

Якщо взяти в руки, а потім відпустити м'яч, то він обов'язково впаде. М'яч упаде і якщо підкинути його вертикально вгору або якщо, розбігшись, спробувати закинути його якнайдалі. З курсу фізики 8-го класу ви знаєте, що падіння тіл на землю — результат гравітаційної взаємодії цих тіл і Землі. Про силу, яка характеризує цю взаємодію, йтиметься в цьому параграфі.

## Що таке сила тяжіння

**Сила тяжіння** — сила, що характеризує гравітаційну взаємодію тіл із Землею.

Згідно із законом всесвітнього тяжіння модуль сили тяжіння  $F_{\text{тяж}}$ , яка діє на будь-яке тіло поблизу поверхні Землі, можна обчислити за формулою:

$$F_{\text{тяж}} = G \frac{mM_{\text{З}}}{r^2} = G \frac{mM_{\text{З}}}{(R_{\text{З}} + h)^2},$$

де  $G$  — гравітаційна стала;  $m$  — маса тіла;  $M_{\text{З}}$  — маса Землі;  $r = R_{\text{З}} + h$  — відстань від центра Землі до даного тіла (рис. 21.1).

Сила тяжіння, що діє на тіло, направлена вертикально вниз і прикладена до точки, яку називають *центром тяжіння тіла*.

У загальному випадку положення центра тяжіння тіла можна визначити, підвішуючи тіло по черзі за будь-які дві крайні точки (рис. 21.2). Для однорідного симетричного тіла центр тяжіння розташований у центрі симетрії (рис. 21.3).

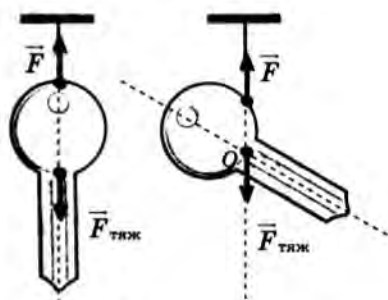
Зверніть увагу: *центр тяжіння може перебувати й поза тілом*, тобто не збігатися з жодною з його точок (рис. 21.3, г).

## Від чого залежить прискорення вільного падіння

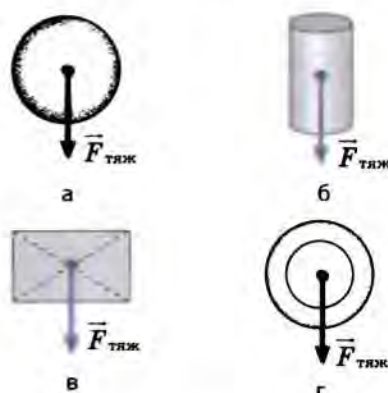
Якщо на тіло масою  $m$  діє тільки сила тяжіння  $\vec{F}_{\text{тяж}}$ , то це тіло вільно падає, рухаючись із прискоренням, яке дорівнює прискоренню вільного падіння ( $\vec{a} = \vec{g}$ ).



**Рис. 21.1.** Відстань  $r$  від центра Землі до тіла дорівнює сумі радіуса Землі  $R_{\text{З}}$  і висоти  $h$ , на якій міститься тіло над поверхнею Землі



**Рис. 21.2.** Визначення центра тяжіння тіла: сила  $\vec{F}$  натягу нитки зрівноважує силу тяжіння  $\vec{F}_{\text{тяж}}$  і розташована з нею на одній прямій, тому лінії дії сил натягу нитки — вони ж лінії дії сил тяжіння — перетнуться в центрі тяжіння тіла



**Рис. 21.3.** Положення центрів тяжіння деяких однорідних симетричних тіл: а — кулі; б — циліндра; в — прямокутної пластинки; г — кільця

Відповідно до другого закону Ньютона  $g = \frac{F_{\text{тяж}}}{m}$ . Якщо  $m = 1$  кг, то  $\{g\} = \{F_{\text{тяж}}\}$ , тобто прискорення вільного падіння чисельно дорівнює силі тяжіння, яка діє на тіло масою 1 кг.

**Прискорення вільного падіння** — це прискорення, якого набуває тіло під дією сили тяжіння і яке чисельно дорівнює силі, з якою гравітаційне поле Землі діє на тіло масою 1 кг.

З формули  $g = \frac{F_{\text{тяж}}}{m}$  випливає:  $F_{\text{тяж}} = mg$ . Отже, маємо два вирази для визначення сили тяжіння:

$$F_{\text{тяж}} = mg; \quad F_{\text{тяж}} = G \frac{mM_3}{(R_3 + h)^2}.$$

Зрівнявши праві частини цих виразів, отримаємо формулу для обчислення прискорення вільного падіння:

$$g = G \frac{M_3}{(R_3 + h)^2}.$$

Аналізуючи останню формулу, можна зробити низку висновків.

1. Прискорення вільного падіння не залежить від маси тіла (цей факт був доведений Г. Галілеєм).

2. Прискорення вільного падіння зменшується в разі підняття тіла над поверхнею Землі, причому помітна зміна відбувається при піднятті на десятки й сотні кілометрів (якщо підняти тіло на 100 км, прискорення вільного падіння меншає на 0,3 м/с<sup>2</sup>).

3. Якщо тіло перебуває на поверхні Землі ( $h = 0$ ) або поблизу неї ( $h \ll R_3$ ), то прискорення вільного падіння обчислюють за формулою:

$$g = G \frac{M_3}{R_3^2}.$$

Слід звернути увагу ще на ряд чинників, які впливають на значення прискорення вільного падіння:

— прискорення вільного падіння залежить від географічної широти місцевості; воно незначно меншає в міру просування від полюса до екватора: на полюсах  $g_{\text{пол}} \approx 9,83$  м/с<sup>2</sup>, на широті 45°  $g \approx 9,81$  м/с<sup>2</sup>, на екваторі  $g_{\text{екв}} \approx 9,78$  м/с<sup>2</sup>. Цьому є дві причини: по-перше, форма Землі — геоїд (екваторіальний радіус Землі більший за полярний на 21 км); по-друге, Земля обертається навколо своєї осі (точно кажучи, Земля не є інерціальною СВ\*);

\* Якщо пов'язати СВ з географічним полюсом Землі, що є нерухомим відносно осі обертання Землі, то другий закон Ньютона для будь-якої точки на поверхні Землі буде мати вигляд:  $F_{\text{тяж}} = mg + ma_{\text{ц}} \Rightarrow g = \frac{F_{\text{тяж}} - ma_{\text{ц}}}{m}$ .

Чим ближче до екватора, тим більшим є  $a_{\text{ц}}$  і, відповідно, є меншим  $g$ .



— прискорення вільного падіння в певній місцевості може відрізнятися від його середніх значень на даній широті. Причини — в неоднорідності будови земної кори, наявності гір і западин, а також у різній густині порід, що залягають у надрах Землі. Так, зменшення прискорення вільного падіння часто свідчить про наявність у надрах торфу, нафти, газу; збільшення — про поклади металевих руд. Метод пошуку покладів корисних копалин за точним визначенням прискорення вільного падіння називають *гравіметричною розвідкою*.

Значення прискорення вільного падіння на різних географічних широтах, на висотах, які не перевищують 10 км, і в місцях гравітаційних аномалій відрізняються незначно, тому, визначаючи рух тіл, розташованих на порівняно невеликій висоті над поверхнею Землі, вважатимемо, що прискорення вільного падіння є постійним і дорівнює  $9,8 \text{ м/с}^2$ ; вільне падіння тіл будемо вважати рівноприскореним рухом.



### Яким є прискорення вільного падіння на інших планетах

Силою тяжіння часто називають силу, що діє на якесь тіло поблизу поверхонь небесних тіл (зір, планет, супутників планет, астероїдів). Модуль цієї сили обчислюють за формулами:

$$F_{\text{тяж}} = G \frac{mM}{(R+h)^2}; \quad F_{\text{тяж}} = mg,$$

де  $G$  — гравітаційна стала;  $m$  — маса тіла;  $M$  — маса небесного тіла;  $R$  — радіус небесного тіла;  $g$  — прискорення вільного падіння на висоті  $h$  від поверхні небесного тіла (див. таблицю).



### Підбиваємо підсумки

Сила тяжіння — сила, яка характеризує гравітаційну взаємодію тіл із Землею. Сила тяжіння напрямлена вертикально вниз і прикладена до центра тяжіння тіла. Модуль сили тяжіння можна обчислити за формулами:

$$F_{\text{тяж}} = G \frac{mM_3}{(R_3+h)^2}; \quad F_{\text{тяж}} = mg.$$

Прискорення вільного падіння чисельно дорівнює силі, з якою гравітаційне поле Землі діє на тіло масою 1 кг; воно завжди напрямлене вертикально вниз; його модуль можна обчислити за формулою:

$$g = \frac{GM}{(R+h)^2}. \quad \text{Якщо } h=0, \text{ то } g = \frac{GM}{R^2} = 9,8 \text{ м/с}^2.$$

Прискорення вільного падіння не залежить від маси тіла, але залежить від висоти, на якій розташоване тіло над поверхнею Землі,

Значення прискорень вільного падіння на поверхнях планет Сонячної системи

Планета	Символ планети	Прискорення вільного падіння, $\text{м/с}^2$
Меркурій		3,78
Венера		8,9
Земля		9,81
Марс		3,76
Юпітер		26
Сатурн		12
Уран		11
Нептун		12

від широти місцевості (зменшується з рухом від полюса до екватора), від густини порід, що залягають у надрах Землі, та ін.

Силу гравітаційної взаємодії тіла з яким-небудь небесним тілом теж називають силою тяжіння, а прискорення, якого набувають тіла під дією цієї сили,— гравітаційним прискоренням або прискоренням вільного падіння.

### Контрольні запитання

1. Дайте визначення сили тяжіння. За якими формулами її обчислюють і як вона напрямлена? 2. Де розташований центр тяжіння симетричних фігур? 3. Як можна визначити положення центра тяжіння фігури довільної форми? 4. Як розрахувати прискорення вільного падіння поблизу поверхні Землі? Від яких чинників воно залежить? 5. Як розрахувати силу тяжіння поблизу поверхні небесного тіла?

### Вправа № 18

1. Визначте масу тіла, якщо на поверхні Марса на це тіло діє сила тяжіння 7,52 Н. Обчисліть силу тяжіння, що діятиме на це тіло на поверхні Землі.
2. Вимірявши гравітаційну сталу, Г. Кавендіш зміг визначити масу Землі, після чого з гордістю сказав: «Я зважив Землю». Визначте масу Землі, знаючи її радіус  $R_z$ , прискорення вільного падіння на її поверхні та гравітаційну сталу.
3. Визначте гравітаційне прискорення на поверхні планети, якщо її маса у два рази менша від маси Землі, а радіус дорівнює радіусу Землі.
4. У скільки разів прискорення вільного падіння на висоті  $6R_z$  менше за прискорення вільного падіння на поверхні Землі?

### Експериментальне завдання

Виріжте із цупкого паперу або картону фігурку довільної форми та визначте розташування її центра тяжіння (див. рис. 21.2). Помістіть фігурку центром тяжіння на вістря голки або стрижня авторучки. Переконайтеся, що фігурка перебуває у рівновазі. Запишіть план проведення експерименту.