

# Модуль 3 – Керування параметрами плазми

Навчальні матеріали для середньої школи від FuseNet

## Додаткові вправи

v.1.0

Цей документ містить додаткові вправи, до Модуля 3: *Керування параметрами плазми*, навчальні матеріали для середньої школи від FuseNet

### Позначення:

\*: вступна вправа: коротка вправа, майже не потребує розрахунків.

\*\* : проміжна вправа, може вимагати певних розрахунків або більш складних міркувань.

\*\*\*: складна вправа, може потребувати складних розрахунків або виведення.

### Розділ 1: Вступ до теорії керування

#### \*Вправа А.1: Контури керування

У розділі 3.1 відбулося знайомство з контурами керування.

- Назвіть п'ять характерних складових контуру керування.
- Контури керування часто використовують зворотний зв'язок. Навіщо він потрібен?

#### \*\*\*Вправа А.2: ПІД регулятори

У розділі 3.1.2 йшлося про обробку сигналів похибки та роботу контуру керування на основі сигналу помилки. У цій вправі розглянуто три додаткові контури керування, які є більш розвинутими, ніж простий регулятор для домашнього термостата.

- Знайдіть в Інтернеті посилання на «пропорційний регулятор». Як обробляється сигнал помилки в цьому регуляторі? Який головний недолік пропорційного регулятора?
- Тепер знайдіть «пропорційно-інтегральний регулятор». Як у цьому регуляторі усувають недоліки пропорційного регулятора?
- Нарешті, знайдіть "пропорційно-інтегрально-диференціальний регулятор". Як у цьому регуляторі покращено роботу пропорційно-інтегрального регулятора?

### Розділ 2: Нагрівання плазми

#### \*\*Вправа А.3: Циклотронна частота

Як згадувалося в розділі 3.2.1, частоту циклотронного обертання частинки в магнітному полі називають циклотронною частотою, а її значення визначається формулою:

$$f_{\text{gyro}} = \frac{|q|B}{2\pi m}.$$

Уявімо токамак із напруженістю магнітного поля  $B = 5$  Тл (5 Тесла). Обчисліть циклотронну частоту в цьому магнітному полі такої частинки:

- Електрон.
- Іон дейтерію.
- Іон тритію.

Дано величину елементарного заряду  $e = 1.602 \times 10^{-19}$  Кл, масу електрона  $m_e = 9.11 \times 10^{-31}$  кг та масу протона  $m_p = 1.67 \times 10^{-27}$  кг.

# Модуль 3 – Керування параметрами плазми

## Навчальні матеріали для середньої школи від FuseNet

### \*\*Вправа А.4: Швидкість частинок

Як зазначено в розділі 3.2.2, середня швидкість частинок плазми визначається формулою:

$$v_{\text{avg.}} = \sqrt{\frac{8k_B T}{\pi m}}$$

Порахуйте середні швидкості таких частинок:

- Атом водню за кімнатної температури ( $T = 298 \text{ K}$ ).
- Іон дейтерію за температури 175 мільйонів Кельвінів.
- Іон тритію за температури 175 мільйонів Кельвінів.
- Електрон за температури 175 мільйонів Кельвінів.

Дано константу Больцмана  $k_B = 1.38 \times 10^{-23} \text{ Дж/К}$ , масу електрона  $m_e = 9.11 \times 10^{-31} \text{ кг}$ , масу протона  $m_p = 1.67 \times 10^{-27} \text{ кг}$ .

Крім того, з теорії відносності відомо, що коефіцієнт Лоренца визначається таким виразом:

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

- Порахуйте коефіцієнт Лоренца електрона за температури 175 мільйонів Кельвінів. Чи це значення є великим?

### \*\*Вправа А.5: Фото-іонізація

Конструкція інжектора нейтральних пучків передбачає етап іонізації повільних нейтральних частинок (Крок 1 на рисунку 3.6). Є кілька способів це зробити. Поширеним методом у фізиці плазми є використання високоенергетичних фотонів (світла) для йонізації нейтральних частинок. Тому цей метод називають **фото-іонізацією**.

Розглянемо інжектор нейтральних пучків на основі атомів водню. Відомо, що атом водню складається з одного протону та одного електрона. **Мінімальну** енергію, що є необхідною для того, щоби відірвати цей електрон від ядра, називають **енергією іонізації**. Вона становить для атома водню  $E_{\text{ionization}} = 13.6 \text{ eV}$ .

Обчисліть максимальну довжину хвилі, яку можна використати для фото-іонізації атомів водню в інжекторі нейтральних пучків. Підказка: енергію фотона розраховують за виразом

$$E = \frac{hc}{\lambda},$$

де  $E$  – це енергія фотона,  $h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ Дж}\cdot\text{с}$  – стала Планка,  $c = 2.998 \times 10^8 \text{ м/с}$  – швидкість світла у вакуумі та  $\lambda$  - довжина хвилі фотона.

## Розділ 3: Вимірювання температури плазми

### \*Вправа А.6: Термінологія діагностики

Поясніть різницю між:

- Дублювальною та доповнювальною діагностиками.
- Активною та пасивною діагностиками.
- Глобальними та локальними вимірюваннями.

# Модуль 3 – Керування параметрами плазми

Навчальні матеріали для середньої школи від FuseNet

**This material has been created and distributed by FuseNet for educational purposes.** This work has been carried out within the framework of the EUROfusion Consortium, funded by the European Union via the Euratom Research and Training Programme (Grant Agreement No 101052200 — EUROfusion). Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Commission. Neither the European Union nor the European Commission can be held responsible for them. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License.

