Das neue System der astronomischen Konstanten

Autor(en): **Schürer, M.**

Objekttyp: **Article**

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

Band (Jahr): **43 (1985)**

Heft 209

PDF erstellt am: **24.04.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-899201

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

Das neue System der astronomischen Konstanten

Prof. Dr. M. SCHÜRER

Das System der astronomischen Konstanten, wie man es etwa noch in älteren Lehr- und Handbüchern findet, wurde 1896 auf einer Konferenz in Paris als verbindlich erklärt. Es stammte im wesentlichen von S. NEWCOMB und galt bis zum Jahre 1964. Die wichtigsten Werte seien im folgenden zusammengestellt. Sie gelten für die Standard-Epoche 1900 Jan. 0.5 ET = JD 2415020.0 (einige der Daten sind zeitabhängig).

Erdäquatorradius	a_e	= 6378388 m
Erdabplattung	f	= 1/297
Schwerebeschleunigung am Äquator	g_e	= 978.049 cm/sec²
Sonnenparallaxe	$\pi_\odot$	= 8.80″
Nutationskonstante	N	= 9.210″
Aberrationskonstante	κ	= 20.47″
Allg. Präzession in Länge	p	= 5025.64″/ trop Jahrh.
Schiefe der Ekliptik	ε	= 23°27′08.26″
Lichtgeschwindigkeit	c	= 299860 km/sec
Lichtzeit für die astronomische Einheit	τ_A	= 498.580s (aus $\pi_\odot$) = 498.38s (aus κ)
Gauss'sche Konstante	k	= 0.01720209895 (rad/Tag) = 0.0410669862 (″/sec)
Massenverhältnis (Erde/Mond)	$1/\mu = E/M$	= 81.45
Massenverhältnis Sonne/(Erde + Mond)	S/(E + M)	= 329390

Die Gausssche Konstante ist nichts anderes als die Quadratwurzel aus der Gravitationskonstanten G, wenn diese in Einheiten der Sonnenmasse, des mittleren Sonnentages und der astronomischen Einheit ausgedrückt wird. Ist a die Halbachse der Bahnellipse in einem Zweikörperproblem, n die mittlere Winkelgeschwindigkeit in Radiant/Tag und sind m_1 und m_2 die beiden Massen, so gilt

$$a^3n^2 = k^2(m_1 + m_2).$$

Zur Zeit von Gauss wurde das siderische Jahr zu 365.2563835^d und die Erd- und Mondmasse zu 1/354710 der Sonnenmasse angenommen. Damit erhielt er für $n = 2\pi/365.2563835 = 0.01720212320$ und für k mit a = 1 für den Erdbahnhalbmesser den Wert

$$k = 0.01720209895.$$

Wenn man für das siderische Jahr den neueren Wert 365.25636042^d und für die Masse E + M den Wert 1/329390 einsetzen würde, erhielte man für k den Wert 0.01720209818. Schon Newcomb entschloss sich, den Gauss'schen Wert für k beizubehalten und an dessen Stelle den Wert für die Halbachse der Erdbahn aus der Formel

$$a_O = \sqrt[3]{\frac{k^2(1+E+M)}{n^2}} = 1.000000030 \text{ a.E.}$$

$$\text{mit } n = \frac{2\pi}{365.25636042}$$

(a.E. = astronomische Einheit, neu A) zu berechnen. Die tatsächliche Halbachse der Erdbahn muss wegen der bisher vernachlässigten Störungen durch die übrigen Körper des Planetensystems um den Faktor 1.000000202 vergrössert werden, so dass man für die Halbachse der Erdbahn 1.000000232 a.E. erhält. In km erhält man für die astronomische Einheit aus der Sonnenparallaxe und dem Erdäquatorradius

$$1 \text{ a.E.} = A = \frac{6378.388}{\sin 8.80''} = 149504200.6 \text{ km.}$$

Die dreizehn aufgezählten Konstanten sind nicht unabhängig voneinander. Die Lichtzeit berechnet sich aus

$$\tau_A = \frac{A}{c} = 498.580\text{s}$$

Die Lichtzeit lässt sich aber auch aus der Aberrationskonstanten herleiten. Diese ist bekanntlich das Verhältnis der mittleren Erdgeschwindigkeit zur Lichtgeschwindigkeit:

$$\kappa = \frac{v_e}{c} = \frac{na}{c\sqrt{1-e^2}} \text{ oder } \frac{a}{c} = \frac{\kappa\sqrt{1-e^2}}{n} = \tau_A = 498.383\text{s}$$

(n in ″/sec)

e ist die Erdbahnexzentrizität (= 0.01675104) und n muss in Bogensekunden pro Zeitsekunde ausgedrückt werden. Die offiziellen Werte der Sonnenparallaxe und der Aberrationskonstanten führen zu verschiedenen Werten der Lichtzeit und sind somit unvereinbar.

Zwischen der Schwerebeschleunigung, der Erdmasse und der Sonnenparallaxe besteht ebenfalls eine Beziehung. Vernachlässigen wir vorerst den Einfluss der Zentrifugalbeschleunigung der rotierenden Erde und der Abplattung auf die Schwerebeschleunigung und der Masse der Atmosphäre auf extraterrestrische Körper, so gilt

$$g_e = \frac{GE}{a_e^2}.$$

Andererseits ist

$$k^2 = \frac{GS \cdot D^2}{A^3} \quad (D = 86400 \text{ sec})$$

Aus den beiden Beziehungen erhält man

$$\sin^3\pi_\odot = \frac{a_e^3}{A^3} = \frac{k^2 a_e}{g_e \cdot D^2} \cdot \frac{E}{S}, \quad \frac{E}{S} = \frac{1}{(1+\mu)329390}$$

und schliesslich $\pi_\odot = 8.795294''$. Wenn man die oben vernachlässigten Einflüsse berücksichtigt, ergibt die Rechnung

$$\pi_\odot = 8.789958'',$$

eine Differenz von rund $0.01''$ gegenüber dem offiziellen Wert.

Eine vierte Relation besteht zwischen der Präzessions- und der Nutationskonstanten. Die Beziehung zwischen beiden ist allerdings ziemlich kompliziert. Wäre die Erde ein starrer Körper, so liesse sich die Nutationskonstante (das langjährige periodische Glied in der Schiefe der Ekliptik) relativ leicht aus der Präzession berechnen (die Nutation ist ja nur der periodische Anteil an der Gesamt-Kreiselbewegung der Erde). Die Differenz zwischen der berechneten und beobachteten Nutation lässt sich durch die Abweichung der Erde von einem starren Körper erklären. Wenn man für die Erde einen flüssigen Kern und eine elastische Hülle annimmt, so kann die Differenz beseitigt werden.

Da vier Beziehungen zwischen den dreizehn aufgeführten Konstanten bestehen, würden neun von ihnen genügen, um die übrigen abzuleiten. Trotz der unschönen Diskrepanzen, die zwischen den Konstanten bestanden, wurde das System fast 70 Jahre lang beibehalten. Diese konservative Haltung war jedoch wohlbegründet, da häufige Änderungen im System Vergleiche zwischen Berechnungen verschiedener Autoren und deren Analyse erschwert hätten.

Eine Revision des Systems wurde aber immer dringender, da neue Bestimmungen der Konstanten mittels Radarastronomie, künstlichen Erdsatelliten und Mondproben eine wesentlich höhere Genauigkeit erreichten. Auch war die Zeitspanne zur Bestimmung der Präzessionskonstanten wieder grösser geworden. Ein Symposium der IAU, abgehalten im Mai 1963 in Paris, schlug ein neues System zu Handen der Generalversammlung der IAU 1964 in Hamburg vor. Die Entwicklung der neuen Techniken machte jedoch so rasche Fortschritte, dass sich schon nach 20 Jahren eine erneute Revision, wenn auch mit geringeren Änderungen, aufdrängte. Dieses neue System, das nun voraussichtlich wieder einige Jahrzehnte in Kraft bleiben wird, soll im folgenden vorgestellt werden.

Es wird klar unterschieden zwischen einer definierenden Konstanten und primären und abgeleiteten Konstanten. Die Gausssche Konstante

$$k = 0.01720209895$$

ist die definierende Konstante, die wiederum nicht geändert wird, und die die astronomische Längeneinheit A definiert. Diese ist der Radius einer Kreisbahn eines hypothetischen Probekörpers mit verschwindend kleiner Masse, der bei Nichtvorhandensein von Störungen in $2\pi/k$ Tagen einmal um die Erde kreist.

Die primären und abgeleiteten Konstanten werden in SI-Einheiten (m, kg, sec) ausgedrückt. Zu den primären Konstanten zählen:

Lichtgeschwindigkeit	c	$= 299792458\ \mathrm{ms^{-1}}$
Lichtzeit für die Längeneinheit	τ_A	$= 499.004782\mathrm{s}$
Äquatorradius der Erde	a_e	$= 6378140\mathrm{m}$
dynamischer Formfaktor der Erde	J_2	$= 0.00108263$
geozentrische Gravitationskonstante	GE	$= 3.986005 \cdot 10^{14}\mathrm{m^3s^{-2}}$
Gravitationskonstante	G	$= 6.672 \cdot 10^{-11}\mathrm{m^3kg^{-1}s^{-2}}$
Verhältnis Mondmasse/ Erdmasse	μ	$= 0.01230002$ $= 1/81.3007$
allgemeine Präzession in Länge pro jul. Jahrh. zur Standardepoche 2000	p	$= 5029.0966''$
Schiefe der Ekliptik zur Standardepoche 2000	ε	$= 23°26'21.448''$

Die Lichtgeschwindigkeit c soll in Zukunft unverändert bleiben und ihrerseits den Meter definieren, womit sie auch eine definierende Konstante würde. Die Lichtzeit τ_A tritt an die Stelle der Sonnenparallaxe, da sie sich aus den Radarbeobachtungen an Venus und Merkur unmittelbarer herleiten lässt. Mit der Lichtgeschwindigkeit und der Lichtzeit erhält man den abgeleiteten Wert für die Einheitsentfernung

$$A = c \cdot \tau_A = 1.49597870 \cdot 10^{11}\mathrm{m}.$$

Mit dem Erdäquatorradius, der aus Satellitenbeobachtungen bestimmt wurde, erhält man die Sonnenparallaxe

$$\pi_\odot = \arcsin(a_e/A) = 8.794148''.$$

Die Einheitsentfernung erlaubt die Bestimmung der heliozentrischen Gravitationskonstanten

$$GS = A^3k^2/D^2 = 1.32712438 \cdot 10^{20}\mathrm{m^3s^{-2}}.$$

Mit Hilfe der Lichtzeit lässt sich die Aberrationskonstante ableiten

$$\kappa = F \cdot k \cdot \tau_A = 20.49552''.$$

F ist das Verhältnis der mittleren Erdgeschwindigkeit zu der Geschwindigkeit des oben erwähnten Probekörpers und beträgt für die Epoche 2000:

$$F = 1.0001414.$$

F ist im wesentlichen $1/\sqrt{1-e^2}$ und ist wegen der Veränderlichkeit der Erdbahnexzentrizität selbst auch zeitlich veränderlich.

Der dynamische Formfaktor der Erde ist auch aus Satellitenbeobachtungen bestimmt worden, und zwar vor allem aus der rückläufigen Bewegung der Bahnknoten, herrührend von der Abplattung der Erde. Aus dem Formfaktor lässt sich die Abplattung berechnen. Die Herleitung der entsprechenden Formel ist jedoch ziemlich umfangreich und deshalb soll nur das Resultat angegeben werden:

$$f = 0.00335281 = 1/298.257.$$

Die geozentrische Gravitationskonstante GE ersetzt die Schwerebeschleunigung am Äquator. Diese lässt sich aus GE und den Erddimensionen ableiten und ist

$$g_e = 9.780308\ \mathrm{ms^{-2}}.$$

Die Gravitationskonstante G dient nur der Berechnung der Gestirnsmassen in kg. So erhält man für die Sonnenmasse

$$GS/G = 1.9891 \cdot 10^{30}\ \mathrm{kg}$$

und für die Erdmasse

$$GE/G = 5.9742 \cdot 10^{24}\ \mathrm{kg}.$$

Das Verhältnis Mondmasse zu Erdmasse μ wurde aus Mondproben bestimmt.

Auch die allgemeine Präzession in Länge p erfuhr eine leichte Korrektur. Man beachte ausserdem, dass sie nunmehr pro julianisches Jahrhundert und nicht mehr pro tropisches Jahrhundert definiert ist.

Die Schiefe der Ekliptik ε wurde mit neuen Massenwerten der Planeten, die eine säkulare Änderung hervorrufen und für die neue Standard-Epoche 2000 berechnet.

Die neuen Konstanten haben schliesslich auch einen Einfluss auf die Berechnung der Sternzeit. Die Sternzeit um 0^h Weltzeit in Greenwich berechnet sich aus

$$GMST \text{ um } 0^hUT1 = 6^h41^m50.54841^h + 8640184.812866^s\,T + 0.093104^s\,T^2 - 6.2^s \cdot 10^{-6}T^3$$

$$T = (JD - 245154.0)/365.25$$

T ist die Zahl der julianischen Jahrhunderte, die seit dem 1. Jan. 12^h WZ des Jahres 2000 verflossen sind (gegenwärtig ist dies natürlich noch eine negative Zahl). Streng genommen müsste man noch wegen relativistischer Effekte zwischen einer terrestrischen und einer baryzentrischen (bezogen auf den Schwerpunkt des Sonnensystems) Zeit unterscheiden. Der Unterschied beträgt maximal nicht ganz zwei Tausendstel Sekunden und ist für die meisten Zwecke, wie übrigens auch die vielen Dezimalstellen in der Formel für die Sternzeit, belanglos.

Literatur:
Explanatory Supplement to the Astronomical Ephemeris, London 1973.
G. H. KAPLAN, The IAU Resolutions on Astronomical Constants, U.S. Naval Observatory Circular No. 163, 1981.

Adresse des Autors:
Prof. Dr. M. Schürer, Thunstrasse 42, 3005 Bern.

La comète Giacobini-Zinner

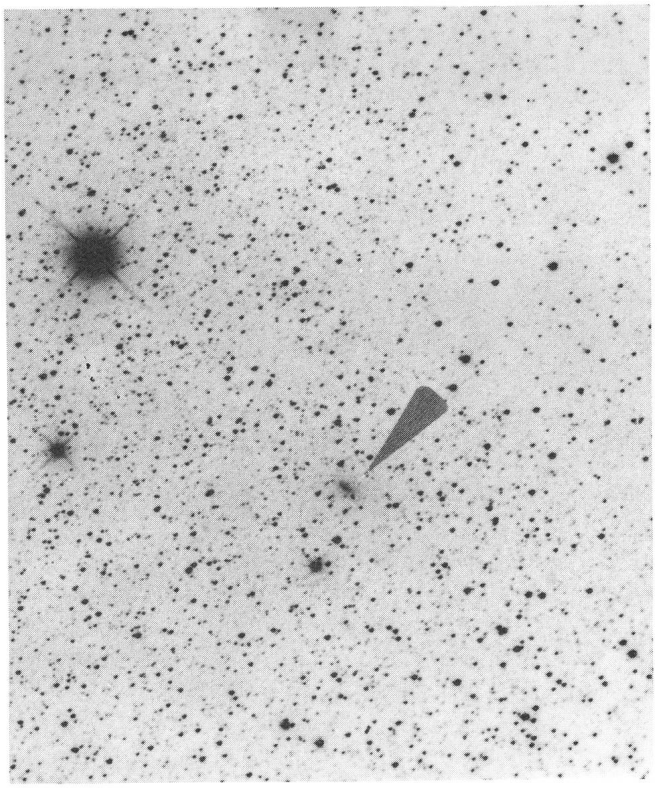

Photo prise le 12.6.85 avec un télescope de 20 cm F4. La pose est de 20 min. sur film 2415. Pendant ce temps, la comète s'est nettement déplacée. Elle est encore faible, mais sa luminosité va rapidement augmenter pour atteindre la magnitude 8 au début de septembre.
Photo: Armin Behrend

Zu verkaufen: Neuwertiges MEADE 15 cm f/8 Newton Teleskop auf Säulenstativ mit elektr. Nachführung. Zubehör: 2 Okulare, 2–3× Barlowlinse, Objektiv-Sonnenfilter, sowie Fotoadapter. Weitere Extras sind inbegriffen. **Preis:** Total Fr. **1 250.—.**
M. Süssli, Riehen / Tel.: **(wegen Ferien erst ab 19.8.)** 061/49 41 66.

Zu verkaufen: 1 Gabelmontierung mit Präzisionsschneckenantrieb und zwei Gabeln für C8 Super, 110 V/50 Hz **und** Frequenzwandler 220 V + 12 V/110 V mit Handhalter und Verbindungskabeln, ein Jahr, in guter Nachführung. Preis: Fr. 2000.—
1 Flasche Formigsgas aus 92% Stickstoff und 8% Wasserstoff mit Messgerät, 351 voll Preis: Fr. 100.—
Arturo Achini, Vord. Steinacker 16, 4600 Olten, Tel. 062/35 52 30.

Zu verkaufen: **1 Celestron Teleskop C 8** komplett mit Zubehör wie Sonnenfilter 3″, Porroprisma, div. Okkulare etc., alles neuwertig. Neupreis Fr. 6000.— jetzt nur noch Fr. 3500.—.
Tel. 031/85 37 30.

Günstig zu verkaufen: **1 Teleskop Celestron 8** mit Nachführmotor, Frequenzwandler, Zenithprisma, 2 Okulare, Fadenkreuzbeleuchtung, Stativ und Koffer. Alles in bestem Zustand, da wenig gebraucht. Komplett Fr. 2800.—.
Tel. 044/2 11 06.

Zu verkaufen: **20 cm Newton,** 1224 mm, inkl. parall. Metallmontierung auf Gummirollen, 4 Volt-Motor, Betrieb am Lichtnetz mit Transformator oder durch Autobatterie, 7 Okulare, Sonnenprisma und Umkehrprisma. Preis Fr. 2000.-.
Edmund Köfer, Bahnhofstr. 27, 8280 Kreuzlingen.

Achtung: Wichtige Mitteilung!

Wir gründen eine astronom. Gesellschaft und suchen noch einige Instrumente, sowie ein Teleskop, Grösse «CELESTRON 14».

Vielleicht möchten Sie wegen Nichtgebrauch Geräte günstig oder kostenlos abgeben mit der beruhigenden Gewissheit, dass diese ausschliesslich der Forschung zu Gute kommen!

Im voraus herzlichen Dank für Ihr Entgegenkommen!

Anfragen und Angebote bitte an: Richard Estermann, Haldenstrasse 444, CH-4652 Winznau.