

§ 12. ВІЛЬНЕ ПАДІННЯ ТІЛ. ПРИСКОРЕННЯ ВІЛЬНОГО ПАДІННЯ. РІВНЯННЯ РУХУ ДЛЯ ВІЛЬНОГО ПАДІННЯ ТІЛ

Ще Арістотель стверджував, що чим тіло важче, тим швидше воно падає на Землю. Це твердження через дві тисячі років спростував Г. Галілей. «Як же це можна спростувати? — запитаєте ви. — Адже це насправді так!» Дійсно, якщо, наприклад, підняти на однакову висоту порожню та повну коробки сірників й одночасно їх відпустити, то повна впаде раніше. Але так буде, якщо рух відбуватиметься в повітрі. А якщо у вакуумі, де ніщо не заважає руху коробок? Про те, як падає тіло, якщо немає перешкод його руху, ви довідаєтесь із цього параграфу.

Який рух називають вільним падінням

Проведемо кілька простих дослідів. Візьмемо в одну руку журнал, у другу — аркуш паперу, піднімемо їх на деяку висоту й одночасно відпустимо. Журнал упаде швидше, ніж аркуш. Тобто, на перший погляд, чим тіло важче, тим швидше воно падає. Продовжимо дослід. Візьмемо два однакові аркуші, піднімемо їх на однакову висоту й одночасно відпустимо — обидва аркуші впадуть на підлогу практично одночасно. Виходить, що тіла однакової маси падають з однаковою швидкістю? Змінимо умови експерименту: візьмемо два однакові аркуші паперу й один із них зімнемо. Якщо виходити з попереднього висновку, можна припустити, що обидва аркуші мають упасти на підлогу одночасно. Однак дослід показує, що зім'ятий аркуш падає значно швидше, ніж розгорнутий, хоча їхня маса однакова. Отже, або швидкість падіння тіла залежить не тільки від його маси, або взагалі річ не в масі. Тоді в чому?

Проведемо ще кілька експериментів, скориставшись цього разу спеціальним обладнанням. На рис. 12.1, а подано трубку Ньютона — фізичний пристрій, названий так на честь ученого, що його створив. Трубка Ньютона являє собою довгу скляну трубку 1, один кінець якої запаєно, а з другого виведено трубочку 2 з краном 3. Через трубочку за допомогою спеціальної помпи із трубки Ньютона можна відкачати повітря. У трубку поміщено три предмети різної маси: свинцева кулька, шматочок поролону й пташине перо.

Не відкачуючи повітря з трубки, швидко перевернемо її. Першою сягне дна сталева кулька, потім — шматочок поролону, а останнім — пташине перо (рис. 12.1, б). Відкачаємо з трубки повітря, закриємо кран і знову швидко її перевернемо — усі три тіла впадуть на дно трубки одночасно (рис. 12.1, в). Експериментально встановлено, що *падіння тіл за відсутності повітря (падіння у вакуумі) є рівноприскореним рухом*. Той факт, що всі тіла впали на дно трубки одночасно, говорить про те, що прискорення, з яким падали тіла, не залежить від їхньої маси.



Рис. 12.1. Демонстрація синхронного падіння тіл різної маси в трубці Ньютона: а — загальний вигляд трубки; б — у повітрі тіла сягають дна через різні проміжки часу; в — у вакуумі тіла сягають дна одночасно

Падіння тіл у безповітряному просторі називають **вільним падінням**.

У разі вільного падіння всі тіла, незалежно від їхньої маси, падають на Землю з однаковим прискоренням, яке називають **прискоренням вільного падіння** та позначають символом \vec{g} .



рис. 12.2. Христіан Гюйгенс (629–1695) — нідерландський математик, астроном, фізик. Інайшов маятниковий годинник зі спусковим механізмом, встановив закони коливального маятника, заклав основи теорії удару, створив вільну теорію світла

Вектор прискорення вільного падіння завжди напрямлений вертикально вниз. Модуль прискорення вільного падіння вперше виміряв **Христіан Гюйгенс** (рис. 12.2) у 1656 р. Біля поверхні Землі воно є практично незмінним і дорівнює приблизно $9,8 \text{ м/с}^2$.

2 Як експеримент заперечив думку Арістотеля

Падіння тіл уперше дослідив Галілео Галілей, який висунув, а потім експериментально підтвердив гіпотезу: причиною того, що легкі тіла падають із меншим прискоренням, є опір повітря; у разі відсутності повітря всі тіла — незалежно від їхньої маси, об'єму, форми — падають на Землю з однаковим прискоренням. Галілей провів низку добре продуманих експериментів (учений скочував різні кульки по похилому жолобу, поступово збільшуючи кут нахилу) і довів, що твердження Арістотеля про те, що швидкість падіння тіла є прямо пропорційною масі тіла, суперечить експериментальним даним.

Дослідження Галілея мали й загальнонаукове значення: фізичний експеримент став відігравати вирішальну роль в остаточному формулюванні тих чи інших висновків.

3 Який вид мають рівняння руху у випадку вільного падіння

Вільне падіння — це рух з постійним прискоренням, тому для математичного описання цього руху скористаємося формулами залежності швидкості, переміщення та координати від часу для рівноприскореного руху.

Підійдемо до запису законів вільного падіння «технічно». Описуючи рух тіла по вертикалі, вектори швидкості, прискорення та переміщення традиційно проєктують на вісь OY , тоді як, описуючи рух по горизонталі, проєктування цих векторів здійснюють на вісь OX , отже, в рівняннях руху замінимо x на y . Традиційно ж переміщення тіла по вертикалі позначають символом h (висота), тому замінимо s на h . Для всіх тіл, які вільно падають, прискорення є однаковим і позначається символом g , тому замість символу a використаємо символ g . У результаті проведених заміन маємо рівняння, якими описують рух тіла, що вільно падає:

* Для не дуже точних розрахунків вважатимемо, що $g \approx 10 \text{ м/с}^2$.

Назви формул	Формули для описання рівноприскореного руху тіл уздовж осі OX	Формули для описання вільного падіння тіл уздовж осі OY
Рівняння залежності проекції швидкості від часу	$v_x = v_{0x} + a_x t$	$v_y = v_{0y} + g_y t$
Рівняння залежності проекції переміщення від часу	$s_x = v_{0x} t + \frac{1}{2} a_x t^2$	$s_y = h_y = v_{0y} t + \frac{1}{2} g_y t^2$
Формула для розрахунку проекції переміщення, якщо невідомий час руху тіла	$s_x = \frac{v_x^2 - v_{0x}^2}{2a_x}$	$s_y = h_y = \frac{v_y^2 - v_{0y}^2}{2g_y}$
Формула, яка виражає геометричний зміст переміщення	$s_x = \frac{v_{0x} + v_x}{2} t$	$s_y = h_y = \frac{v_{0y} + v_y}{2} t$
Рівняння координати	$x = x_0 + v_{0x} t + \frac{1}{2} a_x t^2$	$y = y_0 + v_{0y} t + \frac{1}{2} g_y t^2$

4 Учимося розв'язувати задачі

Задача. Повітряна куля рівномірно піднімається зі швидкістю 2 м/с. На висоті 7 м від поверхні Землі з неї впустили невелике важке тіло. Через який проміжок часу тіло впаде на землю? Якою буде його швидкість у момент падіння? Падіння тіла вважати вільним.

Дано:

$$v_0 = 2 \text{ м/с}$$

$$h = 7 \text{ м}$$

$$g \approx 10 \text{ м/с}^2$$

$$t - ?$$

$$v - ?$$

Аналіз фізичної проблеми. Щоб розв'язати задачу, виконаємо пояснювальний рисунок. Спрямуємо вісь OY вертикально вниз, початок координат (точку O) сумістимо з положенням тіла в момент початку падіння. Оскільки тіло впустили з кулі, що рівномірно піднімалася, то в момент початку падіння швидкість руху тіла дорівнювала швидкості руху кулі й була напрямлена вертикально вгору.



Пошук математичної моделі, розв'язання. Оскільки відомі початкова швидкість, прискорення та переміщення тіла, для обчислення часу падіння доцільно скористатися рівнянням переміщення:

$h_y = v_{0y} t + \frac{1}{2} g_y t^2$. Конкретизуємо рівняння (скориставшись **рисунок**, перейдемо від проекцій до модулів): $h_y = h = 7 \text{ м}$, $v_{0y} = -v_0 = -2 \text{ м/с}$, $g_y = g = 10 \text{ м/с}^2$. Підставимо ці дані в рівняння переміщення: $7 = -2t + 5t^2 \Rightarrow 5t^2 - 2t - 7 = 0$.

Розв'язавши одержане квадратне рівняння, визначимо t : $D = \sqrt{4 + 4 \cdot 5 \cdot 7} = 12$; $t_1 = \frac{2+12}{10} = 1,4 \text{ (с)}$; $t_2 = \frac{2-12}{10} = -1 \text{ (с)}$ — сторонній корінь, оскільки час не може бути від'ємним.

Для визначення швидкості руху тіла в момент падіння скористаємося формулою швидкості: $v_y = v_{0y} + g_y t$. Після конкретизації маємо: $v_y = -v_0 + gt$. Визначимо значення шуканої величини:

$$[v] = \frac{\text{м}}{\text{с}} + \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot \text{с} = \frac{\text{м}}{\text{с}}; [v] = -2 + 10 \cdot 1,4 = 12; v = 12 \text{ м/с}.$$

Відповідь: тіло впаде на землю через $t = 1,4$ с, швидкість його руху в момент падіння $v = 12$ м/с.

Підбиваємо підсумки

Падіння тіл у безповітряному просторі називають вільним падінням. Експериментально встановлено, що вільне падіння є рівноприскореним рухом. У випадку вільного падіння всі тіла, незалежно від їхньої маси, падають з однаковим прискоренням, яке називають прискоренням вільного падіння і позначають символом \vec{g} .

Вектор прискорення вільного падіння завжди напрямлений вертикально вниз. Модуль прискорення вільного падіння біля поверхні Землі приблизно дорівнює $9,8 \text{ м/с}^2$.

Для описання вільного падіння та в ході розв'язування задач використовують такі формули: $v_y = v_{0y} + g_y t$; $h_y = v_{0y} t + \frac{1}{2} g_y t^2$; $h_y = \frac{v_y^2 - v_{0y}^2}{2g_y}$; $h_y = \frac{v_{0y} + v_y}{2} t$; $y = y_0 + v_{0y} t + \frac{1}{2} g_y t^2$, де v_{0y} — проекція початкової швидкості на вісь OY ; v_y — проекція кінцевої швидкості на вісь OY ; g_y — проекція прискорення вільного падіння на вісь OY ; h_y — проекція переміщення тіла на вісь OY ; y_0 — початкова координата тіла; y — координата тіла в момент часу t .

Контрольні запитання

1. Який рух називають вільним падінням тіл? Яким є характер цього руху?
2. Опишіть досліди, за допомогою яких можна встановити, що прискорення вільного падіння не залежить від маси тіла.
3. Як напрямлене прискорення вільного падіння і чому воно дорівнює?
4. Хто вперше довів, що всі тіла падають на поверхню Землі з однаковим прискоренням?
5. Якими формулами ви скористаєтесь, щоб описати вільне падіння тіл?

Вправа № 10

Виконуючи завдання, вважайте, що опір повітря відсутній і що $g = 10 \text{ м/с}^2$.

1. М'яч кинули вертикально вгору з початковою швидкістю 20 м/с . Визначте швидкість руху м'яча та його переміщення через 3 с після початку руху.
2. Тіло кинули вертикально вгору з початковою швидкістю 30 м/с . На якій висоті швидкість руху тіла зменшиться в три рази?
3. За рисунком, виконаним зі стробоскопічної фотографії, визначте прискорення вільного падіння кульки. Час між спалахами стробоскопа — $0,1$ с, сторона кожного квадрата сітки дорівнює 5 см .
4. Стрілу випустили з лука вертикально вгору зі швидкістю 10 м/с . Відомо, що через 2 с вона вже падала вниз із тією самою швидкістю. Визначте максимальну висоту польоту стріли, а також її шлях і переміщення протягом цих 2 с.
5. Дві кульки розміщено на одній вертикалі на відстані 10 м одна від одної. Одночасно верхню кульку кидають вертикально вниз із початковою швидкістю 29 м/с , а нижню просто відпускають. Через який час кульки зіткнуться?
- 6*. Від бурульки на даху відірвалася краплина. Який шлях пройде краплина за четверту секунду після моменту свого відриву?

