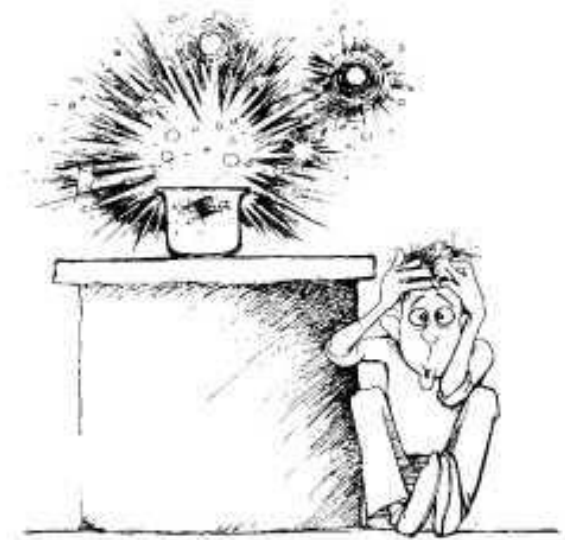


## Модуль 1. Основи класичної фізики. Механіка

### Тема 2

# Речовина



**Речовина** - це те, з чого складаються фізичні тіла.

Прийнято вважати, що фізичні явища не супроводжуються перетворенням одних речовин на інші. Процеси перетворення одних речовин на інші називаються *хімічними*.

**Хімія** - це наука про речовини і закони, за якими відбувається перетворення одних речовин на інші.

В основі речовини лежать *атоми* і *молекули*.

**Молекула** - це найменша частинка речовини, що визначає її властивості і здатна до самостійного існування. Молекули складаються з *атомів*.

**Атом** - з *хімічної* точки зору це найменша, електронейтральна, хімічно неподільна частинка речовини. З *фізичної* точки зору - це динамічна і складна система субатомних частинок, урівноважених електростатичною взаємодією та ядерними силами.

## Античність

Концепція атома як найменшої неподільної частинки матерії вперше була запропонована на початку I тисячоліття до н. е. фінікійським вченим Мохом. Його погляди в 5 столітті до нашої ери розвинув грецький філософ Левкіпп. Потім естафету підхопив учень Левкіппа Демокріт - який, власне, і запровадив в науковий обіг термін «атом».

За Демокрітом, вся природа складається з атомів, найдрібніших часток речовини, які спочивають чи рухаються в абсолютно пустому просторі. Всі атоми мають просту форму, а атоми одного сорту є тотожними; різноманіття природи відображає різноманіття форм атомів і різноманіття способів, в які атоми можуть зчіплюватись між собою. І Демокріт, і Левкіпп вважали, що атоми, почавши рухатись, продовжують рухатись за законами природи.

Ідеї Левкіппа та Демокріта не могли служити задовільною основою теорії речовини у фізичному плані, оскільки не пояснювали, ні з чого складаються атоми, ні чому атоми неподільні.

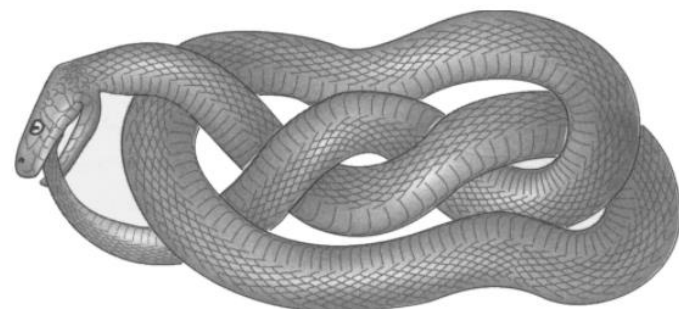
Римський поет Тит Лукрецій Кар (96—55 роки до н. е.) у своїй поемі «*Про природу речей*» (лат. «*De rerum natura*») детально вибудував факти, які свідчать на користь атомістичної теорії. Наприклад, вітер, який дує з великою силою, хоча ніхто не може його бачити, напевне складається з часток, замалих щоб їх розгледіти.

# Еволюція уявлень людства про атоми

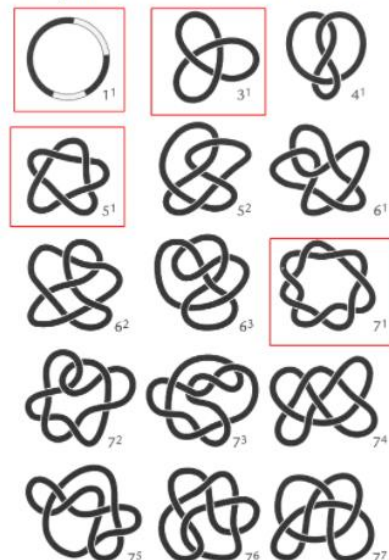
## Середньовіччя

Одна з перших теорій про будову атома, яка має вже сучасні обриси, була описана Галілеєм (1564–1642). За його теорією речовина складається з часток, які не перебувають в стані спокою, а під впливом тепла рухаються у всі сторони; тепло – є нічим іншим як рухом часток. Структура часток є складною, і якщо позбавити будь-яку частку її матеріальної оболонки, то зсередини бризне світло. Галілей був першим, хто, хоча й у фантастичній формі, представив будову атома.

## Новий час



Inspired P. G. Tait's Classification scheme:



Carbon



Oxygen

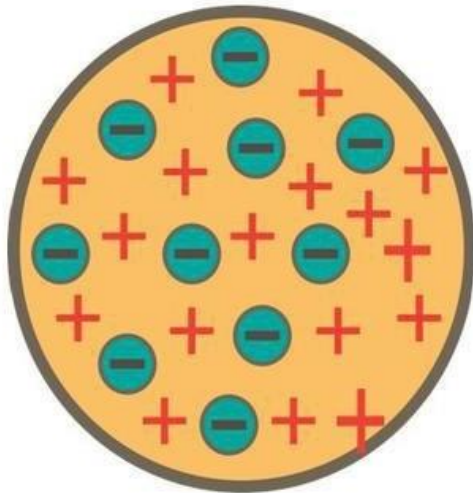


Hydrogen

Вільям Томсон (лорд Кельвін) запропонував вузлову модель атома. Однак вона виявилася малокорисною для практики і проіснувала всього 20 років (1870-1890). Була замінена на гіпотезу “туманного атома” (“nebular atom”) Джозефом Томсоном.

## Новий час

Модель «туманного атома» також виявилася малокорисною для практики, оскільки також погано пояснювала властивості речовини. У 1897 р. Джозеф Джон Томсон, вивчаючи катодні промені, відкрив електрон і прийшов до висновку, що вони є у кожному атомі. Таким чином, було спростоване припущення, що атоми є неподільними компонентами речовини. Він створив першу модель будови атома, яка отримала назву *моделі сливового пудингу*, де негативно заряджені електрони, що плавають в однорідній позитивно зарядженій сфері.



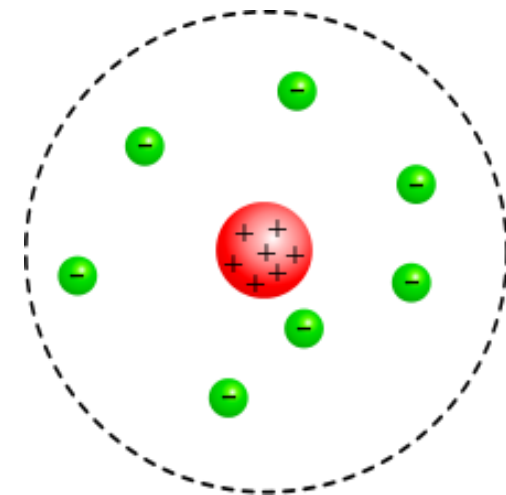
Ця модель була запропонована тим же Джозефом Томсоном в 1904 р.

В тому ж 1904 році Хантаро Нагаока запропонував «планетарну» модель «сатурноподібного» атома із великим, позитивно зарядженим ядром.

## Початок ХХ-го століття

“Модель сливового пудингу” Томпсона проіснувала до 1909-го року. Ганс Гейгер, Ернест Резерфорд і Ернест Марсден після дослідів із бомбардування золотої фольги альфа-частинками виявили, що невелика частина альфа-частинок відбиваються назад, що йде врозріз із прогнозами моделі Томсона. На підставі цих результатів, Резерфорд створив нову модель атома, що отримала назву *планетарної*. У цій моделі додатній заряд і основна маса атома зосереджена в ядрі невеликий в центрі, і негативно заряджених електронів, що обертаються навколо ядра.

Недоліком планетарної моделі була її несумісність із законами класичної фізики. Якщо електрони рухаються навколо ядра як планети навколо Сонця, то їхній рух прискорений, і, отже, за законами класичної електродинаміки вони повинні були б випромінювати електромагнітні хвилі, втрачати енергію й падати на ядро. Наступним кроком у розвитку планетарної моделі стала *модель Бора*, що постулювала інші, відмінні від класичних, закони руху електронів. Повністю протиріччя з електродинамікою змогла розв'язати квантова механіка.



## Сучасність. Модель Бора

1. Атомна система може перебувати тільки в особливих стаціонарних, або квантових станах, кожному з яких відповідає певна енергія  $E_n$ . У стаціонарному стані атом енергію не випромінює.
2. У стаціонарному стані атома електрон повинен мати дискретні (квантовані) значення моменту імпульсу. Радіуси  $r_n$  орбіт електронів задовольняють умову:

$$L_m = mv_n r_n = n\hbar$$

де  $n = 1, 2, 3, \dots, m$  – маса електрона,  $\hbar$  – зведена стала Планка.

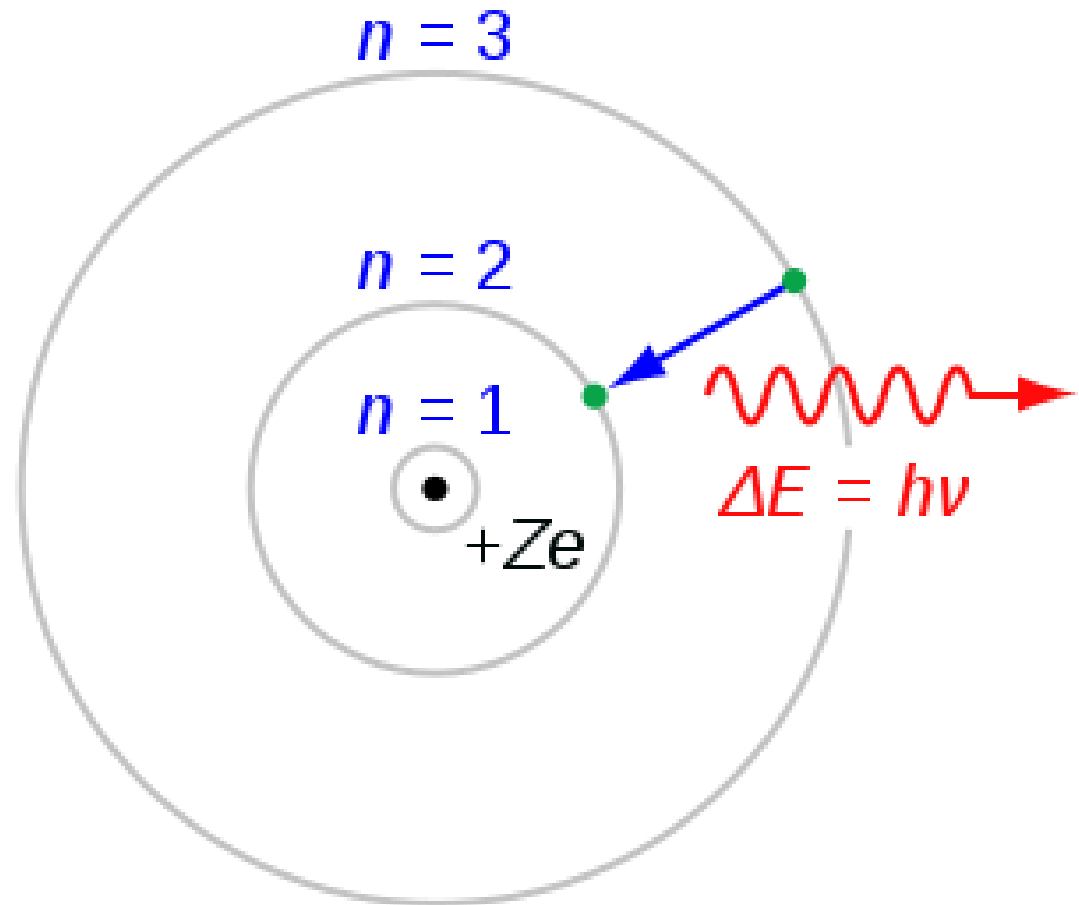
3. Перехід атома з одного стаціонарного стану в інший супроводжується випромінюванням чи поглинанням фотонів, енергію яких визначають за формулою:

$$h\nu_{kn} = E_k - E_n$$

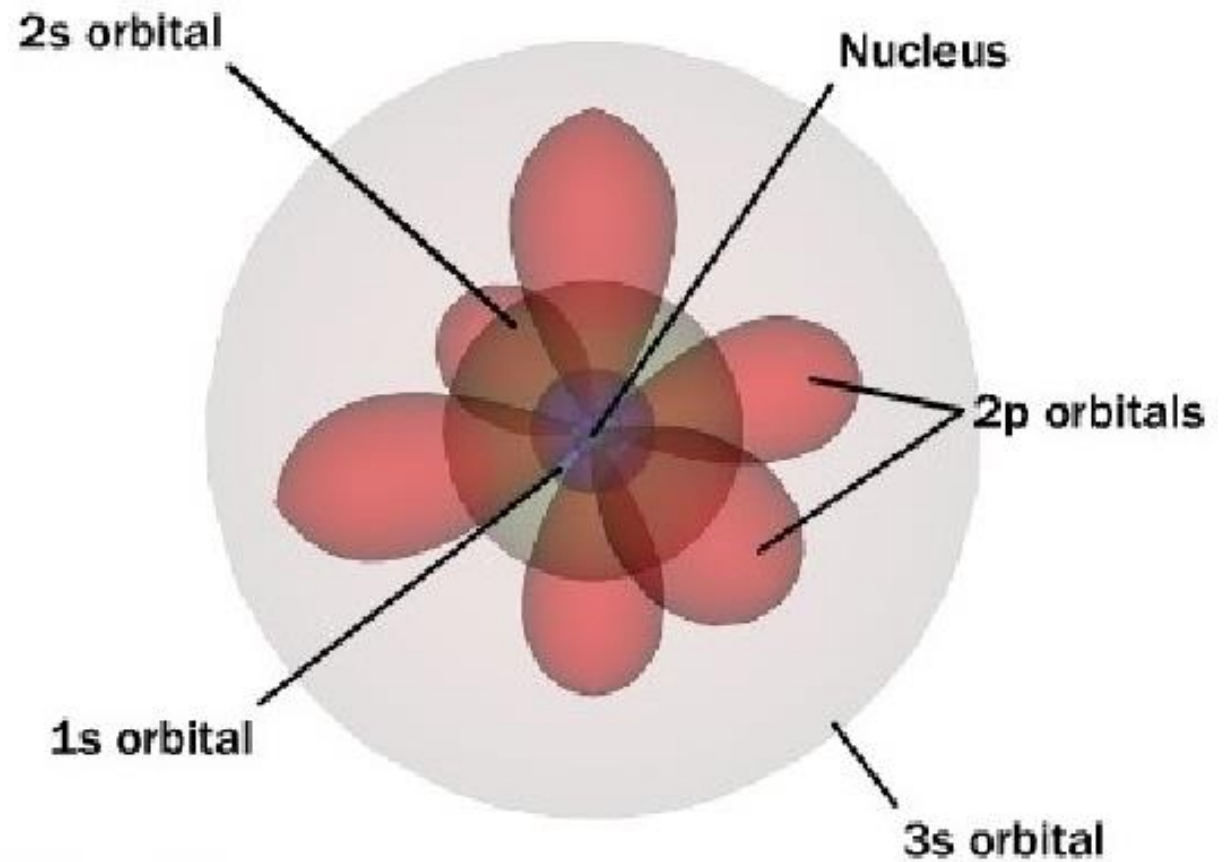
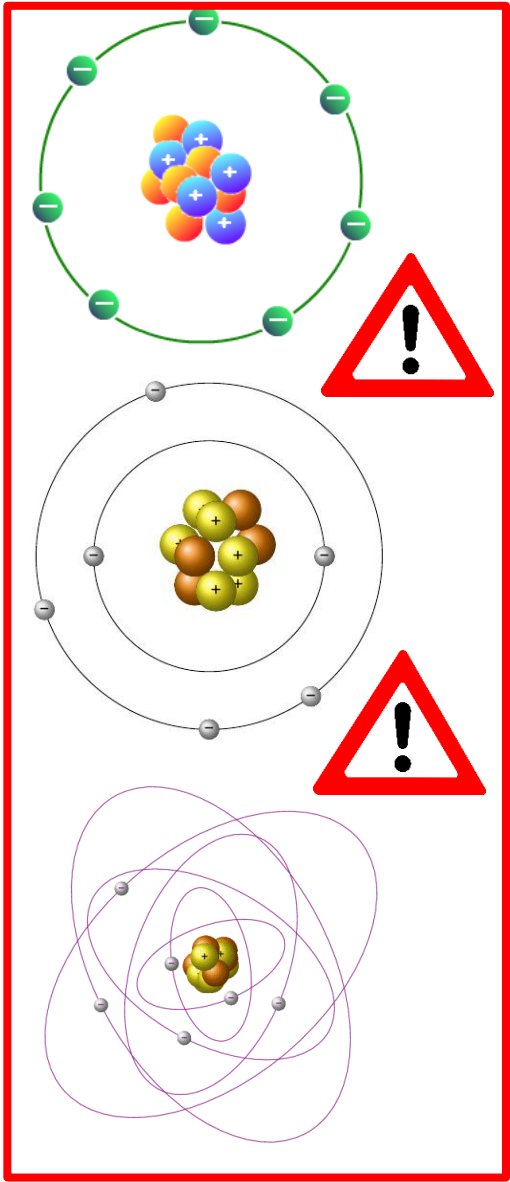
де  $k$  і  $n$  – цілі числа (номери стаціонарних станів), якщо  $E_k > E_n$  – то фотон з частотою  $\nu_{kn}$  випромінюється, якщо  $E_k < E_n$  – поглинається.

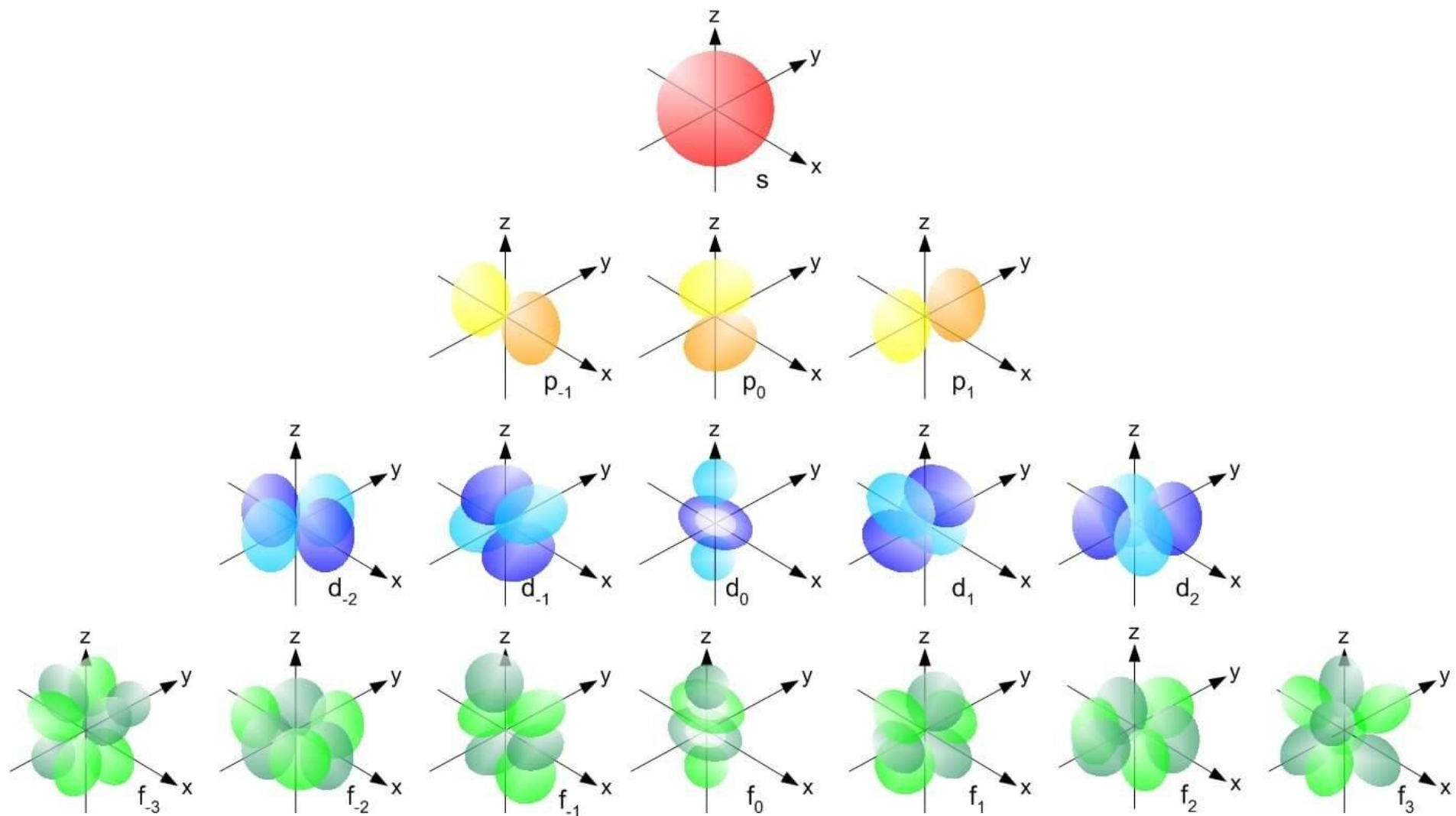


Поглинаючи світло, атом переходить із стаціонарного стану з меншою енергією в стаціонарний стан з більшою енергією. Усі стаціонарні стани, крім одного, є умовно стаціонарними. Нескінченно довго кожен атом може знаходитись лише в стаціонарному стані з мінімальним запасом енергії. Цей стан атома називається основним, всі інші – збудженими.









# Періодична система хімічних елементів

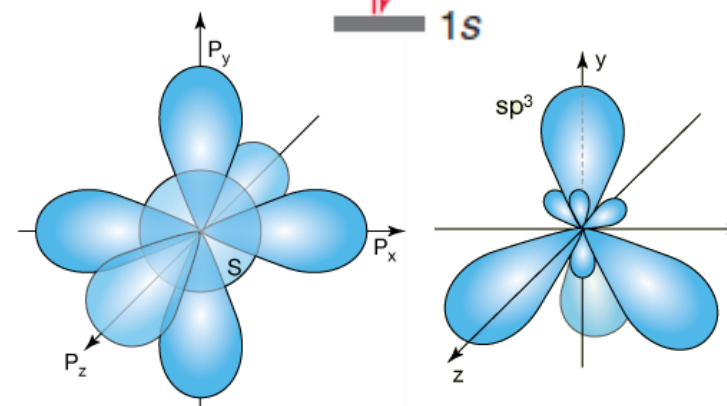
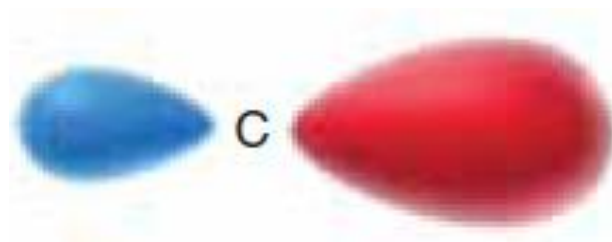
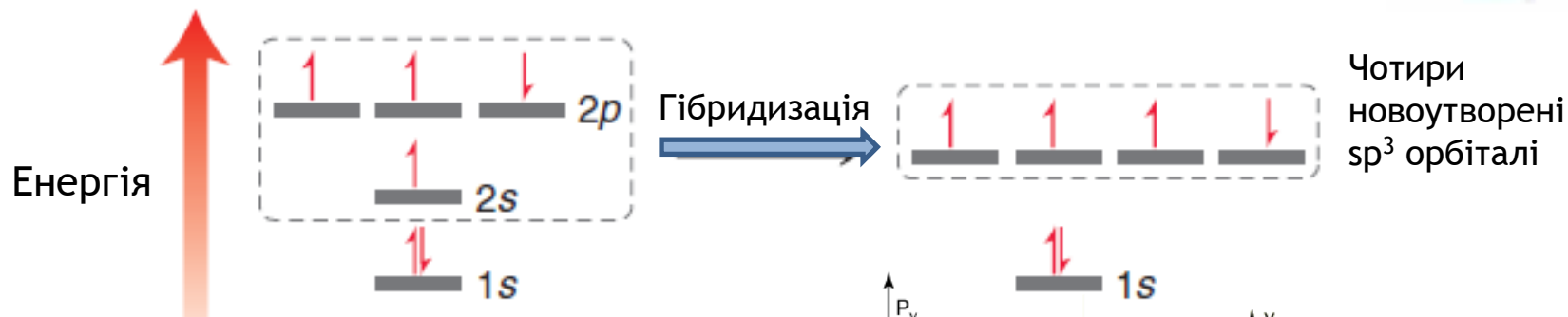
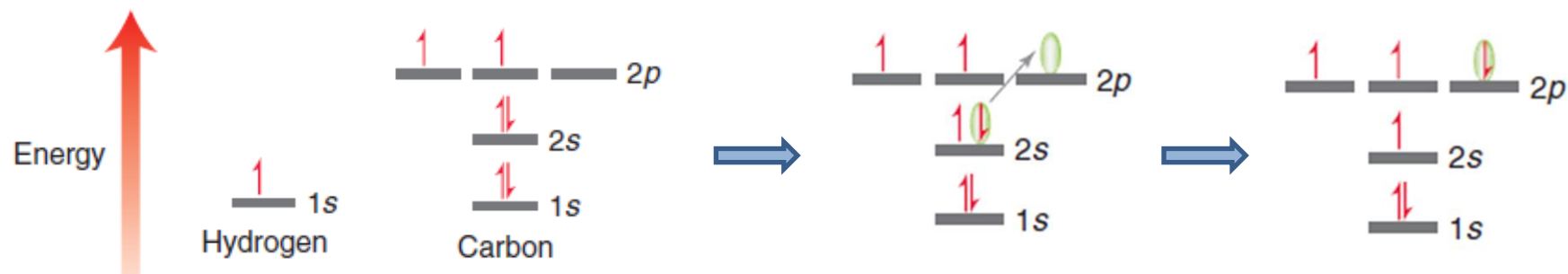
1 IA <b>H</b> Hydrogen 1.01																	18 VIIIA <b>He</b> Helium 4.01	1 Period
3 <b>Li</b> Lithium 6.94	4 IIA <b>Be</b> Beryllium 9.01											5 IIIA <b>B</b> Boron 10.81	6 IVA <b>C</b> Carbon 12.01	7 VA <b>N</b> Nitrogen 14.01	8 VIA <b>O</b> Oxygen 15.99	9 VIIA <b>F</b> Fluorine 18.99	10 VIIIA <b>Ne</b> Neon 20.18	2
11 <b>Na</b> Sodium 22.99	12 IIA <b>Mg</b> Magnesium 24.3											13 IIIA <b>Al</b> Aluminum 26.98	14 IVA <b>Si</b> Silicon 28.08	15 VA <b>P</b> Phosphorus 30.97	16 VIA <b>S</b> Sulfur 32.06	17 VIIA <b>Cl</b> Chlorine 35.45	18 VIIIA <b>Ar</b> Argon 39.95	3
19 <b>K</b> Potassium 39.1	20 IIA <b>Ca</b> Calcium 40.08	21 IIIB <b>Sc</b> Scandium 44.96	22 IVB <b>Ti</b> Titanium 47.87	23 VB <b>V</b> Vanadium 50.94	24 VIB <b>Cr</b> Chromium 51.99	25 VIIB <b>Mn</b> Manganese 54.94	26 VIII <b>Fe</b> Iron 55.85	27 VIII <b>Co</b> Cobalt 58.93	28 VIII <b>Ni</b> Nickel 58.69	29 IB <b>Cu</b> Copper 63.55	30 IIB <b>Zn</b> Zinc 65.38	31 IIIA <b>Ga</b> Gallium 69.72	32 IVA <b>Ge</b> Germanium 72.63	33 VA <b>As</b> Arsenic 74.92	34 VIA <b>Se</b> Selenium 78.97	35 VIIA <b>Br</b> Bromine 79.9	36 VIIIA <b>Kr</b> Krypton 83.8	4
37 <b>Rb</b> Rubidium 85.47	38 IIA <b>Sr</b> Strontium 87.62	39 IIIB <b>Y</b> Yttrium 88.91	40 IVB <b>Zr</b> Zirconium 91.22	41 VB <b>Nb</b> Niobium 92.91	42 VIB <b>Mo</b> Molybdenum 95.95	43 VIIB <b>Tc</b> Technetium (97)	44 VIII <b>Ru</b> Ruthenium 101.07	45 VIII <b>Rh</b> Rhodium 102.91	46 VIII <b>Pd</b> Palladium 106.42	47 IB <b>Ag</b> Silver 107.87	48 IIB <b>Cd</b> Cadmium 112.41	49 IIIA <b>In</b> Indium 114.82	50 IVA <b>Sn</b> Tin 118.71	51 VA <b>Sb</b> Antimony 121.76	52 VIA <b>Te</b> Tellurium 127.6	53 VIIA <b>I</b> Iodine 126.9	54 VIIIA <b>Xe</b> Xenon 131.29	5
55 <b>Cs</b> Cesium 132.91	56 IIA <b>Ba</b> Barium 137.33	57–71 Lanthanides <b>La — Lu</b>	72 IIB <b>Hf</b> Hafnium 178.49	73 IIB <b>Ta</b> Tantalum 180.95	74 VIB <b>W</b> Tungsten 183.84	75 VIIB <b>Re</b> Rhenium 186.21	76 VIII <b>Os</b> Osmium 190.23	77 VIII <b>Ir</b> Iridium 192.22	78 VIII <b>Pt</b> Platinum 195.08	79 IB <b>Au</b> Gold 196.97	80 IIB <b>Hg</b> Mercury 200.59	81 IIIA <b>Tl</b> Thallium 204.38	82 IVA <b>Pb</b> Lead 207.2	83 VA <b>Bi</b> Bismuth 208.98	84 VIA <b>Po</b> Polonium (209)	85 VIIA <b>At</b> Astatine (210)	86 VIIIA <b>Rn</b> Radon (222)	6
87 <b>Fr</b> Francium (223)	88 IIA <b>Ra</b> Radium (226)	89–103 Actinides <b>Ac — Lr</b>	104 IIB <b>Rf</b> Rutherfordium (267)	105 IIB <b>Db</b> Dubnium (270)	106 VIB <b>Sg</b> Seaborgium (269)	107 VIIB <b>Bh</b> Bohrium (270)	108 VIII <b>Hs</b> Hassium (270)	109 VIII <b>Mt</b> Meitnerium (278)	110 VIII <b>Ds</b> Darmstadtium (281)	111 IB <b>Rg</b> Roentgenium (281)	112 IIB <b>Cn</b> Copernicium (285)	113 IIIA <b>Nh</b> Nihonium (286)	114 IVA <b>Fl</b> Flerovium (289)	115 VA <b>Mc</b> Moscovium (289)	116 VIA <b>Lv</b> Livermorium (293)	117 VIIA <b>Ts</b> Tennessine (293)	118 VIIIA <b>Og</b> Oganesson (294)	7

Alkali metals    Alkaline earth metals    Transition metals    Post-transition metals    Metalloids    Nonmetals    Halogens    Noble gases

57 <b>La</b> Lanthanum 138.91	58 <b>Ce</b> Cerium 140.12	59 <b>Pr</b> Praseodymium 140.91	60 <b>Nd</b> Neodymium 144.24	61 <b>Pm</b> Promethium (145)	62 <b>Sm</b> Samarium 150.36	63 <b>Eu</b> Europium 151.96	64 <b>Gd</b> Gadolinium 157.25	65 <b>Tb</b> Terbium 158.93	66 <b>Dy</b> Dysprosium 162.5	67 <b>Ho</b> Holmium 164.93	68 <b>Er</b> Erbium 167.26	69 <b>Tm</b> Thulium 168.93	70 <b>Yb</b> Ytterbium 173.05	71 <b>Lu</b> Lutetium 174.97	6
89 <b>Ac</b> Actinium (227)	90 <b>Th</b> Thorium 232.04	91 <b>Pa</b> Protactinium 231.04	92 <b>U</b> Uranium 238.03	93 <b>Np</b> Neptunium (237)	94 <b>Pu</b> Plutonium (244)	95 <b>Am</b> Americium (243)	96 <b>Cm</b> Curium (247)	97 <b>Bk</b> Berkelium (247)	98 <b>Cf</b> Californium (251)	99 <b>Es</b> Einsteinium (252)	100 <b>Fm</b> Fermium (257)	101 <b>Md</b> Mendelevium (258)	102 <b>No</b> Nobelium (259)	103 <b>Lr</b> Lawrencium (262)	7

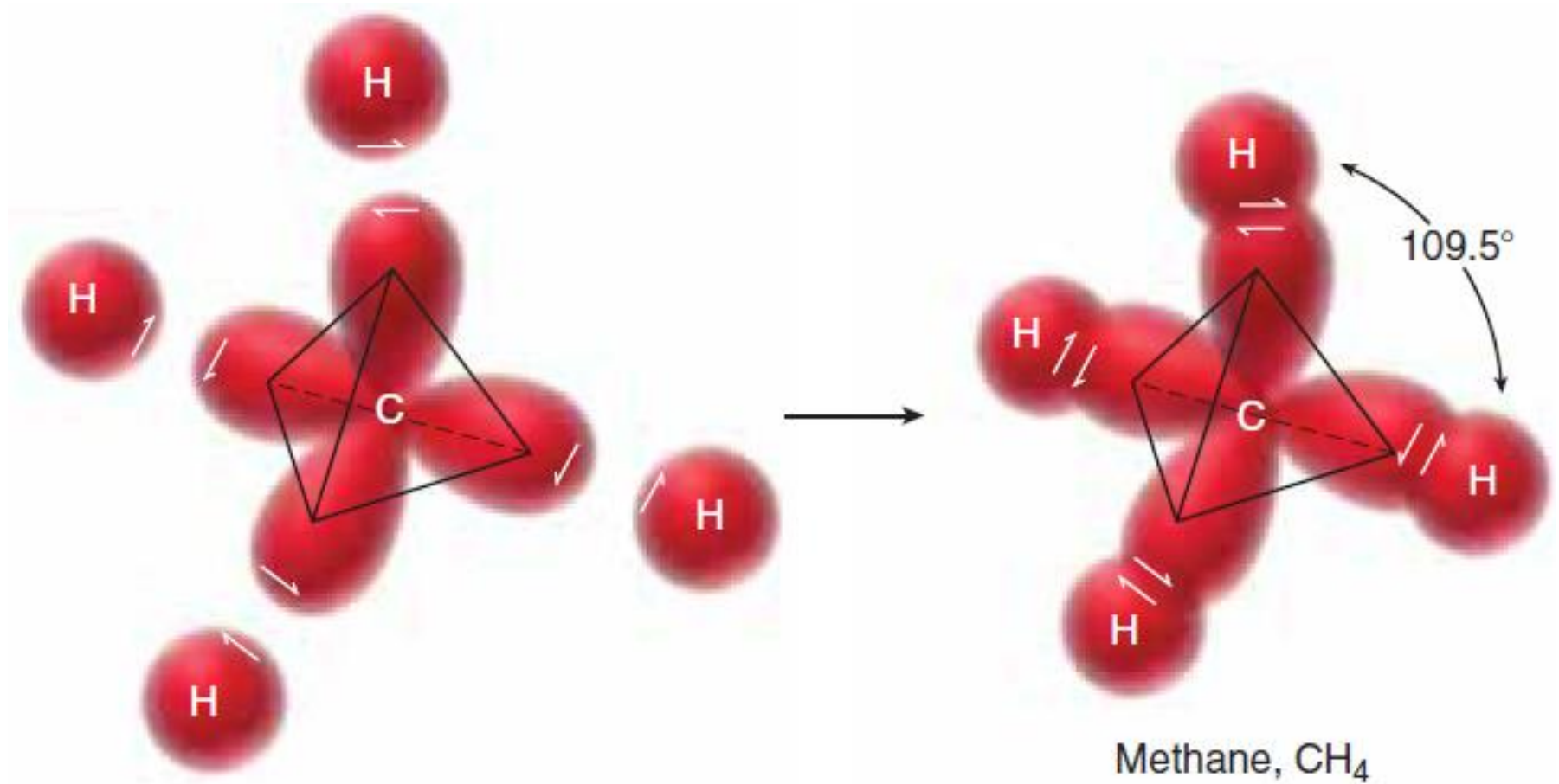
# Утворення молекул шляхом гібридизації електронних орбіталей

Класичний приклад: молекула метану ( $\text{CH}_4$ )



# Утворення молекул шляхом гібридизації електронних орбіталей

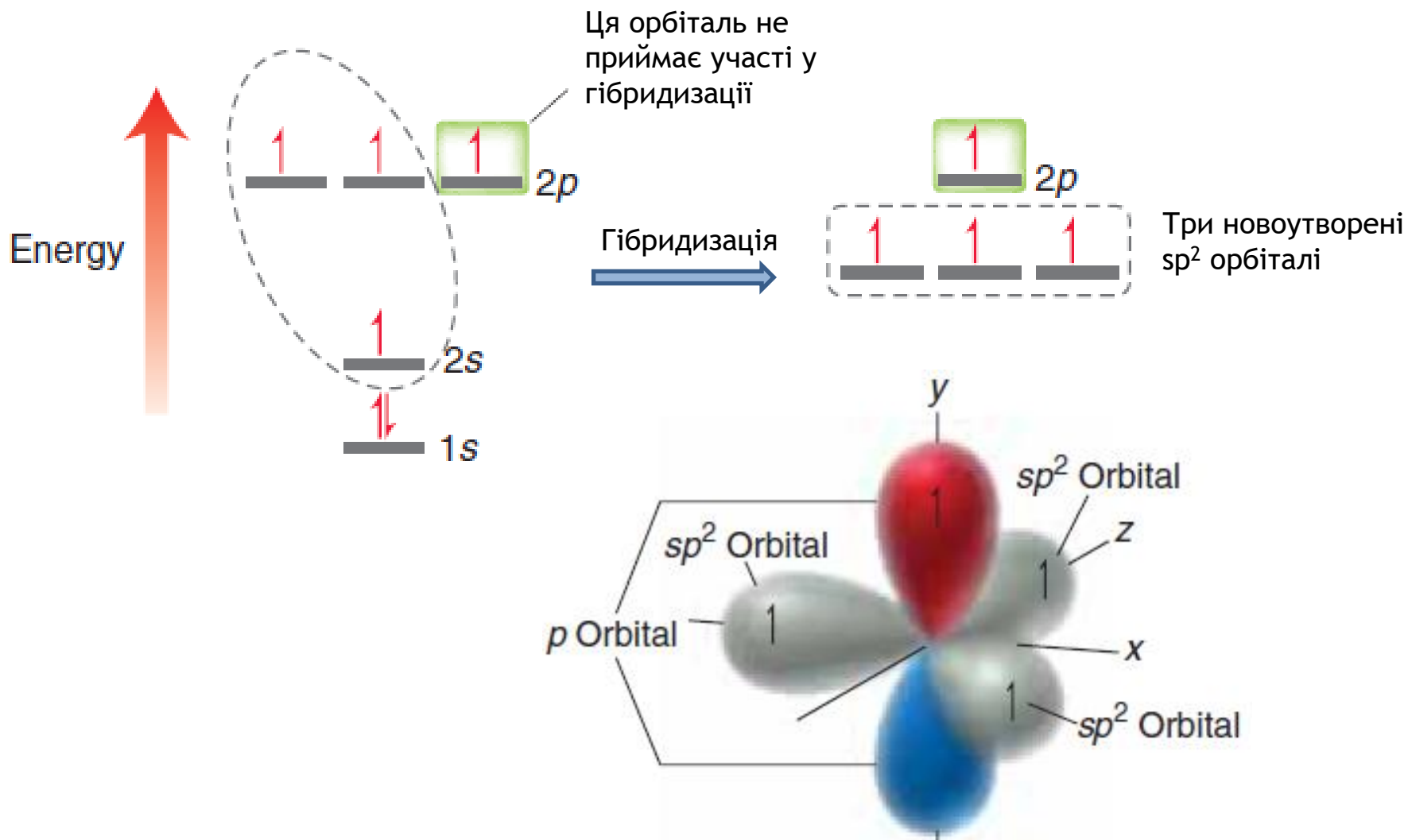
Класичний приклад: молекула метану ( $\text{CH}_4$ )





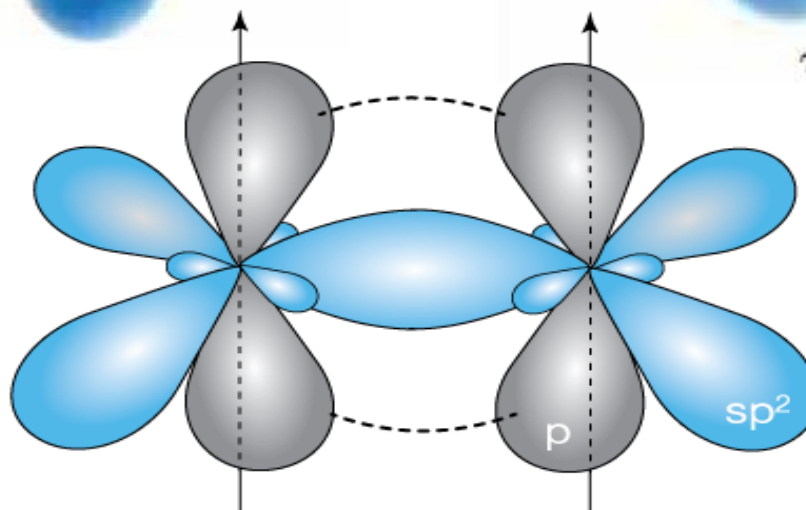
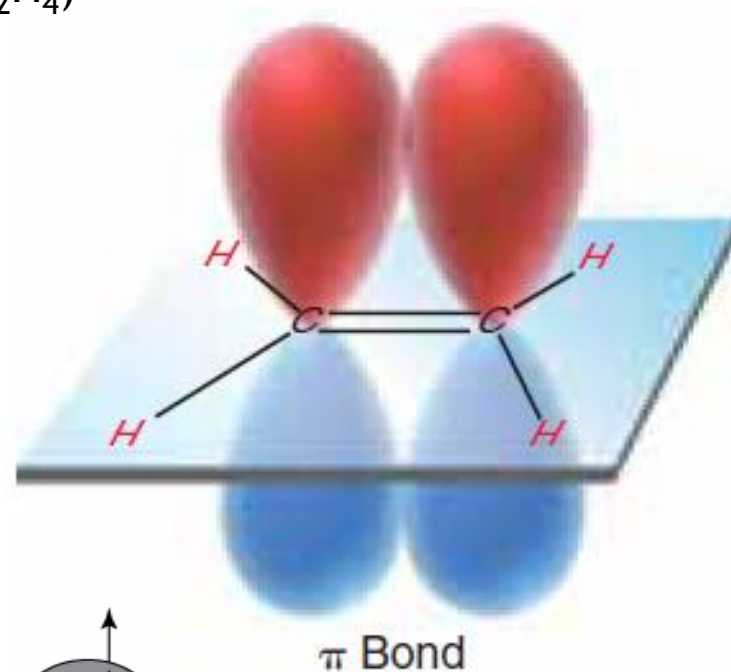
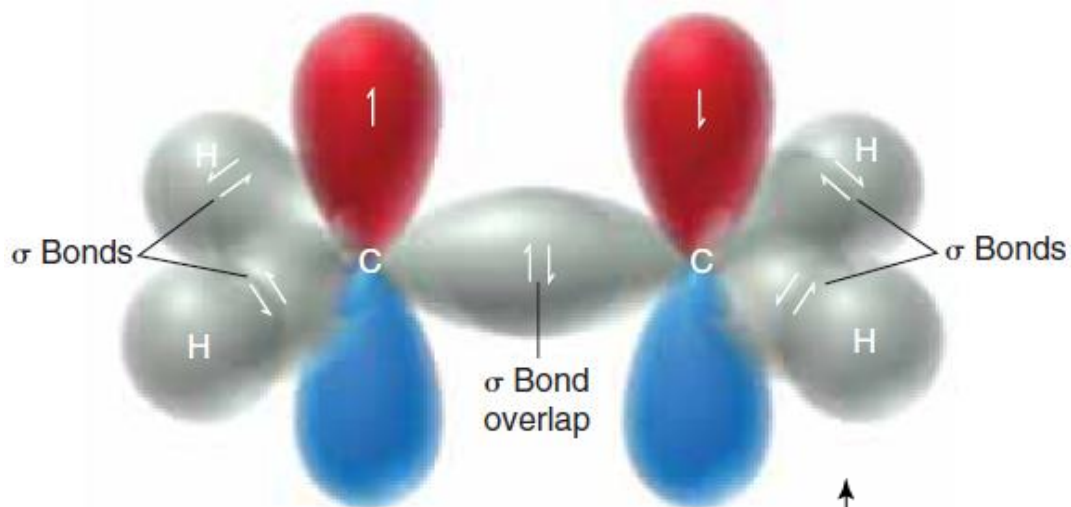
# Утворення молекул шляхом гібридизації електронних орбіталей

Ще один класичний приклад: молекула етилену ( $C_2H_4$ )



# Утворення молекул шляхом гібридизації електронних орбіталей

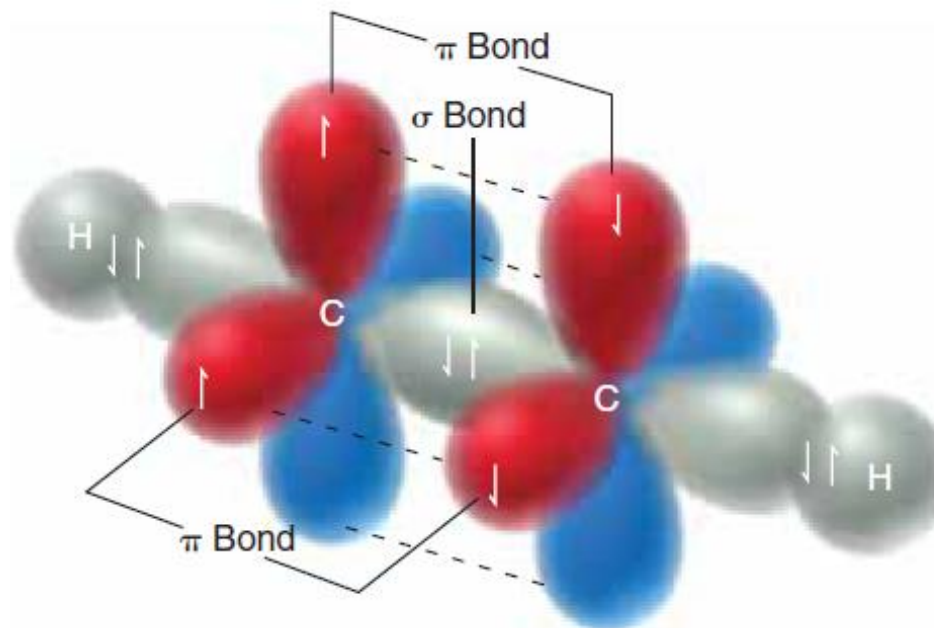
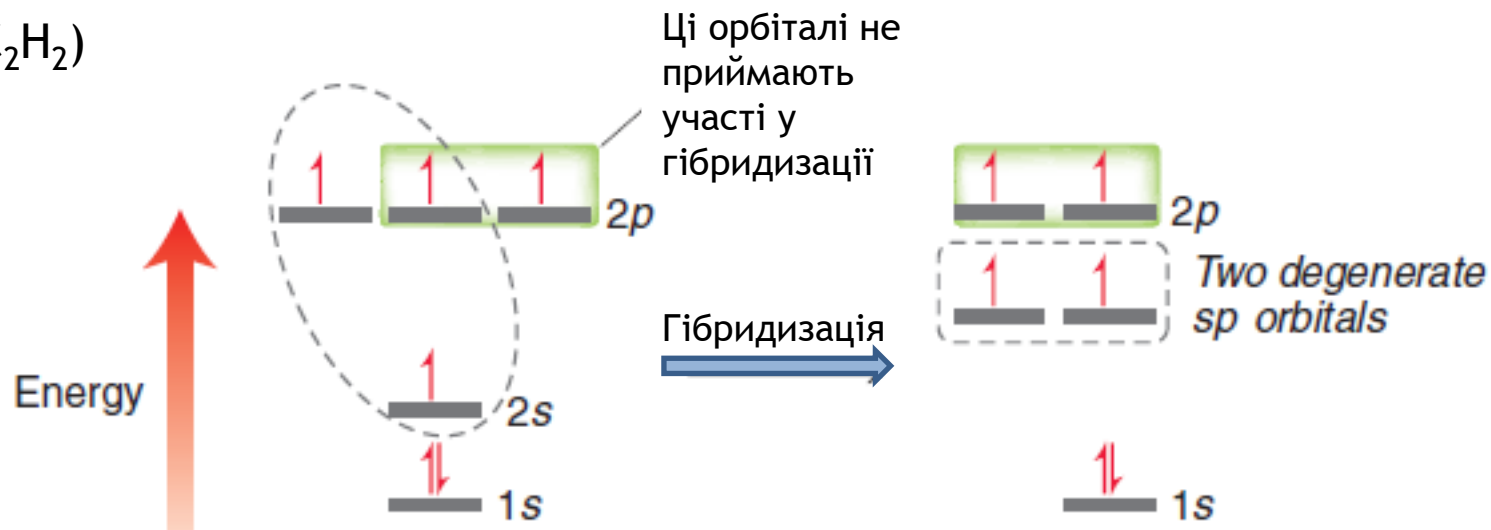
Утворення  $\sigma$ - та  $\pi$ -зв'язків у молекулі етилену ( $C_2H_4$ )





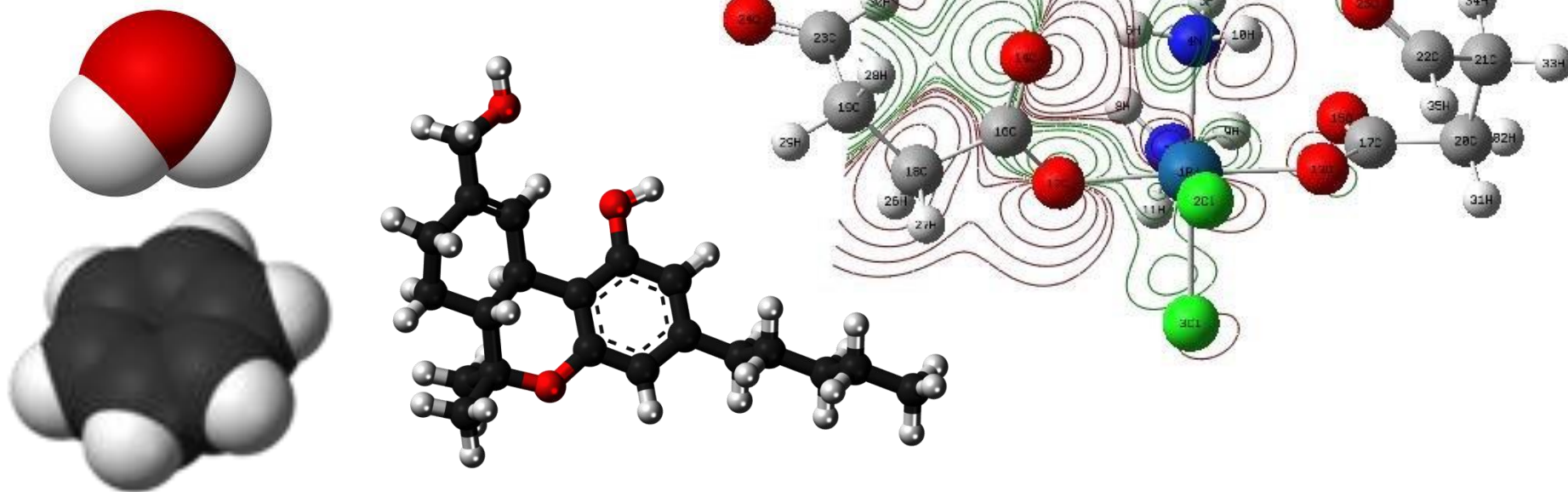
# Утворення молекул шляхом гібридизації електронних орбіталей

Ацетилен ( $C_2H_2$ )



Хоча показана вище гібридизація електронних орбіталей і не є реальним фізичним процесом, але вона використовується у методичних цілях в органічній хімії. Крім того, ця теорія доволі точно описує геометрію молекул.

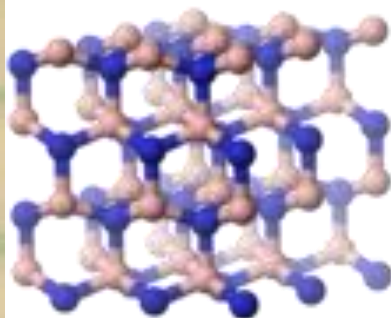
Більш строгою фізичною теорією, яка не лише описує геометрію молекул, але і дає можливість кількісних розрахунків фізичних параметрів речовин (електричні та магнітні властивості, густина, оптичні властивості тощо), є теорія молекулярних орбіталей (МО-теорія), яка ґрунтується на побудові повної хвильової функції для всіх електронів молекули.



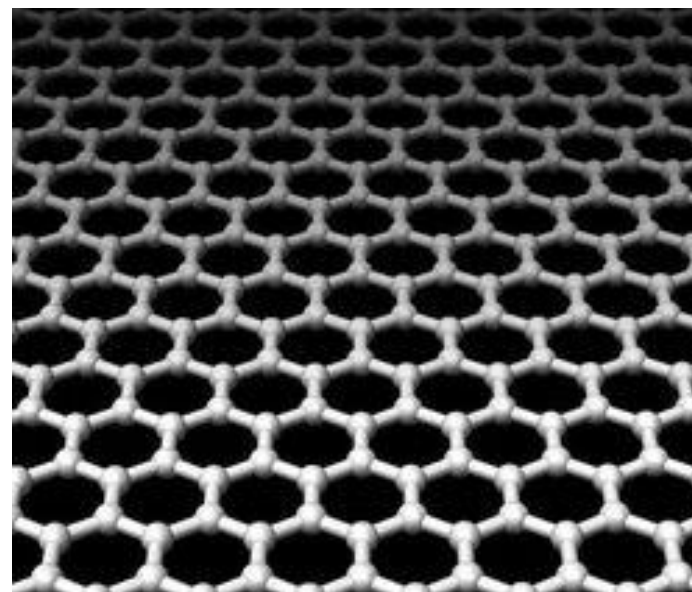
# Взаємозв'язок фізики та хімії

## Нові матеріали з унікальними властивостями

Нітрид бору (BN) (комерційні назви: ельбор, боразон, кінгсоніт, кубоніт)  
По твердості практично такий же, як і алмаз, але залишається стійким до 1300 ° (алмаз - до 700°)



Графен - моноатомний шар атомів вуглецю. Надпровідник, перспективний матеріал для виготовлення акумуляторів, транзисторів, а також потенційний конструкційний матеріал.



Агрегатний стан – термодинамічний стан речовини, сильно відмінний за своїми фізичними властивостями від інших станів цієї ж речовини.



Твердий



Рідкий



Газоподібний










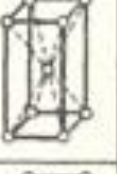

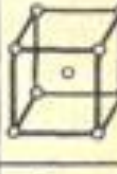

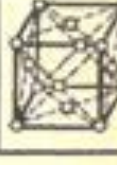


Плазма



# Твердий агрегатний стан

## Кристалічні ґратки

Сингонія Тип решетки	Три- клинная $a \neq b \neq c$ $\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$	Моно- клинная $a \neq b \neq c$ $\alpha = \gamma = 90^\circ$ $\beta \neq 90^\circ$	Ромби- ческая $a \neq b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	Тетраго- нальная $a = b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	Триго- нальная (ромбозд- рическая) $a = b = c$ $\gamma = \beta = \alpha \neq 90^\circ$	Гексаго- нальная $a = b \neq c$ $\gamma = 120^\circ$ $\beta = \alpha = 90^\circ$	Куби- ческая $a = b = c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$
Примитивный							
Базоцентри- рованный							
Объемноцен- трированный							
Гранецентри- рованный							

Густина – це відношення маси тіла до його об'єму:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Густина вимірюється в  $\text{кг}/\text{м}^3$  в системі СІ. В системі СГС одиниця вимірювання густини –  $\text{г}/\text{см}^3$

Для сипких і пористих тіл розрізняють справжню густину – без урахування порожнин і явну густину – відношення маси речовини до всього займаного об'єму.

Як правило, в разі зменшення температури густина збільшується, але є речовини, чия густина в певних температурних діапазонах поводить інакше, наприклад, вода і чавун.

В разі зміни агрегатного стану густина змінюється стрибкоподібно. Найбільшу густину у Всесвіті мають чорні діри ( $\rho \approx 10^{14} \text{ кг}/\text{м}^3$ ) і нейтронні зорі ( $\rho \approx 10^{11} \text{ кг}/\text{м}^3$ ). Найнижчу густину має міжгалактичне середовище ( $\rho \approx 10^{-33} \text{ кг}/\text{м}^3$ ).

В астрономії більше значення має середня густина небесних тіл, за нею можна приблизно визначити склад цього тіла.

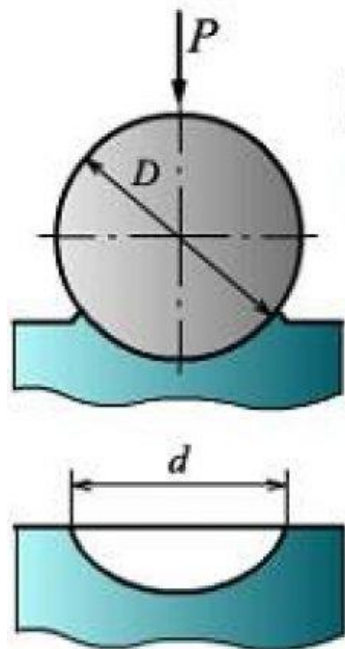
**Твердість** – властивість матеріалу опиратися проникненню до нього іншого, твердішого тіла.

Найтвердішим із відомих матеріалів є ультратвердий фулерит (приблизно в 1,17–1,52 разів твердіший за алмаз). Однак цей матеріал доступний лише у мікроскопічних кількостях. Найтвердішою з поширених речовин є алмаз (10 одиниць за шкалою Мооса).

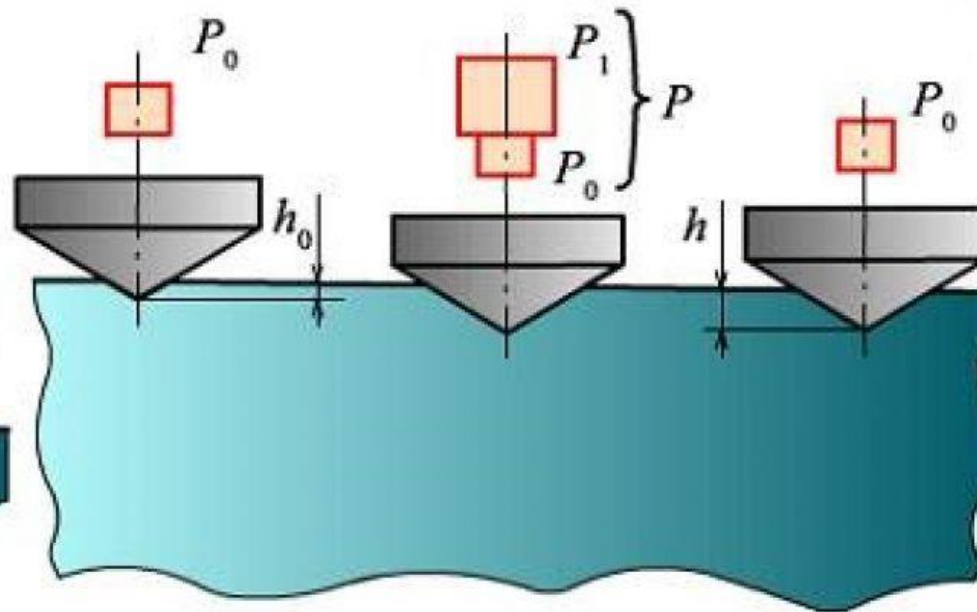
Твердість не є фізичною величиною, оскільки не входить в жодне з фізичних рівнянь, а лише у емпіричні формули, тобто є порядковою величиною. Тому, в Міжнародній системі одиниць СІ, яка побудована на базі Міжнародної системи фізичних величин, немає одиниці для вимірювання твердості. Вона вимірюється за різними порядковими шкалами. Характерною особливістю таких шкал є відсутність одиниці вимірювання, тобто ці шкали є неметричними.



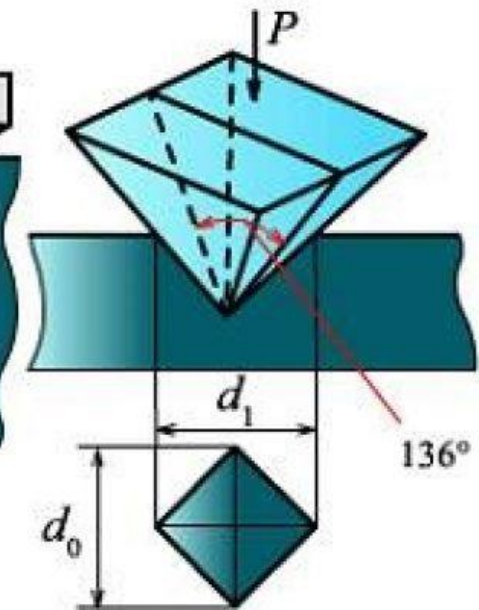
Метод Бріннеля  
(вдавлювання  
металевої  
кульки)



Метод Роквелла  
(вдавлювання алмазного конуса)



Метод Віккерса  
(вдавлювання  
чотирикутної  
алмазної  
пірамідки)

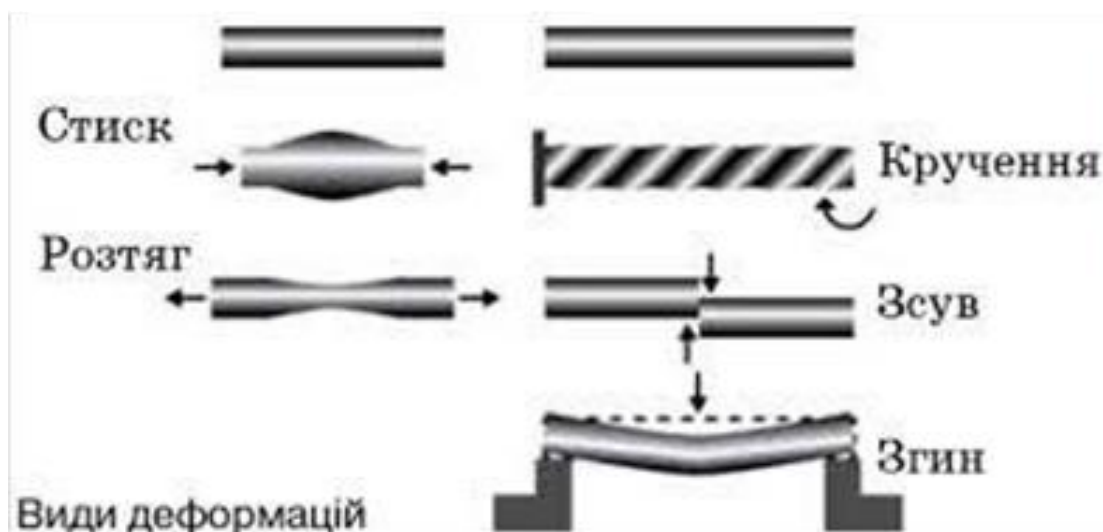


# Вимірювання твердості

## Шкала Мооса

Твердість	Мінерал	Абсолютна твердість
1	Тальк ( $Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$ )	1
2	Гіпс ( $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ )	3
3	Кальцит ( $CaCO_3$ )	9
4	Флюорит ( $CaF_2$ )	21
5	Апатит ( $Ca_5(PO_4)_3(OH-, Cl-, F-)$ )	48
6	Польовий шпат ( $KAlSi_3O_8$ )	72
7	Кварц ( $SiO_2$ )	100
8	Топаз ( $Al_2SiO_4(OH-, F-)_2$ )	200
9	Корунд ( $Al_2O_3$ )	400
10	Алмаз (C)	1500

**Деформація** – зміна розмірів і форми твердого тіла під дією зовнішніх сил (навантажень) або якихось інших впливів (наприклад, температури, електричних чи магнітних полів).





**Закон Гука** встановлює лінійну залежність між деформаціями та механічними напруженнями. Виконується лише для пружних деформацій.

Для розтягу/стискання закон записується як:

$$F = -k \Delta x$$

де  $F$  – сила,  $k$  – коефіцієнт жорсткості,  $\Delta x$  – видовження. Знак мінус показує, що сила напрямлена у протилежний бік до деформації. У цій формулі коефіцієнт жорсткості – це властивість стрижня, а не матеріалу, з якого він виготовлений. Він залежить від матеріалу, але також залежить від довжини стрижня, площі його перерізу.

Коефіцієнт жорсткості стрижня довжиною  $l_0$  та площею поперечного перерізу  $S$  пов'язаний із модулем Юнга:

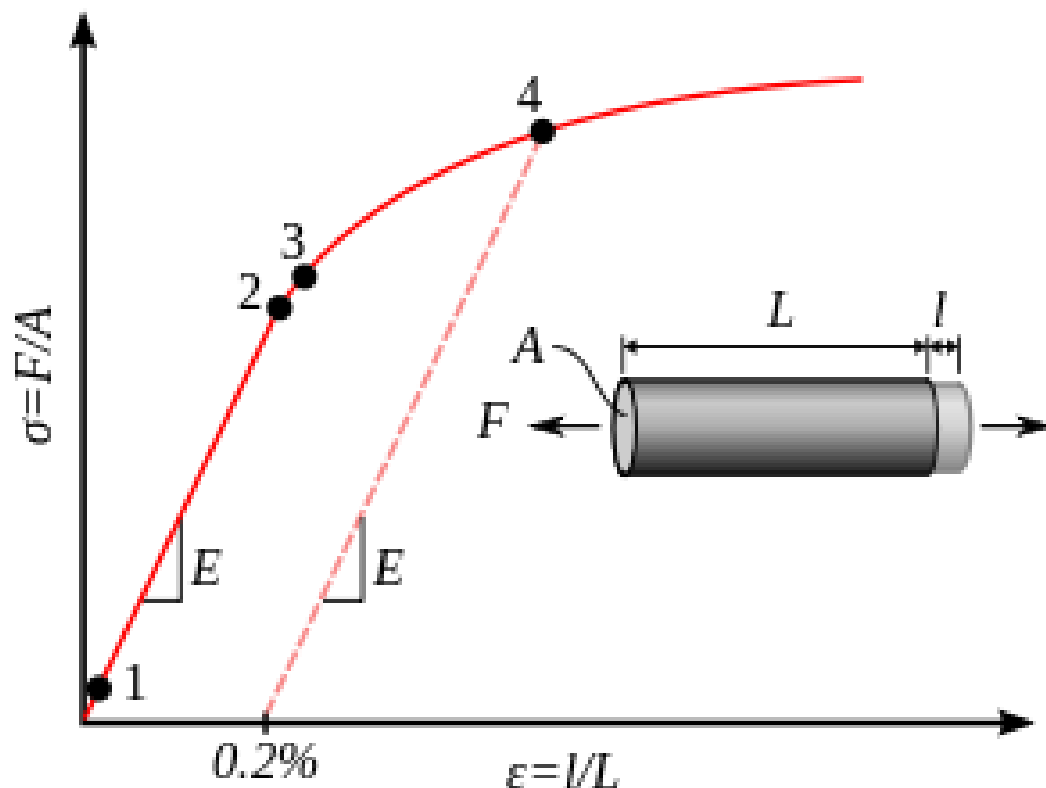
$$k = \frac{E S}{l_0}$$

**Модуль Юнга** (модуль пружності першого роду або модуль пружності під час розтягу) – це фізична величина, що характеризує пружні властивості ізотропних речовин.

**Модуль пружності під час розтягу** – відношення нормального напруження до відповідної лінійної деформації за лінійного напруженого стану до границі пропорційності.

# Деформація розтягу/стиснення

## Границя пропорційності



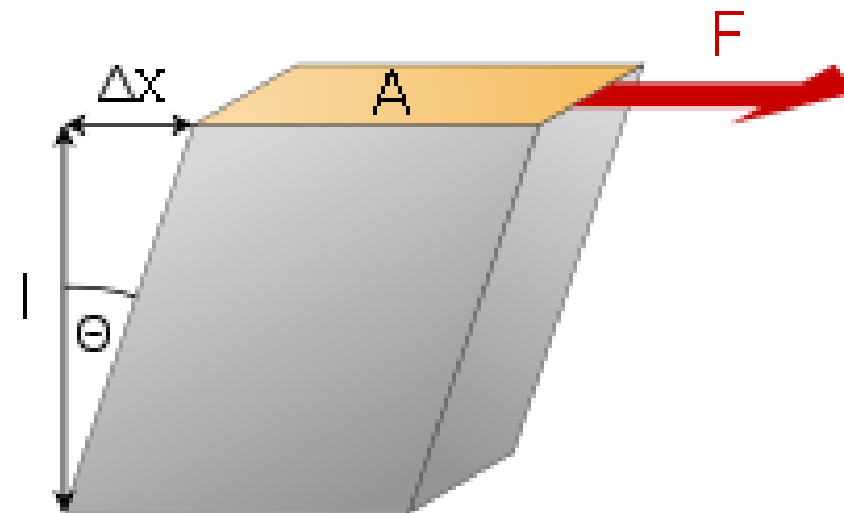
Діаграма деформування металевого матеріалу.

Напруження  $\sigma$  показано у функції від деформації  $\epsilon$  :

- 1: Границя абсолютної пружності
- 2: Границя пропорційності
- 3: Границя пружності
- 4: Границя плинності  $\sigma_{0,2}$

**Границя пружності** — найбільше механічне напруження при навантаженні зразка матеріалу, до якого залишкова деформація при розвантаженні не виявляється.

Модуль зсуву здебільшого позначається грецькою літерою  $\mu$  або латинською літерою  $G$ , й вимірюється в Па. Характерне значення модуля зсуву твердих тіл лежить в області гігапаскалів. Модуль зсуву часто називають **модулем пружності другого роду**.



Фізичний зміст модуля зсуву визначається рівнянням: 
$$\mu = \frac{F l}{A \Delta x}$$

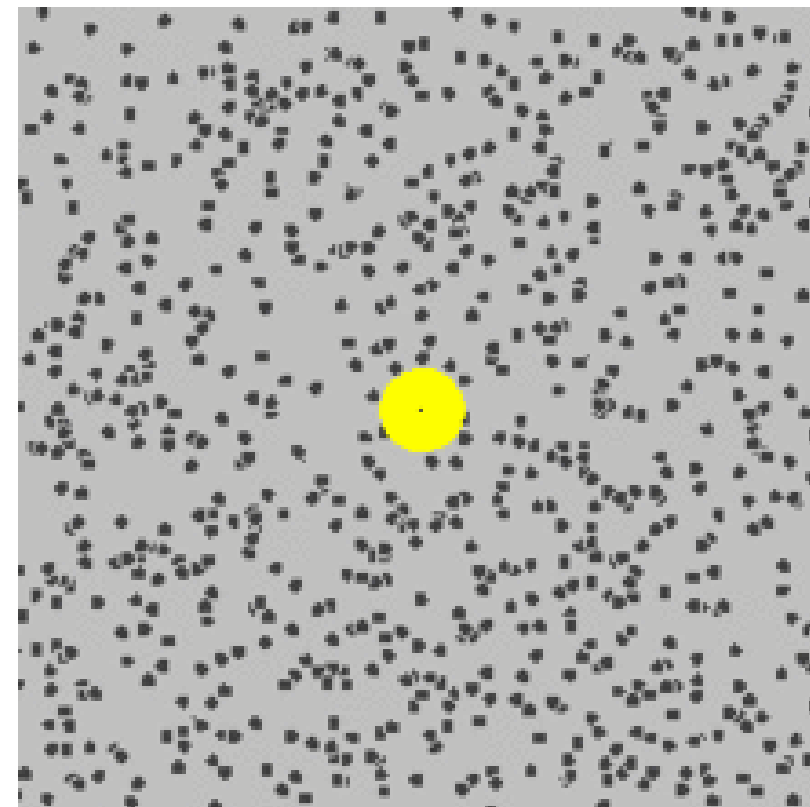
Також є його зв'язок із модулем Юнга: 
$$\mu = \frac{E}{2(1 + \nu)}$$

де  $\nu$  - коефіцієнт Пуассона (міра зміни поперечних розмірів ізотропного тіла при деформації розтягу).



Броунівський рух – невпорядкований, хаотичний рух частинки під дією нерівномірних ударів молекул речовини з різних боків у розчинах. Названий на честь ботаніка Роберта Броуна, який спостерігав це явище під мікроскопом у 1827 р. Теорію броунівського руху сформулював у 1905 р. Альберт Ейнштейн.

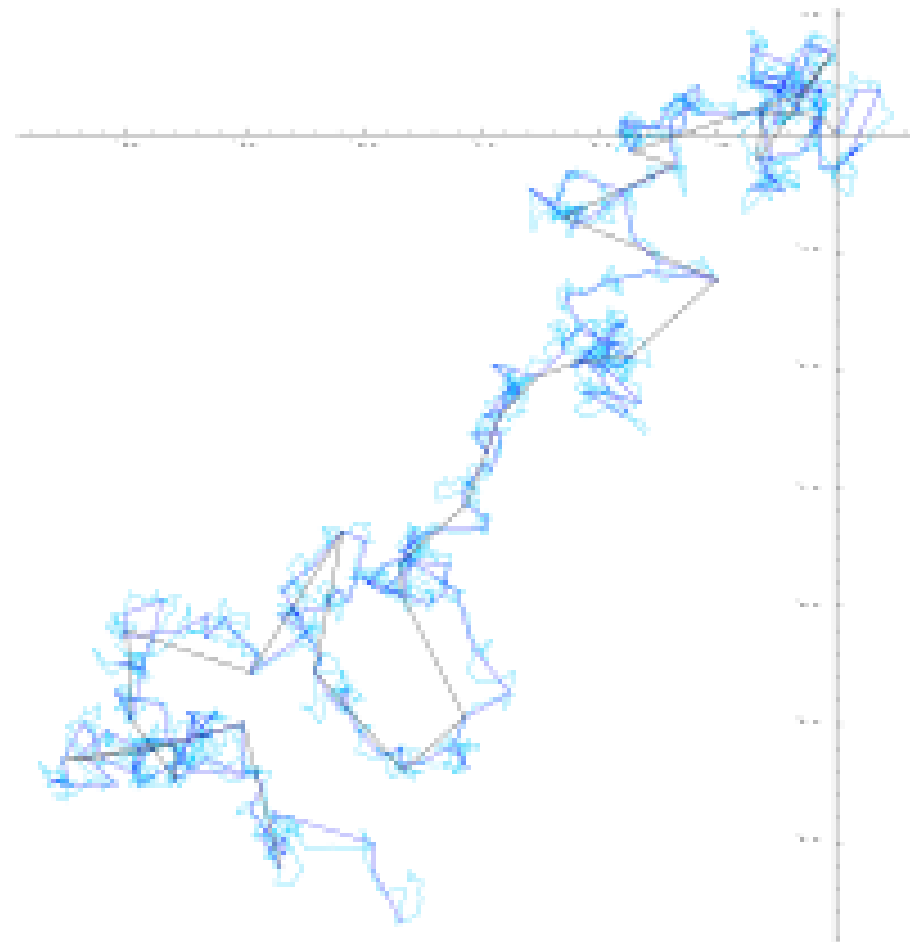
Відкриття й пояснення броунівського руху мало велике значення для фізики, оскільки було свідченням теплового руху молекул. Броун відкрив хаотичний рух спор плауна у воді. Рух завислих частинок відбувався внаслідок руху молекул. Молекули рідини зіштовхуються з завислими у ній частинками, отже й передають їм імпульс. Таким же чином рухаються частинки фарби у воді, пилинки в променях світла (хоча на рух пилинок також впливають і мікропотоки в повітрі) тощо.



Досліди свідчать, що інтенсивність броунівського руху тим більша, чим вища температура рідини, що ще раз підтверджує безпосередній зв'язок броунівського руху з тепловим рухом молекул. Перша кількісна теорія броунівського руху з'явилася у 1905. Її автором був Альберт Ейнштейн. Він записав рівняння, яке враховувало хаотичність сили, що діє на броунівську частинку, і, розв'язавши його, отримав співвідношення

$$\langle x^2 \rangle = \frac{kT}{2\eta\pi r} t,$$

де  $\langle x^2 \rangle$  - середнє значення квадрата зміщення броунівської частинки вздовж осі  $x$  за час  $t$ ,  $T$  - абсолютна температура рідини,  $r$  - радіус частинки,  $\eta$  - динамічна в'язкість а  $k$  - стала Больцмана.



***Фізик, який вивчає атоми - це купка атомів, яка вивчає саму себе.***



Далі буде...

**...Класична механіка**