

## Aufgabe 1

### Stellarium

#### Aufgabenstellung

Installiere die Software *stellarium* (du kannst sie unter [www.stellarium.org](http://www.stellarium.org) kostenfrei herunterladen) und mache dich mit den Grundfunktionen dieses Programms vertraut.

Hinweis: Um einen fast realistischen Blick durch das Okular eines Teleskops zu simulieren, solltest du unter *Einstellungsfenster [F2]/Werkzeuge*: den Button *Scheibenförmiges Darstellungsfeld* aktivieren.

Beobachte Jupiter und seine Monde.

Warum „läuft“ Jupiter permanent aus deinem Blickfeld?

Mache dich mit unterschiedlichen Teleskopmontierungen vertraut. Was ist der Unterschied zwischen äquatorialer und azimutaler Montierung und wie kannst du diese bei *stellarium* einstellen?

#### Hilfen/Tipps:

Um die Drehung der Erde auszugleichen, die dazu führt, dass sich Jupiter ständig durch das Blickfeld bewegt, kannst du ihn durch Drücken der Leertaste „zentrieren“; dann dreht sich das Teleskop mit der Erde mit und Jupiter bleibt dauerhaft in der Mitte deines Blickfelds.

Damit sich das Blickfeld nicht dreht, kannst du durch Drücken der Tastenkombination [Strg + M] von der azimutalen Montierung in die sogenannte äquatoriale Montierung umschalten (informiere dich bei dieser Gelegenheit über diese beiden unterschiedlichen Teleskopmontierungen!). Ab jetzt steht Jupiter in der Mitte deines Blickfeldes wirklich still.

Wenn du es dir bei den simulierten Beobachtungen besonders leicht machen willst, drücke die Tasten <A> (Atmosphäre) und <G> (Boden), dann verschwindet der Boden und das blaue Leuchten des Taghimmels, so dass du nicht nur nachts und wenn Jupiter sich über dem Horizont befindet, sondern durchgängig, also täglich 24 Stunden lang, Jupiter „beobachten“ kannst.

## Aufgabe 2

### Drehung des Jupiters um sich selbst

#### Aufgabenstellung

Mit Hilfe deines virtuellen Teleskops kannst du auch die Eigendrehung des Jupiters um sich selbst beobachten. Miss, wie lange er für eine Drehung um die eigene Achse benötigt, und vergleiche dein Ergebnis mit dem Literaturwert.

#### Hilfen/Tipps:

Wenn du Jupiter fixiert hast (und gegebenenfalls die Tasten <A> und <G> gedrückt hast), kannst du durch (mehrfaches) Drücken der Taste <L> den Ablauf der Zeit beschleunigen und somit die Drehung des Jupiters um sich selbst beobachten.

Genauere Werte erhältst du, wenn du Jupiter mehrere Drehungen vollführen lässt und dann die gemessene Zeit durch die Anzahl der Umdrehungen teilst.

Um beim Bestimmen von *Zeitdifferenzen* nicht ständig kompliziert rechnen zu müssen (getrennt nach Tagen, Stunden, Minuten, Sekunden), kannst du im Fenster *Datum und Uhrzeit* den Reiter *Julianischer Tag* anklicken. Dann erhältst du die Zeit in der Einheit „Tage“ (mit einer Vielzahl von Nachkommastellen), und die Differenz lässt sich sehr leicht bilden.

## Aufgabe 3

### Die Monde des Jupiters

#### Aufgabenstellung

Finde heraus, welche Monde des Jupiters von deinem „Teleskop“ angezeigt werden und welche gegebenenfalls nicht.

#### Hilfen/Tipps:

Unter [https://de.wikipedia.org/wiki/Liste\\_der\\_Jupitermonde](https://de.wikipedia.org/wiki/Liste_der_Jupitermonde) findest du eine Liste aller bislang entdeckten Jupitermonde.

Wenn du unter *Ansicht [F4]/Himmel* bei *Objekte des Sonnensystems* das Feld *Beschriftungen und Markierungen* aktivierst, bekommst du auch die Namen der Jupitermonde angezeigt.

## Aufgabe 4

### Die vier größten Jupitermonde

#### Aufgabenstellung

Beobachte den „Tanz“ der vier größten Jupitermonde (auch *Galileische Monde* genannt) und erstelle für ein paar Tage des aktuellen Monats eine Grafik wie die nachfolgende (sie gilt für den August 2017).

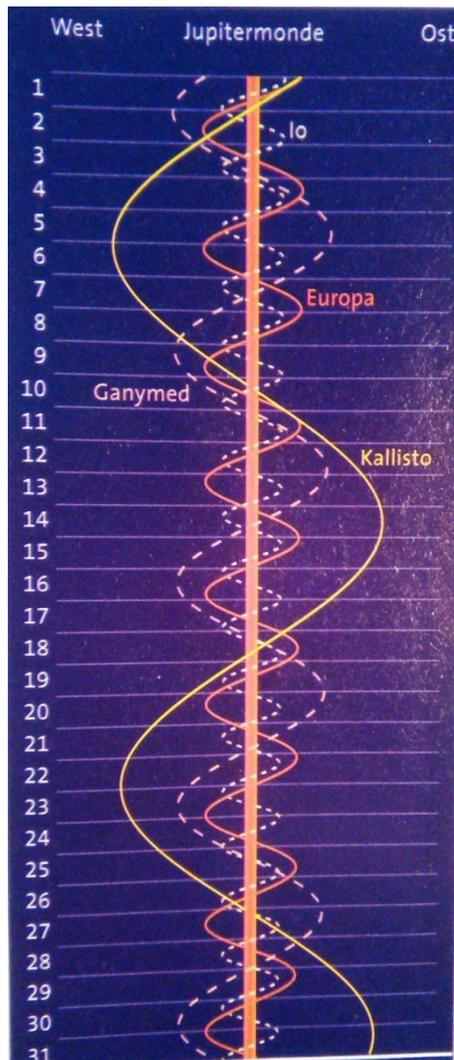


Abb.: Sterne und Weltraum 8|2017, S. 53

#### Hilfen/Tipps:

Bei den vier größten Jupitermonden handelt es sich um *Io*, *Europa*, *Ganymed* und *Kallisto*.

Mit Hilfe des Internets oder des aktuellen Heftes „Sterne und Weltraum“ kannst du deine Ergebnisse überprüfen. Dort findest du diese Grafik unter der Rubrik „Aktuelles am Himmel: Sonnensystem: Die Planeten“.

## Aufgabe 5

### Größen- und Entfernungsverhältnisse

#### Aufgabenstellung

Überprüfe, ob die Größenverhältnisse der vier großen Jupitermonde zueinander und im Vergleich zu Jupiter von deinem „Teleskop“ korrekt dargestellt werden.

Führe diese Überprüfung auch für die Entfernungen dieser vier Monde von Jupiter durch.

#### Hilfen/Tipps:

Hier findest du die wesentlichen Fakten zu den vier großen Jupitermonden:

| Name       | Durchmesser | Bahnradius   | Umlaufzeit  |
|------------|-------------|--------------|-------------|
| Io         | 3630 km     | 421'000 km   | 1.769 Tage  |
| Europa     | 3138 km     | 672'000 km   | 3.551 Tage  |
| Ganimesdes | 5262 km     | 1'072'000 km | 7.155 Tage  |
| Kallisto   | 4800 km     | 1'888'000 km | 16.689 Tage |

Den Radius bzw. Durchmesser von Jupiter findest du z.B. bei Wikipedia!

## Aufgabe 6

### Die beiden unterschiedlichen Umlaufzeiten eines Trabanten

#### Aufgabenstellung

Die Zeit zwischen zwei Verfinsterungen bzw. „Wiedersichtbarwerden“ eines Jupitermondes (auf der gleichen Seite des Jupiters) nennt man *synodische Umlaufzeit* ( $T_{\text{syn}}$ ); sie unterscheidet sich von der *siderischen Umlaufzeit* ( $T_{\text{sid}}$ ) des Mondes.

Mache dich mit Hilfe des Internets mit dem Unterschied zwischen *siderischer* und *synodischer* Umlaufzeit eines Trabanten (auch z.B. unseres Mondes) vertraut. Entwickle eine Zeichnung, in der dieser Unterschied deutlich wird.

#### Hilfen/Tipps:

Diese Skizze hilft dir, den Unterschied zu verstehen (VE steht für „Verfinsterungsende“).

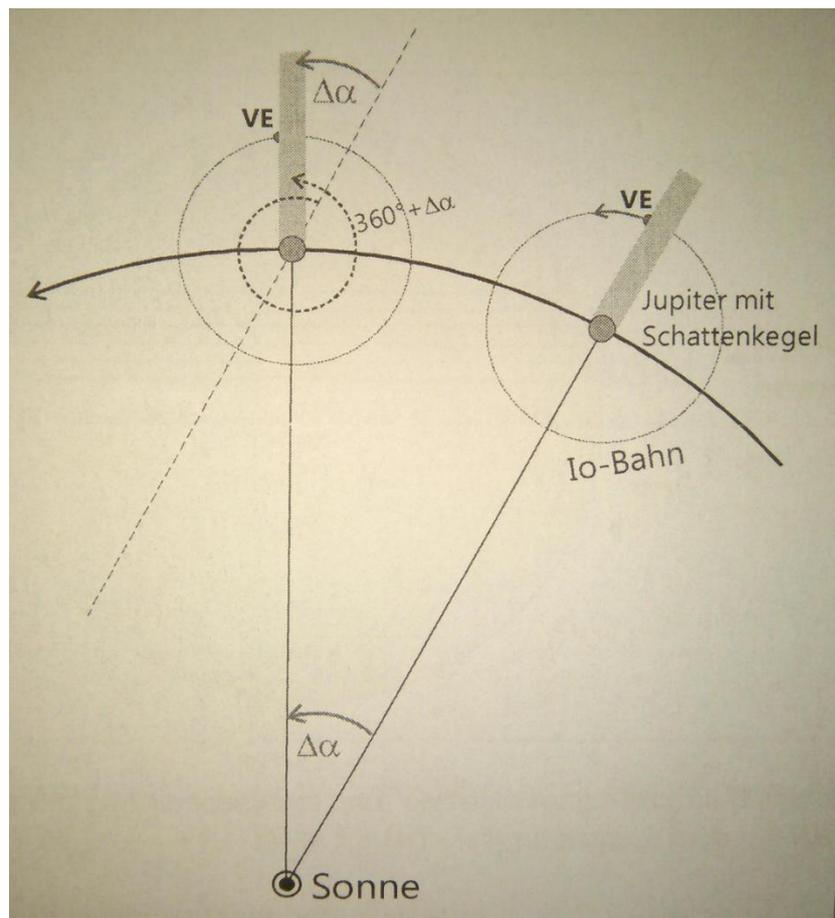


Abb.: Schultz: Ergänzung / Fortsetzung des Artikels „Die Lichtgeschwindigkeit nach Olaf Römer“ in der Zeitschrift *Astronomie + Raumfahrt* 49 (2012) 1.

[https://www.physik.uni-siegen.de/didaktik/materialien\\_offen/excel/lichtgeschwindigkeit\\_nach\\_roemer\\_-\\_ergaenzung.docx](https://www.physik.uni-siegen.de/didaktik/materialien_offen/excel/lichtgeschwindigkeit_nach_roemer_-_ergaenzung.docx)

## Aufgabe 7

### Messung der synodischen Umlaufzeit von Io

#### Aufgabenstellung

Im Laufe der Wissenschaftsgeschichte war es immer wieder wichtig, die synodische Umlaufzeit von einzelnen Jupitermonden sehr genau zu kennen (dazu später mehr).

Miss für unterschiedliche Zeiten im Jahr  $T_{\text{syn}}$  für den Jupitermond Io möglichst genau. Dabei solltest du die Vergrößerung deines „Teleskops“ auf *maximal* stellen. Achtung: Hier kommt es auf Sekunden an! Vergleiche deinen Messwert mit dem Literaturwert.

#### Hilfen/Tipps:

Du merkst schnell, wie schwierig es ist, diese Zeitdauer *genau* zu messen. Experimentiere mit unterschiedlichen Formen des Startzeitpunktes:

1. erstes Licht auf den Mond Io,
2. Halbmond (der *Terminator* ist eine gerade Linie),
3. letztes Licht auf den Mond Io.

Miss mehrmals und bilde Mittelwerte.

Der Literaturwert für die synodische Umlaufzeit von Io:

$$T_{\text{syn}} = 1,76986 \text{ Tage} = 1 \text{ d } 18 \text{ h } 28 \text{ min } 36 \text{ sec}$$

Hinweis: Du wirst für unterschiedliche Zeitpunkte im Jahr leicht voneinander und vom Literaturwert für  $T_{\text{syn}}$  abweichende Werte erhalten.

## Aufgabe 8

### Römers Überlegungen zur Variation der synodischen Umlaufdauer von Io

#### Aufgabenstellung

Bei deinen Messungen in Aufgabe 7 hast du Werte gemessen, die vom Literaturwert der synodischen Umlaufzeit für Io abweichen. Das hat u.a., wie Olaf Römer im 17. Jahrhundert erkannt hat, etwas mit der endlichen Geschwindigkeit des Lichtes zu tun.

Falls du Römers Ideen noch nicht im Unterricht kennengelernt hast, mache dich mit ihnen vertraut, und überlege, warum man die korrekte synodische Umlaufzeit von Io (oder den anderen Jupitermonden) nur dann misst, wenn sich Jupiter von der Erde aus betrachtet entweder in *Opposition* oder *Konjunktion* zur Sonne befindet.

Falls du die beiden letztgenannten Begriffe nicht kennst, recherchiere diese zunächst im Internet.

#### Hilfen/Tipps:

Hilfreiche Informationen findest du in der Regel in deinem Physikbuch, bei Wikipedia oder auch unter: <http://www.waa.at/apo/jumo/main.html>.

## Aufgabe 9

### Messung von $T_{\text{syn}}$ des Mondes Io während der Oppositionsstellung Jupiters

#### Aufgabenstellung

Finde mit Hilfe des Internets Zeitpunkte, an denen sich Jupiter in Opposition zur Sonne befand, miss für einen dieser Zeitpunkte  $T_{\text{syn}}$  von Io möglichst exakt und vergleiche mit dem in Aufgabe 7 angegebenen Literaturwert.

Warum ist diese Messung während der *Konjunktion* von Jupiter zwar mit *stellarium*, nicht aber mit einem echten Teleskop möglich?

#### Hilfen/Tipps:

Bei <http://www.ianridpath.com/jupiter.htm> findest du Zeitpunkte, an denen sich Jupiter in Oppositionsstellung zur Erde befand bzw. befinden wird.

## Aufgabe 10

### Bedeckungen und Verfinsterungen der Jupitermonde

#### Aufgabenstellung

Bei deinen Beobachtungen der Jupitermonde hast du sicherlich bemerkt, dass diese manchmal schon verschwinden, obwohl sie den Rand von Jupiter noch gar nicht erreicht haben bzw. erst ein ganzes Stück neben Jupiter wieder sichtbar werden. Überlege, woran das liegt.

Mach dich – am besten unter Zuhilfenahme einer Skizze – mit den beiden unterschiedlichen Formen des Sichtbar- bzw. Unsichtbarwerdens (Bedeckungen und Verfinsterungen) vertraut und überlege, welche Beobachtungssituation man *vor* und welche man *nach* der Oppositionstellung nutzen sollte, um  $T_{\text{syn}}$  sinnvoll messen zu können.

#### Hilfen/Tipps:

Diese Internetseite hilft dir: <http://www.waa.at/apo/jumo/main.html>.

## Aufgabe 11

### Variationen in der synodischen Umlaufzeit von Io

#### Aufgabenstellung

Olaf Römer hat 1776 durch sehr sorgfältige Messung der synodischen Umlaufzeit von Io entdeckt, dass diese im Laufe des Jahres variiert und daraus auf die Endlichkeit der Lichtgeschwindigkeit geschlossen (die meisten seiner Zeitgenossen glaubten, dass sich Licht sich mit unendlich großer Geschwindigkeit ausbreitet).

In Aufgabe 8 hast du ja bereits darüber nachgedacht, warum man  $T_{\text{syn}}$  von Io während der Oppositionsstellung von Jupiter messen muss. Zwischen zwei Oppositionsstellungen von Jupiter vergehen nun 398 Tage. Nach welcher Zeitspanne vor bzw. nach der Opposition sollte also die maximale *Abweichung* vom korrekten Wert von Ios  $T_{\text{syn}}$  auftreten?

Welches Vorzeichen hat diese Abweichung, wann also ist die synodische Umlaufzeit im Vergleich zu  $T_{\text{syn, Opp}}$  zu kurz, wann zu lang?

Bestimme mit die maximale Abweichung der synodischen Umlaufzeit Ios von dem während der Oppositionsstellung gemessenen Wert.

Falls du Freude an theoretischen Betrachtungen hast, schätze den max. Zeitunterschied zwischen  $T_{\text{syn}}$  und  $T_{\text{syn, Opp}}$  rechnerisch ab.

#### Hilfen/Tipps:

Nutze jeweils unterschiedliche Startmomente (vgl. Tipps zu Aufg. 7) und bilde Mittelwerte über mehrere Messungen.

## Aufgabe 12

### Bestimmung der Lichtgeschwindigkeit nach Römer I

#### Messung über mehrere Wochen bzw. Monate

#### Aufgabenstellung

Olaf Römer konnte im 17. Jahrhundert (noch) nicht messen, dass sich  $T_{\text{syn}}$  im Laufe einzelner Perioden immer um wenige Sekunden verändert. Vielmehr stellte er nach einigen Wochen fest, dass sich eine Zeitdifferenz von mehreren Minuten zwischen dem erwarteten und dem tatsächlichen Auftauchen bzw. Verschwinden  $I_0$  aufsummiert hatte.

Bestimme mit Hilfe deines virtuellen Teleskops die Zeitdifferenz  $\Delta T$ , die sich – durch die Endlichkeit der Lichtgeschwindigkeit verursacht – im Laufe von z.B. zwei Monaten aufsummiert.

#### Hilfen/Tipps:

Finde zunächst heraus, wie viele synodischen Umrundungen  $I_0$  während dieser Zeit gemacht hat.

Wie lange braucht  $I_0$  normalerweise für diese Anzahl von Umrundungen? Nutze den Literaturwert für  $T_{\text{syn}}$ .

Berechne nun die Zeitdifferenz  $\Delta T$ , die  $I_0$  zu spät bzw. zu früh sichtbar wurde.

## Aufgabe 13

### Bestimmung der Lichtgeschwindigkeit nach Römer II

#### Aufgabenstellung

Bestimme mit Hilfe der unterschiedlichen Entfernung von Jupiter zu Beginn und Ende deiner Messung aus Aufgabe 12 die Lichtgeschwindigkeit  $c$ .  
Wodurch kommen Abweichungen vom Literaturwert für  $c$  zustande?

#### Hilfen/Tipps:

Aktiviere im *Einstellungsfenster [F2]* von *stellarium* bei *Information* den Button *Entfernung*. Jetzt wird die Entfernung zu jedem angeklickten Himmelskörper, also auch zu Jupiter, angezeigt.

Finde mit Hilfe von *stellarium* heraus, wie weit Jupiter an diesen beiden Tagen jeweils von der Erde entfernt war. Aus dem *Entfernungsunterschied*  $\Delta s$  und der Zeitdifferenz  $\Delta T$ , die  $I_0$  zu spät bzw. zu früh sichtbar wurde, lässt sich die Lichtgeschwindigkeit bestimmen.

Rechnung:  $c = \Delta s / \Delta T$

## Aufgabe 14

### Bestimmung der Lichtgeschwindigkeit nach Römer III

#### Nachvollzug der historischen Messungen aus dem Jahre 1676

##### Aufgabenstellung

Olaf Römer wagte am 23. August 1676 – so Wikipedia – „die Voraussage, dass die Verfinsterung des Mondes Io am 9. November 1676 um zehn Minuten „zu spät“ sichtbar sein werde“.

Reise mit Hilfe von *stellarium* ins Paris des Jahres 1676 zurück (Römer war zwar Däne, hat aber lange an der Pariser Sternwarte gearbeitet) und rekapituliere die beiden Beobachtungen. Schalte dabei das Atmosphärenlicht nicht aus (< A >), damit du sicher sein kannst, dass Römer diese Beobachtung auch wirklich machen konnte.

Römer hatte zwar Recht, dass sich die Verfinsterung von Io verspäten werde, lag mit 10 Minuten aber daneben. Bestimme die korrekte Zeitdifferenz.

Welchen Wert der Lichtgeschwindigkeit erhältst du, wenn du den von dir selbst bestimmten Wert für  $T_{\text{syn, Opp}}$  (s. Aufgabe 9) einsetzt, und welchen, wenn du den Literaturwert für  $T_{\text{syn, Opp}}$  benutzt?

Wie kommt die unter Umständen sehr große Abweichung zwischen deinem Wert für die Lichtgeschwindigkeit und dem Literaturwert zustande?

##### Hilfen/Tipps:

Kläre zunächst, um wie viel Uhr Römer wohl an diesen beiden Tagen Io beobachtet hat.

Bestimme die Zeitdifferenz zwischen diesen beiden Beobachtungen in Stunden (mit mindestens 4 Nachkommastellen). Verfahre dann wie in den Hilfen zu Aufgaben 12 und 13 vorgeschlagen.

Wenn du noch mehr über die Ursache der Abweichungen zwischen Römers bzw. deinem Wert für die Lichtgeschwindigkeit und dem Literaturwert wissen möchtest, studiere die beiden nachfolgenden Texte. Den ersten müsste dir dein(e) Physiklehrer(in) organisieren, den anderen findest du im Internet.

Schultz: Astronomie mit Tabellenkalkulation – Sechter Teil: Die Lichtgeschwindigkeit nach Olaf Römer. In: Astronomie + Raumfahrt 49 (2012) 1. S. 35 ff.

Schultz: Ergänzung / Fortsetzung des Artikels „Die Lichtgeschwindigkeit nach Olaf Römer“ in der Zeitschrift Astronomie + Raumfahrt 49 (2012) 1: Download unter:

[https://www.physik.uni-siegen.de/didaktik/materialien\\_offen/excel/lichtgeschwindigkeit\\_nach\\_roemer\\_-\\_ergaenzung.docx](https://www.physik.uni-siegen.de/didaktik/materialien_offen/excel/lichtgeschwindigkeit_nach_roemer_-_ergaenzung.docx)