

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

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



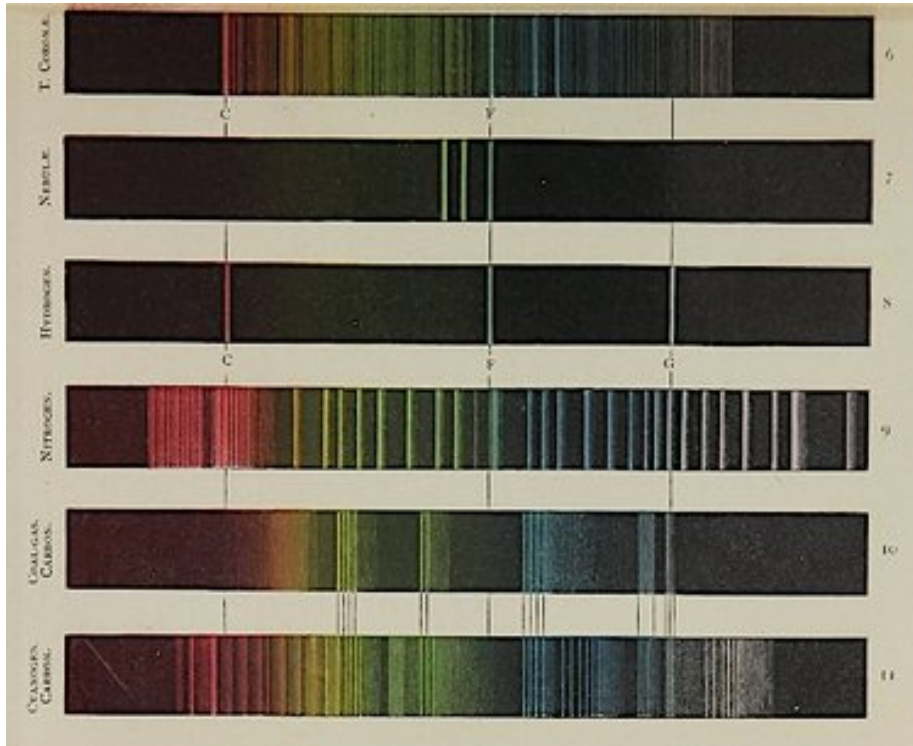


Abbildung 0.1:  
 Spektren von Sternen und Nebeln (Spectra of Stars and Nebulae)  
*Roscoe, Henry E.: Spectrum Analysis. Six Lectures. Delivered in 1868*  
 Before the Society of Apothecaries of London. New York: Macmillan 1869.

Nuncius Hamburgensis  
Beiträge zur Geschichte der Naturwissenschaften  
Band 50

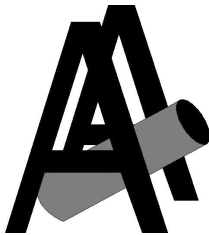
---

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 2021

# 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 150th Anniversary of the Periodic Table of the Elements (PSE, 1869) and on the Occasion of the 50th 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) 2021.

*Cover vorne: Spektrum ....*

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

*Cover hinten: PSE - Kosmos ....*

AG Geschichte der Naturwissenschaft und Technik,  
Hamburger Sternwarte, MIN Fakultät, Universität Hamburg  
Bundesstraße 55 – Geomatikum, 20146 Hamburg, Germany  
<https://www.physik.uni-hamburg.de/hs/group-wolfschmidt/>

Dieser Band wurde gefördert von der Schimank-Stiftung und dem  
Arbeitskreis Astronomiegeschichte.

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 und Druck: tredition GmbH, Halenreihe 40–44, 22359 Hamburg, Germany  
ISBN – 978-3-347-02440-3 (Paperback), 978-3-347-02441-0 (Hardcover),  
978-3-347-02442-7 (e-Book), © 2021 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>	15
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 65

2 Kosmochemie – Chemische Elemente im Kosmos – Meteoriten, Sterne, Kosmologie	
<i>Gudrun Wolfschmidt (Hamburg)</i>	67
2.1 Kosmochemie – Analyse von Meteoriten und Mond- und Mars- gestein . . . . .	68
2.1.1 Meteoriten – Kosmische Herkunft? . . . . .	68
2.1.2 Mondgestein . . . . .	69
2.1.3 Mars-Missionen der NASA . . . . .	70
2.1.4 Entdeckung von Elementen bis zur Spektralanalyse . . . . .	70
2.1.5 Vorläufer des Periodensystems der Elemente . . . . .	70
2.1.6 Periodensystem der Elemente (PSE) 1869/71 – Meyer und Mendelejew . . . . .	72
2.2 Spektralanalyse und die Entdeckung neuer Elemente . . . . .	73
2.2.1 Von Fraunhofer zu Kirchhoff und Bunsen . . . . .	73
2.2.2 Entdeckung zwölf neuer Elemente mit der Spektralanalyse (1860–1900) . . . . .	74
2.3 Wirkung der Spektralanalyse in der Astronomie . . . . .	75
2.3.1 Protuberanzen und Heliumentdeckung (1868) . . . . .	75
2.3.2 Entdeckung der drei Atmosphäreschichten der Sonne . . . . .	77
2.3.3 Auf dem Weg zur Klassifikation von Sternspektren . . . . .	77
2.3.4 Spektren von Novae . . . . .	79
2.3.5 Chemie im Planetensystem . . . . .	79
2.3.6 Chemische und mineralogische Zusammensetzung von Ko- meten . . . . .	79
2.3.7 Farben der Meteore . . . . .	81
2.3.8 Entdeckung der Interstellaren Materie . . . . .	81
2.3.9 Gasnebel- und Spiralnebelspektren . . . . .	81
2.4 Quantitative Spektralanalyse . . . . .	82
2.4.1 Saha-Gleichung . . . . .	82
2.4.2 Woraus besteht die Sonne? . . . . .	82
2.4.3 Erste quantitative Spektralanalyse – Unsöld $\tau$ Scorpii . . . . .	83
2.5 Atome und Moleküle im Interstellaren Medium . . . . .	84
2.5.1 Radioastronomie und die 21 cm-Spektrallinie des atoma- ren (neutralen) Wasserstoffs (H I) . . . . .	84
2.5.2 Ionisierter Wasserstoff (H II) . . . . .	84
2.5.3 Molekularer Wasserstoff ( $H_2$ ) . . . . .	85
2.5.4 Atome und Moleküle im Interstellaren Medium . . . . .	85
2.6 Erste Elemente nach dem Urknall – Primordiale Nukleosynthese	88

2.7	Entwicklung der Sterne – Stellare Nukleosynthese . . . . .	90
2.7.1	Geburt von Sternen in Gasnebeln . . . . .	90
2.7.2	Bildung der Elemente leichter als Eisen – Kernfusion . .	91
2.7.3	Häufigkeiten leichter Elemente in kosmischer Strahlung	91
2.7.4	Bildung von Eisen bis Uran – Endstadien der Sterne . .	92
2.7.5	Nukleosynthese Schwerer Elemente in Supernova . . . . .	92
2.8	Kosmische Element-Häufigkeiten . . . . .	94
2.9	„Wir sind Sternenstaub“ . . . . .	94
2.10	Literatur . . . . .	94
3	Die Anfangsgeschichte der chemischen Analyse außerirdischer Materie	
	<i>Xian Wu (Dresden)</i>	99
3.1	Astronomie und Chemie . . . . .	100
3.2	Meteoritenchemie . . . . .	101
3.2.1	Meteorite als außerirdische Materie . . . . .	101
3.2.2	Chemische Analysen von Meteoriten . . . . .	102
3.3	Warum erlebte die chemische Analyse von Meteoriten einen Aufschwung Anfang des 19. Jahrhunderts? . . . . .	109
3.4	Schlussfolgerung . . . . .	112
3.5	Literatur . . . . .	112
4	Deuterium in the Universe	
	<i>Hans-Ulrich Keller (Stuttgart)</i>	115
4.1	Discovery of Deuterium and the <i>Miller-Urey-Experiment</i> . . . .	116
4.2	What is Deuterium? . . . . .	117
4.3	Where Deuterium was coming from? . . . . .	118
4.4	Who was George A. Gamow (1904–1968)? . . . . .	121
4.5	Ralph Asher Alpher (1921–2007) . . . . .	124
4.6	The Big Bang Standard Scenario . . . . .	126
4.6.1	The Supernova Cosmology Project . . . . .	128
4.7	Primordial Nucleosynthesis . . . . .	130
4.8	Phillip James [Jim] Edwin Peebles (*1935) . . . . .	131
4.9	Fred Hoyle (1915–2001) . . . . .	132
4.10	Theory of Stellar Nucleosynthesis . . . . .	133
4.10.1	Chūshirō Hayashi (1920–2010) . . . . .	133
4.10.2	Robert Vernon Wagoner (*1938) . . . . .	134
4.11	Where was the water on Earth coming from? NOT from comets!	136
4.12	Literature . . . . .	138

5 Helium – Sonnenelement aus dem Urknall – Teil 1: Die Entdeckung des Heliums	
<i>Dietrich Lemke (Heidelberg)</i>	141
5.1 Einleitung – Vorgeschichte . . . . .	142
5.2 Die Geburt der Astrophysik . . . . .	144
5.3 Neues Werkzeug für Astronomen . . . . .	146
5.4 Eine Sonnenfinsternis bringt Licht ins Dunkel . . . . .	150
5.5 Linienfund in Londons Sonne . . . . .	152
5.6 Chemische Spurensuche . . . . .	153
5.7 Geheimnisvoller Stickstoff . . . . .	156
5.8 Endlich: Helium im Labor . . . . .	156
5.9 Fünf neue Elemente in vier Jahren . . . . .	157
5.10 Eine dritte Entdeckung des Elements Helium . . . . .	159
5.11 Wer hat Helium entdeckt? . . . . .	161
5.12 Literatur . . . . .	163
6 Helium – Sonnenelement aus dem Urknall – Teil 2: Ursprung und Anwendungen	
<i>Dietrich Lemke (Heidelberg)</i>	167
6.1 Einleitung . . . . .	168
6.2 Elemente aus dem Urknall . . . . .	169
6.3 Ende bei Helium . . . . .	173
6.4 Helium – Das erste Atom im Kosmos . . . . .	173
6.5 Das Edelgas in Sternen . . . . .	175
6.6 Heliumschwund in der Erdatmosphäre . . . . .	177
6.7 Helium im Erdgas . . . . .	177
6.8 Die Verflüssigung von Helium . . . . .	179
6.9 Eine super Flüssigkeit . . . . .	182
6.10 Helium in der Infrarotastronomie . . . . .	185
6.11 Helium in der Ballonastronomie . . . . .	187
6.12 Stoppt die Vergeudung von Helium! . . . . .	189
6.13 Literatur . . . . .	191
7 Stellar Evolution and the Production of Chemical Elements	
<i>David Walker (Hamburg)</i>	193
7.1 The Situation after the Big Bang . . . . .	194
7.1.1 Abundance of Elements in the Present Universe . . . . .	194
7.1.2 Primordial Helium . . . . .	195
7.2 Production of Metals by Nuclear Burning in Stars . . . . .	199
7.2.1 Light and Heavy Elements . . . . .	199



7.2.2	Stellar Life in a Nutshell . . . . .	200
7.2.3	Stellar Mass and Stellar Life-Expectancy . . . . .	204
7.2.4	The Main Nuclear Burnings . . . . .	207
7.3	The Ongoing Enrichment of Space with Metals: The Chemical Evolution of the Universe . . . . .	209
7.3.1	Stellar Populations: Evidence that the Metals were Produced by the Stars . . . . .	209
7.3.2	Production of Heavy Elements by Neutron Capture . . . . .	211
7.3.3	The <i>s</i> Process . . . . .	212
7.3.4	The Star FG Sagittae . . . . .	219
7.3.5	Supernovae . . . . .	221
7.3.6	<i>r</i> Processes . . . . .	232
7.4	Appendix: Processes of Radioactive Decay . . . . .	239
7.5	Literature . . . . .	241
8	200 Jahre nach Gadolins irdischer Entdeckung – Yttrium überrascht als Altersindikator von Sternen <i>Kalevi Mattila (Helsinki, Finnland)</i>	247
8.1	Eine schwarze Steinart vom Ytterby Steinbruch . . . . .	248
8.2	Seltene Erden – gar nicht so selten . . . . .	250
8.3	Johan Gadolin, Vater der chemischen Forschung in Finnland . . . . .	251
8.4	Hundert Jahre später – Seltene Erden auch in Sternen nicht selten	256
8.5	Pekuliäre Sterne . . . . .	257
8.6	Heute: Yttrium dient als kosmische Uhr . . . . .	260
8.7	Literatur . . . . .	263
9	Cosmochemistry – Discoveries of Molecules in Green Bank <i>Natalia Lewandowska (Haverford College, Pennsylvania, USA)</i>	267
9.1	Foreword . . . . .	268
9.2	The beginning . . . . .	268
9.3	Observations with the 300 foot radio telescope . . . . .	273
9.4	Observations with the Green Bank Telescope . . . . .	274
9.5	References . . . . .	277
ZUM 50. JUBILÄUM DER MONDLANDUNG – MONDGLOBEN UND KARTEN		280
10	Die Mondgloben-Sammlung des Tobias-Mayer-Vereins Marbach <i>Armin Hüttermann (Marbach am Neckar)</i>	283
10.1	Einleitung: Kurzer Überblick über die Entwicklung der Herstellung von Mondgloben . . . . .	284

10.2 Tobias Mayers Mondkarte . . . . .	286
10.3 Tobias Mayers Mondglobus . . . . .	289
10.4 Tobias Mayer „auf dem Mond“ . . . . .	295
10.5 Katalog der Globen des Tobias-Mayer-Vereins . . . . .	295
10.6 Literatur . . . . .	310
11 Der Tango von Science und Fiction auf dem Weg zum Mond <i>Susanne M. Hoffmann (Jena)</i>	313
12 „Die Rückseite des Mondes“ oder Die Herstellung von Mondgloben seit Lunik 3 vor 60 Jahren <i>Harald Gropp (Heidelberg)</i>	315
12.1 Literatur . . . . .	317
13 Der Mond ist nicht schwarz-weiß – Von Apollo-Steinen zu Vollmond- Fotos <i>Daniel Fischer (Königswinter)</i>	319
13.1 Literatur . . . . .	327
ANHANG	327
14 Links – Astronomie, Museen in Stuttgart <i>Gudrun Wolfschmidt (Hamburg)</i>	329
14.1 Allgemeine Links zur Astronomie und Astronomiegeschichte . .	329
14.2 Links zur Astronomie und ihrer Geschichte in Stuttgart und Um- gebung . . . . .	330
14.3 Museen in Stuttgart und Umgebung . . . . .	332
15 Tagung des Arbeitskreises Astronomiegeschichte in Stuttgart 2019	335
15.0.1 SOC – Scientific Organizing Committee . . . . .	335
15.0.2 LOC – Local Organizing Committee . . . . .	335
15.1 Sonntag, 15. September 2019 – Exkursion nach Marbach am Neckar zum Tobias-Mayer-Museum, Torgasse 13 . . . . .	336
15.2 Stuttgart, Montag, 16. September 2019 . . . . .	338
16 List of Participants – „Kosmochemie“ – AKAG Stuttgart 2019	341
Autoren	345
Nuncius Hamburgensis	350

