

Press release**Universität Bern****Nathalie Matter**

08/30/2021

<http://idw-online.de/en/news774884>Research results
Mathematics, Physics / astronomy
transregional, national**u^b**

b
**UNIVERSITÄT
BERN****Neue mathematische Formeln für ein altes Problem der Astronomie**

Dem Berner Astrophysiker Kevin Heng ist ein seltenes Kunststück gelungen: Auf Papier hat er für ein altes mathematisches Problem neue Formeln entwickelt, die nötig sind, um Lichtreflektionen von Planeten und Monden berechnen zu können. Nun lassen sich auf einfache Weise Daten interpretieren, um etwa Planetenatmosphären zu beschreiben. Die neuen Formeln werden sehrwahrscheinlich in zukünftige Lehrbücher eingehen.

Seit Jahrtausenden beobachtet die Menschheit die wechselnden Phasen des Mondes. Dabei handelt es sich um das Sonnenlicht, das vom Mond reflektiert wird, während er uns seine verschiedenen «Gesichter» zeigt. Diese Wechsel werden als «Phasenkurve» bezeichnet. Die Messung der Phasenkurven des Mondes und der Planeten des Sonnensystems ist ein alter Zweig der Astronomie, der mindestens ein Jahrhundert zurückreicht. Die Formen der Phasenkurven liefern unter anderem Informationen über die Oberflächen und Atmosphären dieser Himmelskörper, und in der Neuzeit werden die Phasenkurven von Exoplaneten mit Weltraumteleskopen wie Hubble, Spitzer, TESS und CHEOPS gemessen. Diese Beobachtungen werden jeweils mit den theoretischen Vorhersagen abgeglichen. Für diesen Abgleich braucht man eine Möglichkeit, die Phasenkurven zu berechnen, was bedeutet, dass ein schwieriges mathematisches Problem gelöst werden muss.

Lösungsansätze zur Berechnung von Phasenkurven gibt es bereits seit dem 18. Jahrhundert. Der älteste bekannte Lösungsansatz geht auf den Schweizer Mathematiker, Physiker und Astronomen Johann Heinrich Lambert zurück, der das sogenannte «Lambertsche Reflexionsgesetz» verfasste. Das Problem der Berechnung des von den Planeten des Sonnensystems reflektierten Lichts wurde auch vom amerikanischen Astronomen Henry Norris Russell in einer einflussreichen Arbeit von 1916 aufgeworfen. Ein weiterer bekannter Ansatz aus dem Jahr 1981 stammt vom amerikanischen Mondforscher Bruce Hapke, der auf die klassische Arbeit des indisch-amerikanischen Nobelpreisträgers Subrahmanyan Chandrasekhar aus dem Jahr 1960 aufbaute. Der sowjetische Physiker Viktor Sobolev leistete in seinem einflussreichen Lehrbuch von 1975 ebenfalls wichtige Beiträge zur Untersuchung des reflektierten Lichts von Himmelskörpern.

Inspiziert von der Arbeit dieser Wissenschaftler hat der theoretische Astrophysiker Kevin Heng vom Center for Space and Habitability (CSH) der Universität Bern eine ganze Familie neuer mathematischer Formeln zur Berechnung von Phasenkurven entdeckt. Die Studie, die Kevin Heng in Zusammenarbeit mit Brett Morris vom Nationalen Forschungsschwerpunkt PlanetS, den die Universität Bern gemeinsam mit der Universität Genf leitet, und Daniel Kitzmann vom CSH, verfasst hat, wurde soeben in Nature Astronomy veröffentlicht.

Allgemein anwendbare Formeln

«Ich hatte das Glück, dass bereits umfangreiche Arbeiten von diesen grossen Wissenschaftlern geleistet worden waren. Hapke hatte einen einfacheren Weg entdeckt, die klassische Lösung von Chandrasekhar aufzuschreiben, und Sobolev hatte erkannt, dass man das Problem in mindestens zwei mathematischen Koordinatensystemen untersuchen kann.»

Auf das Problem aufmerksam wurde Heng ursprünglich durch eine Zusammenfassung von Sara Seager in ihrem Lehrbuch von 2010. Mit Hilfe dieser Erkenntnisse konnte Heng die mathematischen Formeln für die Stärke der Reflexion (auch Albedo genannt) und die Form der Phasenkurve niederschreiben, und zwar komplett auf Papier und ohne einen Computer zu benutzen. «Das Bahnbrechende an diesen Lösungen ist, dass sie für jedes Reflexionsgesetz gelten, also sehr allgemein anwendbar sind. Der entscheidende Moment kam für mich, als ich diese Stift-und-Papier-Berechnungen mit dem verglich, was andere Forschende mit Computerberechnungen erreicht hatten. Ich war verblüfft, wie gut sie übereinstimmten», sagt Heng.

Erfolgreiche Analyse der Phasenkurve von Jupiter

«Aufregend finde ich nicht nur die Entdeckung einer neuen Theorie, sondern auch ihre grossen Auswirkungen auf die Interpretation von Daten», sagt Heng. So hat zum Beispiel die Raumsonde Cassini Anfang der 2000er Jahre Phasenkurven des Jupiters gemessen, aber eine tiefgreifende Analyse der Daten wurde bisher nicht durchgeführt – wahrscheinlich, weil die Berechnungen zu rechenintensiv waren. Mit seinem neuen Lösungs-Set war Heng in der Lage, die Cassini-Phasenkurven zu analysieren und daraus zu schliessen, dass die Atmosphäre des Jupiters mit Wolken gefüllt ist, die aus grossen, unregelmässigen Partikeln von verschiedenen Grössen bestehen. Diese parallele Studie wurde in der Fachzeitschrift *Astrophysical Journal Letters* veröffentlicht, in Zusammenarbeit mit dem Cassini-Datenexperten und Planetenforscher Liming Li von der Universität Houston in Texas, USA.

Neue Möglichkeiten für die Analyse von Daten von Weltraumteleskopen

«Die Möglichkeit, mathematische Lösungen für Phasenkurven von reflektiertem Licht auf Papier zu bringen, bedeutet, dass man damit Daten in Sekundenschnelle analysieren kann», so Heng. Die Formeln eröffnen also neue Wege der Dateninterpretation. Heng arbeitet zusammen mit Pierre Auclair-Desrotour (ehemals CSH, derzeit am Pariser Observatorium) an der weiteren Verallgemeinerung der Formeln. «Pierre Auclair-Desrotour ist ein talentierterer angewandter Mathematiker als ich, und wir werden in naher Zukunft weitere spannende Ergebnisse veröffentlichen», so Heng.

In der Studie in *Nature Astronomy* demonstrierten Heng und seine Co-Autoren eine neuartige Methode zur Analyse der Phasenkurve des Exoplaneten Kepler-7b vom Kepler-Weltraumteleskop. Brett Morris leitete den Teil der Datenanalyse für die Studie. Heng sagt: «Brett Morris leitet die Datenanalyse für die CHEOPS-Mission in meiner Forschungsgruppe, und sein moderner Data-Science-Ansatz war entscheidend für die erfolgreiche Anwendung der Formeln auf reale Daten». Derzeit arbeiten sie mit Forschenden des amerikanischen Weltraumteleskops TESS zusammen, um die Phasenkurvendaten von TESS zu analysieren. Heng stellt sich vor, dass seine Formeln auch zu neuartigen Möglichkeiten der Analyse von Phasenkurvendaten des James Webb Weltraumteleskops JWST, das 2021 seine Reise ins Weltall antreten soll, führen werden. «Was mich am meisten begeistert, ist, dass diese mathematischen Formeln noch lange nach meinem Tod gültig sein werden und wahrscheinlich ihren Weg in Standard-Lehrbücher finden werden», so Heng abschliessend.

contact for scientific information:

Prof. Dr. Kevin Heng
Center for Space and Habitability (CSH), Universität Bern
Email: kevin.heng@csh.unibe.ch

Original publication:

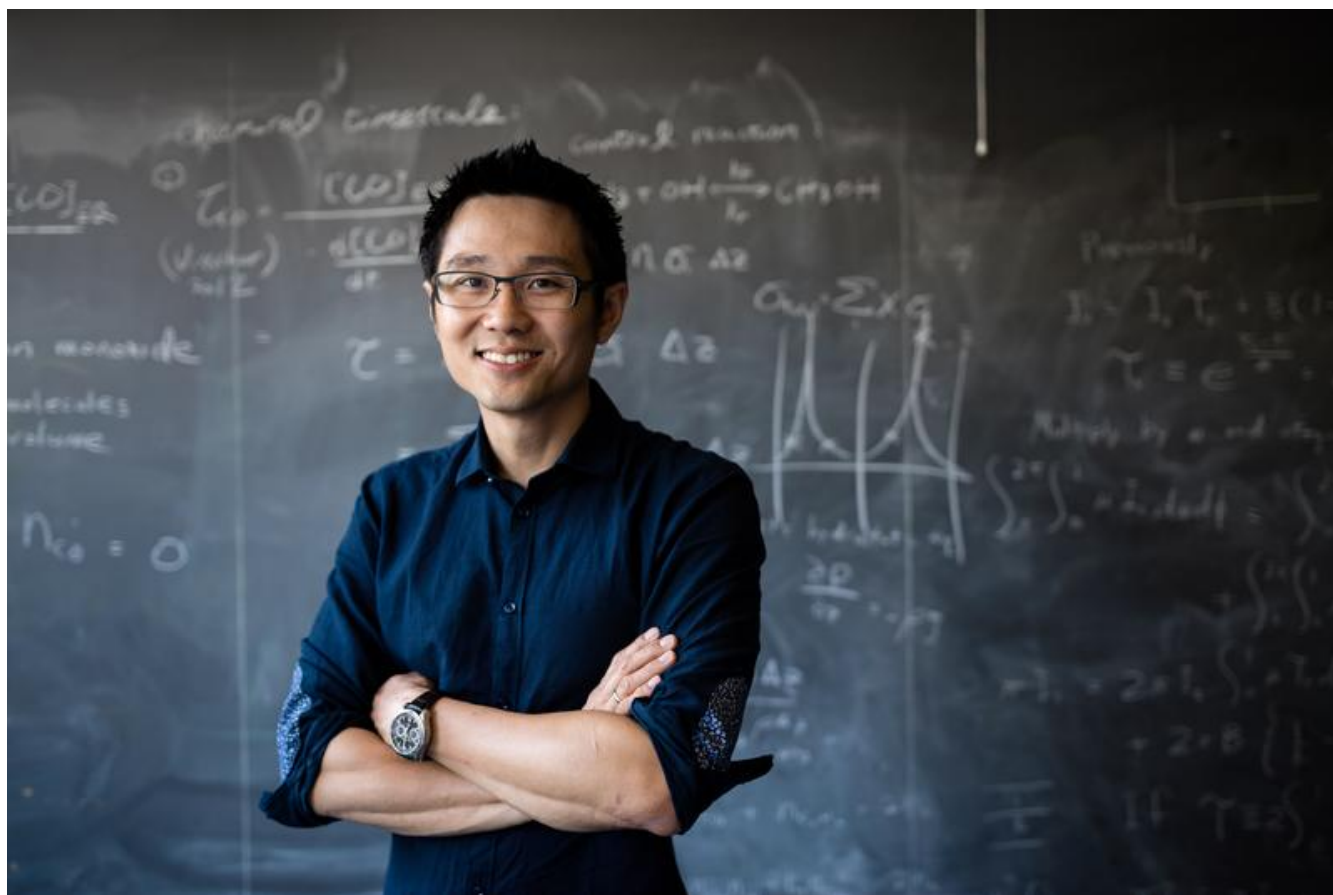
Heng, K., Morris, B.M., & Kitzmann, D., Closed-formed solutions of geometric albedos and phase curves of exoplanets for any reflection law, *Nature Astronomy*
<https://doi.org/10.1038/s41550-021-01444-7>

URL for press release: <https://tinyurl.com/NeueFormelnAstronomie>

URL for press release:

https://www.uniaktuell.unibe.ch/2021/der_astrophysiker_dem_ein_kunststueck_gelang/index_ger.html

Attachment Medienmitteilung als PDF <http://idw-online.de/en/attachment87306>



Prof. Dr. Kevin Heng Center for Space and Habitability (CSH), Universität Bern
Alessandro Della Bella
Alessandro Della Bella