

Abstract

Inertial waves exist in rotating flows and are an ubiquitous phenomena in geophysical and astrophysical flows. The research is focused on the study of inertial waves occurring in a homogeneous weakly viscous liquid confined between two coaxial co-rotating cylinders. The laboratory experiment has been built completely new in the years 2011/2012 at the Brandenburg University of Technology Cottbus - Senftenberg (BTU CS). In order to capture features of a spherical shell, the inner cylinder has been chosen to be a frustum. Furthermore, wave energy can be focused at the inclined wall, which counteracts viscous energy dissipation in the container. Both cylinders rotate with the same angular velocity Ω . Waves are excited due to superimposed periodic oscillations (libration) with frequencies $0 \leq \omega \leq 2\Omega$ of (i) the inner cylinder or (ii) the outer cylinder together with lids. Excited continuously inertial waves can propagate due to the radial “stratification” of angular momentum.

Moreover, inviscid theory describes the formation of wave attractors. Wave energy is reflected several times at the boundaries of the cavity and focused towards geometry dependent attractor paths. Inviscid analytical results will be confirmed by experimental visualisations in the laboratory frame obtained by an appropriate post-processing. Particle image velocimetry measurements in the co-rotating frame will be presented showing particular properties of inertial waves and the existence of zonal/azimuthal mean flows with different origins.

Additionally, a simple theoretical model has been developed for a rotating, homogeneous, viscous fluid. The generation of a “mean zonal motion” due to momentum transport of vertically propagating gravity waves is well known (Plumb and McEwan, J. Atmos. Sci. 35, (1978)). Based on the mathematical analogy it will be shown that in the meridional plane propagating inertial waves can transfer their momentum in the same manner to a sheared mean flow. Even an oscillating mean flow can be driven by inertial waves. The comparison of numerical results originating from numerical computations of two simple analytical model equations and long-time measurements of velocity fields concludes the study.

Kurzfassung

Trägheitswellen existieren in rotierenden Flüssigkeiten und sind ein allgegenwärtiges Phänomen in geo- und astrophysikalischen Strömungen. Der Schwerpunkt dieser Untersuchung liegt auf Trägheitswellen. Diese entstehen in einer homogenen, schwach viskosen Flüssigkeit, welche zwischen zwei coaxialen und gleichförmig rotierenden Zylindern eingeschlossen ist. Ein Laborexperiment wurde in den Jahren 2011/2012 an der Brandenburgisch Technischen Universität Cottbus - Senftenberg neu geplant, konstruiert und gebaut. Um die Charakteristik von einem rotierendem Kugelschalenexperiment zu erhalten wurde ein Kegelstumpf als Innenzylinder gewählt. Damit kann die Wellenenergie an den geneigten Wänden fokussiert werden, welche wiederum gegen die viskose Energiedissipation wirkt. Innerer und äußerer Zylinder rotieren mit der mittleren Winkelgeschwindigkeit Ω . Trägheitswellen werden mit Frequenzen im Frequenzband der Trägheitswellen $0 \leq \omega \leq 2\Omega$ angeregt. Dies geschieht indem man auf die mittlere Winkelgeschwindigkeit von (i) dem inneren Kegelstumpf oder (ii) dem äußeren Zylinder zusammen mit Boden- und Deckelplatte periodische Oszillationen (Libration) überlagert. Kontinuierlich angeregt breiten sich die Trägheitswellen durch die radiale Schichtung des Drehimpulses aus.

Die nichtviskose Theorie beschreibt die Entstehung von Wellenattraktoren. Wellenenergie, welche sich in schmalen Bändern geradlinig ausbreitet, wird mehrfach an den festen Wänden der Experimentzelle reflektiert und auf charakteristische Bahnen (Attraktoren) gelenkt. Analytische Ergebnisse werden durch experimentelle Visualisierungen bestätigt. Zusätzlich werden Geschwindigkeitsmessungen präsentiert, welche die Eigenschaften der Trägheitswellen und die Existenz von zonalen/azimutalen Grundströmen unterschiedlichen Ursprunges aufzeigen.

Des Weiteren wurde ein einfaches Modell für eine rotierende, homogene, viskose Flüssigkeit entwickelt. Die Entstehung eines mittleren Grundstromes durch vertikalen Impulstransport von Schwerewellen ist wohl bekannt (Plumb and McEwan, J. Atmos. Sci. 35, (1978)). Basierend auf der mathematischen Isomorphie wird gezeigt, dass Trägheitswellen, welche sich in der meridionalen Ebene ausbreiten, ihren Impuls in gleicher Weise an einen gescherten Grundstrom abgeben können. Analog zu Grundströmen, welche von Schwerewellen angetrieben werden, kann auch ein oszillierender Grundstrom durch Trägheitswellen hervorgerufen werden. Der Vergleich der durch zwei analytische Modellgleichungen gewonnenen Ergebnisse mit Langzeitmessungen von Geschwindigkeitsfeldern schließt die Studie ab.