

Dielektrophoretische Strömungskontrolle bei thermischer Konvektion in Zylindergeometrien

Daniel Norman Dahley

Dissertation, Lehrstuhl Aerodynamik und Strömungslehre, BTU Cottbus-Senftenberg

Kurzzusammenfassung

Untersuchungen zur thermischen Konvektion in Zylinderspaltgeometrien erfassen eine Vielzahl von physikalischen und ingenieurtechnischen Problemstellungen. Der Fokus dieser Arbeit ist die experimentelle Untersuchung thermischer Konvektion im Zylinderspalt unter dem Einfluss eines elektrischen Hochspannungsfeldes. Ziel ist es, Möglichkeiten aufzuweisen, dass dadurch der Wärmetransport verbessert werden kann. Dieser Effekt kann beispielsweise für energie-effizientere Wärmetauscher genutzt werden. Dazu wurden zwei Experimentzellen aufgebaut, die einen beheizten Innenzylinder und einen gekühlten Außenzylinder haben. Die Temperaturdifferenz $\Delta T = T_i - T_o$ erzeugt eine thermische Konvektion im Untersuchungsraum zwischen beiden vertikal ausgerichteten Zylindern. Der Untersuchungsraum ist mit einer dielektrischen Flüssigkeit befüllt. Zur Erzeugung des Hochspannungsfeldes ist der Außenzylinder an eine Wechselspannung angeschlossen und der Innenzylinder ist geerdet. Die beiden Experimentzellen unterscheiden sich in ihrem Radienverhältnis η . Die Spaltweite und die Höhe des Untersuchungsraumes ist bei beiden Experimentenzellen gleich, ebenso das Aspektverhältnis Γ . Im Rahmen von drei Parabelflugkampagnen wurden verschiedene Weiterentwicklungen realisiert. Diese haben den Einsatz von Partikeln in einem elektrischen Hochspannungsfeld und eine vollständige Automation zu berücksichtigen. Auch eine Messeinrichtung zur Erfassung des Wärmetransportes wurde entwickelt und realisiert. Als maßgebliche Kenngrößen für das Experiment sind das Radienverhältnis η und das Aspektverhältnis Γ zur Beschreibung der Geometrie zu nennen. Die Eigenschaften der verwendeten Fluide werden in der Prandtl Zahl Pr zusammengefasst. Der Antrieb für die thermische Strömung wird mit der Rayleigh Zahl Ra beschrieben. Die Auswertung des Wärmetransportes erfolgt über die Nusselt Zahl Nu .

Die wissenschaftlichen Ergebnisse lassen sich in zwei Klassen unterteilen. Die erste Klasse (Laborexperiment) enthält die natürliche Konvektion in einem Zylinderspalt. Des Weiteren enthält sie die Überlagerung der natürlichen Konvektion mit einem künstlichen Kraftfeld. Die Ergebnisse zeigen, dass eine stabile Konvektionszelle durch ein künstliches Kraftfeld gestört werden kann. Diese Störung induziert eine Verbesserung des Wärmetransportes. Die zweite Klasse (Parabelflugexperiment) beschreibt thermische Konvektion in einem ausschließlich radialen Auftriebsfeld unter Ausnutzung des dielektrophoretischen Effekts und ohne den Einfluss der natürlichen Gravitation. In den Beobachtungen wird deutlich, dass der elektrisch getriebene Auftrieb, eine Konvektion unter Mikrogravitationsbedingungen induziert. Die Strömung verbleibt auf Grund der kurzen Mikrogravitationsphase in einem transienten Zustand. Die präsentierten Ergebnisse zeigen, dass die Wirkung des dielektrophoretischen Effektes genutzt werden kann, um den Wärmetransport zu erhöhen.

Dielectrophoretic flow control of thermal convection in cylindrical geometries

Daniel Norman Dahley

Dept. of Aerodynamics and Fluid Mechanics, BTU Cottbus-Senftenberg, Germany

Abstract

Consider a fluid-filled cylindrical enclosure with an inner heated cylinder of radius r_i maintained at temperature T_i and an outer cooled cylinder of radius r_o maintained at temperature T_o . This vertical annulus is of height H with adiabatic top and bottom boundaries. The temperature difference $\Delta T = T_i - T_o$ induces natural convection in the gap width $d = r_o - r_i$ at infinitesimal small increments of ΔT . This base flow experiences transition to instabilities depending on the radius ratio $\eta = r_i/r_o$, aspect ratio $\Gamma = H/(r_o - r_i)$, physical properties of the fluids (weighted with the Prandtl number) and on the driving force (weighted with the Rayleigh number). In this present work, I study the dielectrophoretic effect as heat transfer augmentation force via the performance of an alternating current (a.c.) electric field superimposing natural convection in the vertical annulus experimentally. This procedure allows to introduce an electric Rayleigh number for the system. I can show clear distortions of the base flow via flow visualization and quantify heat transfer via heating power measurements resulting in a Nusselt number for the inner cylinder.

The experiment consists of two separately fully automated experiment cells, which differ only in their radius ratio. Since my first parabolic flight campaign, the experiment was refurbished and improved for three further campaigns. One of the main challenges is to observe the convective flow with tracer particles and laser light sheet illumination in an electrical high voltage field and to realize a heat transfer measurement system.

To give an short summary of the experimental result, I differ into two different cases. For the case of natural convection (in laboratory experiment), there exists a stable single convective cell over the whole Rayleigh number domain with increasing temperature difference between the inner and outer cylindrical boundaries. The superposition of both buoyancy forces indicates the disturbance of the single convective cell and therewith the onset of instabilities at very low Rayleigh numbers for the smaller radius ratio. For low values of the electrical Rayleigh number, the superposed electric field decrease the heat transfer, whereas for large values of electrical Rayleigh number I observe a clear increase of the Nusselt number.

For the case (in parabolic flight experiments) in microgravity environment, the observations show, that the electrically driven buoyancy induce convection. The flow remains in a transient state, due to the short time range of the microgravity phase. The observation can be proofed with the results of the heat transfer measurement via an increase of the Nusselt number.

The results of this work demonstrate, that the dielectrophoretic effect can be applied for thermo-electro-hydrodynamic flow control and enhancement of heat transfer applications on Earth.