

Transitions et Hélicité en turbulence bidimensionnelle à trois composantes

Résumé

Cette thèse étudie la turbulence incompressible bidimensionnelle (2D) avec trois composantes de vitesse. De tels systèmes seront appelés écoulements 2D3C. Deux classes principales sont considérées, les écoulements 2D3C cartésiens et les écoulements 2D3C axisymétriques.

Pour la première classe d'écoulements, nous montrons que l'hélicité est associée à une corrélation entre la vortacité verticale et un champ scalaire, représentant ici la vitesse verticale. La mécanique statistique permet de prédire la persistance possible de structures hélicoïdales à grande échelle. Cette prédiction est vérifiée par des simulations numériques et son implication dans les applications de mélange est discutée. En effet, la corrélation vortacité-scalaire déterminera l'efficacité du mélange dans les écoulements 2D.

Nous étudions ensuite, dans la turbulence axisymétrique, une transition critique entre un écoulement purement poloïdal, un écoulement 2D et un écoulement 2D3C. Nous transposons les idées à une géométrie toroïdale et soutenons que cette transition peut jouer un rôle majeur dans les tokamaks, où une transition critique conduit à un meilleur confinement du plasma.

Dans la dernière partie, nous illustrons comment l'hélicité peut être générée spontanément. Nous effectuons des simulations de turbulence stratifiée instable en présence d'un champ magnétique intense. Nous soutenons que le mécanisme de génération d'hélicité observé pourrait être observé dans des applications géophysiques si une forte anisotropie est combinée avec des mécanismes linéaires d'injection d'énergie.

Mots clés : Turbulence, simulations numériques, hélicité, transitions turbulentes, plasma de fusion, mélange

Transitions and Helicity in two-dimensional three-component turbulence

Abstract

This thesis investigates two-dimensional (2D) incompressible turbulence with three velocity components. Such systems will be called 2D3C flows. Two main classes are considered, Cartesian 2D3C flows and axisymmetric 2D3C flows.

For the first class of flows we show that helicity is associated with a correlation between the vertical vorticity and a scalar field, here representing the vertical velocity. Statistical mechanics allows to predict the possible persistence of large-scale helical structures. This prediction is verified in numerical simulations and its implication for mixing applications is discussed. Indeed, the vorticity-scalar correlation will importantly affect the mixing-efficiency in 2D flows.

We then investigate, in axisymmetric turbulence, a critical transition between a purely poloidal flow and a 2D flow and a 2D3C flow. We transpose the ideas to a toroidal geometry and argue that this transition can play a major role in tokamaks, where a critical transition leads to enhanced plasma confinement.

In the final part, we illustrate how helicity can be generated, spontaneously. We carry out simulations of unstably stratified turbulence in the presence of a strong magnetic field. We argue that the observed helicity generating mechanism might be observed in geophysical applications if strong anisotropy is combined with linear energy injection mechanisms.

Key words : Turbulence, numerical simulations, helicity, turbulent transitions, fusion plasma, mixing