

Gmelin Handbuch der Anorganischen Chemie

Achte völlig neu bearbeitete Auflage

Main Series, 8th Edition

Uran

Ergänzungsband

Teil C 1

Verbindungen mit Edelgasen und Wasserstoff sowie
System Uran-Sauerstoff

Mit 85 Figuren

BEARBEITER
(AUTHORS)

Lieselotte Berg, Wilfried Karl, Hannelore Keller-Rudek,
Ernst Koch, Amir Leonard, Philipp Stieß

REDAKTEURE •
(EDITORS)

Lieselotte Berg, Rudolf Keim, Peter Merlet

HAUPTREDAKTEUR
(CHIEF EDITOR)

Rudolf Keim, Gmelin-Institut, Frankfurt am Main
Beratende Mitwirkung: Cornelius Keller, Kernforschungszentrum
Karlsruhe, Institut für Radiochemie, Karlsruhe

System-Nummer 55



Springer-Verlag

Berlin · Heidelberg · New York 1977

ENGLISCHE FASSUNG DER STICHWÖRTER NEBEN DEM TEXT:
ENGLISH HEADINGS ON THE MARGINS OF THE TEXT:

E. LELL, LINZ, ÖSTERREICH

DIE LITERATUR IST BIS ENDE 1975 AUSGEWERTET,
IN ZAHLREICHEN FÄLLEN DARÜBER HINAUS

LITERATURE CLOSING DATE: END OF 1975,
IN MANY INSTANCES MORE RECENT DATA HAVE BEEN CONSIDERED

Die vierte bis siebente Auflage dieses Werkes erschien im Verlag von
Carl Winter's Universitätsbuchhandlung in Heidelberg

Library of Congress Catalog Card Number: Agr 25-1383

ISBN 3-540-93 344-1 Springer-Verlag, Berlin · Heidelberg · New York
ISBN 0-387-93 344-1 Springer-Verlag, New York · Heidelberg · Berlin

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. im Gmelin Handbuch berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, daß solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdruckes, der Entnahme von Abbildungen, der Funksendung, der Wiedergabe auf photomechanischem oder ähnlichem Wege und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwendung, vorbehalten.

Printed in Germany.—All rights reserved. No part of this book may be reproduced in any form—by photoprint, microfilm, or any other means—without written permission from the publishers.

© by Springer-Verlag, Berlin · Heidelberg 1977

Wiesbadener Graphische Betriebe GmbH, Wiesbaden

Gmelin Handbuch der Anorganischen Chemie

Achte völlig neu bearbeitete Auflage

Main Series, 8th Edition

Gmelin-Handbuch-Bände über Radium und Actinide

Syst.-Nr. 31	Radium Hauptband	
Syst.-Nr. 31	Radium Erg.-Bd. 1	(Geschichte, Kosmochemie, Geochemie)
Syst.-Nr. 31	Radium Erg.-Bd. 2	(Element, Verbindungen)
Syst.-Nr. 40	Actinium	
Syst.-Nr. 44	Thorium Hauptband	
Syst.-Nr. 44	Thorium Erg.-Bd. C 2	(Ternäre und polynäre Oxide)
Syst.-Nr. 51	Protactinium Hauptband	
Syst.-Nr. 51	Protactinium Erg.-Bd. 1	
Syst.-Nr. 55	Uran Hauptband	
Syst.-Nr. 55	Uran Erg.-Bd. C 1	(vorliegender Band)
Syst.-Nr. 55	Uran Erg.-Bd. C 3	(Ternäre und polynäre Oxide)
Transurane	Erg.-Werk-Bände	
	Teil A 1, I (Bd. Nr. 7a)	} (Elemente)
	Teil A 1, II (Bd. Nr. 7b)	
	Teil A 2 (Bd. Nr. 8)	
	Teil B 1 (Bd. Nr. 31)	(Metalle)
	Teil B 2 (Bd. Nr. 38)	} (Legierungen)
	Teil B 3 (Bd. Nr. 39)	
	Teil C (Bd. Nr. 4)	(Verbindungen)
	Teil D 1 (Bd. Nr. 20)	} (Chemie in Lösung)
	Teil D 2 (Bd. Nr. 21)	

Gmelin Handbuch der Anorganischen Chemie

BEGRÜNDET VON

Leopold Gmelin

Achte völlig neu bearbeitete Auflage

ACHTE AUFLAGE

begonnen im Auftrage der Deutschen Chemischen Gesellschaft
von R. J. Meyer

E. H. E. Pietsch und A. Kotowski

fortgeführt von

Margot Becke-Goehring

HERAUSGEGEBEN VOM

Gmelin-Institut

für Anorganische Chemie und Grenzgebiete der

Max-Planck-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften



Springer-Verlag

Berlin · Heidelberg · New York 1977

Gmelin-Institut für Anorganische Chemie
der Max-Planck-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften

KURATORIUM (ADVISORY BOARD)

Dr. J. Schaafhausen, Vorsitzender (Hoechst AG, Frankfurt/Main-Höchst), Dr. G. Breil (Ruhrchemie AG, Oberhausen-Holten), Prof. Dr. R. Brill (Lenggries), Dr. G. Broja (Bayer AG, Leverkusen), Prof. H. J. Emeléus, Ph. D., D. Sc., FRS (University of Cambridge), Prof. Dr. G. Fritz (Universität Karlsruhe), Prof. Dr. E. Gebhardt (Max-Planck-Institut für Metallforschung, Stuttgart), Prof. Dr. W. Gentner (Max-Planck-Institut für Kernphysik, Heidelberg), Prof. Dr. Dr. E. h. O. Glemser (Universität Göttingen), Prof. Dr. Dr. E. h. O. Haxel (Heidelberg), Prof. Dr. Dr. E. h. H. Hellmann (Chemische Werke Hüls AG, Marl), Prof. Dr. R. Hoppe (Universität Gießen), Stadtkämmerer H. Lingnau (Frankfurt am Main), Prof. Dr. R. Lüst (Präsident der Max-Planck-Gesellschaft, München), Prof. Dr. H. Schäfer (Universität Münster)

DIREKTOR

Prof. Dr. Dr. E. h. Margot Becke

LEITENDE MITARBEITER (SENIOR MANAGEMENT)

Dr. W. Lippert, Stellvertretender Direktor

Dr. K.-C. Buschbeck, Ständiger Hauptredakteur

HAUPTREDAKTEURE (EDITORS IN CHIEF)

Dr. H. Bergmann, Dr. H. Bitterer, Dr. H. Katscher, Dr. R. Keim, Dipl.-Ing. G. Kirschstein, Dipl.-Phys. D. Koschel, Dr. U. Krüerke, Dr. I. Kubach, Dr. H. K. Kugler, Dr. E. Schleitzer-Rust, Dr. A. Slawisch, Dr. K. Swars, Dr. R. Warncke

MITARBEITER (STAFF)

Z. Amerl, D. Barthel, I. Baumhauer, R. Becker, Dr. K. Beeker, Dr. W. Behrendt, Dr. L. Berg, Dipl.-Chem. E. Best, Dipl.-Phys. E. Bienemann, M. Brandes, E. Brettschneider, E. Cloos, Dipl.-Phys. G. Czack, I. Deim, L. Demmel, Dipl.-Chem. H. Demmer, R. Dombrowsky, Dipl.-Chem. A. Drechsler, Dipl.-Chem. M. Drößmar, I. Eifler, M. Engels, V.-F. Fabrizek, I. Fischer, J. Füssel, Dipl.-Ing. N. Gagel, Dipl.-Chem. H. Gedschold, E. Gerhardt, Dipl.-Phys. D. Gras, Dr. V. Haase, E. Hamm, H. Hartwig, B. Heibel, Dipl.-Min. H. Hein, G. Heinrich-Sterzel, H. W. Herold, U. Hettwer, Dr. I. Hinz, Dr. W. Hoffmann, Dipl.-Chem. K. Holzapfel, Dr. L. Iwan, Dr. W. Kästner, E.-M. Kaiser, Dipl.-Chem. W. Karl, H.-G. Karrenberg, Dipl.-Phys. H. Keller-Rudek, H. Klein, Dr. E. Koch, H. Koch, Dipl.-Chem. K. Koeber, H. Köppe, Dipl.-Chem. H. Köttelwesch, R. Kolb, E. Kranz, L. Krause, Dipl.-Chem. I. Kreuzbichler, Dr. P. Kuhn, M.-L. Lenz, Dr. A. Leonard, Dipl.-Chem. H. List, E. Meinhard, Dr. P. Merlet, K. Meyer, M. Michel, Dr. A. Mirtsching, A. Moulik, M. Sc., K. Nöring, C. Pielenz, E. Preißer, I. Rangnow, Dipl.-Phys. H.-J. Richter-Ditten, Dipl.-Chem. H. Rieger, E. Rudolph, G. Rudolph, Dipl.-Chem. S. Ruprecht, Dipl.-Chem. D. Schneider, Dr. F. Schröder, Dipl.-Min. P. Schubert, Dipl.-Ing. H. Somer, E. Sommer, Dr. P. Stieß, M. Teichmann, Dr. W. Töpfer, Dr. B. v. Tschirsnitz-Geibler, Dipl.-Ing. H. Vanecek, Dipl.-Chem. P. Velić, Dipl.-Ing. U. Vetter, Dipl.-Phys. J. Wagner, R. Wagner, Dipl.-Chem. S. Waschk, Dr. G. Weinberger, Dr. H. Wendt, H. Wiegand, Dipl.-Ing. I. v. Wilucki, C. Wolff, K. Wolff, B. Wullert, Dr. A. Zelle, U. Ziegler, G. Zosel

FREIE MITARBEITER (CORRESPONDENT MEMBERS OF THE SCIENTIFIC STAFF)

Dr. A. Bohne, Dr. G. Hantke, Dr. L. Roth, Dr. K. Rumpf, Prof. Dr. W. Stumpf, Dr. U. Trobisch

AUSWÄRTIGE WISSENSCHAFTLICHE MITGLIEDER

(CORRESPONDENT MEMBERS OF THE INSTITUTE)

Prof. Dr. Hans Bock

Prof. Dr. Dr. Alois Haas, Sc. D. (Cantab.)

Prof. Dr. Dr. h. c. Erich Pietsch

Vorwort

Im Jahre 1936 erschien im Rahmen der achten Auflage des Gmelin Handbuches der Band „Uran“, in dem auf weniger als 300 Seiten das damals Bekannte über Uran und seine Verbindungen wiedergegeben wurde. Drei Jahre später wurde die Kernspaltung entdeckt und damit eine neue Phase in der Erforschung dieses Elementes eingeleitet. Als Indiz für die stürmische Entwicklung sei hier nur vermerkt, daß sich der Stoffbereich, dem der vorliegende Ergänzungsband C1 gewidmet ist, im Uranband von 1936 mühelos auf einer Druckseite behandeln ließ.

Die Beschreibung des Urans ist in vier Teile gegliedert:

Teil A „Das Element“

Teil C „Verbindungen“

Teil B „Metall und Legierungen“

Teil D „Chemie in Lösung“

Der vorliegende Band C1 enthält entsprechend dem Gmelin-System die Verbindungen mit Edelgasen und Wasserstoff sowie das System Uran-Sauerstoff und einige Oxide oder Oxidphasen, wie UO , U_4O_9 , U_3O_7 , U_2O_5 und U_5O_{13} bzw. U_8O_{21} . Im demnächst erscheinenden Band C2 werden die Oxide U_3O_8 , UO_3 , die Hydroxide und Oxidhydrate sowie die Peroxide abgehandelt. Die Doppeloxide des Urans liegen bereits im Band C3 vor. Das noch ausstehende, wegen seiner großen Bedeutung als Kernbrennstoff intensiv untersuchte Dioxid UO_2 wird in einem eigenen Band (C4) gesondert beschrieben.

Im relativ einfachen System U-H tritt nur eine Verbindung auf, das sehr reaktionsfähige Hydrid UH_3 . UH_3 ist unter Atmosphärendruck bis zu seinem Zersetzungspunkt (etwa 430°C) eine stöchiometrische Verbindung, bei höheren Temperaturen (bei denen die Verbindung nur unter erhöhtem Druck existieren kann) besitzt UH_3 einen mit steigender Temperatur anwachsenden Homogenitätsbereich im substöchiometrischen Bereich entsprechend der Formel UH_{3-x} , dessen obere Grenze sich mit steigendem H_2 -Druck dem Atomverhältnis $\text{H}:\text{U} = 3$ annähert.

Der Beschreibung des Systems U-O ist die treffende Bemerkung von L. Eyring vorangestellt: „The uranium-oxygen system is at once the most complex and most studied oxide system known (perhaps the former because of the latter).“ Dem System eigentümliche Besonderheiten wie auch Unzulänglichkeiten der angewendeten Untersuchungsmethoden haben dazu geführt, daß im Laufe der Jahre nahezu 40 verschiedene Oxidphasen (die verschiedenen Modifikationen einiger Verbindungen mitgezählt) beschrieben wurden, deren Existenz und vor allem thermodynamische Stabilität in vielen Fällen allerdings fraglich sind. Vielleicht kann die hier vorgelegte kritische Bestandsaufnahme der bisherigen Veröffentlichungen über dieses System mithelfen, weitere klärende Untersuchungen in Gang zu setzen.

Frankfurt/Main, Juni 1977

Rudolf Keim

Preface

Within the 8th edition of the Gmelin Handbuch appeared in 1936 the volume "Uran", which rendered in less than 300 pages everything that was known at that time about uranium and its compounds. Three years later nuclear fission was discovered, which introduced a new phase of investigations of this element. As an indication for the vigorous development may serve the fact that the material covered in the present volume C1 could easily be dealt with on one page in the uranium volume of 1936.

The description of uranium is subdivided into four parts:

Part A "The Element"

Part C "Compounds"

Part B "Metal and Alloys"

Part D "Chemistry in Solution"

The present volume C1 comprises—in accordance with the Gmelin system—the compounds with noble gases and hydrogen, as well as the system uranium-oxygen and some oxides or oxide phases, such as UO , U_4O_9 , U_3O_7 , U_2O_5 , and U_5O_{13} or U_8O_{21} , respectively. Volume C2, which will appear shortly, will treat the oxides U_3O_8 , UO_3 , the hydroxides and oxide hydrates as well as the peroxides. The double oxides of uranium have been published in volume C3. The remaining dioxide UO_2 , which has been extensively investigated due to its great importance as nuclear fuel, will be treated separately in a volume of its own (C4).

Within the relatively simple system U-H only one compound—the highly reactive hydride UH_3 —occurs. Under atmospheric pressure UH_3 is a stoichiometric compound up to its decomposition temperature (about 430°C); at higher temperatures (where the compound can exist only under elevated pressures) UH_3 shows a homogeneity range in the substoichiometric region increasing with increasing temperature according to the formula UH_{3-x} , the upper limit of which approaches with increasing H_2 pressure the atomic ratio $\text{H}:\text{U} = 3$.

The description of the system U-O is introduced with the appropriate remark by L. Eyring: "The uranium-oxygen system is at once the most complex and most studied oxide system known (perhaps the former because of the latter)." The unique peculiarities of the system as well as the inadequacies of the applied investigating techniques have led to a situation where, during the course of years, almost 40 different oxide phases have been described (including the various modifications of some compounds), whose existence and, above all, whose thermodynamic stability are questionable in many cases. The critical review of the available publications on this system presented here may possibly help to initiate further clarifying investigations.

Frankfurt/Main, June 1977

Rudolf Keim

Inhaltsverzeichnis

(Table of Contents see page VII)

Seite

Verbindungen des Urans

Allgemeine Literatur	1
1 Uran und Edelgase	1
Uran und Helium	2
Uran und Argon	2
Uran und Xenon oder Krypton	2
2 Uran und Wasserstoff	3
2.1 Das System U-H	3
2.1.1 Phasendiagramm	3
Übersicht	3
Hydrierungsisothermen und Löslichkeit von Wasserstoff in Uran	3
Isothermen und ihre Anomalien	3
Löslichkeit von Wasserstoff in Uran	6
Lösungsenthalpie	9
Einschlüsse von UH_3 in metallischem Uran	9
Homogenitätsbereich von UH_3	10
2.1.2 Diffusion von Wasserstoff in Uran	11
2.1.3 Sorption von Wasserstoff durch pulverförmiges Uran	12
2.2 Uranmonohydrid-Ion UH^+	13
2.3 Metastabile Uransubhydridphase	13
2.4 Uranhydrid UH_3	15
2.4.1 Allgemeines	15
2.4.2 Bildung und Darstellung	17
Bildung und Darstellung von $\alpha\text{-UH}_3$	17
Bildung und Darstellung von $\beta\text{-UH}_3$	18
Aus den Elementen	18
Aus pulverförmigem Uran	18
Aus massivem Uran	18
Bildung in Gegenwart von Zusätzen	19
Aus Uran und Wasser	20
Weitere Bildungsweisen	20
Aus Uran und Kohlenwasserstoffen	21
Durch Einwirkung von Säuren auf metallisches Uran	21

Verhalten gegen Neutronen. Kritische Masse	50
Verhalten gegen Deuterium D_2 und HD	50
Verhalten an der Luft	51
Pyrophores Verhalten	51
Explosives Verhalten	52
Verhalten gegen gasförmigen Stickstoff	52
Verhalten gegen Halogene und weitere nichtmetallische Elemente	53
Verhalten gegen Metalle und Legierungen	53
Verhalten gegen Wasser	54
Verhalten gegen weitere Nichtmetallverbindungen	55
Verhalten gegen Metallverbindungen	57
Verhalten gegen organische Verbindungen	59
 2.5 Urandeuteride	 60
2.5.1 Uranmonodeuterid-Ion UD^+	60
2.5.2 UH_2D	60
2.5.3 Urandeuterid UD_3	60
Bildung und Darstellung	61
α - UD_3	61
β - UD_3	61
Thermodynamische Daten der Bildung	64
Strukturelle und kristallographische Eigenschaften	65
α - UD_3	65
β - UD_3	65
Mechanische und thermische Eigenschaften	66
Magnetische Eigenschaften	68
Ferromagnetische Curie-Temperatur	68
Paramagnetischer Bereich	68
Magnetokalorischer Effekt	69
Kernmagnetische Resonanz	69
Chemisches Verhalten	70
Thermische Zersetzung von β - UD_3	70
Verhalten gegen Nichtmetallverbindungen	71
Verhalten gegen Metalle und Metallverbindungen	71
 2.6 Urantritid UT_3	 72
 2.7 Ternäre und polynäre Hydride	 73
2.7.1 Uranborhydride	73
Uran(IV)-tetrahydridoborat $U(BH_4)_4$	73
Bildung und Darstellung	73
Physikalische Eigenschaften	73
Chemisches Verhalten	77

	Seite
Uran(III)-tetrahydridoborat $U(BH_4)_3$ (?)	79
Alkylderivate von Uran(IV)-tetrahydridoborat $U(BH_4)_{4-x}(BH_3R)_x$	79
2.7.2. Uran-Titan-Wasserstoff-Legierungen	80
2.7.3 Das System Uran-Zirkonium-Wasserstoff	81
Phasendiagramm des Systems U-Zr-H	81
Darstellung von U-Zr-H-Legierungen	82
Physikalische Eigenschaften	84
Chemisches Verhalten	86
Verwendung und Verhalten von U-Zr-H-Legierungen als Kernbrennstoff	87
2.7.4 Das System Uran-Niob-Wasserstoff	89
2.7.5 Uran-Niob-Zirkonium-Wasserstoff-Legierungen	92
2.7.6 Uran-Chrom-Wasserstoff-Legierungen	92
2.7.7 Uran-Molybdän-Wasserstoff-Legierungen	92
2.7.8 Weitere ternäre Hydride	93
3 Uran und Sauerstoff	94
3.1 Das System U-O	94
3.1.1 Übersicht	94
3.1.2 Teildiagramm U- UO_2	100
Phasenbeziehungen	100
Uranmonoxid $UO(?)$	102
Untere Phasengrenze von $UO_{2 \pm x}$	102
Phasenumwandlung von UO_2	104
Schmelzpunkt von stöchiometrischem UO_2	105
3.1.3 Teildiagramm UO_2 - U_4O_9	107
Phasenbeziehungen	107
Obere Phasengrenze von $UO_{2 \pm x}$	108
Phasenumwandlungen von U_4O_9	111
Homogenitätsbereich von U_4O_9	112
Zersetzungstemperatur von U_4O_9	114
3.1.4 Teildiagramm U_4O_9 - U_3O_8	115
Übersicht	115
U_3O_7 -Phasen	115
U_2O_5 -Phasen	118
$U_3O_{8 \pm x}$ -Phasen	120
Untere Grenze der $U_3O_{8 \pm x}$ -Phasengruppe	124
Obere Grenze der $U_3O_{8 \pm x}$ -Phasengruppe	125
3.1.5 Teildiagramm U_3O_8 - UO_3	128
3.1.6 Teildiagramm UO_3 - UO_4	135
3.1.7 Phasenbeziehungen unter hohem äußerem Druck	135

3.2 Uranmonoxid UO	138
3.2.1 UO -Molekül	138
Entstehung	138
Thermodynamische Daten	139
Elektronische Zustände, Potentialkurven	140
IR-Spektrum	141
Emission im Sichtbaren	141
3.2.2 UO in festem Zustand	142
3.3 Urandioxid UO_2	144
3.4 U_4O_9	144
3.4.1 Allgemeines, Stöchiometrie	144
3.4.2 Bildung und Darstellung	145
3.4.3 Thermodynamische Daten der Bildung	148
3.4.4 Strukturelle und kristallographische Eigenschaften	149
Polymorphie	149
Kristallisation	154
Kristallstruktur	154
Gitterkonstante	156
Fehlordnung	159
3.4.5 Mechanische und thermische Eigenschaften	160
3.4.6 Magnetische, elektrische und optische Eigenschaften	166
3.4.7 Chemisches Verhalten	169
3.5 U_3O_7-Phasen	176
3.5.1 Existenz	176
3.5.2 Bildung und Darstellung	177
3.5.3 Bildungsmechanismen	179
3.5.4 Thermodynamische Daten der Bildung	180
3.5.5 Physikalische Eigenschaften	181
3.5.6 Chemisches Verhalten	185
3.6 Oxidphasenbereich $\text{UO}_{2,40}$ bis $\text{UO}_{2,44}$	187
3.7 U_2O_5-Phasen	188
3.7.1 Existenz	188
3.7.2 Bildung und Darstellung	189
3.7.3 Physikalische Eigenschaften	191
3.7.4 Chemisches Verhalten	195

	Seite
3.8 Phasen im Bereich zwischen U_2O_5 und U_3O_8	197
3.8.1 Übersicht	197
3.8.2 $U_8O_{13} (?)$	198
3.8.3 $U_{13}O_{34}$	199
3.8.4 $U_8O_{21 \pm z}$	199
3.8.5 Bereich $UO_{2.83}$ bis $UO_{2.86}$	202
3.8.6 $U_{11}O_{29}$	204
3.8.7 α-U_2O_{5+x} ($x \approx 0.33$ oder 0.34)	205

Table of Contents

(Inhaltsverzeichnis s. S. I)

	Page
Compounds of Uranium	
General Literature	1
1 Uranium and Rare Gases	1
Uranium and Helium	2
Uranium and Argon	2
Uranium and Xenon or Krypton	2
2 Uranium and Hydrogen	3
2.1 The U-H System	3
2.1.1 Phase Diagram	3
Review	3
Hydrogenation Isotherms and Solubility of Hydrogen in Uranium	3
Isotherms and Their Anomalies	3
Solubility of Hydrogen in Uranium	6
Enthalpy of Solution	9
Inclusions of UH_3 in Metallic Uranium	9
Homogeneity Range of UH_3	10
2.1.2 Diffusion of Hydrogen into Uranium	11
2.1.3 Sorption of Hydrogen by Uranium Powder	12
2.2 Uranium Monohydride Ion UH^+	13
2.3 Metastable Uranium Subhydride Phase	13
2.4 Uranium Hydride UH_3	15
2.4.1 Review in English	16
2.4.2 Formation, Preparation	17
Formation and Preparation of $\alpha\text{-UH}_3$	17
Formation and Preparation of $\beta\text{-UH}_3$	18
From the Elements	18
From Uranium Powder	18
From Compact Uranium	18
Formation in the Presence of Additives	19
From Uranium and Water	20
Other Methods of Formation	20
From Uranium and Hydrocarbons	21
By Reaction of Acids with Metallic Uranium	21

	Page
By Electrolytic Methods with a Uranium Cathode	21
By Reduction of Uranium Oxides	21
By Reduction of Uranium Halides	21
Preparation of Compact UH ₃	22
Kinetics of UH ₃ Formation from the Elements	22
Time of Incubation	22
Effect of Uranium Surface and Extent of Reaction	23
Effect of Temperature and Pressure	24
Compact Uranium	24
Uranium Powder	27
2.4.3 Thermodynamic Data of Formation	28
2.4.4 Structural and Crystallographic Properties	30
Polymorphism	30
Structure of α -UH ₃	30
Structure of β -UH ₃	31
Lattice Constant	31
Lattice Structure	31
Lattice Defects	32
Bond Types	33
Lattice Vibrations	33
2.4.5 Mechanical Properties	34
Density, Specific Surface	34
Thermal Expansion	36
Diffusion of Hydrogen	36
2.4.6 Thermal Properties	36
Melting Point	36
Molar Heat Capacity of β -UH ₃	37
Thermodynamic Functions of β -UH ₃	38
2.4.7 Magnetic Properties	39
α -UH ₃	39
β -UH ₃	40
Ferromagnetic Curie Temperature	40
Ferromagnetic Range	40
Paramagnetic Range	42
Paramagnetic Curie Temperature	43
Magnetocaloric Effect	43
Nuclear Magnetic Resonance	43
Relaxation of Protons in β -UH ₃	44
2.4.8 Electrical Properties	46
2.4.9 Chemical Reactions	47
Thermal Decomposition	47
α -UH ₃	47
β -UH ₃	47
Decomposition Pressure, Decomposition Temperature	47
Decomposition Kinetics	50

	Page
Reactions with Neutrons, Critical Mass	50
Reactions with D ₂ and HD	50
Reactions in Air	51
Pyrophoric Behavior	51
Explosive Behavior	52
Reactions with Gaseous Nitrogen	52
Reactions with Halogens and Other Nonmetallic Elements	53
Reactions with Metals and Alloys	53
Reactions with Water	54
Reactions with Other Nonmetal Compounds	55
Reactions with Metal Compounds	57
Reactions with Organic Compounds	59
 2.5 Uranium Deuterides	 60
2.5.1 Uranium Monodeuteride Ion UD ⁺	60
2.5.2 UH ₂ D	60
2.5.3 Uranium Deuteride UD ₃	60
Formation, Preparation	61
α -UD ₃	61
β -UD ₃	61
Thermodynamic Data of Formation	64
Structural and Crystallographic Properties	65
α -UD ₃	65
β -UD ₃	65
Mechanical and Thermal Properties	66
Magnetic Properties	68
Ferromagnetic Curie Temperature	68
Paramagnetic Range	68
Magnetocaloric Effect	69
Nuclear Magnetic Resonance	69
Chemical Reactions	70
Thermal Decomposition of β -UD ₃	70
Reactions with Nonmetal Compounds	71
Reactions with Metals and Metal Compounds	71
 2.6 Uranium Tritide UT₃	 72
2.7 Ternary and Polynary Hydrides	73
2.7.1 Uranium Boron Hydrides	73
Uranium(IV) Tetrahydridoborate U(BH ₄) ₄	73
Formation, Preparation	73
Physical Properties	73
Chemical Reactions	77