



Gezeitenheizung in Enceladus

Was hält den Ozean unter der Eiskruste des Saturnmonds Enceladus flüssig? Es ist die gravitative Wechselwirkung mit den größeren Nachbarmonden, die eine Gezeitenreibung bewirkt und damit für seine Aufheizung sorgt.

Wenn sich ein System aus zwei Monden tiefer in eine exzentrische Resonanz hineinentwickelt, also ganzzahlige Verhältnisse der Umlaufdauern auf exzentrischen Bahnen, nimmt die Exzentrizität zu. Dabei steigt die Energiedissipation (der Übergang in Wärmeenergie) im Satelliten mit dem Quadrat der Bahnexzentrizität. Die Energiedissipation in einem Satelliten wiederum hat die Tendenz, seine Bahnexzentrizität zu senken. Wenn die durch Gezeiten verursachten Drehmomente das System tiefer in die Resonanz treiben, nimmt die Exzentrizität zu, bis die Wachstumsrate durch die Abnahmerate auf Grund der internen Dissipation ausgeglichen ist. In einem solchen Gleichgewicht ändert sich die Exzentrizität nicht mehr, und die Drehimpulsübertragung auf den äußeren Satelliten ist gleichbleibend hoch. Die Drehimpulsübertragungsrate hängt mit der Erwärmungsrate in den Satelliten zusammen. Dadurch lässt sich die Erwärmung im Gleichgewicht mit Hilfe der Energie- und Drehimpulserhaltung berechnen.

Aufgabe 1: Auf dem Weg zur Ermittlung der Enceladus zugeführten Wärmeenergie bestimme man zunächst die Winkelgeschwindigkeit ω_{Enc} von Enceladus auf seiner Bahn um Saturn. Sie lässt sich leicht aus dem Gleichgewicht von Gravitationskraft und Fliehkraft berechnen:

$$\omega_{\text{Enc}}^2 = G M_{\text{Sat}} / a_{\text{Enc}}^3.$$

Enceladus und Nachbarmonde		
	Masse m [kg]	Bahnradius a [km]
Janus	$1,8975 \cdot 10^{18}$	151 472
Mimas	$3,7493 \cdot 10^{19}$	185 539
Enceladus	$1,0802 \cdot 10^{20}$	237 948
Tethys	$6,1745 \cdot 10^{20}$	194 619
Dione	$1,0955 \cdot 10^{21}$	377 396

$G = 6,6743 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$ ist die Gravitationskonstante, $M_{\text{Sat}} = 5,6834 \cdot 10^{26} \text{ kg}$ die Saturnmasse und a_{Enc} der Bahnradius.

Aufgabe 2: Das durch Störungen an Enceladus aufgebrachte Drehmoment T lässt sich durch

$$T_{\text{Enc}} = \frac{3}{2} G \frac{m_{\text{Enc}}^2}{a_{\text{Enc}}^6} \frac{R_{\text{Enc}}^5 k_2 \bar{\tau}}{Q_{\text{Enc}}}$$

bestimmen. Der Saturnradius ist $R_{\text{Sat}} = 60 268 \text{ km}$, die Love-Zahl k_2 ein dimensionsloser Parameter zur Beschreibung der Änderung des Gravitationspotenzials eines Planeten durch gezeitenbedingte Massenverschiebungen: $k_2 \bar{\tau} = 0,341$. Der dimensionslose Gezeitenqualitätsfaktor Q hängt zusammen mit einer Phasenverzögerung durch die Gezeiten: $Q_{\text{Enc}} = 18 000$. Man berechne T_{Enc} .

Aufgabe 3: Die jeweilige durch Gezeitenreibung von Janus, Mimas, Tethys und Dione in Enceladus eingebrachte Wärmeenergie ist dann

$$H = \omega_{\text{Enc}} T_{\text{Enc}} \left(1 - \frac{1 + (m_a/m_i)(a_i/a_a)}{1 + (m_a/m_i)(a_a/a_i)^{1/2}} \right).$$

Die Indizes i und a stehen für den jeweils inneren und äußeren Mond. Wie groß sind die einzelnen von den Nachbarmonden in Enceladus verursachten Beiträge zur Wärmeenergie? AXEL M. QUETZ

Literaturhinweise

Lissauer, J. J. et al.: Ring torque on Janus and the Melting of Enceladus. Icarus 58, 1984

Meyer, J., Wisdom, J.: Tidal heating in Enceladus. Icarus 188, 2007

ZUM NACHDENKEN: Unser Sonnensystem



368 Seiten. Preis: 25 €. Bestell-Link:
<https://amzn.to/2sIYh6L>

Ihre Lösungen senden Sie bitte an: Redaktion SuW – Zum Nachdenken, Haus der Astronomie, MPIA-Campus, Königstuhl 17, D-69117 Heidelberg. Fax: 06221 528377. E-Mail: zum-nachdenken@sterne-und-weltraum.de. Einsendeschluss ist der 5. November 2021. Alle Leser, die bis einschließlich des Maihefts 2022 mindestens neun richtige Lösungen senden, werden bei der jährlichen Verlosung berücksichtigt; siehe S. 103. Bitte beachten Sie unsere Teilnahmebedingungen auf S. 17. Sie können Ihre Datenschutzrechte nach Art. 15 ff. DSGVO ausüben, indem Sie uns unter service@spektrum.de kontaktieren.

Die Sonde Cassini begann ihre Reise im Jahr 1997 und erreichte nach mehreren Swing-by-Manövern an Venus, Erde und Jupiter im Jahr 2004 nach knapp sieben Jahren Reisezeit endlich den Saturn.

Ein Team aus Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern hat nun die Wahrscheinlichkeit berechnet, dass dieses Methan tatsächlich von Lebensformen unter dem Eispanzer von Enceladus stammt. Die Ergebnisse sind im Fachmagazin »Nature Astronomy« erschienen.

Enceladus hat einen sehr tiefen Ozean unter seinem Eispanzer

Die zerklüftete eisige Oberfläche des Saturnmonds Enceladus täuscht (siehe »Geysire am Südpol«). Forscherinnen und Forscher gehen inzwischen davon aus, dass sich darunter ein Ozean aus flüssigem Wasser befindet. Die Dampf- und Eischwaden, die Cassini fand, deuten wiederum darauf hin, dass es am Grund dieses Ozeans Hydrothermalquellen gibt (siehe »Die innere Struktur von Enceladus«,

S. 26). Diese heißen Schlote sind auf der Erde ein geschätztes Forschungsthema, da sie in der heutigen Zeit von Mikroorganismen bewohnt werden, die es gerne heiß mögen und keinen Sauerstoff zum Überleben benötigen oder wollen. Somit ist bekannt, dass Hydrothermalquellen geeignete Bedingungen für Leben auf der heutigen Erde bieten. Und sie sind andererseits Kandidaten für Orte, an denen Leben auf der Erde ursprünglich entstanden sein könnte.