

Kosmochemie – Geschichte der Entdeckung und Erforschung  
der chemischen Elemente im Kosmos

*Cosmochemistry – History of Discovery and Research  
of Chemical Elements in the Cosmos*



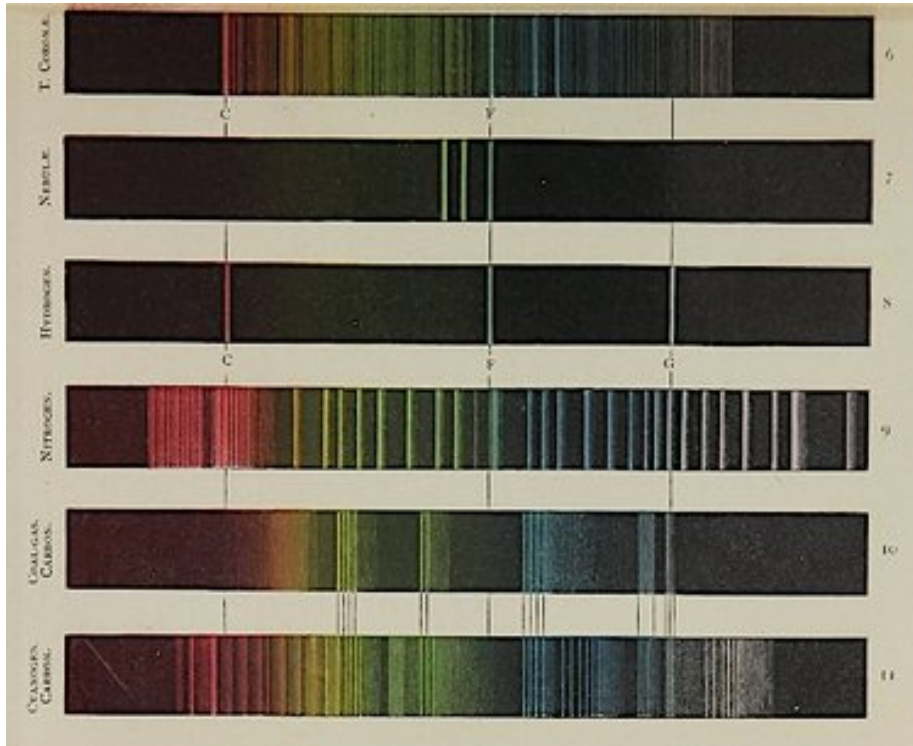


Abbildung 0.1:

Spektren von Sternen und Nebeln (Spectra of Stars and Nebulae)

*Roscoe, Henry E.: Spectrum Analysis. Six Lectures. Delivered in 1868 Before the Society of Apothecaries of London. New York: Macmillan 1869.*

Nuncius Hamburgensis  
Beiträge zur Geschichte der Naturwissenschaften  
Band 50

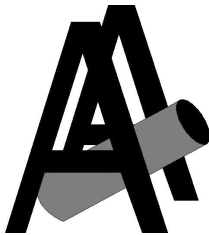
---

Wolfschmidt, Gudrun (Hg.)

# Kosmochemie

Geschichte der Entdeckung und Erforschung  
der chemischen Elemente im Kosmos

zum 150. Jubiläum des Periodensystems der Elemente  
und anlässlich des 50. Jubiläums der Mondlandung



Cosmochemistry – History of Discovery and Research  
of Chemical Elements in the Cosmos

Hamburg: tredition 2022

# Nuncius Hamburgensis

## Beiträge zur Geschichte der Naturwissenschaften

---

Hg. von Gudrun Wolfschmidt, Universität Hamburg,  
Arbeitsgruppe Geschichte der Naturwissenschaft und Technik  
(ISSN 1610-6164).

*Diese Reihe „Nuncius Hamburgensis“ wird gefördert von der Hans  
Schimank-Gedächtnisstiftung. Dieser Titel wurde inspiriert von „Sidereus Nuncius“  
und von „Wandsbeker Bote“.*

Wolfschmidt, Gudrun (Hg.): Kosmochemie – Geschichte der Entdeckung und Erforschung der chemischen Elemente im Kosmos zum 150. Jubiläum des Periodensystems der Elemente und anlässlich des 50. Jubiläums der Mondlandung. Cosmochemistry – History of Discovery and Research of Chemical Elements in the Cosmos – on the Occasion of the 150<sup>th</sup> Anniversary of the Periodic Table of the Elements (PSE, 1869) and on the Occasion of the 50<sup>th</sup> Anniversary of the Moon Landing. Proceedings der Tagung des Arbeitskreises Astronomiegeschichte in der Astronomischen Gesellschaft in Stuttgart 2019. Hamburg: tredition (Nuncius Hamburgensis – Beiträge zur Geschichte der Naturwissenschaften, Band 50) 2022.

*Cover vorne: Origin of the Solar System Elements (Jennifer A. Johnson,  
credits: ESA/NASA/AASNova)*

*Frontispiz: Spektren von Sternen und Nebeln (Roscoe 1869)*

*Cover hinten: Katzenaugen-Nebel (© J.P. Harrington&K.J. Borkowski,  
University of Maryland, NASA/ESA), Helium Spektrum (© NASA)*

AG Geschichte der Naturwissenschaft und Technik, Hamburger Sternwarte,  
Bundesstraße 55 – Geomatikum, 20146 Hamburg, Germany  
<https://www.fhsev.de/Wolfschmidt/GNT/home-wf.htm>

Dieser Band wurde gefördert von der Schimank-Stiftung und dem  
*Arbeitskreis Astronomiegeschichte in der Astronomischen Gesellschaft.*

Das Werk, einschließlich aller seiner Teile, ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung ist ohne Zustimmung des Verlages und des Autors unzulässig. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Verlag & Druck: tredition GmbH, An der Strusbek 10, 22926 Ahrensburg  
ISBN – 978-3-347-78303-4 (Softcover), 978-3-347-78304-1 (Hardcover),  
978-3-347-78305-8 (e-Book), © 2022 Gudrun Wolfschmidt.

# Inhaltsverzeichnis

Vorwort:	
<i>Wolfschmidt, Gudrun (Hamburg)</i>	12
ZUM 150. JUBILÄUM DES PERIODENSYSTEMS DER ELEMENTE	13
1 Zur Einführung – Das Periodensystem der Elemente und das Weltall	
<i>Katrin Cura (Hamburg)</i>	14
1.1 Einleitung . . . . .	16
1.2 Elemente des Weltalls: Wasserstoff, Helium, Lithium . . . . .	18
1.2.1 Wasserstoff . . . . .	20
1.2.2 Helium und die anderen Edelgase . . . . .	22
1.2.3 Lithium . . . . .	23
1.3 Atomtheorie und Systematisierungsansätze bis zum Karlsruher Kongress 1860 . . . . .	24
1.4 Lebensläufe . . . . .	30
1.4.1 Demitri Mendelejew . . . . .	30
1.4.2 Lothar Meyer und die unveröffentlichte Tabelle von 1868	33
1.5 Das Periodensystem der Elemente von Meyer und Mendelejew .	39
1.5.1 Mendelejews Geistesblitz und erste Veröffentlichung von 1869 . . . . .	39
1.5.2 Meyers Veröffentlichung von 1870 . . . . .	47
1.5.3 Mendelejew finales Periodensystem von 1871 . . . . .	50
1.6 Bestätigung des Periodensystems der Elemente durch „National- elemente“ . . . . .	54
1.6.1 Gallium . . . . .	54
1.6.2 Scandium . . . . .	55
1.6.3 Germanium . . . . .	56
1.6.4 Francium . . . . .	58
1.6.5 Rhenium . . . . .	59
1.6.6 Hafnium . . . . .	59
1.7 Zusammenfassung . . . . .	60
1.8 Literatur . . . . .	63

## KOSMOCHEMIE – CHEMISCHE ELEMENTE UND MOLEKÜLE IM UNIVERSUM 66

2 Kosmochemie – Chemische Elemente im Kosmos – Meteoriten, Sterne, Kosmologie	
<i> Gudrun Wolfschmidt (Hamburg)</i>	66
2.1 Kosmochemie – Analyse von Meteoriten und Mond- und Mars- gestein . . . . .	68
2.1.1 Meteoriten – Kosmische Herkunft? . . . . .	68
2.1.2 Chemische Analyse von Material von Mond- und Mars- Missionen . . . . .	73
2.2 Der Weg zum Periodensystem der Elemente . . . . .	75
2.2.1 Entdeckung von Elementen bis zur Spektralanalyse . . .	75
2.2.2 Vorläufer des Periodensystems der Elemente: Berzelius, Döbereiner und Newlands . . . . .	75
2.2.3 Periodensystem der Elemente (PSE) 1869 – Meyer und Mendelejew . . . . .	78
2.3 Spektralanalyse und die Entdeckung neuer Elemente . . . . .	82
2.3.1 Fraunhofer als Begründer der Spektroskopie . . . . .	82
2.3.2 Kirchhoff und Bunsen – Entdeckung der Spektralanalyse	84
2.3.3 Entdeckung zwölf neuer Elemente mit der Spektralanalyse (1860–1900) . . . . .	87
2.4 Wirkung der Spektralanalyse in der Astronomie . . . . .	88
2.4.1 Protuberanzen und Heliumentdeckung (1868) . . . . .	88
2.4.2 Entdeckung der drei Atmosphäreschichten der Sonne . .	92
2.4.3 Auf dem Weg zur Klassifikation von Sternspektren . . .	93
2.4.4 Spektren von Novae . . . . .	97
2.4.5 Chemische Zusammensetzung von Kometen . . . . .	98
2.4.6 Entdeckung der Interstellaren Materie . . . . .	102
2.4.7 Gasnebel- und Spiralnebelspektren . . . . .	104
2.5 Quantitative Spektralanalyse . . . . .	106
2.5.1 Saha-Gleichung . . . . .	106
2.5.2 Woraus besteht die Sonne? . . . . .	106
2.5.3 Erste quantitative Spektralanalyse – Unsöld $\tau$ Scorpii .	108
2.6 Atome und Moleküle im Interstellaren Medium . . . . .	108
2.6.1 Radioastronomie und die 21 cm-Spektrallinie des atoma- ren (neutralen) Wasserstoffs (HI) . . . . .	108
2.6.2 Ionisierter Wasserstoff (H II-Regionen) . . . . .	110
2.6.3 Molekularer Wasserstoff ( $H_2$ ) . . . . .	111
2.6.4 Atome und Moleküle im Interstellaren Medium . . . . .	111
2.7 Erste Elemente nach dem Urknall – Primordiale Nukleosynthese	115

2.8	Entwicklung der Sterne – Stellare Nukleosynthese . . . . .	120
2.8.1	Geburt von Sternen in Gasnebeln . . . . .	120
2.8.2	Bildung der Elemente leichter als Eisen – Kernfusion . .	120
2.8.3	Häufigkeiten leichter Elemente in kosmischer Strahlung	122
2.8.4	Sternentwicklung: Bildung von Eisen bis Uran – Endstadien der Sterne . . . . .	122
2.8.5	Nukleosynthese Schwerster Elemente – Neutroneneinfang	124
2.9	„Wir sind Sternenstaub“ . . . . .	127
2.10	Literatur . . . . .	128
KOSMOCHEMIE – ANALYSE VON METEORITEN		136
3	Die Anfangsgeschichte der chemischen Analyse außerirdischer Materie	
	<i>Xian Wu (Dresden)</i>	136
3.1	Astronomie und Chemie . . . . .	138
3.2	Meteoritenchemie . . . . .	139
3.2.1	Meteorite als außerirdische Materie . . . . .	139
3.2.2	Chemische Analysen von Meteoriten . . . . .	140
3.3	Warum erlebte die chemische Analyse von Meteoriten einen Aufschwung Anfang des 19. Jahrhunderts? . . . . .	147
3.4	Schlussfolgerung . . . . .	150
3.5	Literatur . . . . .	150
ERSTE ELEMENTE NACH DEM URKNALL – PRIMORDIALE NUKLEOSYNTHESE		152
4	Deuterium in the Universe	
	<i>Hans-Ulrich Keller (Stuttgart)</i>	152
4.1	Discovery of Deuterium and the <i>Miller-Urey-Experiment</i> . . . .	154
4.2	What is Deuterium? . . . . .	155
4.3	Where Deuterium was coming from? . . . . .	156
4.4	Who was George A. Gamow (1904–1968)? . . . . .	159
4.5	Ralph Asher Alpher (1921–2007) . . . . .	162
4.6	The Big Bang Standard Scenario . . . . .	164
4.6.1	The Supernova Cosmology Project . . . . .	166
4.7	Primordial Nucleosynthesis . . . . .	168
4.8	Phillip James [Jim] Edwin Peebles (*1935) . . . . .	169
4.9	Fred Hoyle (1915–2001) . . . . .	170
4.10	Theory of Stellar Nucleosynthesis . . . . .	171
4.10.1	Chūshirō Hayashi (1920–2010) . . . . .	171

4.10.2	Robert Vernon Wagoner (*1938)	172
4.11	Where was the water on Earth coming from? NOT from comets!	174
4.12	Literature	176
5	Helium – Sonnenelement aus dem Urknall – Teil 1: Die Entdeckung des Heliums	
	<i>Dietrich Lemke (Heidelberg)</i>	178
5.1	Einleitung – Vorgeschichte	180
5.2	Die Geburt der Astrophysik	182
5.3	Neues Werkzeug für Astronomen	184
5.4	Eine Sonnenfinsternis bringt Licht ins Dunkel	188
5.5	Linienfund in Londons Sonne	190
5.6	Chemische Spurensuche	191
5.7	Geheimnisvoller Stickstoff	194
5.8	Endlich: Helium im Labor	194
5.9	Fünf neue Elemente in vier Jahren	195
5.10	Eine dritte Entdeckung des Elements Helium	197
5.11	Wer hat Helium entdeckt?	199
5.12	Literatur	201
6	Helium – Sonnenelement aus dem Urknall – Teil 2: Ursprung und Anwendungen	
	<i>Dietrich Lemke (Heidelberg)</i>	204
6.1	Einleitung	206
6.2	Elemente aus dem Urknall	207
6.3	Ende bei Helium	211
6.4	Helium – Das erste Atom im Kosmos	211
6.5	Das Edelgas in Sternen	213
6.6	Heliumschwund in der Erdatmosphäre	215
6.7	Helium im Erdgas	215
6.8	Die Verflüssigung von Helium	217
6.9	Eine super Flüssigkeit	220
6.10	Helium in der Infrarotastronomie	223
6.11	Helium in der Ballonastronomie	225
6.12	Stoppt die Vergeudung von Helium!	227
6.13	Literatur	229



ENTWICKLUNG DER STERNE – STELLARE NUKLEOSYNTHESE	230
7 Stellar Evolution and the Production of Chemical Elements	
<i>David Walker (Hamburg)</i>	230
7.1 The Situation after the Big Bang . . . . .	232
7.1.1 Abundance of Elements in the Present Universe . . . . .	232
7.1.2 Primordial Helium . . . . .	233
7.2 Production of Metals by Nuclear Burning in Stars . . . . .	237
7.2.1 Light and Heavy Elements . . . . .	237
7.2.2 Stellar Life in a Nutshell . . . . .	238
7.2.3 Stellar Mass and Stellar Life-Expectancy . . . . .	242
7.2.4 The Main Nuclear Burnings . . . . .	245
7.3 The Ongoing Enrichment of Space with Metals: The Chemical	
Evolution of the Universe . . . . .	247
7.3.1 Stellar Populations: Evidence that the Metals were Prod-	
uced by the Stars . . . . .	247
7.3.2 Production of Heavy Elements by Neutron Capture . . . . .	249
7.3.3 The <i>s</i> Process . . . . .	250
7.3.4 The Star FG Sagittae . . . . .	257
7.3.5 Supernovae . . . . .	259
7.3.6 <i>r</i> Processes . . . . .	270
7.4 Appendix: Processes of Radioactive Decay . . . . .	277
7.5 Literature . . . . .	279
8 Wir sind Sternenstaub – Zur Wissenschaft hinter der Metapher	
<i>Michael Geymeier &amp; Susanne M. Hoffmann(Jena)</i>	284
8.1 Einleitung . . . . .	284
8.2 Das Narrativ: Gustl . . . . .	286
8.3 Ausgangsfragen: Welcher Staub? . . . . .	288
8.4 Welche Prozesse kommen in Frage? . . . . .	291
8.4.1 Warum nicht unsere Sonne? . . . . .	291
8.4.2 Urknall? . . . . .	291
8.4.3 Kernfusion – Sternleichen . . . . .	292
8.4.4 Neutroneneinfang . . . . .	294
8.5 Fazit: Elemententstehung . . . . .	295
9 200 Jahre nach Gadolins irdischer Entdeckung – Yttrium überrascht	
als Altersindikator von Sternen	
<i>Kalevi Mattila (Helsinki, Finnland)</i>	298
9.1 Eine schwarze Steinart vom Ytterby Steinbruch . . . . .	300

9.2	Seltene Erden – gar nicht so selten . . . . .	302
9.3	Johan Gadolin, Vater der chemischen Forschung in Finnland . . . . .	303
9.4	Hundert Jahre später – Seltene Erden auch in Sternen nicht selten	308
9.5	Pekuliäre Sterne . . . . .	309
9.6	Heute: Yttrium dient als kosmische Uhr . . . . .	312
9.7	Literatur . . . . .	315
ATOME UND MOLEKÜLE IM INTERSTELLAREN MEDIUM – RADIO- UND IR-ASTRONOMIE		318
10	Interstellares Medium – der Stoff aus dem die Sterne sind	
	<i>Markus Röllig (Köln)</i>	318
10.1	Einleitung . . . . .	320
10.2	Von den Sternen zum Interstellaren Medium . . . . .	320
10.3	Entschlüsselung des Interstellaren Mediums . . . . .	321
	10.3.1 Der Spektroskopische Fingerabdruck . . . . .	321
	10.3.2 Löchriger Himmel . . . . .	323
	10.3.3 Atome, Staub und Moleküle . . . . .	325
	10.3.4 UV Schutz Extrem . . . . .	328
10.4	Schlußworte . . . . .	330
10.5	Literatur . . . . .	332
11	Cosmochemistry – Discoveries of Molecules in Green Bank	
	<i>Natalia Lewandowska (Haverford College, Pennsylvania, USA)</i>	334
11.1	Foreword . . . . .	336
11.2	The beginning . . . . .	336
11.3	Observations with the 300 foot radio telescope . . . . .	341
11.4	Observations with the Green Bank Telescope . . . . .	342
11.5	References . . . . .	345
ZUM 50. JUBILÄUM DER MONDLANDUNG – MONDGLOBEN UND KARTEN		350
12	Die Mondgloben-Sammlung des Tobias-Mayer-Vereins Marbach	
	<i>Armin Hüttermann (Marbach am Neckar)</i>	350
12.1	Einleitung: Kurzer Überblick über die Entwicklung der Herstellung von Mondgloben . . . . .	352
12.2	Tobias Mayers Mondkarte . . . . .	354
12.3	Tobias Mayers Mondglobus . . . . .	357
12.4	Tobias Mayer „auf dem Mond“ . . . . .	363
12.5	Katalog der Globen des Tobias-Mayer-Vereins . . . . .	363

12.6 Literatur . . . . .	378
13 Der Tango von Science und Fiction auf dem Weg zum Mond <i>Susanne M. Hoffmann (Jena)</i>	380
14 „Die Rückseite des Mondes“ oder Die Herstellung von Mondgloben seit Lunik 3 vor 60 Jahren <i>Harald Gropp (Heidelberg)</i>	382
14.1 Literatur . . . . .	385
15 Der Mond ist nicht schwarz-weiß – Von Apollo-Steinen zu Vollmond- Fotos <i>Daniel Fischer (Königswinter)</i>	386
15.1 Literatur . . . . .	395
ANHANG	396
16 Links – Astronomie, Museen in Stuttgart <i>Gudrun Wolfschmidt (Hamburg)</i>	396
16.1 Allgemeine Links zur Astronomie und Astronomiegeschichte . .	397
16.2 Links zur Astronomie und ihrer Geschichte in Stuttgart und Um- gebung . . . . .	398
16.3 Museen in Stuttgart und Umgebung . . . . .	400
17 Tagung des Arbeitskreises Astronomiegeschichte in Stuttgart 2019	402
17.0.1 SOC – Scientific Organizing Committee . . . . .	403
17.0.2 LOC – Local Organizing Committee . . . . .	403
17.1 Sonntag, 15. September 2019 – Exkursion nach Marbach am Neckar zum Tobias-Mayer-Museum, Torgasse 13 . . . . .	404
17.2 Stuttgart, Montag, 16. September 2019 . . . . .	406
18 List of Participants – „Kosmochemie“ – AKAG Stuttgart 2019	409
Autoren	413
Nuncius Hamburgensis	418
Personenindex	429