

Alien Skies: Wie sehen Sterne & Planeten aus?

3D radiation transfer models of stars & exo-planets

P. Hauschildt, Hamburger Sternwarte, Universität Hamburg

Kurzgefasst

- In den nächsten Jahren wird eine neue Generation von Teleskopen (z.B., E-ELT und JWST) den Betrieb aufnehmen und Spektren und Bilder von bisher unbekannter Qualität aufnehmen.
- Die detaillierte Analyse dieser Daten mit PHOENIX liefert die physikalischen Bedingungen (Temperaturen, Drücke) und die chemische Zusammensetzung der Stern- und Planetenatmosphären.
- Dazu werden sehr detaillierte Modelle von Sternatmosphären benötigt um die extrem gute Daten angemessen auswerten zu können.
- Physikalisch/mathematisch gleichwertig ist die Modellierung von stark beleuchteten Begleitern in engen Doppelsternsystemen, aber es gibt schon jetzt viel mehr exzellente Beobachtungen dieser Systeme als von Exoplaneten möglich sind.
- Dabei ist besonders 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 2 Jahrzehnten wurden tausende von Planeten ausserhalb unseres Sonnensystems entdeckt. Mit den größten Teleskopen (auf der Erde und im Weltraum) werden die Atmosphären dieser Exo-Planeten beobachtet werden können. 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).

Gleichzeitig werden auch immer bessere Spektren von Sternen aufgezeichnet. Damit diese hervorragenden Daten angemessen analysiert werden können sind sehr detaillierte Modelle der Sternatmosphären und Spektren, unter Einbeziehung von Abweichungen vom thermodynamischen Gleichgewicht (sog. NLTE Modelle), notwendig. In einem Teilprojekt wird mit Hilfe eines sehr detaillierten Modells die Verteilung der Elemente im hellen Stern Sirius untersucht (geleitet von Prof. J. Aufdenberg, ERAU, USA).

Unser Projekt simuliert die Bilder und Spektren von Planeten und Sternen und ermöglicht dadurch die Bestimmung ihrer physikalischen Parameter. Dazu entwickeln wir seit 1991 das Modellatmosphären Programmpaket PHOENIX. Damit können sowohl 1D (Kugel-Symmetrische) als auch 3D Modelle der Atmosphären und Spektren für fast alle Typen von Sternen und Exoplaneten sehr detailliert simuliert werden. In der neuesten Version von PHOENIX sind die aktuellsten Daten (2019) von Atomen und Molekülen verfügbar. Die von uns verwendeten Algorithmen sind so entwickelt das diese insgesamt über 250 GB grossen Datenbanken in ihrer Gesamtheit für detaillierte Modellrechnungen verwendet werden können.

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 da er die Lösung von mathematisch 6 dimensional Gleichungen erfordert und spezielle Methoden zur genauen Behandlung von Lichtstreuung in der Atmosphäre 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

extreme ultraviolet radiation environment of exoplanets around low-mass stars: The Trappist-1 system. ApJ, **871**, 235. DOI: 10.3847/1538-4357/aaf891.

- [4] J. A. White, J. Aufdenberg, A. C. Boley, M. Devlin, S. Dicker, Hauschildt, P.H., A. G. Hughes, A. M. Hughes, B. Mason, B. Matthews, A. Moor, T. Mroczkowski, C. Romero, J. Sievers, S. Stanchfield, F. Tapia, and D. Wilner: 2019, *The MESAS Project: Long wavelength follow-up observations of Sirius A*, ApJ, **875**, 55. DOI: 10.3847/1538-4357/ab0e7f.

Projektpartner

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

Förderung

DFG Einzelförderung