

# Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»



Навчально-науковий інститут  
Хімічних технологій та інженерії



## Фізична хімія

### Лекція 8 Елементи синергетики

Харків 2023

# ЗМІСТ

- 1. Історичні аспекти*
- 2. Характеристика відкритих систем*
- 3. Синергетика : Основні визначення*
- 4. Приклади самоорганізації систем:*
  - Ячейки Бенара*
  - Реакція Білоусова-Жаботинського*
  - Самоорганізація в твердих тілах*

синергетика - (греч. *sinergeia* - совместное действие) - новая методология научного познания, ориентированная на постижение целостной картины мира, на поиск универсальных законов эволюции и самоорганизации открытых, неравновесных и нелинейных систем.

«Синергетика» означає спільну, об'єднану дію і підкреслює кооперативний характер ефектів, пов'язаних з самоорганізацією.



# *Синергізм: автомайстерня в Греції (п-ів Халкідіки, 2014 р.)*



- **Синергізм.** Термін *синергетика* означає спільну або корпоративну дію, а *синергетический ефект* – зростання ефективності діяльності в інтеграції, злиття окремих частин в єдину систему.

- **Питання** – наскільки термінологія синергетики, а точніше – саме синергізм, можна застосовувати до таких об'єктів, як конденсовані системи?

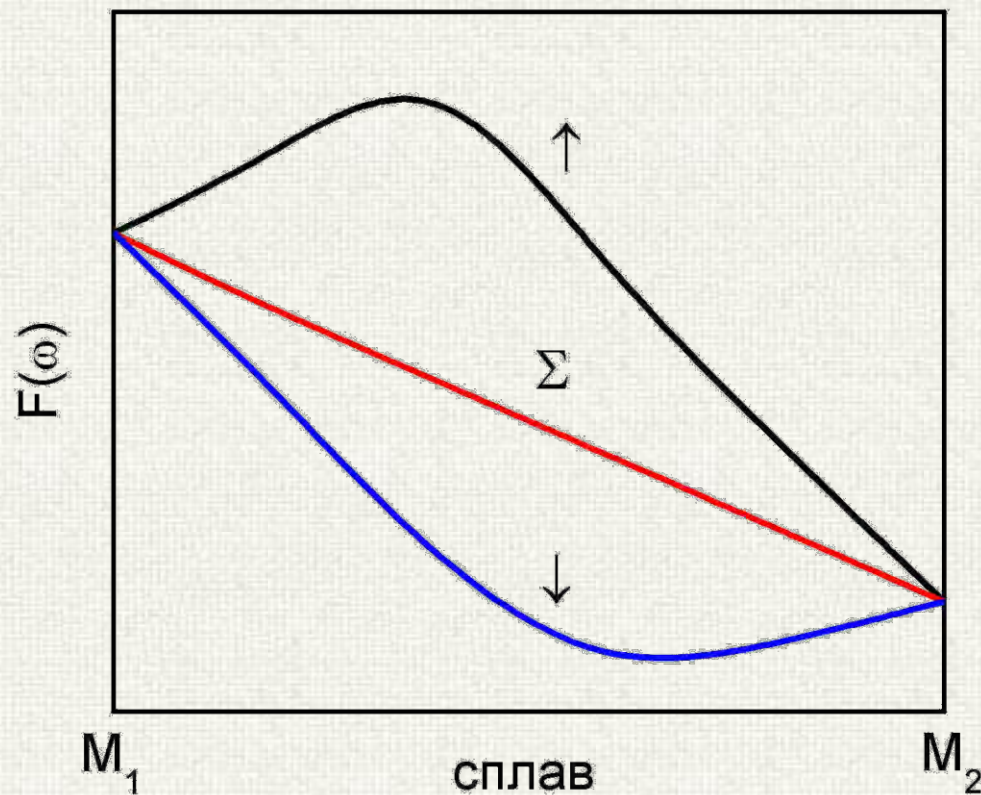
Із визначення об'єкта дослідження синергетики «процеси в складних відкритих нерівноважних системах...» випливає, що сукупність вказаних системотвірних ознак повною мірою можна застосувати до процесів у фізико-хімічних системах, до яких відноситься, зокрема, і сплавоутворення.

- **Дійсно, в умовах зовнішнього впливу така сплавотвірна система є складною, відкритою і нерівноважною.**





# Функціональні властивості металевих сплавів: кількісні характеристики



- $\uparrow$  – синергетичні
- $\Sigma$  – адитивні
- $\downarrow$  – інгібування

# Синергетичні сплави: легкоплавкість

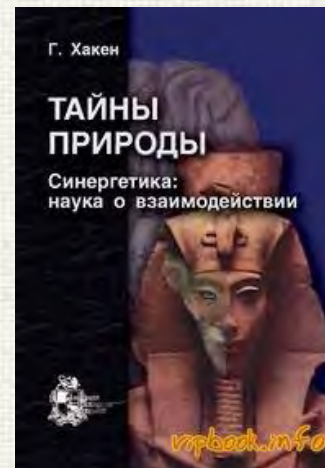
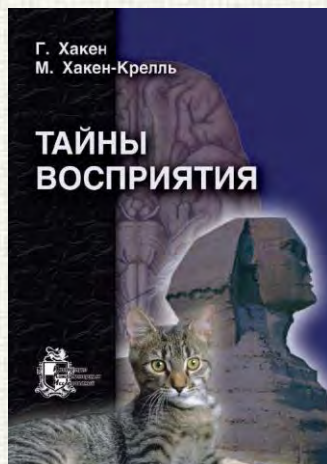
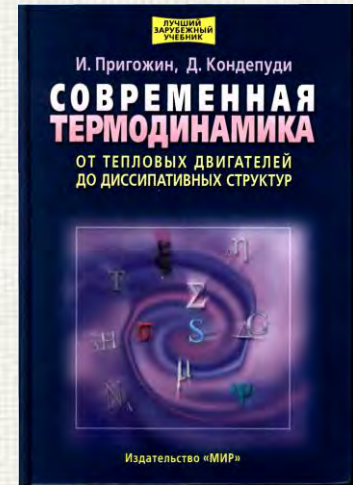
Название сплаву	Вміст елементів, мас.%					T <sub>пл</sub> , °C
	Pb	Sn	Cd	Bi	In	
ПОС 61	38	62	-	-	-	183
Сплав Розе	28	22	-	50	-	100
Сплав Ньютона	31, 2	18,8	-	50	-	94
Сплав Розе	25	25	-	50	-	93
Сплав Філдса	-	25	-	58	17	79
Сплав Вуда	25	12,5	12,5	50	-	68
Легкоплавкий	22,6	8,3	5,3	44,7	19,1	47
T <sub>пл</sub> металa, °C	327,4	232	321	271,4	156,6	-

# «Хімічна чайна церемонія» в ХІХ сторіччі





# Синергетика



# Герман Хакен

- **Хакен Герман** (народився 12 липня 1927 р.) — німецький фізик-теоретик, засновник **синергетики**. Вивчав фізику і математику в університетах Галле (1946—1948) та Ерлангена (1948—1950), одержав ступені доктора філософії і доктора природничих наук.
- З 1960 р. професор теоретичної фізики університета Штутгарта. До жовтня 1997 р. був директором Інституту теоретичної фізики і синергетики університета Штутгарта. З грудня 1997 р. є почесним професором і очолює Центр синергетики в цьому інституті, а також веде дослідження в Центрі по вивченню складних систем в університеті Флориди (США). Він є видавником шпрингерівської серії книг із синергетики, в межах якої вже надруковано понад 100 тт.





## Future: Коливальні хімічні реакції



**Ілля Романович  
Пригожин  
(1917- 2003)**

В 1955 р. бельгійський фізик і фізикохімік, автор теорії термодинаміки необоротних процесів І.Р. Пригожин (Нобелівська премія з хімії, 1977 р.), довів, що у відкритій системі поблизу стаціонарного стану, достатньо віддаленого від хімічної рівноваги, можуть виникати хімічні коливання. Автор **теорії дисипативних структур**



# I. Пригожин: Коливальні хімічні реакції

- Открытый Пригожиным новый принцип - **порядок через флуктуацию** (любое колебание или любое периодическое изменение)
- Дальнейшие исследования показали, что он представляет собой базисный механизм развертывания эволюционных процессов во всех областях - от атомов до галактик, от отдельных клеток до человеческих существ и вплоть до обществ и культур.
- На основании этих наблюдений появилась возможность сформулировать единую точку зрения на эволюцию, объединяющим принципом которой является не стабильное состояние, а динамические состояния неуравновешенных систем.

# Remember: Відкриті системи

**Відкриті системи** - це термодинамічні системи , що обмінюються з довкіллям (середовищем), речовиною, енергією та імпульсом.

$$dS = dS_i + dS_e, \text{ де}$$

$dS_i$  - виробництво ентропії всередині системи,

$dS_e$  - потік ентропії, обумовлений обміном енергією і речовиною з оточуючим середовищем.

$$P = dS / dt; P = \min, dP = 0;$$

$$dP / dt < 0, \text{ де}$$

$P$  - створення ентропії

# Рівноважний і нерівноважний стан системи

## Рівноважний стан

Система змінює свою структуру тільки при наявності сильних збурень.

Елементи системи перебувають в хаотичному русі. Ентропія зростає.

Один дискретний стабільний стан систем.

Нечутливість до флуктуацій.

Поведінка системи характеризується лінійними залежностями.

## Нерівноважний стан

Система міняє свою структуру, реагує на зовнішні умови. Приток енергії створює в системі упорядкованість; ентропія зменшується.

Нерівноважність - причина порядку системи; її елементи поводять себе корельовано.

Множина дискретних стабільних станів системи.

Чутливість до флуктуацій.

Наявність біфуркацій (критичні стани, переломні точки в розвитку системи).

Невизначеність поведінки системи.



# Концепції еволюції реальних систем

Матерія здатна виконувати роботу і проти термодинамічної рівноваги, **самоорганізовуватись і самоускладнюватись**. Новий порядок пов'язаний з появою і накопиченням флуктуацій в системі.

**Флуктуації** – випадкові відхилення фізичних величин від середніх значень.

В подальшому вони наростають і сприяють появі хаосу в системі. Флуктуації ведуть до зростання ентропії. Новий порядок завжди відновлюється через хаос. Флуктуації розгойдують систему, вона стає нестійкою, і будь-який незначний вплив штовхає її до саморуйнування, **а далі – до вибору шляху**.

Система підходить до **точки бифуркації** (вибору), де існує декілька альтернатив подальшого розвитку.

# Дисипативні структури

- Відкриті нерівноважні системи, що взаємодіють із зовнішнім середовищем, можуть набувати особливого динамічного стану – **дисипативність. Дисипативна система** (або **дисипативна структура**, від лат. *dissipatio* — «розсіюю, руйную») - це відкрита система далека від термодинамічної рівноваги, для якої стійкий стан виникає за умови дисипації (розсіювання) енергії, що надходить іззовні. В таких системах енергія впорядкованого руху переходить в енергію невпорядкованого хаотичного руху, в тепло. Якщо **замкнена система**, що виведена із стану рівноваги, завжди прагне до максимуму ентропії, то у **відкритій системі** відтік ентропії може урівноважити її зростання в самій системі і імовірним стає виникнення стаціонарного стану. Якщо відтік ентропії перевищить її внутрішнє зростання, то виникають і розростаються до макрорівня великомасштабні флуктуації, а за певних умов в системі можуть спонтанно виникати нові типи структур, відбуваються процеси самоорганізації, утворення впорядкованих структур. Таким чином, **дисипативні структури** - просторово-часові структури, які можуть виникати далеко від рівноваги в нелінійній області при критичних значеннях параметрів системи і є своєрідним макроскопічним проявом процесів, що перебігають на мікрорівні.