

Titre : Ondes et instabilités

Sigle : TC4

Coordinateur de l'UE : Caterina RICONDA, Laboratoire de l'Utilisation des Lasers Intenses (LULI)

Equipe pédagogique : Jérôme FAURE, Roch SMETS, Caterina RICONDA

Prérequis : Masters M1 de Physique et Ecoles d'Ingénieurs.

Crédits : 3 ECTS

Langue : Français/Anglais

Mots-clefs : Théorie linéaire, phénomènes non-linéaires, milieux inhomogènes, théories fluide et cinétique.

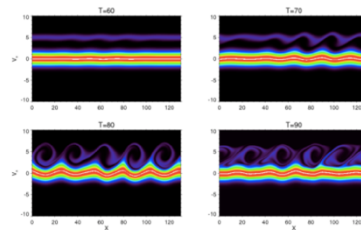
Le cours comprend trois parties présentées en détail ci-dessous.

I. Ondes et instabilités dans les plasmas : les fondements

Cette partie a pour objectif de présenter de façon très générale la théorie des ondes dans les plasmas dans le cadre de la théorie fluide et de la théorie cinétique. Les relations de dispersion et les caractéristiques des différentes solutions d'onde sont calculées dans l'approximation linéaire. Plusieurs exemples de phénomènes non-linéaires sont ensuite présentés. La théorie des instabilités linéaires est présentée en milieu non magnétisé.

Les thématiques abordées sont les suivantes :

- Equations fluides et fonction diélectrique.
- Ondes dans les plasmas non magnétisés.
- Déferlement des ondes plasma électroniques dans un plasma froid en théorie fluide.
- Absorption collisionnelle des ondes électromagnétiques.
- Propagation d'une onde électromagnétique en milieu inhomogène (théorie WKB).
- Absorption résonnante.
- Ondes non-linéaires de basse fréquence : solitons acoustiques-ioniques, chocs non-collisionnels.
- Chocs collisionnels, courbes d'Hugoniot, cas du gaz parfait.
- Fonction diélectrique en théorie cinétique.
- Amortissement Landau des ondes électrostatiques dans un plasma Maxwellien, déferlement des ondes plasma électroniques dans un plasma chaud, ondes électro-acoustiques.
- Instabilité faisceau-plasma cinétique (bump-in-tail).
- Instabilité faisceau-plasma fluide pour des ondes électrostatiques et électromagnétique (instabilité de Weibel).
- Ondes dans les plasmas magnétisés : résonance cyclotron, modes électromagnétiques droit et gauche, ondes de sifflement, instabilité d'anneau.
- Force pondéromotrice, couplage résonnant à trois ondes.



Simulation de l'instabilité faisceau-plasma

II. Application aux plasmas astrophysiques : ondes et instabilités

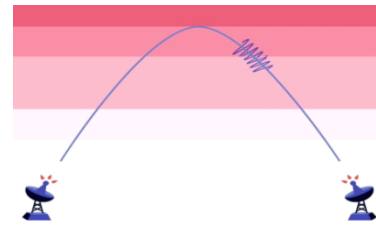
Ce cours présente différents exemples d'ondes et d'instabilités dans les plasmas astrophysiques, en utilisant le formalisme fluide ainsi que cinétique. Les thématiques abordées sont les suivantes :

- Les modes d'Alfvén. Il s'agit de montrer comment la prise en compte de termes non-idéaux dans la loi d'Ohm permet de balayer le spectre des ondes d'Alfvén, de l'instabilité firehose, du mode miroir, des ondes d'Alfvén cinétiques puis des ondes d'Alfvén inertielles.

- La reconnexion magnétique. On présente le concept physique, puis les différents modèles

historiques (résistifs), la couche de Harris, le mode tearing résistif et le mode tearing sans collisions.

- L'instabilité faisceau-plasma. On calcule les équations de dispersion des ondes électrostatiques et électromagnétiques dans un plasma magnétisé, à l'aide de la détermination de la matrice diélectrique. On applique ces calculs aux sursauts radio de Type III, émissions électromagnétiques intenses issues d'éruptions solaires, et à l'instabilité de dérive des rayons cosmiques dans le milieu interstellaire.



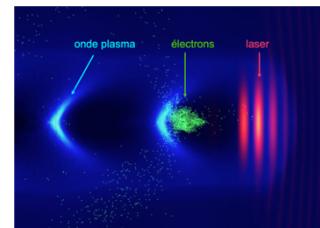
Onde radio dans le plasma ionosphérique

- La turbulence de Langmuir. Après un rappel sur la force pondéromotrice, on dérive les équations de Zakharov qui décrivent la dynamique de la turbulence forte de Langmuir. Celles-ci sont résolues dans le cas subsonique (équation de Schrödinger non-linéaire). On explique le processus de piégeage des ondes de Langmuir dans les déplétions de densité (cavitons), le coulage onde-matière, l'instabilité modulationnelle et le phénomène de effondrement.

III. Application à l'interaction laser-plasma à ultra-haute intensité (UHI)

Les thématiques abordées sont les suivantes :

- Introduction aux lasers ultra-intenses : impulsions laser ultra-brèves, laser à dérive de fréquence. Mécanismes d'ionisation en impulsion ultra-brève.
- Rappels de relativité et de mécanique Hamiltonienne. Mise en application de ces concepts à travers l'étude du mouvement d'une particule chargée dans un champ laser ultra-intense. Force pondéromotrice relativiste.
- Modèle fluide de l'interaction laser-plasma dans le régime relativiste : excitation d'ondes plasma relativistes, effets non-linéaires relativistes tels que l'auto-focalisation relativiste, l'auto-modulation, ...
- Sous la forme d'un séminaire, on introduit les sujets actuellement étudiés dans les laboratoires : accélération de particules par laser, génération de rayonnement X ultra-bref, génération d'harmoniques élevées.



Accélération d'électrons par onde plasma