

Kurzfassung

Modellierung von Thermo-Elektro Hydrodynamischer (TEHD) Konvektion

Das Fachgebiet der Thermo-Elektro-Hydrodynamik (TEHD) beschreibt thermische Kondensströmung unter dem Einfluss eines elektrischen Kraftfeldes. Das eingesetzte Fluid muss bestimmte Voraussetzungen erfüllen, um die dielektrophoretische Kraft als Auftriebskraft zu nutzen. Diese Auftriebskraft kann beispielsweise in Experimenten dazu genutzt werden, um ein radiales Kraftfeld in Kugelschalengeometrie zu generieren, oder in verschiedenen Geometrien zur Erhöhung des Wärmestroms eingesetzt werden. In der vorliegenden Arbeit wird zunächst der Term der elektrischen Auftriebskraft aus den Maxwell-Gleichungen hergeleitet und dann mit den Navier-Stokes-Gleichungen gekoppelt. Für numerische Untersuchungen wird ein OpenFOAM solver um die Terme der elektrischen Kraft und einer internen Wärmequelle erweitert. In einer Dimensionsanalyse werden die dimensionslosen Parameter hergeleitet und anschließend anhand der numerischen Ergebnisse getestet. Hierzu werden Untersuchungen in verschiedenen 2D-Geometrien durchgeführt. Außerdem werden die 2D-Simulationen dazu genutzt, Wärmestrom und Grenzschichtgrößen zu untersuchen, daraus resultieren Skalierungsgesetze. Der Kern der Arbeit sind die 3D-Simulationen, die das GeoFlow Experiment abbilden. Die Erkenntnisse der 2D-Untersuchungen werden genutzt, um die GeoFlow Ergebnisse zu kategorisieren. Zusätzlich werden mittels der 3D-Simulationen die Ergebnisse des Experiments analysiert. Die sequenzielle Analyse von 2D, 3D und experimentellen Ergebnissen dient der Vorbereitung des kommenden AtmoFlow Raumstationexperimentes.

Abstract

In Thermo-Electro Hydrodynamics (TEHD), an electric field is applied to a fluid within a heated domain to induce thermal convection. The fluid and the electric field must meet specific conditions to establish a dielectrophoretic force that acts as a buoyancy force on the fluid. This buoyancy force is utilised in experiments to replicate gravitational buoyancy, explore resulting flow structures, or develop heat transfer systems without moving parts. In this study, the electric force field acting on a dielectric fluid in a capacitor is derived from the Maxwell equations and coupled with the Navier-Stokes equation for fluid motion. Furthermore, an Open-Source Field Operation and Manipulation (OpenFOAM) solver is extended to incorporate TEHD momentum and energy-contributing terms. In a dimensional analysis, dimensionless parameters are derived and tested. Therefore, parameter studies in 2D approximations of planar and cylindrical geometries are done. Additionally, the 2D investigations are utilised to study the behaviour of heat transfer and boundary layer properties, and some scaling laws are derived. Finally, 3D spherical shell microgravity experiments are analysed and linked to the results of 3D numerical analysis. The results verify the derived methods, which are expanded and applied to the upcoming space experiment, AtmoFlow.