



Інститут ядерних досліджень НАНУ

# ФІЗИКА НЕІДЕАЛЬНОЇ ПЛАЗМИ

**Лекція #1**

Модуль #1

Класична неідеальна плазма

# 1.Поняття плазми

- 1.1. Термін плазма походить від грецького πλάσμα – “зформованне”, “виліпленне”.
- 1.2. Вважається , що плазма була відкрита та спостерігалась у XIX ст.
- 1.3. Безпосередньо термін плазма був введений Ленгмюром та Тонксом у 1929р.
- 1.4. Плазму називають четвертим станом речовини.
- 1.5. Плазма – іонізоване квазінейтральне середовище
- 1.6. Плазма – середовище з колективним характером взаємодії

## 2. Класифікація різновидів плазми

2.1. За складом (складовими частинками) розрізняють такі типи:

- електрон-іонна плазма:
- електрон-діркова плазма:
- електрон-позитронна плазма;
- Кварк-глюонна плазма.

## 2. Класифікація різновидів плазми

2.2. За роллю квантових ефектів:

- класична плазма:
- вироджена (квантова).

## 2. Класифікація різновидів плазми

### 2.3. За роллю міжчастинкової взаємодії

- ідеальна плазма:
- неідеальна плазма.

## 2. Класифікація різновидів плазми

### 2.4. За температурою:

- низькотемпературна плазма:
- Високотемпературна плазма.

## 2. Класифікація різновидів плазми

2.5. За умовами термодинамічної рівноваги:

- рівноважна плазма:
- нерівноважна плазма.

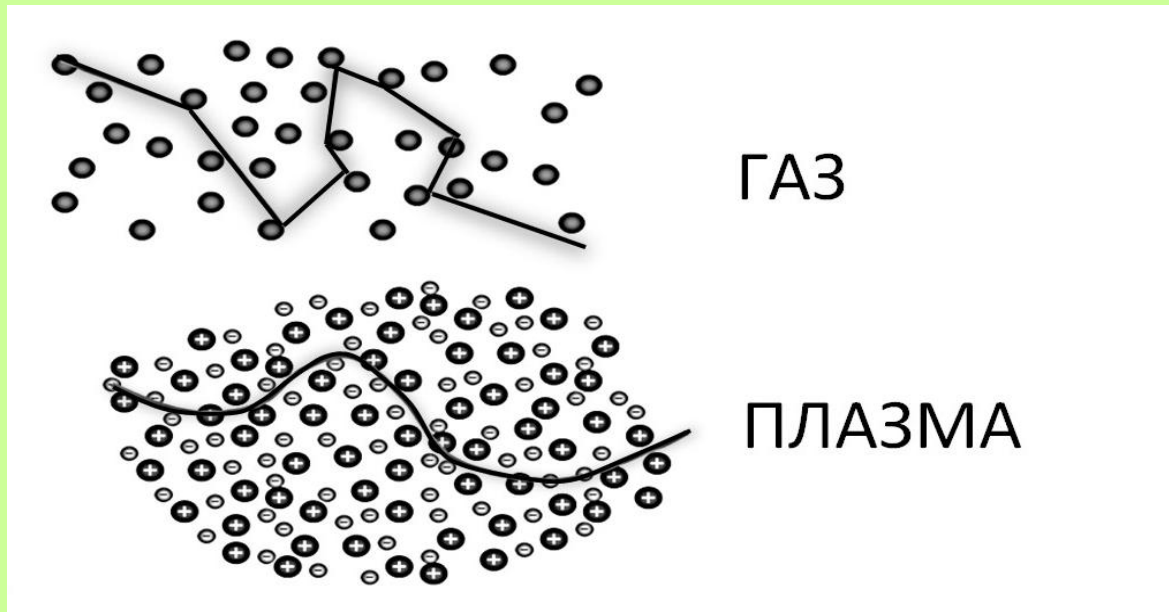
## 2. Класифікація різновидів плазми

Інші класифікації :

- за часом існування:
- за природою походження;
- за місцем виникнення.



### 3. Основні уявлення про неідеальну плазму



Плазма є середовищем з колективною взаємодією

### .3. Основні уявлення про неідеальну плазму

#### 3.1. Класична та квантова плазма. Умова класичності

$$\lambda_B = \frac{2\pi\hbar}{p} \quad p = \sqrt{mkT} \quad \lambda_B \propto n^{-\frac{1}{3}} \quad kT \gg \frac{4\pi^2\hbar^2 n^{2/3}}{m}$$

$$\beta = \frac{1}{kT} \quad \xi = \beta\varepsilon_F \ll 1 \quad \varepsilon_F = \frac{(3\pi n_e)^{2/3} \hbar^2}{2m}$$

$$kT \leq Ry = e^4 m / 2\hbar^2$$

## .3. Основні уявлення про неідеальну плазму

### 3.2. Критерії неідеальності

Плазма ідеальна коли

$$W_E \ll W_K$$

### .3. Основні уявлення про неідеальну плазму

#### 3.2. Критерії неідеальності. Класичний критерій. Радіус Вігнера-Зейтца

$$\gamma = \frac{e^2 \beta}{r_S} \propto e^2 n_e^{1/3} \beta \ll 1$$

$$\frac{4}{3} \pi n_e r_S^3 = 1$$

## .3. Основні уявлення про неідеальну плазму

### 3.3. Критерії неідеальності. Квантовий критерій

$$\gamma_q = \frac{e^2 n_e^{1/3}}{\varepsilon_F} \ll 1$$

### .3. Основні уявлення про неідеальну плазму

#### 3.4. Дебаєвський радіус

$$\varphi = (Ze/r) \exp(-r/r_D)$$

$$r_D = \left( 4\pi e^2 \beta \sum_{\alpha} Z_{\alpha}^2 n_{\alpha} \right)^{-1/2}$$

### .3. Основні уявлення про неідеальну плазму

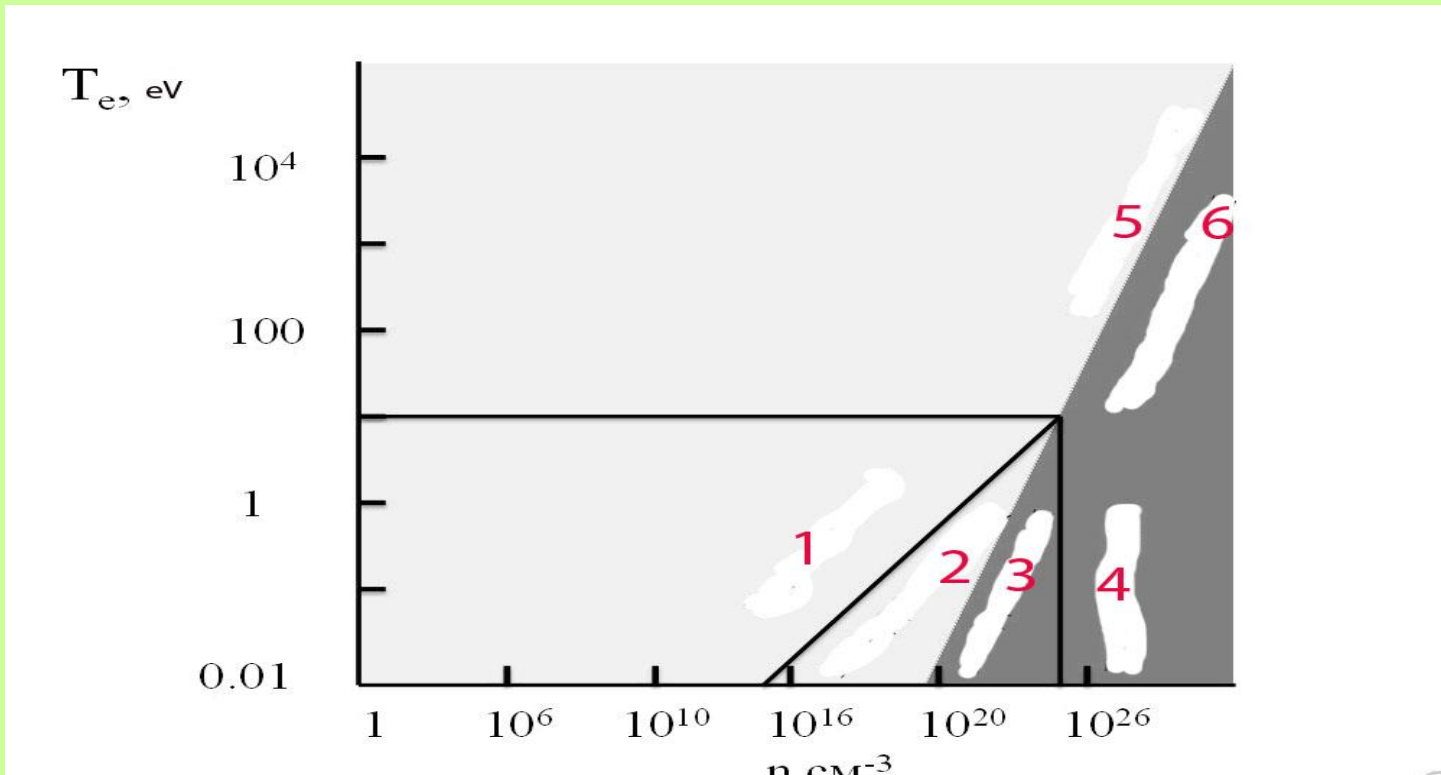
#### 3.5. Критерії неідеальності. Дебаєвський критерій

$$\Gamma = e\beta/r_D \ll 1 \quad N_D = \frac{4}{3}\pi n_e r_D^3$$

$$\Gamma = (3\gamma^3)^{1/2} = (3N_D)^{-1} \ll 1$$

$$N_D \gg 1$$

### 3. Основні уявлення про неідеальну плазму



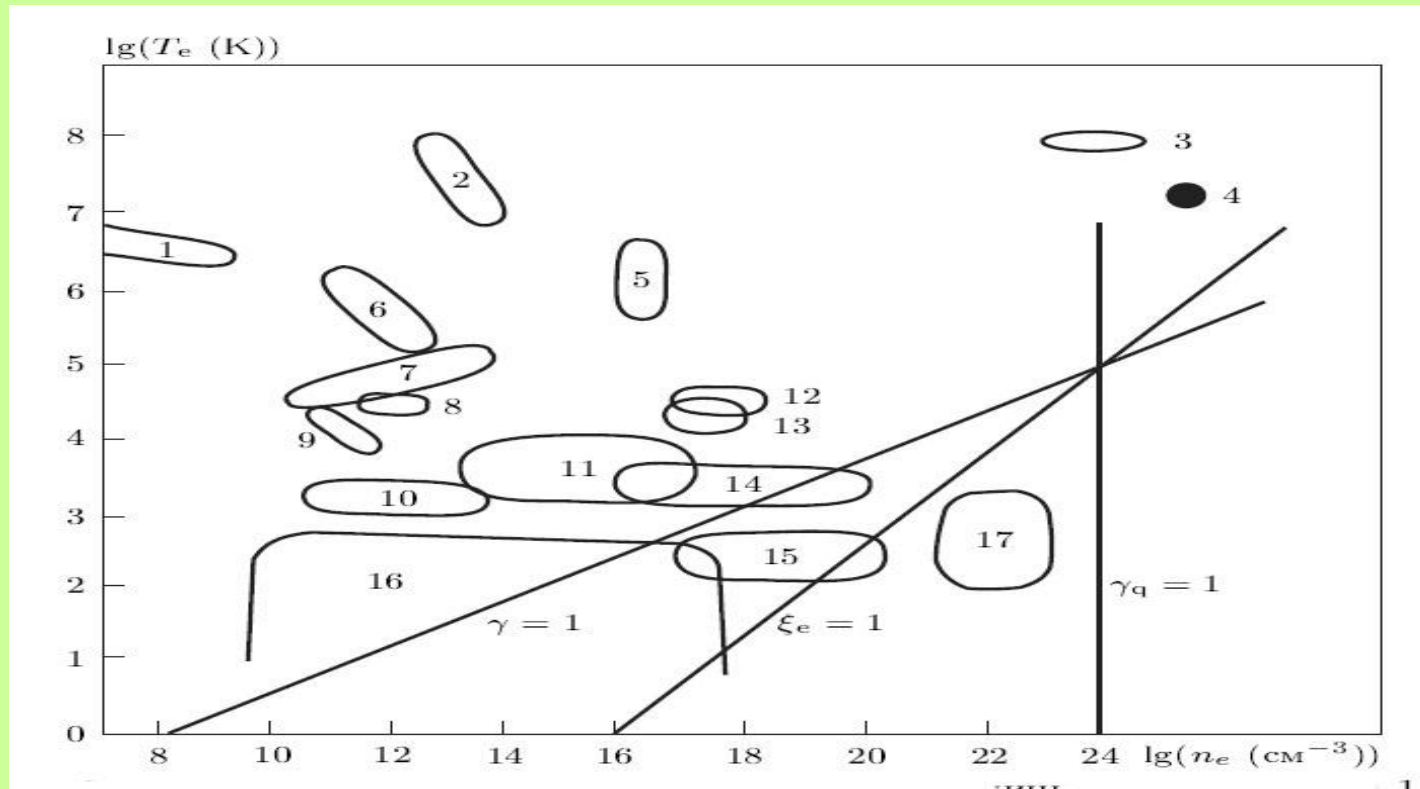
1-ідеальна, 2- неідеальна, 3- неідеальна, 4- ідеальна, 5 –класична, 6 – вироджена (квантова)

$$n_* = \left( \frac{me^2}{h^2} \right) = a_B^{-3}$$

$$T_* = \frac{1}{2} e^2 n_*^{1/3} = \frac{me^4}{2h^2} = 1\text{Ry}$$



### 3. Основні уявлення про неідеальну плазму



Параметри плазми, що реалізуються в різних плазмових системах. 1- сонячна корона, 2-токамак, 3-лазерний термоядерний синтез, 4-ядро Сонця, 5- Z-пінч, 6-стеларатор, 7-газові лазери, 8-плазмотрон, 9- хромосфера Сонця, 10- плазма продуктів згоряння вуглеводневих палив, 11-електричні дуги, 12-катодна пляма, 13- іскра, 14- МГД-генератор на неідеальній плазмі, 15- плазма напівпровідників, 16-метал-аміачні розчини, 17 –метали.