

Stage en physique des plasmas pour les sources d'ions

Modèle de transport et de chauffage des électrons dans les plasmas confinés par la structure du champ magnétique d'une source d'ions à résonance électronique cyclotronique dans le cadre de GEANT4

Le fonctionnement des sources d'ions à résonance cyclotronique électronique (SIRCE) est basé sur un mécanisme en trois étapes qui conduit à la production d'ions hautement chargés qui seront ensuite injectés dans l'accélérateur :

- 1) L'absorption d'une micro-onde électromagnétique à l'intérieur du volume de confinement magnétique permet l'accélération des électrons qui atteindront alors des énergies cinétiques qui permettront, par collision, d'ioniser les atomes.
- 2) Le confinement magnétique permet de maintenir une partie de la population des électrons dans le volume d'absorption de la micro-onde et de maximiser les probabilités d'ionisation des atomes et des ions.
- 3) Les ions ainsi créés sont extraits du volume du plasma SIRCE en suivant les lignes de champs électrostatique et magnétostatique conçus pour ce faire et qui se superpose aux champs de chauffage et de confinement des électrons.

Un modèle de transport des électrons et des ions est nécessaire aussi bien pour la conception des sources que pour la compréhension de leurs performances mesurées à l'aide de diagnostics plasmas dédiés. Un tel modèle de transport est réalisable en deux régimes distincts :

- Les premiers instants de fonctionnement de la source SIRCE et du chauffage par la micro-onde, quand le plasma est suffisamment froid et peu dense & où les probabilités de collisions électron – ion et électron – électron sont très petites (régime non-collisionnel)
- Le régime de fonctionnement permanent où le plasma est chaud à l'intérieur du volume de confinement de la SIRCE.

En parallèle du développement d'un code PIC (particle-in-cell) avec nos collaborateurs du laboratoire LAPLACE de Toulouse pour décrire la phase du fonctionnement permanent, nous proposons ici la conception d'un code de calcul des trajectoires des électrons dans le champ électrique de la micro-onde et dans le champ magnétostatique d'une source SIRCE à symétrie axiale à l'aide de méthodes Monte-Carlo dans le cadre des bibliothèques numériques CERN/GEANT4. Cet environnement C++ a démontré sa fiabilité pour le calcul des trajectoires des particules chargées dans la matière à l'intérieur des cartes des champs électromagnétiques sur les ordres de grandeur des énergies cinétiques des électrons présents au sein des plasmas SIRCE.

Ce travail se déroule dans le cadre d'un projet en cours démarré il y a quelques années dans une collaboration entre le GANIL et la société Pantechnik (Bayeux, Normandie, France) ayant pour objet le développement d'une SIRCE originale conçue avec une distribution de son champ magnétostatique exactement axisymétrique pour optimiser l'efficacité du transfert des ions entre la source et les premières parties de la ligne de transport du faisceau de l'accélérateur.

L'objet du stage propose est la conception et la programmation du modèle en C++ & des différentes classes et méthodes nécessaires au calcul, la réalisation de tests numériques et la

production de premiers résultats. Un minimum de quatre mois de stage est nécessaire pour y arriver. Ce stage se situera dans la continuité d'un stage réalisé en 2022 sur ce sujet et qui nous a permis la conception, la réalisation & les tests de schémas numériques d'interpolation précis des champs électrique et magnétique en 2D et 3D. Ce stage pourra ainsi se focaliser sur l'étude du chauffage des électrons par la micro-onde dans le régime non collisionnel de fonctionnement de la SIRCE & plus spécifiquement sur la cartographie des zones du volume intérieur de la SIRCE où le chauffage résonant des électrons est effectif.

Compétences attendues

physique des plasmas, physique corpusculaire, programmation orientée objet, C++

Ce travail ne peut pas se poursuivre sur une thèse

Contact: Jean-Éric Ducret
GANIL, BP 55027, 14076 Caen France

Tél. : +33 (0)2 31 45 41 55
mail : ducret@ganil.fr