Nachtrag zur Mitteilung : Messung der Lichtgeschwindigkeit nach Ole Roemer, von H.-U. Fuchs : erschienen in ORION 33, 75 (1975) No. 148

Autor(en): **Fuchs, H.-U.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Orion : Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft**

Band (Jahr): **33 (1975)**

Heft 149

PDF erstellt am: **31.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-899453

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Nachtrag zur Mitteilung:

Messung der Lichtgeschwindigkeit nach Ole Roemer, von H.-U. Fuchs,

erschienen in ORION 33, 75 (1975), No. 148.

Von H.-U. Fuchs, Zürich

Ein Nachtrag zu der Beobachtungsanleitung zur Messung der Lichtgeschwindigkeit[1]) ist notwendig. Der Amateur, der in diesem Jahr (1975) die Lichtgeschwindigkeit aus Beobachtungen der Jupitermonde abzuleiten versucht, dürfte eine unangenehme Überraschung erleben. Er wird voraussichtlich Werte um 500000 km/s für die Lichtgeschwindigkeit finden. Hätte er 1973 (vor der Opposition) beobachtet, so hätte er vermutlich einen recht ansprechenden Betrag (etwa 290000 km/s) erhalten. Woher kommen diese Schwankungen?

Es zeigt sich, dass die Störungen der Jupitermonde die Bestimmung der Lichtgeschwindigkeit stark beeinträchtigen können[2]). Die drei inneren Galileischen Jupitermonde haben beinahe kommensurable Umlaufzeiten (d. h. die Umlaufzeiten stehen in rationalen Verhältnissen zueinander). So kommt es, dass sich die gegenseitigen Stellungen dieser Monde nach relativ kurzer Zeit (436.7 d) exakt reproduzieren. Aus diesem Grunde sind die Störungen, die die Jupitermonde gegenseitig auf sich ausüben, recht gross. So kommt es, dass sich die Verfinsterungszeiten der Monde um einige Minuten verschieben können.

Es wäre deshalb nötig, die theoretischen Verfinsterungszeiten t_n[1]) entsprechend dieser Störungen zu korrigieren:

$$t_n{}^* = t_o + n \cdot T_{syn} + \delta\, t + T_{\text{Störung}} \qquad (1)$$

T_{st} kann aus der Störungsrechnung leider nur mit riesigem Aufwand erhalten werden. Für uns erhebt sich nun die Frage, ob es nicht Methoden gibt, die eine einfachere Beherrschung des Störungseffektes ermöglichen.

Numerische Betrachtungen für die letzten paar Jahre werden uns gewisse Gesetzmässigkeiten erkennen lassen. Unter stark einschränkenden Bedingungen dürfte eine einfache Berücksichtigung der Störungen möglich sein.

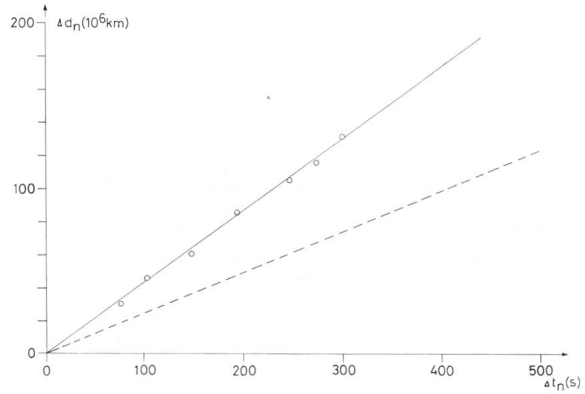
I. *Einfluss der Störungen auf eine Beobachtungsperiode*

Wir nehmen als Beispiel die Beobachtungsperiode 1975 (vor der Jupiteropposition)[3]). Wir berechnen die theoretischen Verfinsterungszeiten nach

$$t_n = t_o + n \cdot T_{syn} + \delta\, t \qquad (2)$$

d. h. ohne Berücksichtigung irgendwelcher Störungen; der Vergleich mit den beobachteten Zeiten[3]) ergibt eine Lichtgeschwindigkeitsbestimmung nach Fig. 1 (ausgezogene Kurve).

Beachtenswert ist nun folgendes: Die Bestimmung nach (2) ergibt wieder eine Gerade! (Wenn auch mit falscher Steigung entsprechend 540000 km/s). Das heisst nun, dass T_{st} nicht einfach beliebig über die Beobachtungsperiode verteilt ist. Vielmehr gehorch-Tst innerhalb dieses Zeitraumes einem einfachen Gesetz: T_{st} liefert für jedes n einen gleichmässig wachsenden Zusatz zu Gl. (2), so dass die Gerade, die die Lichtgeschwindigkeit bestimmt, in der Steigung korrigiert wird.



Daher wirken sich die Störungen so aus, als sei die synodische Umlaufzeit der Monde um einen konstanten Beitrag verändert. In Gleichung (1) können wir T_{st} nach diesem Ergebnis nämlich in T_{syn} integrieren:

$$t_n{}^* = t_o + n\left(T_{syn} + \frac{1}{n} \cdot T_{st}\right) + \delta\, t =$$

$$t_o + n\left(T_{syn} + \triangle\, T_{syn}\right) + \delta\, t \qquad (3)$$

wobei $$\triangle\, T_{syn} = {}^1/n \cdot T_{st} \qquad (4)$$

über eine Beobachtungsperiode als konstant angenommen werden kann.

Es gibt nun eine einfache Methode, $\triangle\, T_{syn}$ zu erhalten. Allerdings wird dabei die Voraussetzungslosigkeit der Methode der Lichtgeschwindigkeitsbestimmung empfindlich gestört!

In Fig. 1 gibt die unterbrochene Gerade die Exakte Lichtgeschwindigkeit von 300000 km/s wieder. Da wir das Resultat kennen, bestimmen wir $\triangle\, T_{syn}$ so, dass die mit Gl. (3) bestimmte (durchgezogene) Gerade die richtige Steigung erhält. Man geht also hin, bestimmt nach den Werten für die Verfinsterungen (aus einem Jahrbuch) die für die zukünftigen Beob-

achtungen zu erwartende Lichtgeschwindigkeit nach Gl. (2) und erhält einen falschen Wert. Dann bestimmt man $\triangle T_{syn}$ so, dass man mit der korrigierten Umlaufzeit des Mondes einen vernünftigen Wert für die Lichtgeschwindigkeit erwarten kann.

Bei dieser Methode wird also die Kenntnis der Lichtgeschwindigkeit vorausgesetzt. Das ist natürlich ein schwerer Schönheitsfehler. Der Amateur, dem nur beschränkte Mittel zur Verfügung stehen, muss diesen wohl in Kauf nehmen. Allerdings eröffnen die nun folgenden Untersuchungen über die Zeitentwicklung von $\triangle T_{syn}$ einen Lichtblick.

II. Zeitliches Verhalten der Störungen

Bestimmt man mit Jupiter I (Jo) die ohne Berücksichtigung der Störungen zu erwartenden Lichtgeschwindigkeiten c′ (nach Gl. (2)), so erhält man folgende Resultate:

1968: 270 000 km/s	1972: 250 000 km/s
1969: 230 000 km/s	1973: 280 000 km/s
1970: 220 000 km/s	1974: 370 000 km/s
1971: 230 000 km/s	1975: 540 000 km/s

Diese Werte erhält man aus Beobachtungen vor der Opposition. Ein gewisses gesetzmässiges Verhalten kann schon abgelesen werden. Wir fragen uns nun, ob wir durch ein einfaches theoretisches Modell für die Zeitabhängigkeit von $\triangle T_{syn}$ die oben erhaltenen Werte wenigstens grob annähern können. Es sei schon vorausgeschickt, dass dieses theoretische Modell hier nicht erklärt werden kann (der Verfasser scheut sich vor dem Einsatz der Störungsrechnung). Erhalten wir aber gute Resultate, so werden wir sagen, $\triangle T_{syn}$ verhalte sich wahrscheinlich ungefähr nach dem vorgeschlagenen Modell.

Wir nehmen an, dass $t_n{}^*$ (Gl. (3)) die exakten theoretischen Verfinsterungszeiten seien (d. h. wir nehmen an, dass unser Vorschlag für $\triangle T_{syn}$ gut sei). Dann gilt für die beobachteten Verfinsterungszeiten:

$$t_n' = t_n{}^* \pm \frac{\triangle d_n}{c} = t_o + n(T_{syn} + \triangle T_{syn}) + \delta t \mp \frac{\triangle d_n}{c} \qquad (5)$$

$c = 300\,000$ km/s ist die exakte Lichtgeschwindigkeit. $\triangle d_n/c$ ist die Änderung der Laufzeit des Lichtes. Dabei gilt natürlich das obere Vorzeichen für die Beobachtungen vor der Opposition, das untere für die Zeit nach der Opposition. Bestimmen wir nun die Lichtgeschwindigkeit c′ ohne Berücksichtigung der Störungen (also nach Gl. (2)), so ergibt sich:

$$c' = \frac{\triangle d_n}{\triangle t_n} \quad \text{mit } \triangle t_n = t_n - t_n'$$

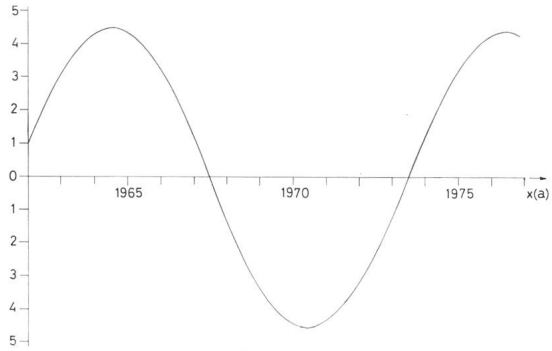
Aus (2) und (5) folgt:

$$\triangle t_n = t_n - t_n' = -n \cdot \triangle T_{syn} \pm \frac{d_n}{c}, \qquad (6)$$

$$\text{also:} \quad c' = \frac{\pm \triangle d_n}{\pm \frac{\triangle d_n}{c} - n \cdot \triangle T_{syn}}. \qquad (7)$$

Die für die Jahre 1968–1975 berechneten Lichtgeschwindigkeiten c′ verteilen sich etwa wie eine abgewandelte Sinuskurve (mit flachem Minimum und hohem Maximum). Deshalb setzen wir für $\triangle T_{syn}$ versuchsweise eine reine Sinusschwingung an:

$$\triangle T_{syn} = A \cdot \sin(B \cdot x + C). \qquad (8)$$



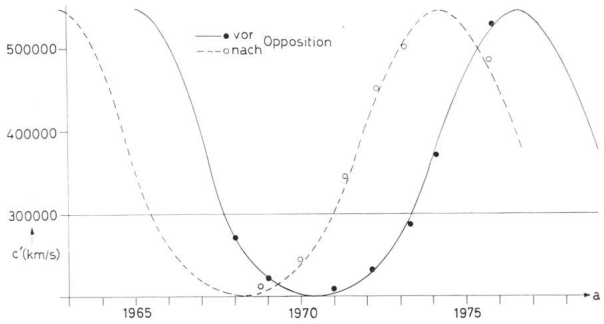
Die Konstanten A, B und C müssen so gewählt werden, dass das Verhalten von c′ einigermassen gut wiedergegeben wird. x wird in Jahren angegeben.
Mit den Werten:

$$A = 4.5 \text{ Sek.},$$
$$B = 2\pi/11.955 \text{ und}$$
$$C = -0.95$$

erhält man das folgende Bild (Fig. 3. Berechnung nach Gl. (7)):

Führt man die gleiche Berechnung für die Beobachtungen *nach* der Opposition aus, so merkt man, dass die gleiche Annahme für $\triangle T_{syn}$ *nicht* zum gewünschten Ziel führt. Man muss vielmehr einen anderen Parameter C nehmen (A und B bleiben gleich):

$$C^* = +3.34 \qquad (10)$$



Es ist natürlich nicht ohne weiteres einzusehen, wieso die Messungen nach der Opposition nicht durch den gleichen Ansatz (9) angenähert werden können. Es ist möglich, dass der Grund dafür bei Kenntnis der Störungstheorie offensichtlich würde. Da es aber doch sehr unwahrscheinlich ist, dass der Übergang der

Beobachtung von vor zu nach der Opposition einen solchen Sprung verursacht, dürfte der Grund im Ungenügen der Theorie liegen. Man darf natürlich nie vergessen, dass (3) nur näherungsweise gilt und der Ansatz für $\triangle T_{syn}$ mehr oder weniger aus der Luft gegriffen ist. Es darf daher nicht überraschen, dass nur die allergröbsten Züge beschrieben werden können.

Diese so ungenügende Theorie und die Fig. 3 legen aber einen anderen wichtigen Gedanken nahe. Die Kurve in Fig. 3 (nach Gl. (7) schneidet aus der Horizontalen bei 300 000 km/s gleichlange Abschnitte heraus. Gl. (8) oder Fig. 2 sagen ja, dass in regelmässigen Abständen die Wirkung der Störung verschwindet, so dass eine Beobachtung zu diesen Zeitpunkten einen guten Wert für c liefern sollte. Man kann nun folgende Methode zur genauen Bestimmung der Lichtgeschwindigkeit vorschlagen:

Man beobachtet über möglichst viele Perioden (12 oder mehr Jahre) und trägt die Messungen c′ (unkorrigiert!) gegen die Zeit auf (Fig. 3). Man versucht, die Punkte so gut wie möglich durch eine Kurve zu approximieren. Diejenige Horizontale, die durch diese Kurve in gleiche Abschnitte unterteilt wird, repräsentiert die wahre Lichtgeschwindigkeit c. Diese Methode ist also unabhängig von der Kenntnis der Lichtgeschwindigkeit.

Noch eine Erkenntnis mag interessant sein: Die Periode der Störungen von T_{syn} beträgt genau das Zehnfache der Periode, nach der sich die Stellung der ersten drei Jupitermonde wiederholt (10 mal 436.7 Tage). Es könnte sich dabei um bei solchen Phänomenen durch die Störungstheorie bekannte Schwebungen handeln, die eine viel längere Dauer als die Kommensurabilitätsperiode besitzen. Ob dies allerdings so ist, lässt sich ohne genaueres Hinsehen nicht entscheiden.

Literatur:
[1]) H. U. Fuchs: Messung der Lichtgeschwindigkeit nach Ole Roemer, ORION *33*, 75 (1975).
[2]) K. Rohlfs: Sterne und Weltraum *13*, 311 (1974).
[3]) Werte nach P. Ahnert: Kalender für Sternfreunde, 1975

Adresse des Verfassers:
H.-U. Fuchs, Lerchenrain 7/25, CH-8046 Zürich.

Bewertung von Filmen für die Astrophotographie

Über dieses aktuelle Thema, das viele unserer Leser interessieren dürfte, berichten in der Juli-Nummer von Sky and Telescope *50*, 61 (1975) die Kodak-Mitarbeiter G. T. Keene und M. H. Sewell. Untersucht wurde insbesondere das Langzeit-Expositionsverhalten von 6 Farb- und 2 Schwarz-weiss-Filmen, nämlich:

Kodachrome 25,
Kodachrome 64,
Ektachrome X,
Ektachrome High Speed,
Kodacolor II,
Ektacolor L, und:
Tri-X-Film, sowie
103 a-F-Film.

Im Bereich von 0.1 bis 100 Sekunden Belichtungszeit geht die Empfindlichkeit der Farbfilme durchschnittlich auf die Hälfte zurück, wobei sich das Farbgleichgewicht (in bekannt unliebsamer Weise) ändert. Bei Kodachrome 25 geht die Blauempfindlichkeit zurück, ebenso bei Kodacolor II; ein «besseres» Verhalten zeigen Kodachrome 64, Ektachrome X und Ektachrome High Speed (dessen Grünstich-Neigung bei längeren Belichtungszeiten bekannt ist). Das beste Verhalten in dem angegebenen Bereich zeigt der neue Kodachrome 64-Film, der deshalb den Sternfreunden zu entsprechenden Versuchen empfohlen sei. Der bekannte Tri-X-Film zeigt etwa die gleiche Empfindlichkeitsabnahme wie die Farbfilme, während beim 103 a-F-Film die Empfindlichkeit bis zu Expositionszeiten von 1000 Sekunden fast voll erhalten bleibt.

Interessant ist weiter ein Vergleich der Körnigkeiten der genannten Filme. Hierbei schneidet leider der Kodachrome 64-Film am schlechtesten ab, die anderen Farbfilme zeigen feineres Korn, auch der Ektachrome High Speed Film, der auch lichtschwache Objekte wenigstens andeutungsweise wiedergibt. Dagegen wird der dafür als Beispiel benützte Nordamerika-Nebel von den beiden Schwarz-weiss-Filmen deutlich registriert, die sich im übrigen in der Körnigkeit kaum unterscheiden.

Wir empfehlen allen unseren photographierenden Sternfreunden ein genaues Studium dieser Mitteilung. Die darin gegebenen Aufschlüsse können viel dazu beitragen, das jeweils bestmögliche Aufnahmematerial zu wählen und vor Enttäuschungen zu bewahren.

E. Wiedemann

Berichtigung

In der Mitteilung von A. P. Weber «Zur Bahn der Sonde Helios A» ist versehentlich die Differenz der Sonnenabstände von Merkur und der Sonde Helios A mit 0.7 statt mit 0.07 AE angegeben worden. Obschon der Fehler aus dem Text ohne weiteres ersichtlich ist, sei doch vermerkt, dass es statt 0.7 AE 0.07 AE heissen muss.