

PROPOSITION SUJET DE THÈSE

Compensation de la charge d'espace dans les lignes de basse énergie des accélérateurs d'ions légers de haute intensité

Problématique

L'un des défis actuels des accélérateurs de haute intensité (puissance du faisceau de l'ordre du mégawatt) est la dynamique du transport des faisceaux dans les lignes de basse énergie (LBE).

Cette dynamique est dominée par le champ de charge d'espace (un champ électromagnétique auto-induit par le faisceau) qui est en général non linéaire et peut entraîner des phénomènes de halo, de grossissement d'émittance et de pertes de faisceau. Cependant, un faisceau se propageant dans une ligne à basse énergie induit l'ionisation des molécules du gaz résiduel présent dans la chambre à vide par collision sur celles-ci. Les particules secondaires ainsi créées (électrons ou ions) possédant une polarité opposée aux ions du faisceau sont alors confinées par le faisceau ; les particules possédant une charge identique sont repoussées. Le faisceau de basse énergie peut alors être considéré comme un plasma qui crée un effet focalisant qui s'oppose au champ de charge d'espace. Il s'agit de la compensation de la charge d'espace.

Néanmoins, la compensation de charge d'espace d'un faisceau n'est que partielle, elle n'est pas homogène dans l'espace et elle dépend du temps (présence d'un régime transitoire avant l'établissement d'un état d'équilibre). Afin de décrire correctement la dynamique des faisceaux dans une ligne de basse énergie, il est donc nécessaire de connaître le degré de compensation de charge d'espace du faisceau, sa dépendance transverse et longitudinale ainsi que son temps d'établissement. Ces grandeurs peuvent être approchées en appliquant des modèles analytiques simples ou en utilisant des codes de calcul existants, mais il est à présent nécessaire d'obtenir des résultats pré-

dictifs et précis quantitativement. Pour cela, une meilleure compréhension des phénomènes physiques ayant lieu dans les LBE est nécessaire ; il faut ensuite intégrer cette physique dans des codes de simulation puis les valider expérimentalement.

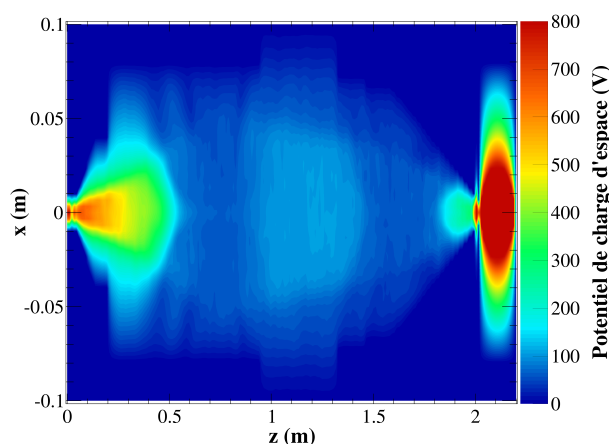


FIGURE 1 : Carte de potentiel de charge d'espace dans la ligne de basse énergie du linac à protons FAIR.

Laboratoire – Encadrement

Le travail de thèse s'effectuera au sein du Service des Accélérateurs, de Cryogénie et de Magnétisme de l'Irfu, dans le Laboratoire d'études et développements des accélérateurs (Léda) qui possède des compétences reconnues en simulation, conception, réalisation et tests de systèmes de production, de transport et d'accélération de faisceaux de particules chargées.

Le doctorant sera principalement encadré par Nicolas Chauvin, physicien des accélérateurs et spécialiste des faisceaux de haute intensité. Il sera en outre entouré d'équipes scientifiques et techniques spécialisées en dynamique des faisceaux ainsi qu'en sources d'ions fort courant et lignes de transport de basse énergie.

Travail proposé

La thèse proposée vise à améliorer significativement la compréhension de la compensation de charge d'espace des faisceaux d'ions intenses à basse énergie. Des simulations numériques seront effectuées à l'aide de codes de calcul dédiés. De nouveaux modèles seront également implémentés afin de mieux décrire les phénomènes mis en jeu dans les LBE.

Une activité expérimentale est également prévue dans le but de réaliser des mesures sur les faisceaux de basse énergie. Il est en effet nécessaire de confronter les simulations réalisées à des données expérimentales.

Formation et compétences requises

Le candidat devra être titulaire d'un master ou d'un diplôme d'ingénieur spécialisé soit en modélisation et méthodes numériques, soit en physique expérimentale ou appliquée. Il devra dans tous les cas avoir un excellent niveau général en physique afin d'être capable d'appréhender les problématiques liées au sujet et de proposer de nouveaux modèles ou de réaliser des développements expérimentaux.

Compétences acquises en fin de thèse

Au travers des activités de simulation et de modélisation, le doctorant apprendra à exploiter des codes de calculs (éléments finis, Particle-in-Cell) existants. Il devra également développer de nouveaux modèles puis les coder (C++, Python), les valider et les utiliser. Il sera également appelé à développer des programmes d'analyse de données.

De plus, le doctorant participera activement à un programme expérimental utilisant des sources d'ions et des lignes de faisceau. Ainsi, il apprendra et mettra en œuvre des compétences dans le domaine de l'acquisition et du traitement de données, des mesures physiques, du vide, de l'hyperfréquence...

En définitive, au cours de sa thèse, le candidat assimilera des connaissances spécifiques à la

physique des accélérateurs qui lui permettront, s'il le souhaite, de poursuivre une carrière dans ce domaine de recherche. Mais surtout, il acquerra des compétences génériques à la modélisation physique, à l'expérimentation et à l'instrumentation scientifique en général qui pourront être par la suite valorisées dans d'autres domaines de recherche ou dans l'industrie.

Collaborations

Des mesures pourront être effectuées sur la ligne de basse énergie du banc de test BETSI à Saclay, sur l'injecteur IFMIF à Rokkasho (Japon) ou sur l'injecteur du linac à protons FAIR (conçu et réalisé par l'Irfu en collaboration avec le GSI, Darmstadt) qui entrera en phase de tests à Saclay fin 2014.

Financement

Ce sujet de thèse a été sélectionné comme sujet «phare» du CEA en 2014 et à ce titre, un financement de type CFR lui sera attribué en priorité (<http://www-instn.cea.fr/-Sujets-de-these-.html>).

Contact

Nicolas Chauvin, physicien.

✉ Nicolas.Chauvin@cea.fr

☎ 00 33 1 69 08 73 23

<http://irfu.cea.fr/sacm>

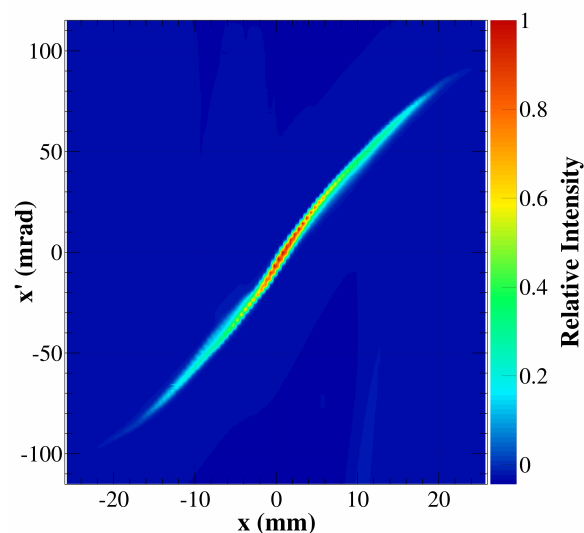


FIGURE 2 : Mesure d'émittance réalisée sur la ligne basse énergie de l'injecteur IFMIF.