

ДИНАМІКА

Динаміка – розділ механіки, що вивчає рух тіл під дією прикладених сил. Закони механіки, які дозволяють вирішити її основну задачу – знаходження траєкторії точки, сформульовані в XVII столітті Ісааком Ньютоном. Ці закони складають основу механіки як науки. Для їх формулювання разом з швидкістю і прискоренням вводяться ще поняття маси, імпульсу і сили.

§ 2.1. Визначення маси, імпульсу і сили

Маса є мірою інертності тіла. Вона визначається порівнянням з еталонною масою. Еталоном маси в 1 кілограм (кг) служить маса дистильованої води об'ємом 1 дм³ при температурі 4°C, оскільки при цій температурі її густина максимальна. Масу тіла m можна визначити, вимірюючи його швидкість v і швидкість v_0 тіла еталонної маси m_0 , з якими ці тіла рухатимуться, відштовхнувшись один від одного за допомогою стислої пружини (рис. 2.1). Тоді

$$m \stackrel{def}{=} m_0 \frac{v_0}{v}. \quad (2.1)$$

Ця маса називається *інертною масою* тіла. Сила, з якою тіло притягується до Землі, пропорційна його *гравітаційній масі* m_g . Інертні і гравітаційні маси прийнято вважати рівними, оскільки дослідним шляхом встановлено, що їх відмінність, навіть якщо вона і існує, не перевищує 10^{-8}



Рис. 2.1

відносних одиниць. Тому на практиці масу тіла визначають зважуванням на вагах важелів, на одній з чашок яких знаходиться тіло еталонної маси.

Імпульсом тіла (матеріальної крапки) \vec{p} називається добуток його маси m на швидкість \vec{v} :

$$\vec{p} \stackrel{def}{=} m \vec{v}. \quad (2.2)$$

Одиниця вимірювання імпульсу:

$$[p] = \text{кг} \cdot \text{м} / \text{с}.$$

Сила є мірою дії одного тіла на інше. *Сила* визначається швидкістю зміни імпульсу тіла в часі: $\vec{F} \stackrel{def}{=} \frac{d\vec{p}}{dt}$. Якщо $m = \text{const}$, силу можна знайти, вимірюючи прискорення тіла \vec{a} :

$$\vec{F} = m \vec{a}. \quad (2.3)$$

У системі СІ одиниця сили – *ньютон*:

$$[F] = \text{Н} = \text{кг} \cdot \text{м} / \text{с}^2.$$

1 ньютон – сила, що надає тілу масою в *1 кг* прискорення в *1 м / с²*.

Із співвідношення (2.3) виходить, що прискорення тіла обернено пропорційне до його маси $a = F/m$, тобто маса тіла є мірою його інертності.

§ 2.2. Закони Ньютона. Інерціальні системи відліку

Приведемо формулювання законів Ньютона, що лежать в основі класичної механіки.

Перший закон. Якщо на тіло не діють сили або сума цих сил рівна нулю, то тіло перебуває в стані спокою або рухається з постійною швидкістю:

$$\vec{a} = 0, \text{ якщо } \vec{F}_{\text{рез}} = 0. \quad (2.4)$$

Другий закон. Швидкість зміни імпульсу тіла в часі рівна результуючій прикладених до тіла сил:

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = \vec{F}_{\text{рез}}. \quad (2.5)$$

Для тіла постійної маси швидкість зміни імпульсу співпадає з добутком маси на прискорення:

$$m \vec{a} = \vec{F}_{\text{рез}}. \quad (2.5a)$$

Третій закон. Якщо два тіла взаємодіють один з одним, то сила, що діє на перше тіло з боку другого, рівна по модулю і протилежна по напрямку силі, що діє на друге тіло з боку першого (рис. 2.2):

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}. \quad (2.6)$$

Закони Ньютона виконуються в інерціальних системах відліку.

Системою відліку називається сукупність системи координат, пов'язаної з тілом відліку, і годинника, що покоїться відносно нього.

Інерціальною називається система відліку, в якій тіло, на яке не діють ніякі сили або сума їх рівна нулю, покоїться або рухається з постійною швидкістю. Така система відліку не має прискорення.

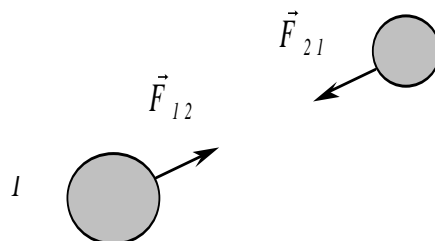


Рис. 2.2

Перший закон, званий також законом інерції, був сформульований Галілео Галілеєм.

Система відліку, що рухається з прискоренням, називається неінерціальною. Зокрема, неінерціальною є будь-яка система відліку, що обертається. У неінерціальних системах на тіло діють додаткові сили, звані *силами інерції*, не пов'язані з взаємодією тіл.

Закони Ньютона припускають *адитивність маси і векторний характер складання сил.* Це значить, що маса тіла, складеного з декількох тіл, рівна сумі мас кожного з цих тіл, а діюча на тіло результуюча сила є векторною сумою прикладених до нього сил.

Закони Ньютона не виводяться з яких-небудь загальних принципів. Критерієм їх справедливості служить досвід. Розрахунки, засновані на законах Ньютона, узгоджуються з експериментом. Проте закони класичної механіки мають межі застосовності. У області мікросвіту діють закони *квантової механіки*, створеної на початку ХХ століття, згідно яким не можна одночасно задати точні значення координат і імпульсів мікрочастинок, як це робиться в класичній механіці. Тому не можна говорити і про траєкторію руху мікрочастинок.

Теорія відносності, створена на початку минулого століття Альбертом Ейнштейном, обмежує застосовність класичної механіки Ньютона випадком швидкостей v , багато менших швидкості світла c ($v \ll c$). Більшість інших розділів фізики використовує рівняння класичної механіки, тобто область її застосовності дуже широка. Прикладами можуть слугувати небесна механіка, що вивчає рух планет сонячної системи, гідро- і аеродинаміка, теорія пружності, теорія коливань та інші.

§ 2.3. Закон збереження імпульсу

Із законів Ньютона слідує закон збереження імпульсу для замкнутої системи тіл. *Замкнутою називають систему тіл, на які не діють зовнішні сили.* Тіла системи можуть взаємодіяти тільки між собою.

Розглянемо замкнуту систему, що складається з двох тіл A і B (рис. 2.4). Згідно третьому закону Ньютона, сили їх взаємодії

$$\vec{F}_{AB} = -\vec{F}_{BA}. \quad (2.11)$$

По другому закону Ньютона $\vec{F}_{AB} = \frac{d\vec{p}_A}{dt}$, $\vec{F}_{BA} = \frac{d\vec{p}_B}{dt}$, тому

$$\frac{d\vec{p}_A}{dt} = -\frac{d\vec{p}_B}{dt}, \quad \text{тобто} \quad \frac{d(\vec{p}_A + \vec{p}_B)}{dt} = 0, \quad \text{звідки слідує, що}$$

$$\vec{p}_A + \vec{p}_B = \text{const.}$$

Для системи n тіл:

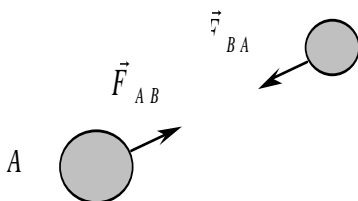


Рис. 2.4

$$\sum_{i=1}^n \vec{p}_i = \text{const}. \quad (2.12)$$

Це рівняння виражає закон збереження імпульсу: сумарний імпульс замкнутої системи тіл не змінюється з часом.

Векторне рівняння (2.12) розпадається на три незалежні рівняння для компонент імпульсу по осях координат:

$$\sum_{i=1}^n p_{xi} = \text{const}, \quad \sum_{i=1}^n p_{yi} = \text{const}, \quad \sum_{i=1}^n p_{zi} = \text{const}.$$

Якщо вздовж якого-небудь напрямку на систему тіл не діють зовнішні сили, то проекція її сумарного імпульсу на цей напрямок залишається постійною. Це дозволяє використовувати закон збереження імпульсу при рішенні задач механіки.

Як показує досвід, закон збереження імпульсу виконується при будь-яких взаємодіях тіл усередині замкнутої системи. Так, зіткнення тіл може бути пружним або непружним або може мати місце взаємодія тіл за посередництвом полів, тобто на відстані.

Закон збереження імпульсу є одним з фундаментальних законів фізики. Та обставина, що для добутку $m\vec{v}$ маси матеріальної точки на її швидкість має місце "закон збереження", робить доцільним дати йому спеціальну назву – імпульсу \vec{p} .