

Landolt-Börnstein

**Numerical Data and Functional Relationships
in Science and Technology**

**Zahlenwerte und Funktionen
aus Naturwissenschaften und Technik**

New Series / Neue Serie

Group VI.

Volume 2

Astronomy and Astrophysics

Extension and Supplement to Volume 1

Subvolume a

Methods · Constants · Solar System



Springer-Verlag Berlin · Heidelberg · New York

LANDOLT-BÖRNSTEIN

Zahlenwerte und Funktionen
aus Naturwissenschaften und Technik

Neue Serie

Gesamtherausgabe: K.-H. Hellwege

Gruppe VI: Astronomie · Astrophysik
und Weltraumforschung

Band 2

Astronomie und Astrophysik

Weiterführung und Ergänzung von Band 1

Teilband a

Methoden · Konstanten · Sonnensystem

W. I. Axford · A. Behr · A. Bruzek · C. J. Durrant · H. Enslin · H. Fechtig · W. Fricke
F. Gondolatsch · H. Grün · O. Hachenberg · W.-H. Ip · E. K. Jessberger · T. Kirsten · Ch. Leinert
D. Lemke · H. Palme · W. Pilipp · J. Rahe · G. Schmahl · M. Scholer · J. Schubart
J. Solf · R. Staubert · H. E. Suess · J. Trümper · G. Weigelt · R. M. West · R. Wolf · H. D. Zeh

Herausgeber: K. Schaifers und H. H. Voigt



Springer-Verlag Berlin · Heidelberg · New York 1981

LANDOLT-BÖRNSTEIN

Numerical Data and Functional Relationships
in Science and Technology

New Series

Editor in Chief: K.-H. Hellwege

Group VI: Astronomy · Astrophysics
and Space Research

Volume 2

Astronomy and Astrophysics

Extension and Supplement to Volume 1

Subvolume a

Methods · Constants · Solar System

W. I. Axford · A. Behr · A. Bruzek · C. J. Durrant · H. Enslin · H. Fechtig · W. Fricke
F. Gondolatsch · H. Grün · O. Hachenberg · W.-H. Ip · E. K. Jessberger · T. Kirsten · Ch. Leinert
D. Lemke · H. Palme · W. Pilipp · J. Rahe · G. Schmahl · M. Scholer · J. Schubart
J. Solf · R. Staubert · H. E. Suess · J. Trümper · G. Weigelt · R. M. West · R. Wolf · H. D. Zeh

Editors: K. Schaifers and H. H. Voigt



Springer-Verlag Berlin · Heidelberg · New York 1981

CIP-Kurztitelaufnahme der Deutschen Bibliothek *Zahlenwerte und Funktionen aus Naturwissenschaften und Technik* / Landolt-Börnstein.
Berlin: Heidelberg; New York: Springer. Parallel.: Numerical data and functional relationships in science and technology.
NE: Landolt-Börnstein, ...; PT. N.S./Gesamthrg.: K.-H. Hellwege. N.S., Gruppe 6, Astronomie, Astrophysik und Weltraumforschung.
N.S., Gruppe 6, Bd. 2. Astronomie und Astrophysik: Erg. u. Erw. zu Bd. 1. N.S., Gruppe 6, Bd. 2, Teilbd. a. Methoden, Konstanten,
Sonnensystem/W. I. Axford ... Hrsg.: K. Schaifers u. H. H. Voigt. – 1981. – ISBN 3-540-10054-7 (Berlin, Heidelberg, New York).
ISBN 0-387-10054-7 (New York, Heidelberg, Berlin) [Erscheint: November 1981].
NE: Axford, William I. [Mitverf.]; Schaifers, Karl [Hrsg.]; Hellwege, Karl-Heinz [Hrsg.].

This work is subject to copyright. All rights are reserved, whether the whole or part of the material is concerned specifically those of translation, reprinting, reuse of illustrations, broadcasting, reproduction by photocopying machine or similar means, and storage in data banks.

Under § 54 of the German Copyright Law where copies are made for other than private use a fee is payable to "Verwertungsgesellschaft Wort" Munich.

© by Springer-Verlag Berlin-Heidelberg 1981

Printed in Germany

The use of registered names, trademarks, etc. in this publication does not imply, even in the absence of a specific statement, that such names are exempt from the relevant protective laws and regulations and therefore free for general use.

Typesetting, printing and bookbinding. Brühlsche Universitätsdruckerei, 6300 Giessen
2163/3020—543210

Editors

K. Schaifers, Landessternwarte, Königstuhl, 6900 Heidelberg, FRG

H. H. Voigt, Universitätssternwarte, Geismarlandstraße 11, 3400 Göttingen, FRG

Contributors

W. I. Axford, Max-Planck-Institut für Aeronomie, 3411 Lindau/Harz, FRG

A. Behr, Eschenweg 3, 3406 Bovenden, FRG

A. Bruzek, Kiepenheuer-Institut für Sonnenphysik, Schöneckstraße 6, 7800 Freiburg, FRG

C. J. Durrant, Kiepenheuer-Institut für Sonnenphysik, Schöneckstraße 6, 7800 Freiburg, FRG

H. Enslin, Deutsches Hydrographisches Institut, Bernhard-Nocht-Straße 78, 2000 Hamburg 4, FRG

H. Fechtig, Max-Planck-Institut für Kernphysik, Saupfercheckweg, 6900 Heidelberg, FRG

W. Fricke, Astronomisches Rechen-Institut, Mönchhofstraße 12–14, 6900 Heidelberg, FRG

F. Gondolatsch, Astronomisches Rechen-Institut, Mönchhofstraße 12–14, 6900 Heidelberg, FRG

H. Grün, Max-Planck-Institut für Kernphysik, Saupfercheckweg, 6900 Heidelberg, FRG

O. Hachenberg, Radioastronomisches Institut der Universität, Auf dem Hügel 71, 5300 Bonn 1, FRG

W.-H. Ip, Max-Planck-Institut für Aeronomie, 3411 Lindau/Harz, FRG

E. K. Jessberger, Max-Planck-Institut für Kernphysik, Saupfercheckweg, 6900 Heidelberg, FRG

T. Kirsten, Max-Planck-Institut für Kernphysik, Saupfercheckweg, 6900 Heidelberg, FRG

Ch. Leinert, Max-Planck-Institut für Astronomie, Königstuhl, 6900 Heidelberg, FRG

D. Lemke, Max-Planck-Institut für Astronomie, Königstuhl, 6900 Heidelberg, FRG

H. Palme, Max-Planck-Institut für Chemie, Saarstraße 23, 6500 Mainz, FRG

W. Philipp, Max-Planck-Institut für Physik und Astrophysik, Institut für Extraterrestrische Physik, 8046 Garching b. München, FRG

62467

J. Rahe, Dr. Remeis-Sternwarte, Sternwartstraße 7, 8600 Bamberg, FRG

G. Schmahl, Universitätssternwarte, Geismarlandstraße 11, 3400 Göttingen, FRG

M. Scholer, Max-Planck-Institut für Physik und Astrophysik, Institut für Extraterrestrische Physik, 8046 Garching b. München, FRG

J. Schubart, Astronomisches Rechen-Institut, Mönchhofstraße 12-14, 6900 Heidelberg, FRG

J. Solf, Max-Planck-Institut für Astronomie, Königstuhl, 6900 Heidelberg, FRG

R. Staubert, Astronomisches Institut der Universität, Waldhäuserstraße 64, 7400 Tübingen, FRG

H. E. Suess, Univ. of California, Chemistry Department, La Jolla/Calif. 92093, USA

J. Trümper, Max-Planck-Institut für Physik und Astrophysik, Institut für Extraterrestrische Physik, 8046 Garching b. München, FRG

G. Weigelt, Physikalisches Institut der Universität, Erwin-Rommel-Straße 1, 8520 Erlangen, FRG

R. M. West, European Southern Observatory, Karl-Schwarzschild-Straße 2, 8046 Garching b. München, FRG

R. Wolf, Max-Planck-Institut für Astronomie, Königstuhl, 6900 Heidelberg, FRG

H. D. Zeh, Institut für Theoretische Physik der Universität, Philosophenweg 19, 6900 Heidelberg, FRG

Vorwort

In allen Fachwissenschaften führt das ständige Ansteigen einer Flut von immer spezialisierter und unübersichtlicher werdenden Publikationen zu dem Bedürfnis, in gewissen zeitlichen Abständen die für die Weiterarbeit gebrauchten neuen Fakten, Zahlenwerte und Funktionen möglichst vollständig, kritisch und übersichtlich zusammenzustellen. Das gilt nicht nur für die klassischen Laborwissenschaften, sondern auch für die Astronomie.

Im „Landolt-Börnstein“ wurde die Astronomie erstmals in dem 1952 von J. Bartels und P. ten Bruggencate herausgegebenen III. Band „Astronomie und Geophysik“ der 6. Auflage dargestellt. In der „Neuen Serie“ erschien dann 1965 in der Gruppe VI der von H. H. Voigt edierte Band VI/1 „Astronomie und Astrophysik“, dem nun nach 16 Jahren dieser Band VI/2 (in drei Teilbänden 2a, 2b, 2c) folgt. Der Aufbau dieses neuen Bandes entspricht in großen Zügen dem vorhergehenden von 1965.

Konnte im Jahre 1952 die Astronomie auf 255 Seiten von 25 Autoren und 1965 auf etwa 700 Seiten von 39 Autoren abgehandelt werden, so sind jetzt mehr als 60 Kollegen an der Erstellung der drei Teilbände beteiligt.

Dieses starke Wachsen des Umfangs in 30 Jahren hat zahlreiche Gründe, die im einzelnen hier nicht angesprochen werden sollen, die sich aber kaum schöner aufzeigen lassen, als am Inhalt der drei, über 30 Jahre zeitlich auseinanderliegenden Astronomie-Bände des Landolt-Börnsteins. Gerade das Verschwinden von Teilabschnitten und das Auftauchen ganz neuer Kapitel, auch der Wandel in der Betrachtungsweise – von der Statistik hin zum Einzelobjekt – (dadurch das Anschwellen einzelner Kapitel, z. B. Peculiar stars) zeigen die rasche Entwicklung unserer Wissenschaft in den letzten Jahrzehnten. Aber nicht nur für den Wissenschaftsgeschichtler behält der vorhergehende Band seine Bedeutung, sondern er ist gleichzeitig eine wichtige Quelle für die vor 1965 erbrachten Zahlenwerte und Funktionen, da in dem jetzt vorgelegten Band VI/2 bei weiter zurückliegenden Fakten lediglich Hinweise auf die entsprechende Darstellung in Band VI/1 gegeben werden. Trotzdem hat auch in diesem Band die Bibliographie einen nicht unerheblichen Umfang genommen, obwohl in erster Linie Review-Artikel und Monographien vor Primärliteratur zitiert werden.

Wegen des Umfangs dieses neuen Bandes „Astronomy and Astrophysics“ mußte dieser – wie schon gesagt – in drei Teilbände aufgeteilt werden:

- a) Methoden. Konstanten. Sonnensystem.
- b) Sterne und Sternhaufen.
- c) Interstellare Materie. Die Galaxis. Universum.

Ein Gesamtregister für alle drei Teilbände erscheint am Ende des letzten Teilbandes VI/2c.

Vor etwa drei Jahrzehnten schrieben die Herausgeber des Bandes „Astronomie und Geophysik“ der 6. Auflage des Landolt-Börnstein: Verfasser, Verlag und Herausgeber glauben ihr Ziel erreicht zu haben, wenn die Beurteilung des Bandes lautet „Mit dem Abschnitt über mein Spezialgebiet bin ich nicht zufrieden, aber die übrigen Teile des Buches sind recht nützlich“. Diesem Motto schließen wir uns auch heute noch an.

Dabei gilt unser Dank in erster Linie den Verfassern der einzelnen Abschnitte. In ihren Händen lag die eigentliche wissenschaftliche Arbeit und Verantwortung. Wir danken ihnen, daß sie sich bei der Auswahl des Stoffes und der Art der Darstellung weitgehend unseren Vorstellungen und Richtlinien angepaßt haben.

Ferner haben wir zu danken der Gesamtreaktion dieses Werks in Darmstadt, besonders Frau G. Burfeindt, in deren Händen die eigentliche redaktionelle Arbeit lag, und Herrn Dr. C. J. Durrant in Freiburg für die Durchsicht des englischen Textes. Wir danken ferner dem Verlag, der unseren Vorstellungen im Rahmen des Möglichen stets gefolgt ist, für die gewohnt hervorragende Buch-Ausstattung gesorgt hat und der diesen Teilband, wie alle anderen Bände des Landolt-Börnstein, ohne finanzielle Hilfe von anderer Seite veröffentlicht.

Heidelberg, Göttingen, August 1981

Die Herausgeber

Preface

In all fields of science the steady increase in the number of ever more specialized and intricate publications calls from time to time for a complete, critical and well-arranged compilation of facts, numerical values and functions. This not only applies to the classical laboratory sciences, but also to astronomy and astrophysics.

In "Landolt-Börnstein" astronomy was first treated as part of the third volume of the sixth edition (1952): "Astronomie und Geophysik" edited by J. Bartels and P. ten Bruggencate. In Group VI of the New Series this field was treated anew in 1965 by Volume VI/1 "Astronomy and Astrophysics", edited by H. H. Voigt, and now sixteen years later extended and supplemented by the present VI/2 (in three subvolumes 2a, 2b, 2c), the structure of which largely follows that of the 1965 volume.

Where in 1952 astronomy could be treated by 25 authors in 255 pages and in 1965 by 39 authors in 700 pages, now there are more than 60 experts at work on the three subvolumes.

This increase in size within 30 years has numerous causes that need not be discussed here in detail, but that are obvious when comparing the contents of these three volumes on astronomy that have appeared over a period of 30 years. The disappearance of some sections and emergency of whole new topics, as well as a change in approach – from statistics to the individual object – (and consequently the enlarging of some chapters, for instance "Peculiar stars") show the development of our science in the last decades. However, the previous volume retains its importance not only for the historian of science, it is also the main source for the numerical values and functions published before 1965, since the present Volume VI/2 refers in cases of older data back to the discussions in this previous volume. In spite of this, the present bibliography's bulk has grown considerably, although citation of review articles and monographs is generally preferred to that of primary literature.

The size of this new volume "Astronomy and Astrophysics", required a division into three subvolumes:

- a) Methods. Constants. Solar System.
- b) Stars and Star Clusters.
- c) Interstellar Matter. Galaxy. Universe.

A comprehensive index for all three subvolumes is included at the end of Subvolume VI/2c.

About three decades ago the editors of the volume "Astronomie und Geophysik" in the 6th edition wrote: "Authors, publishers and editors believe they have succeeded, if each reader responds with: I'm not satisfied with the chapter on my speciality, but the other sections are quite useful." We, the present editors, can only adhere to this motto.

Our thanks are due first of all to the authors of the individual chapters. They had to do the scientific work and bear the final responsibility, and they usually followed our ideas and suggestions with regard to the selection and presentation of the material.

We also want to thank the Landolt-Börnstein editorial staff in Darmstadt, especially Mrs. G. Burfeindt, who was responsible for the actual editing, and Dr. Durrant in Freiburg for checking the English text. Thanks are also due to the publishers – always following our wishes if at all possible – for the high quality presentation of this volume which, as with all Landolt-Börnstein volumes, is published without financial support from outside sources.

Heidelberg, Göttingen, August 1981

The Editors

164-33

Survey

Subvolume a: Methods. Constants. Solar system

- 1 Astronomical instruments**
- 2 Positions and time determination, astronomical constants**
- 3 The solar system**

Subvolume b: Stars and Star Clusters

- 4 The stars**
- 5 Special types of stars**
- 6 Double stars and star clusters**

Subvolume c: Interstellar Matter. Galaxy. Universe

- 7 Interstellar matter**
- 8 Our Galaxy**
- 9 Galaxies and universe**
- Comprehensive index**

Übersicht

Teilband a: Methoden. Konstanten. Sonnensystem

- 1 Astronomische Instrumente**
- 2 Orts- und Zeitbestimmung, astronomische Konstanten**
- 3 Das Sonnensystem**

Teilband b: Sterne und Sternhaufen

- 4 Die Sterne**
- 5 Spezielle Sterntypen**
- 6 Doppelsterne und Sternhaufen**

Teilband c: Interstellare Materie. Die Galaxis. Universum

- 7 Interstellare Materie**
- 8 Unsere Galaxis**
- 9 Galaxien und Universum**
- Gesamtregister**

2A

List of abbreviations

Abbreviations, commonly used in Astronomy, and not always explained explicitly in this book.

AU	Astronomical Unit (= Distance Earth-Sun)	LC	Luminosity Class
B.C.	Bolometric Correction	LF	Luminosity Function
BD	Bonner Durchmusterung	LMC	Large Magellanic Cloud
CLV	Center-limb variation	LTE	Local thermodynamic equilibrium
CMD	Colour-magnitude-diagram	M	Messier Catalogue
CNO	Carbon, Nitrogen, and Oxygen (<i>not</i> as molecule) e.g. CNO cycle, CNO anomalies	MHD	Magneto-hydrodynamics
ESA	European Space Agency	MMT	Multi-Mirror-Telescope
ESO	European Southern Observatory	MPI	Max-Planck-Institut
ET	or E.T. Ephemeris Time	NASA	National Aeronautics and Space Administration
EUV	Extreme ultraviolet	NEP	Noise Equivalent Power
FWHM	Full Width of Half Maximum	NGC	New General Catalogue
HD	Henry Draper Catalogue	NLTE	Non-local thermodynamic equilibrium
HR	Harvard Revised Catalogue	NRAO	National Radio Astronomy Observatory, Green Banks, W. Va., USA
HRD	Hertzsprung-Russell Diagram	POSS	Palomar Observatory Sky Survey
IAU	International Astronomical Union	RV	Radial velocity
IR	Infrared	SMC	Small Magellanic Cloud
ISM	Interstellar Matter	Sp	Spectral type
JD	Julian Date	URSI	International Union of Radio Science
LB, NS	Landolt-Börnstein, Numerical Data	UT	Universal time
or LB	and Functional Relationships in Science and Technology, New Series or: Landolt-Börnstein, NS	UV	Ultraviolet
		VLBI	Very Long Baseline Interferometry
		XUV	X-ray and ultraviolet region
		ZAMS	Zero Age Main Sequence

Abbreviations of further Star Catalogues: see 8.1.1

For abbreviations of special star types (e.g. WR stars), see "Spectralclassification" (4.1.1), "Variable stars" (5.1), "Peculiar stars" (5.2) and subject index.

Some important Astronomical Artificial Satellites, mentioned in this book

ANS	Astronomical Netherlands Satellite (The Netherlands NASA)	IUE	International Ultraviolet Explorer (NASA-UK-ESA)
ATS	Applications Technology Satellite	OAQ	Orbiting Astronomical Observatory (NASA)
COS	Cosmic Ray Satellite (ESA)	OGO	Orbiting Geophysical Observatory
GIRL	German Infrared Laboratory	OSO	Orbiting Solar Observatory
HEAO	High Energy Astrophysical Observatory (NASA)	MTS	Meteoroid Technology Satellite (NASA)
HEOS	High Eccentricity Earth-Orbiting Satellite (ESA)	RAE	Radio Astronomy Explorer
IMP	Interplanetary Monitoring Platform	SAS	Small Astronomy Satellite (NASA)
IRAS	Infrared Astronomical Satellite		

Contents

1 Astronomical instruments

1.1 Optical telescopes (R. WOLF)	1
1.1.1 Introduction.	1
1.1.2 Optics	1
1.1.3 Mounting.	3
1.1.4 Drive and control	4
1.1.5 Building and dome.	5
1.1.6 Future developments	6
1.1.7 List of large optical telescopes erected after 1960	6
1.1.8 References for 1.1.7	11
1.1.9 General references for 1.1.	12
1.2 Solar telescopes (C. J. DURRANT)	13
References for 1.2.	17
1.3 Photoelectric photometry (A. BEHR)	18
1.3.0 Symbols and definitions.	18
1.3.1 Acronyms and nomenclature	18
1.3.2 Photoelectric radiation detectors	18
1.3.3 Measuring techniques.	21
1.3.4 High speed photometry	21
1.3.5 Detectors for two-dimensional (imaging) photometry	21
1.3.6 The measured radiant flux.	24
1.3.7 Accuracy of measurements	25
1.3.8 References for 1.3	26
1.4 Photographic emulsions (R. M. WEST).	26
1.4.1 Introduction.	26
1.4.2 Definitions	27
1.4.3 Emulsions in use in astronomy - hypersensitization	27
1.4.4 Exposure and calibration	29
1.4.5 Processing	29
1.4.6 Storage.	29
1.4.7 Measurements	29
1.4.8 Copying	30
1.4.9 Outlook.	30
1.4.10 References for 1.4.	30
1.5 Spectrometers and spectrographs (J. SOLF).	30
1.5.1 Definitions	30
1.5.2 Grating spectrometers	31
1.5.3 Fabry-Perot spectrometers.	32
1.5.4 Fourier transform spectrometers	32
1.5.5 References for 1.5	32
1.6 Optical high resolution methods (G. WEIGELT/G. SCHMAHL)	32
1.6.1 Michelson's stellar interferometry and related techniques	33
1.6.2 Intensity interferometry of Hanbury Brown and Twiss	33
1.6.3 Labeyle's speckle interferometry and related techniques.	33
1.6.4 References for 1.6	34

1.7 X-ray and γ-ray instruments (R. STAUBERT/J. TRÜMPER)	35
1.7.1 X-ray instruments	35
1.7.1.1 Non-focusing instruments	35
1.7.1.1.1 Non-focusing/non-imaging/non-dispersive instruments	35
1.7.1.1.2 Non-focusing/imaging instruments	36
1.7.1.2 Spectrometers and polarimeters	36
1.7.1.3 Focusing X-ray telescopes	37
1.7.1.3.1 X-ray mirror systems	37
1.7.1.3.2 X-ray imaging detectors	38
1.7.1.3.3 Focal plane spectrometers	38
1.7.2 γ -ray instruments	38
1.7.3 X- and γ -ray satellites	39
1.7.4 References for 1.7	39
1.8 Infrared techniques (D. LEMKE)	42
1.8.1 Infrared detectors	42
1.8.1.1 Detector types	42
1.8.1.2 Detector parameters	43
1.8.1.3 Low background detectors	44
1.8.2 Atmospheric transmission and emission	44
1.8.3 Infrared telescopes	44
1.8.3.1 Chopper	45
1.8.3.2 Optics of the IR telescope	45
1.8.3.3 Telescope platforms	45
1.8.4 Infrared photometry	45
1.8.4.1 Photometric bands	46
1.8.4.2 Absolute calibration	46
1.8.4.3 Limiting magnitudes	46
1.8.4.4 Filters	47
1.8.5 Infrared spectroscopy	47
1.8.5.1 Circular variable filter CVF	47
1.8.5.2 Prism, grating	47
1.8.5.3 Fourier spectrometer	47
1.8.5.4 Fabry-Perot	47
1.8.5.5 Heterodyne spectroscopy	47
1.8.6 Infrared polarimetry	48
1.8.7 Spatial resolution instrumentation	48
1.8.8 References for 1.8	48
1.9 Radio astronomical receiver systems (O. HACHENBERG)	50
1.9.1 Radiometers (receivers)	50
References for 1.9.1	50
1.9.2 The radio telescopes	51
1.9.2.1 Radio telescopes for m wavelengths	51
References for 1.9.2.1	53
1.9.2.2 Radio telescopes for lower dm and cm ranges	53
1.9.2.3 Radio telescopes for mm wavelengths	57
References for 1.9.2.2 and 1.9.2.3	60
1.9.2.4 Very-long-baseline interferometer	61
References for 1.9.2.4	62

2 Positions and time determination, astronomical constants

2.1 Determination of astronomical latitude and longitude (H. ENSLIN)	63
2.1.1 Introduction	63
2.1.2 Polar motion	63
2.1.3 Definition and observation of astronomical latitude and longitude	63

2.1.4 Definition and realization of the terrestrial reference system	64
2.1.4.1 Origin of the coordinates of the pole	64
2.1.4.2 Origin of longitudes	64
2.1.5 Errors in latitude and longitude or time	65
2.1.6 Coordinates of observatories.	65
2.1.7 Polar coordinates	66
2.2 Time determination (H. ENSLIN)	70
2.2.0 Notations used in 2.2.	70
2.2.1 Systems of time measurement	70
2.2.2 Sidereal, solar, and universal time	71
2.2.2.1 Definitions of sidereal and solar time, relations between their units	71
2.2.2.2 Universal time (UT).	71
2.2.2.3 Standard times	72
2.2.2.4 Equation of time	72
2.2.2.5 Julian date, modified Julian date; Greenwich sidereal date	72
2.2.3 Ephemeris time (ET)	73
2.2.3.1 Definition of epoch and unit, and determination of ephemeris time	73
2.2.3.2 Lengths of the year	73
2.2.3.3 Lengths of the month	74
2.2.4 Atomic time.	74
2.2.4.1 Definition of the second of the International System of Units (SI)	74
2.2.4.2 International atomic time (TAI).	74
2.2.4.3 Coordinated universal time (UTC)	74
2.2.4.4 Dynamical time for ephemerides (TD)	74
2.2.5 Time signals.	75
2.2.6 Long term fluctuations of the earth's rotation speed	75
2.2.7 References for 2.1 and 2.2.	77
2.3 The system of astronomical constants (W. FRICKE)	79
2.3.1 Introduction.	79
2.3.2 Units.	79
2.3.3 The IAU (1976) system of astronomical constants	80
2.3.4 Notes	80
2.3.5 References for 2.3	81

3 The solar system

3.1 The sun	82
3.1.1 The quiet sun	82
3.1.1.1 Solar global parameters (C. J. DURRANT)	82
References for 3.1.1.1	83
3.1.1.2 Solar interior (C. J. DURRANT)	83
3.1.1.2.1 Standard models.	83
3.1.1.2.2 Non-standard models.	84
3.1.1.2.3 Solar neutrinos	84
3.1.1.2.4 Global oscillations	85
3.1.1.2.5 Convection zone.	86
3.1.1.2.6 Solar rotation	86
3.1.1.2.7 General magnetic field	87
3.1.1.2.8 References for 3.1.1.2.	87
3.1.1.3 Solar energy spectrum (C. J. DURRANT).	89
3.1.1.3.1 Absolute energy distribution.	89
3.1.1.3.2 Relative energy distribution	91
3.1.1.3.3 Limb polarization	94
3.1.1.3.4 References for 3.1.1.3.	94
3.1.1.4 Solar photosphere and chromosphere (C. J. DURRANT)	96
3.1.1.4.1 Models	96

3.1.1.4.2 NLTE studies	98
3.1.1.4.3 Morphology of the solar photosphere and chromosphere	99
3.1.1.4.4 References for 3.1.1.4.	100
3.1.1.5 Solar transition region and quiet corona (C. J. DURRANT).	102
3.1.1.5.1 Models	102
3.1.1.5.2 Physical parameters	102
3.1.1.5.3 Diagnostics	103
3.1.1.5.4 Morphology	103
3.1.1.5.5 References for 3.1.1.5.	103
3.1.1.6 Radio emission of the quiet sun (O. HACHENBERG).	105
3.1.1.6.1 Flux density of the quiet sun	105
References for 3.1.1.6.1.	106
3.1.1.6.2 The brightness distribution across the solar disk	107
References for 3.1.1.6.2.	111
3.1.2 Solar activity	112
3.1.2.1 Active regions (A. BRUZEK).	112
3.1.2.1.1 Features of active regions	112
3.1.2.1.2 Active region development	112
3.1.2.1.3 Spotgroups	112
3.1.2.1.4 Activity indices, global data (daily values).	112
3.1.2.1.5 References for 3.1.2.1.	112
3.1.2.2 11-year solar cycle (A. BRUZEK).	113
References for 3.1.2.2	113
3.1.2.3 Sunspots (A. BRUZEK)	113
3.1.2.3.1 General characteristics	113
3.1.2.3.2 Magnetic field	114
3.1.2.3.3 Spot umbra	114
3.1.2.3.4 Spot penumbra	116
3.1.2.3.5 Sunspot energy	116
3.1.2.3.6 References for 3.1.2.3.	116
3.1.2.4 Faculae and plages (A. BRUZEK)	118
3.1.2.4.1 Continuum	118
3.1.2.4.2 Facula models.	118
3.1.2.4.3 Chromospheric plage	119
3.1.2.4.4 References for 3.1.2.4.	119
3.1.2.5 Prominences and ejecta (A. BRUZEK).	120
3.1.2.5.1 General characteristics	120
3.1.2.5.2 Prominence spectrum	120
3.1.2.5.3 Physical characteristics of quiescent prominences	120
3.1.2.5.4 Ejections	121
3.1.2.5.5 Interface prominence – corona	121
3.1.2.5.6 References for 3.1.2.5.	122
3.1.2.6 Coronal active region (A. BRUZEK)	123
3.1.2.6.1 Visible	123
3.1.2.6.2 EUV line coronal enhancement	123
3.1.2.6.3 X-ray corona	123
3.1.2.6.4 Total radiation loss	123
3.1.2.6.5 References for 3.1.2.6.	124
3.1.2.7 Flares (A. BRUZEK)	124
3.1.2.7.1 General	124
3.1.2.7.2 Flare spectrum	125
3.1.2.7.3 Flare physics	126
3.1.2.7.4 Flare particle emission	127
3.1.2.7.5 References for 3.1.2.7.	127
3.1.2.8 Radio emission of the disturbed sun (O. HACHENBERG).	286
3.1.2.8.1 The basic component of solar radio emission	286
3.1.2.8.2 The slowly varying component.	287
3.1.2.8.3 References for 3.1.2.8.1 and 3.1.2.8.2	291

3.1.2.8.4 Noise storms	291
3.1.2.8.5 References for 3.1.2.8.4	295
3.1.2.8.6 Solar radio bursts	295
3.1.2.8.6.1 Microwave bursts	296
3.1.2.8.6.2 Fast-drift bursts (Type III bursts)	298
3.1.2.8.6.3 Slow-drift bursts (Type II bursts)	302
3.1.2.8.6.4 Continuum bursts (Type IV bursts)	303
3.1.2.8.6.5 References for 3.1.2.8.6	304
3.2 The planets and their satellites	129
3.2.1 Mechanical data of the planets and satellites	129
3.2.1.1 The planets; orbital elements and related properties (F. GONDOLATSCH)	129
References for 3.2.1.1	132
3.2.1.2 Dimensions and mechanical properties, rotation of the planets (F. GONDOLATSCH)	132
References for 3.2.1.2	135
3.2.1.3 Satellites and ring systems of the planets (F. GONDOLATSCH)	136
3.2.1.3.1 Orbital elements, diameters, masses of the satellites	136
3.2.1.3.2 Ring systems of the planets Jupiter, Saturn, Uranus	138
3.2.1.3.3 References for 3.2.1.3.	140
3.2.1.4 Earth data (F. GONDOLATSCH)	141
3.2.1.4.1 Figure, mass, gravity	141
3.2.1.4.2 Rotation of the earth, precession	142
3.2.1.4.3 Orbital motion of the earth	143
3.2.1.4.4 References for 3.2.1.4.	143
3.2.1.5 The moon (F. GONDOLATSCH)	143
3.2.1.5.1 Distance, size, gravity, librations	143
3.2.1.5.2 Orbital motion	145
3.2.1.5.3 References for 3.2.1.5.	146
3.2.1.6 The orbital relations (W.-H. IP/W. I. AXFORD)	146
3.2.1.6.1 The planets	146
3.2.1.6.2 The satellites	147
3.2.1.6.3 The planetary rings	148
3.2.1.6.4 References for 3.2.1.6.	148
3.2.2 Physics of the planets and satellites (W.-H. IP/W. I. AXFORD)	149
3.2.2.1 Introduction	149
3.2.2.2 Internal compositions and structures	149
3.2.2.2.1 The terrestrial planets	149
3.2.2.2.2 The outer planets	151
3.2.2.2.3 The satellites	152
3.2.2.2.4 The planetary rings	153
3.2.2.2.5 References for 3.2.2.2.	154
3.2.2.3 Surface properties	155
3.2.2.3.1 The terrestrial planets	156
3.2.2.3.2 The satellites	159
3.2.2.3.3 References for 3.2.2.3.	166
3.2.2.4 Temperatures of the planets and satellites	168
References for 3.2.2.4	170
3.2.2.5 Atmospheres	170
3.2.2.5.1 Mercury	170
3.2.2.5.2 Venus	170
3.2.2.5.3 Mars	171
3.2.2.5.4 The outer planets	172
3.2.2.5.5 The moon	174
3.2.2.5.6 The Galilean satellites	174
3.2.2.5.7 Titan	175
3.2.2.5.8 References for 3.2.2.5.	175
3.2.2.6 Magnetic fields	178
3.2.2.6.1 The planets	178

3.2.2.6.2 The moon	178
3.2.2.6.3 The satellites of Jupiter	178
3.2.2.6.4 References for 3.2.2.6.	179
3.2.2.7 Appendix to 3.2.2.	179
3.2.2.7.1 Jupiter	179
3.2.2.7.2 Saturn	180
3.2.2.7.3 References for 3.2.2.7.	182
3.3 Small bodies in the solar system	183
3.3.1 The asteroids (minor planets) (J. SCHUBART)	183
3.3.1.1 Representative orbits	183
3.3.1.2 Statistics of orbits.	184
3.3.1.3 Sizes and physical characteristics	185
3.3.1.4 References for 3.3.1	186
3.3.2 Meteors and meteorites (E. K. JESSBERGER)	187
3.3.2.0 Definitions	187
3.3.2.1 Meteors	188
3.3.2.1.1 Significance of meteor study.	188
3.3.2.1.2 Orbits	188
3.3.2.1.3 Classification	190
3.3.2.1.4 References for 3.3.2.1.	188
3.3.2.2 Meteorites	191
3.3.2.2.1 Definition	191
3.3.2.2.2 Significance of meteorite study.	191
3.3.2.2.3 Orbits	191
3.3.2.2.4 Classification and chemical composition	191
3.3.2.2.5 Mineralogy and petrology.	194
3.3.2.2.6 Organic matter	195
3.3.2.2.7 Rare gases	195
3.3.2.2.8 Isotopic anomalies	196
3.3.2.2.9 Origin of meteorites	197
3.3.2.2.10 Meteorites on earth	198
3.3.2.2.11 References for 3.3.2.2	198
3.3.3 Comets (J. RAHE)	202
3.3.3.1 Mechanical data	202
3.3.3.2 Photometric observations; polarimetry	215
3.3.3.3 Spectroscopic observations	216
3.3.3.4 Nucleus	220
3.3.3.5 Coma	222
3.3.3.6 Tails	223
3.3.3.7 The nature of cometary dust	225
3.3.3.8 Laboratory studies and space experiments relevant to comets (References only)	225
3.3.3.9 References for 3.3.3	225
3.3.4 Interplanetary dust and zodiacal light (H. FECHTIG/C. LEINERT/E. GRÜN)	228
3.3.4.1 Introduction	228
3.3.4.2 Methods of measurements	228
3.3.4.2.1 Direct methods	228
3.3.4.2.2 Zodiacal light photometry.	230
3.3.4.3 Direct measurements of interplanetary dust.	230
3.3.4.4 Observations of the zodiacal light	234
3.3.4.4.1 Definitions	234
3.3.4.4.2 Intensity and polarization in the visible (400...700 nm)	234
3.3.4.4.3 Spectrum and colour	236
3.3.4.4.4 Thermal emission	237
3.3.4.4.5 Radial gradient of intensity	237
3.3.4.4.6 Symmetry plane of zodiacal light.	237
3.3.4.4.7 Temporal variations	237

3.3.4.5 Interpretation of zodiacal light observations	237
3.3.4.5.1 Spatial distribution.	237
3.3.4.5.2 Size distribution	238
3.3.4.5.3 Scattering and absorption	238
3.3.4.5.4 Models	238
3.3.4.6 Dynamics of interplanetary dust	239
3.3.4.6.1 Sources.	239
3.3.4.6.2 Forces	239
3.3.4.6.3 Sinks.	240
3.3.4.7 References for 3.3.4	241
3.3.5 Interplanetary particles and magnetic field.	244
3.3.5.1 Interplanetary gas of non-solar origin (neutral hydrogen and neutral helium) (W. PILIPP)	244
References for 3.3.5.1	245
3.3.5.2 Interplanetary plasma and magnetic field (solar wind) (W. PILIPP)	245
3.3.5.2.1 Introduction	245
References for 3.3.5.2.1	245
3.3.5.2.2 In-situ observations.	246
References for 3.3.5.2.2	248
3.3.5.2.3 Ground-based observations	250
References for 3.3.5.2.3	250
3.3.5.3 Energetic particles in interplanetary space (M. SCHOLER)	251
3.3.5.3.1 Modulation of galactic cosmic rays.	251
References for 3.3.5.3.1	252
3.3.5.3.2 Anomalous component of low energy cosmic rays	252
References for 3.3.5.3.2	253
3.3.5.3.3 Interplanetary propagation of solar cosmic rays	254
References for 3.3.5.3.3	254
3.3.5.3.4 Coronal propagation and injection	255
References for 3.3.5.3.4	255
3.3.5.3.5 Solar flare particle composition and charge state	255
References for 3.3.5.3.5	256
3.3.5.3.6 Corotating energetic particle events.	256
References for 3.3.5.3.6	256
3.4 Abundances of the elements in the solar system (H. PALME/H. E. SUESS/H. D. ZEH)	257
3.4.1 Introduction.	257
References for 3.4.1	257
3.4.2 Terrestrial and lunar surface rocks and meteorites	257
References for Table 1	260
References for Table 2	262
3.4.3 Relative atomic abundances N of the elements in a type 1 carbonaceous chondrite and in the solar photosphere	262
References for Table 3	264
3.4.4 Primordial abundances in the solar system.	265
References for 3.4.4	265
3.5 Chronology of the solar system (T. KIRSTEN).	273
3.5.1 Introduction.	273
3.5.1.1 Dating techniques.	273
3.5.1.2 Types of "ages"	274
3.5.1.3 Time periods	274
3.5.1.4 References for 3.5.1	275
3.5.2 Age of the solar system	275
References for 3.5.2	277
3.5.3 Duration of solar system formation.	278
References for 3.5.3	279