

Une approximation FEM-PIC conservative et semi-implicite de Vlasov-Maxwell pour la simulation d'un Klystron

jeudi 3 décembre 2020 14:00 (30 minutes)

Préserver l'énergie et les lois de Gauss au niveau discret fait partie des critères de stabilité en temps long des approximations du modèle de Vlasov-Maxwell. Diverses méthodes existent qui garantissent ces lois de conservation, dont la plupart procède par des discrétisations temporelles complètement implicites. Dans ces cas, l'intégration des trajectoires des particules met en jeu un grand nombre de résolutions non-linéaires, qui rendent le processus assez coûteux.

Néanmoins, un schéma récent, nommé ECSIM, propose une approximation semi-implicite des équations de Vlasov-Maxwell conservant exactement l'énergie discrète (G. Lapenta, J. Comp. Phys., 2017). Le caractère semi-implicite de cette méthode correspond à un pousseur de particules complètement explicite couplé à un solveur de Maxwell linéairement implicite, au coût très modéré. Pour autant, ce schéma ne préserve pas les lois de Gauss. Or, dans le cadre particulier des approximations éléments-finis compatibles particule-in-cell (FEM-PIC), une formulation générale des discrétisations conservant la charge est établie (Campos Pinto, Jund, Salmon, Sonnendrucker, CRAS-Mécanique, 2014), qui permet la préservation des lois de Gauss par un suivi local des particules.

L'idée d'appliquer ce procédé de conservation de la charge à ECSIM tout en gardant sa formulation semi-implicite linéaire a donné naissance à un nouveau schéma : ChECSIM. Celui-ci présente d'intéressantes propriétés de stabilité au prix d'une complexité très mesurée. Par sa robustesse, il permet l'utilisation de longs pas de temps qui peuvent accélérer sensiblement les calculs.

Dans le contexte industriel des sources micro-ondes, le Klystron est un composant de premier plan pour des applications à haute fréquence et forte puissance. Au sein de cet appareil, des ondes électro-magnétiques stationnaires sont couplées à un faisceau d'électrons qui traverse des cavités métalliques. Pour des raisons d'efficacité, les outils de simulations de ce phénomène reposent sur un modèle de Vlasov-Maxwell réduit, où les champs sont approchés par des équations harmoniques. Cependant, les développements récents de la technologie font émerger le besoin de simulations avec le modèle temporel complet, sous une forte contrainte de rapidité des calculs.

Cette motivation industrielle nous conduit à une nouvelle approximation de Vlasov-Maxwell dans les cas proches du régime périodique en temps. Le champ électromagnétique est décomposé en une composante périodique d'une part, et un reste temporel d'autre part. La première est approchée par Maxwell harmonique, tandis que le bruit restant est obtenu par un algorithme PIC efficace : ChECSIM.

Auteur principal: M. PAGÈS, Valentin (Laboratoire Jacques-Louis Lions)

Co-auteur: Dr CAMPOS PINTO, Martin (Max-Planck-Institut für Plasmaphysik)

Orateur: M. PAGÈS, Valentin (Laboratoire Jacques-Louis Lions)

Classification de Session: Session parallèle 5