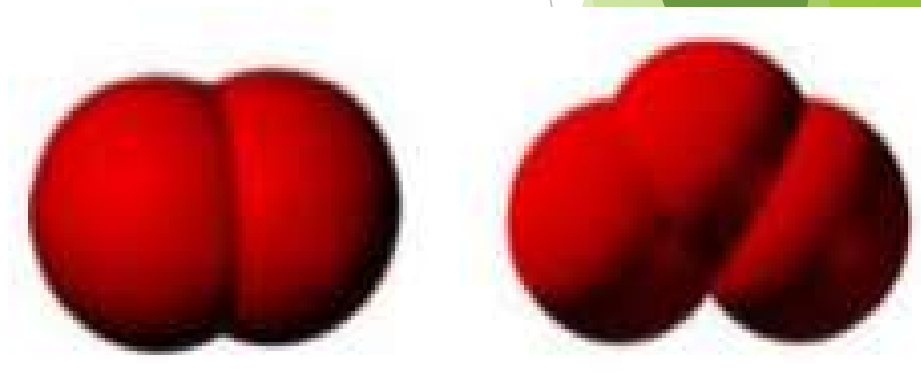


Алотропія. Алотропні модифікації речовин неметалічних елементів

Алотропія (від гр. *ἄλλος, állos* — інший і *τρόπος, trópos* — властивість) - явище існування хімічного елемента у вигляді двох або кількох простих речовин, різних за властивостями і будовою.

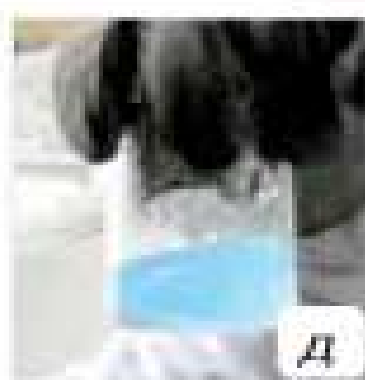
Термін увів Я. Берцеліус у 1841 р.



Алотропія — існування одного хімічного елемента у вигляді кількох простих речовин (алотропних модифікацій або алотропних форм).

1																	2
H																	He
3	4											5	6	7	8	9	10
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
11	12											13	14	15	16	17	18
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
55	56	57-58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73
Cs	Ba		Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
87	88	89-103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118
Fr	Ra		Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Nh	Fl	Mc	Lv	Ts	Og

57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103
Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr



- Зразки неметалів: а – хлор, б – червоний фосфор, в – бром, г – йод, д – кисень рідкий, е – азот рідкий

1. Поняття про явище алотропії

Алотропія залежить від:

**Різного числа
атомів в молекулі
простой речовини
(наприклад O_2 , O_3)**

**Різної структури
кристалів
(наприклад S , P)**

Існує дві причини алотропії:

— різний кількісний склад речовин;

— різна будова речовин, утворених з атомів одного хімічного елемента.



2. Будова неметалів

- ▶ Частина неметалів має атомну будову.
- ▶ З окремих атомів складаються інертні гази — гелій, неон, аргон, криптон, ксенон і радон.
- ▶ У графіті, алмазі, силіції, борі, червоному фосфорі атоми сполучені один з одним.
- ▶ Інші неметали — молекулярні речовини.
- ▶ Існують неметали, які складаються із двохатомних молекул. (Назвіть ці речовини.)
- ▶ Більша кількість атомів міститься в молекулах озону O_3 , білого фосфору P_4 , сірки S_8 .
- ▶ Атоми в неметалах сполучені ковалентними неполярними зв'язками — простими, іноді подвійними, потрійними.

- Алотропні модифікації Оксигену

► *Кисень:*

- • за звичайних умов газ без кольору, смаку та запаху, рідкий кисень — рухома блідо-блакитна рідина, твердий — сині кристали;
- • розчинність у воді: за 0°C в 1 л води розчиняється 4,9 мл кисню, за 20°C — 3,1 мл;
- • густина за нормальних умов 1,43 г/л;
- • $t_{пл} = -183^{\circ}\text{C}$, $t_{кип} = -219^{\circ}\text{C}$;
- • парамагнітний: рідкий та твердий кисень притягуються магнітом.



- Алотропні модифікації Оксигену

▶ **Озон:**

- ▶ • блакитний газ із різким характерним «металічним» запахом, рідкий озон має темно-синій колір, твердий — чорно-фіолетовий;
- ▶ • розчинність у воді: за 0°C в 1 л води розчиняється 49,4мл озону, за 25°C — 45,4 мл;
- ▶ • густина за нормальних умов 2,14 г/л;
- ▶ • $t_{пл} = - 112^{\circ}C$, $t_{кип} = - 197^{\circ}C$;
- ▶ • виявляє слабкі парамагнітні властивості.

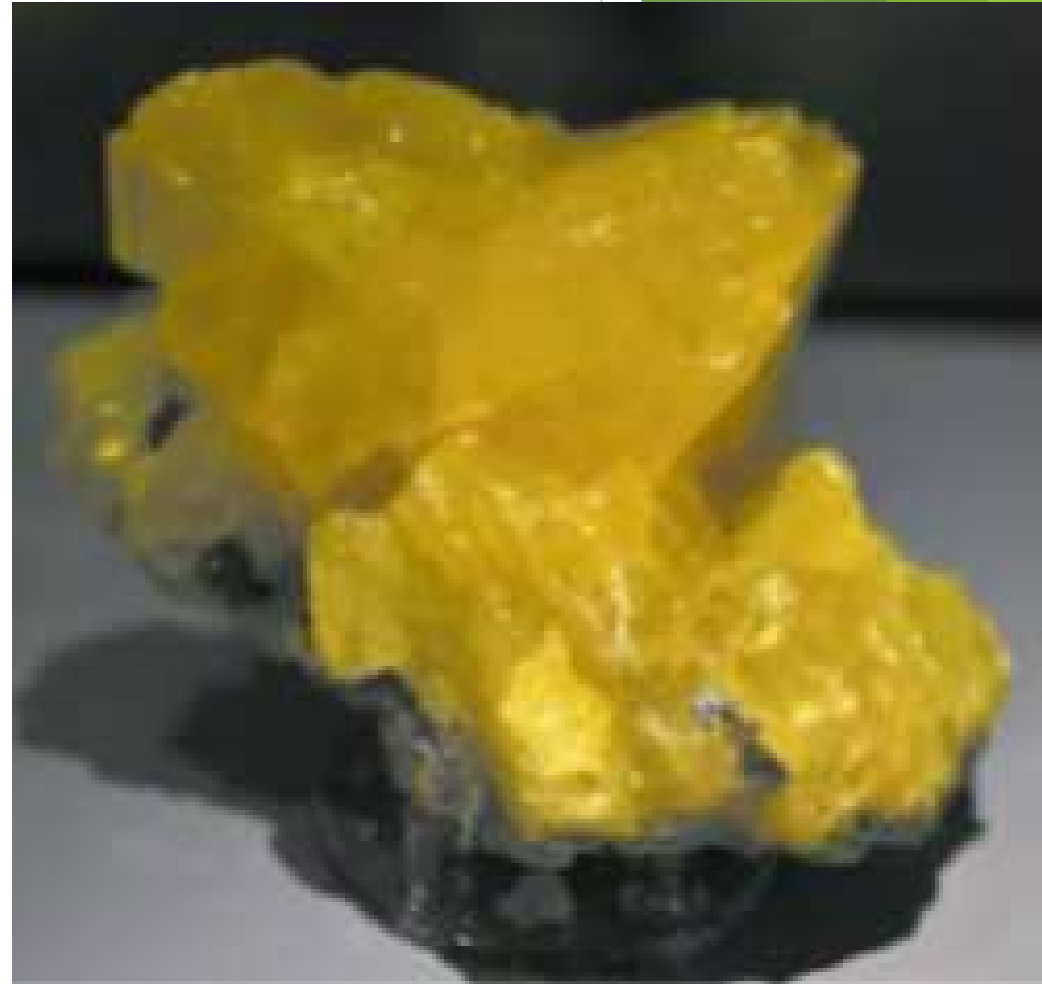


Порівняльна таблиця складу і властивостей кисню й озону

№	Ознаки порівняння	Прості речовини	
		Кисень	Озон
1	Формула	O ₂	O ₃
2	Модель молекули		
3	Будова	молекулярна	молекулярна
4	Відносна молекулярна маса	32	48
5	Агрегатний стан за нормальних умов	газоподібний	газоподібний
6	Відносна густина за повітрям	1,1	1,65
7	Запах	без запаху	запах свіжості
8	Колір за нормальних умов	безбарвний	блакитний
9	Розчинність у воді	розчиняється погано	розчиняється краще за кисень
10	Хімічна активність	висока	дуже висока

- Алотропні модифікації Сульфуру

- ▶ *Ромбічна сірка:*
- ▶ • світло-жовтий порошок або яскраво-жовті кристали з молекулярними кристалічними ґратками;
- ▶ • крихка;
- ▶ • нерозчинна у воді, розчиняється в органічних розчинниках (етанол, хлороформ, бензен тощо);
- ▶ • густина $2,07 \text{ г/см}^3$;
- ▶ • $t_{\text{пл}} = 112,8^\circ\text{C}$, $t_{\text{кип}} = 444,5^\circ\text{C}$;
- ▶ • стабільна за температури менше $95,4^\circ\text{C}$.



- Алотропні модифікації Сульфуру

▶ *Моноклінна сірка:*

- ▶ • темно-жовті голки з молекулярними кристалічними ґратками;
- ▶ • крихка;
- ▶ • нерозчинна у воді, розчиняється в неполярних органічних розчинниках (гексан, хлороформ, бензен тощо);
- ▶ • густина $1,96 \text{ г/см}^3$;
- ▶ • $t_{\text{пл}} = 119,3^\circ\text{C}$, $t_{\text{кип}} = 444,5^\circ\text{C}$;
- ▶ • стабільна за температури вище $95,4^\circ\text{C}$, за меншої температури перетворюється на ромбічну сірку.

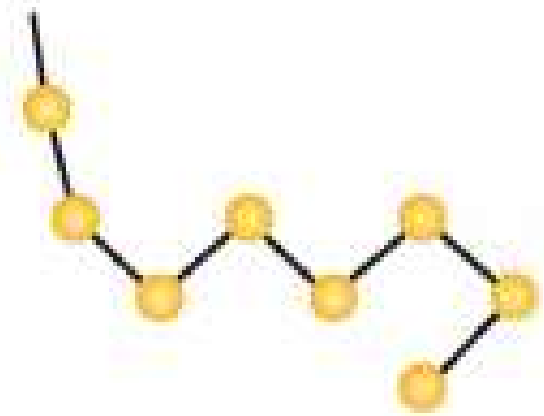
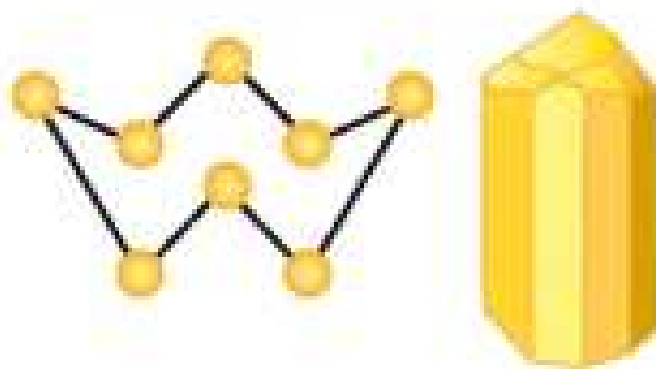
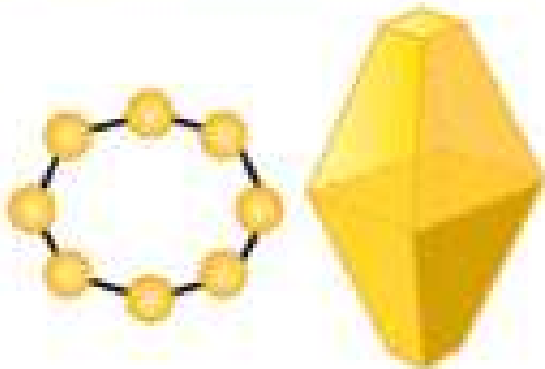


- Алотропні модифікації Сульфуру

- ▶ *Пластична сірка:*
- ▶ • темно-коричнева або темно-жовта аморфна речовина;
- ▶ • еластична, гумоподібна;
- ▶ • нерозчинна;
- ▶ • густина $1,92 \text{ г/см}^3$;
- ▶ • плавиться в діапазоні температур, $t_{\text{кип}} = 445 \text{ }^\circ\text{C}$;
- ▶ • нестабільна, протягом кількох годин стає крихкою і перетворюється на ромбічну



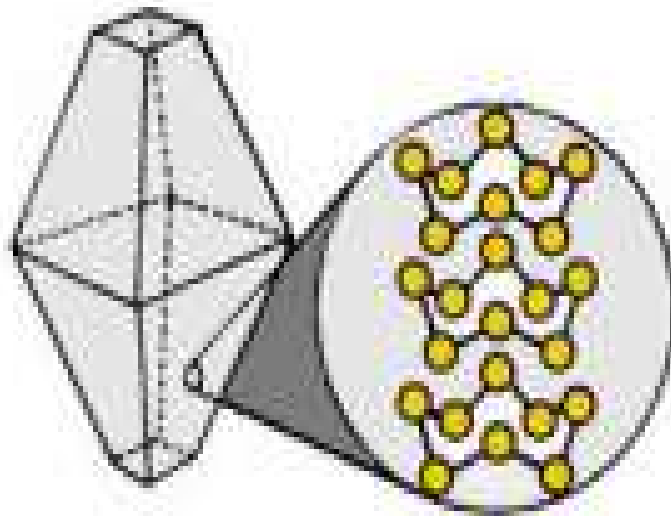
а - Ромбічна сірка, б - Моноклінна сірка, в - Пластична сірка



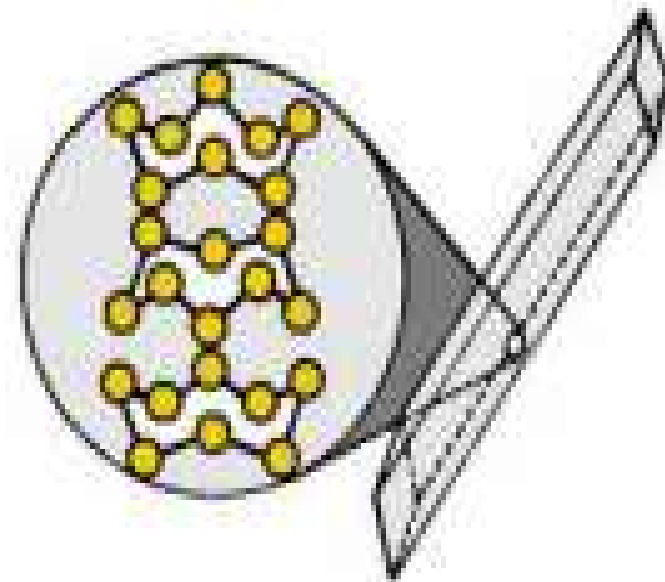
Кулестержнева модель молекули S_8 (а).
Будова кристалів ромбічної (б) і моноклінної (в) сірки



а

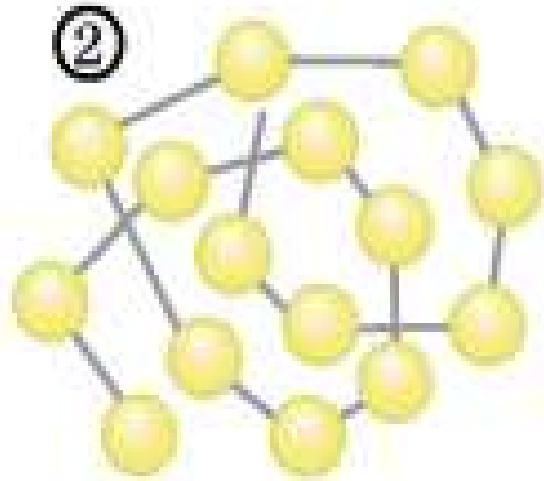


б

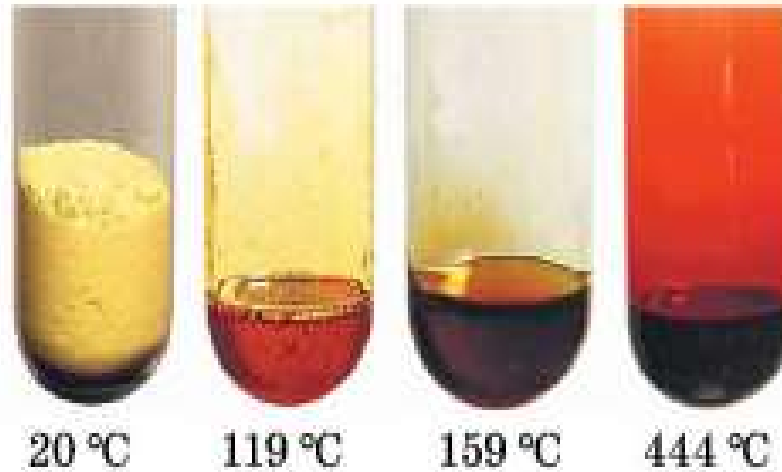


в

Утворення пластичної сірки та її структура



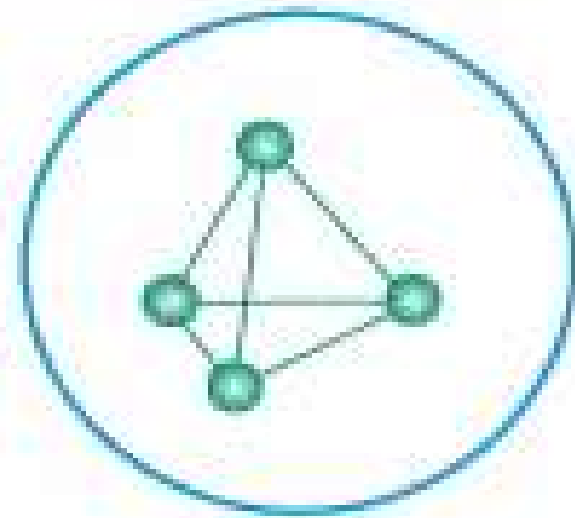
Плавлення сірки супроводжується зміною будови її молекул і, як наслідок, - змінами кольору, в'язкості розплаву тощо



- Алотропні модифікації Фосфору

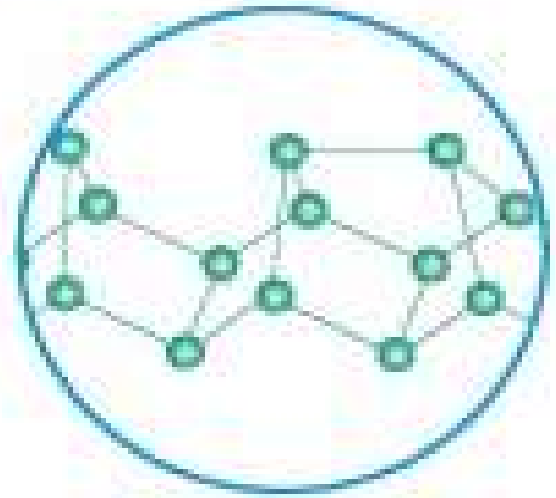
▶ Білий фосфор P_4

- ▶ • Безбарвний, воскоподібний, на світлі швидко жовтіє і втрачає прозорість;
- ▶ • м'який, можна розрізати ножом;
- ▶ • має молекулярні кристалічні ґратки з тетраедричними молекулами P_4 у вузлах; .
- ▶ • $t_{пл} = 44 \text{ } ^\circ\text{C}$;
- ▶ • нерозчинний у воді, розчиняється в органічних розчинниках;
- ▶ • густина $1,82 \text{ г/см}^3$;
- ▶ • вогнебезпечний, займається навіть від теплоти людського тіла, тому його зберігають під шаром води;
- ▶ • на повітрі повільно окиснюється, майже вся енергія цієї екзотермічної реакції виділяється у вигляді світла, яке видно в темряві;
- ▶ • отруйний, смертельна доза для дорослої людини близько $0,05\text{-}0,1 \text{ г}$;
- ▶ • утворюється з червоного фосфору під час тривалого нагрівання за температури $240\text{-}250 \text{ } ^\circ\text{C}$ в інертній атмосфері.



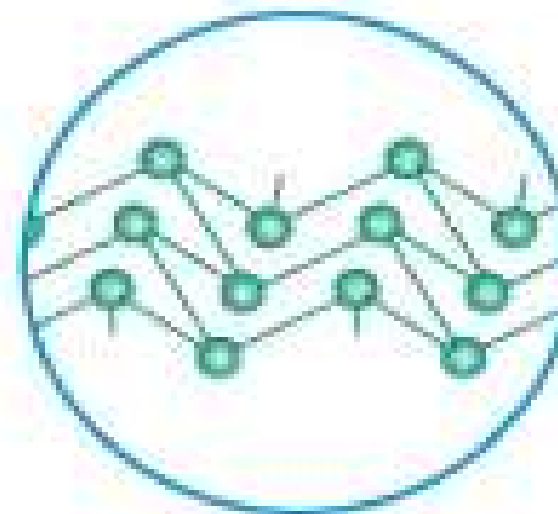
- Алотропні модифікації Фосфору

- ▶ **Червоний фосфор (P_4)_∞**
- ▶ • Аморфний червоно-фіолетовий порошок залежно від ступеня подрібнення може бути від пурпурово-червоного до фіолетового кольору, тому червоний фосфор іноді називають фіолетовим;
- ▶ • крихкий, має атомні кристалічні ґратки;
- ▶ • температури плавлення не має, за температури 240-250 °С сублимує і перетворюється на випари білого фосфору;
- ▶ • густина 2,4 г/см³;
- ▶ • неотруйний;
- ▶ • хімічно менш активний за білий, його можна зберігати на повітрі;
- ▶ • під час зберігання на повітрі поступово окиснюється з утворенням гігроскопічного оксиду, поглинає воду з повітря і відволожується, тому його необхідно зберігати в герметичному посуді;
- ▶ • утворюється з білого фосфору під час несильного тривалого нагрівання.



- Алотропні модифікації Фосфору

- ▶ *Чорний фосфор P_{∞}*
- ▶ • Чорна речовина з металічним блиском, жирна на дотик (схожа на графіт);
- ▶ • має атомні кристалічні ґратки, що складаються із шарів атомів Фосфору;
- ▶ • $t_{пл} = 1000 \text{ }^{\circ}\text{C}$ за тиску 18 атм.;
- ▶ • не розчиняється в жодному розчиннику і важко вступає в хімічні реакції;
- ▶ • густина $2,69 \text{ г/см}^3$;
- ▶ • виявляє напівпровідникові властивості;
- ▶ • неотруйний;
- ▶ • утворюється за високого тиску (20 тис. атм.) із білого й червоного фосфору.



- Алотропні модифікації Фосфору

▶ *Металічний фосфор*

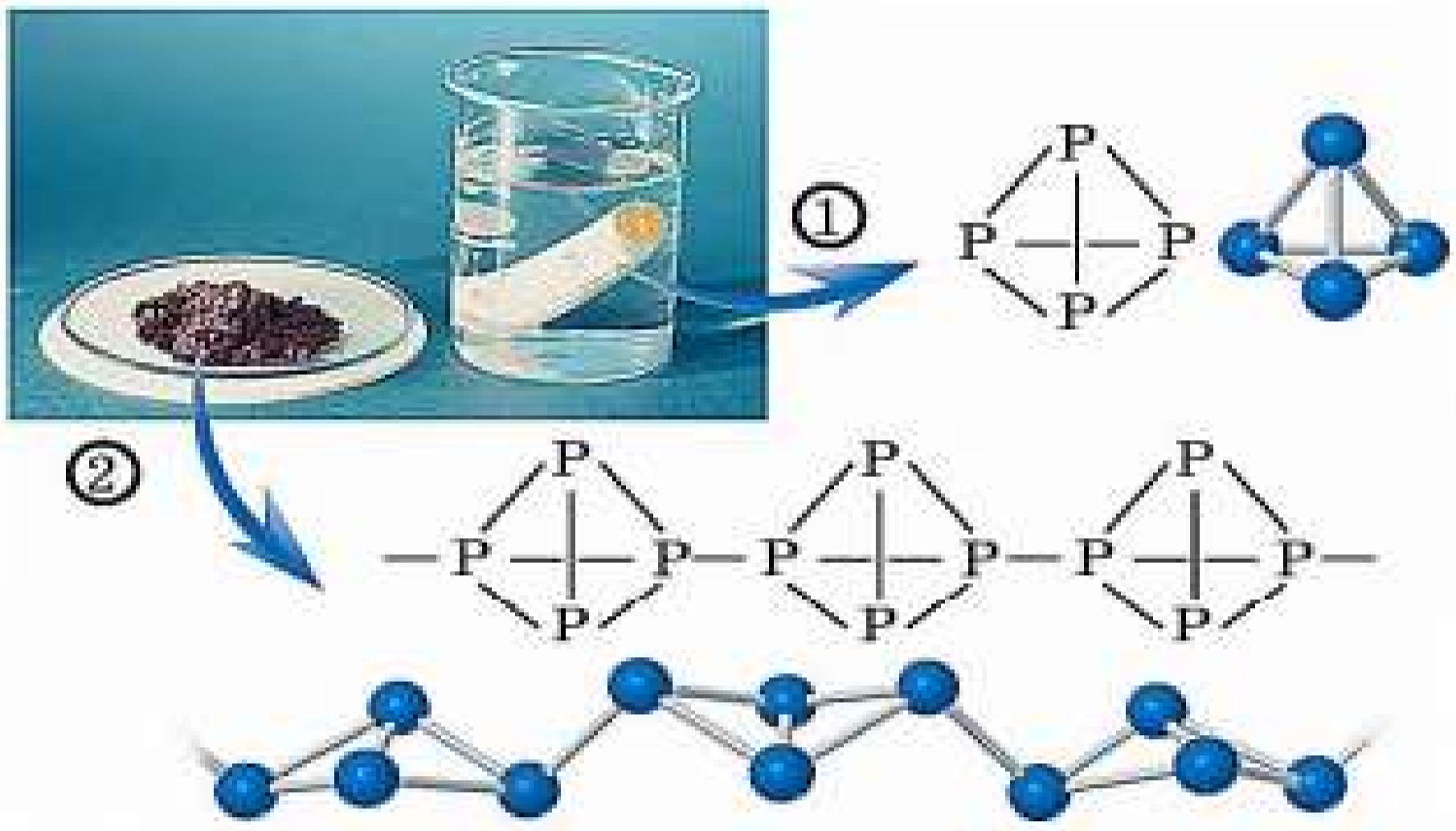
- ▶ • Сіра речовина з металічним блиском;
- ▶ • густина $3,56 \text{ г/см}^3$;
- ▶ • проводить електричний струм;
- ▶ • утворюється з чорного під тиском близько 1 млн. атм.



а - Білий фосфор, б - Червоний фосфор, в - Чорний фосфор



1. Білий фосфор P_4 - молекулярна речовина.
2. Червоний фосфор $(P_4)_\infty$ - полімерна сполука складної будови

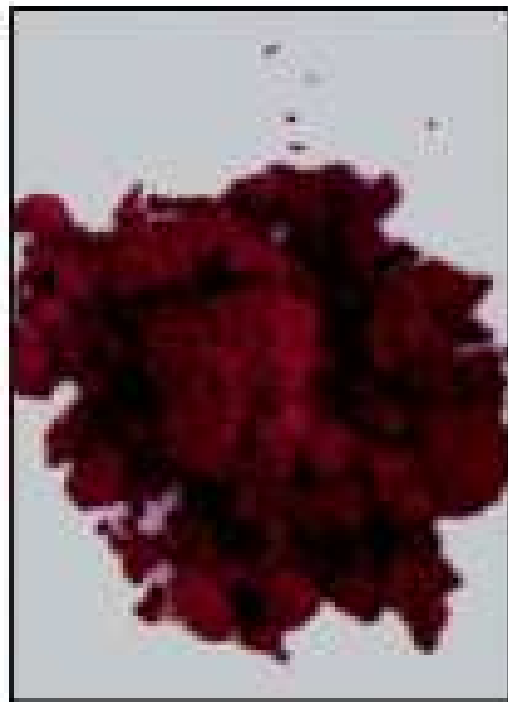




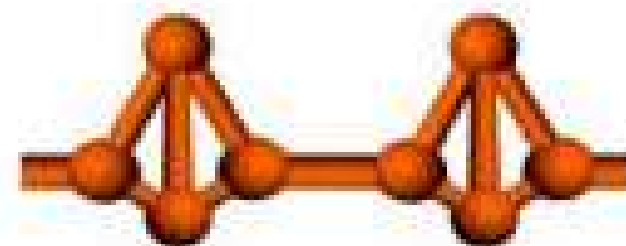
Білий фосфор



Модель молекули P₄



Червоний фосфор



Модель фрагмента будови червоного фосфору

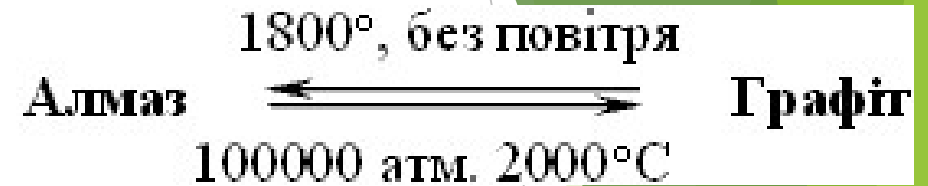
- Алотропні модифікації Карбону

Природні:

- ▶ Алмаз
- ▶ Графіт
- ▶ Фулерен
- ▶ Вуглецеві нанотрубки

Штучні:

- ▶ Карбін
- ▶ Графен
- ▶ аморфний вуглець у вигляді сажі та деревного вугілля.



- Алотропні модифікації Карбону

- ▶ Алмаз (від давньогрец. *adamas* — незламний) — найтвердіший природний матеріал. Він надзвичайно тугоплавкий, розплавити його вдається лише за температури близько 4000 °С і тиску понад 100 атм.
- ▶ Незважаючи на високу твердість, алмаз крихкий — його можна розколоти ножем. Він погано проводить теплоту, є діелектриком.
- ▶ Унікальні властивості алмазу зумовлені особливостями його кристалічних ґраток.
- ▶ Кристал алмазу являє собою єдиний каркас із атомів Карбону — саме тому він має надзвичайну твердість
- ▶ Алмаз метастабільний: за звичайних умов він може існувати нескінченно довго, але за підвищеної температури поступово перетворюється на графіт.



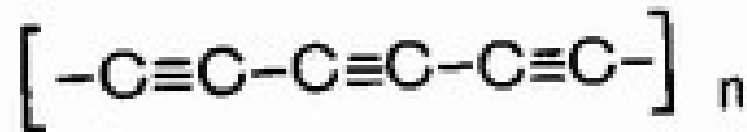
- Алотропні модифікації Карбону

- ▶ Графіт, на противагу алмазу, — це м'яка речовина, за твердістю поступається навіть паперу.
- ▶ Він жирний на дотик, має металічний блиск.
- ▶ На відміну від більшості неметалів, графіт проводить електричний струм, але не так добре, як метали. Графіт має шарувату структуру — атоми Карбону в ньому утворюють пласкі шари. Окремий шар зверху нагадує бджолині стільники.
- ▶ Графіт складається з окремих лусочок. Коли графітовий олівець торкається паперу, частина лусочок залишається на аркуші, утворюючи слід.
- ▶ Недарма слово «графіт» походить від грецького «**графо**», що означає «**пишу**».
- ▶ За кімнатної температури й атмосферного тиску графіт — це найстійкіша модифікація Карбону. За тиску 50 тис. атм., підвищеної температури і наявності каталізатора (нікелю) у промисловості одержують штучні алмази, які використовують у техніці. Але маса таких алмазів не перевищує 0,2 г.



- Алотропні модифікації Карбону

- **Карбін** за фізичними властивостями схожий на графіт і іноді трапляється в ньому у вигляді білих прожилок. Карбін має лінійну будову:

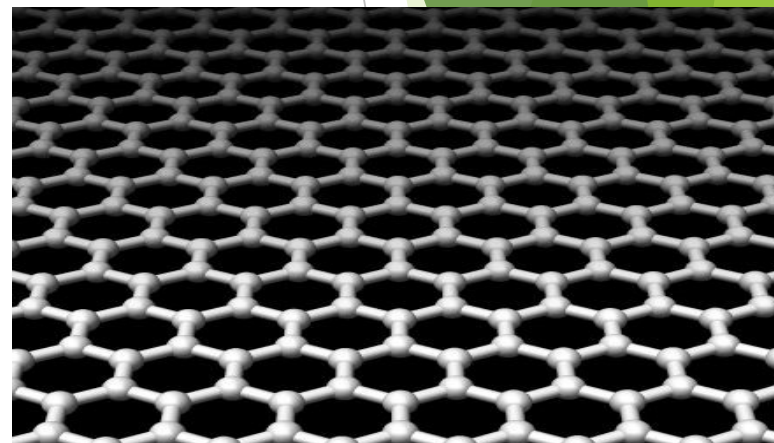


Карбіни — електронейтральні сполуки одновалентного атома вуглецю з вільною електронною парою та неспареним електроном. Зовнішнім виглядом карбін: чорний дрібнодисперсний порошок, має напівпровідникові властивості.

Теоретичні розрахунки говорять про найбільшу термодинамічну стійкість нової форми елементарного вуглецю. Крім того, очікується, що нитковидні кристали карбіну виявляться найміцнішими матеріалами на Землі.

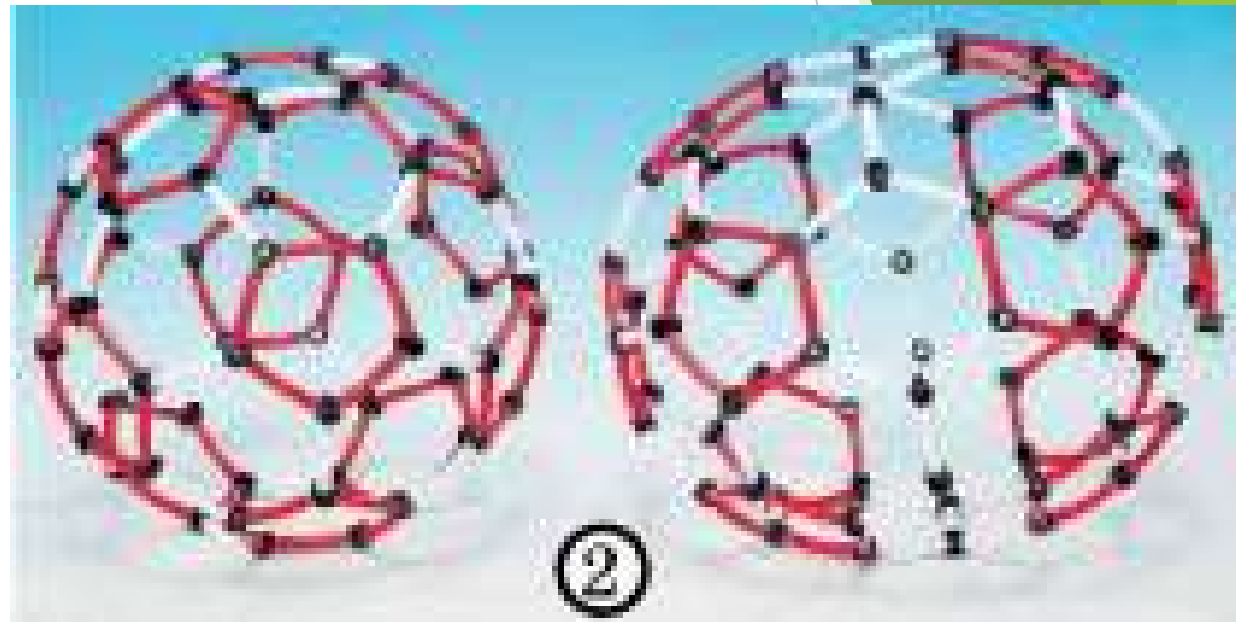
- Алотропні модифікації Карбону

- ▶ Графен був відкритий в 2004 році.
- ▶ Графен схожий за своєю будовою на окремий атомний шар у структурі графіту.
- ▶ Графен можна уявити у вигляді «розгорнутої» вуглецевої нанотрубки.
- ▶ **Цікаво!** Британські вчені використали графен для побудови дрона Juno і у липні 2018 р. Завдяки новітньому матеріалу безпілотник може літати в грозу, оскільки, за словами розробників, розряди блискавки просто розпорошаться по фюзеляжу.
- ▶ Також перевагами є менша вага дрона і захист від замерзання.



- Алотропні модифікації Карбону

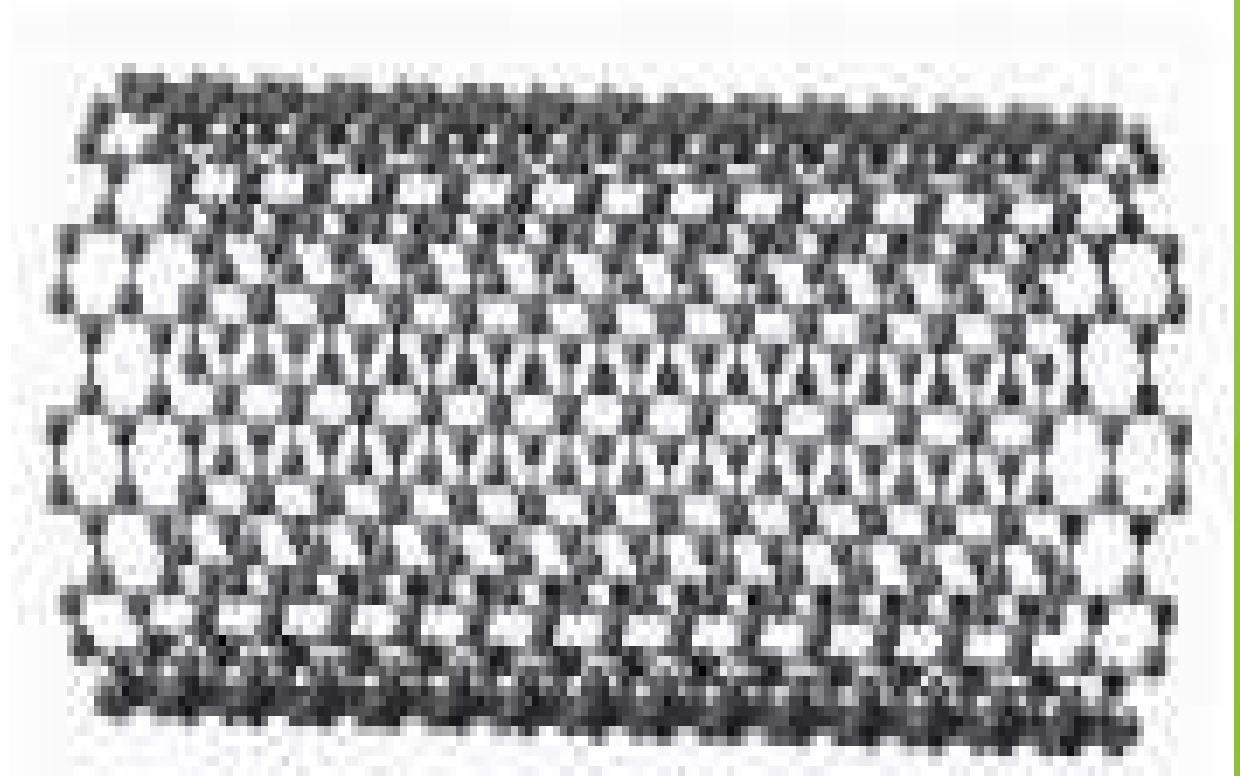
- ▶ Фулерени — це тверді кристалічні речовини, які, на відміну від інших алотропних модифікацій, розчиняються в органічних розчинниках з утворенням яскраво забарвлених розчинів. Молекули фулеренів являють собою сфери або еліпсоїди.



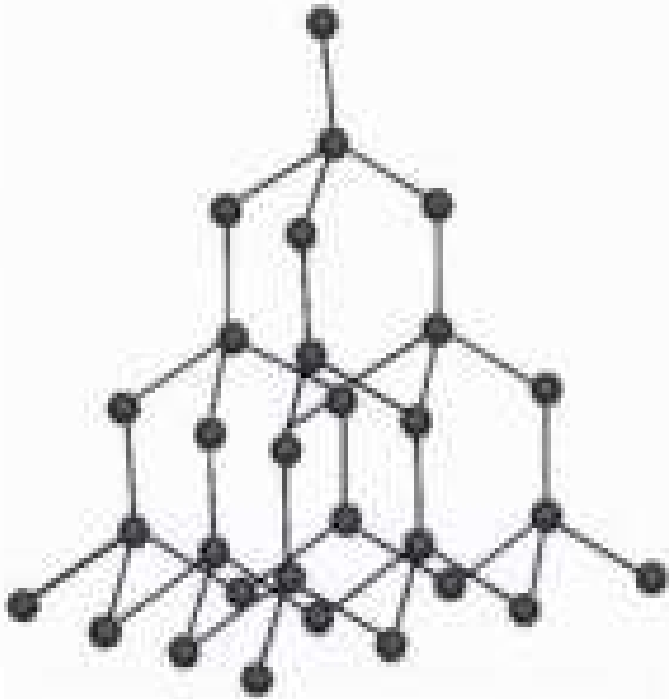
- ▶ Моделі молекул фулерену C_{60} та фулерену C_{70}

- Алотропні модифікації Карбону

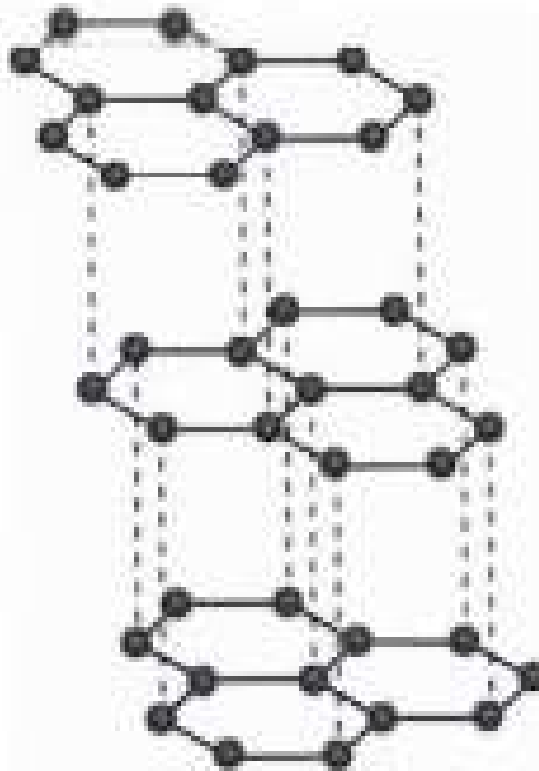
- ▶ **Вуглецеві або карбонові нанотрубки** — протяжні циліндричні структури діаметром від одного до декількох десятків нанометрів і завдовжки до декількох мікронів.
- ▶ Вуглецеві нанотрубки — трубчасті наноутворення вуглецю. Виявлені 1991 року. Бувають одно- і багатошарові.



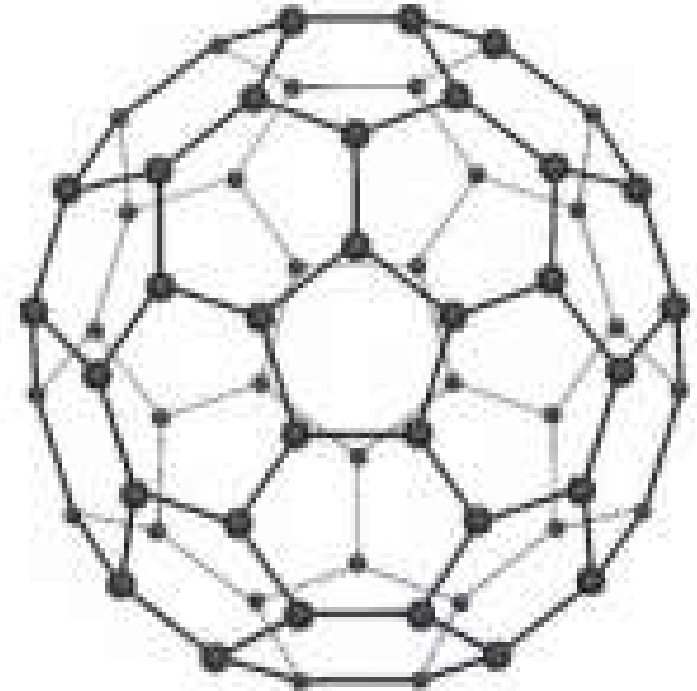
Будова простих речовин Карбону: а — фрагмент кристалічних ґраток алмазу; б — фрагмент кристалічних ґраток графіту; в — модель молекули фулерену



а

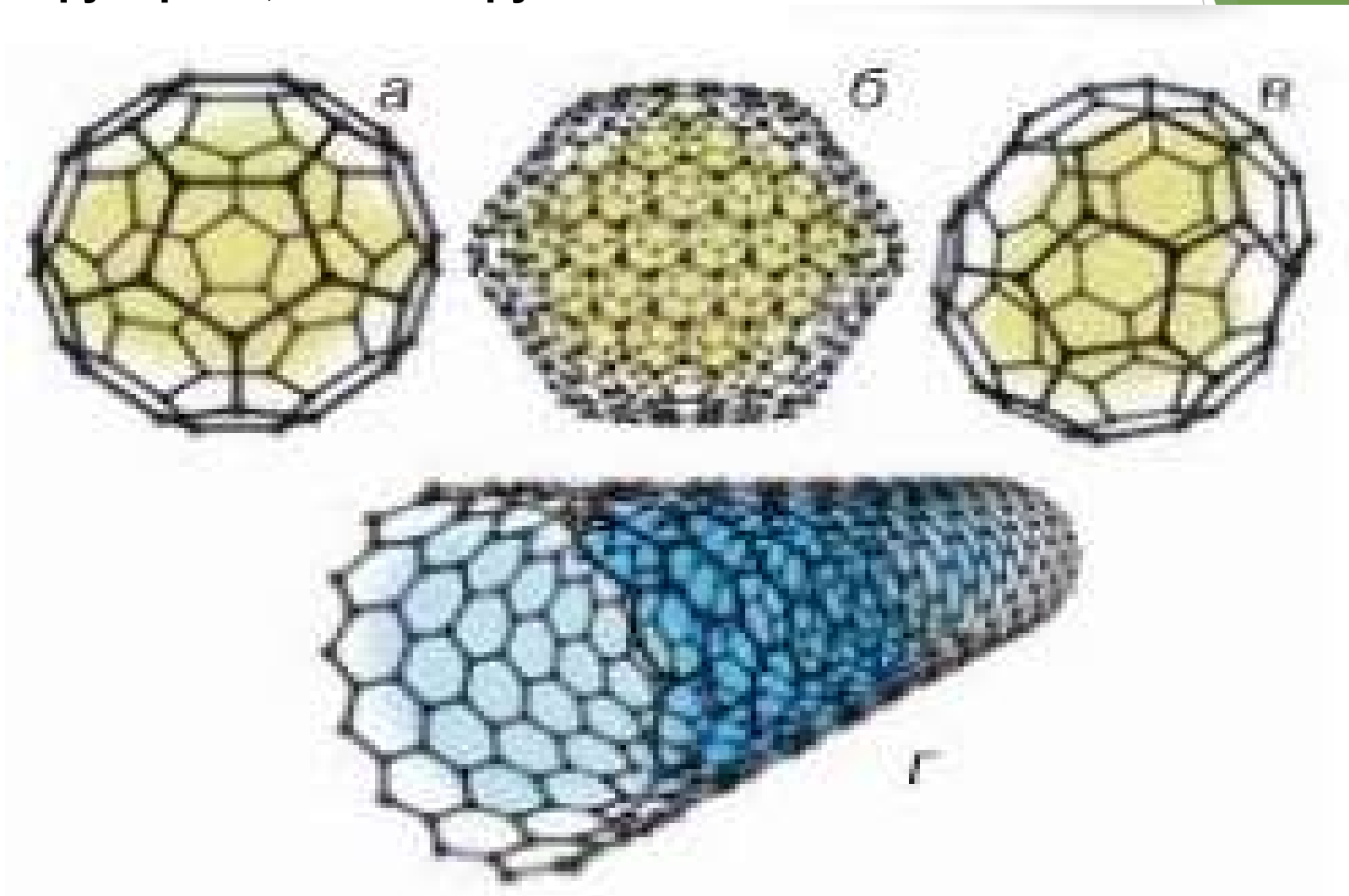


б

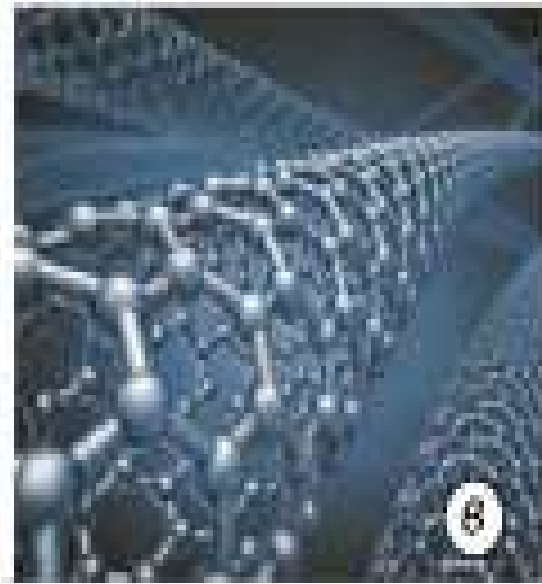
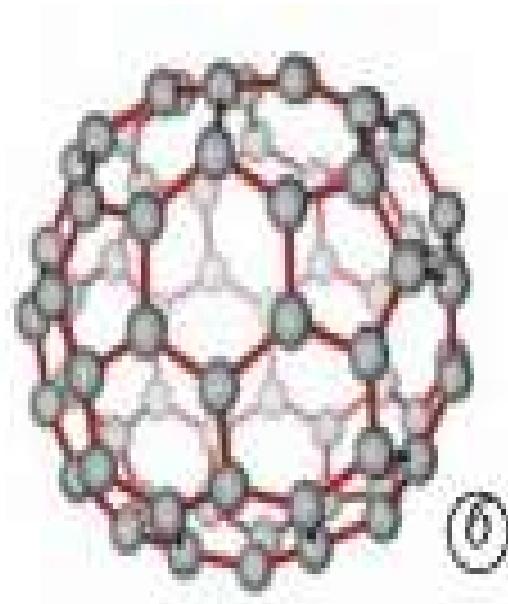
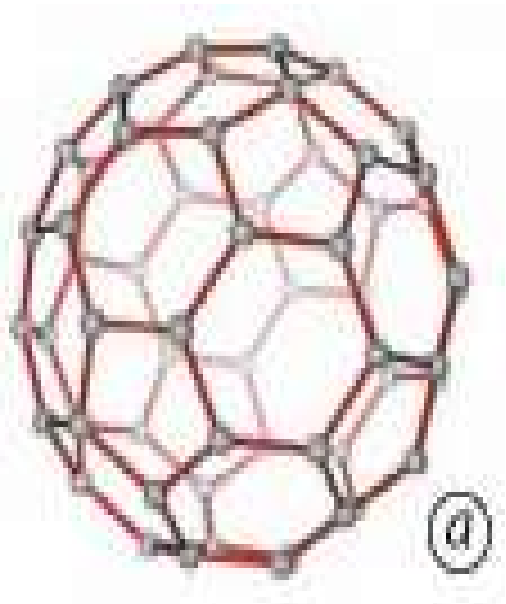


в

а, б, в, - фуллерени, г – нанотрубка



Будова алотропних модифікацій Карбону:
а – фулерен C_{60} , б – фулерен C_{70} , в – нанотрубка, г – графен



Застосування алмазів: а — у техніці; б — у ювелірній справі

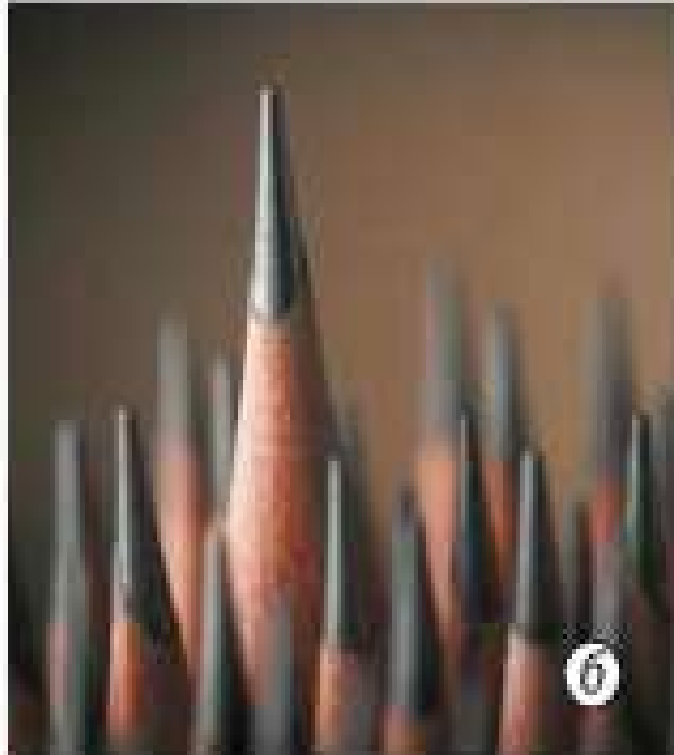
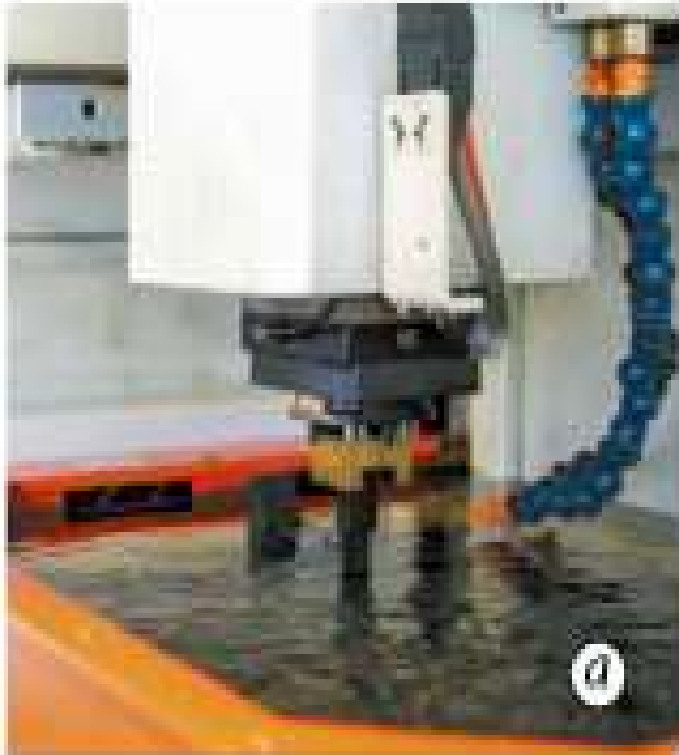


Застосування графіту:

а — електроди гальванічних пристроїв;

б — олівці;

в — жаростійкі тиглі для виплавляння металів



- ▶ 1. Чим різняться між собою прості речовини: а) Оксигену; б) Карбону?
- ▶ 2. Охарактеризуйте хімічний зв'язок у молекулі S_2 (із таких молекул складається газувата сірка за дуже високої температури).
- ▶ 3. Які властивості графіту зумовлюють його використання на практиці? Поясніть ці властивості речовини, виходячи з її будови.
- ▶ 4. Як можна пояснити те, що білий фосфор виявляє більшу хімічну активність, ніж червоний фосфор? Чи слід чекати на аналогічну відмінність в активності ромбічної та моноклінної сірки?
- ▶ 5. Яка кількість речовини міститься: а) в 0,48 г озону; б) в 4,48 л аргону (н. у.)?
- ▶ 6. Масова частка озону в суміші з киснем становить 7,2 %. Обчисліть об'ємну частку озону в цій суміші.

Тип кристалічних ґраток	Характеристика	Тип зв'язку	Приклади речовин	Фізичні властивості
Молекулярна	У вузлах кристалічних ґраток знаходяться полярні або неполярні молекули, зв'язані між собою слабкими силами електростатичного притягання	Ковалентний	Вода, амоніак, більшість органічних сполук	Невисокі температури плавлення й кипіння, нетверді, діелектрики, розчинні (з полярним типом зв'язку) і нерозчинні (з неполярним типом зв'язку), гази або рідини за кімнатної температури
Атомна	У вузлах атомних кристалічних ґраток розміщені атоми, зв'язані між собою спільними електронними парами	Ковалентний неполярний	Алмаз, кремній, силіцій	Високі температури плавлення й кипіння, тверді, крихкі, діелектрики або напівпровідники, нерозчинні
Йонна	У вузлах йонних кристалічних ґраток по чергово розташовані позитивно й негативно заряджені йони	Йонний	Більшість солей, оксидів, основ	Високі температури плавлення й кипіння, тверді, крихкі, діелектрики, у водних розчинах і розплавах – провідники, розчинні
Металічна	У вузлах металічних кристалічних ґраток поряд із нейтральними атомами розміщаються заряджені йони металів	Металічний	Метали, сплави	Різні температури плавлення й кипіння, переважно високі, тверді, пластичні, провідники, нерозчинні у воді

Порівняння електронегативностей неметалів

F, O, N, Cl, Br, I, S, C, Se, H, P, As, B, Si

Електронегативність зменшується →

Група	IA	IIA	III B	IV B	V B	VI B	VII B	VIII B	VIII B	VIII B	IB	IIB	IIIA	IVA	VA	VIA	VIIA	VIIIA
Період																		
1	H 2,20																	He -
2	Li 0,98	Be 1,57											B 2,04	C 2,55	N 3,04	O 3,5	F 3,98	Ne -
3	Na 0,93	Mg 1,31											Al 1,61	Si 1,90	P 2,19	S 2,58	Cl 3,16	Ar -
4	K 0,82	Ca 1,00	Sc 1,36	Ti 1,54	V 1,63	Cr 1,66	Mn 1,55	Fe 1,83	Co 1,88	Ni 1,91	Cu 1,90	Zn 1,65	Ga 1,81	Ge 2,01	As 2,18	Se 2,55	Br 2,96	Kr -
5	Rb 0,82	Sr 0,95	Y 1,22	Zr 1,33	Nb 1,6	Mo 2,16	Tc 2,1	Ru 2,2	Rh 2,28	Pd 2,20	Ag 1,93	Cd 1,69	In 1,78	Sn 1,96	Sb 2,05	Te 2,1	I 2,66	Xe 2,60
6	Cs 0,79	Ba 0,89	*	Hf 1,3	Ta 1,5	W 1,7	Re 1,9	Os 2,2	Ir 2,20	Pt 2,28	Au 2,54	Hg 1,9	Tl 1,8	Pb 1,8	Bi 1,9	Po 2,0	At 2,2	Rn -
7	Fr 0,7	Ra 0,9	**	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Uut	Uuq	Uup	Uuh	Uus	Uuo
Лантаноїди	*	La 1,1	Ce 1,12	Pr 1,13	Nd 1,14	Pm 1,13	Sm 1,17	Eu 1,2	Gd 1,2	Tb 1,1	Dy 1,22	Ho 1,23	Er 1,24	Tm 1,25	Yb 1,1	Lu 1,27		
Актиноїди	**	Ac 1,1	Th 1,3	Pa 1,5	U 1,38	Np 1,36	Pu 1,28	Am 1,13	Cm 1,28	Bk 1,3	Cf 1,3	Es 1,3	Fm 1,3	Md 1,3	No 1,3	Lr 1,291		