



1. Runde 2023

13. Oktober 2022 - 13. Februar 2023

Aufgaben vorbereitet: Ivan Kokhanovsky [1,2,4,5], Lukas Schicht [3]

Im Folgenden findest Du 5 Aufgaben zu unterschiedlichsten Gebieten der Astronomie und Astrophysik. Insgesamt können dabei 25 Punkte erreicht werden (5 pro Aufgabe). Alle möglichen Hilfsmittel sind erlaubt. Die Lösungen können bis 13. Februar 2023 23:59 Uhr per Mail an info@ioaa-germany.de gesendet werden. Du kannst Deine Lösung am Computer schreiben oder per Hand und dann einscannen. Bitte sende uns möglichst nur eine Datei in der Form `vorname-nachname.pdf` und nicht unzählige Einzelbilder. Wenn Lösungen eingescannt werden, dann füge diese bitte zu einem PDF-Dokument zusammen. Schreibe außerdem auf das erste Blatt deiner Lösungen deinen Namen, damit wir im Zweifelsfall alles eindeutig zuordnen können. Sollten im Verlaufe der Bearbeitung Fragen auftauchen, können diese natürlich auch per Mail gestellt werden.

Viel Spaß und Erfolg!

Physikalische und Astronomische Konstanten

Gravitationskonstante	$G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2}$
Plancksches Wirkungsquantum	$h = 6.62 \times 10^{-34} \text{ J s}$
Boltzmann-Konstante	$k = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J K}^{-1}$
Allgemeine Gaskonstante	$R = 8.31 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$
Stefan-Boltzmann-Konstante	$\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$
Lichtgeschwindigkeit in Vakuum	$c = 3.00 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$
Hubble-Konstante	$H_0 = 67.8 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$
Magnetische Permeabilität des Vakuums	$\mu_0 = 1.26 \times 10^{-6} \text{ N A}^{-2}$
Avogadro-Konstante	$N_A = 6.02 \times 10^{23} \text{ mol}$
Atommasse	$1\text{u} = 1.66 \times 10^{-27} \text{ kg}$
Jansky	$1 \text{ Jy} = 10^{-26} \text{ W m}^{-2} \text{ Hz}^{-1}$
Astronomische Einheit	$1 \text{ au} = 1.496 \times 10^{11} \text{ m}$
Parsec	$1 \text{ pc} = 3.086 \times 10^{16} \text{ m}$
Masse der Erde	$M_{\oplus} = 5.98 \times 10^{24} \text{ kg}$
Radius der Erde	$R_{\oplus} = 6.38 \times 10^6 \text{ m}$
Mittlere Albedo der Erde	0.3
Neigung der Ekliptik	$23^\circ 27'$
Länge des tropischen Jahres	365.2422 mittlere Sonnentage
Länge des siderischen Jahres	365.2564 mittlere Sonnentage
Große Halbachse des Jupiters	$a_{\text{J}} = 5.20 \text{ au}$
Exzentrizität der Bahn	$e_{\text{J}} = 0.0489$
Radius des Jupiters	$R_{\text{J}} = 6.99 \times 10^7 \text{ m}$
Masse des Jupiters	$M_{\text{J}} = 1.90 \times 10^{27} \text{ kg}$
Masse der Sonne	$\mathcal{M}_{\odot} = 1.99 \times 10^{30} \text{ kg}$
Radius der Sonne	$R_{\odot} = 6.96 \times 10^8 \text{ m}$
Oberflächentemperatur der Sonne	$T_{\odot} = 5770 \text{ K}$
Leuchtkraft der Sonne	$L_{\odot} = 3.83 \times 10^{26} \text{ W}$
Absolute Helligkeit der Sonne im V	4.83^{m}

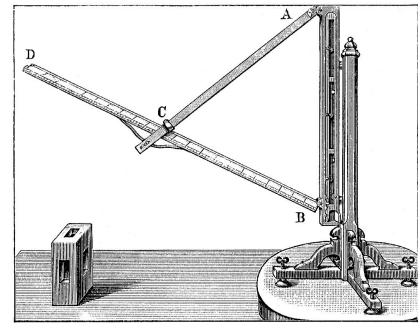
Die Astronomie ist vielleicht diejenige Wissenschaft, worin das wenigste durch Zufall entdeckt worden ist, wo der menschliche Verstand in seiner ganzen Größe erscheint, und wo der Mensch am besten kennen lernen kann, wie klein er ist.

Georg Christoph Lichtenberg

Aufgabe 1 Dreistab

Der Dreistab ist ein altes astronomisches Goniometer, das im 16. Jahrhundert zur Vermessung von Zenitdistanzen diente. Er besteht aus zwei gleichen Linealen, die ein gleichschenkliges Dreieck bilden, wobei der obere Endpunkt drehbar ist (siehe Skizze¹). Auf einem mit einer Teilung versehenen Lineal wird die Länge gemessen und dadurch die Zenitdistanz der Sterne bestimmt.

- 1.1 Leite einen Ausdruck für die Berechnung des Zenitwinkels als Funktion von $a = AB = AC$ und $b = BC$ her.
- 1.2 Wie genau kann man den Winkel von $z = 60^\circ$ messen, wenn $a = 1$ m und die Unsicherheit $\Delta b = 1$ mm beträgt?



Aufgabe 2 Super-Jupiter

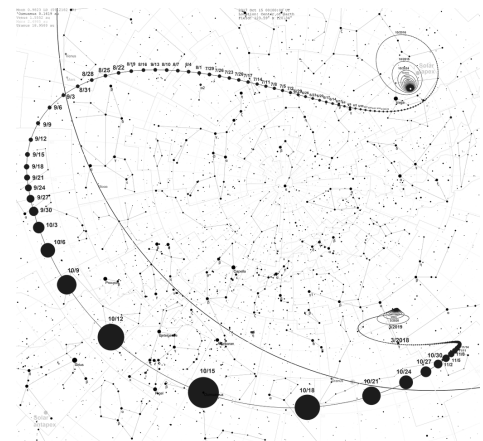
Ende September 2022 leuchtete Jupiter so hell wie seit Jahrzehnten nicht mehr. Grund dafür war, dass der Gasriese in dieser Zeit in Opposition zur Erde stand und zudem den kleinstmöglichen Abstand zur Sonne hatte. Seine visuelle Magnitude betrug dabei $m_{\nu} = -2.94^m$. In der Tabelle auf der ersten Seite findet man die wichtigen Zahlen vom Jupiter. Gehe davon aus, dass die Jupiterbahn in der Ekliptik liegt.

- 2.1 Wie hell würde Jupiter in einer Opposition erscheinen, wenn er zu dem Zeitpunkt am weitesten von der Sonne entfernt wäre? Vernachlässige die Exzentrizität der Erdbahn.
- 2.2 Schätze ab, wann wird man die Konfiguration aus der vorherigen Teilaufgabe das nächste Mal beobachten können? *Hinweis:* Jupiter soll sich zwar in der Nähe des Aphels befinden, aber nicht punktgenau.

Aufgabe 3 Oumuamua

Oumuamua gilt als das erste detektierte interstellare Objekt, welches durch das Sonnensystem geflogen ist. In der Abbildung² ist die von der Erde aus beobachtete Trajektorie von Oumuamua an der Himmelskugel dargestellt.

- 3.1 Aus welchem Sternbild kam Oumuamua und zu welchem fliegt es?
- 3.2 Schätze ab, mit welcher Geschwindigkeit Oumuamua auf uns zugeflog, als es in den gravitativen Einfluss der Sonne geraten war.
- 3.3 Wie nahe kam das interstellare Objekt der Sonne? Welche Geschwindigkeit erreichte es dort relativ zu dieser? *Hinweis:* Zeige zuerst, dass die Exzentrizität von Oumuamuas Bahn ungefähr $e = 1.2$ beträgt.



¹Dreistab von Nikolaus Kopernikus aus seinem Buch *Instrumenti parallactici constructio*.

²Im englischen Wikipedia-Artikel zu Oumuamua kann diese auf *Oumuamua-skypath.png* beliebig vergrößert werden.

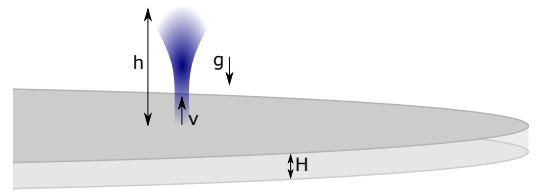
Aufgabe 4 CO₂ Atmosphäre

Mit Hilfe des neulich gestarteten James-Webb-Weltraumteleskops haben Forschende der Universität Bern das detaillierte Transmissionsspektrum des heißen Gasriesen WASP-39b beim Vorbeiziehen vor seinem Stern untersucht. Der Radius von WASP-39b beträgt $1.27R_{\text{J}}$ und seine Masse ist $0.28M_{\text{J}}$. Es hat sich herausgestellt, dass sein Spektrum im Wellenfenster von $3\ \mu\text{m}$ bis $5.5\ \mu\text{m}$ einen Absorptionspeak enthält, was auf die Existenz von Kohlendioxid in seiner Atmosphäre zurückzuführen ist.

- 4.1 Im spektralen Bereich des Absorptionspeaks von Kohlendioxid beträgt der relative Abfall der Helligkeit beim Transit gegenüber der nicht reduzierten Helligkeit 2.25%. In dem Wellenbereich, wo CO₂ das Sternlicht nicht absorbiert, sind es dagegen nur 2.05%. Bestimme daraus die Höhe der CO₂ Atmosphäre auf dem Exoplaneten in km. *Hinweis:* In der Tabelle auf der ersten Seite findet man die erforderlichen Daten vom Jupiter.
- 4.2 Da sich WASP-39b ziemlich nahe an seinem Stern befindet, steigt seine Oberflächentemperatur über 1000 K. Diskutiere, ob seine Kohlendioxid-Atmosphäre in dem Fall langfristig stabil bleibt. *Hinweis:* Vergleiche dafür grob die Molekularbewegung mit der Fluchtgeschwindigkeit.

Aufgabe 5 Galaktische Fontäne

In dieser Aufgabe untersuchen wir einen Prozess, der für die Verteilung des Aufbaumaterials für die Sternentstehung über die galaktische Ebene sorgt. Wenn mehrere Sterne in einer engen Umgebung relativ gleichzeitig explodieren, vereinigen sich ihre Druckwellen zu einer gewaltigen Strömung aus der Scheibenebene in den Halo (siehe Skizze). Dieses Phänomen bezeichnet man als "galaktische Fontäne". Dabei wird das heiße Gas von der Masse in der Galaxie angezogen, sodass es abgekühlt auf die Scheibe abregnet.



- 5.1 Beweise mit dem Satz von Gauß, dass sich die lokale Gravitationsbeschleunigung senkrecht zur als unendlich ausgedehnt angenommenen Galaxienscheibe wie folgt ausrechnen lässt

$$g = 4\pi G\sigma,$$

wobei σ die Massenflächendichte ist. Berechne g in m/s^2 für eine Galaxie mit der mittleren Sternendichte von $0.1M_{\odot}/\text{pc}^3$ (10% einer Sonnenmasse pro Kubik-Parsec) und der Scheibendicke von $H = 300\ \text{pc}$.

- 5.2 Wie hoch kann eine galaktische Fontäne das Material über die Scheibe mit einer Anfangsgeschwindigkeit von $v = 100\ \text{km s}^{-1}$ schießen? Wie lange dauert es in diesem Fall, bis das Gas auf die galaktische Scheibe niedergeht?