл.

Повна механічна енергія системи тіл - це сума кінетичної і потенціальної енергії всіх тіл, які входять до системи:

$$E = E_{\text{к}} + E_{\text{п}}.$$

Залежно від сил, діючих на тіла, які входять до системи, системи тіл поділяють на консервативні та неконсервативні.

Система тіл є консервативною, якщо внутрішні та зовнішні сили, що діють на тіла системи, є потенціальними, наприклад гравітаційними або пружними силами.

Система тіл є неконсервативною, якщо поряд із потенціальними діють і непотенціальні сили, наприклад сили тертя.

Припустимо, система тіл є замкненою і консервативною. Застосуємо до цієї системи тіл теорему про кінетичну енергію:

$$\Delta A = E_{\text{к}2} - E_{\text{к}1},$$

де  $\Delta A$  - робота потенціальних сил; вона дорівнює спаданню потенціальної енергії.

$$\Delta A = E_{\text{п}2} - E_{\text{п}1};$$

отже,

$$E_{n2} - E_{n1} = E_{\kappa2} - E_{\kappa1}, \text{ або } E_{n1} + E_{\kappa1} = E_{n2} + E_{\kappa2}.$$

Враховуючи, що  $E_{n1} + E_{\kappa1} = E_1$  - механічна енергія системи в початковому стані, а  $E_{n2} + E_{\kappa2} = E_2$  - механічна енергія системи в кінцевому стані, дістанемо

$$E_1 = E_2, \text{ або } E = \text{const}.$$

Формула  $E_1 = E_2$ , або  $E = \text{const}$  виражає закон збереження механічної енергії.

**Повна механічна енергія замкненої консервативної системи не змінюється, тобто зберігається.**