

# Alien Skies: Wie sehen extrasolare Planeten aus?

## 3D radiation transfer models of stars & exo-planets

*P. Hauschildt, Hamburger Sternwarte, Universität Hamburg*

### Kurzgefasst

- In den letzten 15 Jahren wurden hunderte Planeten ausserhalb unseres Sonnensystems entdeckt und beobachtet.
- Detaillierte Analyse dieser Daten mit PHOENIX/3D liefert die physikalischen Bedingungen (Temperaturen, Drücke) und die chemische Zusammensetzung der Stern- und Planetenatmosphären.
- Physikalisch/mathematisch gleichwertig ist die Modellierung von stark beleuchteten Begleitern in engen Doppelsternsystemen, aber es gibt viel mehr exzellente Beobachtungen dieser Systeme als von Exoplaneten zur Zeit möglich sind.
- Dabei ist besonders der 3D Strahlungstransport extrem komplex und rechentechnisch sehr aufwendig. Eine typische Simulation auf dem HLRN-III verwendet 36.000 Kerne über mehrere Monate, dabei werden bis 50 PB Daten generiert von denen zur Zeit nur ca. 1TB permanent gespeichert werden können.
- Ein Ergebnis der Simulationen sind berechnete Bilder von extrasolaren Planeten und aktiven Sternen die uns "alien skies" zeigen.

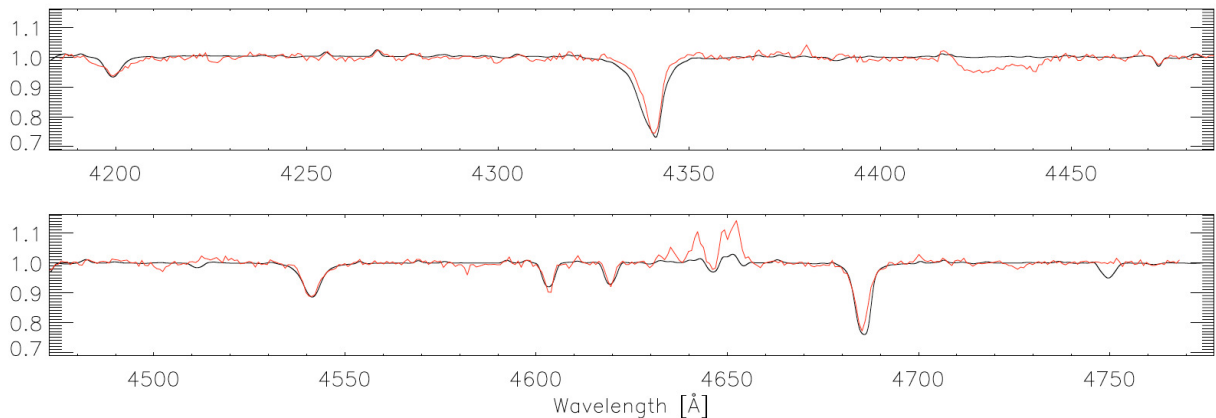
In den letzten 15 Jahren wurden hunderte von Planeten ausserhalb unseres Sonnensystems entdeckt. Mit den größten Teleskopen (auf der Erde und im Weltraum) können die Atmosphären dieser Exoplaneten beobachtet werden. Dabei werden heute Spektren des ausgesandten Lichtes über einen großen Wellenlängenbereich gemessen. In der nahen Zukunft werden durch neue Teleskope und Beobachtungsverfahren auch echte Bilder von Planeten gemacht werden können. Das große Problem bei diesen Beobachtungen ist der Elternstern der Planeten der 10 000 bis 1 Million mal heller als der Planet ist. Daher werden zur Beobachtung spezielle Techniken benötigt und es können bisher nur wenige Planeten detailliert beobachtet werden. Mit einer detaillierten Analyse dieser Daten kann man die physikalischen Bedingungen (Temperaturen, Drücke) und die chemische Zusammensetzung der Stern- und Planetenatmosphären bestimmen (und vielleicht sogar Biomarker entdecken). Ein genaues Verständnis

der Physik der Atmosphären und ihrer Lichtemission ist aber auch für die Entwicklung von neuen Beobachtungsmethoden notwendig (z.B., um vorherzusagen zu können bei welchen Wellenlängen man Erdähnliche Planeten am besten beobachten kann).

Unser Projekt simuliert die Bilder und Spektren von Planeten und Sternen und ermöglicht dadurch die Bestimmung ihrer physikalischen Parameter. Dazu haben wir über die letzten 20 Jahre das Modellatmosphären Programmpaket PHOENIX entwickelt. Damit können sowohl 1D (Kugel-Symmetrische) als auch 3D Modelle der Atmosphären und Spektren für fast alle Typen von Sternen und Exo-Planeten sehr detailliert simuliert werden. Bei 3D Modellen ist der Bedarf an Hauptspeicher, Festplattenplatz und Rechenzeit so gewaltig das diese Rechnungen nur auf den leistungsfähigsten Supercomputern machbar sind. Das PHOENIX Programmpaket ist dafür ausgelegt möglichst viele verschiedene Atmosphären-typen zu simulieren, dadurch wird die Entwicklung insgesamt effizienter und die verschiedenen Module von PHOENIX können unter sehr unterschiedlichen Bedingungen verifiziert werden.

Für unsere Simulationen ist es notwendig den Aufbau der Atmosphäre zusammen mit dem chemischen Gleichgewicht und dem Transport von Licht bei sehr vielen verschiedenen Wellenlängen zu berechnen. Dabei ist besonders der 3D Strahlungstransport extrem komplex und rechenaufwendig aufwendig da er die Lösung von mathematisch 6 dimensional Gleichungen erfordert und spezielle Methoden zur genauen Behandlung von Lichtstreuung in der Atmosphären notwendig sind. Bei Planeten muss die Einstrahlung durch den Elternstern modelliert werden, durch sie können sich die Temperaturen auf der "Tagseite" des Planeten um einige 1000 C erhöhen. Das 3D Strahlungstransport Modul benötigt als Grundlage eine Beschreibung der Wechselwirkung der atmosphärischen Gase mit dem Licht, dabei berücksichtigen wir bis zu 1 Milliarde individuelle Übergänge in Atomen und Molekülen. Diese bilden oft stark überlappende Bandensysteme die das emittierte Licht beeinflussen. Erschwerend kommt hinzu das die Berechnungen oft berücksichtigen müssen, das sich das Licht und die Komponenten des Gases nicht im Gleichgewicht befinden ("NLTE Bedingungen"). Daher müssen die Modelle iterativ berechnet werden was die Rechenzeit um einen Faktor 50 und den Speicherbedarf um einen Faktor 100 im Vergleich zu Gleichgewichtsmodellen erhöht.

Der Vergleich der simulierten Spektren mit den Beobachtungen erlaubt die chemische Analyse der



**Abbildung 1:** Vergleich eines Modellspektrums (schwarz) mit einem beobachteten Spektrum für UU Sag. Das Modellspektrum kombiniert einen 85.000 K Hauptstern mit der Tagseite des bestrahlten 3.400 K Begleiters.

Atmosphären. Als Ergebnis unserer Simulationen erhalten wir nicht nur genaue Information über den Energiefluß innerhalb der Atmosphären und ihre Zusammensetzung sondern auch detaillierte Bilder für eine Vielzahl von Wellenlängen und Betrachtungsrichtungen (siehe auch Figur 1). Diese Bilder könnten direkt mit beobachteten Bildern verglichen werden ... allerdings gibt es Teleskope die so etwas können noch nicht! Mit sich im Bau befindlichen Geräten wie dem E-ELT (das "European Extremely-Large Telescope" in Chile mit einem Durchmesser des Hauptspiegels von 40m) wird man in den nächsten Jahren diesem Ziel sehr viel näher kommen.

Unser Simulationsprogramm PHOENIX ist durch die hohen Simulationsanforderungen sehr umfangreich (ca. 1.4 Million Zeilen Fortran95, C++ und C) und komplex. Wir haben es mit MPI (ca. 22000 MPI Aufrufe) parallelisiert und arbeiten zur Zeit an zusätzlichen Einsatz von OpenMP für die nächste Generation von Supercomputern. Um eine 3D NLTE Simulation auf dem HLRN durchführen zu können werden mindestens 36000 Kerne über mehrere Monate benötigt, dabei wird durch eine hierarchische Parallelisierung eine Gebietszerlegung im Raum mit einer Gebietszerlegung der Lichtwellenlängen kombiniert. Während einer kompletten Simulation werden ca. 100-500 PB Daten generiert von denen zur Zeit nur ca. 1TB permanent gespeichert werden können.

## WWW

<http://www.hs.uni-hamburg.de/EN/For/ThA/phoenix/index.html>

## Weitere Informationen

[1] Hauschildt, P.H., Barman, T., and Baron, E: 2008, Irradiated Planets, Physica Scripta Volume T, 130, 014033.

## Projektpartner

Prof. E. Baron (Univ. of Oklahoma), Prof. T. Barman (Univ. of Arizona), Prof. J. Aufdenberg (ERAU)

## Förderung

DFG GrK 1351, DFG SFB 676, DFG Einzelförderung