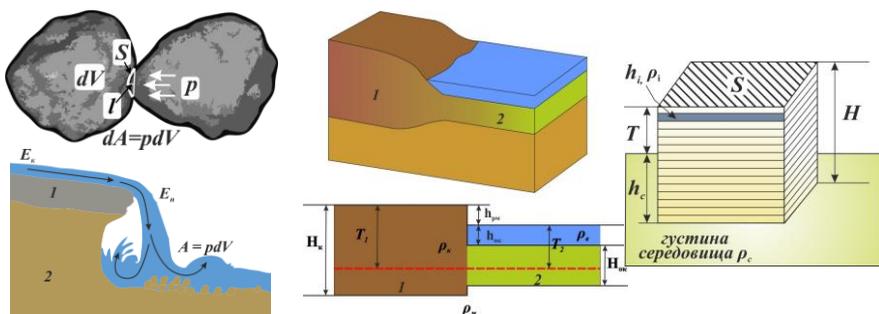




В.В. Фурман, Ю.М. Віхоть

**ОСНОВИ ГЕОФІЗИКИ**  
(короткий довідник з практикуму)



УДК 550.3 + 551.1/551.3

ББК 26.2 + 26.3

Ф 95

**Фурман В. В. Основи геофізики (короткий довідник з практикуму)** : для студентів геологічного факультету ЛНУ імені Івана Франка / В. В. Фурман, Ю. М. Віхоть. – Львів : ЛНУ імені Івана Франка, 2017. – 68 с.

**Рецензент:** д-р фіз.-мат. наук, проф. Д. В. Малицький,  
Карпатське відділення Інституту геофізики НАН України

**Редактор:** Мирослава Мартиняк

**Відповідальний за друк:** Олена Старунько

**Комп'ютерне верстання:** Юрій Віхоть

*Друкується за ухвалою Вченої ради геологічного факультету  
Львівського національного університету імені Івана Франка  
(протокол № 34/9 від 21 вересня 2016 р.)*

Наведено необхідні довідкові таблиці основних законів і формул з одиницями вимірювання фізичних величин та короткими поясненнями згідно з чинною програмою курсу; величин, які характеризують фізичні властивості порід у геодинамічних розрахунках; фізичних характеристик найпоширеніших магматичних, осадових, метаморфічних гірських порід, основних мінералів тощо. Є доповненням до двох навчальних посібників з практикуму: “Основи геофізики (фізика Землі)” та “Основи геофізики (фізика геологічних середовищ)”.

Для студентів вищих навчальних закладів.

© В.В. Фурман, Ю.М. Віхоть, 2017

## ВСТУП

У курсі “Основи геофізики”, що призначений для студентів напряму підготовки 6.040103 – геологія та 6.040106 – екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природоко-ристування, часто на практичних заняттях та в самостійних роботах використовують формули та значення фізичних і механічних величин для гірських порід, найпоширеніших породотвірних мінералів та інші довідкові відомості, а під час аналізу геофізичних полів та розрахунку геодинамічних показників – різноманітні петрофізичні величини. Тому запропонований довідник **“Основи геофізики (короткий довідник з практикуму)”** є необхідним для виконання завдань та розв’язування задач з практичного курсу, особливо для частини, яка стосується *фізики геологічних процесів*.

Короткий довідник містить довідкові відомості про:

- *основні закони і формули з одиницями вимірювання фізичних величин та короткими поясненнями згідно з чинною програмою курсу;*
- *величини, які характеризують фізичні властивості порід у геодинамічних розрахунках;*
- *петрофізичні властивості гірських порід;*
- *значення величин, що характеризують фізичні властивості найпоширеніших магматичних, осадових, метаморфічних гірських порід, основних мінералів та деяких інших речовин тощо;*
- *взаємозв’язок між геологічним процесом у природі та фізичним змістом цього природнього явища.*

Короткий довідник є доповненням до двох навчальних посібників з практикуму: **“Основи геофізики (фізика Землі)”** та **“Основи геофізики (фізика геологічних середовищ)”**.

---

*Електронні версії методичних вказівок, навчальних посібників “Основи геофізики (фізика геологічних процесів)” і “Основи геофізики (фізика Землі)” та довідника “Основи геофізики (короткий довідник з практикуму)” можна завантажити зі сайтів на відповідних вкладках:*

- 📁 <http://vikhot-yuriy.jimdo.com/> або <http://yuvik.jimdo.com/>
- 📁 [https://www.researchgate.net/profile/Yuriy\\_Vikhot3](https://www.researchgate.net/profile/Yuriy_Vikhot3)
- 📁 [https://www.researchgate.net/profile/Vitaly\\_Fourman](https://www.researchgate.net/profile/Vitaly_Fourman)

## 1. Основні закони і формули з одиницями вимірювання фізичних величин та короткими поясненнями

Наведено основні формулювання законів та формули, які використовують на практичних заняттях згідно з чинною програмою курсу “Основи геофізики”. Ілюстрації до законів сприяють кращому розумінню та запам’ятовуванню.

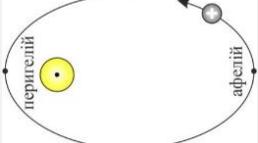
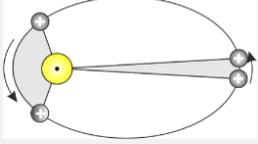
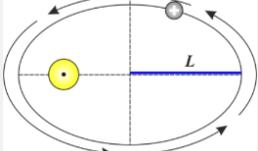
Таблиця 1

Закон або фізична величина	Формула	СІ	Коротке пояснення
Швидкість	$\vec{v} = \frac{\vec{s}}{t}$	м/с	У разі прямолінійного рівномірного руху
Швидкість	$\vec{v} = \frac{d\vec{s}}{dt} = \vec{s}'$	м/с	У разі прямолінійного нерівномірного руху
Прискорення	$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{v}'$ $\vec{a}_c = \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}$	м/с <sup>2</sup>	
Швидкість	$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a}t$	м/с	У разі прямолінійного рівномірно прискореного руху
Прискорення	$\vec{a} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{t}$	м/с <sup>2</sup>	
Переміщення	$\vec{s} = \vec{v}_c t$ $= \vec{v}_0 t + \frac{1}{2} \vec{a} t^2$	м	
Частота обертання	$n = \frac{N}{t} = \frac{1}{T}$	1/с	У разі рівномірного руху по колу Фізична величина, яка дорівнює відношенню кількості обертів $N$ , що робить тіло (точка) під час руху по колу, до часу $t$ , за який ці оберти відбулися Час, за який тіло (точка) виконує один повний оберт Швидкість руху тіла (точки) по колу, яка в кожній його точці направлена вздовж дотичної
Період обертання	$T = \frac{t}{N} = \frac{1}{n}$	с	
Швидкість (лінійна)	$\vec{v} = \frac{\vec{L}}{t} = \frac{2\pi R}{T}$ $= 2\pi R n$	м/с	
Швидкість (лінійна)	$v = \omega R$	м/с	

Закон або фізична величина	Формула	СІ	Коротке пояснення
Кутова швидкість	$\omega = \frac{\varphi}{t} = \frac{2\pi}{T} = 2\pi n$	рад/с	Осьовий вектор, який завжди напрямлений уздовж осі обертання, і напрям якого визначають за правилом свердлика (правого гвинта)
Доцентрове (нормальне) прискорення	$a = \frac{4\pi^2 R}{T^2} = 4\pi^2 n^2 R$ $a = \omega^2 R = \frac{v^2}{R}$	м/с <sup>2</sup>	У разі криволінійного змінного руху
Відстань	$s = \frac{gt^2}{2}$	м	Падіння об'єкта з висоти $h$ на поверхню Землі
Швидкість	$v_h = \sqrt{2gh}$	м/с	
Час	$t_h = \sqrt{\frac{2h}{g}}$	с	
Густина	$\rho_{cp} = \frac{m}{V}$ $\rho = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\Delta m}{\Delta V} = \frac{dm}{dV}$	кг/см <sup>3</sup>	Маса тіла одиничного об'єму, є фізичною характеристикою будь-якої речовини, з якої складається тіло
Маса геологічного тіла	$m = \rho V$ $m = \int_0^V \rho dV$	кг	Скалярна фізична величина, що є однією з основних характеристик матерії і визначає її інерційні, енергетичні та гравітаційні властивості
Імпульс тіла	$\vec{p} = m\vec{v}$	$\frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$	Векторна фізична величина, що характеризує властивість тіл залишатися в деяких системах відліку в стані спокою або рівномірного прямолінійного руху за наявності або без взаємної компенсації зовнішніх впливів

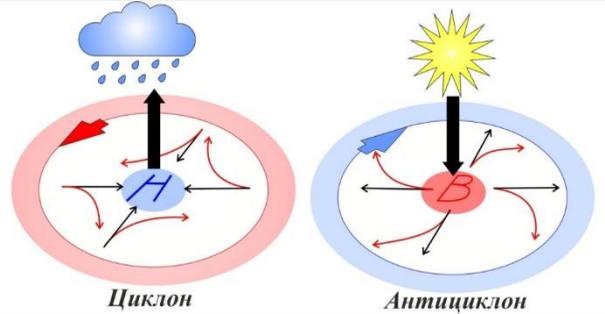
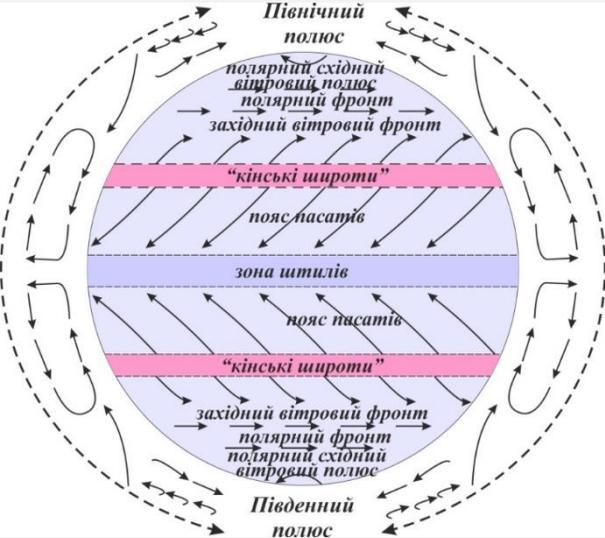
Закон або фізична величина	Формула	СІ	Коротке пояснення
Закон збереження імпульсу	$\vec{p} = \vec{p}'$ $m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2 = m_1\vec{v}_1' + m_2\vec{v}_2'$	$\frac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}}$	Геометрична сума імпульсів тіл, що утворюють замкнену систему, є сталою під час будь-яких рухів і взаємодій тіл системи
Перший закон Ньютона (закон інерції або принципу Галілея)	$\sum_{i=1}^n \vec{F}_i = 0$ $\frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{a} = 0$	Н або $\frac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}^2}$	Існують такі системи відліку, у яких центр мас будь-якого тіла, на яке не діють ніякі сили або рівнодійна сил, які на нього діють, дорівнює нулю, зберігає стан спокою або рівномірного прямолінійного руху, доки цей стан не змінять сили, застосовані до нього
Другий закон Ньютона (базовий закон динаміки)	$\vec{F} = m\vec{a} \Rightarrow \vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$ $\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} = \vec{p}'$ $\vec{F} = \frac{d(m\vec{v})}{dt} = m\frac{d\vec{v}}{dt}$	Н	Рівнодійна $\vec{F}$ сил, що діють на тіло, дорівнює добутку маси $m$ тіла і прискорення $\vec{a}$ , набутого цим тілом
Третій закон Ньютона (закон дії та протидії)	$\vec{F}_{BA} = -\vec{F}_{AB}$	Н	Сили, що виникають під час взаємодії двох тіл, є рівними за модулем і протилежними за напрямом
Відцентрова сила	$F_{\text{відд}} = ma_{\text{від}} = \frac{mv^2}{R}$ $F_{\text{від}} = m\omega^2 R$ $F_{\text{від}} = m\omega v$	Н	Відцентрова сила $F_{\text{д}}$ , що надає тілу, яке рухається рівномірно по колу, відцентрового (нормального) прискорення $\vec{a}_{\text{д}}$ , напрямлена вздовж радіуса від центра кола ( $\omega$ – кутова швидкість)

<i>Закон або фізична величина</i>	<i>Формула</i>	<i>СІ</i>	<i>Коротке пояснення</i>
<b>Закон всесвітнього тяжіння</b>	$\vec{F}_{\text{гр.}} = G \frac{M_1 M_2}{R^2}$	Н	Будь-які два тіла притягуються одне до одного з силою $F$ , прямо пропорційною до добутку їхніх мас і обернено пропорційною до квадрата відстані між ними
<b>Сила тяжіння і гравітаційна</b>	$\vec{F}_{\text{т.}} = mg$ $\vec{F}_{\text{гр.}} = m \left( G \frac{M_{\oplus}}{(R_{\oplus} + h)^2} \right)$	Н	Сила $F$ , з якою тіло що перебуває на поверхні або на висоті $h$ , притягується до Землі під дією гравітаційного поля
<b>Вага тіла</b>	$P = \vec{F}_{\text{т.}} = mg$ $P = \vec{F}_{\text{гр.}} = G \frac{M_{\oplus} m}{(R_{\oplus} + h)^2}$	Н	Сила, з якою тіло діє на опору або розтягує підвіс унаслідок притягання до Землі
<b>Напруженість гравітаційного поля Землі (прискорення вільного падіння на висоті <math>h</math>)</b>	$g = \frac{\vec{F}}{m} = \frac{GM_{\oplus}}{(R_{\oplus} + h)^2}$ при $h \ll R_{\oplus}$ : $g_0 = \frac{GM_{\oplus}}{R_{\oplus}^2}$ $g_h = g_0 \left[ \frac{R_{\oplus}}{R_{\oplus} + h} \right]^2$	м/с <sup>2</sup>	Силова характеристика поля тяжіння – напруженість гравітаційного поля Землі на висоті $h$ над її поверхнею (або прискорення, якого набувають тіла на висоті $h$ над поверхнею Землі під дією сили тяжіння) Векторна величина, що чисельно дорівнює відношенню сили, яка діє на одиницю маси точкового тіла, нанесеного у цю точку поля, до гравітаційної маси цього тіла
<b>Потенціальна енергія тіла у полі тяжіння Землі</b>	$E_{\text{п}}^{\oplus} = -G \frac{M_{\oplus} m}{R_{\oplus}}$	Дж	Робота сил дорівнює зміні потенціальної системи з протилежним напрямом

Закон або фізична величина	Формула	СІ	Коротке пояснення
Потенціал гравітаційно-го поля Землі	$\varphi = \frac{E_{\text{п}}^{\oplus}}{m} = \frac{GM_{\oplus}}{R_{\oplus}}$ $\varphi(\mathbf{r}) = - \int_R^{\infty} \vec{g}(\mathbf{r}) d\vec{r}$ <i>(інтегральна форма)</i> $\mathbf{g}(\mathbf{r}) = -\text{grad } \varphi(\mathbf{r})$ $\mathbf{g}(\mathbf{r}) = -\nabla\varphi$ <i>(диференціальна форма)</i>	Дж	Потенціал поля – фізична величина – скалярна енергетична характеристика поля, що чисельно дорівнює роботі, яку необхідно виконати, щоб перемістити одиничний об'єкт взаємодії із заданої точки простору $R$ у нескінченність $\infty$ в полі носія взаємодії. Потенціал не залежить від маси тіла $m$ , а залежить тільки від маси $M$ і відстані $R$ від цього тіла до точки поля
Перший закон Кеплера		–	Усі планети рухаються по еліптичних орбітах, в одному з фокусів яких є Сонце
Другий закон Кеплера		–	Пряма, що сполучає Сонце і планету під час руху її по еліпсу, за однакові інтервали часу обертання планети навколо Сонця описує однакові площі
Третій закон Кеплера	$\frac{L_1^3}{T_1^2} = \frac{L_2^3}{T_2^2} = \frac{L_3^3}{T_3^2}$ 	–	Відношення куба півосі орбіт $L^3$ до квадрата періоду обертання $T^2$ планети навколо Сонця однакове для всіх планет
Радіус Землі (метод Біруні)	$R_{\oplus} = \frac{H \cos \alpha}{1 - \cos \alpha}$	м	$\alpha$ – кут між лінією зору та горизонтальною площиною

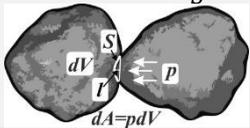
<b>Закон або фізична величина</b>	<b>Формула</b>	<b>СІ</b>	<b>Коротке пояснення</b>
<b>Радіус Землі (метод Ератосфена)</b>	$R_{\oplus} = \frac{180^{\circ} L}{\pi \alpha}$	м	$\alpha$ – кут, який утворює тінь під впливом сонячних променів у день сонцестояння (у Сієні, сучасному м. Асуані, $\alpha = 7,2^{\circ}$ )
<b>Перша космічна швидкість</b>	$v_I = \sqrt{\frac{GM}{R_{\oplus}}} = \sqrt{g_0 R_{\oplus}}$ <p style="text-align: center;"><i>(біля поверхні Землі)</i></p> $v_I = \sqrt{\frac{GM}{R_{\oplus} + h}}$ <p style="text-align: center;"><i>(на висоті <math>h</math> над поверхнею Землі)</i></p>	м/с	Швидкість $v_I$ , яку необхідно надати тілу під час запуску з будь-якої планети, щоб воно стало її штучним супутником і при цьому рухалося по колу, центр якого збігається з центром планети ( $\approx 7,9$ км/с)
<b>Швидкість (для штучного супутника Землі)</b>	$v_I = R_{\oplus} \sqrt{\frac{g_0}{R_{\oplus} + h}}$	м/с	Швидкість, яка необхідна для обертання штучного супутника Землі на висоті $h$
<b>Друга космічна швидкість</b>	$v_{II} = \sqrt{2v_I}$	м/с	Найменша швидкість $v_{II}$ , яку треба надати тілу біля поверхні Землі або іншої планети, щоб воно могло подолати її тяжіння і стати штучним супутником Сонця ( $\approx 11,2$ км/с)

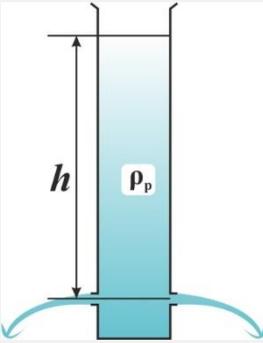
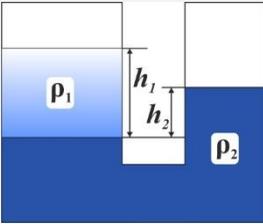
Закон або фізична величина	Формула	СІ	Коротке пояснення
Сила Коріоліса	$\vec{F}_{\text{кор.}} = -2m [\vec{v} \times \vec{\omega}]$	Н	<p>Сила Коріоліса, що виявляється під час руху в напрямі під кутом до осі обертання. Вона є причиною виникнення пасатів (вітрів, що дують від тропіків до екватора), циклонів та антициклонів, підмивання берегів річок меридіонального напрямку (у Північній півкулі – праві береги є крутішими, а у Південній – ліві) (<math>\vec{\omega}</math> – кутова швидкість обертання неінерціальної системи відліку (планети Землі); <math>\vec{v}</math> – швидкість руху матеріальної точки в цій системі відліку; квадратні дужки – векторний добуток). Знак мінус означає, що ця сила напрямлена від центра</p>
			<p><b>Напрямок сили Коріоліса визначають</b> за правилом лівої руки: якщо вектор кутової швидкості <math>\vec{\omega}</math> спрямований у долоню лівої руки, а чотири випрямлені пальці – за напрямом швидкості руху тіла <math>\vec{v}</math>, то відігнутий під прямим (<math>90^\circ</math>) кутом великий палець вказує на напрям дії сили Коріоліса</p>

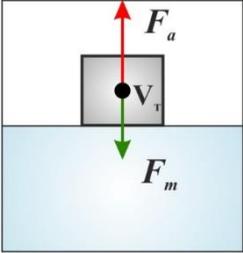
Закон або фізична величина	Формула	СІ	Коротке пояснення
			 <p style="text-align: center;"><b>Відхилення циклонів під дією сили Коріоліса</b></p>
			 <p style="text-align: center;"><b>Відхилення вітрів пасатів</b></p>

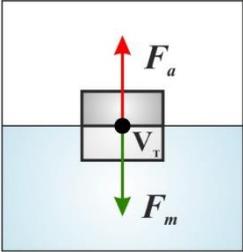
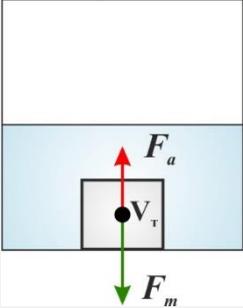
<b>Закон або фізична величина</b>	<b>Формула</b>	<b>СІ</b>	<b>Коротке пояснення</b>
<b>Сила тертя</b>	$\vec{F}_{\text{тер}} = \mu \vec{N}$ <p><i>По похилій площині:</i></p> $F_{\text{T}} = \mu P \cos \alpha$ $F_{\text{T}} = \mu mg \cos \alpha$	Н	Сила, що чинить опір відносному переміщенню одного тіла по поверхні іншого під дією зовнішньої сили, і яка спрямована тангенціально до спільної межі між цими тілами ( $\mu$ – коефіцієнт тертя; $N$ – сила нормальної реакції опори, яка виникає завжди, коли тіло перебуває на будь-якій поверхні, і напрямлена протилежно до сили, що діє на цю поверхню)
<b>Ковзання по похилій площині</b>	$a = g (\sin \alpha \pm \mu \cos \alpha)$	м/с <sup>2</sup>	Якщо рух тіла відбувається ввєрх, то знак “+”, а якщо вниз, то “-”. Якщо $mg \sin \alpha = \mu mg \cos \alpha$ , то тіло перебуває в стані спокою
<b>Сила пружності (Закон Гука)</b>	$\vec{F}_{\text{пр}} = -k\vec{x}$ $\vec{F}_{\text{пр}} = P \Rightarrow k = \frac{mg}{x}$	Н	Сила пружності $\vec{F}$ , що виникає в тілі під час пружної деформації розтягу (або стиску), пропорційна до видовження (деформації) $\vec{x}$ цього тіла і напрямлена протилежно до неї ( $k$ – коефіцієнт пропорційності, який називають жорсткістю тіла)

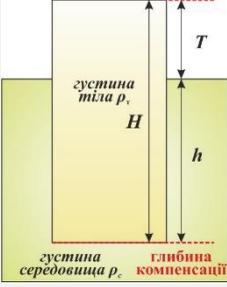
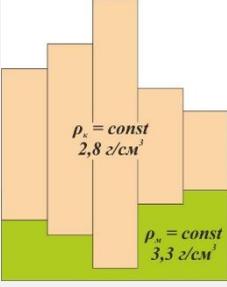
<i>Закон або фізична величина</i>	<i>Формула</i>	<i>СІ</i>	<i>Коротке пояснення</i>
<b>Сила пружності (через модуль Юнга)</b>	$\sigma = E \frac{\Delta L}{L} = E\varepsilon$	Н	$\sigma$ – нормальне механічне напруження; $\varepsilon$ – відносне видовження тіла ( $L$ – початкова довжина тіла; $\Delta L$ – модуль зміни довжини тіла внаслідок пружної деформації; $E$ – коефіцієнт пропорційності, який називають модулем поздовжньої пружності (модулем Юнга)
<b>Кінетична енергія тіла</b>	$E_k = \frac{mv^2}{2}$	Дж	Різновид механічної енергії, скалярна фізична величина, що відображає енергію рухомого тіла
<b>Робота-кінетична енергія</b>	$A = \frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2}$	Дж	Механічна робота тіла, до якого прикладені сили, дорівнює зміні його кінетичної енергії
<b>Потенціальна енергія тіла</b>	$E_{\text{п}} = mgh$	Дж	Різновид механічної енергії, скалярна фізична величина, що відображає енергію взаємодії тіл або частинок, що залежить від їхнього взаємного розташування ( <i>піднятого на висоту <math>h</math> над Землею</i> ) у зовнішньому силовому полі
<b>Робота-потенціальна енергія</b>	$A = -\Delta E_{\text{п}}$ $A = mgh_2 - mgh_1$ $A = mg(h_2 - h_1)$	Дж	Зміна потенціальної енергії тіла дорівнює роботі сили тяжіння
<b>Потенціальна енергія пружної деформації тіла</b>	$E_{\text{пр}} = -\frac{kx^2}{2}$	Дж	

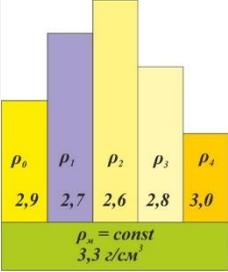
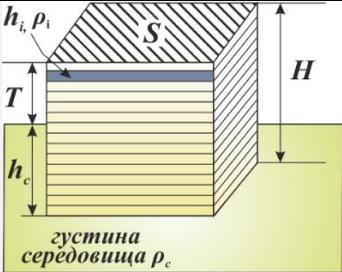
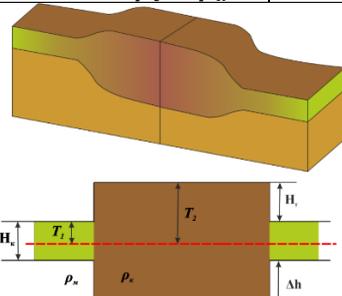
<i>Закон або фізична величина</i>	<i>Формула</i>	<i>СІ</i>	<i>Коротке пояснення</i>
<b>Робота сили пружності</b>	$A = \frac{kx_2^2}{2} - \frac{kx_1^2}{2}$	Дж	У разі зміни деформації тіла від $x_1$ до $x_2$ сила пружності виконує роботу
<b>Повна механічна енергія</b>	$E = E_k + E_n + E_{пр}$	Дж	Це сума кінетичної та потенціальних енергій
<b>Закон збереження механічної енергії</b>	$\begin{aligned} E_{к1} + E_{н1} + E_{пр1} &= \\ E_{к2} + E_{н2} + E_{пр2} &= \\ &= const \end{aligned}$	Дж	Повна механічна енергія будь-якої замкнутої системи тіл є незмінною
<b>Повна енергія тіла</b>	$E = E_k + E_n + U$	Дж	Сума кінетичної енергії $E_k$ , потенціальної $E_n$ та внутрішньої енергії $U$
<b>Механічна робота</b>	$\begin{aligned} A &= FL \\ A &= FL' \cos \alpha \end{aligned}$	Дж	Скалярна фізична величина, що описує переміщення тіла під дією сили тяжіння
<b>Потужність</b>	$\begin{aligned} N &= \frac{A}{t} \\ &\text{або} \\ N &= Fv \cos \alpha \\ &\text{(у разі рівномірного руху)} \end{aligned}$	Вт	Скалярна фізична величина, що дорівнює відношенню роботи $A$ до інтервалу часу $t$ , за який ця робота виконана
<b>Тиск</b>	$p = \frac{F}{S}$	Па	Скалярна фізична величина, що дорівнює відношенню рівнодійної сили $F$ , яка діє на одиницю площі $S$ перпендикулярно до її поверхні
<b>Зміна об'єму середовища</b>	$dV = dIS$	м <sup>3</sup>	
<b>Робота сторонніх сил над геологічним середовищем</b>	$\begin{aligned} dA &= pdV \\ dA &= (\vec{F} \cdot d\vec{l}) = \frac{\vec{F}}{S} d\vec{l}S \end{aligned}$ 	Дж	Зміна роботи призводить до деформації геологічних тіл під дією тиску, який є одним із найважливіших термодинамічних величин

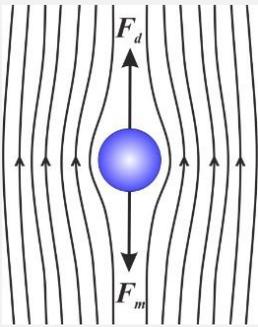
Закон або фізична величина	Формула	СІ	Коротке пояснення
<p><b>Закон Паскаля (гідростатичний тиск рідини)</b></p>	$p = \rho g h$ 	Па	<p>Тиск, який створюється у рідині густиною <math>\rho_p</math>, що перебуває в стані спокою, у будь-якій точці її об'єму, і зумовлений силою тяжіння стовпа рідини (вагою), розташованого над точкою вимірювання, і залежить від глибини <math>h</math> (наприклад, тиск стовпа прісної води, висотою від гирла свердловини до пласта)</p>
<p><b>Умова рівноваги рідин</b></p>	$\frac{h_1}{h_2} = \frac{\rho_2}{\rho_1}$ $\rho_1 g h_1 = \rho_2 g h_2$ 	–	<p>Рідини, що мають різну густину, у сполучених посудинах встановлюються на висотах, обернено пропорційних до їхніх густин</p>
<p><b>Співвідношення між швидкостями витікання рідини</b></p>	$\frac{S_1}{S_2} = \frac{v_2}{v_1}$	–	<p>Швидкості витікання рідини з сполученої посудини обернено пропорційні до перерізу труб</p>

Закон або фізична величина	Формула	СІ	Коротке пояснення
Сила Архімеда (виштовхувальна сила)	$F_a = \rho_c g V_T$	Н	На будь-яке тіло, занурене в середовище, густиною $\rho_c$ , діє виштовхувальна сила, що направлена вертикально вгору і чисельно дорівнює вазі об'єму речовини середовища, витісненого цим тілом ( $\rho_c$ – густина речовини середовища; $V_T$ – об'єм тіла). Сила Архімеда діє не тільки в рідинах (айсберг), але й у газах (повітряні кулі, хмари)
Підймальна сила тіла, зануреного в рідину або газ	$\vec{F} = \vec{F}_a + \vec{F}_T$ $F = \rho_p g V_T - m_T g = g(\rho_p V - m_T)$	Н	Рівнодійна сила $\vec{F}$ для сили Архімеда $\vec{F}_a$ і сили тяжіння $\vec{F}_T$
Умови плавання тіл	$\vec{F}_a > \vec{F}_T$ або $\vec{F}_a > \vec{P}$ 	Н	Якщо сила Архімеда більша від сили тяжіння (або якщо густина речовини середовища більша від густини тіла), то тіло спливатиме, підніматиметься вгору і плаватиме на поверхні речовини середовища

Закон або фізична величина	Формула	СІ	Коротке пояснення
	$\vec{F}_a = \vec{F}_T$ <p style="text-align: center;">або</p> $\vec{F}_a = \vec{P}$ <p style="text-align: center;">або</p> $\rho_p V_p = \rho_T V_T$ 	Н	Якщо сила Архімеда дорівнює силі тяжіння (або якщо густина речовини середовища дорівнює густині тіла), то тіло перебуває в рівновазі у будь-якій точці рідини, і плаватиме всередині рідини з певним рівнем занурення (наприклад, айсберг)
	$\vec{F}_a < \vec{F}_T$ $\vec{F}_a < \vec{P}$ 	Н	Якщо сила Архімеда менша від сили тяжіння (або якщо густина речовини середовища менша від густини тіла), то тіло тонути в речовині середовища та опускатиметься на дно

Закон або фізична величина	Формула	СІ	Коротке пояснення
<p><b>Ізостазія (ізостатична рівновага)</b></p>	$T = H \left( 1 - \frac{\rho_T}{\rho_c} \right)$ 	–	<p>Геологічний процес, що демонструє врівноваження мас гірських порід земної кори на поверхні астеносфери: менш щільніша земна кора (<math>2,8 \text{ г/см}^3</math>) ніби “плаває” у більш щільному шарі верхньої мантії (<math>3,3 \text{ г/см}^3</math>), та перебуває у стані гідростатичної рівноваги згідно з законом Архімеда; (<math>\rho_m</math> – густина тіла (земної кори, айсберга); <math>\rho_c</math> – густина середовища; <math>H</math> – висота цього тіла; <math>T</math> – висота тіла над рівнем моря (або води))</p>
<p><b>Ізостатичні моделі</b></p>		–	<p><b>Модель Дж. Ейрі.</b> Основою цієї моделі є припущення про сталу густину земної кори. Чим вищі гори, тим на більшу глибину повинна зануритися підшва (“корінь гори”) кристалічного фундаменту земної кори у мантію на глибину. Глибина занурення в декілька разів повинна перевищувати висоту гірського хребта над рівнем моря. Модель Ейрі відображає взаємозв’язок рельєфу земної поверхні і <i>маси</i> гірських порід, що є під нею</p>

Закон або фізична величина	Формула	СІ	Коротке пояснення
		–	<p><b>Модель Ф. Пратта.</b>  Підошва земної кори у цій моделі є плоскою, а компенсація підняття рельєфу відбувається завдяки різним густинам блоків земної кори. Тому густина у блоках низовин, западин повинна бути більша, ніж у блоках, що формують гірські хребти. Модель Пратта демонструє залежність форм рельєфу земної кори від <b>густини</b> гірських порід</p>
Рівень занурення багатшарових структур	$T = \sum_{i=1}^N h_i \left( 1 - \frac{\rho_i}{\rho_c} \right)$ 	м	Багатшарові структури складаються з декількох шарів ( $i = 1, 2 \dots N$ ), кожен з яких має свою висоту $\{h_i\}_{i=1}^N$ та властиву йому густину $\{\rho_i\}_{i=1}^N$
“Корінь” гори	$\Delta h = H_{\Gamma} \frac{\rho_{\kappa}}{\rho_c - \rho_{\kappa}}$ 	м	$H_{\Gamma}$ – висота гори; $\rho_{\kappa}$ – густина кори; $\rho_c$ – густина середовища

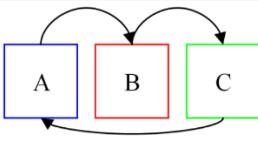
Закон або фізична величина	Формула	СІ	Коротке пояснення
Закон Стокса (формула “шести піруетів”)	$F_d = 6\pi R\eta v_s$ 	Н	Закон, що відображає рівновагу кульки (камінчик, кулясті уламки) у вертикальному потоці рідини та в полі сили тяжіння: сила опору, з якою стикається тверда кулька, радіусом $R$ під час повільного рівномірного поступального руху із швидкістю $v_s$ (швидкість осадження частинок) у необмеженому в'язкому середовищі з коефіцієнтом динамічної в'язкості $\eta$ (або в ламінарному потоці рідини) (на рисунку сила Стокса $F_d$ зрівноважена з силою тяжіння $F_m$ ).
Швидкість осадження частинок у рідині	$v_s = \frac{2(\rho_{\text{т.}} - \rho_{\text{р.}})}{9} \frac{gR^3}{\eta}$	м/с	У випадку коли сила тяжіння $F_m$ зрівноважена з силою Стокса $F_d$ , яка діє на кульку з боку потоку
Рівняння Бернуллі	$p + \rho gh + \frac{\rho v^2}{2} = p'$ $p' = \text{const}$	Па	Сума статичного тиску $p$ , гідростатичного тиску $\rho gh$ і динамічного (швидкісного) тиску $\rho v^2/2$ є сталою вздовж усієї стаціонарної течії ідеальної рідини або газу
Формула Торічеллі	$v = \sqrt{2gh}$	м/с	Швидкість витікання рідини з малого отвору посудини, що перебуває на висоті $h$
Рух молекул газу	$\bar{v}_c = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}}$	м/с	Середня арифметична швидкість руху молекул газу

<i>Закон або фізична величина</i>	<i>Формула</i>	<i>СІ</i>	<i>Коротке пояснення</i>
	$\bar{v}_{\text{кв}} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}}$ $\bar{v}_{\text{кв}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$	м/с	Середня квадратична швидкість руху молекул газу
	$\bar{E} = \frac{3}{2} kT$	Дж	Середня кінетична енергія поступального руху молекул
	$p = \frac{\rho \bar{v}_{\text{кв}}^2}{3}$	Па	Тиск ідеального газу
<b>Рівняння Больцмана</b>	$p = nkT$	Па	Для тиску ідеального газу ( $n$ – концентрація молекул газу; $k$ – стала Больцмана)
<b>Рівняння стану ідеального газу для довільної маси (Менделєєва–Клапейрона)</b>	$pV = \frac{m}{M} RT$	–	Взаємозв'язок між трьома параметрами (тиск, об'єм, температура), що характеризують стан ідеального газу
	$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_1}$	–	Для двох станів ідеального газу (при $m = \text{const}$ )
<b>Газові закони</b>	$p_1 V_1 = p_2 V_2$ $T = \text{const}$	–	<i>Закон Бойля–Маріотта (ізотермічний процес)</i>
	$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}$ $p = \text{const}$	–	<i>Закон Гей–Люссака (ізобарний процес)</i>
	$\frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2}$ $V = \text{const}$	–	<i>Закон Шарля (ізохорний процес)</i>

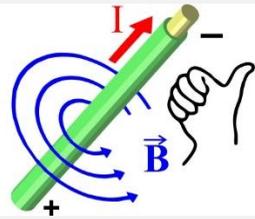
<i>Закон або фізична величина</i>	<i>Формула</i>	<i>СІ</i>	<i>Коротке пояснення</i>
<b>Коефіцієнт поверхневого натягу</b>	$\sigma = \frac{\vec{F}}{l}$	Н/м	На кожний відрізок довжини $l$ поверхні рідини діє сила $\vec{F}$ , що перпендикулярна до цього відрізка і напрямлена вздовж дотичної до поверхні рідини. Співвідношення $\vec{F}/l$ – величина стала для певної рідини за певних умов
<b>Закон Дальтона</b>	$p = p_1 + p_2 + p_n$ $p = \sum_{i=1}^k p_i$	Па	Тиск суміші газів $p$ дорівнює сумі парціальних тисків, з яких складається суміш
<b>Теплове лінійне розширення</b>	$l = l_0(1 - \alpha\Delta t)$	м	Збільшення лінійних розмірів тіл під час підвищення їхньої температури (коефіцієнт теплового лінійного розширення тіл у заданому інтервалі температур $\alpha = \Delta l/l_0\Delta t$ ) (для твердих тіл)
<b>Теплове об'ємне розширення</b>	$V = V_0(1 - \beta\Delta t)$ $\beta \approx 3\alpha$	м <sup>3</sup>	Збільшення об'ємів тіл під час підвищення їхньої температури (для твердих тіл, рідин і газів)
<b>Залежність густини від температури</b>	$\rho = \frac{\rho_0}{1 + \beta\Delta t}$	кг/м <sup>3</sup>	Для однорідних твердих тіл, рідин і газів
<b>Питома теплоємність речовини, кількість теплоти</b>	$c = \frac{Q_{\text{нагр}}}{m\Delta t}$	$\frac{\text{Дж}}{^\circ\text{C}}$	$c$ – чисельно дорівнює кількості теплоти $Q$ , яку треба надати 1 кг речовини, щоб підвищити її температуру на $\Delta t$
	$Q_{\text{нагр}} = cm\Delta t$	Дж	
<b>Питома теплота згорання</b>	$q = \frac{Q}{m}$	$\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$	$q$ – відношення кількості теплоти $Q$ , що виділяється під час пов-

<b>Закон або фізична величина</b>	<b>Формула</b>	<b>СІ</b>	<b>Коротке пояснення</b>
<b>палива, кількість теплоти</b>	$Q = qm$	Дж	ного згоряння палива, до його маси
<b>Питома теплота пароутворення / конденсації, кількість теплоти</b>	$r = \frac{Q_{\text{пар}}}{m}$	$\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$	$r$ – кількість теплоти $Q$ , потрібна для перетворення рідини, масою ( $m$ ) 1 кг у пару за сталої температури ( $t = \text{const}$ )
	$Q_{\text{пар}} = rm$ $Q_{\text{кон}} = -rm$	Дж	
<b>Питома теплота плавлення, кількість теплоти</b>	$\lambda = \frac{Q_{\text{пл}}}{m}$	$\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$	$\lambda$ – кількість теплоти, що потрібна для повного перетворення 1 кг речовини з твердого кристалічного стану в рідкий за сталої температури ( $t = \text{const}$ )
	$Q_{\text{пл}} = \lambda m$	Дж	
<b>Співвідношення Майєра (для газів)</b>	$C_p - C_v = R$	–	Різницею молярної теплоємності речовини за сталою тиску $C_p$ і молярної теплоємності речовини за сталою об'єму $C_v$ (помітна для газів і незначна для твердих тіл та рідин) є молярна газова стала $R$
<b>Співвідношення Майєра (для твердих тіл)</b>	$\frac{C_p}{C_v} = \frac{K_s}{K_T}$	–	Термодинамічне рівняння
<b>Ізотермічна стисливість (термодинамічний коефіцієнт стиснення)</b>	$K_T = -\frac{1}{V} \left( \frac{dV}{dp} \right)_T$	–	Термодинамічна величина, що відображає відносну зміну об'єму системи в разі ізотермічного зниження її тиску на одиницю (за сталої температури)

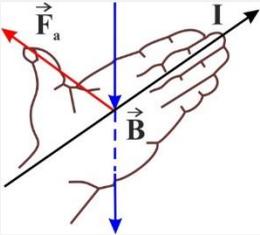
<i>Закон або фізична величина</i>	<i>Формула</i>	<i>СІ</i>	<i>Коротке пояснення</i>
<b>Адіабатична стисливість</b>	$K_S = -\frac{1}{V} \left( \frac{dV}{dp} \right)_S$	–	Термодинамічна величина, що характеризує відносне зменшення об'єму системи в разі адіабатичного зниження її тиску на одиницю (за сталої температури)
<b>Ентропія</b>	$\Delta S = \frac{\Delta Q}{T}$ $C_V = T \left( \frac{dS}{dT} \right)_V$ <i>(зв'язок між теплоємністю та ентропією)</i>	–	Термодинамічна фізична величина, що є мірою безладу в термодинамічній системі, і яка може бути використана для виконання роботи, оскільки пов'язана з незворотними процесами розсіювання ( $\Delta Q$ – загальна кількість теплоти, отриманої або втраченої термодинамічною системою, тобто це енергія, доступна для перетворення в теплоту за певного сталого тиску; $T$ – абсолютна температура)
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <p><i>Впорядкований стан</i></p>  <p><i>Ентропія низька</i></p> </div> <div style="text-align: center;"> <p><i>Невпорядкований стан</i></p>  <p><i>Ентропія висока</i></p> </div> </div>			
<b>Ентальпія (теплова функція)</b>	$H = U + pV$ $dH = Vdp + TdS$ <i>(зв'язок між ентальпією та ентропією)</i>	–	Термодинамічний потенціал, що характеризує стан термодинамічної системи в рівновазі в разі вибору незалежних змінних – тиску, ентропії і кількості частинок. ( $U$ – внутрішня енергія; $p$ – тиск; $T$ – температура). Ентальпію ви-

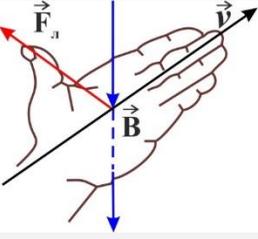
<b>Закон або фізична величина</b>	<b>Формула</b>	<b>СІ</b>	<b>Коротке пояснення</b>
			користуються для опису процесів, що відбуваються за сталого тиску (ізобарних процесів). Приріст ентальпії дорівнює переданій тілу теплоті $dQ = TdS$
<b>Нульовий закон термодинаміки</b>	$T(A) = T(C)$ $T(B) = T(C)$ $T(A) = T(B)$ 	–	Якщо дві системи перебувають у стані теплової рівноваги (за однакової температури) з третьою системою, то вони перебувають в стані теплової рівноваги між собою
<b>Перший закон термодинаміки</b>	$\Delta U = A + Q$	–	Закон збереження енергії, що використовується у разі теплових процесів, для ізольованої термодинамічної системи: зміна внутрішньої енергії закритої системи, що відбувається в рівноважному процесі під час переходу системи із одного стану в інший, дорівнює сумі роботи, виконаної над системою зовнішніми силами, і кількості теплоти, що була надана системі
<b>Другий закон термодинаміки</b>	$\Delta S > 0$ $\Delta S \geq \frac{\Delta Q}{T}$	–	Ентропія у самочинних процесах, що відбуваються в ізольованій системі, завжди зростає, тому напрям перебігу процесів у такій фізичній системі – від порядку до безладдя

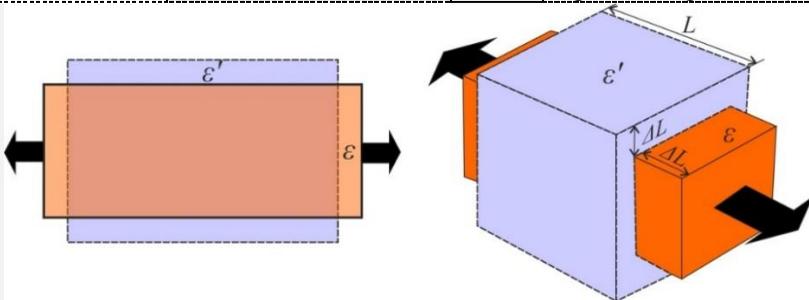
Закон або фізична величина	Формула	СІ	Коротке пояснення
Третій закон термодинаміки (теорема Нернста)	$S = k \ln W$	–	З наближенням до нуля температури ентропія має прямувати до нуля ( $k$ – стала Больцмана; $W$ – кількість можливих станів). Поряд з нею, до нуля прямують: теплоємність за сталого об'єму $C_v$ , та теплоємності за сталого тиску $C_p$
Сила Кулона	$F_k = k \frac{ q_1 q_2 }{r^2}$ <p>(у скалярній формі)</p> $\vec{F}_k = k \frac{\vec{q}_1 \vec{q}_2}{r^3} \vec{r}$ <p>(у векторній формі)</p> $k = \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0}$	Н	Сила взаємодії $\vec{F}_k$ двох нерухомих точкових електричних зарядів $q_1$ і $q_2$ прямо пропорційна до добутку модулів зарядів та обернено пропорційна до квадрата відстані $r$ між ними, і направлена вздовж прямої, що їх з'єднує, залежить від середовища, в якому вони містяться ( $\epsilon_0$ – електрична стала, $\epsilon$ – діелектрична проникність середовища)
Закон збереження електричного заряду	$q_1 + q_2 + q_n = \text{const}$	Кл	Один із фундаментальних законів: в ізольованій замкнутій фізичній системі тил повний заряд (алгебраїчна сума зарядів) є незмінним за будь-яких процесів, що відбуваються всередині цієї системи

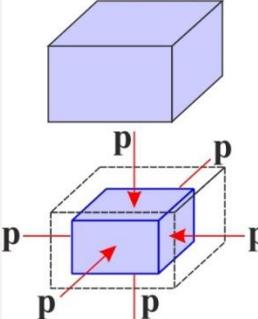
Закон або фізична величина	Формула	СІ	Коротке пояснення
Напруженість електричного поля	$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$ $E = k \frac{ q }{r^2}$	Н/Кл	Сила, з якою поле діє на одиничний позитивний заряд, що міститься в цій точці поля, і збігається з напрямом вектора цієї сили
Потенціальна енергія взаємодії двох точкових зарядів	$W = k \frac{q_1 q_2}{r}$	Н	
Густина електричного струму	$\vec{j} = \sigma \cdot \vec{E}$	А/м <sup>2</sup>	Визначає величину заряду, що протікає через одиницю площі за одиницю часу ( $\sigma$ – питома електропровідність середовища)
Електрична індукція	$D = \epsilon_0 E$ $\epsilon_0 = \frac{1}{\mu_0 c^2}$	Кл/м <sup>2</sup>	Кількісна характеристика електричного поля ( $\epsilon_0$ – діелектрична стала середовища)
Магнітна індукція	$B = \mu_0 H$ 	Тл	Основна силова характеристика величини і напрямку магнітного поля ( $\mu_0$ – магнітна стала). Вектор магнітної індукції завжди напрямлений так, як орієнтована магнітна стрілка в магнітному полі, його визначають за правилом свердлика
Система рівнянь Максвелла (диференціальна форма)	$\text{rot } \vec{E} = - \frac{d\vec{B}}{dt}$ $\text{rot } \vec{H} = \vec{j} + \frac{d\vec{D}}{dt}$ $\text{div } \vec{D} = \rho$ $\text{div } \vec{B} = 0$	–	Основні рівняння класичної електродинаміки, що узагальнюють основні закони електричних та магнітних явищ ( $E$ – напру-

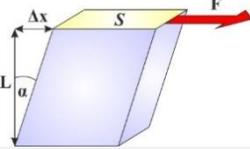
<i>Закон або фізична величина</i>	<i>Формула</i>	<i>СІ</i>	<i>Коротке пояснення</i>
	$\operatorname{rot} \vec{E} = -\frac{1}{c} \frac{d\vec{B}}{dt}$ $\operatorname{rot} \vec{B} = \frac{1}{c} \frac{d\vec{E}}{dt} + \frac{4\pi}{c} \vec{j}$ $\operatorname{div} \vec{D} = 4\pi\rho$ $\operatorname{div} \vec{B} = 0$	–	женість електричного поля; $H$ – напруженість магнітного поля; $D$ – електрична індукція; $B$ – магнітна індукція; $\rho$ – густина вільних зарядів; $j$ – густина електричного струму)
<b>Перше рівняння Максвелла</b>	$\nabla \times \vec{E} = -\frac{d\vec{B}}{dt}$	–	<i>Закон Фарадея.</i> Вихрове електричне поле виникає в разі зміни у часі магнітного поля та призводить до появи електрорушійної сили ( $\nabla \times$ – оператор ротора).
<b>Друге рівняння Максвелла</b>	$\nabla \times \vec{B} = \mu_0 \left( \vec{j} + \epsilon_0 \frac{d\vec{E}}{dt} \right)$	–	<i>Закон Ампера.</i> Електричний струм і змінне електричне поле створюють магнітне поле ( $\nabla \times$ – оператор ротора)
<b>Третє рівняння Максвелла</b>	$\nabla \cdot \vec{D} = \rho$	–	<i>Теорема Гауса для електричного поля.</i> Джерелом електричного поля є вільні електричні заряди ( $\nabla \cdot$ – оператор дивергенції)
<b>Четверте рівняння Максвелла</b>	$\nabla \cdot \vec{B} = 0$	–	<i>Теорема Гауса для магнітного поля.</i> Крім зарядів не існує інших джерел магнітного поля, силові лінії магнітного поля замкнені ( $\nabla \cdot$ – оператор дивергенції).
<b>Рівняння Пуассона</b>	$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\rho q}{\epsilon_0}$	–	Навколо електричних зарядів існує електричне поле

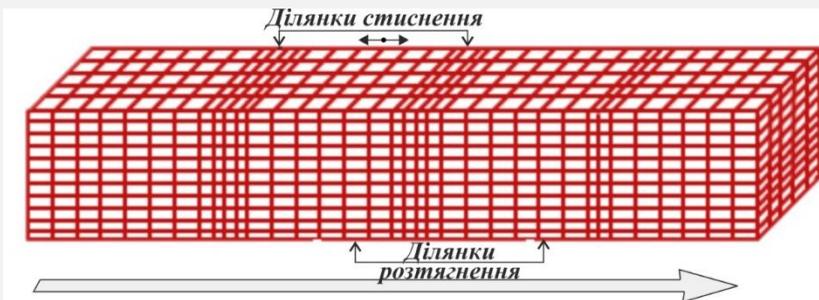
Закон або фізична величина	Формула	СІ	Коротке пояснення
Закон Джоуля-Ленца	$Q = I^2 R \Delta t$	Дж	Кількість теплоти $Q$ , що виділяється в провіднику зі струмом, прямо пропорційна до сили струму $I$ , напруги $U$ на ньому та часу $t$ протікання струму
Питомий опір порід	$\rho = \frac{RS}{l}$	Ом·м	Опір $1 \text{ м}^3$ речовини за умови, що струм пропускають перпендикулярно до його грані ( $R$ – опір, Ом; $S$ – поперечний переріз, $\text{м}^2$ ; $l$ – довжина, м)
Закон Ампера	$\vec{F}_a = \vec{B}  I  \Delta l \sin \alpha$ 	Дж	<p><b>Сила Ампера <math>\vec{F}_a</math>:</b> сила, що діє на провідник довжиною <math>l</math> зі струмом <math>I</math>, який перебуває в однорідному магнітному полі з індукцією <math>\vec{B}</math></p> <p><b>Напрямок сили Ампера:</b> за правилом лівої руки – якщо <math>\vec{B}</math> напрямлена в долоню, а чотири випрямлені пальці – за напрямом струму <math>I</math> у провіднику, то відігнутий під прямим кутом великий палець вказує на напрям дії сили <math>\vec{F}_a</math>, прикладеної до цього провідника</p>
Сила Лоренца	$\vec{F}_л =  q  \vec{B} \vec{v} \sin \alpha$	Кл	Сила $\vec{F}_л$ , яка діє на будь-яку заряджену частинку, що рухається зі швидкістю $\vec{v}$ в магнітному полі з магнітною індукцією $\vec{B}$ ( $\alpha$ – кут між $\vec{B}$ і $\vec{v}$ )

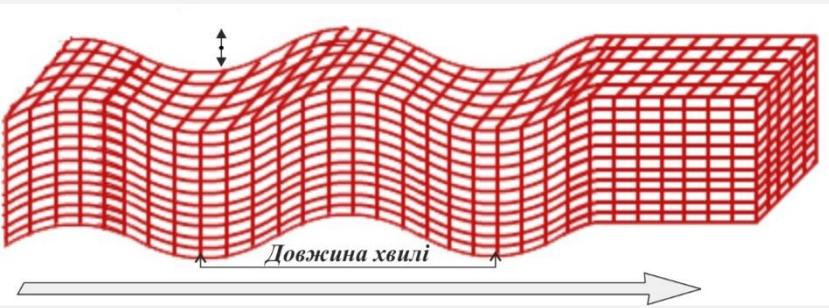
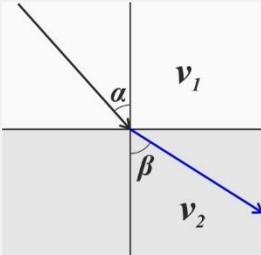
Закон або фізична величина	Формула	СІ	Коротке пояснення
			<p>Напрямок сили Лоренца (для позитивно зарядженої частинки): визначається за правилом лівої руки – якщо <math>\vec{B}</math> напрямлена в долоню, а чотири випрямлені пальці – за напрямом <math>\vec{v}</math>, то відігнутий під прямим кутом великий палець вказує на напрямок дії сили Лоренца <math>\vec{F}_L</math></p>
Потік магнітної індукції	$\Phi = BScos\alpha$	Вб	<p>Магнітний потік проходить через поперечний переріз провідника, що має електричний заряд (у кулонах), у електричному колі, що має опір (у омах) (<math>\alpha</math> – кут між напрямком магнітного поля та нормаллю до поверхні)</p>
Коефіцієнт Пуассона (Коефіцієнт відносних поперечних деформацій)	$\sigma_{\pi} = -\frac{\varepsilon'}{\varepsilon}$	–	<p>Фізична величина, що вказує у скільки разів (за розтягнення) деформація у поперечному напрямі <math>\varepsilon'</math> перевищує деформацію в поздовжньому напрямі <math>\varepsilon</math>, і залежить від властивостей твердих тіл (мінералів, гірських порід тощо)</p>

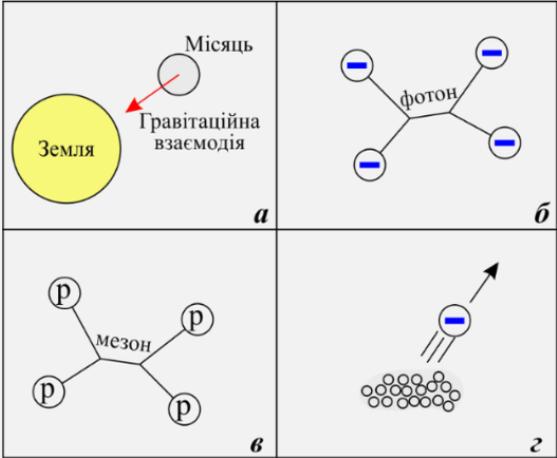


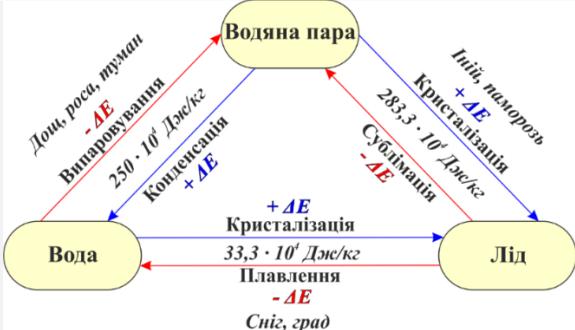
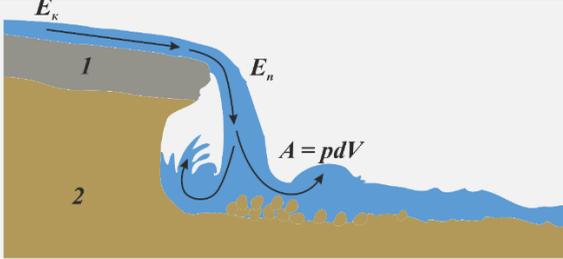
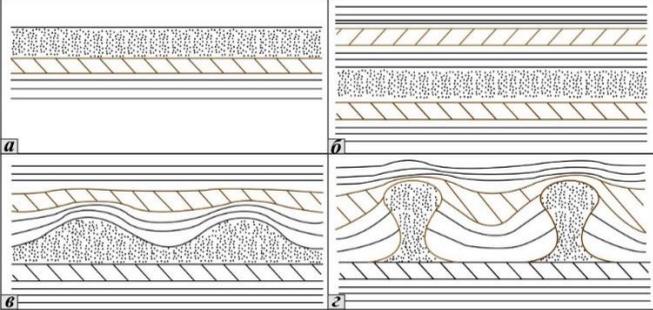
Закон або фізична величина	Формула	СІ	Коротке пояснення
<b>Об'ємний модуль пружності (модуль всебічного стиснення)</b>	$K = -V \frac{dp}{dV}$ $K = \frac{E}{3(1 - k_p)}$ 	Па	<p>Характеризує пружні властивості – здатність твердих тіл чинити опір зміні об'єму, тобто визначає напруження, необхідне для того, щоб стиснути тверде тіло (мінерал, гірську породу) до меншого (зменшити у два рази) об'єму. Для гірських порід найчастіше вимірюють у мегапаскалях. Величину, обернену до модуля об'ємної пружності, називають коефіцієнтом об'ємного стиснення</p>
<b>Формула Ньютона-Лапласа</b>	$c = \sqrt{\frac{K}{\rho}}$	м/с	<p>Для рідин швидкість звуку можна визначити через об'ємний модуль пружності <math>K</math> та їхню густину <math>\rho</math></p>
<b>Модуль Юнга (модуль поздовжньої пружності першого роду; модуль пружності під час розтягу)</b>	$E = \frac{FL}{S\Delta L} = \frac{\sigma}{\varepsilon}$ $E = 2\mu(1 + k_p)$ $E = 3K(1 - 2k_p)$	Па (або ГПа)	<p>Фізична величина, що характеризує властивості матеріалу чинити опір розтягненню / стисненню в разі пружної деформації (<math>F</math> – осьова сила; <math>S</math> – площа поверхні / перерізу, до якої прикладена дія сили; <math>L</math> – довжина тіла; <math>\Delta L</math> – модуль зміни довжини тіла внаслідок пружної деформації). Відношення нормального механічного напруження <math>\sigma</math> до відносного видовження твердого тіла <math>\varepsilon</math></p>

Закон або фізична величина	Формула	СІ	Коротке пояснення
<b>Модуль зсуву (модуль пружності другого роду)</b>	$\mu = \frac{FL}{S\Delta x}$ $\mu = \frac{E}{2(1 + k_p)}$ 	Па (або ГПа)	Фізична величина, що характеризує пружні властивості в разі деформації зсуву, яка спричинює зміну форми тіла ( $F$ – зсувне зусилля; $S$ – площа зсуву під впливом зусилля; $L$ – початкова довжина тіла; $\Delta x$ – зміщення). Модуль зсуву для гірських порід найчастіше вимірюють у гігапаскалях
<b>Швидкість об'ємних Р-хвиль</b>	$\bar{v}_p = \sqrt{\frac{K + \frac{4}{3}\mu}{\rho}}$	км/с	Швидкість хвиль збільшується зі збільшенням $\mu$ та зі зменшенням густини гірської породи (пружні константи: $K$ – об'ємний модуль пружності (модуль усебічного стиснення); $\mu$ – модуль зсуву (модуль пружності другого роду), що характеризує ступінь деформації одиниці об'єму породи під дією дотичних сил; $\rho$ – густина гірської породи)



Закон або фізична величина	Формула	СІ	Коротке пояснення
Швидкість об'ємних S-поперечних хвиль	$\bar{v}_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}$	км/с	Об'ємні поперечні сейсмічні хвилі не проходять у рідкому середовищі, оскільки у рідин модуль зсуву $\mu = 0$
			
Заломлення хвиль (закон Снелліуса)	$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_1}{v_2}$ 	-	Закон справджується головню для поширення поздовжніх Р-хвиль в шаруватому середовищі ( $\alpha$ – кут падіння в верхньому шарі; $\beta$ – кут між нормаллю і променем заломленої хвилі в нижньому шарі; швидкість поширення пружних коливань, відповідно в верхньому ( $v_1$ ) та нижньому ( $v_2$ ) шарах
Сейсмічний параметр	$\Phi = \bar{v}_p^2 - \frac{4}{3} \bar{v}_s^2$ $\Phi = \frac{K}{\rho} = \frac{\Delta p}{\Delta \rho}$	м/с	
Рівняння Вільямсона – Адамса	$\Delta \rho = \frac{\rho g}{\Phi} \Delta l$	кг/м <sup>3</sup>	Визначення густини всередині планети

Закон або фізична величина	Формула	СІ	Коротке пояснення
Формула Ейнштейна	$E = mc^2$	Дж	Формула відображає співвідношення між енергією (випромінювання, поля тощо) та масою тіла ( $c$ – швидкість світла у вакуумі): <i>будь-якій масі (або будь-якій її зміні) відповідає енергія (або її зміна), і навпаки</i>
Фундаментальні взаємодії	 <p>Основні типи фундаментальних взаємодій у природі (а – гравітаційні взаємодії; б – електромагнітні взаємодії; в – сильні; г – слабкі)</p>		
Основні джерела енергії			

Закон або фізична величина	Формула	СІ	Коротке пояснення
<p>“Трикутник води”</p>	 <p>Фазові переходи води зі значеннями теплоти, необхідної для переходу з одного стану в інший (від’ємне значення <math>\Delta E</math> означає поглинання енергії з середовища, а додатне значення <math>\Delta E</math> – виділення енергії в середовище), та ймовірні атмосферні опади</p>		
<p>Механізм утворення водоспаду</p>	 <p>Гірські породи: 1 – сильно- та 2 – слабозцементовані</p>		
<p>Механізм утворення соляного діпіру</p>	 <p>Формування соляних куполів завдяки гравітаційній нестійкості соляного шару малої потужності, що розташований під важчими осадовими породами:  <i>a</i> – осадження і формування соляного шару;  <i>б</i> – формування осадових шарів над соляними;  <i>в</i> – розвиток нестійкості соляного шару;  <i>г</i> – формування соляних штоків</p>		

## 2. Величини, які характеризують фізичні та механічні властивості порід у геодинамічних розрахунках

Таблиця 2

Властивість	Фізична величина	Позначення	Одиниця вимірювання		
			СІ	СГС	Позасистемна
<b><i>I Структурно-ємнісі, сорбційні і поверхневі</i></b>					
<b><i>Гранулярність (зернистість)</i></b>	Гранулярний склад – вміст гранул (зерен) ефективного $i$ -того діаметра ( <i>питомий масовий</i> )	$C_z d_i$	-	-	-
	Вміст гранул $i$ -того діаметра ( <i>питомий об'ємний</i> )	$K_z d_i$	-	-	-
	Середній діаметр зерен	$d_{n\text{cp}}$	м	см	-
	Ефективний діаметр зерен	$d_{\text{еф}}$	м	см	-
<b><i>Пористість</i></b>	Коефіцієнт загальної пористості	$k_n$	-	-	-
	Коефіцієнт відкритої пористості	$k_{n.\text{в.}}$	-	-	-
	Коефіцієнт закритої пористості	$k_{n.\text{з.}}$	-	-	-
	Коефіцієнт ефективною статичної пористості	$k_{n.\text{ст.}}$	-	-	-
	Коефіцієнт ефективною динамічної пористості	$k_{n.\text{д.}}$	-	-	-
	Коефіцієнт приведеної пористості	$k_{n\text{прив}}$	-	-	-

Властивість	Фізична величина	Позначення	Одиниця вимірювання		
			СІ	СГС	Позасистемна
Пористість	Поровий склад – вміст пор ефективного $i$ -того діаметра (питомий масовий)	$C_{пор}d_i$	$\frac{M^3}{кг}$	см <sup>3</sup> /Г	-
	Поровий склад – вміст пор ефективного $i$ -того діаметра, (питомий об'ємний)	$K_{пор}d_i$	-	-	-
	Середній діаметр пор	$d_{n\text{ ср}}$	м	см	-
	Поверхня пор зовнішня, питома масова	$S_m$	$\frac{M^2}{Г}$	см <sup>2</sup> /Г	м <sup>2</sup> /Г
	Поверхня пор зовнішня, питома об'ємна	$S_v$	$\frac{M^2}{M^3}$	см <sup>2</sup> /с м <sup>3</sup>	-
	Поверхня пор повна, питома масова	$S'_m$	$\frac{M^2}{кг}$	см <sup>2</sup> /Г	м <sup>2</sup> /Г
	Поверхня пор повна, питома об'ємна	$S'_v$	$\frac{M^2}{M^3}$	см <sup>2</sup> /с м <sup>3</sup>	-
Вологість	Вологість гігроскопічна максимальна, питома масова	$W_{z\text{ max}}$	-	-	-
	Вологість гігроскопічна максимальна, питома об'ємна	$W_{z\text{ max}}$	-	-	-
	Вологість підвищена максимальна, питома масова	$W_{nid\text{ m}}$	-	-	-

<i>Властивість</i>	<i>Фізична величина</i>	<i>Позначення</i>	<i>Одиниця вимірювання</i>		
			<i>СІ</i>	<i>СГС</i>	<i>Позасистемна</i>
<i>Вологість</i>	Вологість підвишена максимальна, питома об'ємна	$W_{nid\ v}$	-	-	-
	Вологість капілярна, питома масова	$W_{k\ m}$	-	-	-
	Вологість капілярна, питома об'ємна	$W_{k\ v}$	-	-	-
	Вологість повна, питома масова	$W_{n\ m}$	-	-	-
	Вологість повна, питома об'ємна	$W_{n\ v}$	-	-	-
<i>Водо-, нафтогазонасиченість</i>	Коефіцієнт водонасиченості	$k_{\text{в}}$	-	-	-
	Коефіцієнт нафтонасиченості	$k_{\text{н}}$	-	-	-
	Коефіцієнт газонасиченості	$k_{\text{г}}$	-	-	-
<i>Змочуваність</i>	Косинус крайового кута змочуваності	$\cos \vartheta$	-	-	-
<i>Капілярність</i>	Капілярний тиск	$p_{\text{к}}$	$\frac{\text{Н}}{\text{м}^2}$	$\frac{\text{дин}}{\text{см}^2}$	мм рт.ст.
<i>Обмінна здатність</i>	Ємність обмінна питома масова	$Q_{100}$	-	-	-
	Ємність обміна питома об'ємна	$Q$	-	-	-
	Ємність обміна приведена	$q$	-	-	-
<i>Поляризаційність фазова</i>	Дзета-потенціал	$\zeta$	В	-	-

Властивість	Фізична величина	Позначення	Одиниця вимірювання		
			СІ	СГС	Позасистемна
Поверхнева провідність	Поверхнева провідність питома	$\sigma_{cp}$	м·с	-	-
<b>II Гравітаційні</b>					
Густина	Густина твердої фази	$\rho_T$	$\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	г/см <sup>3</sup>	-
	Густина рідкої фази	$\rho_P$	$\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	г/см <sup>3</sup>	-
	Густина газової фази	$\rho_G$	$\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	г/см <sup>3</sup>	-
	Густина породи	$\rho_n$	$\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	г/см <sup>3</sup>	-
<b>III Фільтраційні</b>					
Проникність абсолютна	Коефіцієнт абсолютної проникності	$k_{np}$	м <sup>2</sup>	см <sup>2</sup>	Д
Проникність ефективна	Коефіцієнт ефективної проникності за газом	$k_{np.g}$	м <sup>2</sup>	см <sup>2</sup>	Д
	Коефіцієнт ефективної проникності за нафтою	$k_{np.n}$	м <sup>2</sup>	см <sup>2</sup>	Д
Фільтрувальна здатність	Коефіцієнт фільтрації	$K_\phi$	м/с	см/с	м/доб м/г м/хв
<b>IV Електричні</b>					
Електропровідність	Електрична провідність, питома	$\sigma$	см/с	-	-
Електричний опір	Електричний опір, питомий	$\rho$	Ом·м	-	-
Дифузійно-адсорбційна активність	Дифузійно-адсорбційна активність	$A_{da}$	В	-	-
Окисно-відновна активність	Окисно-відновна активність	$A_{ov}$	В	-	-

Властивість	Фізична величина	Позначення	Одиниця вимірювання		
			СІ	СГС	Позасистемна
Поляризаційність	Викликана електрохімічна активність	$A_e$	-	-	-
	Діелектрична проникність	$\varepsilon$	-	-	-
<b>V Теплові</b>					
Теплопровідність	Коефіцієнт теплопровідності	$\lambda$	$\frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot^\circ\text{C}}$	$\frac{\text{єрг}}{\text{см}\cdot\text{с}\cdot^\circ\text{C}}$	$\frac{\text{кал}}{\text{с}\cdot\text{см}\cdot\text{Г}\cdot^\circ\text{C}}$
Тепловий опір	Тепловий опір	$\xi$	$\frac{\text{м}\cdot\text{Г}\cdot^\circ\text{C}}{\text{Вт}}$	$\frac{\text{см}\cdot\text{с}\cdot^\circ\text{C}}{\text{єрг}}$	$\frac{\text{м}\cdot\text{Г}\cdot^\circ\text{C}}{\text{ккал}}$
Теплоємність	Теплоємність питома масова	$C_m$	$\frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{Г}\cdot^\circ\text{C}}$	$\frac{\text{єрг}}{\text{Г}\cdot^\circ\text{C}}$	$\frac{\text{кал}}{\text{Г}\cdot^\circ\text{C}}$
	Теплоємність питома об'ємна	$C_v$	$\frac{\text{Дж}}{\text{м}^3\cdot\text{Г}\cdot^\circ\text{C}}$	$\frac{\text{єрг}}{\text{см}^3\cdot\text{Г}\cdot^\circ\text{C}}$	$\frac{\text{кал}}{\text{см}^3\cdot\text{Г}\cdot^\circ\text{C}}$
Температуропровідність	Коефіцієнт температуропровідності	$a$	$\frac{\text{м}^2}{\text{с}}$	$\text{см}^2/\text{с}$	$\text{м}^2/\text{Г}$
<b>VI Магнітні</b>					
Магнітна сприйнятливості	Магнітна сприйнятливості, питома масова	$\chi$	$\frac{\text{м}^3}{\text{кг}}$	$\text{см}^3/\text{Г}$	-
	Магнітна сприйнятливості, питома об'ємна	$\chi$	-	-	-
Залишкова намагнетованість ізотермічна	Залишкова ізотермічна намагнетованість, питома масова	$J_{rm}$	$\frac{\text{Ам}^2}{\text{кг}}$	-	$\text{Гс}\cdot\text{см}^3/\text{Г}$
	Залишкова ізотермічна намагнетованість, питома об'ємна	$J_{rv}$	$\text{Ам}$	-	$\text{Гс}$

Властивість	Фізична величина	Позначення	Одиниця вимірювання		
			СІ	СГС	Позасистемна
Залишкова намагнетованість природна	Залишкова природна намагнетованість, питома масова	$J_{nm}$	$\frac{\text{Ам}^2}{\text{кг}}$	-	Гс·см <sup>3</sup> /г
	Залишкова природна намагнетованість, питома об'ємна	$J_{nv}$	$\frac{\text{А}}{\text{м}}$	-	Гс
Точка Кюрі	Точка Кюрі	$\theta$	К	°С	-
<b>VII Ядерні</b>					
Радіоактивність	Радіоактивність питома масова	$q_m$	-	-	$\frac{\text{мг}\cdot\text{екв}\cdot\text{Ра}}{\text{г}}$
	Радіоактивність питома об'ємна	$q_v$	-	-	$\frac{\text{мг}\cdot\text{екв}\cdot\text{Ра}}{\text{см}^3}$
	Гамма-активність питома масова	$q_\gamma$	-	-	$\frac{\text{мг}\cdot\text{екв}\cdot\text{Ра}}{\text{г}}$
	Гамма-активність питома об'ємна	$K_\gamma$	-	-	$\frac{\text{мг}\cdot\text{екв}\cdot\text{Ра}}{\text{см}^3}$
	Альфа-активність питома масова	$\alpha_m$	-	-	$\frac{\text{мг}\cdot\text{екв}\cdot\text{Ра}}{\text{г}}$
	Альфа-активність питома об'ємна	$\alpha_v$	-	-	мг·екв·Ра/г
	Бета-активність питома масова	$\beta_m$	-	-	мг·екв·Ра/г
	Бета-активність питома об'ємна	$\beta_v$	-	-	$\frac{\text{мг}\cdot\text{екв}\cdot\text{Ра}}{\text{см}^3}$
<b>VIII Пружні</b>					
Пружність	Модуль поздовжньої пружності (модуль Юнга)	$E$	$\frac{\text{Н}}{\text{м}^2}$	$\frac{\text{дин}}{\text{см}^2}$	кг/см <sup>2</sup>
	Коефіцієнт Пуассона	$\sigma_n$	-	-	-

Властивість	Фізична величина	Позначення	Одиниця вимірювання		
			СІ	СГС	Позасистемна
	Модуль усебічного стиску	$K$	$\frac{H}{M^2}$	дин/с $M^2$	кг/см <sup>2</sup>
	Швидкість поширення поздовжніх пружних хвиль	$V_P$	м/с	см/с	-
	Швидкість поширення поперечних хвиль	$V_S$	м/с	см/с	-
	Коефіцієнт поглинання поздовжніх пружних хвиль	$\alpha_P$	1/м	1/см	-
	Коефіцієнт поглинання поперечних пружних хвиль	$\alpha_S$	1/м	1/см	-
<b>IX Міцнісні</b>					
Міцність на однобічний стиск	Межа міцності на однобічний стиск	$p_{cm1}$	$\frac{H}{M^2}$	$\frac{дин}{см^2}$	кгс/см <sup>2</sup>
	Межа міцності на всебічний стиск	$p_{cm3}$	$\frac{H}{M^2}$	$\frac{дин}{см^2}$	кгс/см <sup>2</sup>
Міцність на згин	Межа міцності на згин	$p_{згин}$	$\frac{H}{M^2}$	$\frac{дин}{см^2}$	кгс/см <sup>2</sup>
Міцність на зсув	Межа міцності на зсув	$p_{зсув}$	$\frac{H}{M^2}$	$\frac{дин}{см^2}$	кгс/см <sup>2</sup>
<b>X Пластичні</b>					
Пластичність	Коефіцієнт пластичності	$K_{пл.}$	-	-	-
	Число пластичності	$\Phi$	-	-	-

### 3. Петрофізичні властивості гірських порід

Оскільки петрофізика, як наука про фізичні властивості гірських порід, закономірності їхніх змін та взаємозв'язок між собою та з фізичними полями Землі, є фундаментом усіх геофізичних методів, то нижче наведені основні петрофізичні параметри, які використовуються для характеристик порід.

Таблиця 3.

<i>Коротка характеристика властивості</i>	<i>Основні параметри, позначення та формула</i>	<i>Одиниці вимірювання</i>
<b>1. Загальна пористість</b>		
Сукупність всіх пор порід	Коефіцієнт загальної пористості $k_n$ – відношення об'єму всіх пор $V_{пор}$ породи до її об'єму $V_c$ : $k_n = \frac{V_{пор}}{V_c} = \frac{\Delta_T - \Delta_C}{\Delta_T}$	У частках одиниці або відсотках
<b>2. Приведена пористість</b>		
Сукупність усіх пор, що належать до одиниці об'єму твердої фази порід	Коефіцієнт приведеної пористості $k_{н.прив.}$ – відношення об'єму всіх пор $V_{пор}$ породи до об'єму її твердої фази $V_T$ : $k_{н.прив.} = \frac{V_{пор}}{V_T} = \frac{\Delta_T - \Delta_{ск}}{\Delta_{ск}}$	У частках одиниці або відсотках
<b>3. Відкрита пористість</b>		
Сукупність сполучених між собою й атмосферою пор породи	Коефіцієнт відкритої пористості $k_{н.в.}$ – відношення об'єму сполучених між собою й атмосферою пор $V_{пор}$ до об'єму скелета породи $V_c$ : $k_{н.в.} = \frac{V_{пор}}{V_c}$	У частках одиниці або відсотках
<b>4. Ефективна пористість</b>		
Частина порового об'єму породи, максимально насиченої однорідною рідиною, у породі, по якій рухається однофазова рідина за визначеного руху	Коефіцієнт ефективної пористості $k_{н.еф.}$ – відношення об'єму порового простору породи $V_{поров.пр.}$ , по якому рухається з визначеним рухом однофазна рідина в породі, яка максимально насичена однорідною рідиною, до об'єму скелета породи $V_c$ : $k_{н.еф.} = \frac{V_{поров.пр.}}{V_c}$	У частках одиниці або відсотках

<i>Коротка характеристика властивості</i>	<i>Основні параметри, позначення та формула</i>	<i>Одиниці вимірювання</i>
<b>5. Максимальна гігроскопічність</b>		
Здатність порід поглинати воду в кількості, яка відповідає максимальній гігроскопічній вологості. Характеризується складом і структурою порід	Коефіцієнт гігроскопічної вологості $W_{зк}$ – відношення ваги $P_в$ води (у грамах або міліграмах), адсорбованої породою в ексикаторі у 10 % розчині $H_2SO_4$ при $t = 20^\circ C$ і тиску 400 мм рт. ст., до ваги сухої породи $P_{сп}$ (у грамах): $W_{зк} = \frac{P_в}{P_{сп}}$	Безрозмірний параметр
<b>6. Капілярна вологість</b>		
Здатність порід поглинати воду в кількості, за якої заповнені всі пори, за винятком надкапілярних. Характеризують складом, структурою і умовами залягання порід	Ваговий $W_k$ і об'ємний $w_k$ коефіцієнти капілярної вологості – відношення ваги (або об'єму) води в поріді з повністю заповненими капілярними порами до ваги (або об'єму) породи	Безрозмірний параметр
<b>7. Повна або максимальна вологість</b>		
Здатність порід поглинати максимальну кількість води. Характеризують складом і структурою породи	1. Ваговий $W_n$ і об'ємний $w_n$ коефіцієнти повної вологості – відношення максимальної можливої ваги, або об'єму води в поріді, до ваги або об'єму породи $K_в$ . 2. Коефіцієнт водонасичення $k_w$ порового простору – відношення загального об'єму води в поріді до об'єму її пор.	Безрозмірний параметр
<b>8. Питома вага порід</b>		
Вага одиниці об'єму твердої фази породи	Питома вага порід $\Delta_T$ – відношення ваги $P_m$ твердої фази порід до її об'єму $V_T$ : $\Delta_T = \frac{P_m}{V_T}$	кг/м <sup>3</sup>
<b>9. Густина твердої фази порід</b>		
Маса одиниці об'єму твердої фази породи	Густина твердої фази порід $\rho_T$ – відношення маси твердої фази породи до її об'єму $V_T$ : $\rho_T = \frac{m_T}{V_T}$	кг/м <sup>3</sup>

<i>Коротка характеристика властивості</i>	<i>Основні параметри, позначення та формула</i>	<i>Одиниці вимірювання</i>
<b>10. Об'ємна вага</b>		
Вага одиниці об'єму породи з природною вологістю і структурою	Об'ємна вага $\Delta_{\Pi}$ – відношення ваги всіх фаз (твердої $P_T$ , рідкої $P_P$ і газоподібної $P_G$ ) до об'єму породи $V$ : $\Delta_{\Pi} = \frac{P_T + P_P + P_G}{V}$	кг/м <sup>3</sup>
<b>11. Густина</b>		
Маса одиниці об'єму породи з природною вологістю і структурою	Густина $\rho_{\Pi}$ – відношення маси всіх фаз (твердої $m_T$ , рідкої $m_P$ і газоподібної $m_G$ ) до об'єму породи $V$ : $\rho_{\Pi} = \frac{m_T + m_P + m_G}{V}$	кг/м <sup>3</sup>
<b>12. Об'ємна вага абсолютно сухої породи (уявно об'ємної ваги)</b>		
Вага твердої фази в одиниці об'єму абсолютно сухої породи	Об'ємна вага абсолютно сухої породи $\Delta_c$ – відношення ваги $P_T$ абсолютно сухої породи, у складі якої нема розчинних солей та нафти, до її об'єму $V_c$ у тому ж стані: $\Delta_c = \frac{P_T}{V_c}$	кг/м <sup>3</sup>
<b>13. Об'ємна вага скелета породи</b>		
Вага твердої фази в одиниці об'єму породи	Об'ємна вага скелета породи $\Delta_{ск}$ – відношення ваги $P_T$ твердої фази породи до об'єму породи $V$ : $\Delta_{ск} = \frac{P_T}{V}$	кг/м <sup>3</sup>
<b>14. Об'ємна густина</b>		
Маса твердої фази в одиниці об'єму породи	Об'ємна густина $\rho_{ск}$ – відношення маси твердої фази породи $m_T$ до об'єму породи $V$ : $\rho_{ск} = \frac{m_T}{V}$	кг/м <sup>3</sup>
<b>15. Абсолютна проникність (фізична)</b>		
Здатність максимально насиченої породи за наявності градієнта тиску пропускати “однорідну рідину”	$k_{пр}$ – коефіцієнт проникності, що є коефіцієнтом пропорційності у формулі: $v_{\Phi} = k_{пр} \frac{\Delta P / \Delta l}{\mu}$ , де $v_{\Phi}$ – швидкість фільтрації “однорідної маси”; $\Delta P / \Delta l$ – градієнт тиску, який сприяє фільтрації, $\mu$ – в'язкість “однорідної рідини” (газу, води, нафти тощо)	Поза-системними одиницями є дарсі і мілідарсі (0,001 darcs)

<i>Коротка характеристика властивості</i>	<i>Основні параметри, позначення та формула</i>	<i>Одиниці вимірювання</i>
<b>16. Ефективна проникність (фазова)</b>		
Здатність породи, насиченої неоднорідною рідиною (газ, вода, нафта-вода, газ-вода-нафта), проводити окремі фази неоднорідної рідини (газ, воду, або нафту)	$k_r, k_b, k_n$ – коефіцієнти фазової проникності для газу, води або нафти, відповідно. Коефіцієнт пропорційності в рівняннях: $v_{rф} = \frac{k_r \frac{\Delta P}{\Delta l}}{\mu_r}; v_{bф} = \frac{k_b \frac{\Delta P}{\Delta l}}{\mu_b};$ $v_{nф} = \frac{k_n \frac{\Delta P}{\Delta l}}{\mu_n},$ де $v_{rф}, v_{bф}, v_{nф}$ – швидкості фільтрації окремих фаз неоднорідної рідини породи; $\frac{\Delta P}{\Delta l}$ – градієнт тиску; $\mu_r, \mu_b$ і $\mu_n$ – в'язкість газу, води, нафти, відповідно	Позасистемними одиницями є дарсі і мілларсі (0,001 дарсі)
<b>17. Здатність породи до фільтрації</b>		
Здатність максимально вологих порід фільтрувати воду	Коефіцієнт фільтрації $k_f$ – коефіцієнт пропорційності у рівнянні: $v = k_f i = k_f \frac{\Delta h}{\Delta l}$ , де $i$ – гідравлічний схил, $\Delta h = h_1 - h_2$ – втрата тиску по довжині $\Delta l$ взірця; $k_f$ – швидкість фільтрації за гідравлічного схилу, що дорівнює одиниці	м/год
<b>18. Електропровідність і електричний опір</b>		
Здатність порід проводити струм, або перешкодити його поширенню	$\rho$ – електричний питомий опір	Ом · м
	$\sigma = \frac{1}{\rho}$ – питома електропровідність, або питома провідність	$(\text{Ом} \cdot \text{м})^{-1}$
<b>19. Іонно-адсорбційна здатність</b>		
Властивість вологої породи, насиченої електролітами, вибірково адсорбувати іони з утворенням подвійних електричних шарів на межі поділу фаз	Іонно-адсорбційну здатність мономінеральної породи, насиченої бінарним електролітом (Д.А. Шапіро), оцінюють параметрами $a_a$ і $a_k$ : $a_a = \frac{A_a S}{\omega_{\Pi}} = \frac{(1 - \mu_a)(1 + b_a \mu_a C)}{b_a \mu_a};$	z-аніонів/л

<i>Коротка характеристика властивості</i>	<i>Основні параметри, позначення та формула</i>	<i>Одиниці вимірювання</i>
	$a_k = \frac{A_k S}{\omega_{\Pi}} = \frac{(1 - \mu_k)(1 + b_k \mu_k C)}{b_k \mu_k}$ <p>де <math>A_a</math> і <math>A_k</math> – кількість аніонів і катіонів і адсорбованих одиниць з питомої поверхні породи за її максимального насичення аніонами та катіонами; <math>S</math> – питома поверхня породи; <math>\omega_{\Pi}</math> – повна об'ємна вологість породи; <math>\mu_a</math> і <math>\mu_k</math> – кількість рухливих аніонів і катіонів разом з іонами диффузного шару щодо всієї кількості аніонів і катіонів; <math>C</math> – молярна концентрація солі в електроліті породи, у тім числі іони нерухомого шару; <math>b_a</math> і <math>b_k</math> – коефіцієнти адсорбції аніонів і катіонів певним мінералом; <math>a_a</math> і <math>a_k</math> – кількість грам-аніонів і грам-катіонів, адсорбованих з одиниці об'єму розчину породи за повного насичення її поверхні цими іонами</p>	г-катіонів/л
<b>20. Дифузійно-адсорбційна активність породи</b>		
Властивість порід створювати дифузійно-адсорбційну різницю потенціалів на межі з електролітами	$A_{la}$ – дифузійно-адсорбційний коефіцієнт, що кількісно дорівнює різниці між дифузійно-адсорбційними потенціалами за десятикратних змін концентрацій $C_p$ розчину, який контактує з породою в ділянці прямолінійної залежності $U_{oa} = f(\lg C_p)$ у разі обчислення відповідних дифузійних потенціалів	мв
<b>21. Магнітні властивості порід</b>		
Здатність порід намагнічуватись і зберігати намагнічений стан після припинення дії поля	Об'ємна магнітна сприйнятливість $\chi$ – параметр пропорційності між інтенсивністю $J$ намагнічення породи і напруженням $H$ зовнішнього магнітного поля: $J = \chi H$	Безрозмірний параметр
	Питома магнітна сприйнятливість	

<i>Коротка характеристика властивості</i>	<i>Основні параметри, позначення та формула</i>	<i>Одиниці вимірювання</i>
	$\chi_{\Delta} = \frac{\chi}{\Delta c}$ , де $\Delta c$ – об’ємна вага сухої породи; $\chi_{\delta} = \frac{\chi}{\delta c}$ , де $\delta c$ – густина абсолютно сухої породи	У поза-системних одиницях у см <sup>3</sup> /г
	$I_r$ і $J_r$ – відповідно питома і об’ємна інтенсивності залишкової намагнетованості; характеризують ступінь намагнічення породи, що зберігається після зняття дії магнітного поля	$I_r$ у гс/г $J_r$ у гс/см <sup>3</sup>
	Коерцитивна сила $H_c$ – напруження розмагніченого поля, за якого кінцева намагніченість породи дорівнює нулю	Е (Ерстед)
<b>22. Радіоактивність природна</b>		
Властивість порід створювати радіоактивне випромінювання за наявності в породах радіоактивних елементів	Природна радіоактивність – кількість атомів, що розпадаються за одиницю часу в певній кількості породи. Питома радіоактивність породи – кількість атомів, що розпадаються за одиницю часу в 1 грамі породи. Природна питома гамма активність породи $\gamma$ – кількість гамма-квантів, що утворюються за одиницю часу (1 сек) в 1 кг породи. Питома альфа активність породи $\alpha$ – кількість альфа частинок, що утворюються за одиницю часу (1 сек) в 1 кг породи.	Бк (Бекерель)
<b>23. Властивість порід передавати пружні коливання</b>		
Здатність деформованих напружених порід у певній точці передавати деформований напружений стан сусіднім точкам	Швидкість поширення $V_p$ поздовжньої пружної хвилі відношення часу пробігу $t$ пружної хвилі уздовж зразка породи до його довжини $l$ : $V_p = l/t$ ; $V_p = \sqrt{\frac{E(1 - \sigma_n)}{\rho_n(1 + \sigma_n)(1 - 2\sigma_n)}}$	м/сек

<i>Коротка характеристика властивості</i>	<i>Основні параметри, позначення та формула</i>	<i>Одиниці вимірювання</i>
	<p>(для однорідної й ізотропної породи), де <math>E</math> – модуль Юнга; <math>\sigma_n</math> – коефіцієнт Пуассона; <math>\rho_n</math> – густина породи; <math>V_S</math> – швидкість поширення поперечної хвилі:</p> $V_S = \sqrt{\frac{E}{\rho_n} \frac{1}{2(1-\sigma_n)}} \text{ (для ізотропної породи)}$	
<b>24. Теплопровідність, тепловий опір</b>		
Здатність породи проводити тепло або перешкоджати його поширенню	<p>Коефіцієнт теплопровідності <math>\lambda</math> є коефіцієнтом пропорційності у формулі Фур'є:</p> $\frac{dQ}{dt} = -\lambda S \frac{dT}{dl}$ <p>де <math>dQ/dt</math> – тепловий потік (<math>dQ</math> – елементарна кількість тепла, що перенесена за час <math>dt</math>), <math>dT/dl</math> – градієнт температури у перпендикулярному напрямі до поверхні <math>S</math></p>	Вт / (м·К)
	<p>Термічний або тепловий опір визначають формулою: <math>\xi = \frac{l}{\lambda}</math>.</p>	Вт/(м <sup>2</sup> ·К)
<b>25. Теплоємність</b>		
Властивість порід сприймати неоднакову кількість тепла в разі нагрівання до певної температури	<p>Питома теплоємність <math>C</math> – кількість тепла, яку потрібно передати породі, щоб нагріти 1 кг на 1 °С (1 °К), виражають формулою:</p> $C = \frac{1}{m} \frac{dQ}{dt}$ <p>де <math>m</math> – маса породи; <math>Q</math> – кількість тепла; <math>t</math> – температура.</p>	$\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$ або $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{K}}$
	<p>Об'ємна теплоємність <math>C_v</math> – кількість тепла, що затрачена для нагрівання на 1 °С одиниці об'єму породи (в м<sup>3</sup>): <math>C_v = C \cdot \rho_n</math>, де <math>\rho_n</math> – густина породи</p>	$\frac{\text{Дж}}{\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C}}$ або $\frac{\text{Дж}}{\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{K}}$

#### 4. Фізичні характеристики найпоширеніших магматичних, осадових, метаморфічних гірських порід, основних мінералів та інших речовин

Таблиця 4.

Механічні характеристики гірських порід

<i>Порода</i>	<i>Межа міцності (у разі стиснення), МПа (10<sup>6</sup>Па)</i>	<i>Межа міцності (у разі розтягнення), МПа (10<sup>6</sup>Па)</i>	<i>Модуль пружності E (модуль Юнга), ГПа (10<sup>9</sup>Па)</i>	<i>Коефіцієнт Пуассона, <math>\sigma_n</math></i>
<b><i>Магматичні породи</i></b>				
Граніт	100–300	7–25	30–70	0,17
Діорит	100–350	7–30	30–100	0,10–0,20
Габро	150–250	7–30	40–100	0,20–0,35
Ріоліт	80–160	5–10	10–50	0,20–0,40
Андезит	100–300	5–15	10–70	0,20
Базальт	100–350	10–30	40–80	0,10–0,20
<b><i>Осадові породи</i></b>				
Конгломерат	30–230	3–10	10–90	0,10–0,15
Пісковик	20–170	4–25	15–50	0,14
Сланець	5–100	2–10	5–30	0,10
Аргіліт	10–100	5–30	5–70	0,15
Доломіт	20–120	6–15	30–70	0,15
Вапняк	30–250	6–25	20–70	0,30
<b><i>Метаморфічні породи</i></b>				
Гнейси	100–250	7–20	30–80	0,24
Кристалічний (сланцевий) сланець	70–150	4–10	5–60	0,15–0,25
Філіт	5–150	6–20	10–85	0,26
Глинистий сланець	50–180	7–20	20–90	0,20–0,30
Мармур	50–200	7–20	30–70	0,15–0,30
Кварцит	150–300	5–20	50–90	0,17

Таблиця 5.

Густина магматичних, осадових, метаморфічних гірських порід

<i>Порода</i>	<i>Середня густина, <math>10^3 \text{ кг/м}^3</math></i>	<i>Порода</i>	<i>Середня густина, <math>10^3 \text{ кг/м}^3</math></i>
<b>Магматичні породи</b>			
Граніт	2,64	Ріоліт	2,52
Діорит	2,85	Андезит	2,61
Габро	3,03	Базальт	2,99
<b>Осадові породи</b>			
Конгломерат	2,5	Аргіліт	2,21
Пісковик	2,35	Доломіт	2,70
Сланець	2,40	Вапняк	2,55
<b>Метаморфічні породи</b>			
Гнейси	2,80	Глинистий сланець	2,79
Кристалічний (слюдяний) сланець	2,64	Мармур	2,75
Філіт	2,59	Кварцит	2,60

Таблиця 6.

Густини та температури плавлення деяких мінералів

<i>Мінерал</i>	<i>Густина, <math>\rho_m</math>, <math>\cdot 10^3 \text{ кг/м}^3</math></i>	<i>Температура плавлення <math>t_{пл}</math>, <math>^{\circ}\text{C}</math></i>	<i>Мінерал</i>	<i>Густина, <math>\rho_m</math>, <math>\cdot 10^3 \text{ кг/м}^3</math></i>	<i>Температура плавлення <math>t_{пл}</math>, <math>^{\circ}\text{C}</math></i>
<b>Сульфіди</b>					
Сфалерит	3,75	1 850	Малахіт	4,0	–
Халькопірит	4,5	–	Галеніт	7,50	1 190
Стибніт (антимоніт)	4,6	550	Піротин	4,65	1 190
Молібденіт	4,7	1 670	Марказит	4,85	2 000
Пірит	5,0	1 180	Борніт	5,1	–
Халькозин	5,65	–	Кобальтит	6,1	–
Арсенопірит	6,1	–	Кіновар	8,1	580
<b>Оксиди та гідрооксиди</b>					
Боксит	2,45	2 000	Лімоніт	3,78	–

<i>Мінерал</i>	<i>Густи- на, <math>\rho_m</math>, <math>\cdot 10^3 \text{ кг/м}^3</math></i>	<i>Темпера- тура плавлення <math>t_{пл}</math>, °C</i>	<i>Мінерал</i>	<i>Густи- на, <math>\rho_m</math>, <math>\cdot 10^3 \text{ кг/м}^3</math></i>	<i>Темпера- тура плавлення <math>t_{пл}</math>, °C</i>
Сидерит	3,83	900	Рутил	4,25	1 600
Манганіт	4,32	–	Хроміт	4,36	2 190–2 270
Ільменіт	4,67	1 365	Піролю- зит	4,82	390
Магнетит	5,12	1 595	Франклі- ніт	5,18	1 420
Гематит	5,18	1 595	Куприт	5,92	1 232
Каситерит	6,92	1 630	Вольф- раміт	7,32	3500
<b><i>Неметалеві мінерали, самородні елементи</i></b>					
Кам'яне вугілля	1,32	3 000	Антрацит	1,50	3 000
Галіт, сильвін	2,22	800	Гіпс	2,35	1 450
Каолініт	2,53	1 750	Ортоклаз	2,55	1 200
Кварц	2,65	1 720	Кальцит	2,65	1 612
Ангідрит	2,93	1 460	Біотит	2,92	1 330
Магнезит	3,03	2 800	Флюорит	3,14	1 360
Алмаз	3,5	4 000	Графіт	2,15	3 547
Сірка	2,1	113	Срібло	10,5	962
Золото	19,32	1 065	Платина	21,8	1772

Таблиця 7.

Теплові характеристики (*питома теплоємність*) твердих речовин,  
деяких гірських порід та мінералів

<i>Назва</i>	<i>Питома теплоємність <math>c</math>, Дж/(кг·°C)</i>	<i>Назва</i>	<i>Питома теплоємність <math>c</math>, Дж/(кг·°C)</i>
Асфальт	920	Азбест	800
Бавовна	1 300	Базальт	840
Бетон	1 000	Вугілля буре	2 090–3 140
Волокно мінеральне	840	Вугілля буре (у брикетах)	1 510
Грунт піщаний	1 100–3 200	Вугілля деревне	750–1 170
Діатоміт	840	Вугілля кам'яне	1 170–1 260
Дерево, дуб	2 400	Гіпс	1 090
Земля	840–2 000	Глина	880

<i>Назва</i>	<i>Питома теплоємність с, Дж/(кг·°С)</i>	<i>Назва</i>	<i>Питома теплоємність с, Дж/(кг·°С)</i>
Попіл	800	Граніт	750
Камінь	840–1 260	Графіт	840
Кокс	840–1 130	Кальцит	800
Корок	1 260–2 510	Каолін (біла глина)	880
Лід (від 0 до 60°)	2 110–1 640	Кварц	750
Парафін	2 190	Мармур	800
Папір сухий	1 340	Сірка	710
Пластмаса	1 670–2 090	Слюда	840
Полістирол	1 380	Сіль кам'яна	920
Поліхлорвініл	1 000	Пісковик	710–960
Резина	1 420	Торф	1 670–2 090
Скловолокно	840	Целюлоза	1 550
Тіло людини	3 470	Цемент	800
Фарфор	800	Шерсть	1 800
Цегла	840	Шифер	750
Шкіра	1 510	Щебінь	750–1 000

Таблиця 8.

Магнітні та електричні характеристики найпоширеніших гірських порід

<i>Назва</i>	<i>Магнітна сприйнятливність <math>\chi</math>, 10<sup>-5</sup></i>	<i>Питомий опір <math>\rho</math>, Ом · м</i>	<i>Відносна діелектрична проникність <math>\epsilon</math></i>
<b>Магматичні породи</b>			
<i>Ультраосновні:</i> піроксеніт, перидотит, дуніт	1 000–25 000	10 <sup>5</sup> –10 <sup>8</sup>	–
<i>Основні:</i> Габро Діорит	300–15 000 1 000–70 000	10 <sup>4</sup> –10 <sup>7</sup> 10 <sup>3</sup> –10 <sup>7</sup>	17,5 8,0–9,0
<i>Кислі:</i> Гранодіорит Граніт	100–45 000 50–40 000	10 <sup>3</sup> –10 <sup>6</sup> 10 <sup>3</sup> –10 <sup>5</sup>	– 4,9–9,0
<i>Ефузивні:</i> Діабаз Базальт	500–150 000 100–150 000	10 <sup>5</sup> –10 <sup>6</sup> 10 <sup>3</sup> –10 <sup>7</sup>	14,4–28,5 –
<b>Метаморфічні</b>			
Гнейси	100–20 000	10 <sup>3</sup> –10 <sup>5</sup>	8,0–15,0

<i>Назва</i>	<i>Магнітна сприйнятлив- вість <math>\chi</math>, <math>10^{-5}</math></i>	<i>Питомий опір <math>\rho</math>, Ом <math>\cdot</math> м</i>	<i>Відносна діелектрична проникність <math>\epsilon</math></i>
Сланці	500–3 000	$10^3$ – $10^5$	11,0–12,0
<b>Осадові</b>			
Вапняк	50–2 500	$100$ – $10^5$	8,0–12,0
Доломіт	50–800	$100$ – $10^4$	–
Мергель	10–1 000	$10$ – $10^3$	–
Пісковик	50–5 000	$100$ – $10^4$	9,0–11,0
Пісок	50–2 500	$10$ – $10^4$	–
Глинисті (глина, аргіліт)	10–3 000	1–100	6,0–12,0

Таблиця 9.

Електричні характеристики деяких мінералів

<i>Мінерал</i>	<i>Питомий опір <math>\rho</math>, Ом <math>\cdot</math> м</i>	<i>Відносна діелектрична проникність <math>\epsilon</math></i>
<b>Силікати</b>		
Кварц	$2,0 \cdot 10^{14}$	4,5
Амфіболи	$4,8 \cdot 10^{10}$	8,0
Мікроклін	$1,8 \cdot 10^{11}$	5,48
Ортоклаз	$1,4 \cdot 10^{12}$	5,6
Альбіт	$4,8 \cdot 10^8$	6,95
Анортит	$7,7 \cdot 10^9$	6,9
Лабрадор	$6,3 \cdot 10^8$	5,87
Мусковіт	$2,2 \cdot 10^{12}$	7,6
Біотит	$8,3 \cdot 10^{10}$	6,3
Хлорит	$1,6 \cdot 10^9$	9,0
Каолініт	$3,2 \cdot 10^7$	11,8
<b>Сульфати</b>		
Гіпс	$1,05 \cdot 10^{11}$	6,4
Ангідрит	$1,0 \cdot 10^9$	6,5
Апатит	$8,3 \cdot 10^{11}$	11,7
Барит	$1,2 \cdot 10^7$	10,0
<b>Галоїди</b>		
Галіт	$5,0 \cdot 10^{13}$	5,9
Сильвін	–	4,4–6,2
Флюорит	$7,7 \cdot 10^{13}$	6,76
<b>Оксиди, сульфід</b>		
Гематит	$1,0 \cdot 10^2$	25,0

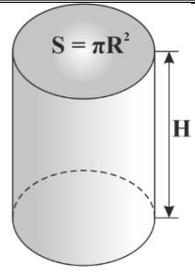
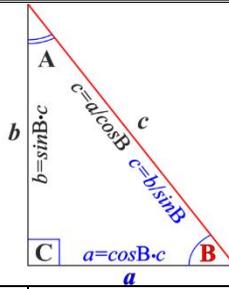
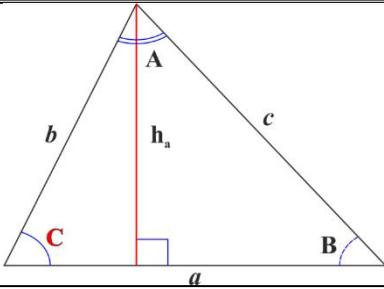
<i>Мінерал</i>	<i>Питомий опір <math>\rho</math>, Ом · м</i>	<i>Відносна діелектрична проникність <math>\epsilon</math></i>
Магнетит	$1,0 \cdot 10^{-4}$	–
Пірит	$1,0 \cdot 10^{-3}$	33,7–81,0
Галіт	$1,0 \cdot 10^{-3}$	17,9
Сфалерит	$2,6 \cdot 10^{11}$	–
<b><i>Карбонати</i></b>		
Кальцит	$9,0 \cdot 10^{13}$	6,35
Доломіт	$4,3 \cdot 10^{13}$	7,46
Арагоніт	$3,4 \cdot 10^{12}$	8,67
Сидерит	$8,3 \cdot 10^9$	9,3
<b><i>Самородні елементи</i></b>		
Золото	$10^{-6}$	8,0–17,0
Графіт	$1,4 \cdot 10^{-5}$	–
Кам'яне вугілля	$10^3$ – $10^{12}$	3,0–15,0
Нафта	$10^{10}$	2,0–2,7

## 5. Деякі елементи математики

Таблиця 10.

<b><i>Сталі числа та деякі відомості з геометрії</i></b>			
$\pi = 3,1416$	$e = 2,7183$	$\ln 10 = 2,3026$	$\lg e = 0,4343$
$(a + b)^2 = a^2 + 2ab + b^2$		$(a - b)^2 = a^2 - 2ab + b^2$	
$a^2 - b^2 = (a - b)(a + b)$		$(a + b)^3 = a^3 + 3a^2b + 3ab^2 + b^3$	
Теорема косинусів $c^2 = a^2 + b^2 - 2 \cdot a \cdot b \cdot \cos C$	Теорема синусів $\frac{a}{\sin A} = \frac{b}{\sin B} = \frac{c}{\sin C}$	Косинус кута В $\cos B = \frac{a}{c}$ $a = \cos B \cdot c$ $c = \frac{a}{\cos B}$	Синус кута В $\sin B = \frac{b}{c}$ $b = \sin B \cdot c$ $c = \frac{b}{\sin B}$
де $a, b, c$ – сторони трикутника; $A, B, C$ – відповідні їм кути. (для будь-якого трикутника)		$a$ – прилеглий катет, $b$ – протилежний катет, $c$ – гіпотенуза, $B$ – кут. (для прямокутного трикутника)	

## Сталі числа та деякі відомості з геометрії



Тангенс кута  $B$   

$$\operatorname{tg} B = \frac{\sin B}{\cos B} = \frac{b}{a}$$

Котангенс кута  $B$   

$$\operatorname{ctg} B = \frac{\cos B}{\sin B} = \frac{a}{b}$$

Площа  
трикутника

$$S = \frac{1}{2} a h_a$$

дорівнює  
половині  
добутку  
довжини  
сторони  
трикутника та  
довжини  
проведеної до  
цієї сторони  
висоти

Площа  
трикутника

$$S = \frac{1}{2} a b \sin C$$

дорівнює  
половині  
добутку двох  
його сторін,  
помноженого на  
синус кута між  
ними

Довжина кола

$$L = 2\pi R$$

Радіан

$$1 \text{ рад} = 360^\circ / 2\pi = 180^\circ / \pi = 57^\circ$$

Площа кола

$$S = \frac{\pi d^2}{4}$$

$$S = \pi R^2$$

Площа  
поперечного  
перерізу  
циліндра

$$s = \frac{\pi d^2}{4}$$

Об'єм циліндра

$$V = SH = \pi R^2 H$$

Площа поверхні  
сфери

$$S = 4\pi R^2$$

Площа поверхні  
тора

$$A = 4\pi^2 R r = (2\pi r)(2\pi R)$$

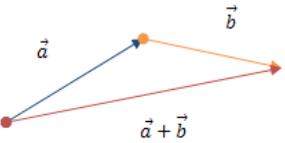
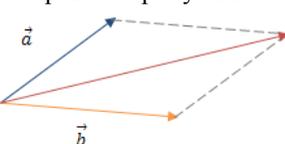
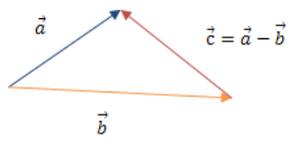
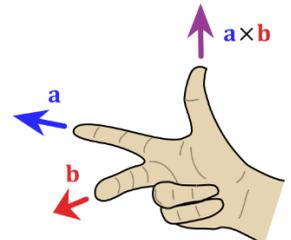
Об'єм кулі

$$S = \frac{4}{3} \pi R^3$$

Об'єм тора

$$V = (\pi r^2)(2\pi R)$$

$$V = 2\pi^2 R r^2$$

<i>Довідка про вектори</i>	
Додавання векторів	Різниця векторів
$\vec{a} + \vec{b} = \vec{c}$  <p style="text-align: center;">Правило трикутника</p>  <p style="text-align: center;">Правило паралелограма</p>	$\vec{a} + \vec{b} = \vec{c}$  <p style="text-align: center;"><math>\vec{c} = \vec{a} - \vec{b}</math></p>
<i>Скалярний добуток</i>	<i>Векторний добуток</i>
$\vec{a} \cdot \vec{b} =  \vec{a}  \cdot  \vec{b}  \cdot \cos(\vec{a} \wedge \vec{b})$ <p style="text-align: center;"><i>Скалярний добуток векторів дорівнює добутку їхніх довжин на косинус кута між ними</i></p>	$\vec{a} \times \vec{b} =  \vec{a}  \cdot  \vec{b}  \cdot \sin(\vec{a} \wedge \vec{b})$ <p style="text-align: center;"><i>Векторний добуток дорівнює добутку їхніх довжин векторів на синус кута між ними</i></p>  <p style="text-align: center;">Напрямок векторного добутку знаходимо за правилом правої руки</p>

## **6. Взаємозв'язок між геологічним процесом у природі та фізичним змістом природного явища**

*Цікаві факти про деякі явища та процеси з погляду фізики для різностороннього розвитку студентів, що зібрано з різних літературних джерел, довідників та електронних ресурсів мережі інтернет.*

1. На вершині г. Еверест (Гімалаї), де тиск повітря значно нижчий, вода закипає за температури 70 °С. Чим нижчий тиск повітря, тим нижча температура кипіння. Найбільш сприятливі умови для варіння різних страв на Венері. Тут температура кипіння води 233 °С, тому на приготування будь-якої страви потрібно всього лише декілька хвилин.
2. Їжу можна приготувати незалежно від того, кипить вона на великому вогні чи на маленькому, оскільки температура кипіння води за нормальних умов не перевищує 100 °С.
3. Вода – найпоширеніша речовина на поверхні Землі – має аномалію (відхилення) під час нагрівання, що пов'язано з поведінкою теплоємності. Під час нагрівання від 0 до 4 °С її об'єм зменшується, а за подальшого нагрівання зростає. Вода за температури 4 °С має найбільшу густину. Це запобігає промерзанню ставків до самого дна. Біля дна глибоких ставків чи озер вода має температуру 4 °С, навіть якщо зверху вже утворився товстий лід.
4. Під час сильної грози витрачається енергія, що дорівнює приблизно енергії вибуху атомної бомби.
5. Гроза в Єгипті буває один раз на 200 років, що зумовлене особливостями клімату, оскільки регіон розташований у пустелі.
6. За один рік з поверхні всієї земної кулі піднімається в атмосферу 511 тисяч км<sup>3</sup> води; 411 тисяч км<sup>3</sup> піднімається тільки з поверхні океану.
7. У природі існує близько 1 330 видів води. Масу всіх запасів води на Землі оцінюють в 1 300 000 000 млрд т. Щоправда, це становить лише 0,02 % усієї маси Землі. Підраховано, що об'єм усіх запасів води на Землі становить 1 350 000 000 млрд км<sup>3</sup>. З них прісна вода займає 35 млн км<sup>3</sup>, тобто лише одну сорокову частину всіх запасів води на Землі.
8. У складі мантиї Землі води міститься в 10–12 разів більше, ніж у Світовому океані.

9. Кількість “законсервованої” води в льодовиках земної кулі в 50 разів менша, ніж уся маса океанічних вод. Проте якби льодовики розтанули, то рівень Світового океану підвищився б на 800 м.
10. Морська вода замерзає за температури  $-1,9^{\circ}\text{C}$ , що зумовлене більшою її густиною порівняно з прісною.
11. Середня температура поверхні води Світового океану дорівнює  $17,4^{\circ}\text{C}$ , тоді як середня температура нижнього шару повітря над Світовим океаном –  $14,4^{\circ}\text{C}$ . Займаючи майже  $3/4$  поверхні земної кулі, океан слугує могутнім і постійним обігрівачем нижніх шарів атмосфери.
12. Сибірські річки приносять в Північний Льодовитий океан стільки тепла, скільки дало б спалювання 3 млрд т палива.
13. У найглибшій точці Світового океану – безодні Челенджера (Маріанський жолоб, 11034 м) – кинутій у воду залізній кульці потрібно більше години, щоб досягти океанічного дна.
14. Річкові потоки щорічно зносять у моря й океани 16 млрд. т твердих матеріалів у вигляді каменів, різних уламків, розчинених речовин тощо. Якщо все це завантажити в товарні вагони, то утвориться поїзд, який 30 разів може обігнути земний екватор.
15. На Землі Вікторії (Антарктида) знайдено озеро, вода в якому в 11 разів солоніша від морської і може замерзнути тільки за температури  $-50^{\circ}\text{C}$ .
16. Виявляється, лід є неоднаково холодний. Є дуже холодний лід з температурою близько  $-60^{\circ}\text{C}$ . Це лід деяких антарктичних льодовиків. Набагато тепліший лід гренландських льодовиків. Його температура приблизно дорівнює  $-28^{\circ}\text{C}$ . Зовсім “теплий” лід (з температурою близько  $0^{\circ}\text{C}$ ) лежить на вершинах Альп і Скандинавських гір.
17. Гейзери Камчатки – гарячі джерела, що виділяють за добу таку кількість тепла, яка еквівалентна спалюванню 15 млн.  $\text{m}^3$  газу.
18. “Бомбардування” Землі великими астероїдами і кометами почалося приблизно 4,1 млрд років тому і завершилося 3,2 млрд років тому, наприкінці архейської ери. У Сонячній системі налічується близько 4 700 порівняно великих астероїдів, які можуть становити небезпеку для нашої планети, оскільки орбіта, згідно з розрахунком,

проходить порівняно недалеко від Землі (за даними NASA, отриманими дослідним зондом WISE). Діаметр таких астероїдів перевищує 100 м і вони не встигнуть згоріти в атмосфері нашої планети.

19. Найбільший діючий вулкан у світі Мауна-Лоа (4 169 м) розташований на Гавайях. Його площа –  $120 \times 60$  км. Потік лави цього вулкана покриває майже 6 000 км<sup>2</sup>. Діаметр кратера – 6,5 км.
20. Найвищий діючий вулкан у світі – Охос-дель-Саладо, що знаходиться на кордоні Чилі й Аргентини. Його висота – 6 878 м.
21. Найвищий діючий вулкан у Європі – Етна (3 340 м). Він розміщений на острові Сицилія (Італія). Останнє виверження відбулося в 1960 р.
22. Найбільший вулкан на світі є на о. Кіу-Шіу (Японія) і має назву Асо. Довжина кратера цього вулкана досягає 23 км, ширина – 14 км, а глибина – 500 метрів.
23. Вулкан Ісалько в Республіці Сальвадор вивергається через кожні 8 хвилин. За 200 років відбулося понад 12 мільйонів виверження.
24. Японія – класична “країна землетрусів”. У середньому на її території відбувається три землетруси за добу.
25. Найбільше землетрусів у світі припало на 1964 рік. Цього року відбулися землетруси з катастрофічними наслідками в Китаї, Гватемалі, Індонезії, Туреччині, Італії, на Філіппінах.
26. Найдавніший землетрус на території сучасної України, про який збереглися дані, датований 63 роком до н.е. і отримав назву Пантікапейський (Пантікапей – населений пункт на території сучасної Керчі).
27. Мауна Кеа або “Біла гора”, що має висоту 4 205 м н. р. м., є недіючим щитовим вулканом на острові Гавайї та найвищою горою у світі, якщо її вимірювати від основи до вершини, що становить 10 203 м (на 1 355 м вища від г. Евересту). Тому основа гори розміщена на морському дні на близько 6 000 м нижче рівня Тихого океану.
28. Через опуклість Землі на екваторі точка поверхні, найвіддаленіша від центра Землі, – це неактивний стратовулкан, що є найвищою вершиною Екватору – Чимборасо (6 268 м).

29. Вітри, що дмуть на висоті 8-50 км над Землею називають струменевими течіями. Найчастіше вони спрямовані із заходу на схід і досягають іноді швидкості 450 км/год.
30. У місті Тегазі (Сахара) трапляються будівлі, стіни яких виготовлені із кам'яної солі. Це одне з найсухіших місць на Землі, тому будинкам не загрожує небезпека розчинитися від дощу.
31. Місцевість Сен-Мішель у Північно-Західній Франції двічі за добу стає островом і двічі півостровом. Своєрідне явище зумовлене сильними приливами і відливами в цій частині Атлантичного океану.
32. Луна – відбиття повітряної хвилі. Якщо скеля, що відбиває звук, розміщена від нас на відстані до 30 м, то луна не виникає. На р. Рейн є місцевість, де луна повторює слово 20 разів.
33. На Північному полюсі тепліше, ніж на Південному. Північний полюс розміщений на рівні моря, Південний – на висоті понад 3 км н. р. м. Північний полюс оточений з усіх боків материками, які влітку дають порівняно більше тепла. До Північного полюса підходить гілка теплої течії Гольфстрім. Північний полюс Сонце освітлює майже на тиждень довше, аніж Південний.
34. У Сахарі щорічно простежубть близько 160 тисяч марев. Вони бувають стабільними і блукаючими, вертикальними і горизонтальними. Складені навіть спеціальні карти караванних шляхів з відміткою місць, де зазвичай виникають марева. На цих картах позначено, де з'являються колодязі, оазиси, пальмові гаї, гірські пасма. Жертвами марев особливо часто стають каравани в пустелі Орг-ер-Раві. Перед людьми на відстані 2-3 км постають оазиси, до яких насправді не менше 700 км.
35. Масу золота традиційно вимірюють у тройських унціях (31,1 гр). Густина золота становить  $19,32 \text{ гр/см}^3$ , а об'єм тройської унції –  $1,61 \text{ см}^3$ . Отже, 1 т золота має об'єм приблизно 52 тис.  $\text{см}^3$ , що дорівнює кубуку із стороною всього 37 см.
36. Ідею концентрації сонячного світла на дзеркалах приписують Архімеду (212 р. до н.е). За допомогою величезних збільшувальних стекол винахідник нібито скеровував сонячні промені на кораблі римлян, щоб перешкодити завоюванню Сіракуз.

37. Наприкінці XVIII ст. французький хімік Антуан Лавуазьє винайшов сонячну піч, у якій можна було плавити платину за температури 1 780 градусів.
38. Шведський учений Горацій де Соссюр винайшов перший у світі сонячний колектор, який він використовував для приготування їжі під час експедиції до Південної Африки 1830 р.
39. У 1958 році сонячні батареї були вперше застосовано в США для енергозабезпечення штучного супутника Землі – Vanguard I. Надалі вони стали невід’ємною складовою космічних апаратів. Широко відомі мікрокалькулятори, годинники, радіоприймачі і багато інших електронних апаратів, що працюють на сонячних батареях.
40. Ще за 3 500 р. до н.е. мореплавці використовували силу вітру, щоб іти під вітрилами. Вітрильні човни плавали по Нілу в Стародавньому Єгипті. Звичайні вітряні млини, що теж використовують силу вітру, діяли в Китаї ще 2 200 років тому.
41. Перший етап розвитку вітроенергетики для виробництва електричної енергії в Україні почався ще в 30-х роках XX ст. Під керівництвом винахідника Юрія Кондратюка у Балаклаві був розроблено і запроваджено експериментальний вітроагрегат потужністю 100 кВт. У 1935 р. Ю. Кондратюк розпочав проектувати вітряк на 1 тис. кВт. Згодом, був спроектований двоповерховий вітроагрегат загальною потужністю 10 тис. кВт (по 5 тис. кВт на кожному рівні; висота до першого рівня – 65 м, до другого – 150 м). Проекти не реалізовано, хоча фундамент для вітряка у 10 тис. кВт все-таки був споруджений на горі Ай-Петрі в Криму (він існує донині).
42. Перетворення енергії припливу на механічну енергію використовували ще на початку XI ст. в припливних млинах, які будували на гирлах річок, що впадали в океан. Для цього перегороджували дамбами річки і створювали резервуари, у яких встановлювали засувні ворота чи шлюзи. У перших припливних млинах використовували тільки потенційну енергію води, зібрану в резервуар. Пізніше, коли винайдено ефективні помпи, з’явилася змога використання й іншого виду енергії припливів – кінетичної, тобто енергії води, яка рухається.

43. Електричну енергію з використанням геотермального резервуару сухої пари вперше отримав 1904 року італієць П. Дж. Конті. Промислове освоєння геотермальних ресурсів почалося після створення і запуску в Італії у 1916 р. електростанції потужністю 7,5 МВт із трьома турбінами фірми “Франко Тозі” потужністю по 2,5 МВт кожна. Перший резервуар гарячої води, використаний для виробництва електричної енергії, був створений у Новій Зеландії у 50-х роках ХХ ст. Перша комерційна геотермальна електростанція в США почала виробляти електроенергію у 1960 р.
44. Усередині Землі міститься теплоти набагато більше, аніж можна було б добути її в ядерних реакторах у разі розщеплення всіх земних запасів урану й торію. Якщо людство використовуватиме тільки геотермальну енергію, то мине 41 млн. років перш ніж температура надр Землі знизиться тільки на пів градуса.
45. Близько 19 % сонячної енергії поглинає атмосфера, 47 % – падає на Землю, а 34 % – повертається у космос. Отже, приблизно третину сонячної енергії відбиває атмосфера Землі назад у космічний простір. Близько 0,02 % використовують рослинами для фотосинтезу, а інша йде на підтримку багатьох природних процесів: обігріву земної поверхні, океанів і атмосфери, руху повітряних мас (вітрів), хвиль, океанічних течій, випаровування і колообігу води. Решта, після проходження через різноманітні природні процеси, знову випромінюється у космічний простір.
46. Тривалість повного сонячного затемнення не перевищує 7,5 хв, а повного місячного затемнення – 104 хв.
47. Якби Земля оберталася у зворотний бік навколо своєї осі, то в році було б на дві доби менше.
48. Висота вулкана Нікс Олімпік, що знаходиться на Марсі, – понад 20 км.
49. За останні 500 років маса Землі збільшилася на 1 млрд т завдяки космічній речовині. Близько 27 т космічного пилу падає на Землю кожен день, отже за рік – понад 10 тис. тонн. Кожну добу на Землю падає близько 200 тисяч метеоритів.
50. Найгарячіша планета Сонячної системи – Венера.

51. Гори на Марсі досягають висоти 20–25 км, що пов'язано з меншим прискоренням вільного падіння.
52. Усі планети Сонячної системи могли б поміститися усередині планети Юпітер.
53. Тиск у центрі Землі в 3 млн. разів вищий, ніж тиск у земній атмосфері.
54. За 1 хв Сонце виробляє більше енергії, ніж вся Земля витрачає за рік.
55. Тривалість одного “року” на планеті Плутон – 247,7 земного року.
56. Якщо наповнити чайну ложку речовиною, з якої складаються нейтронні зірки, то її маса дорівнюватиме приблизно 110 млн т.
57. Найбільший місячний кратер, видимий із Землі, називають Бейлі або “поле загибелі”. Він має площу приблизно 26 тис. квадратних миль, а діаметр – майже 295 км.
58. Перші карти Місяця виготовив у 1609 р. Томас Харріот.
59. Найвища температура на Місяці –  $-117^{\circ}\text{C}$ , найнижча –  $-64^{\circ}\text{C}$ , а нічна досягає  $-150^{\circ}\text{C}$ .
60. Найвища гора на Місяці має висоту 11 500 метрів.
61. Атмосфера Марса на 95 % складається з вуглекислого газу.
62. Щоб сонячне світло досягнуло Землі потрібно близько 8,5 хв.
63. Площа поверхні Сонця, розміром з поштову марку, світить з такою ж енергією, як і 1,5 млн. свічок.
64. Нейтронні зірки є найсильнішими магнітами у Всесвіті. Магнітне поле нейтронної зірки в мільйон мільйонів разів більше, ніж магнітне поле Землі.
65. День на планеті Меркурій вдвічі довший, ніж рік. Меркурій обертається навколо своєї осі дуже повільно, а один оберт навколо Сонця триває трохи менше 88 днів.
66. За весь час запусків супутників у космос тільки один із них був знищений унаслідок зіткненням із метеоритом (супутник Європейського космічного агенства “Olympus” у 1993 році).
67. На Венері доба довша земного року.
68. Маса Землі становить приблизно 600 трлн т. Місяць легший від Землі у 80 разів.
69. Джерелом вулканів на Землі є її ядро. Температура ядра Землі досягає  $5\,000^{\circ}\text{C}$ , воно складається з металевого розплаву заліза і нікелю. Тиск усередині ядра становить

360 ГПа, тому для розрядження таких величезних питомих сил і виникають вулкани.

70. Виверження вулканів може супроводжуватися підземними поштовхами (землетрусами), цунамі, різким зниженням температури, потужним звуковим супроводом. Температура лави (дегазованої магми) досягає 700–1000 °С, тому, розтікаючись, вона спалює все на своєму шляху. Виверження вулкана триває від кількох годин і до кількох років. Вулкани є і на інших планетах Сонячної системи. На Іо – супутнику Юпітера – також є вулкан.
71. Унаслідок виверження вулкана Кракатау, розташованого в Індонезії, у 1883 році загинуло 36 тис. осіб, було стерто з лиця Землі 165 сіл, головню через цунамі, спричинене осадженням продуктів виверження в океан. Виверження вулкана викликало найгучніший в історії гул. Звук чули навіть в Австралії протягом п'яти днів після початку виверження.
72. Найбільше людей загинуло від виверження вулкана Тамбора в Індонезії. Стихійне лихо сталося 10–12 квітня 1815 р. Об'єм лави і попелу, які вирвалися тоді з кратера вулкана, досяг 180 км<sup>3</sup>. Вибух відчували навіть за 2 000 км від епіцентру. Тамбора убив 92 тисячі осіб. Його надовго запам'ятають в європейській історії: 1815 відомий як “рік без літа” – 400 млн т попелу і сірчаних газів, викинутих в атмосферу, не пропускали сонячні промені і стали причиною глобального похолодання. У деяких європейських країнах у липні почалися заморозки, загинула велика частина врожаю.
73. Цікаво, що Місяць у 400 разів менший, ніж Сонце, і перебуває в 400 разів ближче до Землі. Отже, під час спостереження з Землі і Місяць, і Сонце однакові за розміром.
74. Тяжіння Місяця сповільнює швидкість обертання Землі. До його утворення Земля оберталася набагато швидше, а дні були коротші.
75. Найбільший кратер розміщений на невидимому з Землі боці Місяця, недалеко від його південного полюса, його називають Ейткен.
76. На Місяці відбуваються землетруси, однак, порівняно з земними, вони дуже слабкі. Щороку фіксують понад 3 000 місячних землетрусів, проте їхньої загальної енергії ледь би вистачило на невеликий феєрверк.

77. Сила тяжіння Землі спонукає Місяць обертатися навколо Землі. Однак і тяжіння Місяця впливає на Землю, передусім – на моря й океани, зумовлюючи припливи. Коли Місяць перебуває на найближчій до Землі відстані, його сила тяжіння посилюється і припливи досягають найвищого рівня.
78. Темні плями, видимі неозброєним оком на місячній поверхні, називають морями. У них немає води, проте мільйони років тому вони були заповнені вулканічною лавою.
79. Температура поверхні Сонця може досягати  $+6\ 000^{\circ}\text{C}$ . За такої температури будь-який метал або камінь перетворюється на газ.
80. Радіус Сонця становить 696 тис. км, а середній радіус Землі – 6 371 км. Звідси випливає, що Сонце більше від Землі за лінійними розмірами приблизно в 109 разів, а за об'ємом – у 1,3 млн разів.
81. Середня густина Сонця становить усього  $1,4\ \text{г}/\text{см}^3$ , тобто дорівнює густині води Мертвого моря.
82. Між 1640 і 1700 рр. на Сонці взагалі не було плям. Цей період, який називають мінімумом Маундера, збігся з “малим льодовиковим періодом” – загальним похолоданням на Землі, коли річки, які ніколи не замерзали, покрилися льодом, а сніг лежав цілий рік на всіх широтах. У наш час Сонце є на піку активності.
83. На поверхні Південної півкулі Сонця 8 квітня 1947 р. зафіксовано найбільше скупчення сонячних плям за весь час спостережень. Його довжина становила 300 000 км, а ширина – 145 000 км. Воно було приблизно у 36 разів більше, ніж площа поверхні Землі, і його можна було легко розгледіти неозброєним оком під час заходу Сонця.
84. Гравітаційне прискорення на поверхні Сонця дорівнює  $274\ \text{м}/\text{с}^2$  і в 28 разів перевищує гравітаційне прискорення на поверхні Землі, яке, як відомо, дорівнює  $9,81\ \text{м}/\text{с}^2$ . Тому будь-який предмет на поверхні Сонця важив би у 28 разів більше, ніж на поверхні Землі (якби, звичайно, не згорів).

85. Мінімальна кількість затемнень у році – два. Сонячні затемнення в одній і тій самій місцевості простежуються зрідка, оскільки затемнення видно лише у вузькій смузі тіні Місяця. У будь-якій точці поверхні Землі повне сонячне затемнення спостерігають у середньому один раз за 200–300 років.
86. На Землю потрапляє менше половини мільярдної частини сонячного випромінювання, однак саме ця енергія Сонця забезпечує сприятливі умови життя на нашій планеті.
87. За кожну секунду Сонце виробляє у 100 000 разів більше енергії, ніж людство виробило за всю свою історію.
88. На Мальті середня тривалість світлового дня влітку – 10 год. У Самарканді – 15, у Стокгольмі – 18, а в шведському місті Кіруна, що за полярним колом, – 24 год. Що-правда, узимку в Кіруні Сонце не сходить узагалі. До речі, поділ доби на 24 год запозичили з історій давніх єгиптян про бога сонця Ра, який проводив дванадцять годин ночі в темному пеклі, а інші дванадцять – на небесах.
89. Триста сонячних днів у році буває в Марокко, Ніцці, Брісбані (Австралія), Монте-Карло та Уссурійську.
90. Як відомо, земна куля має розжарене ядро. Однак тепло, яке кожен 1 м<sup>2</sup> поверхні Землі отримує з її надр, у 25 000 разів менше, ніж тепло, отримуване від Сонця.
91. Спектральний клас Сонця – G2V. Воно розміщене ближче до холодного кінця головної послідовності й належить до класу жовтих карликів. Більшість зірок у Чумацькому Шляху – “червоні карлики” (порівняно малі й холодні зорі), а приблизно 15 % зірок у Галактиці є яскравішими, ніж наше Сонце.
92. За кожну секунду на Сонці згоряє 700 млрд т водню. Незважаючи на таку величезну швидкість втрат енергії, Сонця вистачить ще на 5 млрд років такого життя (приблизно стільки ж років Сонцю від зародження). Закінчить своє життя Сонце білим карликом, заздалегідь збільшившись у розмірах і відштовхнувши від себе всі

планети. На цих планетах випарується вся вода і зникне атмосфера.

93. Прийнято вважати, що Сонце жовтого або помаранчевого кольору, та насправді воно біле. Жовті відтінки Сонцю дає феномен під назвою “атмосферне розсіяння”.
94. Густина морської води залежить від температури й солоності, однак вирішальне значення має температура. Густина морської води за температури 0 °С і солоності 35 ‰ становить близько 1,030 г/см<sup>3</sup>. Це означає, що маса 1 м<sup>3</sup> солоної води на 30 кг більша, як такий самий об’єм дистильованої води.
95. Найбільшу прозорість має море Уеддела – 70 м, і Саргасове – 66,5 м. В інших морях вона менша, наприклад, у Середземному – 50 м, Чорному – 25, Балтійському – 13–18 м.
96. Сукупна дія поглинання і розсіювання світла зумовлює колір морської води. Потік розсіяного світла дає синій або голубий колір, який є власним кольором чистої води. Колір води в кожному морі залежить від кількості й розмірів завислих часток різного походження та вмісту в ній розчинених газів. У тропічних морях колір води синій, у шельфових – наближається до зеленого, у берегових зонах – жовто-зелений. Колір моря залежить від кольору неба, наявності хмар і стану морської поверхні. Коли небо чисте і море спокійне, його поверхня має колір неба, а коли небо покрите хмарами, або море з хвилями, то його поверхня темніє.
97. Гора Олімп займає настільки велику площу, що її неможливо побачити повністю з поверхні планети (відстань, необхідна для огляду вулкана, настільки велика, що через кривину поверхні планети навіть не видно його країв на горизонті). Тому повний профіль г. Олімп можна побачити тільки з повітря та орбіти. Аналогічно, якщо встати на самій вершині, висота якої – 25 км, то його схил зникне за горизонтом.

- 98.** Ганімед – найбільший супутник Юпітера та всієї Сонячної Системи, який має своє власне магнітне поле.
- 99.** Тритон – найбільший з льодяними вулканами і єдиний супутник, що обертається майже по ідеальному колу в протилежний від руху планети Нептун бік. Вулкани на Тритоні є активними, проте вони викидають не лаву, а воду та аміак, які замерзають на поверхні.
- 100.** Титан – найбільший за розміром супутник Сатурна, другий за розміром у Сонячній системі. У нього єдиного серед супутників у Сонячній системі є атмосфера, яка в декілька разів щільніша, ніж на Землі. Поверхню цього супутника неможливо було побачити через непрозорі хмари впродовж багатьох років. В основі атмосфери Титану є азот, як і на Землі, проте вона містить ще інші гази, наприклад, метан. Якщо рівень метану на Титані великий, то на супутнику може падати метановий дощ.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	1
1. Основні закони і формули з одиницями вимірювання фізичних величин та короткими поясненнями .....	2
2. Величини, які характеризують фізичні та механічні властивості порід у геодинамічних розрахунках.....	34
3. Петрофізичні властивості гірських порід.....	41
4. Фізичні характеристики найпоширеніших магматичних, осадових, метаморфічних гірських порід, основних мінералів та інших речовин .....	48
5. Деякі елементи математики.....	53
6. Взаємозв'язок між геологічним процесом у природі та фізичним змістом природного явища.....	56