



Doctoral Thesis

Polarimetry of gas planets

Author(s):

Joos, Franco

Publication Date:

2007

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-005377935> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Diss ETH No. 17051

Polarimetry of Gas Planets

A dissertation submitted to
ETH ZÜRICH

for the degree of
Doctor of Sciences

presented by

FRANCO JOOS

Dipl. Phys., ETH ZÜRICH

born

04.05.1974

citizen of

Avers/Cresta and Chur, Graubünden

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. Jan O. Stenflo, examiner

PD Dr. Hans Martin Schmid, co-examiner

MER Dr. Stéphane Udry (Observatoire de Genève), co-examiner

1st February 2007

Abstract

The quest for new worlds was not only an adventure at the times of Columbus. Also nowadays mankind searches for new, undiscovered territories. But today they lie no longer only on our Earth, but also well outside the solar system. There, new planets are sought and found.

One of the challenges of modern astrophysics is the direct detection of extra-solar planets. To reach this goal, the largest available telescopes and most sophisticated detection techniques are required.

A promising method to “see” and analyse extra-solar planets is based on the fact, that light reflected by a planet can be polarised. For its detection, accurate polarisation measurements are needed. This is one of the methods ESO intends to make use of to find new planets outside the solar system. The Institute of Astronomy of ETH Zürich contributes ZIMPOL to this planet-finder project. ZIMPOL is a very sensitive imaging polarimeter.

This thesis is situated within the ESO-planet-finder project. It deals with two problems that are crucial for a successful mission: (1) Instrumental polarisation can seriously hamper the performance of the instrument. It is therefore essential, to keep instrumental polarisation very low. (2) A knowledge of the polarisation properties of our targets would be very helpful. For this reason the polarisation properties of our solar system planets are investigated.

Promising candidates for a detection with ZIMPOL are large planets with atmospheres similar to those of our giant gas planets Jupiter, Saturn, Uranus and Neptune.

In the first part of the thesis the planet-finder project is presented and the role of ZIMPOL is explained. To obtain the instrumental polarisation, the polarimetric properties of mirrors and other optical components of our planet-finder instrument are analysed.

The instrumental polarisation for the wavelength range of 600 to 1000 nm and for all zenith distances is calculated with Mueller matrices. Methods for reducing the instrumental polarisation are proposed and checked by the renewed application of the Mueller calculus. The correction of the instrumental polarisation is divided into two parts. First, a combination of a rotating half-wave plate and a plane mirror compensate the polarisation introduced by the Nasmyth mirror. Secondly, a rotatable and tiltable glass plate compensates the residual polarisation introduced by oblique reflections on mirrors after the Nasmyth mirror.

Further, possible aging effects of the mirrors are considered and consequences for the polarisation are highlighted. An error budget for non perfect retardation of the half-wave plate is also regarded, and the effects for the polarisation are calculated.

In the second part spectropolarimetric measurements of the four gas planets Jupiter,

Saturn, Uranus and Neptune for the wavelength range from 530 to 930 nm are presented.

Our measurements of Uranus and Neptune are the first of their kind. For Uranus and Neptune a second-order scattering effect, leading to limb polarisation, has been measured. This effect is expected in atmospheres of Rayleigh scattering type and allows conclusions on the properties of the scatterers and the stratification inside the atmosphere. The limb polarisation reaches a maximum of more than 3% on Uranus.

Spectropolarimetric plots for selected regions on Uranus and polarimetric profiles parallel to the spectrographic slits are presented. An enhanced polarisation in the methane absorption bands is detected. For both planets the limb polarisation decreases with wavelength.

For Jupiter and Saturn profiles parallel to the slits and polarimetric spectra for some selected regions such as the poles of Jupiter or the ring system of Saturn are presented. The poles of Jupiter exhibit a large polarisation (up to 10%) perpendicular to the limb. In the methane absorption bands at the Jovian poles the polarisation is enhanced compared to the adjacent higher albedo regions. The polarisation decreases from short wavelengths towards longer wavelengths.

Disc resolved spectropolarimetry of Saturn has not yet been published in the literature. Therefore, the spectropolarimetric data of Saturn presented in this thesis are the first of their kind. The polarised profiles for Saturn show an enhanced limb polarisation at the South Pole perpendicular to the limb and a small negative polarisation for the ring system (parallel to the scattering plane). In addition, we observe, an enhanced polarisation at northern mid-latitudes.

An appendix is added that contains numerous spectropolarimetric plots and all profiles of the four planets. The main body of the text only contains a small selection of these data.

Zusammenfassung

Die Suche nach fremden Welten war nicht nur zu Zeiten des Columbus ein Abenteuer. Auch in der heutigen Zeit wird nach neuen, unerforschten Welten gesucht. Dabei beschränkt man sich nicht ausschliesslich auf Teile der Erde, sondern man ist heute daran, andere Planeten ausserhalb unseres Sonnensystems zu entdecken und zu erforschen.

Ein Ziel der modernen Astrophysik ist es deshalb, extra-solare Planeten auf direktem Wege nachzuweisen. Dazu sind die grössten verfügbaren Teleskope und ausgefeilte Messtechniken vonnöten.

Eine vielversprechende Methode extra-solare Planeten zu "sehen" und zu analysieren, basiert auf der Tatsache, dass Licht, welches an einem Planeten reflektiert wurde, polarisiert sein kann. Um ein derartiges Signal nachzuweisen sind aber hochpräzise Polarisationsmessungen nötig. Polarimetrie ist eine Methode, welche die ESO sich zunutze macht, um nach extra-solaren Planeten zu suchen. Das Institut für Astronomie der ETH Zürich beteiligt sich mit ZIMPOL, einem äusserst empfindlichen bildgebenden Polarimeter, am ESO "planet-finder" Projekt.

Die vorliegende Dissertation behandelt zwei Fragestellungen, welche zu einem erfolgreichen Gelingen des "planet-finder" Projektes beitragen: (1) Um genaue Polarisationsmessungen zu ermöglichen, müssen instrumentelle Polarisierungseffekte auf tiefem Niveau gehalten werden. (2) Um eine Vorstellung über die Polarisierungseigenschaften unserer Zielobjekte zu erhalten, werden die Polarisierungseigenschaften der solaren Planeten untersucht.

Gute Kandidaten, um von ZIMPOL detektiert zu werden, sind grosse Planeten mit Gasatmosphären ähnlich unseren vier Gasplaneten Jupiter, Saturn, Uranus und Neptun.

Im ersten Teil der Dissertation wird das "planet-finder" Projekt vorgestellt und die Aufgabe von ZIMPOL erläutert. Um die instrumentelle Polarisierung zu bestimmen, werden die Polarisierungseigenschaften von Spiegeln und anderen optischen Komponenten analysiert, welche im "planet-finder" Instrument eingesetzt werden.

Die Instrumentenpolarisation wird für jede beliebige Zenitdistanz des Teleskopes sowie für einen Wellenlängenbereich zwischen 600 und 1000 nm anhand von Muellermatrizen beschrieben. Es werden Vorschläge zur Reduktion von Instrumentenpolarisation unterbreitet und mittels Muellermatrizen durchgerechnet. Die Behebung der instrumentellen Polarisierung setzt sich aus zwei Teilen zusammen. Als erstes wird die Kombination einer rotierenden Halbwellenplatte und eines Planspiegels die vom Nasmyth-Spiegel induzierte Polarisierung kompensieren. Als zweites, sorgt eine dreh- und neigbare Glasplatte für die Kompensation der restlichen Polarisierung, welche durch Schrägspiegelungen nach dem Nasmyth-Spiegel entstanden ist.

Es werden des weiteren mögliche Alterungserscheinungen der Spiegel in Betracht ge-

zogen und die Auswirkungen auf die Polarisation berechnet. Zum Schluss wird eine Fehleranalyse über eine nicht-perfekte Verzögerung der Halbwellenplatte und dessen Auswirkungen auf die Polarisation vorgestellt.

Im zweiten Teil werden spektropolarimetrische Messungen der vier Gasplaneten Jupiter, Saturn, Uranus und Neptun für einen Wellenlängenbereich von 530 bis 930 nm vorgestellt.

Die hier präsentierten Messungen von Uranus und Neptun sind die ersten ihrer Art. Für Uranus und Neptun wurde ein Streueffekt an den Planetenrändern gemessen, welcher zu Randpolarisation führt. Dieser Effekt wird in Atmosphären mit Rayleigh Streuung erwartet. Er lässt Aussagen über die Eigenschaften der Streuteilchen und über die Atmosphärenschichtung zu. Die maximale Polarisation erreicht am Rand von Uranus über 3 %.

Spektropolarimetrische Darstellungen für ausgewählte Regionen auf Uranus sowie Profile entlang des spektropolarimetrischen Spalts werden präsentiert. In den Methanabsorptionsbanden treten erhöhte Polarisationen auf. Beide Planeten weisen eine Abnahme der Randpolarisation mit der Wellenlänge auf.

Für die Daten von Jupiter und Saturn werden Profile entlang des Beobachtungsspalt und spektropolarimetrische Darstellungen einiger ausgewählter Regionen wie etwa der Pole von Jupiter oder des Ringsystems von Saturn präsentiert. Die Pole von Jupiter weisen eine sehr hohe Polarisation (bis zu 10 %) senkrecht zum Planetenrand auf. Die Polarisationsspektren der Pole Jupiters weisen erhöhte Werte in den Methanbanden auf. Die Polarisation nimmt vom Blauen her in Richtung des roten Endes des Spektrums ab.

Ortsaufgelöste Spektropolarimetrie von Saturn wurde bisher noch nie in der Fachliteratur publiziert. Deshalb sind auch diese in der Dissertation präsentierten Daten die bisher einzigen ihrer Art. Die Profile für Saturn zeigen eine Erhöhung der Polarisation am Südpol senkrecht zum Planetenrand und eine geringe, negative Polarisation im Ringsystem auf (parallel zur Streuebene). Des weiteren wird eine erhöhte Polarisation in der nördlichen Hemisphäre bei mittleren Breiten gemessen.

Im Anhang sind zahlreiche polarimetrischen Spektren und Profile der vier Planeten dargestellt. Im Textteil der Dissertation wird nur eine kleine Auswahl dieser Daten präsentiert.