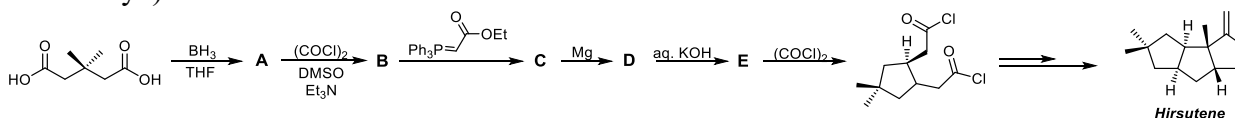


11 клас

1. Хірсутен. Іще з 1960 року морські організми стали цікавим об'єктом для вивчення завдяки їх специфічним хімічним системи захисту. Речовини, які беруть участь у захисних системах цих організмів, часто виявляють антибактеріальні, протизапальні та хіміотерапевтичні властивості.

Однією із таких речовин є хірсутен. Саме через це він став справжнім «триггером» для тогочасних хіміків-синтетиків. Різні статті стосовно його повного синтезу виходили навіть у 2008 році, а загальна їх кількість становить 20 робіт!

Пропонуємо Вам пройти шлях справжнього хіміка-синтетика, та розв'язати синтез хірсутену, запропонований науковою групою німецького вченого Бенджаміна Ліста у 2008 році. (Доречі, у 2021 році Бенджамін Ліст разом із американським хіміком Девідом Макмілланом отримали Нобелівську премію з хімії за «розвиток асиметричного органокаталізу»)



- Встановіть усі зашифровані сполуки (з урахування стереохімії), якщо відомо, що:
 - перетворення **A–B** носить назву «окиснення за Сверном»;
 - п'ятичленний цикл формується завдяки радикальному перегрупуванню.
- Чи раціонально для проведення першої реакції використовувати LiAlH_4 або NaBH_4 замість BH_3 ? Відповідь поясніть.
- Наведіть механізм перетворення **C** в **D**.
- Визначте конфігурацію кожного стереоцентру хірсутену (R або S).

2. Щоякнайпростіше. Викладач та лаборанти зібралися опрацьовувати методику отримання алкенів зі спиртів при дії неорганічних кислот при нагріванні. Вони узяли по 5.0 г етанолу, *ізо*-пропанолу та *трет*-бутанолу. Найбільш вдалим виявився варіант дії сульфатної кислоти. Колеги нагрівали відповідні спирти зі сульфатною кислотою, отриману суміш газів пропускали крізь водний розчин KOH, а потім через розчин надлишку бром у хлороформі.

- Поясніть, навіщо був використаний розчин KOH?
- Наведіть механізм утворення алкенів з відповідних спиртів.
- Наведіть механізм реакції утворених алкенів з бромом.
- Скільки і якого (маса, г; назва) дибромпохідного утворилося з 5.0 г *трет*-бутанолу при дії сульфатної кислоти та подальшому бромованні (вихід дегідратації 90 %, вихід бромовання 98 %)?

3. Займите. Як добре відомо, багато низькомолекулярних оксигеновмісних органічних сполук є легкозаймистими, часто леткими, рідинами. Їхнє горіння супроводжується виділенням дуже великої кількості тепла, що співставне з виділенням тепла при спалюванні багатьох видів палива (деревини, вугілля, газу та нафтопродуктів).

Так, наприклад, при згорянні метанолу виділяється 22.7 МДж/кг теплоти, оцтової кислоти 14.6 МДж/кг, а метилацетату 22.5 МДж/кг.

Але дані про теплоти згорання можуть бути використані ще і для термодинамічних розрахунків.

1. Виразіть процес утворення метилацетату з метанолу та оцтової кислоти (естерифікації) через процеси згорання відповідних компонентів. Розрахуйте значення ентальпії процесу естерифікації за стандартних умов ($p = 1 \text{ атм}$, $T = 298.2 \text{ К}$).

Довідка. Для термодинамічних розрахунків ΔH використовують у розмірності кДж/моль. При розрахунках молярні маси речовин необхідно округлити до десятих.

2. Розрахуйте вільну енергію Гіббса відповідної реакції (утворення метилацетату з метанолу та оцтової кислоти) за стандартних умов

Довідкові дані про ентропії компонентів реакції за стандартних умов.

Речовина	$\frac{\text{Дж}}{\text{S}^0 \text{ моль} \cdot \text{К}}$
Метанол	160.7
Оцтова кислота	159.8
Метилацетат	226.6
Вода	70.0

4. Не все так прозоро. Часто концентрацію розчиненої речовини у розчині визначають за допомогою спектрофотометрії. Метод спектрофотометрії ґрунтується на вимірюванні інтенсивності світла, яке поглинається розчином. Для кількісної характеристики світлопоглинання користуються законом Бугера-Ламберта-Бера, який математично виражається як $A = \epsilon cl$, де A – світлопоглинання (безрозмірна величина), ϵ - коефіцієнт поглинання (незмінний для однієї і тієї ж розчиненої речовини), c – концентрація розчину в моль/л, l – товщина шару розчину в сантиметрах, через який проходить світло при вимірюванні.

Зверніть увагу, що світлопоглинання – величина аддитивна, тобто світлопоглинання розчину із концентрацією $(x+y)$ M буде дорівнювати сумі світлопоглинань розчинів з концентраціями x M та y M . На практиці для зручності часто застосовують розчини порівняння, тоді наведене світлопоглинання буде дорівнювати різниці світлопоглинань вимірюваного розчину та розчину порівняння.

Нижче наведемо задачу, яку ви можете зустріти на старших курсах хімічних факультетів.

Наважку руди масою 0.2500 г розчинили і розчин довели до 1000 мл. В аліквоті розчину об'ємом 50.0 мл марганець окислили до перманганату і розвели до 250.0 мл. Цей утворений розчин з невідомою концентрацією марганцю далі аналізували.

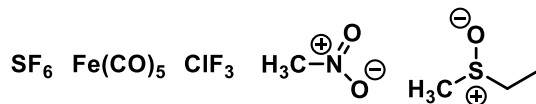
Для побудови градуовального графіку виміряли світлопоглинання розчинів перманганату з відомою концентрацією, відносно розчину порівняння. В кожному випадку

Концентрація перманганату, ммоль/л	0.250	0.275	0.300	0.325	0.350	Досліджуваний розчин
$A_{\text{відн}}$	0.200	0.400	0.600	0.800	1.000	0.560

1. Розрахуйте молярну концентрацію перманганату в розчині порівняння та досліджуваному розчині.
2. Розрахуйте масову частку марганцю в руді.
3. Обчисліть коефіцієнт поглинання ϵ для перманганату, якщо $l = 1$ см. Не забудьте вказати одиниці

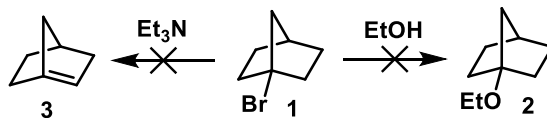
5. «Про ізомери, гібридизацію тощо...». Ізопрен (C_5H_8) є елементарною ланкою цілого класу природних сполук, що звуться терпенами.

1. Зобразіть пару ізомерів ізопрену, що є:
 - а) структурними ізомерами та дайте назву за номенклатурою ІЮПАК;
 - б) оптичними ізомерами та визначте конфігурацію стереоцентру (R/S);
 - в) геометричними ізомерами та визначте конфігурацію (E/Z).
2. Серед наведених сполук визначте гібридизацію некінцевих атомів.



3. Яка сполука з наведеного вище ряду може мати стереоізомери? Наведіть їх та визначте конфігурацію хірального центру (R або S).

4. Поясніть, чому сполука **1** не вступає в реакції нуклеофільного заміщення (за S_N2 та S_N1 механізмами) та елімінування. *Порада: використовуйте теорію гібридизації та форму, яку повинні приймати відповідні гібридизовані фрагменти молекули або карбокатиони (для реакції S_N1)*



6. Не те, чим здається. Юний Хімік знайшов у лабораторії жирну на дотик чорну тверду речовину **A** з металевим блиском, що залишає чорний слід на папері. Він прожарив 1.0000 г **A** на відкритому повітрі, і очікував, що **A** повністю згорить з утворенням лише безбарвного газу **B** (відносна густина за повітрям 1.52). Яким же було здивування Юного Хіміка, коли він побачив, що в результаті утворилося 0.8992 г твердої речовини **C** і виділився газ **D** з різким запахом, що забарвлює вологий лакмусовий папір у червоний колір. Юний хімік виявив, що **C** розчиняється у водному розчині NaOH з утворенням тернарної (тобто містить три елементи) солі **F**. **F** реагує з розчином HNO_3 з утворенням білого осаду **G**. Якщо ж через розчин **F** пропустити надлишок H_2S , утвориться червоний розчин тернарної солі **H**. Додавання кислоти до **H** призводить до утворення коричневого осаду **I**. А якщо відновити увесь отриманий **C** воднем, то утвориться 0.5994 г металу **E**

1. Розшифруйте речовини **A–I**, якщо відомо, що **A** та **I** мають однаковий якісний склад, при цьому **I** містить на 1 атом більше, ніж **A**. Усі зашифровані речовини, крім **B** та **D**, містять елемент **X**, і масова частка **X** в **H** складає 35.51%.

2. Запишіть рівняння усіх згаданих реакцій (включно з утворенням газу **B**).

3. Вкажіть, з якою простою речовиною Юний Хімік спочатку сплутав **A** (зазначте відповідну алотропну модифікацію).

4. Елемент **X** було названо на честь іншого елемента, **Y**, через схожість їхніх руд. Вкажіть **Y**, якщо атом **Y** містить на 40 протонів більше, ніж **X**, а атомні маси **X** та **Y** відносяться як 1:2.1592.

7. Завдання експериментального туру.

Руйнівна сіль. Частина 1. Отримання колоїдного розчину ферум(III) гідроксиду.

Якщо нерозчинні речовини знаходяться у воді у вигляді достатньо дрібних частинок (менше 1 мікрметра), вони розподілені по всьому об'єму системи і не утворюють осаду. Такі системи є *колоїдними розчинами*.

Одним із способів отримати колоїдний розчин є метод хімічної конденсації, коли проходить хімічна реакція з утворенням малорозчинної сполуки, при цьому концентрація реагентів має бути достатньо низькою.

До 100 мл киплячої дистильованої води додають 7 крапель (об'єм 1 краплі $\approx 0.05 \text{ см}^3$) розчину ферум(III) хлориду з масовою часткою солі 40 %. При цьому утворюється колоїдний розчин червонувато-бурого кольору.



Рис. 1.1. Розчин ферум(III) хлориду



Рис. 1.2. Додавання розчину ферум(III) хлориду до дистильованої води, нагрітої до кипіння, при перемішуванні

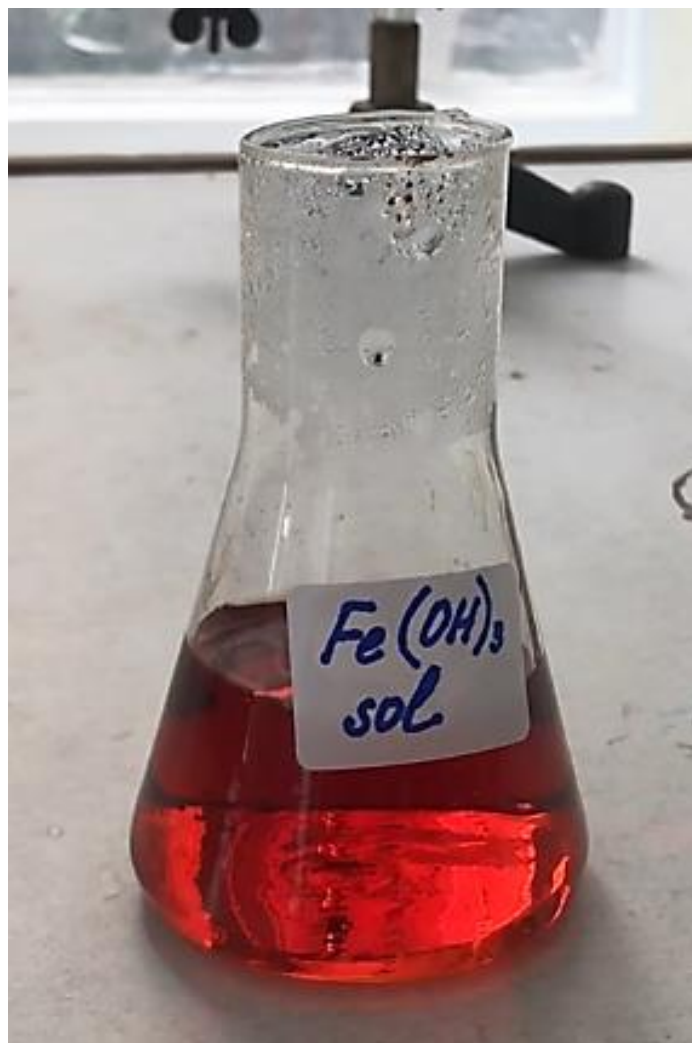


Рис. 1.3. Готовий колоїдний розчин ферум(III) гідроксиду. Зверніть увагу, що незважаючи на наявність в системі малорозчинної сполуки, розчин виглядає прозорим і однорідним.

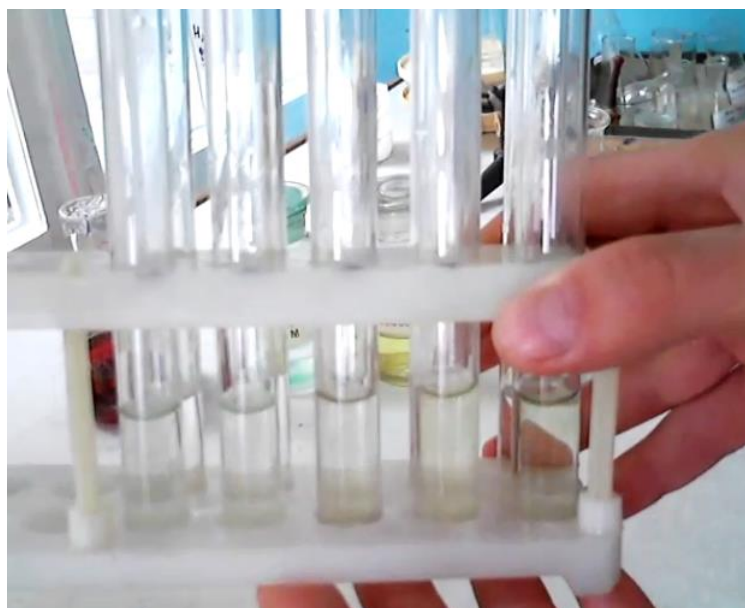
1. Яких заходів безпеки необхідно дотримуватися, щоб безпечно кип'ятити дистильовану воду в колбі?
2. Які хімічні процеси перебігають в системі? Запишіть рівняння реакцій.
3. Користуючись довідниковими даними (див. додаток), оцініть, чи є термодинамічно вигідним утворення ферум(III) гідроксиду при кімнатній температурі.
4. Розрахуйте кількість колоїдних частинок ферум(III) гідроксиду, що утворилася в колбі, і кількість формульних одиниць $\text{Fe}(\text{OH})_3$ у кожній частинці. При розрахунках вважайте, що реакція йде до кінця, утворюються сферичні частинки діаметром 200 нм. Густина твердого ферум(III) гідроксиду дорівнює 3.5 г/см^3 , густина 40%-го розчину ферум(III) хлориду – 1.42 г/см^3 .

Частина 2. Визначення порогу коагуляції колоїдного розчину ферум(III) гідроксиду електролітом калій сульфатом. Колоїдні розчини можуть зруйнуватися при додаванні електролітів. При цьому частинки нерозчинної речовини злипаються, розчин стає каламутним і утворюється видимий осад: відбувається *коагуляція*¹.

Мінімальна концентрація солі, при якій спостерігається коагуляція, називається *порогом коагуляції*. Зазвичай він виражається у мілімолях солі на 1 л розчину (ммоль/л).

Для визначення порогу коагуляції готують декілька розчинів золю з додаванням різної кількості солі і фіксують, у яких розчинах спостерігаються ознаки коагуляції. У чисті і сухі пробірки додають певний об'єм розчину калій сульфату (див. таблицю) з молярною концентрацією 0.003 моль/л і води; після перемішування у кожну пробірку додають 5 мл колоїдного розчину ферум(III) гідроксиду. Загальний об'єм суміші повинен бути однаковим у всіх пробірках. Розчин в останній пробірці (контрольній) готується шляхом змішування 5 мл води і 5 мл колоїдного розчину ферум(III) гідроксиду. Розчини перемішують і залишають на 15 хвилин. Після цього порівнюють вміст кожної пробірки з контрольною і фіксують, чи відбулися зміни.

Компонент	Номер пробірки					
	1	2	3	4	5,0	контроль
Дистильована вода	4.7	4.5	4.0	3.5	3.0	5.0
Розчин калій сульфату (концентрація 0.003 моль/л)	0.3	0.5	1.0	1.5	2.0	0
Колоїдний розчин ферум(III) гідроксиду	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0



¹ Системи, з маленькими частинками часто мають енергію, вищу ніж системи з великими частинками. Такі системи є термодинамічно нестабільними, тому частинки у колоїдних розчинах схильні до злипання, збільшення та осадження. Одним із факторів, що протидіють злипанню частинок (окрім броунівського руху), є електростатичне відштовхування. Усі колоїдні частинки мають поверхневий заряд одного знаку, тому відштовхуються одна від одної. Якщо в такий розчин ввести електроліт, його йони, що мають заряд, протилежний до заряду колоїдної частинки, будуть розташовуватися поблизу поверхні частинки, знижуючи її заряд. Якщо таких нейтралізуючих іонів стає достатньо багато, заряд частинки не зможе запобігти злипанню частинок, відбудеться коагуляція.

Рис. 2.1. Пробірки, що містять розчин солі і воду. Загальний об'єм рідини у кожній пробірці дорівнює 5 мл. Різниця у рівнях рідини зумовлена неоднаковим діаметром пробірок



Рис. 2.2. Пробірки одразу після додавання колоїдного розчину

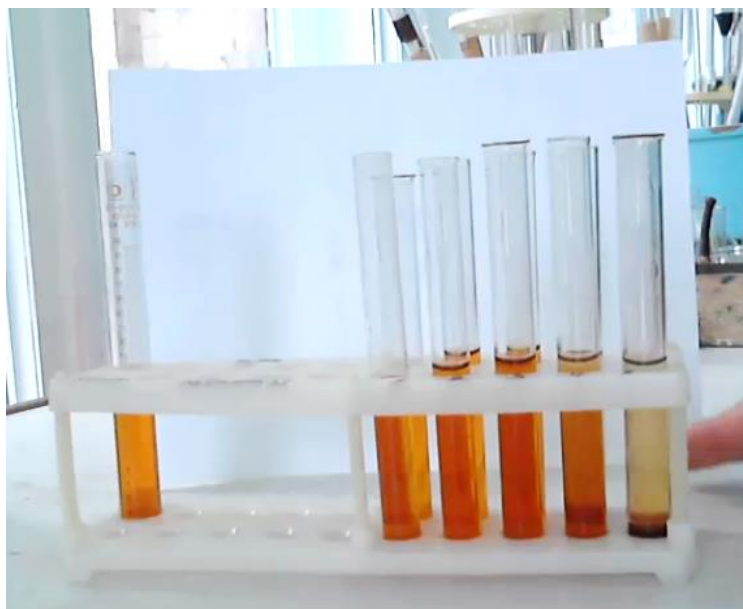


Рис. 2.3. Пробірки через 15 хвилин після додавання колоїдного розчину



Рис. 2.4. Вміст пробірки 1 у



Рис. 2.5. Вміст пробірки 2 у

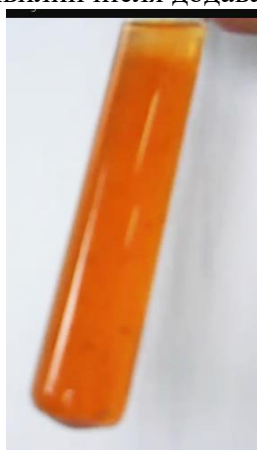


Рис. 2.6. Вміст пробірки 3.



Рис. 2.7. Вміст



Рис. 2.8. Вміст пробірки 5.

порівнянні з контрольною (зліва). <i>Різниці не спостерігається</i>	порівнянні з контрольною (зліва). <i>Різниці не спостерігається</i>	<i>Система неоднорідна, невелика кількість осаду на дні</i>	пробірки 4. <i>Велика кількість осаду. Рідина знебарвилася</i>	<i>Велика кількість осаду. Рідина знебарвилася</i>
---	---	---	---	--

5. Розрахуйте молярну концентрацію солі у кожній пробірці.

6. Виходячи зі спостережень, визначте поріг коагуляції (Y) колоїдного розчину ферум(III) гідроксиду електролітом калій сульфатом.

Додаток 1.

Термодинамічні властивості речовин і йонів у водних розчинах

Речовина	$\Delta_f H_{298}^\circ$, кДж/моль	S_{298}° , Дж/(моль · К)	$\Delta_f G_{298}^\circ$, кДж/моль	$C_{p,298}^\circ$, Дж/(моль · К)
Ag (тв.)	0	42,55	0	25,44
AgBr (тв.)	-100,42	107,11	-97,02	52,30
AgCl (тв.)	-126,78	96,23	-109,54	50,79
AgI (тв.)	-61,92	115,48	-66,35	54,43
Ag ₂ O (тв.)	-30,54	121,75	-10,90	65,86
Ag ₂ S (тв.)	-31,80	143,51	-39,70	76,53
AgNO ₃ (тв.)	-124,52	140,92	-33,60	-93,05
Ag ⁺ (р.)	105,75	73,39	77,10	—
Al (тв.)	0	28,33	0	24,35
AlBr ₃ (тв.)	-513,38	180,25	-490,60	100,50
AlCl ₃ (тв.)	-704,17	109,29	-628,58	91,00
AlF ₃ (тв.)	-1510,42	66,48	-1431,15	75,10
Al ₂ O ₃ (корунд)	-1675,69	50,92	-1582,27	79,04
Al ₂ (SO ₄) ₃ (тв.)	-3441,80	239,20	-3100,87	259,41
Al ³⁺ (р.)	-529,69	-301,25	-489,80	—
Al(OH) ₄ ⁻ (р.)	-1507,5	89,7	-1307,5	—
As (серый)	0	35,61	0	25,36
AsCl ₃ (ж.)	-305,01	216,31	-259,16	133,47
AsCl ₃ (г.)	-270,34	328,82	-258,04	75,48
As ₂ O ₃ (тв.)	-653,37	122,72	-577,03	112,21
As ₂ O ₅ (тв.)	-921,32	105,44	-478,69	116,52
AsO ₄ ³⁻ (р.)	-890,06	-167,28	-648,93	—
Au (тв.)	0	47,40	0	25,36
B (тв.)	0	5,86	0	11,09
BCl ₃ (г.)	-402,96	290,08	-387,98	62,63
BF ₃ (г.)	-1136,58	254,01	-1119,93	50,46
B ₂ O ₃ (тв.)	-1270,43	53,89	-1191,29	62,76
Ba (тв.)	0	60,67	0	28,28
BaCO ₃ (тв.)	-1210,85	112,13	-1132,77	85,35
BaCl ₂ (тв.)	-859,39	123,64	-811,71	75,31
Ba(NO ₃) ₂ (тв.)	-992,07	213,80	-797,23	151,63
BaO (тв.)	-553,54	70,29	-525,84	46,99

Речовина	$\Delta_f H_{298}^\circ$, кДж/моль	S_{298}° , Дж/(моль · К)	$\Delta_f G_{298}^\circ$, кДж/моль	C_p^{298} , Дж/(моль · К)
Ba(OH) ₂ (тв.)	-943,49	100,83	-855,42	97,91
BaSO ₄ (тв.)	-1458,88	132,21	-1348,43	102,09
Ba ²⁺ (р.)	-524,05	8,79	-547,50	—
Be (тв.)	0	9,54	0	16,44
BeO(тв.)	-598,73	14,14	-569,54	25,56
BeSO ₄ (тв.)	-1200,81	77,97	-1089,45	85,69
Bi (тв.)	0	56,90	0	26,02
Bi ₂ O ₃ (тв.)	-570,70	151,46	-490,23	113,8
Br (г.)	111,88	174,90	82,44	20,79
Br ⁻ (г.)	-218,87	163,39	-238,67	20,79
Br ₂ (ж.)	0	152,21	0	75,69
Br ₂ (г.)	30,91	254,37	3,14	36,07
HBr(г.)	-36,38	198,58	-53,43	29,14
Br ⁻ (р.)	-121,50	82,84	-104,04	—
BrO ₃ ⁻ (р.)	-83,68	163,18	1,53	—
C (алмаз)	1,83	2,37	2,83	6,11
C (графит)	0	5,74	0	8,54
C(г.)	716,67	157,99	671,28	20,84
C ₂ (г.)	830,86	199,31	774,86	43,21
CO(г.)	-110,53	197,55	-137,15	20,14
CO ₂ (г.)	-393,51	213,66	-394,37	37,11
COCl ₂ (г.)	-219,50	283,64	-205,31	57,76
H ₂ C ₂ O ₄ (тв.)	-829,94	120,08	-701,73	109,00
CH ₃ COOH(ж.)	-484,09	159,83	-389,36	123,43
HCN(г.)	132,00	201,71	121,58	35,90
CH ₃ COO ⁻ (р.)	-485,64	87,58	-369,37	—
CN ⁻ (р.)	150,62	96,45	171,58	—
CO ₃ ²⁻ (р.)	-676,84	-56,04	-527,60	—
C ₂ O ₄ ²⁻ (р.)	-824,25	51,04	-674,86	—
Ca (тв.)	0	41,63	0	26,36
CaCO ₃ (кальцит)	-1206,83	91,71	-1128,35	83,47
CaCl ₂ (тв.)	-795,92	108,37	-749,34	72,59
CaF ₂ (тв.)	-1220,89	68,45	-1168,46	67,03
Ca(NO ₃) ₂ (тв.)	-938,76	183,30	-743,49	149,33
CaO(тв.)	-635,09	38,07	-603,46	42,05
Ca(OH) ₂ (тв.)	-985,12	83,39	-897,52	87,49
CaSO ₄ (тв.)	-1436,28	106,69	-1323,90	99,66
Ca ₃ (PO ₄) ₂ (тв.)	-4120,82	235,98	-3884,9	227,82
Ca ²⁺ (р.)	-542,66	-55,23	-552,70	—
Cd (тв.)	0	51,76	0	25,94
CdCl ₂ (тв.)	-390,79	115,27	-343,24	73,22

Речовина	$\Delta_f H_{298}^\circ$, кДж/моль	S_{298}° , Дж/(моль · К)	$\Delta_f G_{298}^\circ$, кДж/моль	C_{p298}° , Дж/(моль · К)
CdO(тв.)	-258,99	54,81	-229,33	43,64
CdS(тв.)	-156,90	71,13	-153,16	47,32
CdSO ₄ (тв.)	-934,41	123,05	-823,88	99,62
Cd ²⁺ (р.)	-75,31	-70,92	-77,65	—
Cl(г.)	121,34	165,08	105,35	21,84
Cl ⁻ (р.)	-233,63	153,25	-239,86	20,79
Cl ₂ (г.)	0	222,98	0	33,93
ClO ₂ (г.)	104,60	257,02	122,34	41,84
Cl ₂ O(г.)	75,73	266,23	93,40	45,44
HCl(г.)	-92,31	186,79	-95,30	29,14
Cl ⁻ (р.)	-167,07	56,74	-131,29	—
ClO ⁻ (р.)	-110,04	32,97	-36,61	—
ClO ₂ ⁻ (р.)	-66,53	101,25	17,12	—
ClO ₃ ⁻ (р.)	-95,56	164,43	-0,19	—
ClO ₄ ⁻ (р.)	-123,60	183,68	-3,40	—
Co(тв.)	0	30,04	0	24,81
CoCl ₂ (тв.)	-312,54	109,29	-269,69	78,49
CoSO ₄ (тв.)	-867,76	113,39	-760,83	103,22
Co ²⁺ (р.)	-56,61	-110,46	-53,64	—
Co ³⁺ (р.)	94,14	-285,01	-129,70	—
Cr(тв.)	0	23,64	0	23,35
CrCl ₃ (тв.)	-556,47	123,01	-486,37	91,80
CrO ₃ (тв.)	-590,36	73,22	-513,44	69,33
Cr ₂ O ₃ (тв.)	-1140,56	81,17	-1058,97	104,52
Cr ²⁺ (р.)	-138,91	41,87	-183,26	—
Cr ³⁺ (р.)	-235,98	-215,48	-223,06	—
Cr ₂ O ₇ ²⁻ (р.)	-1490,93	270,39	-1295,62	—
CrO ₄ ²⁻ (р.)	-875,42	46,02	-720,91	—
Cs(тв.)	0	84,35	0	31,38
CsCl(тв.)	-442,83	101,18	-414,61	52,63
CsI(тв.)	-336,81	125,52	-331,77	51,88
CsOH(тв.)	-406,68	77,82	-354,71	—
Cs ⁺ (р.)	-258,04	132,84	-291,96	—
Cu(тв.)	0	33,14	0	24,43
CuCl(тв.)	-137,24	87,02	-120,06	48,53
CuCl ₂ (тв.)	-205,58	108,07	-161,71	71,88
CuO(тв.)	-162,00	42,63	-134,26	42,30
CuS(тв.)	-53,14	66,53	-53,58	47,82
CuSO ₄ (тв.)	-770,90	109,20	-661/79	98,87
Cu ₂ O(тв.)	-173,18	92,93	-150,56	63,64
Cu ⁺ (р.)	72,80	44,35	50,00	—

Речовина	$\Delta_f H_{298}^\circ$, кДж/моль	S_{298}° , Дж/(моль · К)	$\Delta_f G_{298}^\circ$, кДж/моль	C_{p298}° , Дж/(моль · К)
Cu ²⁺ (р.)	66,94	-92,72	65,56	—
[Cu(NH ₃) ₄] ²⁺ (р.)	-346,52	289,50	-111,51	—
F(г.)	79,38	158,64	62,30	22,75
F ⁻ (г.)	-259,68	145,47	-266,61	20,79
F ₂ (г.)	0	202,67	0	31,30
HF(г.)	-273,30	173,67	-275,41	29,14
F ⁻ (р.)	-333,84	-14,02	-279,99	—
Fe(тв.)	0	27,15	0	24,98
FeCO ₃ (тв.)	-738,15	95/40	-665,09	83,26
FeO(тв.)	-264,85	60,75	-244,30	49,92
Fe(OH) ₂ (тв.)	-574,0	87,90	-490,0	—
Fe(OH) ₃ (тв.)	-833,0	104,60	-705,0	—
FeSO ₄ (тв.)	-927,59	107,53	-819,77	100,58
Fe ₂ O ₃ (тв.)	-822,16	87,45	-740,34	103,76
Fe ₃ O ₄ (тв.)	-1117,13	146,19	-1014,17	150,79
Fe ²⁺ (р.)	-87,86	-113,39	-84,88	—
Fe ³⁺ (р.)	-47,70	-293,30	-10,53	—
Ga(тв.)	0	41,09	0	26,07
Ga ₂ O ₃ (тв.)	-1089,10	84,98	-998,24	92,05
Ge(тв.)	0	31,09	0	23,35
GeO ₂ (гексаг.)	-554,71	55,27	-500,79	52,09
GeO ₂ (тетраг.)	-580,15	39,71	-521,59	50,17
H(г.)	217,98	114,60	203,28	20,79
H ⁺ (г.)	1536,21	108,84	1517,00	20,79
H ⁻ (г.)	139,03	198,85	132,26	20,79
H ₂ (г.)	0	130,52	0	28,83
H ⁺ (р.)	0	0	0	—
D ₂ (г.)	0	144,86	0	29,20
HD(г.)	0,32	143,70	-1,47	29,20
Hg(тв.)	0	75,90	0	27,99
Hg(ж.)	61,30	174,85	31,80	20,79
HgCl ₂ (тв.)	-228,24	140,02	-180,90	73,91
HgO(тв.)	-90,88	70,29	-58,66	44,88
HgS(тв.)	-58,99	82,42	-51,42	48,41
Hg ₂ Cl ₂ (тв.)	-265,06	192,76	-210,81	101,70
Hg ²⁺ (р.)	173,47	-25,15	164,68	—
Hg ₂ ²⁺ (р.)	171,75	82,17	153,60	—
I(г.)	106,76	180,67	70,21	20,79
I ⁻ (г.)	-195,02	169,15	-221,92	20,79
I ₂ (тв.)	0	116,14	0	54,44
I ₂ (г.)	62,43	260,60	19,39	36,90
HI(г.)	26,36	206,48	1,58	29,16
I ⁻ (р.)	-56,90	106,69	-51/94	—

Речовина	$\Delta_f H_{298}^\circ$, кДж/моль	S_{298}° , Дж/(моль · К)	$\Delta_f G_{298}^\circ$, кДж/моль	C_{p298}° , Дж/(моль · К)
I ₃ (р.)	-51,46	239,32	-51,42	—
IO ₃ ⁻ (р.)	-220,52	117,78	-127,16	—
Іп (тв.)	0	57,82	0	26,74
In ₂ O ₃ (тв.)	-925,92	107,95	-831,98	92,05
К (тв.)	0	64,18	0	29,58
KAl(SO ₄) ₂ (тв.)	-2465,00	204,50	-2235	193,00
KBr(тв.)	-393,80	95,94	-380,60	52,30
KCl(тв.)	-436,68	82,55	-408,93	51,49
KI(тв.)	-327,90	106,40	-323,18	53,00
KMnO ₄ (тв.)	-828,89	171,54	-729,14	117,57
KNO ₃ (тв.)	-492,46	132,88	-392,75	96,29
KClO ₃ (тв.)	-391,20	142,97	-289,80	100,25
KClO ₄ (тв.)	-430,12	151,04	-300,58	112,40
KOH(тв.)	-424,72	79,28	-379,22	65,60
K ₂ CO ₃ (тв.)	-1150,18	155,52	-1064,87	114,44
K ₂ SO ₄ (тв.)	-1433,69	175,56	-1316,04	130,01
K ₂ Cr ₂ O ₇ (тв.)	-2067,27	291,21	-1887,85	219,70
K ₂ CrO ₄ (тв.)	-1385,74	200,00	-1277,84	146,00
K ⁺ (р.)	-252,17	101,04	-282,62	—
La (тв.)	0	56,90	0	27,82
LaCl ₃ (тв.)	-10700,68	144,35	-997,07	103,60
Li (р.)	0	28,24	0	24,73
LiCl(тв.)	-408,27	59,30	-384,30	48,39
LiNO ₃ (тв.)	-482,33	71,13	-374,92	83,26
LiOH(тв.)	-484,67	42,72	-439,00	49,58
Li ₂ CO ₃ (тв.)	-1216,00	90,16	-1132,67	96,20
Li ₂ SO ₄ (тв.)	-1435,86	114,00	-1321,28	117,60
Li ⁺ (р.)	-278,45	11,30	-292,86	—
Mg (тв.)	0	32,68	0	24,89
MgCO ₃ (тв.)	-1095,85	65,10	-1012,15	76,11
MgCl ₂ (тв.)	-644,80	89,54	-595,30	71,25
MgO(тв.)	-601,49	27,07	-569,27	37,30
Mg(OH) ₂ (тв.)	-924,66	63,18	-833,75	76,99
MgSO ₄ (тв.)	-1287,42	91,55	-1173,25	95,60
Mg ²⁺ (р.)	-461,75	-119,66	-455,24	—
Mn (тв.)	0	32,01	0	26,28
MnCO ₃ (тв.)	-881,66	109,54	-811,40	81,50
MnCl ₂ (тв.)	-481,16	118,24	-440,41	72,97
MnO(тв.)	-385,10	61,50	-363,34	44,10
MnO ₂ (тв.)	-521,49	53,14	-466,68	54,02
Mn ₂ O ₃ (тв.)	-957,72	110,46	-879,91	107,50

Речовина	$\Delta_f H_{298}^\circ$, кДж/моль	S_{298}° , Дж/(моль · К)	$\Delta_f G_{298}^\circ$, кДж/моль	c_{p298}° , Дж/(моль · К)
Mn ₃ O ₄ (тв.)	-1387,60	154,81	-1282,91	148,08
Mn ²⁺ (р.)	-220,50	-66,94	-229,91	—
MnO ₄ ⁻ (р.)	-533,04	196,23	-440,28	—
Mo (тв.)	0	28,62	0	24,06
N₂(г.)	0	191,50	0	29,12
NH ₃ (ж.)	-69,87	—	—	80,75
NH ₃ (г.)	-45,94	192,66	-16,48	35,16
NH ₄ Cl(тв.)	-314,22	95,81	-203,22	84,10
NH ₄ NO ₃ (тв.)	-365,43	151,04	-183,93	139,33
NO(г.)	91,26	210,64	87,58	29,86
NOCl(г.)	52,59	263,50	66,37	39,37
NO ₂ (г.)	34,19	240,06	52,29	36,66
N ₂ O(г.)	82,01	219,83	104,12	38,62
N ₂ O ₄ (г.)	11,11	304,35	99,68	79,16
N ₂ O ₅ (г.)	13,30	355,65	117,14	95,28
HNO ₃ (ж.)	-173,00	156,16	-79,90	109,87
HNO ₃ (г.)	-133,91	266,78	-73,78	54,12
NH ₄ ⁺ (р.)	-132,80	112,84	-79,52	—
NO ₂ ⁻ (р.)	-104,60	139,85	-37,16	—
NO ₃ ⁻ (р.)	-207,38	146,94	-111,49	—
Na (тв.)	0	51,21	0	28,24
NaAlO ₂ (тв.)	-1133,03	70,29	-1069,20	73,30
NaBr(тв.)	-361,41	86,82	-349,34	51,90
NaCl(тв.)	-411,12	72,13	-384,13	50,81
NaI(тв.)	-287,89	98,32	-284,59	52,50
NaNO ₃ (тв.)	-466,70	116,50	-365,97	93,05
NaHCO ₃ (тв.)	-447,30	102,10	-849,65	87,70
Na ₂ CO ₃ (тв.)	-1130,80	138,80	-1048,20	111,30
Na ₂ B ₄ O ₇ (тв.)	-3276,70	189,50	-3081,80	186,80
NaOH(тв.)	-426,35	64,43	-380,29	59,66
Na ₂ O(тв.)	-417,98	75,06	-379,26	68,89
Na ₂ O ₂ (тв.)	-513,21	94,81	-449,81	90,89
Na ₂ SO ₃ (тв.)	-1089,43	146,02	-1001,21	120,08
Na ₂ SO ₄ (тв.)	-1387,21	149,62	-2169,50	128,35
Na ₂ SO ₄ · 10H ₂ O(тв.)	-4324,75	591,87	-3644,09	547,46
Na ₂ SiF ₆ (тв.)	-2849,72	214,64	-2696,29	—
Na ₂ SiO ₃ (тв.)	-1561,43	113,76	-1467,50	111,81
Na ₃ AlF ₆ (тв.)	-3309,54	283,49	-3158,53	219,51
Na ₃ PO ₄ (тв.)	-1924,64	224,68	-1811,31	153,57
Na ⁺ (р.)	-240,30	58,41	-261,90	—
Ni (тв.)	0	29,87	0	24,07

Речовина	$\Delta_f H_{298}^\circ$, кДж/моль	S_{298}° , Дж/(моль · К)	$\Delta_f G_{298}^\circ$, кДж/моль	$C_{p,298}^\circ$, Дж/(моль · К)
NiCl ₂ (тв.)	-304,18	98,07	-258,03	71,67
NiSO ₄ (тв.)	-873,49	103,85	-763,76	97,70
NiO(тв.)	-239,74	37,99	-211,60	44,31
Ni ²⁺ (р.)	-53,14	-126,05	-45,56	—
O(г.)	249,17	160,95	231,75	21,91
O ⁺ (г.)	1568,78	154,85	1546,96	20,79
O ⁻ (г.)	101,43	157,26	91,20	21,67
O ₂ (г.)	0	205,04	0	29,37
O ₃ (г.)	142,26	238,82	162,76	39,25
H ₂ O(тв.)	-291,85	(39,33)	—	—
H ₂ O(ж.)	-285,83	69,95	-237,23	75,30
H ₂ O(г.)	-241,81	188,72	-228,61	33,61
H ₂ O ₂ (ж.)	-187,86	109,60	-120,52	89,33
OH ⁻ (р.)	-230,02	-10,71	-157,35	—
P(бел.)	0	41,09	0	23,82
P(красн.)	-17,95	22,80	-12,00	21,39
P ₂ (г.)	143,39	217,94	103,37	32,05
PCl ₃ (ж.)	-320,91	218,49	-274,08	131,38
PCl ₃ (г.)	-287,02	311,71	-267,98	71,84
PCl ₅ (тв.)	-445,89	170,80	-318,36	138
PCl ₅ (г.)	-374,89	364,47	-305,10	112,97
P ₄ O ₁₀ (тв.)	-2984,03	228,86	-2697,60	211,71
H ₃ PO ₄ (ж.)	-1266,90	200,83	-1134,00	106,10
PO ₄ ³⁻ (р.)	-1277,38	-220,29	-1018,81	—
Pb(тв.)	0	64,81	0	26,82
PbCl ₂ (тв.)	-359,82	135,98	-3314,56	76,99
PbI ₂ (тв.)	-175,23	175,35	-173,56	81,17
PbO(желт.)	-217,61	68,70	-188,20	45,77
PbO(красн.)	-219,28	66,11	-189,10	45,81
PbO ₂ (тв.)	-276,56	71,92	-217,55	64,77
Pb ₃ O ₄ (тв.)	-723,41	211,29	-606,17	146,86
PbSO ₄ (тв.)	-920,48	148,57	-813,67	103,22
Pb ²⁺ (р.)	-1,18	-24,32	11,82	—
Pt(тв.)	0	41,55	0	25,86
PtCl ₂ (тв.)	-106,69	219,79	-93,35	75,52
PtCl ₄ (тв.)	-229,28	267,88	-163,80	150,86
[PtCl ₄] ²⁻ (р.)	-500,82	125,64	-354,01	—
[PtCl ₆] ²⁻ (р.)	-669,44	223,43	-485,31	—
Rb(тв.)	0	76,23	0	30,88
Rb ⁺ (р.)	-251,12	120,46	-283,76	—
S(монокл.)	0,38	32,55	0,19	23,64

Речовина	$\Delta_f H_{298}^\circ$, кДж/моль	S_{298}° , Дж/(моль · К)	$\Delta_f G_{298}^\circ$, кДж/моль	$C_{p,298}^\circ$, Дж/(моль · К)
S (ромб.)	0	31,92	0	22,68
S(г.)	278,81	167,75	238,31	23,67
S ₂ (г.)	128,37	228,03	79,42	32,51
SO ₂ (г.)	-296,90	248,07	-300,21	39,87
SO ₂ Cl ₂ (ж.)	-394,13	216,31	-321,49	133,89
SO ₂ Cl ₂ (г.)	-363,17	311,29	-318,85	77,40
SO ₃ (г.)	-395,85	256,69	-371,17	50,09
H ₂ S(г.)	-20,61	205,70	-33,50	33,44
H ₂ SO ₄ (ж.)	-813,99	156,90	-690,14	138,91
S ²⁻ (р.)	32,64	-14,52	85,40	—
SO ₃ ²⁻ (р.)	-638,27	-38,28	-486,73	—
SO ₄ ²⁻ (р.)	-909,26	18,20	-743,99	—
Sb(тв.)	0	45,69	0	25,23
SbCl ₃ (тв.)	-381,16	183,26	-322,45	110,46
SbCl ₃ (г.)	-311,96	338,49	-299,54	77,40
Sb ₂ O ₃ (тв.)	-715,46	132,63	-636,06	111,76
Sb ₂ O ₅ (тв.)	-1007,51	125,10	-864,74	117,61
Se(тв.)	0	42,44	0	25,36
Si(тв.)	0	18,83	0	19,99
SiCl ₄ (ж.)	-687,85	239,74	-620,75	145,27
SiCl ₄ (г.)	-657,52	330,95	-617,62	90,37
SiF ₄ (г.)	-1614,94	282,38	-1572,66	73,64
SiH ₄ (г.)	34,73	204,56	57,18	42,89
SiO ₂ (кварц)	-910,94	41,84	-856,67	44,43
SiO ₂ (стекл.)	-903,49	46,86	-859,71	44,35
[SiF ₆] ²⁻ (р.)	-2396,51	125,94	-2208,25	—
Sn(тв.)	0	51,55	0	26,99
SnCl ₂ (тв.)	-330,95	131,80	-288,40	75,58
SnCl ₄ (ж.)	-528,86	258,99	-457,74	165,27
SnCl ₄ (г.)	-489,11	365,84	-449,55	98,32
SnO(тв.)	-285,98	56,48	-256,88	44,35
SnO ₂ (тв.)	-580,74	52,30	-519,83	52,59
Sn ²⁺ (р.)	-10,23	-25,26	-26,24	—
Sr(тв.)	0	55,69	0	26,36
SrO(тв.)	-592,04	54,39	-562,10	45,03
SrSO ₄ (тв.)	-1444,74	117,57	-1332,42	107,79
Sr ²⁺ (р.)	-545,51	-26,36	-560,97	—
Te(тв.)	0	49,50	0	25,71
TeCl ₄ (тв.)	-323,84	200,83	-236,00	138,49
TeO ₂ (тв.)	-323,42	74,06	-269,61	63,88
Ti(тв.)	0	30,63	0	25,02

Речовина	$\Delta_f H_{298}^\circ$, кДж/моль	S_{298}° , Дж/(моль · К)	$\Delta_f G_{298}^\circ$, кДж/моль	c_p^{298} , Дж/(моль · К)
TiCl ₄ (ж.)	-804,16	252,40	-737,42	145,20
TiCl ₄ (г.)	-763,16	354,80	-726,85	95,45
TiO ₂ (тв.)	-944,75	50,33	-889,49	50,04
Tl(тв.)	0	64,18	0	26,32
TlCl(тв.)	-204,18	111,29	-184,98	52,70
Tl ₂ O(тв.)	-167,36	134,31	-138,57	68,54
Tl ⁺ (р.)	5,52	126,20	-32,43	—
Tl ³⁺ (р.)	201,25	-176,92	214,76	—
U(тв.)	0	50,29	0	27,66
UF ₄ (тв.)	-1910,37	151,67	-1819,74	115,98
UF ₆ (тв.)	-2188,23	227,61	-2059,82	167,49
UF ₆ (г.)	-2128,61	377,98	-2055,03	129,74
UO ₂ (тв.)	-1084,91	77,82	-1031,98	63,71
U ₃ O ₈ (тв.)	-3574,81	282,42	-3369,50	273,24
UO ₂ (NO ₃) ₂ (тв.)	-1348,99	276,33	-1114,76	—
U ³⁺ (р.)	-514,63	-125,52	-520,59	—
UO ₂ ²⁺ (р.)	-1018,66	-89,68	-954,71	—
W(тв.)	0	32,64	0	24,27
WO ₃ (тв.)	-842,91	75,90	-764,11	72,79
Zn(тв.)	0	41,63	0	25,44
ZnCl ₂ (тв.)	-415,05	111,46	-369,39	67,53
ZnCO ₃ (тв.)	-812,53	80,33	-730,66	80,08
ZnO(тв.)	-348,11	43,51	-318,10	40,25
ZnSO ₄ (тв.)	-981,36	110,54	-879,12	99,06
Zn(OH) ₂ (тв.)	-645,43	76,99	-555,92	74,27
Zn ²⁺ (р.)	-153,64	-110,62	-147,16	—
Zr(тв.)	0	38,99	0	25,44
ZrCl ₄ (тв.)	-979,77	181,42	-889,27	119,77
ZrO ₂ (тв.)	-1097,46	50,36	1039,72	56,05

Періодична система елементів Д. І. Менделєєва

1																18	
1 H 1.008	2											13	14	15	16	17	2 He 4.003
3 Li 6.94	4 Be 9.01											5 B 10.81	6 C 12.01	7 N 14.01	8 O 16.00	9 F 19.00	10 Ne 20.18
11 Na 22.99	12 Mg 24.30	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13 Al 26.98	14 Si 28.09	15 P 30.97	16 S 32.06	17 Cl 35.45	18 Ar 39.95
19 K 39.10	20 Ca 40.08	21 Sc 44.96	22 Ti 47.87	23 V 50.94	24 Cr 52.00	25 Mn 54.94	26 Fe 55.85	27 Co 58.93	28 Ni 58.69	29 Cu 63.55	30 Zn 65.38	31 Ga 69.72	32 Ge 72.64	33 As 74.92	34 Se 78.96	35 Br 79.90	36 Kr 83.80
37 Rb 85.47	38 Sr 87.62	39 Y 88.91	40 Zr 91.22	41 Nb 92.91	42 Mo 95.96	43 Tc -	44 Ru 101.07	45 Rh 102.91	46 Pd 106.42	47 Ag 107.87	48 Cd 112.41	49 In 114.82	50 Sn 118.71	51 Sb 121.76	52 Te 127.60	53 I 126.90	54 Xe 131.29
55 Cs 132.91	56 Ba 137.33	57-71	72 Hf 178.49	73 Ta 180.95	74 W 183.84	75 Re 186.21	76 Os 190.23	77 Ir 192.22	78 Pt 195.08	79 Au 196.97	80 Hg 200.59	81 Tl 204.38	82 Pb 207.2	83 Bi 208.98	84 Po -	85 At -	86 Rn -
87 Fr -	88 Ra -	89-103	104 Rf -	105 Db -	106 Sg -	107 Bh -	108 Hs -	109 Mt -	110 Ds -	111 Rg -							

57 La 138.91	58 Ce 140.12	59 Pr 140.91	60 Nd 144.24	61 Pm -	62 Sm 150.36	63 Eu 151.96	64 Gd 157.25	65 Tb 158.93	66 Dy 162.50	67 Ho 164.93	68 Er 167.26	69 Tm 168.93	70 Yb 173.05	71 Lu 174.97
89 Ac -	90 Th 232.04	91 Pa 231.04	92 U 238.03	93 Np -	94 Pu -	95 Am -	96 Cm -	97 Bk -	98 Cf -	99 Es -	100 Fm -	101 Md -	102 No -	103 Lr -

Таблиця розчинності неорганічних сполук

Іони	Br ⁻	CH ₃ COO ⁻	CN ⁻	CO ₃ ²⁻	Cl ⁻	F ⁻	I ⁻	NO ₃ ⁻	OH ⁻	PO ₄ ³⁻	S ²⁻	SO ₄ ²⁻
Ag ⁺	Н	М	Н	Н	Н	Р	Н	Р	-	Н	Н	М
Al ³⁺	Р	+	?	-	Р	М	Р	Р	Н	Н	+	Р
Ba ²⁺	Р	Р	Р	Н	Р	М	Р	Р	Р	Н	Р	Н
Be ²⁺	Р	+	?	+	Р	Р	Р	Р	Н	Н	+	Р
Ca ²⁺	Р	Р	Р	Н	Р	Н	Р	Р	М	Н	М	М
Cd ²⁺	Р	Р	М	+	Р	Р	Р	Р	Н	Н	Н	Р
Co ²⁺	Р	Р	Н	+	Р	Р	Р	Р	Н	Н	Н	Р
Cr ³⁺	Р	+	Н	-	Р	М	Н	Р	Н	Н	+	Р
Cs ⁺	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р
Cu ²⁺	Р	Р	Н	+	Р	Р	-	Р	Н	Н	Н	Р
Fe ²⁺	Р	Р	Н	+	Р	М	Р	Р	Н	Н	Н	Р
Fe ³⁺	Р	-	-	-	Р	Н	-	Р	Н	Н	-	Р
Hg ²⁺	М	Р	Р	-	Р	+	Н	+	-	Н	Н	+
Hg ₂ ²⁺	Н	М	-	Н	Н	М	Н	+	-	Н	-	Н
K ⁺	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р
Li ⁺	Р	Р	Р	Р	Р	Н	Р	Р	Р	М	Р	Р
Mg ²⁺	Р	Р	Р	М	Р	Н	Р	Р	Н	Н	Н	Р
Mn ²⁺	Р	Р	Н	+	Р	Р	Р	Р	Н	Н	Н	Р
NH ₄ ⁺	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	-	+	Р
Na ⁺	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р
Ni ²⁺	Р	Р	Н	+	Р	Р	Р	Р	Н	Н	Н	Р
Pb ²⁺	М	Р	Н	+	М	М	М	Р	Н	Н	Н	Н
Rb ⁺	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р
Sn ²⁺	+	+	-	-	+	М	М	+	Н	Н	Н	Р
Sr ²⁺	Р	Р	Р	Н	Р	Р	Р	Р	М	Н	Р	Н
Tl ⁺	М	Р	Р	Р	М	Н	Н	Р	Р	М	Н	М
Zn ²⁺	Р	Р	Н	+	Р	Р	Р	Р	Н	Н	Н	Р

Позначення: Р – добре розчинний; М – малорозчинний; Н – практично нерозчинний; + – повністю реагує з водою чи не випадає з водного розчину; - – не існує, ? – дані про розчинність відсутні.