

Abstract

Part of my research has been devoted to investigating the optical properties of planetary atmospheres through the starlight that they reflect and that is measured by a distant observer. This is a classical theme in the atmospheric sciences and in planetary astronomy. Yet it still requires significant progress to optimize the interpretation process, identify new observables and observational approaches, and keep up with the quality and quantity of data collected by spacecraft and ground-based telescopes exploring the atmospheres of our solar system and exoplanets.

This Habilitation Thesis (Habilitationsschrift) describes some of my personal contributions to the investigation of atmospheres with reflected starlight. More specifically, my research has contributed to: *i*) the development of novel Monte Carlo algorithms for solving the Vector Radiative Transfer Equation; *ii*) the retrieval of basic information (e.g. distribution and optical properties of clouds, reflectance of the gas below the clouds) of hot Jupiters' atmospheres from the interpretation of the planets' brightness variations with orbital phase; *iii*) the conceptual development of a technique to infer the polarizing properties of an exoplanet with high-dispersion spectro-polarimetry at ground-based telescopes; *iv*) the study of Titan's haze from measurements of the moon's whole-disk brightness; *v*) the proposal of new diagnostics for the atmospheric investigation of low-density exoplanets from pre- and post-transit brightness measurements. These problems highlight the importance of a robust theoretical basis and of research across traditional fields for continued progress in the remote sensing of planetary atmospheres.

This Habilitation Thesis summarizes five of my papers published in the peer reviewed literature from 2015 onwards. Their motivation, some background and highlights are described in Chapters §1-5. Each chapter is connected to one or more of the aforementioned *i*)–*v*) points. These papers are also representative of some of my ongoing and planned research projects, sometimes involving students. Finally, Chapter §6 appends seven additional papers from 2011 onwards with examples of applications of my Monte Carlo algorithm to the remote investigation of planetary atmospheres with reflected starlight.

Zusammenfassung

Ein Teil meiner Forschung ist der Untersuchung der optischen Eigenschaften von Planetenatmosphären durch das von ihnen reflektierte und von einem entfernten Beobachter gemessene Sternenlicht gewidmet. Dies ist ein klassisches Thema der Atmosphärenforschung und der Planetenastronomie. Dennoch bedarf es noch erheblicher Fortschritte, um den Interpretationsprozess zu optimieren, neue Beobachtungsobjekte und Beobachtungsansätze zu identifizieren, um mit der Qualität und Quantität der Daten Schritt zu halten, die von Satelliten und bodengestützten Teleskopen zur Erforschung der Atmosphären unseres Sonnensystems und der Exoplaneten gesammelt werden.

Diese Habilitationsschrift beschreibt einige meiner persönlichen Beiträge zur Untersuchung von Atmosphären mit reflektiertem Sternenlicht. Im Einzelnen haben meine Forschungen beigetragen zu: *i)* der Entwicklung neuartiger Monte-Carlo-Algorithmen zur Lösung der Vektor-Strahlungstransportgleichung; *ii)* der Gewinnung von Basisinformationen (z.B. Verteilung und optische Eigenschaften von Wolken, Reflexionsvermögen des Gases unter den Wolken) von heißen Jupiter-Atmosphären aus der Interpretation der Helligkeitsschwankungen der Planeten während der orbitalen Phase; *iii)* der konzeptionellen Entwicklung einer Technik, um die polarisierenden Eigenschaften eines Exoplaneten aus hochdispersiver Spektro-Polarimetrie mit bodengebundenen Teleskopen abzuleiten; *iv)* der Untersuchung des Titan-Dunstes durch Helligkeitsmessungen der gesamten Mondscheibe; *v)* dem Vorschlag neuer Diagnostikmethoden für die atmosphärische Untersuchung von Exoplaneten geringer Dichte aus Helligkeitsmessungen vor und nach dem Transit. Diese Probleme zeigen die Bedeutung einer belastbaren theoretischen Grundlage und einer Forschung, die die Grenzen traditioneller Bereiche überschreitet und damit die Fernerkundung von Planetenatmosphären vorantreibt.

Diese Habilitationsschrift fasst fünf meiner Arbeiten zusammen, die ab 2015 in der Fachliteratur veröffentlicht wurden. Ihre Motivation, einige Hintergründe und Highlights sind in den Kapiteln §1-5 beschrieben. Jedes Kapitel ist mit einem oder mehreren der oben genannten Punkte i)-v) verbunden. Diese Artikel zeigen auch beispielhaft meine laufenden und geplanten Forschungsprojekte, an denen zum Teil auch Studenten beteiligt sind. Zum Schluß werden in Kapitel §6 noch sieben weitere Artikel aufgeführt, die zwischen 2011 und 2015 publiziert wurden und Beispiele zeigen, wie mein Monte-Carlo-Algorithmus zur Fernuntersuchung von Planetenatmosphären mit reflektiertem Sternenlicht angewendet werden kann.