

## Esercizi aggiuntivi

v.1.0

---

Questo documento contiene esercizi aggiuntivi per accompagnare il *Modulo 3: Controllo del plasma* del materiale educativo per le scuole secondarie di secondo grado di FuseNet.

---

### Legenda:

\*: esercizio introduttivo: esercizio breve, richiede pochi o nessun calcolo.

\*\* : esercizio intermedio: potrebbe richiedere qualche calcolo o dei ragionamenti più avanzati.

\*\*\*: esercizio impegnativo, potrebbe richiedere calcoli avanzati o derivazioni.

---

## Capitolo 1: Introduzione al controllo

### \*Esercizio A.1: Anelli di controllo

Nel capitolo 3.1, abbiamo approfondito gli anelli di controllo.

- Nomina i cinque elementi di un anello di controllo.
- Gli anelli di controllo fanno spesso uso della retroazione. A cosa serve la retroazione?

### \*\*\*Esercizio A.2: Controllori PID

Nella Sezione 3.1.2 abbiamo discusso di come vengono gestiti i segnali di errore e di come si possono creare schemi di controllo utilizzando il segnale di errore. In questo Esercizio, esamineremo tre ulteriori schemi di controllo, più avanzati del nostro semplice regolatore on-off per il termostato di casa.

- Cercate su Internet "regolatore proporzionale". Come viene gestito il segnale di errore in questo regolatore? Qual è il principale svantaggio del regolatore proporzionale?
- Ora cercate "controllore proporzionale-integrale". In che modo questo controllore risolve il problema del controllore proporzionale?
- Infine, cercate "controllore proporzionale-integrale-derivativo". In che modo questo controllore migliora le prestazioni del controllore proporzionale-integrale?

## Capitolo 2: Scaldare il plasma

### \*\*Esercizio A.3: Frequenza di girazione

Come accennato nella sezione 3.2.1, la frequenza del moto circolare di una particella in un campo magnetico è chiamata frequenza di girazione e il suo valore è dato da

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

Supponiamo di avere un tokamak con un'intensità di campo magnetico  $B = 5\text{T}$  (5 Tesla). Calcolare la frequenza di girazione di:

- Un elettrone.
- Uno ione deuterio.
- Uno ione trizio.

È dato che la carica elementare  $e = 1,602 \times 10^{-19}\text{ C}$ , la massa dell'elettrone  $m_e = 9,11 \times 10^{-31}\text{ kg}$  e la massa del protone  $m_p = 1,67 \times 10^{-27}\text{ kg}$ .

## Modulo 3 – Controllo del plasma

Materiale educativo per le scuole secondarie di secondo grado di FuseNet

---

### \*\*Esercizio A.4: Velocità delle particelle

Come indicato nella sezione 3.2.2, la velocità media delle particelle di plasma è data da

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

Calcolare la velocità delle seguenti particelle:

- Un atomo di idrogeno a temperatura ambiente ( $T = 298\text{K}$ ).
- Uno ione deuterio a 175 milioni di Kelvin.
- Uno ione trizio a 175 milioni di Kelvin.
- Un elettrone a 175 milioni di Kelvin.

È dato che la costante di Boltzmann  $k_B = 1,38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$ , la massa dell'elettrone  $m_e = 9,11 \times 10^{-31} \text{ kg}$ , la massa del protone  $m_p = 1,67 \times 10^{-27} \text{ kg}$ .

Inoltre, dalla teoria della relatività abbiamo il fattore di Lorentz dato da

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

Calcolare il fattore di Lorentz dell'elettrone a 175 milioni di Kelvin. È un valore elevato?

### \*\*Esercizio A.5: Fotoionizzazione

Per il dispositivo NBI è necessario un modo per ionizzare le particelle neutre lente (fase 1 della Figura 3.6). Esistono diversi modi per farlo. Un metodo comune nella scienza del plasma è l'utilizzo di fotoni ad alta energia (luce) per ionizzare i neutri. Per questo motivo, questo metodo è chiamato fotoionizzazione.

Consideriamo il caso di un dispositivo NBI basato su atomi di idrogeno. Sappiamo che un atomo di idrogeno ha un protone e un elettrone. L'energia minima necessaria per sottrarre l'elettrone si chiama energia di ionizzazione, che per l'atomo di idrogeno è  $E_{\text{ionizzazione}} = 13,6 \text{ eV}$ .

Calcolare la lunghezza d'onda massima che possiamo utilizzare per fotoionizzare gli atomi di idrogeno nel nostro dispositivo NBI. Suggerimento: l'energia di un fotone è data da

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

Dove  $E$  è l'energia del fotone,  $h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ Js}$  è la costante di Planck,  $c = 2.998 \times 10^8 \text{ m/s}$  è la velocità della luce in vuoto, e  $\lambda$  la lunghezza d'onda della luce.

## Capitolo 3: Misurare la temperatura del plasma

### \*Esercizio A.6: Terminologia delle diagnostiche

Spiega le differenze tra:

- ridondanza e complementarità.
- diagnostica attiva e passiva.
- misure globali e locali.

# Modulo 3 – Controllo del plasma

Materiale educativo per le scuole secondarie di secondo grado di 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.

