

# KONSTANTEN DER ATOMPHYSIK

HERAUSGEGEBEN VON

DR. WALTHER A. ROTH UND DR. KARL SCHEEL

PROFESSOR AN DER  
TECHNISCHEN HOCHSCHULE  
IN BRAUNSCHWEIG

PROFESSOR AN DER  
PHYSIK.-TECHN. REICHSANSTALT  
IN CHARLOTTENBURG

UNTER BESONDERER MITWIRKUNG VON

DR. E. REGENER

PROFESSOR AN DER TECHNISCHEN HOCHSCHULE  
IN STUTT GART



BERLIN  
VERLAG VON JULIUS SPRINGER  
1923

SONDERDRUCK  
AUS  
LANDOLT-BÖRNSTEIN  
ROTH-SCHEEL  
PHYSIKALISCH-CHEMISCHE TABELLEN  
FÜNFTE AUFLAGE

ISBN-13:978-3-642-89424-4 e-ISBN-13:978-3-642-91280-1  
DOI: 10.1007/978-3-642-91280-1

SOFTCOVER REPRINT OF THE HARDCOVER 1ST EDITION 1923

## Berichtigung.

---

S. 91 oberste Zeilen:

Silberchlorid AgCl lies  $a_w = 5,56$  statt  $a_w = 2,78$   
Silberbromid AgBr „  $a_w = 5,78$  „  $a_w = 2,89$

S. 93 oberste Zeilen:

Rutil  $\text{TiO}_2$  lies  $a = 4,52$  statt  $a = 9,04$   
„  $c = 2,92$  „  $c = 5,84$   
Zinnstein  $\text{SnO}_2$  „  $a = 4,67$  „  $a = 9,34$   
„  $c = 3,14$  „  $c = 6,29$

Atomkonstanten.

# Inhaltsverzeichnis.

Tabelle	Seite
Atomgewichte für 1923 . . . . .	4
1. Periodisches System der Elemente . . . . .	5
2. Isotopengemische mit in der Natur konstantem Verbindungsgewicht und Reinelemente . . .	5
3. Radioaktive und zugehörige inaktive Isotope . . . . .	6
4. Die radioaktiven Elemente . . . . .	6
5. Wärmewirkung radioaktiver Substanzen in Grammcalthorien pro Stunde . . . . .	14
6. Altersbestimmung von Mineralien . . . . .	14
7. Gegenseitiges Verhältnis der verschiedenen Maßeinheiten für Energie . . . . .	17
8. Lichtgeschwindigkeit im Vakuum . . . . .	17
9. Neuere Bestimmungen der Loschmidtschen Zahl $N$ . . . . .	18
10. Geschwindigkeit, Weglänge und Dimensionen der Gasmoleküle . . . . .	19
11. Tabelle minimaler Schichtdicken . . . . .	24
12. Literatur, betreffend Gasmoleküle und minimale Schichtdicken . . . . .	25
13. Elektrisches Elementarquantum, elektrochemisches Äquivalent und einige daraus abgeleitete Konstanten . . . . .	26
14. Spezifische Ladung des Elektrons . . . . .	27
15. Plancksches Wirkungselement . . . . .	28
16. Strahlungskonstanten . . . . .	31
17. Wellenlängen und Spektralbezirke des gesamten Spektrums . . . . .	33
18. Ultrarote Wellenlängen . . . . .	44
19. Compendien und Atlantenwerke mit photographischen Spektren . . . . .	45
20. Optische Serienspektren einiger Elemente . . . . .	46
21. Anregungs- und Ionisierungsspannungen ein- und mehratomiger Gase und Dämpfe . . . . .	66
22. Zahlenwerte der „Terme“ von Spektralserien . . . . .	73
23. Absorption und Zerstreuung von Röntgenstrahlen . . . . .	80
24. Krystallstrukturen . . . . .	85
25. Beweglichkeit der Ionen in den wichtigsten Gasen und Dämpfen . . . . .	95
26. Diffusionskoeffizient der Ionen in Gasen . . . . .	96
27. Koeffizient der gegenseitigen Wiedervereinigung der Ionen in verschiedenen Gasen . . . . .	97
28. Entladungsspannungen in Gasen . . . . .	98
29. Kathodengefälle der Glimmentladung . . . . .	110
30. Durchgang von Elektronen (Kathodenstrahlen, $\beta$ -Strahlen) durch Materie . . . . .	112
31. Langwellige Grenze (rotes Grenzlicht) der lichtelektrischen Wirkung . . . . .	113
32. Resonanzwellenlängen der selektiven lichtelektrischen Wirkung . . . . .	114

## Atomgewichte für 1923.

Ag	Silber . . . . .	107,88	Mo	Molybdän . . . . .	96,0
Al	Aluminium . . . . .	27,1	N	Stickstoff . . . . .	14,008
Ar	Argon . . . . .	39,88	Na	Natrium . . . . .	23,00
As	Arsen . . . . .	74,96	Nb	Niobium . . . . .	93,5
Au	Gold . . . . .	197,2	Nd	Neodym . . . . .	144,27
B	Bor . . . . .	10,88	Ne	Neon . . . . .	20,2
Ba	Barium . . . . .	137,37	Ni	Nickel . . . . .	58,68
Be	Beryllium . . . . .	9,02	O	Sauerstoff . . . . .	16,000
Bi	Wismuth . . . . .	209,00	Os	Osmium . . . . .	190,9
Br	Brom . . . . .	79,92	P	Phosphor . . . . .	31,04
C	Kohlenstoff . . . . .	12,00	Pb	Blei . . . . .	207,20
Ca	Calcium . . . . .	40,07	Pd	Palladium . . . . .	106,7
Cd	Cadmium . . . . .	112,40	Pr	Praseodym . . . . .	140,9
Ce	Cerium . . . . .	140,2	Pt	Platin . . . . .	195,2
Cl	Chlor . . . . .	35,46	Ra	Radium . . . . .	226,0
Co	Kobalt . . . . .	58,97	Rb	Rubidium . . . . .	85,44
Cr	Chrom . . . . .	52,0	Rh	Rhodium . . . . .	102,9
Cs	Caesium . . . . .	132,81	Ru	Ruthenium . . . . .	101,7
Cu	Kupfer . . . . .	63,57	S	Schwefel . . . . .	32,07
Dy	Dysprosium . . . . .	162,5	Sb	Antimon . . . . .	121,77
Em	Emanation . . . . .	222 <sup>1)</sup>	Sc	Scandium . . . . .	45,10
Er	Erbium . . . . .	167,7	Se	Selen . . . . .	79,2
Eu	Europium . . . . .	152,0	Si	Silicium . . . . .	28,3
F	Fluor . . . . .	19,00	Sm	Samarium . . . . .	150,4
Fe	Eisen . . . . .	55,84	Sn	Zinn . . . . .	118,70
Ga	Gallium . . . . .	70,1	Sr	Strontium . . . . .	87,63
Gd	Gadolinium . . . . .	157,3	Ta	Tantal . . . . .	181,5
Ge	Germanium . . . . .	72,5	Tb	Terbium . . . . .	159,2
H	Wasserstoff . . . . .	1,008	Te	Tellur . . . . .	127,5
He	Helium . . . . .	4,00	Th	Thorium . . . . .	232,12
Hg	Quecksilber . . . . .	200,6	Ti	Titan . . . . .	48,1
Ho	Holmium . . . . .	163,5	Tl	Thallium . . . . .	204,39
In	Indium . . . . .	114,8	Tu	Thulium . . . . .	169,4
Ir	Iridium . . . . .	193,1	U	Uran . . . . .	238,18
J	Jod . . . . .	126,92	V	Vanadium . . . . .	51,0
K	Kalium . . . . .	39,10	W	Wolfram . . . . .	184,0
Kr	Krypton . . . . .	82,9	X	Xenon . . . . .	130,2
La	Lanthan . . . . .	139,0	Y	Yttrium . . . . .	88,7
Li	Lithium . . . . .	6,94	Yb	Ytterbium . . . . .	173,5
Lu	Lutetium . . . . .	175,0	Zn	Zink . . . . .	65,37
Mg	Magnesium . . . . .	24,32	Zr	Zirkonium . . . . .	90,6
Mn	Mangan . . . . .	54,93			

Diese Atomgewichte sind im Juli 1921 von der deutschen Atomgewichtskommission (W. Ostwald als Vors., M. Bodenstein, O. Hahn, O. Hönigschmid, R. J. Meyer) zusammengestellt. (Ber. chem. Ges. 54, 181; 1921.) Die vorstehende Tabelle weist gegenüber der offiziellen insofern eine Veränderung auf, als bei einigen Atomgewichtszahlen, die mehr oder minder direkt auf die mit einer Unsicherheit von  $\frac{1}{10000}$  behaftete sekundäre Silberbasis bezogen sind, auch die zweite Dezimale nach einem Vorschlag von E. Moles als Subindex angegeben wird. Es handelt sich um die Elemente: Ba, Bi, Cd, Cs, Pb, Rb, Sn, Sr, Th, U. Damit wird der absoluten Präzision der Bestimmung dieser Werte Rechnung getragen.

Als Grundwerte, auf welche die anderen bezogen werden, gelten die folgenden Atomgewichte:

(O 16,0000)	H 1,0077	C 12,001	N 14,008	Cl 35,457	Br 79,916	Ag 107,88	K 39,095	S 32,070
----------------	-------------	-------------	-------------	--------------	--------------	--------------	-------------	-------------

<sup>1)</sup> Dichtebestimmungen von Emanation mit einer Mikrowage und Messungen der Ausströmungsgeschwindigkeit von Luft-Emanationsgemischen ergaben ungefähr obigen Wert, der aus Ra — He abgeleitet worden ist.

Periodisches System der Elemente.

Wertigkeit bzw. Gruppennummer Symbol Atomgewicht Ordnungszahl, (Kernladung)		I								I																																																				
		H 1,008 1								He 4,00 2																																																				
		I	II	III	IV	V	VI	VII	o	I	II	III	IV	V	VI	VII	o																																													
2	Li 6,9 3	Be 9,0 4	B 10,9 5	C 12,0 6	N 14,0 7	O 16,0 8	F 19,0 9	Ne 20,2 10	Na 23,0 11	Mg 24,3 12	Al 27,0 13	Si 28,1 14	P 31,0 15	S 32,1 16	Cl 35,5 17	Ar 39,9 18																																														
3	Die Atomvolumina und zahlreiche phys.-chem. Eigenschaften ändern sich periodisch in dem durch die Spaltbreite angedeuteten oder reziproken Sinn.																																																													
4	Ia	IIa	IIIa	IVa	Va	VIa	VIIa	VIII		Ib	IIb	IIIb	IVb	Vb	VIIb	o																																														
5	K 39,1 19	Ca 40,1 20	Sc 45,1 21	Ti 48,1 22	V 51,0 23	Cr 52,0 24	Mn 54,9 25	Fe 55,8 26	Co 59,0 27	Ni 58,7 28	Cu 63,6 29	Zn 65,4 30	Ga 70,1 31	Ge 72,5 32	As 75,0 33	Se 79,2 34	Br 79,9 35	Kr 82,9 36																																												
6	Rb 85,5 37	Sr 87,6 38	Y 88,7 39	Zr 90,6 40	Nb 93,5 41	Mo 96,0 42	?	Ru 101,7 44	Rh 102,9 45	Pd 106,7 46	Ag 107,9 47	Cd 112,4 48	In 114,8 49	Sn 118,7 50	Sb 121,8 51	Te 127,5 52	J 126,9 53	X 130,2 54																																												
7	Cs 132,8 55	Ba 137,4 56	seltene Erden 139,0 bis 178 s. unten 57 bis 72	Ta 181,5 73	W 184,0 74	?	Os 190,9 76	Ir 193,1 77	Pt 195,2 78	Au 197,2 79	Hg 200,6 80	Tl 204,4 81	Pb 207,2 82	Bi 209,0 83	Po 210 84	?	Em 222 86																																													
8	?	Ra 226,0 88	Ac 89	Th 232,1 90	Pa 238,2 91	U 238,2 92	<table border="1"> <tr> <td>La</td><td>Ce</td><td>Pr</td><td>Nd</td><td>?</td><td>Sm</td><td>Eu</td><td>Gd</td><td>Tb</td><td>Dy</td><td>Ho</td><td>Er</td><td>Tu I</td><td>Lu</td><td>Yb</td> </tr> <tr> <td>139,0</td><td>140,3</td><td>140,9</td><td>144,3</td><td>?</td><td>150,4</td><td>152,0</td><td>157,3</td><td>159,2</td><td>162,5</td><td>163,5</td><td>167,7</td><td>169,4</td><td>173,5</td><td>175,0</td> </tr> <tr> <td>57</td><td>58</td><td>59</td><td>60</td><td>61</td><td>62</td><td>63</td><td>64</td><td>65</td><td>66</td><td>67</td><td>68</td><td>69</td><td>70</td><td>71</td> </tr> </table>											La	Ce	Pr	Nd	?	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tu I	Lu	Yb	139,0	140,3	140,9	144,3	?	150,4	152,0	157,3	159,2	162,5	163,5	167,7	169,4	173,5	175,0	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
La	Ce	Pr	Nd	?	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tu I	Lu	Yb																																																
139,0	140,3	140,9	144,3	?	150,4	152,0	157,3	159,2	162,5	163,5	167,7	169,4	173,5	175,0																																																
57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71																																																

1) Das Element mit der Ordnungszahl 72 gehört nicht zu den seltenen Erden, wie früher angenommen, sondern ist ein höheres Homologe des Zirkons (Gruppe IV a). Vgl. Coster und v. Hevesy, Naturw. 11, 133; 1923.

2

Isotopengemische mit in der Natur konstantem Verbindungsgewicht und Reinelemente.

Nach den Methoden der Massenspektroskopie aufgefunden (soweit bis Ende Sept. 1921 festgestellt). Die Mengenverhältnisse sind durch die Reihenfolge der Zahlen angedeutet; wo genauere Angaben vorliegen, ist das Verhältnis durch die eingeklammerten Ziffern angedeutet; vgl. Mg und Rb. Unsichere Angaben stehen in [ ] Klammern.

		Verbindungs- gewicht	Isotope	Lit.			Verbindungs- gewicht	Isotope	Lit.
Ar	Argon . . .	39,9	40; 36	(1)	Kr	Krypton . .	82,92	84; 86; 82;	(1)
As	Arsen . . .	74,96	rein	(1)	Li	Lithium . .	6,94	83; 80; 78	(2)(3)
B	Bor . . . .	10,90	11; 10	(1)	Mg	Magnesium .	24,32	7; 6	(4)
Be	Beryllium .	9,1	rein	(3)	N	Stickstoff . .	14,008	24 (6); 25 (1);	(1)
Br	Brom . . . .	79,92	79; 81	(1)	Na	Natrium . .	23,00	26 (1)	(1)
C	Kohlenstoff .	12,00	rein	(1)	Ne	Neon . . . .	20,2	rein	(1)
Ca	Calcium . .	40,07	40; [39; 41]	(3)	Ni	Nickel . . .	58,68	20; 22; [21]	(1)
Cl	Chlor . . . .	35,46	35; 37	(1)	O	Sauerstoff . .	16,000	58; 60	(1)
Cs	Caesium . .	132,8	rein	(1)	P	Phosphor . .	31,04	rein	(1)
F	Fluor . . . .	19,00	rein	(1)	Rb	Rubidium . .	85,5	85 (3); 87 (1)	(1)
H	Wasserstoff .	1,008	rein	(1)	S	Schwefel . .	32,07	rein (?)	(1)
He	Helium . . .	4,00	rein	(1)	Si	Silicium . . .	28,3	28; 29; [30]	(1)
Hg	Quecksilber .	200,6	[197—200]; 202; 204	(1)	X	Xenon . . . .	130,2	129; 131; 132;	(1)
J	Jod . . . . .	126,92	rein	(1)				134; 136; [128; 130]	(1)
K	Kalium . . . .	39,10	39; 41	(1)					

Literatur:

1. F. W. A s t o n, Nat. 104, 334, 393; 1919; 105, 8, 547, 617; 1920; 106, 468; 1920; 107, 72, 334, 520; 1921. Phil. Mag. (6) 38, 707; 1919; 39, 449, 611; 1920; 40, 628; 1920; 42, 140, 436; 1921.
2. F. W. A s t o n u. C. P. T h o m s o n, Nat. 106, 827; 1921.
3. C. P. T h o m s o n, Nat. 107, 395; 1921; Phil. Mag. (6) 42, 857; 1921.
4. A. J. D e m p s t e r, Phys. Rev. (2) 17, 427; 1921. Proc. Amer. Acad. 7, 45; 1921.

### Radioaktive und zugehörige inaktive Isotope.

Im Gleichgewicht sind die Mengenverhältnisse proportional der mittleren Lebensdauer (vgl. Tab. 4). Die Verbindungsgewichte schwanken mit dem Mischungsverhältnis z. B. bei „Pb“ (RaG — ThD) zwischen 206 und 208. Beigefügt ist die Art der Strahlung;  $\alpha$ -Verwandlung (Atomgewichtsverlust = 4) bedingt Verschiebung in die zweitniedrigere Gruppe;  $\beta$ -Verwandlung (A. G. = konst.) in die nächsthöhere. Die A. G. der Pa-Ac-Familie sind innerhalb der Klammergrenzen unsicher.

#### Gruppen-Nummern.

A. G.	(Ib)	(IIb)	(IIIb)	(IVb)	(Vb)	(VIb)	(VIIb)	(VIII)	A. G.
204	—	—	Tl	—	—	—	—	—	204
206	—	—	—	RaG	—	—	—	—	206
207,2	—	—	—	Pb	—	—	—	—	207,2
(206—208)	—	—	$\beta$ AcC''	AcD	—	—	—	—	(206—208)
208	—	—	$\beta$ ThC''	ThD	—	—	—	—	208
209	—	—	—	—	Bi	—	—	—	209
210	—	—	$\beta$ RaC''	$\beta$ RaD	$\beta$ RaE	$\alpha$ RaF(Po)	—	—	210
(210—212)	—	—	—	$\beta$ AcB	$\alpha \beta$ AcC	$\alpha$ AcC'	—	—	(210—212)
212	—	—	—	$\beta$ ThB	$\alpha \beta$ ThC	$\alpha$ ThC'	—	—	212
214	—	—	—	$\beta$ RaB	$\alpha \beta$ RaC	$\alpha$ RaC'	—	—	214
(214—216)	—	—	—	—	—	$\alpha$ AcA	—	—	(214—216)
216	—	—	—	—	—	$\alpha$ ThA	—	—	216
218	—	—	—	—	—	$\alpha$ RaA	—	(O)	218
(218—220)	—	—	—	—	—	—	—	$\alpha$ AcEm	(218—220)
220	(Ia)	(IIa)	(IIIa)	(IVa)	(Va)	(VIa)	(VIIa)	$\alpha$ ThEm	220
222	—	—	—	—	—	—	—	$\alpha$ RaEm	222
(222—224)	—	$\alpha$ AcX	—	—	—	—	—	—	(222—224)
224	—	$\alpha$ ThX	—	—	—	—	—	—	224
226	—	$\alpha$ Ra	—	—	—	—	—	—	226
(226—227)	—	—	$\beta$ Ac	$\alpha$ RdAc	—	—	—	—	(226—227)
228	—	$\beta$ MsTh <sub>1</sub>	$\beta$ MsTh <sub>2</sub>	$\alpha$ RdTh	—	—	—	—	228
230	—	—	—	$\alpha$ Io	—	—	—	—	230
(230—231)	—	—	—	$\beta$ UY	$\alpha$ Pa	—	—	—	(230—231)
232,1	—	—	—	$\alpha$ Th	—	—	—	—	232,1
234	—	—	—	$\beta$ UX <sub>1</sub>	$\beta$ UX <sub>2</sub>	$\alpha$ U <sub>II</sub>	—	—	234
(234—235)	—	—	—	—	$\beta$ UZ	—	—	—	(234—235)
238,2	—	—	—	—	—	$\alpha$ U <sub>I</sub>	—	—	238,2

Literatur: Vgl. K. Fajans, Radioaktivität, Sammlung Vieweg, Heft 45.

### 4

#### Die radioaktiven Elemente.

In den folgenden Tabellen bedeuten  $\lambda$  die Zerfallswahrscheinlichkeit (Zerfallskonstante) gemäß  $N = N_0 e^{-\lambda t}$  ( $N_0$  und  $N$  die Anzahl der zur Zeit 0 und  $t$  vorhandenen Atome);  $\tau$  die mittlere Lebensdauer =  $1/\lambda$ ;  $T$  die Halbwertszeit (Halbwertszeit) ( $T = \log. \text{nat. } 2/\lambda = 0,6931471927/\lambda$ ; ( $a$  = Jahre,  $d$  = Tage,  $h$  = Stunden,  $m$  = Minuten,  $s$  = Sekunden);  $v$  die Anfangsgeschwindigkeiten der Korpuskeln, wobei für die  $\beta$ -Strahlen nur die Extreme angegeben sind;  $R_0$  die Reichweite bei 0° und 760 mm in Luft;  $k$  die Anzahl der von einem  $\alpha$ -Teilchen erzeugten Ionenpaare;  $\mu$  den Absorptionskoeffizienten in Aluminium bzw. Blei ( $J = J_0 e^{-\mu d}$ ;  $J, J_0$  Strahlungsintensität vor und nach Durchgang durch eine Schichtdicke  $d$ );  $D$  die Halbwertsdicke ( $D = 0,6931471927/\mu$ ).  $\gamma$ -Strahlung muß zwar zu allen Korpuskularstrahlen vorhanden sein, ist jedoch nur angeführt, wo derzeit dafür Konstante angebar sind.

Es gilt weiter:

Das Verhältnis Radium : Uran im Gleichgewicht =  $3,33 \cdot 10^{-7}$  bzw.  $3,4 \cdot 10^{-7}$ ;  
 die von 1 g Radium sekundlich ausgeschleuderte Anzahl von  $\alpha$ -Teilchen  $Z = 3,72 \cdot 10^{10}$ ;  
 die Reichweite bei 15°, 18°, 20°  $R_{15} = 1,055 R_0$ ;  $R_{18} = 1,066 R_0$ ;  $R_{20} = 1,073 R_0$ ;  
 die Beziehungen:  $v^3 = a_0 R_0$ ;  $a_0 = 1,07576 \cdot 10^{27}$ ;  $a_0^{1/3} = 1,02464 \cdot 10^9$ ;  $k = k_0 R_0^{2/3}$ ;  
 $k_0 = 6,735 \cdot 10^4$  wenn man die Daten für RaC der Berechnung zugrunde legt.

Radioaktive Konstanten des „Uran“.											
Substanz	Symbol, Atomgewicht, Ordnungszahl	$T$	$\lambda$	$\tau$	Strahlen	$v$ in cm/sec.	$R_0$ in cm Luft	$k \cdot 10^{-5}$	$\mu$ in $\text{cm}^{-1}$	$D$ in cm	Im Gleichgewicht vorhandene Gewichtsmenge
Uran I	U <sub>I</sub> 238,18 92	4,5 · 10 <sup>8</sup> a	1,54 · 10 <sup>-10</sup> a <sup>-1</sup>	6,5 · 10 <sup>8</sup> a	α	1,40 · 10 <sup>8</sup>	2,53	1,25	—	—	1,00
		1,42 · 10 <sup>17</sup> s	4,9 · 10 <sup>-18</sup> s <sup>-1</sup>	2,05 · 10 <sup>17</sup> s							
Uran X <sub>1</sub>	UX <sub>1</sub> 234 90	23,8 d	2,90 · 10 <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup>	34,4 d	β	—	—	—	460 Al	1,5 · 10 <sup>-3</sup> Al	1,4 · 10 <sup>-11</sup>
		2,06 · 10 <sup>6</sup> s	3,37 · 10 <sup>-7</sup> s <sup>-1</sup>	2,97 · 10 <sup>6</sup> s							
Uran X <sub>2</sub> (Brevium)	UX <sub>2</sub> 234 91	1,15 m	0,60 m <sup>-1</sup>	1,66 m	β	—	—	—	18 Al	3,8 · 10 <sup>-2</sup> Al	4,8 · 10 <sup>-16</sup>
		69 s	0,010 s <sup>-1</sup>	100 s							
Uran II	U <sub>II</sub> 234 92	ca. 2 · 10 <sup>8</sup> a	ca. 3 · 10 <sup>-7</sup> a <sup>-1</sup>	ca. 3 · 10 <sup>6</sup> a	α	1,46 · 10 <sup>8</sup>	2,91	1,37	—	—	ca. 4 · 10 <sup>-4</sup>
		„ 6 · 10 <sup>13</sup> s	„ 10 <sup>-14</sup> s <sup>-1</sup>	„ 8 · 10 <sup>13</sup> s							
Uran Y (3,4 Proz.)	UY 230 90	24,6 h	2,82 · 10 <sup>-2</sup> h <sup>-1</sup>	35,5 h	β	—	—	—	ca. 300 Al	ca. 2,3 · 10 <sup>-3</sup> Al	2 · 10 <sup>-14</sup>
		8,86 · 10 <sup>4</sup> s	7,81 · 10 <sup>-6</sup> s <sup>-1</sup>	1,28 · 10 <sup>5</sup> s							
Uran Z (ca. 2,5 Pro- mille)	UZ ? 91	6,7 h	0,103 h	9,7 h	β	—	—	—	170—58 Al	4,10 <sup>-3</sup> 1,2 · 10 <sup>-2</sup> Al	4 · 10 <sup>-16</sup>
2,41 · 10 <sup>4</sup> s	2,87 · 10 <sup>-5</sup> s <sup>-1</sup>	3,48 · 10 <sup>4</sup> s									



Radioaktive Konstanten der Ionium-Radium-Familie.						
Substanz	Symbol, Atomgewicht, Ordnungszahl	$T$	$\lambda$	$\tau$	Strahlen	$v$ in cm/sec
Ionium	Io	$9 \cdot 10^4 a$	$7,7 \cdot 10^{-6} a^{-1}$	$1,3 \cdot 10^5 a$	$\alpha$	$1,48 \cdot 10^9$
	230	$2,8 \cdot 10^{12} s$	$2,4 \cdot 10^{-13} s^{-1}$	$4,1 \cdot 10^{12} s$	—	—
	90				$\gamma$	—
Radium	Ra	$1580 a$	$4,38 \cdot 10^{-4} a^{-1}$	$2280 a$	$\alpha$	$1,51 \cdot 10^9$
	226,0	$4,99 \cdot 10^{10} s$	$1,39 \cdot 10^{-11} s^{-1}$	$7,21 \cdot 10^{10} s$	$\beta$	$1,56 \cdot 10^{10}; 1,95 \cdot 10^{10}$
	88				$\gamma$	—
Radium- Emanation	RaEm	$3,85 d$	$0,180 d^{-1}$	$5,56 d$	$\alpha$	$1,61 \cdot 10^9$
	222	$3,33 \cdot 10^5 s$	$2,082 \cdot 10^{-6} s^{-1}$	$4,80 \cdot 10^5 s$	—	—
	86				—	—
Radium A	RaA	$3,05 m$	$0,227 m^{-1}$	$4,40 m$	$\alpha$	$1,69 \cdot 10^9$
	218	$183 s$	$3,78 \cdot 10^{-3} s^{-1}$	$264 s$	—	—
	84				—	—
Radium B	RaB	$26,8 m$	$2,59 \cdot 10^{-2} m^{-1}$	$38,7 m$	—	—
	214	$1,61 \cdot 10^3 s$	$4,31 \cdot 10^{-4} s^{-1}$	$2,32 \cdot 10^3 s$	$\beta$	$1,08-2,22 \cdot 10^{10}$
	82				$\gamma$	—
Radium C	RaC	$19,5 m$	$3,55 \cdot 10^{-2} m^{-1}$	$28,1 m$	$\alpha$	$(1,57 \cdot 10^9)$
	214	$1,17 \cdot 10^3 s$	$5,93 \cdot 10^{-4} s^{-1}$	$1,69 \cdot 10^3 s$	$\beta$	$2,4-2,94 \cdot 10^{10}$
	83				$\gamma$	—
Radium C' (99,96 Proz.)	RaC'	ca. $10^{-6} s$	ca. $10^6 s$	ca. $10^{-6} s$	$\alpha$	$1,922 \cdot 10^9$
	214				—	—
	84				—	—
Radium C'' (0,04 Proz.)	RaC''	$1,32 m$	$0,525 m^{-1}$	$1,90 m$	—	—
	210	$79,2 s$	$8,7 \cdot 10^{-3} s^{-1}$	$115 s$	$\beta$	—
	81				$\gamma$	—
Radium D (Radioblei)	RaD	$16 a$	$4,33 \cdot 10^{-2} a^{-1}$	$23 a$	—	—
	210	$5,05 \cdot 10^8 s$	$1,37 \cdot 10^{-9} s^{-1}$	$7,3 \cdot 10^8 s$	$\beta$	$9,9 \cdot 10^9; 1,17 \cdot 10^{10}$
	82				$\gamma$	—
Radium E	RaE	$4,85 d$	$0,143 d^{-1}$	$7,0 d$	—	—
	210	$4,19 \cdot 10^5 s$	$1,66 \cdot 10^{-6} s^{-1}$	$6,05 \cdot 10^5 s$	$\beta$	um $2,31 \cdot 10^{10}$
	83				$\gamma$	—
Radium F (Polonium)	RaF(Po)	$136,5 d$	$5,08 \cdot 10^{-3} d^{-1}$	$197 d$	$\alpha$	$1,59 \cdot 10^9$
	210	$1,18 \cdot 10^7 s$	$5,88 \cdot 10^{-8} s^{-1}$	$1,70 \cdot 10^7 s$	—	—
	84				$\gamma$	—
Radium G (Uranblei)	RaG	—	stabil	—	—	—
	206,0					
	82					

Radioaktive Konstanten der Ionium-Radium-Familie.						
$R_0$ in cm Luft	$k \cdot 10^{-5}$	$\mu$ in cm	$D$ in cm	Strahlen	Im Gleichgewicht vorhandene Gewichtsmenge	Substanz
3,03 — —	1,41 — —	— — 1088; 22,7; 0,408 Al	— — $0,64 \cdot 10^{-3}$ ; $3,05 \cdot 10^{-2}$ ; 1,69 Al	$\alpha$ — $\gamma$	58	Ionium
3,21 — —	1,47 — —	— 312 Al 354; 16,3; 0,27 „	— $2,22 \cdot 10^{-3}$ Al $1,96 \cdot 10^{-3}$ ; $4,25 \cdot 10^{-2}$ ; 2,55 „	$\alpha$ $\beta$ $\gamma$	1,00	Radium
3,91 — —	1,67 — —	— — —	— — —	$\alpha$ — —	$6,56 \cdot 10^{-6}$	Radium-Emanation
4,48 — —	1,83 — —	— — —	— — —	$\alpha$ — —	$3,54 \cdot 10^{-9}$	Radium A
— — —	— — —	— 890; 77; 13,1 Al 230; 40; 0,51 „	— $8 \cdot 10^{-4}$ ; $9 \cdot 10^{-3}$ ; $5,3 \cdot 10^{-2}$ Al $3 \cdot 10^{-3}$ ; $1,73 \cdot 10^{-2}$ ; 1,36 „	$\beta$ $\gamma$	$3,05 \cdot 10^{-8}$	Radium B
(3,6?) — —	(1,57) — —	— 50; 13,5 Al 0,23; 0,127 „	— $1,39 \cdot 10^{-2}$ ; $5,13 \cdot 10^{-2}$ Al 3,0; 5,5 „	$\alpha$ $\beta$ $\gamma$	$2,22 \cdot 10^{-8}$	Radium C
6,600 — —	2,37 — —	— — —	— — —	$\alpha$ — —	ca. $10^{-17}$	Radium C' (99,96 Proz.)
— — —	— — —	— 1,49; 0,544 Pb	— 0,47; 1,27 Pb	$\beta$ $\gamma$	$6 \cdot 10^{-13}$	Radium C'' (0,04 Proz.)
— — —	— — —	— 5500 Al 45; 0,99 „	— $1,26 \cdot 10^{-4}$ Al $1,54 \cdot 10^{-2}$ ; 0,70 „	$\beta$ $\gamma$	$9,41 \cdot 10^{-3}$	Radium D (Radioblei)
— — —	— — —	— 43 Al 45; 0,99 „	— $1,6 \cdot 10^{-2}$ Al $1,54 \cdot 10^{-2}$ ; 0,70 „	$\beta$ $\gamma$	$7,77 \cdot 10^{-6}$	Radium E
3,72 — —	1,62 — —	— — 585 Al	— — $1,18 \cdot 10^{-3}$ Al	$\alpha$ — $\gamma$	$2,19 \cdot 10^{-4}$	Radium F (Polonium)
—	—	—	—	—	—	Radium G (Uranblei)

Radioaktive Konstanten der Actinium-Familie.						
Substanz	Symbol, Atomgewicht, Ordnungszahl	$T$	$\lambda$	$\tau$	Strahlen	$\nu$ in cm/sec
Protactinium	Pa (230—231) 91	$1,2 \cdot 10^4 a$ $3,8 \cdot 10^{11} s$	$6 \cdot 10^{-5} a^{-1}$ $1,9 \cdot 10^{-12} s^{-1}$	$1,7 \cdot 10^4 a$ $5,4 \cdot 10^{11} s$	$\alpha$ — —	$1,55 \cdot 10^9$ — —
Actinium	Ac (226—227) 89	$20 a$ $6,3 \cdot 10^8 s$	$3,4 \cdot 10^{-2} a^{-1}$ $1,08 \cdot 10^{-9} s^{-1}$	$29 a$ $9,2 \cdot 10^8 s$	— $\beta$ —	— — —
Radioactinium	RdAc (226—227) 90	$18,9 d$ $1,63 \cdot 10^8 s$	$3,66 \cdot 10^{-2} d^{-1}$ $4,24 \cdot 10^{-7} s^{-1}$	$27,3 d$ $2,36 \cdot 10^8 s$	$\alpha$ $\beta$ $\gamma$	$1,68 \cdot 10^9$ $1,14; 1,26; 1,47; 1,95 \cdot 10^{10}$ —
Actinium X	AcX (222—224) 88	$11,2 d$ $9,7 \cdot 10^5 s$	$6,17 \cdot 10^{-2} d^{-1}$ $7,14 \cdot 10^{-7} s^{-1}$	$16,2 d$ $1,40 \cdot 10^8 s$	$\alpha$ — —	$1,65 \cdot 10^9$ — —
Actinium-Emanation	AcEm (218—220) 86	$3,92 s$	$0,177 s^{-1}$	$5,66 s$	$\alpha$ — —	$1,81 \cdot 10^9$ — —
Actinium A	AcA (214—216) 84	$2 \cdot 10^{-3} s$	$3,5 \cdot 10^2 s^{-1}$	$3 \cdot 10^{-3} s$	$\alpha$ — —	$1,89 \cdot 10^9$ — —
Actinium B	AcB (210—212) 82	$36,1 m$ $2,17 \cdot 10^3 s$	$1,92 \cdot 10^{-2} m^{-1}$ $3,20 \cdot 10^{-4} s^{-1}$	$52,1 m$ $3,13 \cdot 10^3 s$	— $\beta$ $\gamma$	— — —
Actinium C	AcC (210—212) 83	$2,16 m$ $130 s$	$0,321 m^{-1}$ $5,35 \cdot 10^{-3} s^{-1}$	$3,12 m$ $187 s$	$\alpha$ $\beta$ —	$1,78 \cdot 10^9$ — —
Actinium C'	AcC' (210—212) 84 (0,16 Proz.)	$ca. 5 \cdot 10^{-3} s$	$ca. 140 s^{-1}$	$ca. 7 \cdot 10^3 s$	$\alpha$ — —	$(1,9 \cdot 10^9)$ — —
Actinium C''	AcC'' (206—208) 81 (99,84 Proz.)	$4,76 m$ $286 s$	$0,146 m^{-1}$ $2,43 \cdot 10^{-3} s^{-1}$	$6,87 m$ $412 s$	— $\beta$ $\gamma$	— $1,8; 1,98; 2,22; 2,73 \cdot 10^{10}$ —
Actinium D (Actiniumblei)	AcD (206—208) 82	—	stabil	—	—	—

Radioaktive Konstanten der Actinium-Familie.						
$R_0$ in cm Luft	$\lambda \cdot 10^{-5}$	$\mu$ in $\text{cm}^{-1}$	$D$ in cm	Strahlen	Im Gleichgewicht zu $Ra = 1$ vorhandene Gewichtsmenge*)	Substanz
3,48 — —	1,55 — —	— — —	— — —	$\alpha$ — —	ca. 0,2	Protactinium
— — —	— — —	— — —	— — —	— $\beta$ —	$4,5 \cdot 10^{-4}$	Actinium
4,43 — —	1,82 — —	— 175 Al 25; 0,19 „	— $4 \cdot 10^{-3}$ Al $2,77 \cdot 10^{-2}$ ; 3,65 „	$\alpha$ $\beta$ $\gamma$	$1,16 \cdot 10^{-6}$	Radioactinium
4,14 — —	1,74 — —	— — —	— — —	$\alpha$ — —	$6,76 \cdot 10^{-7}$	Actinium X
5,49 — —	2,10 — —	— — —	— — —	$\alpha$ — —	$2,69 \cdot 10^{-12}$	Actinium-Emanation
6,24 — —	2,28 — —	— — —	— — —	$\alpha$ — —	$1,39 \cdot 10^{-15}$	Actinium A
— — —	— — —	— groß 120; 31; 0,45 Al	— klein $5,77 \cdot 10^{-3}$ ; $2,23 \cdot 10^{-2}$ ; 1,54 Al	— $\beta$ $\gamma$	$1,43 \cdot 10^{-9}$	Actinium B
5,22 — —	2,03 — —	— — —	— — —	$\alpha$ $\beta$ —	$0,85 \cdot 10^{-10}$	Actinium C
(6,1) — —	(2,3) — —	— — —	— — —	$\alpha$ — —	$3,4 \cdot 10^{-15}$	Actinium C' (0,16 Proz.)
— — —	— — —	— 28,5 Al 0,198 „	— $2,4 \cdot 10^{-2}$ Al 3,5 „	— $\beta$ $\gamma$	$1,84 \cdot 10^{-10}$	Actinium C'' (99,84 Proz.)
—	—	—	—	—	*) für das Abzweignungsverhältnis 3,4 %.	Actinium D (Actiniumblei)

Radioaktive Konstanten der Thorium-Familie.						
Substanz	Symbol, Atomgewicht, Ordnungszahl	$T$	$\lambda$	$\tau$	Strahlen	$v$ in cm/sec
Thorium	Th 232,12 90	ca. $2 \cdot 10^{10} a$ ,, $7 \cdot 10^{17} s$	ca. $3 \cdot 10^{-11} a^{-1}$ ,, $10^{-18} s^{-1}$	ca. $3 \cdot 10^{10} a$ ,, $10^{18} s$	$\alpha$ — —	$1,44 \cdot 10^9$ — —
Mesothor 1	MsTh 1 228 88	$6,7 a$ $2,1 \cdot 10^8 s$	$0,103 a^{-1}$ $3,26 \cdot 10^{-9} s^{-1}$	$9,7 a$ $3,05 \cdot 10^8 s$	$\beta$ — —	— — —
Mesothor 2	MsTh 2 228 89	$6,2 h$ $2,23 \cdot 10^4 s$	$0,112 h^{-1}$ $3,1 \cdot 10^{-5} s^{-1}$	$8,9 h$ $3,2 \cdot 10^4 s$	$\beta$ $\gamma$ —	— $1,11 - 1,98 \cdot 10^{10}$ —
Radiothor	RdTh 228 90	$1,90 a$ $6,0 \cdot 10^7 s$	$0,365 a^{-1}$ $1,16 \cdot 10^{-8} s^{-1}$	$2,74 a$ $8,65 \cdot 10^7 s$	$\alpha$ $\beta$ —	$1,60 \cdot 10^9$ $1,41 \cdot 10^{10}$ ; $1,53 \cdot 10^{10}$ —
Thor X	ThX 224 88	$3,64 d$ $3,14 \cdot 10^5 s$	$0,190 d^{-1}$ $2,20 \cdot 10^{-6} s^{-1}$	$5,25 d$ $4,54 \cdot 10^5 s$	$\alpha$ — —	$1,64 \cdot 10^9$ — —
Thor-Emanation	ThEm 220 86	$54,5 s$	$1,27 \cdot 10^{-2} s^{-1}$	$78,7 s$	$\alpha$ — —	$1,73 \cdot 10^9$ — —
Thor A	ThA 216 84	$0,14 s$	$4,95 s^{-1}$	$0,20 s$	$\alpha$ — —	$1,80 \cdot 10^9$ — —
Thor B	ThB 212 82	$10,6 h$ $3,82 \cdot 10^4 s$	$6,54 \cdot 10^{-2} h^{-1}$ $1,82 \cdot 10^{-5} s^{-1}$	$15,3 h$ $5,51 \cdot 10^4 s$	$\beta$ $\gamma$ —	— $1,89 \cdot 10^{10}$ ; $2,16 \cdot 10^{10}$ —
Thor C	ThC 212 83	$60,8 m$ $3,65 \cdot 10^3 s$	$1,14 \cdot 10^{-2} m^{-1}$ $1,90 \cdot 10^{-4} s^{-1}$	$87,7 m$ $5,26 \cdot 10^3 s$	$\alpha$ $\beta$ —	$1,70 \cdot 10^9$ $2,79 \cdot 10^{10}$ ; $2,85 \cdot 10^{10}$ —
Thor C' (65 Proz.)	ThC' 212 84	ca. $10^{-11} s$	ca. $10^{11}$	ca. $10^{-11} s$	$\alpha$ — —	$2,06 \cdot 10^9$ — —
Thor C'' (35 Proz.)	ThC'' 208 81	$3,20 m$ $192 s$	$0,217 m^{-1}$ $3,61 \cdot 10^{-3} s^{-1}$	$4,62 m$ $277 s$	$\beta$ $\gamma$ —	— $0,87 \cdot 10^{10}$ ; $1,08 \cdot 10^{10}$ —
Thor D (Thoriumblei)	ThD 208 82	—	stabil	—	—	—
Kalium und Rubidium.						
Symbol, Atomgewicht, Ordnungszahl	Größenordnung der mittleren Lebensdauer	Strahlen	$v$ in cm/sec	$\mu$ in $cm^{-1} Al$	$D$ in cm Al	
K; 39,1; 19	$10^{12} a$	$\beta$	ca $2,5 \cdot 10^{10}$	ähnlich UX <sub>2</sub>		
Rb; 85,5; 37	$10^{11} a$	$\beta$	$1,8 \cdot 10^{10}$	347	$2 \cdot 10^{-3}$	

Literatur: J. Elster u. H. Geitel, Jahrb. Rad. 10, 323, 1913; St. Meyer u. E. v. Schweidler, Radioaktivität, Teubner 1916, S. 430; O. Hahn u. M. Rothenbach, Phys. ZS. 20, 194, 1919.

## Radioaktive Konstanten der Thorium-Familie.

$R_0$ in cm Luft	$k \cdot 10^{-5}$	$\mu$ in $\text{cm}^{-1}$	$D$ in cm	Strahlen	Im Gleichgewicht vorhandene Gewichtsmenge	Substanz
2,75 — —	1,32 — —	— — —	— — —	$\alpha$ — —	$3,3 \cdot 10^9$	Thorium
— — —	— — —	— — —	— — —	$\beta$ — —	1,00	Mesothor I
— — —	— — —	40 — 20 Al 26; 0,116 Al; 0,64 Pb	$3,4 \cdot 10^{-2}$ — $1,8 \cdot 10^{-2}$ Al 0,027; 5,98 Al · 1,1 Pb	$\beta$ $\gamma$	$1,05 \cdot 10^{-4}$	Mesothor 2
3,81 — —	1,64 — —	— groß —	— klein —	$\alpha$ $\beta$ —	0,28	Radiothor
4,13 — —	1,73 — —	— — —	— — —	$\alpha$ — —	$1,46 \cdot 10^{-3}$	Thor X
4,80 — —	1,92 — —	— — —	— — —	$\alpha$ — —	$2,48 \cdot 10^{-7}$	Thor-Emanation
5,39 — —	2,07 — —	— — —	— — —	$\alpha$ — —	$6,24 \cdot 10^{-10}$	Thor A
— — —	— — —	153 Al 160; 32; 0,36 Al	$4,5 \cdot 10^{-3}$ Al $4,3 \cdot 10^{-3}$ ; $2,2 \cdot 10^{-2}$ ; 1,9 Al	$\beta$ $\gamma$	$1,67 \cdot 10^{-4}$	Thor B
4,53 — —	1,85 — —	— 14,4 Al —	— $4,8 \cdot 10^{-2}$ Al —	$\alpha$ $\beta$ —	$1,60 \cdot 10^{-5}$	Thor C
8,17 — —	2,73 — —	— — —	— — —	$\alpha$ — —	ca. $10^{-20}$	Thor C' (65 Proz.)
— — —	— — —	21,6 Al 0,096 Al · 0,46 Pb	$3,2 \cdot 10^{-2}$ Al 7,22 Al; 1,5 Pb	$\beta$ $\gamma$	$2,88 \cdot 10^{-7}$	Thor C'' (35 Proz.)
— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	—	Thor D (Thoriumblei)

Literatur bis 1920 vgl. St. Meyer, Jahrb. Rad. 17, 80; 1920. Ferner:  
 S. C. Lind u. L. D. Roberts, Journ. Amer. chem. Soc. 42, 1170; 1920 (zu Ra/U).  
 O. Hahn, Naturw. 9, 84, 236; 1921; Ber. chem. Ges. 54, 1131; 1921 (zu UZ).  
 W. Bothe u. G. Lechner, ZS. Phys. 5, 335; 1921 (zu RaEm, T = 3,810 d).  
 M. Curie, Journ. phys. (6) 1, 12; 1920 (zu Po, T = 140 d).  
 O. Hahn u. L. Meitner, Ber. chem. Ges. 54, 69; 1921 (zu Pa).  
 E. Rutherford, Phil. Mag. (6) 41, 570; 1921; Nat. 107, 246; 1921 und  
 A. B. Wood, Phil. Mag. (6) 41, 575; 1921 (zu ThC') (ca.  $10^{-4}$  Partikel des ThC' haben eine Reichweite  $R_{15} = 11,3$  cm).  
 H. Geiger, ZS. Phys. 8, 45; 1921 (zu R).  
 G. H. Henderson, Phil. Mag (6) 42, 538; 1921 (zu R).  
 A. Piccard u. E. Stahel, Arch. sc. phys. (5) 3, 541; 1921 (zu UX<sub>1</sub>, UX<sub>2</sub> und Ac).



### Altersbestimmung von Mineralien aus ihrem Bleigehalt.

Voraussetzung ist, daß die enthaltenen Bleiarten (RaG, AcD, ThD) primär radioaktiven Ursprunges sind.  $\frac{\text{RaG(Pb)}}{\text{U}} = 0,87(\lambda t + \frac{1}{2}\lambda^2 t^2 + \dots)$ ;  $\lambda$  = Zerfallskonstante des U; Alter  $= \frac{\text{Pb}}{\text{U}} \cdot 7900 \cdot 10^6$  Jahre. Bei Thorgehalt ist U zu ersetzen durch das Uranäquivalent (U + 0,384 Th).

#### A. Uranmineralien.

Serie	Mineral	Fundort	$\frac{\text{Pb}}{\text{U}}$	Mittleres Alter Geologische Epoche und Bemerkungen
I	Uraninit	Glastonbury Conn. U. S. A.	0,041	Carbon 320 Millionen Jahre
	"	"	0,043	
	"	"	0,040	
	"	"	0,042	
	"	"	0,040	
			} Mittel 0,041	
II	Uraninit	Spruce Pine Nord-Karolina	0,051*	Cambrium bis Tertiär (?): 370 Millionen Jahre (Ursprüngliches Blei berücksichtigt = 260 Millionen Jahre) * Atomgewicht des Bleis: 206,4 (Richards und Lembert)
	"	"	0,055*	
	"	"	0,049*	
	"	Marietta, S. C.	0,046	
	Zirkon	Nord-Karolina	0,047	
			} Mittel 0,048	
III	Zirkon	Brevig, Norwegen	0,040	wahrscheinlich Mittel-Devon 340 Millionen Jahre (Thorblei berücksichtigt: 300 Millionen Jahre)
	"	"	0,046	
	Pyrochlor	"	0,048	
	Biotit	"	0,044	
	Zirkon	"	0,041	
			} Mittel 0,044	
IV	Uraninit	Anneröd, Norwegen	0,13	Mittel-Präcambrium 1000 Millionen Jahre * Atomgewicht des Bleis: 206,06 (Hönigschmid und St. Horovitz)
	"	"	0,12	
	Annerödite	"	0,15	
	Uraninit	Elvestad, Norwegen	0,14	
	"	Skaartorp	0,135	
	"	Huggenäsken	0,13	
			} Mittel 0,13	
V	Cleveit	Arendal, Norwegen	0,19*	Mittel-Präcambrium 1300 Millionen Jahre * Atomgewicht des Bleis: 206,08 (Richards und Wadsworth)
	Uraninit	"	0,18	
	"	"	0,17	
	"	"	0,17	
	Xenotim	Naresto, Norwegen	0,21	
			} Mittel 0,18	
VI	Fergusonit	Ytterby, Schweden	0,17	Mittel-Präcambrium (Serarchäische Granite) 1000 Millionen Jahre
	Gadolinit	"	0,15	
			} Mittel 0,16	
VII	Uraninit	Villeneuve, Quebec, Ontario	0,17	Mittel-Präcambrium 1200 Millionen Jahre
VIII	Uraninit	Morogoro, Ostafrika	0,094*	Geol. Alter unbestimmt, jünger als IX, X. 700 Millionen Jahre * Atomgewicht des Bleis: 206,05 (Hönigschmid und St. Horovitz)
	"	"	0,092	
			} Mittel 0,093	
IX	Zirkon	Nrassi-Bassin Mozambique	0,17	Geologisches Alter unbestimmt, jünger als X. 1100 Millionen Jahre
	"	Monapo-Fluß Mozambique	0,15	
	"	"	0,15	
	Biotit	Ligonia, Zambesia	0,14	
			} Mittel 0,15	
X	Zirkon	Mozambique	0,21	Geologisches Alter unbekannt: Von den ältesten gneisähnlichen Gra- niten. 1500 Millionen Jahre

Literaturzusammenstellung: R. W. Lawson, Naturw. 5, 429; 1917.



## Altersbestimmung von Mineralien aus ihrem Bleigehalt.

## B. Thormineralien.

Mineral	Fundort	Uran	Thor	Blei	$\frac{\text{Th}}{\text{U}}$	
Freyalith . . . . .	} Brevig (Mitteldevon), Norwegen	0,0526	6,33	0,0028	120,3	
Tritomit . . . . .		0,0631	5,15	0,0026	81,6	
Thorit . . . . .		0,4072	29,20	0,0196	71,7	
„ . . . . .		0,7200	49,43	0,0810	68,6	
„ . . . . .		0,7000	47,25	0,0760	67,5	
Orangit . . . . .		1,2437	49,44	0,0570	39,7	
„ . . . . .		1,1825	45,03	0,0542	38,1	
Homolit . . . . .		0,2442	2,90	0,0121	11,9	
Mosandrit . . . . .		0,0432	0,287	0,0024	6,64	
Eudidymit . . . . .		0,0090	0,036	0,0007	4,00	
Eucolit . . . . .		0,0170	0,040	0,0012	2,35	
Thorit . . . . .		10,1040	14,20	0,4279	1,41	
Zirkon . . . . .		0,1460	0,114	0,0055	0,78	
„ . . . . .		0,1941	0,082	0,0085	0,42	
Pyrochlor . . . . .		0,1855	0,075	0,0093	0,40	
Ägerin . . . . .		0,0253	0,007	0,0015	0,28	
Zirkon . . . . .		0,9310	0,141	0,0370	0,15	
Biotit . . . . .		0,1602	0,017	0,0069	0,11	
Thorit . . . . .		Langesund	0,45	30,1	0,35	66,9
„ . . . . .		Ceylon, Sab.-Provinz	1,03	57,0	0,4	55,3
„ . . . . .	Ceylon	3,5	59,2	0,78	16,4	
„ . . . . .	„	4,57	62,8	1,28	13,7	
Thorianit . . . . .	Ceylon, Sab.-Provinz	11,8	68,9	2,34	5,84	
„ . . . . .	„ Galle- „	20,2	62,7	3,11	3,10	
„ . . . . .	„ „ „	26,8	57,0	3,5	2,13	
Pechblende . . . . .	Ceylon	72,88	7,7	4,65	0,106	

Mineralien	Fundort	$\frac{\text{Pb}}{\text{U}}$	$\frac{\text{Pb}}{(\text{U} + 0,384 \text{ Th})}$	Alter in Millionen Jahren	Verbindungs- gewicht des Blei	
Freyalith . . . . .	} Brevig (Mitteldevon), Norwegen	0,053	0,0011	8,7	—	
Tritomit . . . . .		0,041	0,0013	10,3	—	
Thorit . . . . .		0,048	0,0017	13,4	—	
„ . . . . .		0,112	0,0041	32,4	—	
„ . . . . .		0,109	0,0040	31,6	—	
Orangit . . . . .		0,046	0,0028	22,1	—	
„ . . . . .		0,046	0,0029	22,9	—	
Homolit . . . . .		0,050	0,0089	70,3	—	
Mosandrit . . . . .		0,056	0,0156	123,2	—	
Eudidymit . . . . .		0,078	0,031	—	—	
Eucolit . . . . .		0,071	0,037	—	—	
Thorit . . . . .		0,042	0,028	—	—	
Zirkon . . . . .		0,038	0,029	—	—	
„ . . . . .		0,044	0,038	0,038	300	—
Pyrochlor . . . . .		0,050	0,043	—	—	
Ägerin . . . . .		0,059	0,054	—	—	
Zirkon . . . . .		0,040	0,038	—	—	
Biotit . . . . .		0,043	0,041	—	—	
Thorit . . . . .		Langesund	0,78	0,029	230	207,9
„ . . . . .		Ceylon, Sab.-Provinz	0,39	0,017	138	207,77
„ . . . . .	Ceylon	0,22	0,030	235	—	
„ . . . . .	„	0,28	0,045	352	—	
Thorianit . . . . .	Ceylon, Sab.-Provinz	0,198	0,061	482	207,21	
„ . . . . .	„ Galle- „	0,154	0,070	555	206,91	
„ . . . . .	„ „ „	0,131	0,072	569	206,84	
Pechblende . . . . .	Ceylon	0,064	0,061	484	—	

Literatur: R. W. Lawson, Wien. Ber. 126 [2a], 721; 1917. — O. Hönigschmid, ZS. Elch. 23, 161; 1917; 25, 91; 1919.

Gegenseitiges Verhältnis der verschiedenen Maßeinheiten für Energie.

Definitionen.

**1 Erg** ist die Arbeit, welche die Kraft Eins (1 Dyn) bei Verschiebung ihres Angriffspunktes in ihrer Richtung um die Längeneinheit (1 cm) leistet.  
**1 Volt-Ampere × sec = 1 Wattsekunde = 1 Joule** wird geleistet, wenn der Strom von 1 Ampere im Widerstande von 1 Ohm während 1 Sekunde fließt.  
**1 15°-Calorie** ist die Wärmemenge, die erforderlich ist, um 1 g Wasser bei 15° C um 1° zu erwärmen.  
**1 Literatmosphäre** ist die Arbeit, die der Vermehrung des Volumens um 1 Liter unter dem konstanten Drucke von 1 Atmosphäre (= 1013300 Dyn/cm<sup>2</sup>) entspricht.  
**1 Meterkilogramm** ist die Arbeit, die durch Hebung von 1 kg um 1 m entgegen der Anziehungskraft der Erde unter 45° Breite im Meeresniveau geleistet wird.  
 Die letzte Horizontalreihe enthält die auf ein Molekül bezogene **Gaskonstante R**, ausgedrückt in den verschiedenen Einheiten, samt den zugehörigen Logarithmen.  
 Für die Beziehungen zwischen den verschiedenen Einheiten werden, soweit sie nicht aus den obigen Angaben hervorgehen oder willkürliche Festsetzungen sind, die Ergebnisse folgender Arbeiten zugrunde gelegt:  
 für Wattsekunde/Erg: **E. Grüneisen** u. **E. Giebe**, Ann. d. Phys. **63**, 179—200; 1920.  
 für Wattsekunde/Calorie: **W. Jaeger** u. **H. v. Steinwehr**, Ann. d. Phys. **64**, 305—366; 1921.  
 Der Wert der Gaskonstanten wurde der Veröffentlichung von **F. Henning**, ZS. Phys. **6**, 69—72; 1921 entnommen. Die den Umrechnungen zugrunde gelegten Ausgangswerte sind fett gedruckt.

	Erg	Internationale Watt × sec	15°-Calorie	Liter × Atmosphäre	kg-Gew. × Meter	Pferdestärke × sec
1 Erg =	1	0,9995 · 10 <sup>-7</sup>	2,3887 · 10 <sup>-8</sup>	9,869 · 10 <sup>-10</sup>	1,0198 · 10 <sup>-8</sup>	1,3597 · 10 <sup>-10</sup>
log brigg =		0,99978 - 8	0,37816 - 8	0,99427 - 10	0,00850 - 8	0,13343 - 10
1 Watt × sec =	<b>1,00051 · 10<sup>7</sup></b>	1	2,3899 · 10 <sup>-1</sup>	9,874 · 10 <sup>-3</sup>	1,0203 · 10 <sup>-1</sup>	1,3604 · 10 <sup>-8</sup>
log brigg =	7,00022		0,37838 - 1	0,99449 - 3	0,00872 - 1	0,13366 - 3
1 15°-Calorie =	4,1868 · 10 <sup>7</sup>	<b>4,184<sub>2</sub></b>	1	4,131 · 10 <sup>-2</sup>	4,2690 · 10 <sup>-1</sup>	5,692 · 10 <sup>-8</sup>
log brigg =	7,62183	0,62161		0,61603 - 2	0,63033 - 1	0,75526 - 3
1 Literatmosphäre =	1,0133 · 10 <sup>9</sup>	1,0128 · 10 <sup>9</sup>	2,4205 · 10	1	<b>1,0333 · 10</b>	1,3776 · 10 <sup>-1</sup>
log brigg =	9,00573	2,00552	1,38391		1,01423	0,13913 - 1
1 kg-Gew. × Meter =	<b>9,806<sub>2</sub> · 10<sup>7</sup></b>	9,801 <sub>3</sub>	2,342 <sub>5</sub>	9,678 · 10 <sup>-2</sup>	1	1,3333 · 10 <sup>-2</sup>
log brigg =	7,99150	0,99128	0,36968	0,98577 - 2		0,12494 - 2
1 Pferdestärke × sec =	7,355 · 10 <sup>9</sup>	7,351 · 10 <sup>2</sup>	1,756 <sub>8</sub> · 10 <sup>2</sup>	7,259	<b>75,00</b>	1
log brigg =	9,86656	2,86635	2,24472	0,86086	1,87506	
R =	<b>8,313 · 10<sup>7</sup></b>	8,309	1,986	8,204 · 10 <sup>-2</sup>	8,481 · 10 <sup>-1</sup>	1,1307 · 10 <sup>-2</sup>
log brigg =	7,91976	0,91955	0,29798	0,91403 - 2	0,92843 - 1	0,05335 - 2

v. Steinwehr.

8

Lichtgeschwindigkeit im Vakuum.

1. Methode von Römer (Umlaufzeit der Jupitermonde). Aus den Beobachtungen von Glasenapp in Verbindung mit einem von Bouquet de la Grye (C. r. <b>129</b> , 986; 1899) beobachteten Werte der Sonnenparallaxe berechnet Chwolson (Lehrbuch <b>2</b> , 248; Braunschweig 1904) . . . . .	2,988 · 10 <sup>10</sup> cm sec <sup>-1</sup>
2. Methode von Bradley (Aberration des Lichtes). Chwolson (l. c. 250) berechnet aus den neuesten astronomischen Konstanten . .	2,982 · 10 <sup>10</sup> „
3. Methode von Fizeau (Rotierendes Rad). Cornu, vgl. unten . . . . .	3,004 · 10 <sup>10</sup> „
Perrotin, C. r. <b>135</b> , 881; 1902 . . . . .	2,9988 · 10 <sup>10</sup> „
4. Methode von Foucault (Rotierender Spiegel). Foucault, C. r. <b>55</b> , 501; 1862. Pogg. Ann. <b>118</b> , 485, 589; 1863 . . . . .	2,98 · 10 <sup>10</sup> „
Michelson, Astron. Papers, prepared for the use of the Amer. Ephemeris and Nautical Almanac. 1882 . . . . .	2,9994 · 10 <sup>10</sup> „
5. Elektrische Methode. Die Quadratwurzel aus dem Verhältnis der elektrostatischen und elektromagnetischen Kapazität, die theoretisch gleich der Lichtgeschwindigkeit ist, beträgt nach Rosa u. Dorsey, Bull. Bur. of Stand. <b>3</b> , 601; 1907, umgerechnet von E. Grüneisen u. E. Giebe, Ann. d. Phys. <b>63</b> , 179; 1920, auf Grund der Beziehung 1 int. Ohm = 1,00051 abs. Ohm . . . . .	2,9979 · 10 <sup>10</sup> „

Kritische Zusammenstellungen:

Weinberg, Journ. russ. **30**, 150; 1898. Beibl. **23**, 25; 1899.  
 Cornu, Rapp. Congr. Intern. de Phys., Paris **2**, 225; 1900.  
 Michelson, Phil. Mag. (6) **3**, 330; 1902.

## Neuere Bestimmungen der Loschmidtschen Zahl $N$ .

Zahl der Moleküle im Grammmolekül. Lit. S. 19.

Es sind nur die derzeit als einwandfrei geltenden Methoden und von jeder derselben nur die genauesten Resultate angeführt. Die zuverlässigsten Werte sind fett gedruckt.

Beobachter	Jahr	$N \cdot 10^{-22}$	Methode
<b>Aus der Brownschen Bewegung:</b>			
Perrin . . . . .	1908—1911	60—75	Sedimentationsgleichgewicht an gleichkörnigen Hydrosolen von Gummigutt und Mastix in Wasser.
Westgren . . . . .	1915	<b>60,4</b> <b>60,5</b>	Sedimentationsgleichgewicht an gleichkörnigen Hydrosolen von Gold in Wasser.
Fürth . . . . .	1917	64	Sedimentation eines Einzelteilchens.
Perrin . . . . .	1908—1911	55—80	Translationsbewegung von Gummigutt und Mastixteilchen.
Svedberg und Inouye . .	1909	62	Translationsbewegung von Goldteilchen.
Przibram . . . . .	1912	62—63	Translationsbewegung nicht kugelförmiger Teilchen ( <i>Bacillus subtilis</i> ).
Fürth . . . . .	1919	59—68	Doppelseitige Erstpassagezeiten an Gummigutt und Öltröpfen in Wasser.
Perrin . . . . .	1910	65	Rotationsbewegung an Gummigutt in Wasser.
Westgren . . . . .	1918	60,9 ± 3,0	Konzentrationschwankungen an Goldhydrosolen.
<b>Aus der kinetischen Gastheorie:</b>			
Reinganum u. Rappenecker	1909	62	Aus innerer Reibung und Raumerfüllung verschiedener Gase und Dämpfe nach der Theorie von Reinganum.
Eucken u. Chapman . . .	1913	63	Aus kritischen Daten und freier Weglänge nach Chapmans Theorie für einfache Gase.
Jäger . . . . .	1911	61,2	Aus dem Reibungskoeffizienten und dem inneren Druck von Flüssigkeiten.
Bakker . . . . .	1914	68,5	Aus der Struktur der Capillarschicht.
Einstein . . . . .	1906	66	Aus der inneren Reibung von Zuckerlösungen.
<b>Aus dem Zerstreungskoeffizienten des Lichtes:</b>			
Kamerling Onnes u. Keesom	1908	75	Kritische Opalescenz von Äthylen.
Zernike . . . . .	1915	<b>62—65</b>	Kritische Opalescenz von Gemischen: Nitrobenzol-Diisobutyl, Methylenjodid-Pentamethylen.
Fürth . . . . .	1915	77	Kritische Opalescenz von Gemischen: Phenol-Wasser.
Fowler . . . . .	1914	60,5 ± 0,4	Transmissionskoeffizient des Sonnenlichtes auf dem Mount Wilson.
Dember . . . . .	1916	64	Extinktion des Sonnenlichtes in der Atmosphäre auf dem Pic von Teneriffa.
<b>Aus der Strahlung des schwarzen Körpers:</b>			
Warburg u. Mitarbeiter .	1915	} 60 ± 1	Aus dem Planckschen Strahlungsgesetz nach Messungen der Strahlungskonstanten $c_2$ u. $\sigma$ .
Gerlach . . . . .	1920		
<b>Aus dem elektrischen Elementarquantum:</b>			
Hierzu kann jede Bestimmung des elektrischen Elementarquantums herangezogen werden, die den Wert der Loschmidtschen Zahl nicht benötigt. Vgl. hierzu Tab. 141. Die genaueste Bestimmung liefert:			
Millikan . . . . .	1917	<b>60,62 ± 0,06</b>	Ladungsbestimmungen an Öltröpfen und Faradaysche Konstante der Elektrolyse.
<b>Aus radioaktiven Messungen:</b>			
Gleditsch . . . . .	1916	} 62,7—64,2 } 64,5	Bildungsgeschwindigkeit des Ra und Zählung der $\alpha$ -Teilchen.
Hess u. Lawson . . . . .	1918		
Boltwood u. Rutherford .	1911		
Rutherford . . . . .	1914		
Rutherford u. Robinson .	1913	59,5	Aus der Wärmeentwicklung des Ra und der Anfangsgeschwindigkeit der $\alpha$ -Teilchen.

Fürth.

## Neuere Bestimmungen der Loschmidtschen Zahl $N$ .

### Literatur.

- |  |  |
|--|--|
| <p><b>Bakker</b>, ZS. phys. Ch. <b>89</b>, 1; 1914.<br/> <b>Boltwood u. Rutherford</b>, Ph. Mag. (6) <b>22</b>, 556; 1911.<br/> <b>Chapman</b>, Phil. Trans. (A) <b>211</b>, 481; 1912.<br/> <b>Dember</b>, Ann. d. Phys. (4) <b>49</b>, 590; 1916.<br/> <b>Einstein</b>, Ann. d. Phys. (4) <b>19</b>, 289; 1906.<br/> <b>Eucken</b>, Phys. ZS. <b>14</b>, 324; 1913.<br/> <b>Fowler</b>, Journ. Wash. Acad. <b>4</b>, 529; 1914.<br/> <b>Fürth</b>, Wien. Ber. <b>124</b> [2a], 577; 1915. Ann. d. Phys. (4) <b>53</b>, 177; 1917. Ann. d. Phys. (4) <b>59</b>, 409; 1919.<br/> <b>Gerlach</b>, ZS. f. Phys. <b>2</b>, 76; 1920.<br/> <b>Gleditsch</b>, Sill. Journ. <b>41</b>, 112; 1916.<br/> <b>Hess u. Lawson</b>, Wien. Ber. <b>127</b> [2a], 405; 1918.</p> | <p><b>Jäger</b>, Wien. Ber. <b>120</b> [2a], 635; 1911.<br/> <b>Kamerlingh Onnes u. Keesom</b>, Comm. Leiden. 1908.<br/> <b>Millikan</b>, Phil. Mag. (6) <b>34</b>, 1; 1914.<br/> <b>Perrin</b>, Die Atome. Leipzig 1914.<br/> <b>Przibram</b>, Wien. Ber. <b>121</b> [2a], 2339; 1912.<br/> <b>Rappenecker</b>, Dissertation Freiburg 1909.<br/> <b>Rutherford</b>, Phil. Mag. (6) <b>28</b>, 320; 1914.<br/> <b>Rutherford u. Robinson</b>, Ph. Mag. (6) <b>25</b>, 312; 1913.<br/> <b>Svedberg</b>, Die Existenz der Moleküle. Leipzig 1912.<br/> <b>Westgren</b>, ZS. anorg. Ch. <b>95</b>, 231; 1915. Ark. f. Mat., Astr. och Fysik <b>13</b>, Nr. 14; 1918.<br/> <b>Warburg</b>, Ann. d. Phys. <b>48</b>, 410; 1915.<br/> <b>Zernike</b>, Dissertation Amsterdam 1915.<br/> <span style="display: block; text-align: right;">Fürth.</span></p> |
|--|--|

### 10

## Geschwindigkeit, Weglänge und Dimensionen der Gasmoleküle.

Lit. Tab. 12, S. 25.

### A. Berechnet mit Benutzung des Koeffizienten der inneren Reibung der Substanz.

Nach **S. Valentiner**, diese Tab. 4. Aufl. 1912, und **J. P. Kuenen**, Die Eigenschaften der Gase, Leipzig 1919.

$\Omega$  = Molekulargeschwindigkeit bei  $0^\circ\text{C}$  in cm/sec. nach **Maxwell**, berechnet mit Benutzung der Atomgewichtstabelle für das Jahr 1921 nach der Formel:  $\Omega^2 = \frac{8}{\pi} \cdot 273 \frac{R}{m}$ , worin  $m$  das Molekulargewicht der Substanz und  $R = 8,315 \cdot 10^7$  ist.

$L$  = Mittlerer Weg in cm, den ein Gas- oder Dampfmolekül zwischen zwei aufeinanderfolgenden Zusammenstößen mit anderen Molekülen durchlaufen würde, wenn die Substanz bei  $0^\circ$  und 1 Atmosphäre Druck sich im gasförmigen Zustande befände, = „molekulare Weglänge bei  $0^\circ\text{C}$  und dem Druck von 1 Atmosphäre“ in cm.  $L$  ist aus den Werten der Koeffizienten  $\eta_0$  der inneren Reibung bei  $0^\circ\text{C}$  nach der Formel  $L = \frac{\pi}{8} \frac{1}{0,49} \frac{1}{1013250} \cdot \eta_0 \cdot \Omega$  berechnet.

Wegen des Faktors 0,49 vgl. **Kuenen** (S. 37 und 136); in der 4. Auflage dieser Tabellen wurde statt 0,49 der Berechnung von  $L$  der Faktor 0,3097 (**O. E. Meyer**, Kinetische Theorie der Gase, S. 189) zugrunde gelegt.

$Q$  = Gesamtquerschnitt aller in  $1\text{ cm}^3$  Gas bei  $0^\circ\text{C}$  und dem Druck von 1 Atmosphäre vorhandenen Moleküle in  $\text{cm}^2$ , wenn die Substanz unter diesen Bedingungen sich im gasförmigen Zustande befände, berechnet nach der Formel  $Q = \frac{1}{4\sqrt{2}L}$ . In der 4. Auflage

dieser Tabellen war der Rechnung die Formel  $Q = \frac{1 \cdot 31}{4\sqrt{2}L}$  zugrunde gelegt; die dort angegebenen Werte sind daher das  $\frac{1,31 \cdot 0,31}{0,49} = 0,83$  fache der hier unten mitgeteilten Zahlen. Wegen des Faktors 1,31 vgl. **Jeans** (S. 236 ff.). Die Theorie von **Jeans**, die zu dem Faktor 1,31 führt, ist jetzt durch den Faktor 0,49 in der Formel für  $L$  berücksichtigt.

$Q_{\text{corr}} = \frac{Q}{1 + \frac{C}{273}}$ , worin  $C$  die **Sutherland**sche Konstante der Temperaturabhängigkeit des Reibungskoeffizienten ist [Sutherland (1)]. (Vgl. hierzu Tabelle 55.)

$\sigma_0$  = Molekulardurchmesser in cm, berechnet nach der Formel:  $Q_{\text{corr}} = \frac{\pi}{4} \sigma_0^2 \cdot N$ , worin  $N = 2,77 \cdot 10^{19}$  die Anzahl der Moleküle in  $1\text{ cm}^3$  bei  $0^\circ$  und einem Druck von 1 Atmosphäre bedeutet. Die in der 4. Auflage dieser Tabellen mitgeteilten Zahlen sind infolge dieses Zusammenhanges mit  $Q$  das 0,91 fache der hier angegebenen Werte.

## Geschwindigkeit, Weglänge und Dimensionen der Gasmoleküle.

(Fortsetzung.)

Lit. Tab. 12, S. 25.

Welche Werte der Koeffizienten der inneren Reibung bei der Rechnung benutzt worden sind, geht aus Spalte 8 der folgenden Tabelle hervor, in welcher die Beobachter der Reibungskoeffizienten angegeben sind. (Abkürzungen: Br. = Breitenbach; G. = Graham; Kl. = Kleint; K. = Koch; M. u. Sch. = Meyer u. Schumann; v. O. = v. Obermayer; P. = Pedersen; P. = Pulu; R. = Rankine; Ra. = Rappenecker; Sch. = Schumann; Schi. = Schierloh; Schu. = Schultze; St. = Steudel.) Für die Substanzen, bei denen nur unsichere oder gar keine Bestimmungen des Reibungskoeffizienten für die Temperatur  $0^\circ\text{C}$ , wohl aber brauchbare Bestimmungen bei höherer Temperatur vorliegen, wurde der Wert des Reibungskoeffizienten aus den Versuchen bei höherer Temperatur entweder auf Grund bekannter Temperaturabhängigkeit (Kenntnis der Sutherlandschen Konstante) oder mittels der Formel  $\eta_0 = \eta_t \left(\frac{273}{T}\right)^{1,5}$  für die Temperatur  $0^\circ$  extrapoliert. In Spalte 9 sind die Temperaturen  $t = T - 273$  angegeben, für die der Reibungskoeffizient, der als Ausgangspunkt der Rechnung diente, von dem genannten Beobachter bestimmt oder berechnet wurde.

Substanz	Formel	$\Omega$	$L \cdot 10^8$	$Q \cdot 10^{-2}$	$Q_{\text{corr}} \cdot 10^{-2}$	$\sigma_0 \cdot 10^9$	Beobachter	$t$
Aceton . . . . .	$\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$	31 560	163	1080	313	38	Ra.	100°
Äthylacetat . . . . .	$\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$	25 630	134	1250	388	42	Ra.	100
Äthyläther . . . . .	$\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}$	27 940	156	1125	515	48	Ra.	100
Äthylalkohol . . . . .	$\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$	35 440	215	817	279	36	Ra.	100
Äthylbromid . . . . .	$\text{C}_2\text{H}_5\text{Br}$	23 040	279	632			St.	38,4
Äthylbutyrat . . . . .	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_2$	22 320	167	1079			M. u. Sch.	119,8
Äthyl-i-butyrat . . . . .	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_2$	22 320	160	1010			M. u. Sch.	110,2
Äthylchlorid . . . . .	$\text{C}_2\text{H}_5\text{Cl}$	29 940	210	838			v. O.	0
Äthylen . . . . .	$\text{C}_2\text{H}_4$	45 420	345	510	279	36	Br.	0
Äthylenbromid . . . . .	$\text{C}_2\text{H}_4\text{Br}_2$	17 550	169	1039			St.	131,6
Äthylenchlorid . . . . .	$\text{C}_2\text{H}_4\text{Cl}_2$	24 180	215	820			St.	83,5
Äthylidenchlorid . . . . .	$\text{C}_2\text{H}_4\text{Cl}_2$	24 180	228	771			St.	59,9
Äthylenchlorobromid . . . . .	$\text{C}_2\text{H}_4\text{ClBr}$	20 080	195	904			St.	104,5
Äthylformiat . . . . .	$\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_2$	27 950	263	669			M. u. Sch.	53,7
Äthyljodid . . . . .	$\text{C}_2\text{H}_5\text{J}$	18 820	226	779			St.	72,3
Äthylpropionat . . . . .	$\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_2$	23 800	133	1322			Sch.	0
Äthylpropyläther . . . . .	$\text{C}_5\text{H}_{12}\text{O}$	25 620	109	1605			P.	100
Äthyl-i-propyläther . . . . .	$\text{C}_5\text{H}_{12}\text{O}$	25 620	114	1535			P.	100,2
Äthylvalerat . . . . .	$\text{C}_7\text{H}_{14}\text{O}_2$	21 080	151	1185			M. u. Sch.	134
Ameisensäure . . . . .	$\text{CH}_2\text{O}_2$	35 450	198	888			M. u. Sch.	99,9
Ammoniak . . . . .	$\text{NH}_3$	58 270	441	400			G.	0
Amylbutyrat . . . . .	$\text{C}_9\text{H}_{18}\text{O}_2$	19 120	110	1600			M. u. Sch.	178,7
Amyl-i-butyrat . . . . .	$\text{C}_9\text{H}_{18}\text{O}_2$	19 120	124	1420			M. u. Sch.	169,0
Amylformiat . . . . .	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_2$	22 320	162	1088			M. u. Sch.	122,7
Amylpropionat . . . . .	$\text{C}_8\text{H}_{16}\text{O}_2$	20 030	127	1385			M. u. Sch.	160,2
Argon . . . . .	Ar	38 080	635	276	169	28	Schi.	0
Benzol . . . . .	$\text{C}_6\text{H}_6$	27 220	138	1274	357	41	Ra.	100
Brom . . . . .	$\text{Br}_2$	19 090						
Bromoform . . . . .	$\text{CHBr}_3$	15 130	156	1128			St.	151,2
Buttersäure . . . . .	$\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$	25 630	131	1343			M. u. Sch.	161,7
i-Buttersäure . . . . .	$\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$	25 630	127	1384			M. u. Sch.	152,0
i-Butylacetat . . . . .	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_2$	22 320	124	1425			Sch.	0
Butylalkohol normal . . . . .	$\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}$	27 940	185	953			St.	116,9
Butylalkohol tertiär . . . . .	$\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}$	27 940	237	742			St.	82,9
i-Butylalkohol . . . . .	$\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}$	27 940	194	911			St.	108,4
i-Butylbromid . . . . .	$\text{C}_4\text{H}_9\text{Br}$	20 550	189	934			St.	92,3
i-Butylbutyrat . . . . .	$\text{C}_8\text{H}_{16}\text{O}_2$	20 030	134	1316			M. u. Sch.	156,9
i-Butyl-i-butyrat . . . . .	$\text{C}_8\text{H}_{16}\text{O}_2$	20 030	132	1342			M. u. Sch.	146,5
Butylchlorid normal . . . . .	$\text{C}_4\text{H}_9\text{Cl}$	25 000	203	871			St.	78
„ tertiär . . . . .	$\text{C}_4\text{H}_9\text{Cl}$	25 000	228	775			St.	52
i-Butylchlorid . . . . .	$\text{C}_4\text{H}_9\text{Cl}$	25 000	211	833			St.	68,5
i-Butylformiat . . . . .	$\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_2$	23 800	134	1310			Sch.	0
Butyljodid . . . . .	$\text{C}_4\text{H}_9\text{J}$	17 730	158	1115			St.	130
i-Butyljodid . . . . .	$\text{C}_4\text{H}_9\text{J}$	17 730	166	1062			St.	120
i-Butylpropionat . . . . .	$\text{C}_7\text{H}_{14}\text{O}_2$	21 080	149	1185			M. u. Sch.	136,8
i-Butylvalerat . . . . .	$\text{C}_8\text{H}_{14}\text{O}_2$	19 120	113	1560			M. u. Sch.	168,7
Chlor . . . . .	$\text{Cl}_2$	28 560	287	607	276	36	G.	0

Valentiner.

## Geschwindigkeit, Weglänge und Dimensionen der Gasmoleküle.

(Fortsetzung.)

Lit. Tab. 12, S. 25.

Substanz	Formel	$\Omega$	$L \cdot 10^8$	$Q \cdot 10^{-2}$	$Q_{\text{corr}} \cdot 10^{-2}$	$\sigma_0 \cdot 10^9$	Beobachter	$t$
Chloräthylchlorid . . .	$C_2H_4Cl_2$	24 300	206	854			St.	113,6°
Chloroform . . . . .	$CHCl_3$	22 010	167	1052	508	48	Ra.	100
Chlorwasserstoff . . .	$HCl$	39 820	433	405			G.	0
Cyan . . . . .	$C_2N_2$	33 340	249	705			G.	0
Dimethyläther . . . .	$C_2H_6O$	35 440	197	871			P.	100
Dipropyläther . . . .	$C_6H_{14}O$	23 800	93	1895			P.	100,1
Di-i-propyläther . . .	$C_6H_{14}O$	23 800	99	1775			P.	100,2
Essigsäure . . . . .	$C_2H_4O_2$	31 040	152	1052			M. u. Sch.	119,1
Helium . . . . .	He	120 400	1798	98	76	19	Schu.	0
Jod . . . . .	$J_2$	15 150						
Kohlendioxid . . . .	$CO_2$	36 250	397	443	221 <sup>1)</sup>	32	Br.	0
Kohlenoxyd . . . . .	CO	45 450	584	301	219 <sup>1)</sup>	32	G.	0
Krypton . . . . .	Kr	26 410	487	361	214	32	R.	0
Luft . . . . .	$O_2, N_2$	44 690	608	289	203	31	R.	0
Methan . . . . .	$CH_4$	60 060	493	358	—		G.	0
Methylacetat . . . . .	$C_3H_6O_2$	27 950	159	1106	324	38	Ra.	100
Methyläther . . . . .	$C_2H_6O$	35 440	191	920			P.	99,85
Methyläthyläther . . .	$C_3H_8O$	31 030	158	1150			P.	100
Methylalkohol . . . .	$CH_4O$	42 490	327	539			St.	66,8
Methylbutyrat . . . .	$C_5H_{10}O_2$	23 800	186	949			M. u. Sch.	102,4
Methyl-i-butyrat . . .	$C_5H_{10}O_2$	23 800	132	1335			Sch.	0
Methylchlorid . . . .	$CH_3Cl$	33 850	264	668	251	34	Br.	0
Methylformiat . . . .	$C_2H_4O_2$	31 040	205	859			Sch.	0
Methyljodid . . . . .	$CH_3J$	20 180	293	600			St.	44,0
Methylpropionat . . .	$C_4H_8O_2$	25 630	208	848			M. u. Sch.	78,8
Methyl-i-propyläther .	$C_4H_{10}O$	27 950	137	1290			P.	100,12
Methylvalerat . . . .	$C_6H_{12}O_2$	22 320	169	1043			M. u. Sch.	116,7
Neon . . . . .	Ne	53 510	1258	140	116	23	R.	0
i-Pentan . . . . .	$C_5H_{12}$	28 320	140	1260	444	45	Ra.	100
Propionsäure . . . . .	$C_3H_6O_2$	31 560	158	1113			Sch.	139,8
Propylacetat . . . . .	$C_5H_{10}O_2$	23 800	129	1365			Sch.	0
Propylalkohol . . . .	$C_3H_8O$	31 030	310	799			St.	97,4
i-Propylalkohol . . .	$C_3H_8O$	31 030	266	659			St.	82,8
Propylbromid . . . .	$C_3H_7Br$	21 690	224	788			St.	70,8
i-Propylbromid . . . .	$C_3H_7Br$	21 690	224	788			St.	60
Propylbutyrat . . . .	$C_7H_{14}O_2$	21 080	145	1214			M. u. Sch.	142,7
Propyl-i-butyrat . . .	$C_7H_{14}O_2$	21 080	140	1264			M. u. Sch.	135,0
Propylchlorid . . . .	$C_3H_7Cl$	27 140	245	717			St.	46,4
i-Propylchlorid . . . .	$C_3H_7Cl$	27 140	263	669			St.	37,0
Propylformiat . . . .	$C_4H_8O_2$	25 630	219	803			M. u. Sch.	80,2
Propyljodid . . . . .	$C_3H_7J$	18 450	190	927			St.	102,0
i-Propyljodid . . . .	$C_3H_7J$	18 450	192	919			St.	89,3
Propylpropionat . . .	$C_6H_{12}O_2$	22 330	155	1135			M. u. Sch.	122,2
Propyl-i-propyläther .	$C_6H_{14}O$	23 800	97	1820			P.	100,1
Propylvalerat . . . .	$C_8H_{16}O_2$	20 030	134	1310			M. u. Sch.	155,9
Quecksilber . . . . .	Hg	17 000	217	810			K.	300
Sauerstoff . . . . .	$O_2$	42 510	647	272	182	29	Kl.	0
Schwefelkohlenstoff .	$CS_2$	27 560	201	874			Pu.	0
Schwefelwasserstoff .	$H_2S$	41 190	375	469			G.	0
Schweflige Säure . . .	$SO_2$	30 040	290	606			G.	0
Stickoxyd . . . . .	NO	43 900	570	309		29	G.	0
Stickoxydul . . . . .	$N_2O$	36 250	387	455	212	32	v. O.	0
Stickstoff . . . . .	$N_2$	45 430	599	294	205	31	Kl.	0
Tetrachlorkohlenstoff	$CCl_4$	19 390	206	854			St.	76,7
Trichloräthan . . . .	$C_2H_3Cl_3$	20 820	218	808			St.	74,2
Valeriansäure . . . . .	$C_5H_{10}O_2$	23 800	122	1425			M. u. Sch.	174,5
Wasserdampf . . . . .	$H_2O$	56 650	404	435	145	26	Pu.	0
Wasserstoff . . . . .	$H_2$	169 200	1123	157	117	23	Kl.	0
Xenon . . . . .	X	21 080	350	501	261	35	R.	0

<sup>1)</sup> Die Sutherlandsche Konstante von Fisher bestimmt.

## Geschwindigkeit, Weglänge und Dimensionen der Gasmoleküle.

(Fortsetzung.)

Lit. Tab. 12, S. 25.

B. Von verschiedenen Forschern auf verschiedenen Wegen gewonnene Werte des Durchmessers  $\sigma$  der Gasmoleküle.

Substanz	$\sigma_0 \cdot 10^9$	$\sigma \cdot 10^9$	Beobachter und Nr. der Methode s. unten	Substanz	$\sigma_0 \cdot 10^9$	$\sigma \cdot 10^9$	Beobachter und Nr. der Methode s. unten
Aceton . . . .	38	71	Jäger 4	Luft . . . . .		32	Lenard 10
Äthyläther . .	48	76	" "	" "		33	Ramsauer 10
Äthylalkohol .	36	52	" "	" "		22 (17)	Altberg 11
Äthylen . . .	36	21	Dorn 1	Methan . . . . .	—	> 23	Dorn 1
" "		33	Sutherland (2) 5	Methylalkohol . .	—	40	Jäger 4
Ammoniak . .	—	16	Exner 2	Quecksilber . . .	—	35	Goldhammer 3
Argon . . . .	28	> 16	Rudorf 2	" "		35	Henry 14
" "		27	Sutherland (2) 5	Sauerstoff . . . .	29	> 16	Exner 2
" "		30	Chapman 5	" "		27	Sutherland (2) 5
" "		25	Rankine (2) 5	" "		26,5	Keesom 7
" "		29	Chapman 6	" "		39	Debye 9
" "		35	van Laar 8	" "		26	Robinson 10
" "		31	Robinson (1) 10	" "		21 (16)	Altberg 11
Brom . . . . .	—	34	Rankine (2) 5	Schwefelkohlenstoff	—	73	Jäger 4
Chlor . . . . .	—	19	Exner 2	Schwefelwasserstoff	—	> 22	Exner 2
" "		38	Sutherland (2) 5	Schweflige Säure .	—	> 17	Exner 2
" "		32	Rankine (2) 5	Silber — Luft . .	—	26	Born-Bormann 13
Chloroform . .	48	80	Jäger 4	Stickoxyd . . . .	—	> 16	Exner 2
Chlorwasserstoff	—	18	Exner 2	" "		26	Sutherland (2) 5
Cyan . . . . .	—	19	Exner 2	Stickoxydul . . .	32	> 18	Dorn 1
Helium . . . .	19	> 6	Dorn (2) 1	" "		33	Sutherland (2) 5
" "		> 5,6	Rudorf 1	Stickstoff . . . .	31	> 17	Exner 2
" "		19	Sutherland (2) 5	" "		30	Sutherland (2) 5
" "		19	Chapman 5	" "		31	Chapman 5
" "		23	Chapman 6	" "		35	Chapman 6
" "		32	van Laar 8	" "		29,8	Keesom 7
" "		29	Robinson (2) 10	" "		35	Robinson 10
" "		26	Ramsauer 10	" "		33	Ramsauer 10
Jod . . . . .	—	38	Rankine (2) 5	" "		23	Altberg 11
Kohlendioxyd .	32	> 18	Dorn 1	Wasserdampf . . .	—	> 9	Exner 2
" "		29	Sutherland (2) 5	Wasserstoff . . . .	23	> 14	Dorn 1
" "		30	Chapman 5	" "		22	Sutherland (2) 5
" "		34	Chapman 6	" "		24	Chapman 5
" "		34	Robinson 10	" "		23	Chapman 6
" "		19	Altberg 11	" "		23,2	Keesom 7
Kohlenoxyd . .	32	> 19	Dorn 1	" "		32	van Laar 8
" "		27	Sutherland (2) 5	" "		29	Debye 9
" "		35	Robinson 10	" "		39	Robinson 10
Krypton . . . .	32	27	Rankine (2) 5	" "		39	Ramsauer 10
Luft . . . . .	31	> 19	Dorn 1	" "		24	Franck u. Hertz 12
" "		29	Sutherland (2) 5	Xenon . . . . .	35	30	Rankine 5

## Methoden.

1. Dorn (1881), aus Dielektrizitätskonstanten  $\kappa$   $\left( \frac{\pi}{6} N \sigma^3 = \frac{\kappa - 1}{\kappa + 2} \right)$ .

2. Exner (1885), Rudorf (1909), aus Brechungsexponenten.

3. Goldhammer (1913), aus Dispersions- und Absorptionstheorie.

4. Jäger, aus kinetischer Energie der Moleküle und Kapillardruck.

5. Sutherland (1909), Chapman (1911), Rankine (1915), aus Reibungskoeffizienten, entsprechend der Rechnungsweise (A).

6. Chapman (1911), aus v. d. Waals' Zustandsgleichung  $\left( b = \frac{2\pi}{3} N \sigma^3 \right)$ ,

7. Keesom (1921), aus 1. Virialkoeffizient der Zustandsgleichung von K. Onnes.

## Geschwindigkeit, Weglänge und Dimensionen der Gasmoleküle.

(Fortsetzung.)

Lit. Tab. 12, S. 25.

## Methoden. (Fortsetzung.)

8. van Laar (1914), aus Annahme über Atomkräfte und Temperaturkoeffizient des Kovolumens  $b$  in der v. d. Waalsschen Gleichung.
9. Debye (1910), aus Radiometereffekt nach Beobachtungen von Knudsen.
10. Lenard (1903), Robinson (1910), Mayer (1921), Ramsauer (1921), aus Absorptionsmessungen langsamer Kathodenstrahlen nach Lenard.
11. Altberg (1912), aus der Beweglichkeit schnellster (monomolekularer) Elektrizitätsträger nach Lenard; die Resultate, gewonnen an positiven Trägern, sind nicht eingeklammert, die an negativen Trägern gewonnenen sind eingeklammert.
12. Franck und Hertz (1912), aus Weglängen von Gasionen bei Ionenemission eines glühenden Drahtes.
13. Born und Bormann (1920) fanden aus direkter Messung der Weglänge von Silbermolekülen in Luft als Summe von Silber- und Luftmolekülradius  $26 \cdot 10^{-9}$  cm.
14. Henry (1912), aus Verdampfungswärme und Oberflächenspannung der Flüssigkeit; diese Methode gibt außer bei Quecksilber viel kleinere Werte als die übrigen; vgl. z. B. auch Herz (1915) Moleküldurchmesser organischer Flüssigkeiten.

C. Durchmesser  $\sigma'$  von Ionen in Lösungen.

1. Aus Beobachtungen der Refraktion in Lösungen nach Heydweiller (1913).

Substanz	$\sigma' \cdot 10^9$	Substanz	$\sigma' \cdot 10^9$	Substanz	$\sigma' \cdot 10^9$
Barium . . . . .	30 cm	Fluor . . . . .	14 cm	Rubidium . . . . .	26 cm
Blei . . . . .	35	Jod . . . . .	37	Silber . . . . .	27
Brom . . . . .	32	Kalium . . . . .	24	Strontium . . . . .	26
Cadmium . . . . .	27	Kupfer . . . . .	24	Thallium . . . . .	33
Caesium . . . . .	29	Lithium . . . . .	18	Wasserstoff . . . . .	17
Calcium . . . . .	24	Magnesium . . . . .	20	Zink . . . . .	24
Chlor . . . . .	27	Natrium . . . . .	19		

2. Aus Beobachtungen der Ionenbeweglichkeiten (Diffusionskoeffizienten) in wäßrigen und nicht wäßrigen Lösungen von The Svedberg (seit 1909), R. Lorenz (seit 1910), Walden (seit 1909), nach der Formel von Einstein (1905):

- für Durchmesser elementarer Ionen in wäßrigen Lösungen Werte um  $27 \cdot 10^{-9}$  cm (im allgemeinen übereinstimmend mit den Werten der Durchmesser der freien Atome);
- für Durchmesser elementarer Ionen in nicht wäßrigen Lösungen Werte um  $53 \cdot 10^{-9}$  cm (Walden 1920);
- für Durchmesser zusammengesetzter, organischer Ionen in wäßrigen und nicht wäßrigen Lösungen Werte um  $53 \cdot 10^{-9}$  cm (Walden 1920).

D. Trägheitsmomente  $J$  einiger Moleküle.

Nach Eucken (1920).

Substanz	$J \cdot 10^{40}$		
	aus Beob. im sichtb. u. ultrav. Spektrum	aus Dampfdruckkurve u. Rotationswärme	aus Molekülmodellen
Ammoniak . . . . .	—	0,91	—
Bromwasserstoff . . . . .	3,26*)	—	—
Chlorwasserstoff . . . . .	2,59*)	—	—
Fluorwasserstoff . . . . .	1,33*)	—	—
Kohlendioxyd . . . . .	(174,0?)	(8,6?)	—
Kohlenoxyd . . . . .	15	14,7	14,1
Sauerstoff . . . . .	9,5	(48?)	11,0
Stickstoff . . . . .	14,2	14,7	12,2
Wasserdampf . . . . .	3,2; 2,25; 0,98	2,15	—
Wasserstoff . . . . .	< 0,185	0,143	0,29

\*) Nach A. Kratzer, ZS. Phys. 3, 289; 1920.



Tabelle minimaler Schichtdicken.

Lit. Tab. 12, S. 25.

Beobachter		Dicke in $\text{cm} \cdot 10^9$	Beobachtungsmethode
Faraday . . . . .	1857	7000—10000 500—1000	Wägung von Goldblatt. Goldblatt in Cyankali abgeätzt. Schätzung aus der Farbe.
Quincke . . . . .	1869	6000	Molekulare Wirkungssphäre einer Silberschicht. Dicke durch Jodieren. Größe von fein verteiltem Gold in Goldrubinglas; optisch bestimmt aus Beugung, Zählung, Wägung. (Ultramikroskop.)
Chamberlain . . . . .	1910	2700	
Siedentopf u. Zsigmondy . . . . .	1903	600	
Koenigsberger u. W. J. Müller . . . . .	1905	84	Niederschlag von Bleisuperoxyd. Menge des Niederschlags aus Faradayschem Gesetz.
Wiener . . . . .	1887	20	Kathodisch zerstäubtes Silber; Interferenzmessung.
Drude . . . . .	1894	800	Oberflächenschicht als Ursache des Elliptizitätskoeffizienten des Diamants. Silberschicht auf Glas; von dieser Dicke an normales elektrisches Leitvermögen. Nickel in Silberschicht auf Glas; von dieser Dicke an normales Verhalten des Halleffektes und des Leitvermögens. Gold auf Quarz; von dieser Dicke an normales Reflexionsvermögen.
Vincent . . . . .	1900	5000	
Moreau . . . . .	1901	5000	
Hagen u. Rubens . . . . .	1902	5000	
Sohncke . . . . .	1890	10000	Öl auf Wasser vor dem Zerfall in Tropfen. Öl auf Wasser, molekulare Wirkungssphäre. Verminderung der Reibung zwischen festen Körpern durch Zwischenbringen dieser Ölschichten.
Weber . . . . .	1901	10000	
Rayleigh . . . . .	1918	100—1000	
Drude . . . . .	1891	1700	Seifenblase. Dicke aus optischer Formel. Seifenlösung ohne Salz; optisch ermittelt. Seifenlösung mit 3% Salpeter; optisch ermittelt. Seifenlösung; optisch ermittelt. Seifenlamellen; Beobachtung von „schwarzen Flecken“. — „Statische Dicken“.
Reinhold u. Rücker . . . . .	1893	2200	
Johannott . . . . .	1899	1200	
Perrin . . . . .	1913	600—4000 600	
Rayleigh . . . . .	1890	160	Olivenölschicht, die die Bewegung von Campher auf Wasser hemmt; Wägung. Klauenöl auf Wasser; Ätherprobe; Wägung. Öl auf Wasser; Verhalten gegen Luftströmung; Wägung.
Röntgen . . . . .	1890	50—180	
Oberbeck . . . . .	1893	30—180	
Devaux . . . . .	1912	100—150	Öl auf Wasser; Bestimmung aus Oberflächengröße und Wägung.
Marcelin . . . . .	1914	100	
Devaux . . . . .	1904	1 Moleküldurchmesser 2 Moleküldurchmesser	Harz- und Ölschichten auf Wasser. Wägung. Unsichtbare Ölschicht auf Wasser im Gleichgewicht mit Öltröpfchen; Wägung. Festes Paraffin auf Wasser; Wägung. Kupfersulfat und Bleisulfat auf Wasser; Wägung. Feste Substanzen in schnell verdampfendem Lösungsmittel auf Wasser; Wägung.
Labrouste . . . . .	1920	120—170 40	
Marcelin . . . . .	1914	100—130	
Marcelin . . . . .	1914	40—50 1 Moleküldurchmesser	
Warburg u. Ihmori . . . . .	1886	300	Wasserhaut auf Glas; Wägung. Ölhäute auf Quecksilber; Wägung.
K. T. Fischer . . . . .	1899	100—300	
Bakker . . . . .	1914	100—200	Theoretische Übergangsschicht zwischen Dampf und Flüssigkeit.

## Literatur, betreffend Gasmoleküle und minimale Schichtdicken.

- Altberg**, Ann. d. Phys. (4) 37, 849; 1912.  
**Bakker**, ZS. ph. Ch. 86, 129; 1914.  
**Born u. Bormann**, Phys. ZS. 21, 578; 1920.  
**Breitenbach**, Ann. d. Phys. (4) 5, 166; 1901.  
**Chamberlain**, Phys. Rev. 31, 170; 1910.  
**Chapman**, Phil. Trans. A. 211, 433; 1912.  
**Clausius**, Mechan. Wärmetheorie. Braunschweig 1890.  
**Debye**, Phys. ZS. 11, 1115; 1910.  
**Devaux**, Journ. phys. (4) 3, 450; 1904.  
 „ Journ. phys. (5) 2, 699; 1912.  
 „ Smithon. Rep. f. 1913, 261.  
 „ Séances Soc. franç. Nr. 55, 3; 1914.  
**Dorn**, Wied. Ann. 13, 378; 1881.  
 „ Kultur der Gegenwart, Physik, 223; Leipzig u. Berlin 1915.  
**Drude**, Wied. Ann. 43, 158; 1891.  
 „ Handb. d. Phys. v. Winkelmann, Optik, 766; Breslau 1894.  
**Einstein**, Ann. d. Phys. (4) 17, 549; 1905; 19, 289; 1906; ZS. Elch. 14, 235; 1908.  
**Eucken**, ZS. Elch. 26, 377; 1920.  
**Exner**, Wien. Ber. 91 [2a] 850; 1885.  
**Faraday**, Phil. Trans. 147, 145; 1857.  
**K. T. Fischer**, Wied. Ann. 68, 414; 1899.  
**W. J. Fisher**, Phys. Rev. 24, 385; 1907; 28, 73; 1909.  
**Franck u. Hertz**, Verh. D. phys. Ges. 14, 596; 1912.  
**Goldhammer**, Dispersion und Absorption des Lichtes in ruhenden isotropen Körpern. Leipzig 1913.  
**Graham**, Phil. Trans. 1846, 573.  
**Hagen u. Rubens**, Ann. d. Phys. (4) 8, 432; 1902.  
**Henry**, C. r. 154, 880; 1912.  
**Herz**, ZS. Elch. 21, 373; 1915.  
**Heydweiller**, Ann. d. Phys. (4) 41, 499; 1913; 42, 1273; 1913.  
**Jäger**, Wien. Ber. 100 [2a] 1233; 1891.  
 „ Handb. d. Phys. v. Winkelmann, Wärme, 765; 1906.  
 „ D. Fortschr. d. kin. Gastheorie, 2. Aufl., Braunschweig 1919.  
**Jeans**, Phil. Mag. (6) 8, 692 u. 700; 1904.  
 „ The Dynamical Theory of Gases. Cambridge 1904.  
**Johannott**, Phil. Mag. (5) 47, 501; 1899.  
**Keesom**, Phys. ZS. 22, 129; 1921.  
**Kleint**, Verh. D. phys. Ges. 7, 146; 1905.  
**Koch**, Wied. Ann. 19, 857; 1883.  
**Koenigsberger u. W. J. Müller**, Phys. ZS. 6, 849; 1905; 12, 606; 1911.  
**Kuenen**, Die Eigenschaften der Gase. Leipzig 1919.  
**van Laar**, Proc. Amsterd. 17, 877; 1914.  
**Labrouste**, Ann. phys. (9) 14, 164; 1920.  
**Lenard**, Ann. d. Phys. (4) 12, 714; 1903.  
**R. Lorenz**, ZS. ph. Ch. 73, 254; 1910; ZS. anorg. Ch. 94, 265; 96, 81, 217, 231; 1916; 105, 178; 1919.  
**Marcelin**, Ann. phys. 1, 19; 1914.  
**H. F. Mayer**, Ann. d. Phys. (4) 64, 451; 1921.  
**Maxwell**, Phil. Mag. (4) 19, 19; 1860; 20, 21; 1860; 46, 453; 1873; Phil. Trans. 156, 249; 1866; Scientif. Papers.  
**O. E. Meyer**, Kinetische Theorie d. Gase. Breslau 1899.  
**L. Meyer u. Schumann**, Wied. Ann. 13, 1; 1881.  
**Moreau**, Journ. phys. 10, 478; 1901.  
**Oberbeck**, Wied. Ann. 49, 366; 1893.  
**v. Obermayer**, Wien. Ber. 73 [2], 433; 1876.  
**Pedersen**, Phys. Rev. 25, 230; 1907.  
**Perrin**, Arch. sc. phys. (4) 35, 384; 1913.  
**Puluj**, Wien. Ber. 78 [2], 279; 1878.  
**Quincke**, Pogg. Ann. 137, 402; 1869; Ann. d. Phys. (4) 2, 414; 1900.  
**Ramsauer**, Ann. d. Phys. 64, 513; 1921.  
**Rankine** (1), Phys. ZS. 11, 497 u. 745; 1910.  
 „ (2), Phil. Mag. (6) 29, 552; 1915.  
**Rappenecker**, Diss. Freiburg 1909.  
**Rayleigh**, Nat. 42, 43; 1890.  
 „ Phil. Mag. (6) 35, 157; 1918.  
**Reinhold u. Rücker**, Phil. Trans. 184 A., 505; 1893.  
**Robinson** (1), Ann. d. Phys. 31, 769; 1910.  
 „ (2), Phys. ZS. 11, 12; 1910.  
**Röntgen**, Wied. Ann. 41, 321; 1890.  
**Rudorf**, Phil. Mag. (6) 17, 765; 1909.  
**Schierloh**, Diss. Halle 1908.  
**Schumann**, Wied. Ann. 23, 353; 1884.  
**H. Schultze**, Ann. d. Phys. (4) 5, 140; 1901; 6, 302; 1901.  
**Siedentopf u. Zsigmondy**, Ann. d. Phys. (4) 10, 1; 1903.  
**v. Smoluchowski**, Ann. d. Phys. (4) 21, 756; 1906.  
**Sohncke**, Wied. Ann. 40, 345; 1890.  
**Studel**, Wied. Ann. 16, 368; 1882.  
**Sutherland** (1), Phil. Mag. (5) 36, 507; 1893.  
 „ (2), Phil. Mag. (6) 17, 320; 1909; 19, 25; 1910.  
**The Svedberg**, ZS. ph. Ch. 67, 105; 1909; 76, 145; 1911.  
**Vincent**, Journ. phys. (3) 9, 78; 1900.  
**v. d. Waals**, Kontinuität d. gasf. u. flüss. Zustandes. Leipzig 1881.  
**Walden**, ZS. anorg. Ch. 113, 125; 1920.  
**Warburg u. Ihmori**, Wied. Ann. 27, 481; 1886; 31, 1002; 1887.  
**Weber**, Ann. d. Phys. (4) 4, 706; 1901.  
**Wiener**, Wied. Ann. 31, 666; 1887.

Elektrisches Elementarquantum (direkte Messungen), elektrochemisches Äquivalent und einige daraus abgeleitete Konstanten.			
Jahr	Beobachter	Bestimmungsart	Elementarquantum $e$ in $10^{-10}$ elektrostatischen Ladungseinheiten
1898	J. Townsend, Phil. Mag. (5) 45, 125; 1898.	Gesamtladung $n \cdot e$ einer Nebelwolke; Zahl der Tröpfchen $n$ aus Gesamtmasse und Stokesscher Fallformel	1,5—6,7
	J. J. Thomson, Phil. Mag. (5) 46, 528; 1898 u. Phil. Mag. (5) 48, 557; 1898.		
1903	J. J. Thomson, Phil. Mag. (6) 5, 346; 1903.		3,4
1903	H. A. Wilson, Phil. Mag. (6) 5, 429; 1903.	Beweglichkeit einer Nebelwolke im Erdfelde und im elektrischen Felde	2,0—4,1
1908	R. A. Millikan u. Begeman, Phys. Rev. 26, 197; 1908.	Verbesserte Wilsonsche Methode	4,03
1908	E. Rutherford u. H. Geiger, Proc. Roy. Soc. (A) 81, 141; 1908 u. Phys. ZS. 10, 1 u. 42; 1909.	Zählung der $\alpha$ -Teilchen und Messung ihrer Ladung	4,65
1909	E. Regener, Abh. Akad. Berlin 1909, S. 948.		
1910	L. Begeman, Phys. Rev. 30, 131; 1910.	Verbesserte Wilsonsche Methode	4,67
1910	R. A. Millikan, Phil. Mag. (6) 19, 209; 1910.		4,65
1911	E. Regener, Phys. ZS. 12, 135; 1911.		4,84
1911	R. A. Millikan, Phys. Rev. 32, 349; 1911.	Geladene Einzeltröpfchen im Erd- und elektrischen Felde	4,891
1913	R. A. Millikan, Phys. Rev. (2) 2, 109; 1913.		
1914	J. Y. Lee, Phys. Rev. (2) 4, 420; 1914.		
1917	R. A. Millikan, Phil. Mag. (6) 34, 1; 1917.		4,774 $\pm$ 0,009
			4,764
			<b>4,774 <math>\pm</math> 0,005</b> dieser Wert wird nach brieflicher Mitteilung von Herrn Millikan auch 1921 aufrecht erhalten.

Über ältere Literatur vgl. das Referat von R. Pohl, Jahrb. d. Radioakt. u. Elektron. 1911; daselbst auch über die hier nicht aufgenommenen, weil zur Zeit ungenaueren Methoden, welche primär die Zahl  $N$  der Moleküle im Mol ermitteln und  $e$  unter Benutzung des elektrochemischen Äquivalentes berechnen. Siehe auch Tabelle 140 über die Loschmidtsche Zahl.

Über die von F. Ehrenhaft und seinen Schülern berechneten Unterschreitungen der Elementarladung vgl. die kritischen Referate von W. König, Naturw. 5, 373 u. 497; 1917, und von R. Bär, Ann. d. Phys. (4) 67, 157; 1922. Vgl. auch die zusammenfassende Arbeit von F. Ehrenhaft, Ann. d. Phys. (4) 56, 1; 1918.

Aus dem genauesten Millikanschen Wert für die Elementarladung:

$$e = 4,774 \pm 0,005 \cdot 10^{-10} \text{ el.-stat. E.}$$

ergibt sich nach R. Millikan, Phil. Mag. (6) 34, 1; 1917 unter Zugrundelegung der Ladung des Grammmäquivalentes

$$N \cdot e = 9649,4 \text{ el.-magn. E.}$$

die Zahl der Moleküle im Grammmolekül (Loschmidtsche Zahl für das Mol)

$$\text{zu } N = 60,62 \cdot 10^{22} \pm 0,06.$$

Wird aus dem Molekulargewicht des Sauerstoffes = 32,000 durch Division mit der Dichte des Sauerstoffes = 0,0014292

$$\text{das Molvolumen} = 22 \, 390 \text{ cm}^3$$

ausgerechnet, so ergibt sich die Zahl  $L$  der Moleküle in  $1 \text{ cm}^3$  (Loschmidtsche Zahl für das  $\text{cm}^3$ )

$$L = 27,075 \cdot 10^{18}.$$

Wird das Atomgewicht des Wasserstoffs zu 1,0077 gesetzt, so ergibt sich für die Masse des Wasserstoffatoms

$$m_H = 1,662 \cdot 10^{-24} \text{ g.}$$

Regener.

Spezifische Ladung des Elektrons  $e/m_0^1$ .

Neuere Werte. Bezüglich der älteren Messungen vgl. man die Berichte von **R. Seeliger**, Jahrb. Rad. 9, 28; 1912 und **A. Bestelmeyer**, Handbuch der Radiologie V, S. 79—81.

Jahr	Beobachter	Elektronen-Herkunft	Methode	Elektronengeschwindigkeit in Bruchteilen der Lichtgeschw.	$e/m_0 \cdot 10^{-7}$
1906	W. Kaufmann	$\beta$ -Strahlen	Gekreuzte elektr. u. magn. Ablenkung	$> 0,48$	1,660
1907	P. Weiß u. A. Cotton	Zn	Zeemaneffekt	—	1,767
1907	A. Stettenheimer	Cd, Zn	„	—	1,79
1907	C. Runge u. W. Lohmann	Ne	„	—	1,75
1907	A. Bestelmeyer	Sekundäre Kathodenstrahlen	Kompensation von magn. u. elektr. Kraft, magn. Ablenkung	0,20 bis 0,33	1,733
1908	J. Classen	Oxydkathodenstrahlen	Magn. Ablenkung, Elektrodenspannung	0,06	1,775
1908	W. Lohmann	He	Zeemaneffekt	—	1,77
1909	O. v. Baeyer u. E. Gehrcke	Hg	„	—	1,81
1909	P. Gmelin	„	„	—	1,771
1909	A. H. Bucherer	$\beta$ -Strahlen	Kompensation von magn. u. elektr. Kraft, magn. Ablenkung	0,3 bis 0,7	1,763
1909	K. Wolz	„	„	0,5 bis 0,7	1,7674
1910	C. A. Proctor	Oxydkathodenstrahlen	Magn. Ablenkung, Elektrodenspannung	0,12 bis 0,43	1,85 bis 1,93
1911	K. Th. Lerp	Kathodenstrahlen	„	ca. 0,2	1,72
1911	J. Malassez	„	„	0,26	1,769
1911	A. Bestelmeyer	Oxydkathodenstrahlen	„	0,06	1,77
1912	E. Alberti	Photoelektronen	„	0,24 bis 0,29	{ 1,756 <sup>2)</sup> 1,766 <sup>2)</sup>
1912	R. Fortrat	Zn	Zeemaneffekt	—	1,7636
1914/16	Cl. Schaefer u. G. Neumann	$\beta$ -Strahlen	Kompensation von magn. u. elektr. Kraft, magn. Ablenkung	0,39 bis 0,85	1,765
1916	F. Paschen	H, He <sup>+</sup>	Aus den Rydbergkonstanten von H und He <sup>+3)</sup>	—	1,7649
1917	L. Flamm	„	„ <sup>3)</sup>	—	1,7686

<sup>1)</sup> Sämtliche Werte sind auf die Elektronengeschwindigkeit Null korrigiert, und zwar nach der Formel von **Lorentz-Einstein**; die Formeln von **Abraham** und **Bucherer** geben, wie in den Arbeiten von **Bucherer** (Ann. d. Phys. 28, 513; 1909), **Schaefer** und **Neumann** (ebenda 45, 529; 1914; 49, 934; 1916) und **Guye** und **Lavanchy** (Arch. de Genève 42, 286; 1916) festgestellt worden ist, keine konstanten Werte für  $e/m_0$ .

<sup>2)</sup> Je nach Zugrundelegung der Magnetfeldnormalien.

<sup>3)</sup> Nach der **Bohrschen** Theorie ist  $R_H \left(1 + \frac{m_0}{m_H}\right) = R_{He} \left(1 + \frac{m_0}{m_{He}}\right)$  [ $R_H$ ,  $R_{He}$  = Rydbergzahlen für H bzw. He;  $m_0$ ,  $m_H$ ,  $m_{He}$  = Masse des Elektrons, des H-Kerns, des He-Kerns]. **Paschen** ermittelt aus Messungen der **Balmerlinien** bzw. der **Bohrschen Heliumlinien**:

$$R_H = 109\,677,691 \pm 0,06 \quad R_{He} = 109\,722,144 \pm 0,04.$$

Nach **Flamm** ergibt sich hiermit:  $m_0$  · Loschmidtsche Zahl =  $1/1832,8 \pm 3,0$ . Andererseits ist die **Faradaysche Äquivalentladung**:  $e$  · Loschmidtsche Zahl = 9649,4 el.-magn. E. Elimination der Loschmidtschen Zahl ergibt obigen Wert für  $e/m_0$ .

Plancksches Wirkungselement $h$ .		
$h \cdot 10^{20}$ in Erg · sec	Methoden und Autoren	Bemerkungen
	<b>I. Energiemessungen am schwarzen Körper</b> (Plancksche Strahlungstheorie).	
660 bis 651	a) $h = \frac{15 \sigma c_2^4}{2 \pi^5 c^2}$ mit $c_2 = 1,430 \text{ cm} \cdot \text{Grad}$ (Warburg u. Müller geben 1915 an: 1,425; 1,430 bzw. 1,440) und $\sigma = 5,80 \cdot 10^{-5}$ [Gerlach (1)] bzw. $5,72 \cdot 10^{-5}$ [Coblentz (1)].	Es bedeutet: $c = 3,000 \cdot 10^{10} \text{ cm} \cdot \text{sec}^{-1}$ die Lichtgeschwindigkeit; $\sigma$ die Konstante des Stefan-Boltzmannschen Gesetzes: $S = \sigma \cdot T^4$ Gesamtstrahlung, die $1 \text{ cm}^2$ eines schwarzen Körpers der Temperatur $T$ in 1 sec in den Halbraum strahlt; $k = \frac{R_0}{L}$ die universale Boltzmannsche Entropiekonstante, $R_0$ die absolute Gaskonstante, $L$ die (Loschmidtsche) Zahl der Moleküle im Grammolekül; $c_2 = \frac{c h}{k}$ die Konstante im Exponenten des Planckschen Strahlungsgesetzes $E_\lambda = \frac{c^2 h}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{c_2}{\lambda T}} - 1},$
667	b) $h = \frac{b \cdot k \cdot 4,965}{c}$ Isothermenmessungen liefern $\lambda_{\max}$ , damit $b = 0,294 \text{ cm} \cdot \text{Grad}$ (Lummer-Pringsheim)	$\lambda$ die Wellenlänge, $T$ die absolute Temperatur; $\nu = \frac{c}{\lambda}$ die Schwingungszahl (Frequenz). $b = \frac{c h}{k 4,965} = \lambda_{\max} \cdot T$ die Konstante des Wienschen Verschiebungsgesetzes. Zu b) und c): Zunächst ergibt sich $\frac{h}{e} = \frac{k}{e} \frac{c_2}{c}$ (nach Flamm, Henning), wobei $\frac{k}{e} = \frac{R_0}{F \cdot c} = \frac{8,313 \cdot 10^7}{9649 \cdot 3 \cdot 10^{10}} = 2,872 \cdot 10^{-7}$
662	$= 0,292$ [Paschen (1)]	gesetzt wird; dabei bedeutet $e$ das elektrische Elementarquantum (die Ladung des Elektrons), $m$ die Masse des Elektrons, $F = \frac{e}{m_H}$ die Ladung eines Grammäquivalents
656	$= 0,289$ [Coblentz (2)]	(Faradaykonstante); $m_H = \frac{1}{L}$ die Masse eines Wasserstoffatoms. So wird $\frac{h}{e} = 1,369 \cdot 10^{-17}$ . Der Wert von $h$ folgt mit $e = 4,774 \cdot 10^{-10}$ [Millikan (1)]; $k = 1,371 \cdot 10^{-16} \text{ Erg} \cdot \text{Grad}^{-1}$ . (Zusammenstellung bei Ladenburg.)
658,1—651,2	c) $h = \frac{c_2 k}{c}$ Isochromatenmethode (genauer) liefert $c_2 = 1,425; 1,430$ bzw. $1,440$ (Warburg u. Müller).	Zu d): Zunächst folgt: $\frac{h}{e^{\frac{1}{2}}} = \sqrt[3]{\frac{2 \pi^5 \left(\frac{k}{e}\right)^4}{15 c^2 \sigma}} = 1,747 \cdot 10^{-14},$
654,8	d) $h = \sqrt[3]{\frac{2 \pi^5 k^4}{15 c^2 \cdot \sigma}}$ Messungen der Gesamtstrahlung ergeben $\sigma = (5,80 \pm 0,06) \cdot 10^{-5}$ $\text{Erg} \cdot \text{cm}^{-2} \text{sec}^{-1} \text{Grad}^{-4}$ [Gerlach (1)]	der Wert von $h$ wiederum mit $e = 4,774 \cdot 10^{-10}$ . [Bericht Gerlach (2).]
bzw.	bzw.	
651,8	$5,72 \cdot 10^{-5}$ [Coblentz (1)]	
	<b>II. Lichtelektrische Messungen.</b>	
658	Millikan (2) an Na und Li	Maximalenergie der durch verschiedene Frequenzen ausgelösten Elektronen: $\frac{1}{2} m v^2 = e V_a = h \nu - P$ (Einsteinsche Gleichung), wobei die Austrittsarbeit $P$ eliminiert wird. Wiederum $e = 4,774 \cdot 10^{-10}$ vorausgesetzt. Genauigkeit wegen niedriger Potentialwerte relativ gering.
657	Sabine an Cd	[Einzelheiten vgl. Bericht Gerlach (3) u. Ladenburg.]
641	Hennings u. Kadesch an Mg und Al.	

Plancksches Wirkungselement $h$ .		
(Fortsetzung.)		
$h \cdot 10^{29}$ in Erg · sec	Methoden und Autoren	Bemerkungen
658	<b>III. Resonanz- und Ionisierungsspannung</b> nach Frank u. Hertz (1, 2). Mittelwert an Na, Rb, Cs, Mg, Ca, Zn, Cd, Tl, Hg. [Foote, Mohler u. a. s. Franck u. Hertz (2), Franck, Ladenburg u. Gerlach (3).] Aus der Ionisierungsspannung des Hg (10,38 V.; Franck u. Einsporn) sowie He (25,4 u. 79,5 V.; Franck u. Knipping).	Lenardsche Methode und Methode des unelastischen Elektronenstoßes auf Grund der Quantengleichung $eV = h\nu$ durch Zuordnung der gemessenen kritischen Spannungen $V$ zu den optisch bekannten Anfangsgliedern und Grenzlinien der Absorptionsserien. Fehler infolge Anfangsgeschwindigkeit der Elektronen, Polarisationschichten usw. Präzisionsmessungen fehlen noch.
654		[Einzelheiten bei Franck, Franck u. Hertz (1, 2), Gerlach (3), Ladenburg.]
650 ± 5 653 657 655,7 ± 1,3 653,0 ± 1 655,6 ± 1,5	<b>IV. Grenzfrequenz des kontinuierlichen Röntgenspektrums.</b>  Duane u. Hunt Webster Alex. Müller Blake u. Duane Wagner (1) Ledoux-Lebard u. Dauvillier.	Präzisionsmethode auf Grund der Quantengleichung $eV = h\nu_{\max} = \frac{h}{c} \cdot \lambda_{\min}$ (Verschiebungsgesetz des kontinuierlichen Röntgenspektrums). Unabhängigkeit der $h$ -Werte von der erzeugenden Spannung (5000—50 000 Volt), Stromart (sinusförmiger Wechselstrom, Gleichspannung), Röhrenart (gasfreie und gashaltige Röhren), vom Material der Antikathode (Cu, Rh, Ag, W, Pt, Pb), von der Frequenz der Röntgenstrahlen, vom Krystall des Spektrometers, vom Winkel zwischen Kathoden- und Röntgenstrahlen erwiesen.  Zunächst ergibt sich $\frac{h}{e^{\frac{1}{3}}}$ , der Wert von $h$ wieder mit $e = 4,774 \cdot 10^{-10}$ . Wagners Messungen (Isochromatenmethode) sind als die bisher genauesten anzusehen. [Einzelheiten bei Wagner (1, 2), Ladenburg, Gerlach (3).]
654,5 ± 1,3	<b>V. Bohrs Atomtheorie.</b> Aus der Rydbergkonstante $R_{\infty}$ folgt [Paschen (2)]  $h = \sqrt[3]{\frac{2 \pi^2 e^4 m}{c R_{\infty}}}$	Die Rydbergkonstante der Serienformeln für ein Atom der Masse $m_A$ ist $R_A = R_{\infty} \left( \frac{1}{1 + \frac{m}{m_A}} \right)$ . Aus Paschens Messungen an H und He folgt $R_H = 109677,69 \pm 0,06$ ; $R_{He} = 109722,14 \pm 0,04$ , und mit den Atomgewichten $M_H = 1,0077$ (Burt u. Edgar) und $M_{He} = 4,002$ (Heuse, Taylor) folgt nach Flamm $\frac{m_H}{m} = 1832,8$ und $R_{\infty} = 109737,11 \pm 0,06$ . Für eine Genauigkeit von 10/100 in $h$ ist der Unterschied zwischen $R_{\infty}$ und $R_H$ belanglos; weit größeren Einfluß haben die Werte von $e = 4,774 \cdot 10^{-10}$ und $\frac{e}{m} = \frac{F m_H}{m} = (1,769 \pm 0,003) \cdot 10^7$ .  (Vgl. Sommerfeld, Bericht Ladenburg.)
Wahrscheinlichster Wert $h = (654 \pm 1) \cdot 10^{-29}$ Erg · sec mit $e = 4,774 \cdot 10^{-10}$ CGS.		

## Plancksches Wirkungselement.

## Literatur.

- R. T. Birge**, Phys. Rev. (2) 4, 361; 1919. Kritische Zusammenstellung.
- F. C. Blake u. Will. Duane**, Phys. Rev. 9, 568; 10, 93 u. 624; 1917. Messungen am kontinuierlichen Röntgenspektrum.
- Niels Bohr**, Kgl. Danske Vidensk. Selsk. Skrifter, Naturvidensk. og Mathem. Afd. 8. Raekke, IV 1, Part II, S. 37—41; ZS. f. Phys. 2, 427 bis 429; 1920. Ableitung der Rydbergkonstanten.
- F. R. Burt u. F. C. Edgar**, Phil. Trans. (A) 216, 393; 1916. Atomgewicht des Wasserstoffs.
- W. C. Coblentz** (1), Bull. Bur. of Stand. 12, 503; 1916; Phys. Rev. 2, 14, 174; 1919. Bestimmung von  $\sigma$ .
- „ (2), Bull. Bur. of Stand. 10, 1; 1914; 13, 459; 1916. Bestimmung von  $b$  und  $c_2$ .
- W. Duane u. F. L. Hunt**, Phys. Rev. 6, 167; 1915. Verschiebungsgesetze des kontinuierlichen Röntgenspektrums.
- A. Einstein**, Ann. d. Phys. (4) 17, 132; 1905; (4) 20, 149; 1906. Lichtelektrische Quantengleichung.
- L. Flamm**, Phys. ZS. 18, 515; 1917. Berechnung von  $h$  aus Strahlungsmessungen.
- Paul D. Foote u. F. L. Mohler**, Phys. Rev. 11, 487; 1918; 13, 59; 1919; Phil. Mag. 37, 33; 1919. Resonanz- und Ionisierungsspannung verschiedener Dämpfe.
- J. Franck u. G. Hertz** (1), Verh. D. phys. Ges. 16, 457 u. 512; 1914. Methode des unelastischen Elektronenstoßes und Ergebnisse an Hg-Dampf.
- „ „ (2), Phys. ZS. 17, 409 u. 430; 1916; 20, 132; 1919. Zusammenfassender Bericht über unelastische Zusammenstöße langsamer Elektronen mit Gasmolekülen.
- „ Phys. ZS. 22, 388, 409, 441, 466; 1921. Bericht über Lichtanregung und Ionisation durch langsame Elektronen.
- „ u. **P. Knipping**, Phys. ZS. 20, 481; 1919. Ionisierungsspannungen des He.
- „ u. **Einsporn**, ZS. Phys. 2, 18; 1920. Anregungsspannungen des Hg.
- W. Gerlach** (1), Ann. d. Phys. (4) 38, 1; 1912; 50, 259; 1916. Messung von  $\sigma$ .
- „ (2), Jahrb. Rad. 15, 177; 1918; ZS. Phys. 2, 76; 1920. Kritisch experim. Unters. über absol. Strahlungsmessungen.
- W. Gerlach** (3), Sammlg. Vieweg Heft 58; 1921. Die experimentellen Grundlagen der Quantentheorie.
- F. Henning**, Verh. D. phys. Ges. 20, 81; 1918. Berechnung der Strahlungskonstanten  $c_2$  und  $\sigma$ .
- A. E. Hennings u. W. H. Kadesch**, Phys. Rev. (2) 8, 209 u. 221; 1916. Lichtelektr. Messungen an Mg, Al, Zn, Fe, Sn, Cu.
- W. Heuse**, Verh. D. phys. Ges. 15, 518; 1913. Atomgewicht des He.
- R. Ladenburg**, Jahrb. Rad. 17, 93; 1920, sowie Broschüre bei S. Hirzel 1921. Zusammenfassender Bericht über die verschiedenen Methoden und ihre Theorie.
- Ledoux-Lebard u. A. Dauvillier**, C. r. 169, 965; 1919; Phys. Berichte 1, 1186; 1920. Messungen im kontinuierlichen Röntgenspektrum.
- O. Lummer u. E. Pringsheim**, Verh. D. phys. Ges. 1, 218; 1899; 3, 42; 1901. Messung der Strahlungskonstante  $c_2$ .
- R. E. Millikan** (1), Phil. Mag. (6) 34, 1; 1917. Bestimmung von  $e$ .
- „ (2), Phys. Rev. (2) 7, 355; 1916; Phys. ZS. 17, 218; 1916. Lichtelektr. Messungen an Na und Li.
- Al. Müller**, Arch. sc. phys. (4) 46, 63; 1918; Phys. ZS. 19, 469; 1919. Messungen im kontinuierlichen Röntgenspektrum.
- M. Planck**, Vorlesungen über die Theorie der Wärmestrahlung. Leipzig, Verlag J. A. Barth. 1. Aufl. 1906; 4. Aufl. 1921.
- F. Paschen** (1), Ann. d. Phys. (4) 4, 288; 1901. Messung der Strahlungskonstante  $c_2$ .
- „ (2), Ann. d. Phys. (4) 50, 901; 1916. Bestimmung d. Rydbergkonstante.
- P. E. Sabine**, Phys. Rev. (2) 9, 260; 1916. Lichtelektrische Messungen mit Schumannstrahlen.
- A. Sommerfeld**, Atombau und Spektrallinien. Braunschweig, Verlag Fr. Vieweg & Sohn. 2. Aufl. 1921, S. 367. Spektroskopische universelle Einheiten.
- T. S. Taylor**, Phys. Rev. (2) 10, 653; 1917. Atomgewicht des He.
- E. Wagner** (1), Ann. d. Phys. (4) 57, 401; 1918; Phys. ZS. 21, 621; 1920. Präzisionsmessung von  $h$  am kontin. Röntgenspektrum.
- „ (2), Jahrb. Rad. 16, 190; 1919. Bericht über d. kontin. Röntgenspektrum.
- E. Warburg u. C. Müller**, Ann. d. Phys. (4) 48, 410; 1915. Die Konstante  $c_2$  des Wien-Planckschen Strahlungsgesetzes.
- D. L. Webster**, Phys. Rev. (2) 7, 599; 1916. Messungen am kontin. Röntgenspektrum.

## Strahlungskonstanten.

### Gesamtstrahlung des schwarzen Körpers. Stefan-Boltzmannsches Gesetz.

Die Strahlung ist proportional der vierten Potenz der absoluten Temperatur  $S = \sigma T^4$ .

Die am besten begründeten Werte stammen von **W. Gerlach** und **W. W. Coblentz**.

$\sigma = 5,68$  bis  $5,74 \cdot 10^{-12}$  Watt  $\text{cm}^{-2}$  abs.  $\text{Grad}^{-4}$  + Korrektion wegen mangelnder Schwärze des Empfängers, welche 1 bis 2% beträgt.

Mittelwert  $5,76 \cdot 10^{-12}$  Watt  $\text{cm}^{-2}$  abs.  $\text{Grad}^{-4} = 5,76 \cdot 10^{-5}$  Erg  $\text{cm}^{-2} \text{sec}^{-1}$  abs.  $\text{Grad}^{-4}$   
 $= 1,38 \cdot 10^{-12}$  cal  $\text{cm}^{-2} \text{sec}^{-1} \text{Grad}^{-4}$  auf 1 bis  $1\frac{1}{2}\%$  sicher.

⌈ Strahlung eines schwarzen Körpers von  $100^\circ \text{C}$  zu  $0^\circ \text{C}$  für  $1 \text{ cm}^2$  und in 1 sec (Differenz des Emissionsvermögens)

$$\frac{E_{100} - E_0}{t} = 0,01906 \text{ cal cm}^{-2} \text{sec}^{-1} = 0,0797 \text{ Watt cm}^{-2} = 7,97 \cdot 10^5 \text{ Erg cm}^{-2} \text{sec}^{-1}.$$

⌈ Literatur: **W. Gerlach**, Ann. d. Phys. 38, 1; 1912. Ann. d. Phys. 50, 259; 1916. Jahrb. Rad. 15, 137; 1918. ZS. Phys. 3, 76; 1920. **W. W. Coblentz**, Jahrb. Rad. 10, 340; 1913. Journ. opt. Soc. Am. 5, 131; 1921.

Zusammenstellung aller Bestimmungen von  $\sigma$  (in  $\sigma \cdot 10^{12}$  Watt  $\text{cm}^{-2}$  abs.  $\text{Grad}^{-4}$ ).

1. Kurlbaum . . . (1898)	5,32 später korr. 5,45	Bolometer- methode	Wert zu niedrig. Fehlerquellen s. <b>Paschen</b> , Ann. d. Phys. 38, 30; 1912. <b>Gerlach</b> , Ann. d. Phys. 40, 701; 41, 99; 42, 1163; 1913.
2. Valentiner . . . (1910)	5,58 Korr. etwa +2%	Thermometer- methode	Wie 1. Ferner Abs. Korrekt. vgl. <b>Gerlach</b> , Ann. d. Phys. 50, 293; 1916. Fehlerquellen in verschiedener Wärmeableitung bei Bestrahlung und elektr. Heizung; vermieden von Keene, Nr. 4.
3. Féry . . . . . (1909) Féry u. Drecq (1911/12)	6,3 5,57—6,51		
4. Keene . . . . . (1913)	5,89	”	Wert zu niedrig, vgl. <b>Gerlach</b> , Ann. d. Phys. 38, 1; 1912.
5. Bauer u. Moulin (1909)	5,30	Thermosäule	
6. ” ” (1910) Todd . . . . . (1909)	5,7 5,48	Pyrheliometer Wärmeabgabe von erhitzter Fläche do., in Atmo- sphärendruck	Temperatur der strahlenden Oberfläche un- sicher.
7. Shakespear . . (1912)	5,67		
8. Westphal . . . (1912) ” . . . . . (1913)	5,65	do. unter ver- mindertem Druck	Unsicherheit des Emissionsvermögens der ge- schwärzten Fläche s. <b>Gerlach</b> , Ann. d. Phys. 50, 258; 1916.
9. Wachsmuth . . (1921)	5,71	do. unter ver- mindertem Druck	
10. Gerlach . . . . (1912)	5,80 + Schwärzungs- korrektion	absolute Thermo- säule (modifiziertes Ångström-Pyr- heliometer)	Wert um etwa 1% wegen ungenügender Schwär- zung zu erhöhen. Unsicherheit in der Wärme- ableitungskorrektion.
” . . . . . (1916)	5,85	do.	
” . . . . . (1920)	5,80		do.
11. Coblentz . . . (1915)	5,73	do.	
” . . . . . (1921)	5,61		
12. Kahanowicz . . (1919)	5,61 + 2% Korr.	do.	
13. Foote . . . . . (1918)	5,70	Pyrheliometer nach Marwin	

### Plancksches Strahlungsgesetz für die Energieverteilung im Spektrum des schwarzen Körpers

$$E_\lambda = c_1 \lambda^{-5} \left( e^{\frac{c_2}{\lambda T}} - 1 \right)^{-1}$$

Endgültige Werte für  $c_2$  fehlen noch. Als zur Zeit sicherster Wert darf  $c_2 = 1,430 \text{ cm Grad}$  angesehen werden (Diskussion s. **Nernst**, Verh. D. phys. Ges. 21, 294; 1919).

Über die exakte Gültigkeit des Gesetzes für  $\frac{c_2}{\lambda T}$ -Werte von 0,1 bis 5,6 s. **Rubens** u. **Michel**, Berl. Ber. 1921, 590.



## Strahlungskonstanten.

**Wiensches Verschiebungsgesetz:** Das Produkt aus Wellenlänge der maximalen Emission und absoluter Temperatur des schwarzen Körpers ist konstant

$$\lambda_{\max} \cdot T = b = \frac{c h}{\beta k} = \frac{c_2}{\beta} \quad (\beta = 4,9651)$$

( $c$  Lichtgeschwindigkeit;  $h$  Plancksches Wirkungselement;  $k$  Entropiekonstante)

$$b = \frac{1,4300}{4,9651} = 0,288 \text{ cm Grad} \quad \text{bzw.} \quad \frac{1,4260}{4,9651} = 0,287 \text{ cm Grad.}$$

Für **blankes Platin** ist die Konstante 0,258 (Lummer-Pringsheim, Verh. d. D. phys. Ges. I, 226; 1899).  
(Direkte Messungen s. vor allem **F. Paschen**, Berl. Ber. 27. April. 1899. Ann. d. Phys. 38, 30; 1911:  $b = 0,292$  bis 0,287 cm Grad.)

Zusammenhang zwischen Energie im Emissionsmaximum und Temperatur  $E_{\max} = C \cdot T^5$ .  
Dasselbe für blankes Platin:  $CT^6$ .

Zusammenfassung aller Bestimmungen:

	$b = \lambda_{\max} T$ $= \frac{c_2}{\beta}$	$c_2 = \beta b$	
Paschen (1899, 1900, 1901)	2891 2907 2920—2870	ber. 14,360	} Diskussion s. Paschen, Ann. d. Phys. 38, 30; 1912.
Lummer u. Pringsheim (1900)	2879 2876 2940	14,290 14,600	
Holborn u. Valentiner . . . Warburg, Müller u. a. (1911—1915)	— — 2888 2892 2894	14,200 ( $\pm 140$ ) 14,200—14,600 14,300—14,400 14,360 14,370 ( $\pm 40$ )	Dispersion des Flußspatprismas. Temperaturskale nach Day-Sosman. Temperaturskale nach Day-Sosman. Temperatur: Gasthermometer bis 1600°. Flußspatdispersion. Quarzdispersion. Quarz. Temperaturskale strahlungstheoretisch (Max. d. Isothermen).
Coblentz . . (1913—1920)	2868 2911 2894 2882	14,250 14,456 14,369 14,311—14,326	Temperatur nach Stefan-Boltzmanns Gesetz. Flußspatdispersion. do., korrigierte Dispersion des Flußspats. Neuberechnung von Korrekturen.
Michel . . . . . (1921)	2870	14,260	Isochromaten mit doppelter spektraler Zerlegung 1—20 $\mu$ ; sichere Temperaturskale.

Gesamte Literatur s. bei **W. Nernst**, Verh. d. D. phys. Ges. 21, 294; 1919. **W. Michel**, ZS. Phys. 9, 285; 1922. **W. W. Coblentz**, Journ. opt. Soc. Am. 5, 131; 1921.

**Gesamtstrahlung der Hefnerlampe** (Strahlungsnormale). Zur Vermeidung der unregelmäßigen Strahlung der erwärmten, über der Flamme aufsteigenden Luft definiert durch ein 10 cm von der Flammenmitte stehendes, auf konstanter Temperatur gehaltenes Diaphragma von 1,4 · 5,0 cm<sup>2</sup> Fläche (s. **Gerlach**, Phys. ZS. 14, 577; 1913).  
Hefnerlampe normalen Brennens, reines Amylacetat  $S = 2,25 \cdot 10^{-5} \text{ cal cm}^{-2} \text{ sec}^{-1}$ . Reproduzierbarkeit  $\pm 2\%$ .

Unabhängigkeit vom Wasserdampfgehalt der Luft und Barometerdruck s. **Warburg**, Berl. Ber. 1915, 230.  
**Gerlach**, Phys. ZS. 21, 299; 1920.

**Strahlung des schwarzen Körpers in Hefnerkerzen:**

$$1500^\circ \text{ C } 0,1 \text{ HK} \quad 1700^\circ \text{ C } 0,5 \text{ HK} \quad 1800^\circ \text{ C } 1,0 \text{ HK.}$$

**Solarkonstante:** Energiefluß der Sonnenstrahlung 1,8 bis 2,0 cal · min<sup>-1</sup> = 3 bis 3,33 · 10<sup>-2</sup> cal sec<sup>-1</sup> = 1,26 bis 1,40 · 10<sup>8</sup> Erg sec<sup>-1</sup>.

Wahrscheinlichster Wert 1,932 cal min<sup>-1</sup> (Diskussion s. **F. Biscoe**, Astrophys. Journ. 43, 197; 1916).

Über möglicherweise vorhandene periodische Schwankungen der Solarkonstante s. **F. Biscoe**, ebenda.

Die Energie der sichtbaren Sonnenstrahlung ist etwa 35% der Gesamtstrahlung, also die „Beleuchtungsstärke“ 4,66 · 10<sup>5</sup> Erg sec<sup>-1</sup> entspr. 31 300 Meterkerzen.

Abstand Erde—Sonne 1,49 · 10<sup>11</sup> m; Lichtstärke der Sonne 7 · 10<sup>28</sup> Kerzen.

**Strahlungsdruck** auf vollkommen reflektierende Fläche:

$$p = \frac{2E}{C} \quad (E \text{ absolute auffallende Energie}).$$

Strahlungsdruck der Sonne auf 1 cm<sup>2</sup> Erdoberfläche (spiegelnd):

$$p = \frac{2 \cdot 1,33 \cdot 10^8}{3 \cdot 10^{10}} = 8,88 \cdot 10^{-5} \frac{\text{Dyn}}{\text{cm}^2}.$$

Strahlungskonstanten.

Reflexionsvermögen geschwärzter Flächen.

Ruß: schwarze Strahlung von 100° bis 1000° C etwa 1 bis 2,5%; dicke Schicht  $\lambda$  4,4  $\mu$ : 1,4%.  
 Platinmohr: gleiche Strahlung: weniger als 1,8%; dicke Schicht  $\lambda$  4,4  $\mu$ : 1,5%  
**Coblentz**, Bull. Bur. Stand. 9, 283; 1913.  
 (Fehlerquellen bei der Bestimmung: **Gerlach**, Ann. d. Phys. 50, 245; 1916.)  
**Royds** (Phys. ZS. 11, 316; 1910. Phil. Mag. 12, 167; 1911):

	Ruß			Platinmohr	
	0,205 mm	0,072 mm	0,016 mm	15 Min. Elektrolyse	3 Min. Elektrolyse
$\lambda$ 0,8 $\mu$	0,80%	0,68%	0,68%	0,12%	0,33%
8,7	0,62	0,87	5,13	0,56	2,82
25,5	0,67	2,43	2,61	0,93	3,78
51,0	1,6	2,7	4,18	1,1	4,0

**Glühende Kohle** strahlt als grauer Körper, wahre Temperatur (praktisch für alle Glühzustände) 15% höher als schwarze (Strahlungs-)Temperatur. Lit. s. **Lummer**, Verflüssigung der Kohle. Samml. Vieweg, Heft 9/10.

**Absorption von Strahlung in Wasserdampf- und Kohlensäuregehalt der Luft.** (**Gerlach**, Ann. d. Phys. 50, 233; 1916.)

Temp. des Strahlers	CO <sub>2</sub> in Zimmerluft	Schichtlänge 35 cm					
		Partialdruck CO <sub>2</sub>			H <sub>2</sub> O Partialdruck		
		0,2 mm	0,8 mm	2,0 mm	4 mm	7 mm	10 mm
100° C	0%	—	0,0%	—	0,0%	0,0%	0,2%
200	0,2	—	—	—	0,0	0,2	0,4
250	0,4	—	0,4	—	—	—	—
310	1,2	0,0%	1,3	1,6%	0,0	0,0	0,0
370	0,8	—	1,0	—	—	—	—
420	0,7	—	1,0	—	—	0,0	0,0

**Coblentz** (Bull. Bur. Stand. 12, 503; 1916) Strahler 1000° C 35 cm Strahlenweg: kein Einfluß des Wasserdampfes; 1 m Länge: Absorption in Wasserdampf der Zimmerluft etwa 2%. **Gerlach**.

17

Wellenlängen und Spektralbezirke des gesamten Spektrums, gemessen in Ängström-Einheiten. (10<sup>-8</sup> cm = 1 Ängström-Einheit [Å.-E.]

[Zahlen vor einer Klammer (z. B. <sup>12</sup>) beziehen sich auf den Literaturnachweis Tab. 17 g, S. 40; Zahlen mit Stern (z. B. \*) auf den Literaturnachweis Tab. 19 l, S. 44.]

<sup>9)</sup> Kürzeste, bisher nachgewiesene Wellenlänge von Röntgenstrahlen . . . . .	ca.	0,057 Å.-E.
<sup>5) 6)</sup> Längste Wellenlänge von Röntgenstrahlen . . . . .	ca.	660 "
* <sup>34)</sup> Kürzeste, bisher beobachtete ultraviolette Strahlen . . . . .		202 "
* <sup>28)</sup> Nach der Dispersionstheorie stark metallisch reflektiert von allen nachfolgend genannten festen Medien; nur bei Ausschluß aller dieser Medien zu untersuchen; zerlegbar mit Reflexionsgitter . . . . .		1200 "
Von gutem Flußspat noch durchgelassen, aber schon von kurzen Luftstrecken völlig absorbiert; in Vakuumspektralapparaten mit Flußspatmedien zerlegbar . . . . .		1800 "
Von kristallisiertem Quarz, auch Gips, Steinsalz in nicht zu dicker Schicht noch durchgelassen; zerlegbar in Quarzspektrographen . . . . .		2200 "
Von geschmolzenem Quarz, auch Kalkspat, in nicht zu dicker Schicht noch durchgelassen; letzter Teil der Emission von Quarzquecksilber- und Quarzamalglampen . . . . .		3000 "
Von Jenaer Ultraviolettkron noch durchgelassen; von Uviolquecksilberlampen stark emittiert . . . . .		3400 "
Von gewöhnlichem Glas in nicht zu dicker Schicht noch durchgelassen; reichlich vom elektrischen Kohlebogen ausgehend . . . . .		3600 "

Wellenlängen und Spektralbezirke des gesamten Spektrums,  
gemessen in Ängström-Einheiten. ( $10^{-8}$  cm = 1 Ängström-Einheit [Å.-E.]

*29) violettes Licht . . . . .	}	3600 Å.-E.
blaues „ . . . . .		4240 „
grünes „ . . . . .		4920 „
gelbes „ . . . . .		5350 „
gelbrotes „ . . . . .		5860 „
rotes „ . . . . .		6470 „
kürzeste ultrarote (Wärme-) Strahlen . . . . .	}	810 „
Absorptionsgrenze des Kalkspats und Quarzes . . . . .		ca. 50 000 „
*41) Metallische Reflexion von Steinsalz . . . . .		51 200 „
*41) Metallische Reflexion von Sylvin . . . . .		61 100 „
*42) Metallische Reflexion von Quarz . . . . .	}	85 000 „
		90 200 „
		207 500 „
*43) längste ultrarote Emission des Quecksilberdampfes . . . . .		3 130 000 „ = 0,313 mm
*26) *2) kürzeste bisher dargestellte Hertz'sche Wellen . . . . .		20 000 000 „ = 2 mm
*9) elektromagnetische Eigenschwingungen der Alkohole . . . . .		ca. 7 000 000 000 „ = 70 cm

Die Länge der in der drahtlosen Telegraphie benutzten Hertz'schen Wellen beträgt ca. 100 m bis 30 000 m.

**Strahlungsquellen.**

Als starke, konstant brennende Strahlungsquellen zur Erzeugung von Linienspektren und bestimmten Spektralbezirken kommen praktisch in Betracht:

Für das Röntgengebiet: Glühkathodenröhren mit höchstem Vakuum; Ionenröhren mit kalter Kathode, diese jedoch nicht für kurze Wellen  $< 0,2$  Å.-E. Für Röntgenwellen  $> 1,2$  Å.-E. sind Röhren mit Fenster (Lindemann-Glas, Celluloid, Aluminiumfolie) nötig.

Für das Ultraviolett: Funken zwischen geeigneten Materialien (wie Aluminium-, Zink-, Platin-Elektroden usw.), erzeugt durch Poulsen-Schwingungen, für sehr kurze Wellenlängen (100 Å.-E. und weniger) vgl. \*26); Lichtbogen zwischen Eisenelektroden (oberhalb 240 Å.-E.), Quarzglasquecksilberlampe und Quarzglasamalgamlampen) von Heraeus-Hanau (oberhalb 220 Å.-E.); Uviolglasquecksilberlampen von Schott u. Gen.-Jena (oberhalb 300 Å.-E.); Quecksilberlampen nach Arons, Lummer, Hewitt u. a. (oberhalb 340 Å.-E.). Zur Erzeugung eines kontinuierlichen Spektrums (bis etwa 2200 Å.-E.) ist die Wolframlampe \*13) geeignet.

Für das sichtbare Spektrum: Unter vorstehend genannten Lichtquellen kommen besonders der Eisenlichtbogen und die Quecksilberlampen in Betracht, ferner noch Edelgasbogenlampen (Neonlampen) und Amalgamlampen, enthaltend Cadmium, Wismut, Zink \*12) \*27). Eine Cd-Bi-Amalgamlampe entsendet folgende helle Linien:

Hg	Cd	Bi	Cd	Cd	Hg	Hg	Hg	Cd
4358	4678	4722	4800	5086	5461	5770	5791	6439

Für das Ultrarot: Intensive Lichtquellen, welche Spektrallinien erzeugen, sind z. B. die Lichtbögen der Alkalien und Erdalkalien. Man benutzt ferner viel die aus einem starken kontinuierlichen Spektrum ausgeblendeten Spektralbezirke, z. B. den Kohlelichtbogen in Luft, den Auerstrumpf, die Quecksilber-Hochvakuumlampe; letztere enthält nach Rubens u. v. Baeyer \*43) das längste, bisher bekannte ultrarote Emissionsgebiet ( $\lambda = 0,3$  mm). Bezüglich Eichwellenlängen vgl. Tab. 18, Nr. 7.

**1. K-Serie.**

(Bezeichnungen an erster Stelle nach Siegbahn, an zweiter nach Sommerfeld.)

Atomzahl <sup>1)</sup>	Element <sup>2)</sup>	$\alpha_2 \alpha'$	$\alpha_1 \alpha$	$\alpha_3$	$\alpha_4$	$\beta_1 \beta$	$\beta_2 \gamma$	Absorptionsgrenze
11	Na <sup>30)</sup>	11,8836		11,8024	11,7814	11,591	—	—
12	Mg <sup>34) 35) 38)</sup>	9,86775		9,7994	9,78620	9,53450	—	9,5112
13	Al <sup>34) 36) 38)</sup>	8,31940		8,26460	8,25300	7,94050	—	7,9470
14	Si <sup>34) 36) 38)</sup>	7,10917		7,06382	7,05372	6,73933	—	—
15	P <sup>34) 36) 38)</sup>	6,14171		6,10219	6,09500	5,78513	—	5,7580
16	S <sup>34) 36) 38)</sup>	5,36375	5,36090	5,32837	5,32174	5,0213	5,0128	5,0123
17	Cl <sup>22) 34) 36) 38) 44) 45) 52) 61)</sup>	4,72185	4,71870		4,686	4,39450	—	4,3844
18	Ar <sup>34)</sup>	—	—	—	—	—	—	3,8657
19	K <sup>22) 34) 36) 38) 50) 52) 61)</sup>	3,73725	3,73386		3,710	3,44638	—	3,4345

<sup>1)</sup> Auch Ordnungszahl genannt. — <sup>2)</sup> Die hochgestellten Zahlen beziehen sich auf das Literaturverzeichnis S. 40.

Wellenlängen und Spektralbezirke des gesamten Spektrums,  
gemessen in Ångström-Einheiten. ( $10^{-8}$  cm = 1 Ångström-Einheit [Å.-E.]

1. K-Serie. (Fortsetzung.)

Atom- zahl	Element <sup>1)</sup>	$\alpha_2 \alpha'$	$\alpha_1 \alpha$	$\alpha_3$	$\alpha_4$	$\beta_1 \beta$	$\beta_2 \gamma$	Absorp- tionsgrenze
20	Ca <sup>22) 34) 36) 38) 50) 52) 61)</sup>	3,35512	3,35186	3,331		3,08297	3,06740	3,0633
21	Sc <sup>22) 34) 36) 38) 50) 52) 61)</sup>	3,02863	3,02526	3,006		2,77366	2,7555	2,7517
22	Ti <sup>22) 34) 36) 38) 50) 61)</sup>	2,74648	2,74284	2,7269		2,50874	2,49367	2,4937
23	V <sup>22) 34) 36) 38) 50) 61)</sup>	2,50212	2,49834	2,4846		2,27968	2,26537	2,2653
24	Cr <sup>22) 34) 36) 38) 50) 52) 61)</sup>	2,28858	2,28517	2,2733		2,08144	2,069	2,0675
25	Mn <sup>22) 26) 36) 38) 50) 61)</sup>	—	2,09777	2,0879		1,902	1,892	1,8892
26	Fe <sup>22) 26) 36) 38) 50) 52) 61)</sup>	1,93660	1,93239	1,9233		1,75272	1,74076	1,7396
27	Co <sup>22) 26) 36) 38) 50) 52) 61)</sup>	1,79006	1,78578	1,7774		1,61715	1,606	1,6018
28	Ni <sup>22) 26) 36) 38) 50) 52) 61)</sup>	1,65860	1,65467	1,6476		1,49669	1,48403	1,4890
29	Cu <sup>16) 22) 26) 36) 38) 50) 52) 50) 59) 61)</sup>	1,54122	1,53736	1,5308		1,38887	1,3774	1,3785
30	Zn <sup>22) 26) 50)</sup>	1,43598	1,43205	1,4288		1,29250	1,27915	1,2963
31	Ga <sup>26) 63)</sup>	1,34161	1,33785	—	—	1,20591	—	1,1902
32	Ge <sup>26) 50)</sup>	1,261	1,257	—	—	1,131	1,121	1,1146
33	As <sup>26) 50)</sup>	1,17749	1,17345	—	—	1,052	1,038	1,0435
34	Se <sup>26) 50)</sup>	1,109	1,104	—	—	0,993	—	0,9790
35	Br <sup>1) 2) 28) 50)</sup>	1,040	1,035	—	—	0,929	0,914	0,9179
37	Rb <sup>2) 50)</sup>	0,926	0,922	—	—	0,825	0,813	0,8143
38	Sr <sup>2) 50)</sup>	0,876	0,871	—	—	0,779	0,767	0,7696
39	Y <sup>2) 50)</sup>	0,840	0,835	—	—	0,746	0,733	0,7255
40	Zr <sup>1) 2) 50)</sup>	0,793	0,788	—	—	0,705	—	0,6872
41	Nb <sup>2) 50)</sup>	0,754	0,749	—	—	0,669	0,657	0,6503
42	Mo <sup>1) 2) 16) 50) 55)</sup>	0,71196	0,7059	—	—	0,63065	0,61398	0,6184
44	Ru <sup>2) 50)</sup>	—	0,645	—	—	0,574	—	0,5584
45	Rh <sup>2) 25) 55)</sup>	0,61656	0,61232	—	—	0,5440	0,5342	0,5330
46	Pd <sup>1) 2) 50) 55)</sup>	0,58850	0,58421	—	—	0,51962	0,51021	0,5075
47	Ag <sup>2) 50) 55) 64)</sup>	0,56251	0,55816	—	—	0,49597	0,491	0,4850
48	Cd <sup>1) 2) 50) 55) 58)</sup>	0,53837	0,53395	—	—	0,47414	0,4647	0,4632
49	In <sup>2) 50)</sup>	0,515	0,510	—	—	0,453	0,440	0,4434
50	Sn <sup>1) 2) 50) 55) 58)</sup>	0,49385	0,48947	—	—	0,432	—	0,4242
51	Sb <sup>1) 2) 50)</sup>	0,472	0,468	—	—	0,416	4,008	0,4065
52	Tc <sup>2) 50) 58)</sup>	—	0,456	—	—	0,404	—	0,3896
53	I <sup>1) 2) 25) 50) 58)</sup>	—	0,437	—	—	0,388	—	0,3737
55	Cs <sup>2) 50) 58)</sup>	0,402	0,398	—	—	0,352	—	0,3444
56	Ba <sup>1) 2) 50) 58)</sup>	0,393	0,388	—	—	0,343	—	0,3307
57	La <sup>2) 50) 58)</sup>	0,376	0,372	—	—	0,329	—	0,3188
58	Ce <sup>1) 2) 50) 58)</sup>	0,360	0,355	—	—	0,314	—	0,3065
59	Pr <sup>50) 58)</sup>	0,347	0,342	—	—	0,301	—	0,2946
60	Nd <sup>32) 50) 58)</sup>	0,335	0,330	—	—	0,292	—	0,2861
62	Sa <sup>58)</sup>	—	—	—	—	—	—	0,2636
63	Eu <sup>58)</sup>	—	—	—	—	—	—	0,2543
64	Gd <sup>58)</sup>	—	—	—	—	—	—	0,2456
65	Tb <sup>32)</sup>	—	—	—	—	—	—	0,2398
66	Dy <sup>32) 58)</sup>	—	—	—	—	—	—	0,2308
67	Ho <sup>58)</sup>	—	—	—	—	—	—	0,2214
74	W <sup>18) 23) 30) 32) 48) 53) 54)</sup>	0,21352	0,20885	0,215	—	0,18436	0,17940	0,1782
76	Os <sup>32)</sup>	—	—	—	—	—	—	0,1683
77	I <sup>55)</sup>	0,1958	—	—	—	0,1684	—	—
78	Pt <sup>23) 58) 55)</sup>	0,19010	0,18528	—	—	0,1634	0,1582	0,1581
79	Au <sup>23) 32) 58)</sup>	—	—	—	—	—	—	0,1534
80	Hg <sup>23) 32) 58)</sup>	—	—	—	—	—	—	0,1491
81	Tl <sup>23) 58)</sup>	—	—	—	—	—	—	0,1448
82	Pb <sup>23) 32) 58)</sup>	—	—	—	—	—	—	0,1410
83	Bi <sup>23) 58)</sup>	—	—	—	—	—	—	0,1372
90	Th <sup>23) 58)</sup>	—	—	—	—	—	—	0,1131
92	U <sup>23) 58)</sup>	—	—	—	—	—	—	0,1075

<sup>1)</sup> Die hochgestellten Zahlen beziehen sich auf das Literaturverzeichnis S. 40.

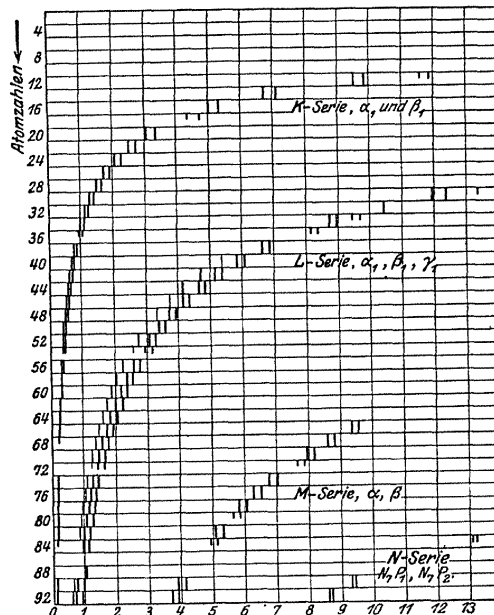
Wellenlängen und Spektralbezirke des gesamten Spektrums,  
gemessen in Ångström-Einheiten. ( $10^{-8}$  cm = 1 Ångström-Einheit [Å.-E.]

1. **K-Serie**, nur bei leichten Elementen gemessen.  
(Zitiert nach Siegbahn<sup>55</sup>) und Wentzel<sup>66</sup>.)

Atom- zahl	Element	$\alpha_5$	$\alpha_6$	$\beta'$	$\beta''$	Atom- zahl	Element	$\alpha_5$	$\alpha_6$	$\beta'$	$\beta''$
12	Mg . . .	9,7302	9,7118	9,647	—	16	S . . .	5,2626	—	5,047	—
13	Al . . .	8,20580	8,18920	8,025	—	17	Cl . . .	—	—	—	4,39080
14	Si . . .	7,014	7,003	6,7933	—	19	K . . .	—	—	—	3,44290
15	P . . .	—	—	5,8204	—	20	Ca . . .	—	—	—	3,07957

2. **L-Serie**, nur bei schweren Elementen gefunden.  
(Zitiert nach Siegbahn<sup>55</sup>) und Wentzel<sup>66</sup>.)

Atom- zahl	Element	$\beta_6$	$\beta_7$	$\beta_8$	$\beta_9$	$\beta_{10}$	$\gamma_5$	$\gamma_6$
73	Ta . . . . .	1,3267	1,2600	—	—	—	1,1700	—
74	W . . . . .	1,2871	1,2205	1,2355	1,2031	1,2105	1,1284	1,0724
76	Os . . . . .	1,2048	—	—	1,1238	—	1,0541	1,0053
77	Ir . . . . .	1,1717	—	1,1267	1,0874	1,0947	1,0197	0,9636
78	Pt . . . . .	1,1398	1,0785	1,0928	1,0524	1,0593	0,9855	0,9317
79	Au . . . . .	1,1106	1,0465	1,0609	1,0182	1,0254	0,9542	0,90125
81	Tl . . . . .	1,0480	0,988	—	—	—	0,8942	0,8417
82	Pb . . . . .	1,0188	0,9590	0,9735	—	—	0,8639	0,81370
83	Bi . . . . .	0,916	—	—	—	—	0,8378	0,7874
90	Th . . . . .	0,8262	—	—	—	—	—	0,6301
92	U . . . . .	0,7866	0,736	—	0,6797	0,6853	0,6344	0,5926



Übersicht über die K-, L-, M-, N-Serien der Elemente.

Wellenlängen und Spektralbezirke des gesamten Spektrums,  
gemessen in Ångström-Einheiten. ( $10^{-8}$  cm = 1 Ångström-Einheit [Å.-E.] )

2. L-Serie.

(Bezeichnungen an erster Stelle nach Siegbahn, an zweiter nach Sommerfeld.)

Atom- zahl	Element <sup>1)</sup>	$\alpha_2 \alpha'$	$\alpha_1 \alpha$	$\alpha_3 \alpha''$	$\beta_1 \beta$	$\beta_2 \gamma$	$\gamma_1 \delta$	$l \epsilon$	$\eta$	$\beta_5 \zeta$
29	Cu <sup>37</sup>	—	13,3091	—	—	—	—	—	—	—
30	Zn <sup>50) 37)</sup>	—	12,2225	—	11,951	—	—	—	—	—
32	Ge <sup>37</sup>	—	10,4136	—	—	—	—	—	—	—
33	As <sup>50) 37)</sup>	—	9,6503	9,6173	9,3940	—	—	—	—	—
34	Se <sup>37</sup>	—	8,9706	8,9386	8,7172	—	—	—	—	—
35	Br <sup>50) 37)</sup>	—	8,3566	8,3262	8,1076	—	—	—	—	—
37	Rb <sup>12) 37) 50)</sup>	—	7,3027	7,2725	7,0604	—	—	—	—	—
38	Sr <sup>12) 37) 50)</sup>	—	6,8478	6,8183	6,6092	—	—	—	—	—
39	Y <sup>12) 37) 50)</sup>	—	6,4349	6,4065	6,1984	—	—	—	—	—
40	Zr <sup>12) 37) 50)</sup>	—	6,0559	6,0272	5,8228	—	—	—	—	—
41	Nb <sup>12) 37) 50)</sup>	5,717	5,7113	5,6886	5,4796	5,2951	—	—	—	—
42	Mo <sup>12) 37) 50)</sup>	5,400	5,3943	5,3721	5,1658	—	4,7111	—	—	—
44	Ru <sup>12) 37) 50)</sup>	4,84167	4,83567	4,818	4,6110	—	4,17282	—	—	—
45	Rh <sup>12) 37) 50)</sup>	4,59556	4,58778	4,572	4,36490	—	3,9357	—	—	—
46	Pd <sup>12) 37) 50)</sup>	4,37660	4,35850	4,344	4,13730	3,899	3,71636	—	—	—
47	Ag <sup>12) 37) 50)</sup>	4,15582	4,14564	4,13170	3,92664	3,69383	3,51485	—	—	—
48	Cd <sup>12) 37) 50)</sup>	3,95636	3,94782	3,933	3,73008	3,507	3,32800	—	—	—
49	In <sup>12) 37) 50)</sup>	3,77242	3,76367	3,74991	3,54783	3,332	3,15529	—	—	—
50	Sn <sup>12) 37) 50)</sup>	3,60108	3,59218	—	3,37792	3,16284	2,99493	—	—	—
51	Sb <sup>12) 37) 50)</sup>	3,44075	3,43177	—	3,21830	3,017	2,84507	—	—	—
52	Te <sup>12) 37) 50)</sup>	3,29100	3,28199	—	3,06997	2,877	2,70647	—	—	—
53	I <sup>12) 37) 50)</sup>	3,15087	3,14166	—	2,93093	2,74608	2,57748	—	—	—
55	Cs <sup>12) 35) 37) 50)</sup>	2,89560	2,88610	—	2,67784	2,507	2,34252	—	—	—
56	Ba <sup>12) 35) 37) 50)</sup>	2,77902	2,77964	—	2,56224	2,39928	2,23660	—	—	—
57	La <sup>12) 35) 37) 50)</sup>	2,66893	2,65968	—	2,45330	2,298	2,13720	—	—	—
58	Ce <sup>12) 35) 37) 50)</sup>	2,56511	2,55600	—	2,35100	2,20380	2,04433	—	—	2,19600
59	Pr <sup>12) 35) 37) 50)</sup>	2,46763	2,45770	—	2,25390	2,11468	1,95681	—	—	—
60	Nd <sup>12) 35) 37) 50)</sup>	2,37563	2,36531	—	2,16221	2,031	1,87383	—	—	—
62	Sa <sup>12) 37) 50)</sup>	2,20568	2,19501	—	1,99357	1,877	1,72309	—	—	—
63	Eu <sup>12) 37) 50)</sup>	2,12733	2,11633	—	1,91631	1,807	1,659	—	—	—
64	Gd <sup>12) 37) 50)</sup>	2,05264	2,04193	—	1,84246	1,741	1,58863	—	—	—
65	Tb <sup>12) 37) 50)</sup>	1,98231	1,97149	—	1,77268	1,67925	1,529	—	1,935	1,656
66	Dy <sup>12) 37) 50)</sup>	1,91564	1,90460	—	1,70658	1,61975	1,467	—	—	—
67	Ho <sup>12) 37) 50)</sup>	1,85206	1,84098	—	1,64352	1,56365	1,412	—	—	—
68	Er <sup>12) 37) 50)</sup>	1,79140	1,78040	—	1,58344	1,5142	1,363	—	1,725	—
70	Yb <sup>12) 37) 50)</sup>	1,6789	1,66779	—	1,472	1,412	1,265	1,892	1,618	—
71	Lu <sup>12) 37) 50)</sup>	1,6236	1,61151	—	1,417	1,366	1,220	1,834	—	—
73	Ta <sup>12) 37) 50)</sup>	1,52933	1,51824	—	1,32351	1,28065	1,13471	—	1,435	—
74	W <sup>4) 9) 18) 27) 37) 48) 53) 54)</sup>	1,48452	1,47348	—	1,27917	1,24191	1,09553	1,67505	1,4177	1,2118
76	Os <sup>9) 50)</sup>	1,3982	1,38816	—	1,19459	1,16838	1,02247	—	—	1,140
77	Ir <sup>50)</sup>	1,35939	1,34834	—	1,15495	1,13287	0,98841	1,840	—	1,1030
78	Pt <sup>4) 9) 27) 50) 64) 66)</sup>	1,32121	1,31008	—	1,11722	1,09950	0,95545	1,49723	1,2401	1,0701
79	Au <sup>4) 9) 27) 50) 64)</sup>	1,28489	1,27355	—	1,08093	1,06775	0,92437	1,45654	1,1995	1,0382
80	Hg <sup>9) 27) 47) 50)</sup>	1,251	1,2497	—	1,049	1,042	0,896	—	—	—
81	Tl <sup>4) 9) 27) 50)</sup>	1,21603	1,20471	—	1,01266	1,00786	0,86529	1,385	1,125	0,9783
82	Pb <sup>4) 5) 9) 27) 33) 50)</sup>	1,18352	1,17202	—	0,97990	0,97990	0,83708	1,34662	1,0902	0,94952
83	Bi <sup>4) 9) 10) 27) 50)</sup>	1,1533	1,14115	—	0,94930	0,95293	0,81065	1,31295	1,057	0,9223
84	Po <sup>50)</sup>	—	1,101	—	0,920	—	—	—	—	—
88	Ra <sup>3) 4) 50)</sup>	—	1,010	—	—	—	—	—	—	—
90	Th <sup>4) 9) 10) 27) 50)</sup>	0,96524	0,95342	—	0,76259	0,79108	0,65103	1,11241	—	0,76259
92	U <sup>4) 9) 10) 14) 15) 50)</sup>	0,92014	0,90833	—	0,71807	0,75268	0,61283	1,06477	0,8029	0,72413

<sup>1)</sup> Die hochgestellten Zahlen beziehen sich auf das Literaturverzeichnis S. 40.

Wellenlängen und Spektralbezirke des gesamten Spektrums,  
gemessen in Ängström-Einheiten. ( $10^{-8}$  cm = 1 Ängström-Einheit [Å.-E.]

2. L-Serie.

(Bezeichnungen an erster Stelle nach Siegbahn, an zweiter Stelle nach Sommerfeld.)

Atom- zahl	Element <sup>1)</sup>	$\gamma_2 \vartheta$	$\beta_4 \nu$	$\beta_3 \varphi$	$\gamma_3 \chi$	$\gamma_4 \psi$	Absorptionsgrenzen		
							I	II	III
29	Cu <sup>37)</sup>	—	—	—	—	—	—	—	—
30	Zn <sup>37) 50)</sup>	—	—	—	—	—	—	—	—
32	Ga <sup>37)</sup>	—	—	—	—	—	—	—	—
33	As <sup>37) 50)</sup>	—	—	—	—	—	—	—	—
34	Se <sup>37)</sup>	—	—	—	—	—	—	—	—
35	Br <sup>37) 50)</sup>	—	—	—	—	—	—	—	—
37	Rb <sup>12) 37) 50)</sup>	—	—	—	—	—	—	—	—
38	Sr <sup>12) 37) 50)</sup>	—	—	—	—	—	—	—	—
39	Y <sup>12) 37) 50)</sup>	—	—	—	—	—	—	—	—
40	Zr <sup>12) 37) 50)</sup>	—	—	—	—	—	—	—	—
41	Nb <sup>12) 37) 50)</sup>	—	—	—	—	—	—	—	—
42	Mo <sup>12) 37) 50)</sup>	—	—	—	—	—	—	—	—
44	Ru <sup>12) 37) 50)</sup>	—	—	—	—	—	—	—	—
45	Rh <sup>12) 37) 50)</sup>	—	—	—	—	—	—	—	—
46	Pd <sup>12) 37) 50)</sup>	—	4,065	4,025	—	—	—	—	—
47	Ag <sup>12) 37) 50)</sup>	—	3,86109	3,82445	—	—	—	—	—
48	Cd <sup>12) 37) 50)</sup>	—	3,67425	3,63642	—	—	—	—	—
49	In <sup>12) 37) 50)</sup>	—	—	—	—	—	—	—	—
50	Sn <sup>12) 37) 50)</sup>	—	3,337	3,29768	—	—	—	—	—
51	Sb <sup>12) 37) 50)</sup>	—	3,184	3,14514	—	—	—	—	—
52	Te <sup>12) 37) 50)</sup>	—	3,04004	3,00133	—	—	—	—	—
53	I <sup>12) 37) 50)</sup>	—	2,906	2,867	—	—	—	—	—
55	Cs <sup>12) 35) 37) 50)</sup>	—	2,66953	2,62293	—	—	2,459	2,299	2,157
56	Ba <sup>12) 35) 37) 50)</sup>	—	2,54976	2,51100	—	—	2,348	2,194	2,063
57	La <sup>12) 35) 37) 50)</sup>	—	2,44426	2,40531	—	—	2,250	2,098	1,971
58	Ce <sup>12) 35) 37) 50)</sup>	—	2,34480	2,3059	—	—	2,158	2,007	1,887
59	Pr <sup>12) 35) 37) 50)</sup>	—	2,254	2,21237	—	—	2,071	1,922	1,808
60	Nd <sup>12) 35) 37) 50)</sup>	1,801	2,162	2,12230	—	—	1,992	1,842	1,736
62	Sa <sup>12) 37) 50)</sup>	1,657	—	1,958	—	—	—	—	—
63	Eu <sup>12) 37) 50)</sup>	1,598	1,921	1,886	—	—	—	—	—
64	Gd <sup>12) 37) 50)</sup>	—	1,848	1,809	—	—	—	—	—
65	Tb <sup>12) 37) 50)</sup>	1,474	1,781	1,74256	1,468	1,437	—	—	—
66	Dy <sup>12) 37) 50)</sup>	1,419	1,718	1,680	1,415	—	—	—	—
67	Ho <sup>12) 37) 50)</sup>	1,366	1,653	1,61677	1,361	—	—	—	—
68	Er <sup>12) 37) 50)</sup>	1,320	1,596	1,556	1,313	—	—	—	—
70	Yb <sup>12) 37) 50)</sup>	1,225	1,488	1,448	1,221	—	—	—	—
71	Lu <sup>12) 37) 50)</sup>	1,184	1,434	1,395	1,180	—	—	—	—
73	Ta <sup>12) 37) 50)</sup>	1,101	1,341	1,303	1,094	—	—	—	—
74	W <sup>4) 9) 18) 27) 37) 48) 53) 54)</sup>	1,06584	1,29874	1,26000	1,05965	1,02647	1,2136	1,0726	1,024
76	Os <sup>9) 50)</sup>	—	1,2150	1,1772	—	—	—	—	—
77	Ir <sup>50)</sup>	0,9636	1,1764	1,1379	0,9566	0,917	—	—	—
78	Pt <sup>4) 9) 27) 50) 64) 66)</sup>	0,9317	1,1398	1,09950	0,9256	0,8950	1,0705	0,9321	0,8885
79	Au <sup>4) 9) 27) 50) 64)</sup>	0,90125	1,1044	1,059	0,89568	0,8663	1,0383	0,8993	0,8606
80	Hg <sup>9) 27) 47) 50)</sup>	—	—	—	—	—	1,0067	0,8700	0,8335
81	Tl <sup>4) 9) 27) 50)</sup>	0,8447	1,0371	0,9978	0,8379	0,8100	0,9776	0,8415	0,8055
82	Pb <sup>4) 5) 9) 27) 33) 50)</sup>	0,8182	1,00469	0,96602	0,81370	0,7835	0,9497	0,8133	0,7803
83	Bi <sup>4) 9) 10) 27) 50)</sup>	0,7929	0,9754	0,9357	0,7874	0,761	0,9216	0,7872	0,7532
84	Po <sup>50)</sup>	—	—	—	—	—	—	—	—
88	Ra <sup>3) 4) 50)</sup>	—	—	—	—	—	0,802	0,668	—
90	Th <sup>4) 9) 10) 27) 50)</sup>	—	0,789	0,7521	—	—	0,7596	0,6286	0,6044
92	U <sup>4) 9) 10) 14) 15) 50)</sup>	0,6044	0,7454	0,7084	0,597	0,5738	0,7214	0,5918	0,5685

<sup>1)</sup> Die hochgestellten Zahlen beziehen sich auf das Literaturverzeichnis S. 40.

Wellenlängen und Spektralbezirke des gesamten Spektrums,  
gemessen in Ängström-Einheiten. ( $10^{-8}$  cm = 1 Ängström-Einheit [Å.-E.]

### 3. M-Serie.

Nach Stenström [zitiert nach Wentzel<sup>66</sup>].

Atomzahl	Element	$\alpha'$	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\delta$	$\epsilon$
66	Dy . . . . .	—	9,509	9,313	—	—	—
67	Ho . . . . .	—	9,123	8,930	—	—	—
68	Er . . . . .	—	8,770	8,561	—	—	—
70	Yb . . . . .	—	8,123	7,895	—	—	—
71	Lu . . . . .	—	7,818	7,587	—	—	—
73	Ta . . . . .	—	7,237	7,0115	—	—	—
74	W . . . . .	—	6,973	6,754	6,091	—	—
76	Os . . . . .	—	6,477	6,250	—	—	—
77	Ir . . . . .	—	6,245	6,029	—	—	—
78	Pt . . . . .	—	6,028	5,812	5,311	—	—
79	Au . . . . .	—	5,891	5,601	5,115	—	—
81	Tl . . . . .	5,461	5,4499	5,2384	4,802	—	—
82	Pb . . . . .	5,287	5,2751	5,0648	4,6637	—	—
83	Bi . . . . .	5,119	5,1072	4,8993	4,5238	—	—
90	Th . . . . .	4,143	4,12915	3,9333	3,6565	3,127	3,006
92	U . . . . .	3,916	3,9014	3,7083	3,4714	2,943	2,813

### 3. M-Serie.

Nach Karcher [zitiert nach Siegbahn<sup>55</sup>].

Atomzahl	Element	$\alpha_1$	$\beta_1$	$\beta_3$	$\gamma_1$	$\gamma_2$	$\gamma_3$
78	Pt . . . . .	6,049	5,831	5,649	5,329	4,733	4,623
79	Au . . . . .	5,848	5,632	5,446	5,154	4,530	4,439
80	Hg . . . . .	5,649	5,439	—	—	—	—
81	Tl . . . . .	5,468	5,254	—	—	—	—
82	Pb . . . . .	5,290	5,078	—	4,675	4,073	—
83	Bi . . . . .	5,124	4,915	4,604	4,534	3,932	3,840

### 3. M-Serie.

Absorptionsgrenzen nach Coster<sup>11</sup>).

Atomzahl	Element	M <sub>I</sub>	M <sub>II</sub>	M <sub>III</sub>	M <sub>IV</sub>	M <sub>V</sub>
83	Bi . . . . .	4,762	4,569	3,894	2,385	2,288
90	Th . . . . .	3,721	3,552	3,058	2,571	2,388
92	U . . . . .	3,491	3,326	2,873	—	—

### 4. N-Serie.

Nach V. Dolejšek<sup>21</sup>).

Atomzahl	Element	N <sub>7</sub> P <sub>1</sub>	N <sub>7</sub> P <sub>2</sub>	N <sub>7</sub> O <sub>3</sub>	N <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	N <sub>6</sub> O <sub>5</sub>	N <sub>6</sub> O <sub>1</sub>	N <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	N <sub>6</sub> P <sub>3</sub>
83	Bi . . . . .	13,040	13,140	—	—	—	—	—	—
90	Th . . . . .	9,310	9,427	11,462	11,542	—	13,255	13,181	13,111
92	U . . . . .	8,594	8,700	10,080	9,876	12,856	12,777	12,702	—

(Die Linien sind durch End- und Ausgangsniveau bezeichnet.)



Wellenlängen und Spektralbezirke des gesamten Spektrums,  
gemessen in Ängström-Einheiten. ( $10^{-8}$  cm = 1 Ängström-Einheit [Å.-E.]

5. Literatur, betreffend Wellenlängen der Röntgenstrahlen.

- |   |   |
|---|---|
| 1) F. C. Blake u. W. Duane, Phys. Rev. (2) 10, 98; 1917.                      | 33) W. Duane u. Takeo Shimizu, Proc. Nat. Ac. Sc. Am. 5, 198; 1919.                                       |
| 2) „ „ Phys. Rev. (2) 10, 697; 1917.  | 34) H. Fricke, Phys. Rev. (2) 16, 202; 1920.  |
| 3) M. de Broglie, C. r. 168, 854; 1919.                                       | 35) G. Hertz, ZS. Phys. 3, 19; 1920.  |
| 4) „ „ C. r. 169, 962; 1919.  | 36) E. Hjalmar, ZS. Phys. 1, 439; 1920.   |
| 5) C. D. Cooksey u. D. Cooksey, Phys. Rev. (2) 16, 327; 1920.                 | 37) „ „ ZS. Phys. 3, 262; 1920.   |
| 6) D. Coster, ZS. Phys. 4, 178; 1920.   | 38) „ „ Phil. Mag. (6) 41, 675; 1921.   |
| 7) „ „ ZS. Phys. 5, 139; 1921.  | 39) J. Holtsmark, Phys. ZS. 23, 252; 1922.  |
| 8) „ „ ZS. Phys. 6, 185; 1921.  | 40) M. Holweck, Journ. chim. phys. 19, 261; 1921.   |
| 9) „ „ Phys. Rev. (2) 18, 218; 1921.  | 41) A. L. Hughes, Phil. Mag. (6) 43, 145; 1922.   |
| 10) „ „ C. r. 172, 1176; 1921.  | 42) P. Knipping, Naturw. 10, 366; 1922.   |
| 11) „ „ Phys. Rev. (2) 19, 20; 1922.  | 43) E. H. Kurth, Phys. Rev. (2) 18, 461; 1921.  |
| 12) „ „ C. r. 174, 378; 1922.   | 44) A. E. Lindh, ZS. Phys. 6, 303; 1921.  |
| 13) H. M. Dadourian, Phys. Rev. (2) 14, 234; 1919.                            | 45) „ „ C. r. 172, 1175; 1921.  |
| 14) A. Dauvillier, C. r. 172, 915; 1921.                                      | 46) F. L. Mohler u. P. D. Foote, Sc. Pap. Bur. Stand. 17, 471; 1922.                                      |
| 15) „ „ C. r. 172, 1350; 1921.  | 47) A. Müller, Phil. Mag. (6) 42, 419; 1921.  |
| 16) „ „ C. r. 174, 443; 1922.   | 48) O. B. Overn, Phys. Rev. (2) 14, 137; 1919.  |
| 17) H. Dember, Verh. D. phys. Ges. 15, 560; 1913.                             | 49) P. A. Ross, Phys. Rev. (2) 18, 336; 1921.   |
| 18) E. Dershem, Phys. Rev. (2) 11, 244; 1918.                                 | 50) M. Siegbahn, Jahrb. Rad. 13, 296; 1916 (dasselbst Verzeichnis der Literatur bis 1916.)                |
| 19) „ „ Phys. Rev. (2) 11, 461; 1918.   | 51) „ „ Ann. d. Phys. (4) 59, 56; 1919.   |
| 20) F. Dessauer u. E. Back, Verh. D. phys. Ges. 21, 168; 1919.                | 52) „ „ Phil. Mag. (6) 37, 601; 1919.   |
| 21) V. Dolejšek, ZS. Phys. 10, 129; 1922.                                     | 53) „ „ Phil. Mag. (6) 38, 639; 1919.   |
| 22) „ „ C. r. 174, 441; 1922.   | 54) „ „ Phys. ZS. 20, 533; 1919.  |
| 23) W. Duane, H. Fricke u. W. Stenström, Proc. Nat. Ac. Sc. Am. 6, 607; 1920. | 55) „ „ Jahrb. Rad. 18, 240; 1921 (dasselbst ausführl. Literaturverz. von 1916—1921).                     |
| 24) W. Duane u. Kang-Fuh-Hu, Phys. Rev. (2) 11, 489; 1918.                    | 56) „ „ C. r. 173, 1350; 1921.  |
| 25) „ „ Phys. Rev. (2) 14, 369; 1919.   | 57) „ „ ZS. Phys. 9, 68; 1922.  |
| 26) „ „ Phys. Rev. (2) 14, 516; 1919.   | 58) M. Siegbahn u. Edv. Jönsson, Phys. ZS. 20, 251; 1919.   |
| 27) W. Duane u. R. A. Patterson, Proc. Nat. Ac. Sc. Am. 6, 509; 1920.         | 59) M. Siegbahn u. A. B. Leide, Phil. Mag. (6) 38, 647; 1919.   |
| 28) „ „ Proc. Nat. Ac. Sc. Am. 6, 518; 1920.                                  | 60) A. Sommerfeld, Atombau und Spektrallinien. Braunschweig 1922.   |
| 29) „ „ Phys. Rev. (2) 15, 546; 1920.   | 61) N. Stensson, ZS. Phys. 3, 60; 1920.   |
| 30) W. Duane u. W. Stenström, Proc. Nat. Ac. Sc. Am. 6, 477; 1920.            | 62) W. Stenström, Ann. d. Phys. (4) 57, 347; 1918.  |
| 31) W. Duane u. Takeo Shimizu, Phys. Rev. (2) 13, 159; 1919.                  | 63) H. S. Uhler u. C. D. Cooksey, Phys. Rev. (2) 10, 645; 1917.   |
| 32) „ „ Phys. Rev. (2) 14, 522; 1919.   | 64) E. Wagner, Ann. d. Phys. (4) 46, 868; 1915.   |
|   | 65) D. L. Webster, Phys. Rev. (2) 15, 238; 1920.  |
|   | 66) G. Wentzel, Naturw. 10, 369; 1922 (dasselbst ausführliche Tabellen und zahlreiche Literaturhinweise.) |

Wellenlängen und Spektralbezirke des gesamten Spektrums,  
gemessen in Ångström-Einheiten. ( $10^{-8}$  cm = 1 Ångström-Einheit [Å.-E.] )

### 6. Wellenlängen einzelner, zu Normalen gewählter Spektrallinien in Å.-E.

a) Wellenlängen der Fraunhoferschen D-Linien bzw. der Natriumlinien einer Flamme, bezogen auf Luft von mittlerer Temperatur und 760 mm Hg.

	Ångström*1)	Peirce-Bell*36)	Müller-Kempff*35)	Kurlbaum*25)	Bell*3)	Rowland*40)	Perot*37)
D <sub>2</sub>	5889,12		5890,23		5890,22	5890,186	5889,965
D <sub>1</sub>	5895,13	5896,04	5896,25	5895,90	5896,18	5896,35	5895,932

Die D-Linien, insbesondere die Linie D<sub>1</sub>, galten früher als Hauptnormale.

b) Wellenlängen von Cadmiumlinien, bezogen auf Luft von 15° und 760 mm Hg (Normalen I. Ordnung). Als Lichtquelle dient ein Cadmiumdampf enthaltendes, erhitztes Geisslersches Rohr.

	A. A. Michelson*33) (feuchte Luft)	Michelson, korrigiert von Benoît, Fabry, Perot*8) (trockene Luft)	Benoît, Fabry, Perot*5) (trockene Luft)
Cd 5	4799,9107		
Cd 4	5085,8240		
Cd 1	6438,4722	6438,4700	6438,4696

Die rote Linie Cd 1 gilt heute als Hauptnormal (primary standard).

c) Wellenlängen des in Luft brennenden Eisenbogens und einiger, die Lücken im Eisenspektrum ausfüllender Elemente, bezogen auf trockene Luft von 15° und 760 mm Quecksilberdruck. Diese Wellenlängen sind Normalen II. Ordnung (secondary standards); es liegen ihnen relative Messungen mit Interferenzen zugrunde, wobei für die rote Cadmiumlinie der obige Wert 6438,4696 angenommen ist. Die mit I. Å. bezeichneten Zahlen geben die von der International Union for co-operation in Solar Research 1910 adoptierten Werte der Wellenlängen an.

Fabry u. Buisson*12)	Fabry u. Buisson*12)	Evers- heim*10)	Pfund*38)	I. Å.*45)	Fabry u. Buisson*12)	Evers- heim*10)	Pfund*38)	I. Å.*45)
(letzte Dezimalen)					(letzte Dezimalen)			
Fe 2373,737	Fe 3513,820				Fe 4547,854	53	53	53
Fe 2413,310	Fe 3556,879				Fe 4592,658	58	57	58
Si 2435,159	Fe 3606,681				Fe 4602,944	48	48	47
Si 2506,904	Fe 3640,391				Fe 4647,437	41	39	39
Si 2528,516	Fe 3677,628				Fe 4678,855	—	—	—
Fe 2562,541	Fe 3724,379				Fe —	4691,419	16	17
Fe 2588,016	Fe 3753,615				Fe 4707,287	92	86	88
Fe 2628,296	Fe 3805,346				Fe 4736,785	87	87	86
Fe 2679,065	Fe 3843,261				Mn4754,046	49	—	—
Fe 2714,419	Fe 3865,526				Fe 4789,657	58	57	57
Fe 2739,550	Fe 3906,481				Mn4823,521	23	—	—
Fe 2778,225	Fe 3935,818				Fe 4859,756	58	57	—
Fe 2813,290	Fe 3977,745				Fe 4878,226	24	25	25
Fe 2851,800	Fe 4021,872				Fe 4903,324	27	24	25
Fe 2874,176	Fe 4076,641				Fe 4919,006	07	08	07
Fe 2912,157	Fe 4118,552				Fe 4966,104	05	—	—
Fe 2941,347	Fe 4134,685				Fe 5001,880	85	79	81
Fe 2987,293	Fe 4147,677				Fe 5012,072	74	72	73
Fe 3030,152	Fe 4191,441				Fe 5049,827	27	27	27
Fe 3075,725	Fe 4233,615				Fe 5083,343	46	43	44
Fe 3125,661	Fe 4282,407	08	08	08	Fe 5110,415	14	16	15
Fe 3175,447	Fe 4315,089	89	89	89	Fe 5127,364	—	—	—
Fe 3225,790	Fe 4352,741	41	44	—	Fe 5167,492	91	92	92
Fe 3271,003	Fe 4375,935	34	34	34	Fe —	5191,473	—	—
Fe 3323,739	Fe 4427,314	13	16	14	Fe 5192,362	—	64	63
Fe 3370,789	Fe 4466,554	57	58	56	Fe 5232,958	58	56	57
Fe 3399,337	Fe 4494,572	71	72	72	Fe 5266,568	69	69	69
Fe 3445,155	Fe —	4528,662	—	—	Fe 5302,316	16	—	—
Fe 3485,344	Fe 4531,155	—	55	55	Fe 5324,196	96	—	—

Wellenlängen und Spektralbezirke des gesamten Spektrums,  
gemessen in Ångström-Einheiten. ( $10^{-8}$  cm = 1 Ångström-Einheit [Å.-E.]

**6. Wellenlängen einzelner, zu Normalen gewählter Spektrallinien in Å.-E.**  
(Fortsetzung.)

Fabry u. Buisson *12)	Evers- heim *10)	Pfund *38)	I. Å. *45)	Fabry u. Buisson *12)	Evers- heim *10)	Pfund *38)	I. Å. *45)	Fabry u. Buisson *12)	Evers- heim *10)	Pfund *38)	I. Å. *45)
(letzte Dezimalen)				(letzte Dezimalen)				(letzte Dezimalen)			
Fe 5371,498	93	94	95	Ni 5805,211	—	—	—	Fe 6230,732	36	35	34
Fe 5405,780	80	80	80	Ba —	5826,294	—	—	Fe 6265,147	—	43	45
Fe 5434,530	24	28	27	Ni 5857,760	59	—	—	Fe 6318,029	28	26	28
Fe 5455,616	11	14	14	Ni 5892,882	81	—	—	Fe 6335,343	42	37	41
Fe 5497,521	23	23	22	Fe 5934,683	—	—	—	Fe 6393,612	13	11	12
Fe 5506,783	85	84	84	Fe 5952,739	—	—	—	Fe 6430,859	62	55	59
Fe 5535,418	—	—	—	Ba —	5971,715	—	—	Fe 6494,994	94	92	93
Fe 5569,632	36	31	33	Ba —	5997,102	—	—	Fe —	6546,252	—	—
Fe 5586,770	73	72	72	Fe 6003,039	—	—	—	Fe —	6592,931	—	—
Fe 5615,658	62	63	61	Fe 6027,059	—	59	59	Fe —	6678,008	—	—
Fe 5658,835	38	35	36	Fe 6065,493	93	91	92	Fe —	6750,162	—	—
Fe 5709,396	—	—	—	Ni —	6108,121	—	—	Fe —	6945,223	—	—
Ni 5760,843	—	—	—	Fe 6137,700	—	02	01				
Fe 5763,013	13	14	13	Fe 6191,569	68	67	68				

Burns u. Meggers finden Abweichungen von den I. A. im Betrage 1 bis  $2 \cdot 10^6$ .

Im Anschluß an diese Normalen II. Ordnung haben Kayser\*<sup>24</sup>), Goos\*<sup>16</sup>), St. John u. Ware\*<sup>22</sup>), Burns\*<sup>7</sup>), Janicki\*<sup>21</sup>) Normalen III. Ordnung (tertiary standards) aufgestellt, deren Wellenlänge durch Interpolation *zwischen* den obigen Eisenlinien gefunden wurde.

d) Dieselben Normallinien (Spektrallinien des Eisenbogens) wie unter c), auf Grund älterer Messungen mit Beugungsgittern. (Ältestes System von Wellenlängen.)\*<sup>10</sup>)

Rowland, korrigiert durch Hartmann	Kayser (letzte Dezimalen)	Rowland, korrigiert durch Hartmann	Kayser (letzte Dezimalen)	Rowland, korrigiert durch Hartmann	Rowland, korrigiert durch Hartmann
2373,826	813	3513,951	974	4592,829	5455,819
2413,400	393	3557,012	—	4603,116	5497,726
Si 2435,250	—	3606,816	836	4647,610	5506,988
Si 2506,998	—	3640,527	541	4679,030	5535,624
Si 2528,610	—	3677,765	—	4707,463	5569,840
2562,637	619	3724,518	527	4736,962	5586,978
2588,113	102	3753,755	—	Mn 4754,223	5615,867
2628,394	383	3805,488	—	4789,836	5659,046
2679,165	148	3843,404	—	Mn 4823,701	5709,609
2714,520	503	3865,670	670	4859,937	Ni 5761,058
2739,652	639	3906,627	624	4878,408	5763,228
2778,329	327	3935,965	966	4903,507	Ni 5805,428
2813,395	391	3977,893	892	4919,189	Ni 5857,978
2851,906	910	4022,022	029	4966,289	Ni 5893,102
2874,283	284	4076,793	801	5002,067	5934,904
2912,266	273	4118,706	709	5012,259	5952,961
2941,457	462	4134,839	—	5050,015	6003,263
2987,404	410	4147,832	—	5083,533	6027,284
3030,265	—	4191,597	611	5110,606	6065,719
3075,840	830	4233,773	771	5127,555	6137,929
3125,778	770	4282,567	567	5167,685	6191,800
3175,565	556	4315,250	255	5192,556	6230,964
3225,910	905	4352,903	910	5233,153	6265,381
3271,125	129	4376,098	104	5266,764	6318,265
3323,863	—	4427,479	490	5302,514	6335,579
3370,915	—	4466,721	737	5324,395	6393,850
3399,464	468	4494,740	755	5371,698	6431,099
3445,284	301	4531,324	—	5405,982	6495,236
3485,474	490	4548,024	—	5434,733	

Wellenlängen und Spektralbezirke des gesamten Spektrums,  
gemessen in Ångström-Einheiten. ( $10^{-8}$  cm = 1 Ångström-Einheit [Å.-E.]

6. Wellenlängen einzelner, zu Normalen gewählter Spektrallinien in Å.-E.  
(Fortsetzung.)

e) Wellenlängen weiterer Elemente, gemessen mittels Interferenzmethoden. Der Wert der als Normale I. Ordnung zugrunde gelegten Wellenlänge ist nicht einheitlich. Die Zahlen unter „Rowland, korrigiert durch Hartmann“ geben wieder die Werte an, welche die Linien im alten System haben würden. Die Wellenlängen beziehen sich auf Luft von  $15^{\circ}$  und 760 mm Barometerstand. Die Na- und Li-Linien wurden in der Flamme erzeugt, die anderen Linien in Vakuumlichtbögen oder Geisslerschen Röhren.

Element	Å.-E.	Beobachter	Rowland, korrr. d. Hartmann *19) (letzte Dezimalen)	Element	Å.-E.	Beobachter	Rowland, korrr. d. Hartmann *19) (letzte Dezimalen)
Ag	5209,081	} F.u.P. *12)	9,273	Ne	3369,904	} B., M., M. *8)	—
„	5465,489		5,691	„	3417,906		—
Cd	4662,3513	} H *13)	2,525	„	3447,705		—
„	4799,9107		M. *15)	0,088	„		3454,197
„	5085,8240	M.	6,012	„	3460,526		—
„	5154,6589	H.	4,851	„	3466,581		—
„	6325,1676	H.	5,404	„	3472,578		—
„	6438,4696	B., F.u.P. *5)	8,7098	„	3501,218		—
Cu	5105,543	} F. u. P.	5,731	„	3515,192		—
„	5153,251		3,441	„	3520,474		—
„	5218,202		8,395	„	3600,170		—
„	5782,090		2,304	„	3633,664		—
„	5782,159		2,373	„	5330,779		—
He	2945,104	} M. *32)	1,647	„	5341,096		—
„	3187,743		3,318	„	5400,562		—
„	3613,641		2,112	„	5852,488		—
„	3705,003		5,865	„	5881,895		—
„	3819,606		5,842	„	5944,834		—
„	3888,646		8,396	„	6074,338		—
„	3964,727		5,461	„	6096,163		—
„	4026,189		—	„	6143,062	—	
„	4120,812		—	„	6163,594	—	
„	4143,759		—	„	6266,495	—	
„	4387,928		—	„	6334,428	—	
„	4437,549		—	„	6382,991	—	
„	4471,477		R. *39)	478	„	6402,245	—
„	4713,143		480	493	„	6506,528	—
„	4921,929		171	154	„	6532,883	—
„	5015,675		925	922	„	6598,953	—
„	5047,736		680	683	„	6678,276	—
„	5875,618		—	—	„	6717,043	—
„	6678,149		616	639	„	6929,468	—
„	7065,188		144	151	„	7032,413	—
„	7281,349	189	207	Zn	4629,810	H. *18)	9,981
Hg	4358,343	} F. u. P.	8,504	„	4680,138	F. u. P.	0,311
„	5460,7424		0,944	„	138	H.	310
„	5769,5984		9,811	„	4722,164	F. u. P.	2,338
„	5790,6593		0,873	„	4810,535	F. u. P.	0,712
„	5790,6593		0,873	„	533	H.	710
Li	6707,846	} F. u. P.	8,093	„	5181,984	H.	2,175
Na	5889,965		0,183	„	6362,345	F. u. P.	2,579
„	5895,932		6,150	„	346	H.	581
				„	350	R. *39)	584

## Literatur, betr. optische Wellenlängen.

Mit Rücksicht auf den zur Verfügung stehenden engen Raum konnte aus einer Reihe wichtiger Arbeiten, welche z. T. im folgenden ohne Kennziffer mit angeführt werden, kein Zahlenmaterial entnommen werden

- <sup>1)</sup> **Angström**, Recherches sur le spectre solaire. Upsala 1868. Berlin 1869.
- <sup>2)</sup> **v. Baeyer**, auf Grund mündlicher Mitteilung in einem vor der Deutsch. Phys. Ges. am 18. März 1910 gehaltenen Vortrag.
- <sup>3)</sup> **Bell** (1), Phil. Mag. (5) 23, 265; 1887.
- <sup>4)</sup> „ (2), Phil. Mag. (5) 25, 245 u. 350; 1888.
- <sup>5)</sup> **Benoit, Fabry u. Perot**, C. r. 144, 1082; 1907.
- <sup>6)</sup> **H. Buisson u. Ch. Fabry**, C. r. 144, 1155; 1907. Journ. phys. (4) 7, 168; 1908. Atlas des Eisenspektrums. Ann. de la faculté des sciences de Marseilles 17, 3; 1908.
- <sup>7)</sup> **Burns**, ZS. wiss. Phot. 12, 207; 1913. Bull. Bur. Stand. 12, 179; 1915.
- <sup>8)</sup> **Burns, Meggers u. Merrill**, Bull. Bur. Stand. 12, 202; 1915; 14, 769; 1917.
- <sup>9)</sup> **P. Drude**, Wied. Ann. 58, 1; 1896.
- Eder u. Valenta** (1), Wien. Denkschr. 63, 189; 1896.
- „ „ (2), Wien. Anz. 1898, 252.
- „ „ (3), Wien. Sitzungsber. 107 [2a], 41; 1898.
- „ „ (4), Wien. Denkschr. 58; 1899.
- „ „ (5), Wien. Denkschr. 68, 523; 1899.
- <sup>10)</sup> **P. Eversheim**, Ann. d. Phys. (4) 30, 815; 1909.
- <sup>11)</sup> **P. Eversheim**, ZS. wiss. Phot. 8, 148; 1909.
- <sup>12)</sup> **Fabry u. Perot**, Ann. chim. phys. (7) 25, 98; 1902; (8) 1, 5; 1904.
- <sup>13)</sup> **Gehlhoff**, ZS. techn. Phys. 1, 225; 1920.
- <sup>14)</sup> **E. Gehrcke u. O. v. Baeyer**, Elektrotechn. ZS. 27, 383; 1906.
- <sup>15)</sup> **Goos**, ZS. wiss. Phot. 11, 1; 1912.
- <sup>16)</sup> „ ZS. wiss. Phot. 10, 200; 1911; 11, 1; 305; 1912.
- <sup>17)</sup> **M. Hamy**, C. r. 130, 489; 1900.
- <sup>18)</sup> „ C. r. 138, 959; 1904.
- <sup>19)</sup> **J. Hartmann**, Phys. ZS. 10, 121; 1909.
- <sup>20)</sup> „ Astroph. Journ. 18, 170; 1903.
- Hasselberg** (1), Kongl. Svensk. Akad. Handl. 26, 33; 1894.
- „ (2), Kongl. Svensk. Akad. Handl. 28, Nr. 1.
- „ (3), Kongl. Svensk. Akad. Handl. 28; 1896.
- Hasselberg** (4), Kongl. Svensk. Akad. Handl. 30; 1897.
- „ (5), Kongl. Svensk. Akad. Handl. 32; 1899.
- <sup>21)</sup> **Janicki**, ZS. wiss. Phot. 13, 173; 1914.
- <sup>22)</sup> **John u. Ware**, Astroph. Journ. 36, 14; 1912.
- <sup>23)</sup> „ „ Astroph. Journ. 44, 15; 1916.
- <sup>24)</sup> **H. Kayser**, Astroph. Journ. 32, 217; 1910.
- <sup>25)</sup> **Kurlbaum**, Wied. Ann. 33, 159 und 381; 1888.
- <sup>26)</sup> **A. Lampa**, Wied. Ann. 61, 83; 1897.
- <sup>27)</sup> **S. P. Langley**, Annals of the Astrophysical Observatory of the Smithsonian Institution 1; 1900. Washington.
- <sup>28)</sup> **P. Lenard u. C. Ramsauer**, Sitzungsberichte der Heidelberger Akademie der Wissenschaften, Mathem.-naturw. Klasse, Jahrgang 1910, 31. Abhandlung.
- <sup>29)</sup> **Listig**, Pogg. Ann. 131, 564; 1868.
- <sup>30)</sup> **O. Lummer u. E. Gehrcke**, ZS. Instrk. 24, 296; 1904.
- <sup>31)</sup> **Meggers**, Astroph. Journ. 47, 1; 1918.
- <sup>32)</sup> **Merrill**, Bull. Bur. Stand. 14, 162; 1917.
- <sup>33)</sup> **A. A. Michelson**, Travaux et Mém. du bur. intern. des poids et mesures 11; 1895.
- <sup>34)</sup> **Millikan**, Astroph. Journ. 52, 47; 1920.
- <sup>35)</sup> **Müller u. Kempf**, Publicat. d. Astrophys. Obs. zu Potsdam 5; 1886.
- <sup>36)</sup> **Peirce**, Sill. Am. Journ. of Sc. (3) 18, 51; 1879.
- <sup>37)</sup> **A. Perot**, C. r. 130, 406, 492; 1900 und **Fabry u. Perot**<sup>12)</sup>.
- <sup>38)</sup> **Pfund**, Astroph. Journ. 28, 197; 1908.
- <sup>39)</sup> **Rayleigh**, Phil. Mag. (6) 15, 548; 1908.
- <sup>40)</sup> **H. A. Rowland**, A preliminary table of solar spectrum wave-lengths. Chicago 1898. Astroph. Journ. 1, 2; 1895; 4; 1896; 5; 1897; 6; 1897.
- Rowland u. Tatnall**, Astroph. Journ. 3, 286; 1896.
- <sup>41)</sup> **H. Rubens u. E. Aschkinass**, Wied. Ann. 65, 241; 1898.
- <sup>42)</sup> **Rubens und Nichols**, Wied. Ann. 60, 432; 1897.
- <sup>43)</sup> **H. Rubens u. O. v. Baeyer**, Berl. Sitzber. 1911, 339.
- <sup>44)</sup> **V. Schumann**, Sitzungsber. d. Königl. Akad. d. Wissensch. in Wien 102, 415 u. 625; 1893.
- <sup>45)</sup> **Solar Union 1910**, Astroph. Journ. 32, 215; 1910.
- <sup>46)</sup> **B. Walter u. R. Pohl**, Ann. d. Phys. (4) 29, 331; 1909.

## 18

## Ultrarote Wellenlängen.

Absorptionsbanden in  $\mu$  ( $1\mu = 10^{-3} \text{ mm} = 10^4 \text{ \AA. -E.}$ ).

## 1. Kohlensäure.

	Von $\lambda$	bis $\lambda$	Max. <sup>1)</sup> $\lambda$
Schwach . . .	2,36	3,02	2,71
Stark . . . .	4,01	4,80	4,27
Stark <sup>1)</sup> . . . .	13,5	16	14,7

<sup>1)</sup> Breite variiert stark mit Schichtdicke.

<sup>2)</sup> Über feinere Struktur der Maxima vgl.

**G. Hertz**, Verh. D. phys. Ges. 13, 617; 1911.  
**W. Burmeister**, ebenda 15, 611; 1913.

## 2. Wasserdampf.

Absorptionsmaxima in  $\mu$  nach **Paschen, Rowland, Rubens, v. Bahr, Hettner** auf Grund der Zusammenstellung von **Hettner**. Zu einer Bande gehörige Absorptionsmaxima sind durch eine Klammer } vereinigt, besonders hervortretende durch ein Sternchen \* gekennzeichnet. Nicht mit Sicherheit festgestellte Maxima sind eingeklammert. Ann. d. Phys. 55, 495; 1918.

**Ultrarote Wellenlängen.**  
Absorptionsbanden in  $\mu$  ( $1\mu = 10^{-3}\text{ mm} = 10^4 \text{ \AA.-E.}$ ).

Wasserdampf. (Fortsetzung).				Bezüglich der Literatur siehe besonders			
0,944 *	3,112	6,56	9,50	14,98	Coblentz, Jahrb. Rad. 7 <sup>1)</sup> , 123—183; 1910.		
1,128 }	3,194 *	6,61	9,74 *	15,62 *	Untersucht wurden: von:		
1,157 }	3,245		9,98	16,00	Sulfate . . . . .	Coblentz <sup>1)</sup> , Schaefer u.	Schubert <sup>5)</sup>
1,367 }	3,295	7,44	10,30 *	(16,80)	Sulfide . . . . .	„ 1)	
1,411 *	3,340	7,58	10,66	17,33 *	Silicate . . . . .	„ 1)	Pfund <sup>4)</sup>
1,480 }	3,402	7,75	10,80	18,37	Oxyde . . . . .	„ 1)	
1,843 }	3,463	7,88	10,94 *	19,22	Carbonate . . . . .	„ 1)	Schaefer u.
1,870 }	(4,56)	8,04	11,24	19,70			Schubert <sup>5)</sup>
1,904 }	(4,70)	8,17	11,47	20,5	Kohlenstoffverbindgn.	„ 1)	Pfund <sup>4)</sup>
1,985 }	4,98	8,23	11,66 *	21,6	Nitrate . . . . .	Pfund <sup>4)</sup> , Schaefer u.	Schubert <sup>5)</sup>
(2,010)	5,04	8,36	11,89	22,9	Tartrate . . . . .	Pfund <sup>4)</sup>	
	5,18	8,42	12,42 *	24,1	versch. Krystalle . .	Coblentz <sup>1)</sup>	
2,898	5,24	8,51	12,82	27,1	Metalle u. industrielle		
2,948		8,73	13,34 *	29,4	Glühkörper . . . .	Lummer <sup>3)</sup> Coblentz <sup>1)</sup>	
2,997	6,42	8,99	13,62	31,0 *	Feuerfliege . . . . .	Coblentz <sup>1)</sup>	
3,028	6,49	9,30	14,32 *	33,1			
3,070							

Über feinere Struktur vgl. W. W. Sleator, Astroph. Journ. 48, 125; 1918; Hettner, ZS. Phys. I, 352 Anm. 3; 1920.

3. Maxima von Absorptionsbanden einiger Gase in  $\mu$  nach W. Burmeister<sup>1)</sup>, Verh. D. phys. Ges. 15, 611; 1913; v. Bahr<sup>2)</sup>, ebenda S. 710; E. S. Imes<sup>3)</sup>, Astroph. Journ. 50, 251; 1919. Doppelbanden sind in Klammern eingeschlossen.

HF<sup>3)</sup> [2,50; 2,58]  
 HCl<sup>1)</sup> 1,76; [340; 355]  
 HBr<sup>1)</sup> 3,84; 4,01  
 (CN)<sub>2</sub><sup>1)</sup> [3,79; 3,93]; 4,65; 13,50; 16,07  
 HCN<sup>1)</sup> 3,04; [6,95; 7,22]; [13,60; 14,33]  
 C<sub>2</sub>H<sub>2</sub><sup>1)</sup> 2,52; 3,07; 3,77; [7,39; 7,66]; [13,50; 13,95]  
 CO<sup>1)</sup> 2,35; [4,60; 4,72]  
 CO<sub>2</sub><sup>1)</sup> [14,70; 15,05]  
 N<sub>2</sub>O<sup>2)</sup> [4,49; 4,54]; [2,86; 2,96].

Über feinere Struktur vgl. v. Bahr, Verh. D. phys. Ges. 15, 710, 1150; 1913 und E. S. Imes, Astroph. Journ. 50, 251; 1919.

Weitere Literatur s. bei Hettner, ZS. Phys. I, 345; 1920. Brinsmade u. Kemble, Proc. Nat. Acad. Washington 3, 420; 1918. Coblentz, Jahrb. Rad. 7, 123; 1910. (Hier auch Metalldämpfe.)

4. Feste und flüssige Körper wurden auf Eigenschwingungen im Ultrarot in großer Zahl untersucht.

Reststrahlen von	Mittlere Wellenlänge in $\mu$	Reststrahlen von	Mittlere Wellenlänge in $\mu$
Flußspat . . .	24,0 u. 31,6	Thalliumchlorür . .	91,6
Steinsalz . . .	52,0	Jodkalium . . .	94,1
Sylvin . . . .	63,4	Bromsilber . . .	112,7
Chlorsilber . .	85,5	Thalliumbromür . .	117,0
Bromkalium . .	82,6	Thalliumjodür . .	151,8

7. Bequeme Eichwellenlängen in  $\mu$  für Rot und Ultrarot, nach Paschen, Ann. d. Phys. 41, 670; 1913.

0,48615 H $\beta$	0,76653 K
0,58758 He	1,0140 Hg
0,58932 Na	1,08304 He
0,65630 H $\alpha$	1,8688 He
0,72818 He	2,0582 He

19

**Kompendien und Atlantenwerke mit photographischen Spektren.**

- Baly, Spektroskopie. Deutsche Übersetzung von Wachsmuth. Berlin, Springer, 1908.
- Buisson u. Fabry, Spectre du fer. Annales de la faculté des sciences de Marseille 17, Fasc. 3; 1903.
- Dunz, Unsere Kenntnis von den Seriengesetzen der Linienspektren, nebst Anhang von F. Paschen, Erweiterung der Seriengesetze der Linienspektren auf Grund genauer Wellenlängenmessungen im Ultrarot. Leipzig, Hirzel, 1911.
- Eder u. Valenta, Atlas typischer Spektren. Wien 1911. In Kommission bei Alfred Hölder.
- „ „ „ Beiträge zur Photochemie und Spektralanalyse. Wien 1904, in Kommissionsverlag bei Wilhelm Knapp-Halle und R. Lechner-Wien.
- Hagenbach u. Konen, Atlas der Emissionsspektren. Jena, Fischer, 1905.
- Kayser, Handbuch der Spektroskopie. 6 Bde. Leipzig, Hirzel.
- Konen, Das Leuchten der Gase und Dämpfe. Braunschweig, Friedr. Vieweg & Sohn, 1922.
- Sommerfeld, Atombau und Spektrallinien. Braunschweig, Friedr. Vieweg & Sohn, 1922.
- Uhler u. Wood, Atlas for absorption-spectra. Washington 1907, Carnegie Institution of Washington.

### Optische Serienspektren einiger Elemente. (Gekürzte Auswahl.)

Es bedeutet im folgenden stets  $m$  die Laufnummer; bezüglich der Serienbezeichnungen und Konstanten vgl. das bei Wasserstoff und Helium Gesagte. In den Serienformeln bedeuten Minuendus und Subtrahendus die Terme in Schwingungszahlen  $\nu$  [ $\text{cm}^{-1}$ ] in üblicher, symbolischer Bezeichnung; eine einheitliche Bezeichnung hierfür hat sich noch nicht durchgesetzt.

#### Wasserstoff.

Name	Formel	Erste Linien	Bemerkungen
Ritz-Serie . . . . .	$N \left( \frac{1}{1^2} - \frac{1}{m^2} \right)$	1216, 1026	Auch genannt Lyman-Serie
Balmer-Serie . . . . .	$N \left( \frac{1}{2^2} - \frac{1}{m^2} \right)$	6563, 4861, 4340	{ Auch genannt $H_\alpha$ , $H_\beta$ , $H_\gamma$ oder $C$ , $F$ , $f$
Paschen-Serie . . . . .	$N \left( \frac{1}{3^2} - \frac{1}{m^2} \right)$	18751, 12817	Auch genannt Bergmann-Serie

Die genauen Werte der Linien der Balmer-Serie sind nach **Curtis**, Proc. Roy. Soc. (A) 90, 605; 1914 folgende:

	$m$	$\lambda$		$m$	$\lambda$		$m$	$\lambda$
$H_\alpha$	3	6562,793	$H_\gamma$	5	4340,466		7	3970,075
$H_\beta$	4	4861,327	$H_\delta$	6	4101,738		8	3889,052
							9	3835,386
							10	3797,900 usw.

und darstellbar durch den Ausdruck  $N \cdot \left( \frac{1}{2^2} - \frac{1}{(m+\mu)^2} \right)$ , wo:  $N = 109679,22$  und  $\mu = +0,0569$ .

$N$  heißt die **Rydberg'sche** Konstante.  $H_\alpha$ ,  $H_\beta$ ,  $H_\gamma$ ,  $H_\delta$  sind nach **Gehrcke** u. **Lau** (Ann. d. Phys. 1921 u. 1922) enge Doppellinien von konstanter Schwingungsdifferenz  $\Delta\nu = 8,8 \cdot 10^9 \text{ sec}^{-1}$ .

Über die Wellenlängen des 2. Wasserstoffspektrums vgl. **Merton**, Proc. Roy. Soc. (A) 96, 382; 1920; Übersicht über die Wellenlängen gibt hier, wie für die anderen Elemente, Kaysers Spektroskopie.

#### Helium.

$N_{\text{Helium}} = 109677,9$ . Über den genauen Wert von  $N_{\text{Helium}}$  vgl. **Bell**, Phil. Mag. 40, 489; 1920. (Nach **Saunders**, Astroph. Journ. 41, 324; 1915; 50, 151; 1919.)

System	Name	Serienformel	Erste Linien	Bemerkungen
System von Einzellinien oder He II oder Parhelium	Hauptserie	$(1 S) - (m P)$	20 581, 5016, 3965	Starks 'fast scharfe Hauptserie'
	Scharfe oder 2. Nebenserie	$(1 P) - (m S)$	7282, 5048, 4438	—
	Diffuse oder 1. Nebenserie	$(1 P) - (m D)$	6678, 4922, 4388	—
	Fundamentalserie	$(1 D) - (m F)$	18 694, 12 793	Nicht erwähnt in Starks Auf- stellung der He-Spektren
Kombina- tionen		$(1 P) - (m P)$ $(1 S) - (m S)$	6635, 4911, 4384 (5380), (4053), (3651), 3468	Beobachtet von Merton Eingeklammerte Linien noch nicht beobachtet; Starks 'scharfe Hauptserie'
		$(1 S) - (m D)$ $(2 P) - (m D)$	(5043), 3974, 3617 19 096	Starks 'diffuse Hauptserie' Eine Linie, gefund. v. Paschen
System von Paaren	Hauptserie	$(1 s) - (m p)$	10 830, 3889, 3188	Starks 'fast scharfe Hauptserie'
	scharfe Serie	$(1 p) - (m s)$	7066, 4713, 4121	—
	diffuse Serie	$(1 p) - (m d)$	5876, 4472, 4026	—
	Grundserie	$(1 d) - (m f)$	18 684, 12 785	Gefunden von Paschen
Kombina- tionen		$(1 p) - (m p)$	6060, 4518, 4046	Kochs 'dritte Nebenserie' Starks 'fast scharfe Nebenserie'
		$(1 s) - (m s)$	(4277), (3285), 2986	Starks 'scharfe Hauptserie'
		$(1 s) - (m d)$	3809, 3166, 2936	Starks 'diffuse Hauptserie'
		$(2 p) - (m d)$	17 008	Gefunden von Paschen
Einwertige Heliumionen	Fowlers 'main series'	$4N \left( \frac{1}{3^2} - \frac{1}{m^2} \right)$	4686, 3203, 2733	Frühere sogenannte Haupt- serie des Wasserstoffs
	Pickering	$4N \left( \frac{1}{4^2} - \frac{1}{m^2} \right)$	6560, 5411, 4859	Frühere sogenannte Pickering- Serie des Wasserstoffs

Gehrcke.

Optische Serienspektren einiger Elemente \*).

Neon.

Nach Paschen, Ann. d. Phys. 60, 405; 1919 (hier umfassende Wellenlängenzahlen nebst Serien-einordnung) und ebenda 63, 202; 1920 (Nachtrag, betreffend Einführung reduzierter Terme). Bezüglich genauer Werte einzelner Wellenlängen siehe die Arbeiten von Meissner u. Meggers.

$$N_{\text{Neon}} = 109\,694,8. \quad (\text{Nach Paschen.})$$

Formel: $\nu =$			Erste Linien (Å.-E.)								Laufzahl
			$n=1$	$n=2$	$n=3$	$n=4$	$n=5$	$n=6$	$n=7$	$n=8$	
$(2 p_n) - (m d_n)$	1. Neben-serien	$2 p_n - m d'_1$	—	—	—	9220	—	8781	—	8417	} $m = 3$
		$2 p_n - m d''_1$	—	—	—	9221	9149	—	8365	8418	
		$2 p_n - m d_2$	—	—	—	—	9222	8831	8682	8463	
		$2 p_n - m d_3$	—	—	—	9301	9227	8854	8704	8485	
		$2 p_n - m d_4$	—	—	—	9314	—	8866	—	8495	
		$2 p_n - m d_5$	—	—	—	—	—	—	—	8545	
		$2 p_n - m d_6$	—	—	—	—	9311	—	8779	—	
$(2 p_n) - (m s_n)$	2. Neben-serien	$2 p_n - m s'_1$	—	8772	—	—	8571	—	8119	—	} $m = 2, 5$
		$2 p_n - m s''_1$	—	8784	—	8647	8583	8259	8129	7937	
		$2 p_n - m s'''_1$	—	—	—	—	—	8266	—	7943	
		$2 p_n - m s''''_1$	—	—	—	8656	8891	8267	8136	—	
		$2 p_n - m s_2$	7305	6401	6352	6328	6294	6118	6046	5939	
		$2 p_n - m s_3$	—	6421	—	—	6314	—	6065	—	
		$2 p_n - m s_4$	7725	—	6667	—	6603	6410	6331	6214	
		$2 p_n - m s_5$	—	6760	—	—	6640	6445	6365	6247	
$(1,5 s_n) - (m p_n)$	Haupt-serien	$1,5 s_n - m p_1$	—	5852	—	5401	—	—	—	—	} $m = 2$
		$1,5 s_n - m p_2$	—	6599	6164	6029	5881	—	—	—	
		$1,5 s_n - m p_3$	—	6652	—	6074	—	—	—	—	
		$1,5 s_n - m p_4$	—	6678	—	6096	5945	—	—	—	
		$1,5 s_n - m p_5$	—	6717	6266	6128	5976	—	—	—	
		$1,5 s_n - m p_6$	—	6929	—	6305	6143	—	—	—	
		$1,5 s_n - m p_7$	—	7024	6533	6283	6217	—	—	—	
		$1,5 s_n - m p_8$	—	7174	—	—	6334	—	—	—	
		$1,5 s_n - m p_9$	—	—	—	—	6402	—	—	—	
		$1,5 s_n - m p_{10}$	—	8082	7439	7245	7032	—	—	—	

Außerdem ordnet Paschen diesen Serien noch solche Serien hinzu, deren Grenzen eine konstante Differenz der Wellenzahlen  $A = 782 \text{ cm}^{-1}$  unabhängig von der Art der Serien besitzen:

Hauptserien  $\nu = (1,5 s_i + A) - (m p_i)_{\text{red}} = (1,5 s_i)_{\text{red}} - (m p_i)_{\text{red}}$

II. Nebenserien  $\nu = (2 p_i + A) - (m s_i)_{\text{red}} = (2 p_i)_{\text{red}} - (m s_i)_{\text{red}}$

I. Nebenserien  $\nu = (2 p_i + A) - (m s'_i)_{\text{red}} = (2 p_i)_{\text{red}} - (m s'_i)_{\text{red}}$

Über eine graphische Darstellung der Neonserien vgl. W. Grotrian, Phys. ZS. 21, 638; 1920.

Lithium.

Gehrcke.

Hauptserie:  $1,5 s - m p_i$ .

$m = 2$	3	4	5	6	7	8	9	10	11 <sup>1)</sup>	12
6708,2	3232,77	2741,39	2562,60	2475,13	2425,55	2394,54	2373,9	2359,4	2348,4	2340,4
13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
2334,2	2328,9	2325,1	2321,8	2319,2	2317,0	2315,1	2313,5	2312,1	3211,0	2309,9
24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
2308,9	2308,2	2307,4	2306,82	2306,40	2305,82	2305,36	2304,94	2304,58	2304,24	2303,95
35	36	37	38	40	41	42	43	—	—	—
2303,68	2303,41	2303,19	2302,98	2302,78	2302,54	2302,33	2302,15	—	—	—

II. Nebenserie:  $2 p_i - m s$ .

$m = 1,5$	2,5	3,5	4,5	5,5	6,5	—	—	—
6708,2 <sup>2)</sup>	8127,34	4971,98 <sup>4)</sup>	4273,34	3985,86	3838,3 <sup>5)</sup>	—	—	—

\*) Vorbemerkung zu den Zahlenangaben bei Lithium usw.: Die Zahlen sind meist in den Werten des Rowlandschen Systems gegeben; wo neuere Angaben vorliegen, die sich auf I. Å. beziehen, ist dies besonders vermerkt. † bedeutet, daß die Veröffentlichung dem Bearbeiter im Original nicht vorgelegen hat. Die Zahlenbereiche für  $m$  sind bei verschiedenen Autoren verschieden; vgl. die angegebene Literatur.

<sup>1)</sup> Glieder von  $m = 11$  bis 43 nach Bevan. <sup>2)</sup> Nach Kent  $\Delta\lambda = 0,151$  ( $\Delta\nu = 0,336$ ).

<sup>3)</sup> Nach T. Takamine u. K. Yamada  $\Delta\lambda = 0,165$  mit Stufengitter von 35 Platten.

<sup>4)</sup> Nach Kent  $\Delta\lambda = 0,084$  ( $\Delta\nu = 0,339$ ). <sup>5)</sup> Nach Dunz S. 4. Vielleicht keine Lithiumlinie.



Optische Serienspektren einiger Elemente.

Lithium. (Fortsetzung.)

I. Nebenserie: $2 p_i - m d$ .								Bergmannserie:	
$m = 2$	3	4	5	6	7	8	9	$m = 4$	5
7436,0	6103,77 <sup>1)</sup>	4603,04 <sup>2)</sup>	4132,44	3915,2	3795,18	3719,0	3670,6	18697,0	12782,8
Kombinationen:									
$1,5 s - 3 p$	$3 232,77^3)$	$3 p - 4 d$	$17 551,6^3)$	$4 \Delta p - \frac{N}{5^2}$	$40 475,0$	$2 p - 3 p$	$6240,3^4)$		
$2,5 s - 3 p$	$26 875,3^3)$	$3 p - 5 d$	$12 232,4^3)$	$\frac{N}{5^2} - \frac{N}{6^2}$	$7,436 \mu$	$2 p - 4 p$	$4636,84^4)$		
$3 p - 3,5 s$	24 467	$2 p - 4 p$	$4 601,6^4)$			$2 p - 5 p$	$4148,2^4)$		
$3 d - 4 p$	19 290					$2 p - 6 p$	$3921,8^5)$		

Literatur: **Kayser u. Runge**, Wied. Ann. **41**, 302; 1890. — **Lehmann**, Ann. d. Phys. **5**, 633; 1901. — **Hagenbach**, Ann. Phys. **9**, 729; 1902. — **Ramage**, Proc. Roy. Soc. (A) **71**, 164; 1903. — **Konen u. Hagenbach**, Phys. ZS. **4**, 1900; 1903. — **Hagenbach**, Phys. ZS. **4**, 592; 1903. — **Saunders**, Astroph. Journ. **20**, 188; 1904. — **Paschen**, Ann. Phys. **27**, 537; 1908. — **Paschen**, Ann. Phys. **33**, 717; 1910. — **Bevan**, Proc. Roy. Soc. London (A) **85**, 54; 1911; **86**, 321; 1912. — **Zeeman**, Proc. Roy. Acad. Amsterdam **15**, 1130; 1913. — **Kent**, Astroph. Journ. **40**, 337; 1914. — **Takamine u. K. Yamada**, Proc. Tokyo Math.-Phys. Soc. (2) **7**, 339; 1914. — **Dunz**, Diss. Tübingen. S. 4—5. Leipzig, S. Hirzel, 1911. — **Watts**, Phil. Mag. **29**, 775; 1915. — **Johanson**, Arkiv f. Mat., Astron. och Fys. **12**, Nr. 6, 24; 1917.

Natrium.

Hauptserie: $1,5 s - m p_i$ .									
$m = 2$	3	4	5	6	7	8	9	10	
$5895,930 D_1$	3302,94	2853,038	2680,443	2593,927	2543,875	2512,210	2490,733	2475,533	
$5889,963 D_2$	3302,64	2852,821	2680,335	2593,828	2543,817	2512,128	—	—	
11	12	13	14	15	16	17	18	19	
2464,397	2455,915	2449,393	2444,195	2440,046	2436,627	2433,824	2431,433	2429,428	
20	21	22	23	24	25	26	27	28	
2427,705	2426,217	2424,937	2423,838	2422,856	2421,997	2421,233	2420,520	2419,922	
29	30	31	32	33	34	35	36	37	
2419,380	2418,893	2418,454	2418,062	2417,695	2417,362	2417,058	2416,779	2416,518	
38	39	40	41	42	43	44	45	46	
2416,271	2416,046	2415,838	2415,651	2415,474	2415,305	2415,147	2415,006	2414,872	
47	48	49	50	51	52	53	54	55	
2414,746	2414,627	2414,518	2414,411	2414,313	2414,218	2414,131	2414,050	2413,971	
56	57	58	—	—	—	—	—	—	
2413,910	2413,873	2413,837	—	—	—	—	—	—	

Die Ritzsche Formel<sup>6)</sup>  $\nu = n \left[ \frac{1}{a^2} - \frac{1}{\left(m + a - \frac{b}{m^2}\right)^2} \right]$  gibt die Serie vollkommen wieder.

Die  $D_1$ -Reihe wird wiedergegeben durch

$$\nu = 41448,59 - \frac{109678,4}{\left(m + 0,14373 - \frac{0,11043}{m^2}\right)^2},$$

die  $D_2$ -Reihe durch

$$\nu = 41448,59 - \frac{109678,4}{\left(m + 0,14497 - \frac{0,11240}{m^2}\right)^2}.$$

Grenze der Serie liegt bei 2412,627. Werte nach **Wood u. Fortrat**, l. c., in I. Ä.

II. Nebenserie:  $2 p_i - m s^7)$ .

$m = 1,5$	2,5	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5	9,5	10,5	11,5	12,5
5890,19	11 404,2	6161,15	5153,72	4752,19	4546,03	4423,7	4343,7	4287,7	4252,3	4222,9	4200,6
5895,16	11 382,4	6154,62	5149,19	4748,36	4542,75	4420,2	—	(unsicher)	4250,1	4220,9	4198,3

<sup>1)</sup> Nach **Kent**  $\Delta\lambda = 0,114$  ( $\Delta\nu = 0,306$ ). <sup>2)</sup> Nach **Kent**  $\Delta\lambda = 0,069$  ( $\Delta\nu = 0,326$ ).  
<sup>3)</sup> Beobachtet von **F. Paschen**, Ann. Phys. **33**, 734; 1910; berechnet von **Johanson**, l. c., S. 27.  
<sup>4)</sup> Nach **F. A. Saunders**, Proc. Amer. Acad. **40**, 437; 1904; Phys. Rev. **18**, 452; 1904; Astrophys. Journ. **20**, 188; 1904. <sup>5)</sup> **Exner u. Haschek**, Wellenlängentabellen. <sup>6)</sup> **W. Ritz**, Ges. Werke S. 52 u. 100. Ann. d. Phys. **25**, 662; 1908. <sup>7)</sup> Werte der Glieder 9,5 bis 12,5 bei **Zickendraht**.

Optische Serienspektren einiger Elemente.

Natrium. (Fortsetzung.)

I. Nebenserie: $2 p_i - m d_i$ <sup>1)</sup> .							Bergmannserie:	
$m = 3$	4	5	6	7	8	9	$m = 4$	5
8194,94 <sup>2)</sup>	5688,26	4983,53	4669,4	4500,0	4393,7	4324,5	18 459,5	12 677,6
8183,31 <sup>2)</sup>	5882,90	4979,3	4665,2	4494,3	4390,7	4321,3	—	—
10	11	12	13	14	15	—	—	—
4276,7	4241,8	4215,8	4195,7	4180,2	4168	—	—	—
4273,6	4239,0	4213,0	4112,8	4177,2	—	—	—	—
Kombinationen:								
2,5 s - 3 p <sub>1</sub>	22056,9	2 p <sub>1</sub> - 4 p <sub>1</sub>	5532,7	2 p <sub>2</sub> - 4 p	5675,92			
2,5 s - 3 p <sub>2</sub>	22084,2	2 p <sub>2</sub> - 4 p <sub>2</sub>	5527,10	2 p <sub>1</sub> - 4 p	5670,40			
3 p <sub>1</sub> - 3,5 s	3,418	2 p <sub>1</sub> - 5 p <sub>1</sub>	4918,4	2 p <sub>1</sub> - 5 p	4976,1			
3,5 s - 4 p <sub>1</sub>	5,430	2 p <sub>2</sub> - 5 p <sub>2</sub>	4914,0	2 p <sub>2</sub> - 5 p	4973,0			
3 d - 3 p <sub>1</sub>	9,048	2 p <sub>1</sub> - 6 p <sub>1</sub>	4633,1	2 p <sub>1</sub> - 6 p	4665,2			
3 d - 3 p <sub>2</sub>	9,085	2 p <sub>2</sub> - 6 p <sub>2</sub>	4629,5	2 p <sub>2</sub> - 6 p	4660,2			
3 p <sub>1</sub> - 4 d	23361,0	2 p <sub>1</sub> - 7 p <sub>1</sub>	4472,5	4 p - N/5 <sup>2</sup>	40449			
3 p <sub>2</sub> - 4 d	23391,0	2 p <sub>2</sub> - 7 p <sub>2</sub>	4472,5	N/5 <sup>2</sup> - N/6 <sup>2</sup> 4)	7443			
4 p <sub>1</sub> - 5 d	50230	2 p <sub>1</sub> - 8 p <sub>1</sub>	4372,0	2 p <sub>2</sub> - 8 p <sub>2</sub>	4372,0			

Literatur: Wood u. Fortrat, *Astrophys. Journ.* **43**, 73; 1916. — † J. K. Robertson, *Nature* **107**, 209; 1921. — † Datta, *Proc. Roy. Soc. London (A)* **99**, 69; 1921. — Zickendraht, *Ann. Phys.* **31**, 233; 1910. — Johanson, *Arkiv f. Mat., Astron. och Fys.* **12**, Nr. 6, 28; 1917.

Kalium.

Hauptserie: $1,5 s - m p_i$ <sup>5)</sup> .								
$m = 2$	3	4	5	6	7	8	9	10
7664,94 <sup>6)</sup>	4044,29 <sup>7)</sup>	3446,49	3217,27	3102,15	3034,94	2992,33	2963,36	2942,8
7698,97 <sup>6)</sup>	4047,62 <sup>7)</sup>	3447,49	3217,76	3102,37	3034,94	—	—	—
11	12	13	14	15	16	17	18	19
2928,0	2916,6	2907,6	2900,4	2894,6	2889,7	2885,9	2882,9	2880,3
20	21	22	23	24	25	—	—	—
2877,9	2875,8	2874,1	2872,5	2871,1	2870,0	—	—	—
II. Nebenserie: $2 p_i - m s$ .								
$m = 1,5$	2,5	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5	9,5
7664,91 <sup>6)</sup>	12 523,0	6939,5	5802,01	5340,08	5009,64	4956,8	4864,5	4801,0
7699,08 <sup>6)</sup>	12 434,3	6911,8	8782,67	5323,55	5084,49	4943,1	4851,0	4877,8
I. Nebenserie <sup>8)</sup> : $2 p_i - m d_i$ .								
$m = 3$	4	5	6	7	8	9	10 <sup>11)</sup>	—
11771,73	6965,44 <sup>10)</sup>	5832,23	5359,88	5112,68	4965,0	4870,8	4759,8	—
11689,76 <sup>9)</sup>	6937,45 <sup>10)</sup>	5812,54	5343,35	507975	4952,2	4856,8	—	—
Bergmannserie: $3 d - m \Delta p$ .								
$m = 4$	5	6	7	8	—	—	—	—
15 166,3	11 027,1	9600,45 (9590)	8905,82	8504,7	—	—	—	—
8909	8500	ursprüngl. Werte von Bergmann, Diss. Jena 1907.)						
Kombinationen <sup>12)</sup> :								
2,5 s - 3 p <sub>1</sub>	27065,6	3 d - 3 p <sub>1</sub>	31395	4 p <sub>1</sub> - 5 d	8,510 μ			
2,5 s - 3 p <sub>2</sub>	27215,0	3 d' - 3 p <sub>2</sub>	31596,8	4 p <sub>2</sub> - 5 d	8,452 μ			
3 p <sub>1</sub> - 3,5 s	36626,4	3 p <sub>1</sub> - 4 d	37354,3	1,5 s - 3 d	4642,35			
3 p <sub>2</sub> - 3,5 s	36372,7	3 p <sub>2</sub> - 4 d'	37075,6	4 Δ p - N/5 <sup>2</sup>	40115,5			
3,5 s - 4 p <sub>1</sub>	6,431	4 d - 4 p <sub>1</sub>	6,203 μ	N/5 <sup>2</sup> - N/6 <sup>2</sup>	7,426 μ			
3,5 s - 4 p <sub>2</sub>	6,461	4 d - 4 p <sub>2</sub>	6,236 μ	—	—			

Literatur: Dunz, *Diss. Tübingen* 1911. S. Hirzel, Leipzig. — Johanson, *Arkiv f. Mat., Astron. och Fys.* **12**, Nr. 6, 33; 1917. — † S. Datta, *Proc. Roy. Soc. London (A)* **99**, 69; 1921. — Viellinienspektrum † J. C. Mc Lennan, *Proc. Roy. Soc. London (A)* **100**, 182; 1921.

<sup>1)</sup> Werte der Glieder 9 bis 15 bei Zickendraht. <sup>2)</sup> W. Meissner, l. c. S. 725. Werte in I. A.  
<sup>3)</sup> P. Lenard, *Ann. Phys.* (4) **11**, 636-650; 1903. <sup>4)</sup> Vielleicht auch:  $5 p - N/6^2$ : 1342,1.  
<sup>5)</sup> Glieder von 11 bis 25 bei P. V. Bevan, *Proc. Roy. Soc. London (A)* **83**, 423; 1910. <sup>6)</sup> W. Meissner, l. c. S. 725. Werte in I. A. <sup>7)</sup> Berechnet aus Kombination 2,5 s - 3 p<sub>2</sub>. <sup>8)</sup> s. Anhang Paschen in Dunz, l. c. <sup>9)</sup> von Paschen, l. c. III, S. 728: 11 691,15. <sup>10)</sup> Nicht beobachtet. Saunders hat  $\lambda = 6966,3 \pm 0,4$  beobachtet. Werte rückwärts berechnet aus Kombination 3 p<sub>1</sub> - 4 d. Siehe Dunz, l. c. S. 8; Paschen, l. c. III, S. 728; *Ann. d. Phys.* **33**; 1910. <sup>11)</sup> Nach Liveing u. Dewar.  
<sup>12)</sup> F. Paschen, Zur Kenntnis ultraroter Linienspektren III. *Ann. d. Phys.* **33**, 726; 1910.

## Optische Serienspektren einiger Elemente.

## Rubidium.

Hauptserie:  $1,5s - m p_i$ .

$m = 2$	3	4	5	6	7	8	9	10	11
7800,2	4201,98	3587,23	3348,86	3228,17	3157,69	3112,95	3082,39	3060,62	3044,33
7947,6	4215,72	3591,74	3351,03	3229,26	3158,25	—	—	—	—
12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
3032,20	3022,70	3015,16	3009,03	3004,11	2999,96	2996,51	2993,52	2991,12	2988,94
22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
2987,01	2985,45	2984,05	2982,68	2981,51	2980,52	2979,62	2978,81	2978,10	2977,39

Vom 7. Gliede der Hauptserie ab Wellenlängen nach P. V. Bevan, Proc. Roy. Soc. London (A) 83, 423; 1910.

II. Nebenserie:  $2p - m s$ .

$m = 1,5$	2,5	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5	—
7800,30 <sup>1)</sup>	13 666,7	7408,5	6159,8	5654,22	5391,2	5234,0	5133,5 <sup>2)</sup>	—
7947,63 <sup>1)</sup>	13 237,0	7280,3	6071,2	5579,4	5323,1	5171	—	—

I. Nebenserie:  $2p - m d$ .

$m = 3$	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
15 290,4	7759,63 <sup>1)</sup>	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	7757,86 <sup>1)</sup>	6298,7	5724,41	5431,83	5260,05	5150,8	5076,3	5023	4983	4953
14 754,0	7619,2	6206,7	5648,18	5362,94	5195,9	5088,6	5017	4923	4926	4892

Bergmannserie:

$m = 4$	5	6	7	—	—	—	—	—
13 443,7	10 081,9	8874,0	8275,0	—	—	—	—	—

Kombinationen<sup>3)</sup>:

Kombinationen nach Ritz:

13 667,7	$2 p_{11} - 2,5 s$	14 754,0	$2 p_{22} - 3 d$	$3 d - 3 p_{ii}$	22 533,0	22 936,7	beob.
13 237,0	$2 p_{22} - 2,5 s$	13 443,7	$3 d - 4 p$	$3 p_{ii} - 2,5 s$	27 319,8	27 909,8	beob.
15 290,3	$2 p_{11} - 3 d$	10 081,9	$3 d - 5 p$	$4 p_{ii} - 2,5 s$	12 924,1	12 986,6	beob.

Kombinationen:

$2,5 s - 3 p$	27 319,8	$3,5 s - 4 p_2$	6,567 $\mu$	$3 p_1 - 4 d$	52 313,4	$4 d - 4 p_1$	4,637 $\mu$
$2,5 s - 3 p_2$	27 909,8	$3 d - 3 p_1$	22 533,0	$4 p_1 - 2,5 s$	12 924,1	$4 d - 4 p_2$	4 696
$3 p_2 - 3,5 s$	38 511,4	$3 d - 3 p_2$	22 936,7	$4 p_2 - 2,5 s$	12 986,6	$4 p - N/5^1$	39 866,9
$3,5 s - 4 p_1$	6,436 $\mu$	$3 d - 1,5 s$	5 165,35	$4 d - 4 p_1$	46 190,1 <sup>4)</sup>	$N/5^2 - N/6^1$	7 248 <sup>5)</sup>

## Caesium.

Hauptserie:  $1,5s - m p_i$ <sup>6)</sup>.

$m = 2$	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
8521,2 <sup>1)</sup>	4555,4	3876,39	3611,52	3476,88	3398,14	3347,44	3313,16	3288,56	3270,44	3256,66
8943,6 <sup>1)</sup>	4593,34	3888,65	3617,41	3480,13	3400,00	3348,72	3314,04	3289,13	—	—
13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
3245,91	3237,47	3230,58	3225,00	3220,23	3216,34	3212,91	3210,07	3207,67	3205,53	3203,69
24	25	26	27	28	29	30	31	32	—	—
3202,02	3200,60	3199,34	3198,14	3197,17	3196,09	3195,31	3194,48	3193,83	—	—

II. Nebenserie:  $2p - m s$ <sup>7)</sup>.

$m = 1,5$	2,5	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	—	—
8521,2	14 694,8	7943,873	6586,019	6034,089	5746,37	5574,4	—	—
8943,6	13 588,1	7608,895	6354,552	5839,33	5568,9	5407,5	—	—

I. Nebenserie:  $2p - m d$ .

$m = 3$	4	5	6	7	8	9	10	11	12
36 127,7	9208,68	6983,37	6217,6	5847,86	—	—	—	—	—
34 892,5	9173,0	6973,1	6213,1	5845,1	5635,44	5503,1	5407,4	5351	5304
30 100,0	8761,30	6723,7	6010,59	5664,14	5466,1	5341,15	5256,96	5199	5154

<sup>1)</sup> Diese Werte allein bezogen auf I. Å. nach Messungen von K. W. Meissner, l. c. S. 726.

<sup>2)</sup> Saunders, l. c.

<sup>3)</sup> H. M. Randall, Ann. d. Phys. 33, 744; 1910.

<sup>4)</sup> Mit Gitter n. F. Paschen, l. c. S. 729.

<sup>5)</sup> Viellinienspektrum s. L. Dunoyer, C. r. 173, 472; 1921.

<sup>6)</sup> Glieder  $m = 4$  bis 32 nach P. V. Bevan, Proc. Roy. Soc. London (A) 86, 325; 1912.

<sup>7)</sup> Der größte Teil der Zahlen für Cs in I. Å nach K. W. Meissner, l. c.

## Optische Serienspektren einiger Elemente.

## Caesium. (Fortsetzung.)

## Bergmannserie:

$m = 4$	5	6	7	8	9	10	—	—
10 124,1	8079,021	7279,949	6870,450	6628,654	6472,617	6365,518	—	—
10 025,4	8078,923	7279,895	6870,419	—	—	—	—	—
—	8015,710	7228,526	6824,646	6586,019	6431,966	6326,204	—	—

Kombinationen:

$2,5 s - 3 p_1$	29 318,3	$3 p_2 - 3,5 s$	39 180,1	$3 d - 3 p_1$	13 605,2	$4 p - N/5^2$	39 398,5
$2,5 s - 3 p_2$	30 962,9	$3,5 s - 4 p_1$	6 807	$3 d' - 3 p_2$	13 761,2	$N/5^2 - N/6^2$	7 425
$3 p_1 - 3,5 s$	42 202,3	$3,5 s - 4 p_2$	7 193	—	—	—	—
$8522,4$	} $1,5 s - 2 p_{ii}$	$14 696,4$	} $2 p_{ii} - 2,5 s$	$9173,5$	} $2 p_{11} - 4 d$	$9209,7$	—
$8945,0$		$13 590,7$		$9209,7$		—	

Literatur: H. M. Randall, Ann. d. Phys. 33, 743; 1910. — Bergmann, Diss. Jena 1907. — Lehmann, Ann. d. Phys. 5, 633; 1901. — Viellinienspektrum s. L. Dunoyer, C. r. 173, 350; 1921.

## Sauerstoff.

## Hauptserie:

$m = 2$	3	4	—	—	—	—	—	—
8446,73 <sup>1)</sup>	4368,466	3962,586	—	—	—	—	—	—

## II. Nebenserie:

$m = 1,5$	2,5	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5	9,5
8446,73	13 163,7	7254,32	6046,56	5555,16	5299,17	5146,23	5047,88	4979,73

## I. Nebenserie:

$m = 3$	4	5	6	7	8	9	10	—
11 287,3	7002,48	5958,75	5512,92	5275,25	5130,70	5037,34	4973,05	—

## Hauptserie:

$m = 2$	2	2	3	3	3	—	—	—
7771,98 <sup>2)</sup>	7774,19 <sup>1)</sup>	7775,42 <sup>1)</sup>	3947,480	3947,661	3947,756	—	—	—

## II. Nebenserie:

$m = 1,5$	2,5	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5	—
7772,26	11 300	6456,278	5437,041	5020,31	4803,18	4673,88	4590,07	—
7774,30	11 294	6454,756	5435,986	5019,52	4802,38	4672,93	4589,16	—
7775,97	11 294	6453,900	5435,371	5018,96	4801,98	4672,93	4589,16	—

## I. Nebenserie:

$m = 3$	4	5	6	7	8	9	10	—
(9266,97)	6158,415	5330,835	4968,94	4773,94	4655,54	4577,84	4523,70	—
9264,28	6156,993	5329,774	4968,04	4773,07	4654,74	4576,97	4522,95	—
—	6156,198	5329,162	4967,58	4772,72	4654,41	4576,97	4522,95	—

Bisher noch nicht eingeordnete Triplets und Dubletts finden sich bei Hopfield, Science 1921.

Literatur: Runge u. Paschen, Wied. Ann. 61, 664; 1897. — Paschen, Ann. d. Phys. 27, 537; 1908. — Dunz, Diss. Tübingen 1911. S. Hirtzel, Leipzig.

## Schwefel.

## II. Nebenserie:

$m = 1,5$	2,5	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	—	—
(8760)	—	—	6415,68	5890,08	5614,48	5449,99	—	—
—	—	—	6408,32	5883,74	5608,87	5444,58	—	—
—	—	—	6403,70	5879,79	5605,52	—	—	—

## I. Nebenserie:

$m = 5$	6	7	8	9	10	—	—	—
6757,40	6052,97	5706,44	5507,20	5381,19	5295,86	—	—	—
6749,06	6046,23	5700,58	5501,78	5375,98	5290,89	—	—	—
6743,92	6042,17	5697,02	5498,38	5372,82	5287,88	—	—	—

Literatur: Runge u. Paschen, Wied. Ann. 61, 641; 1897. — Kayser, Handbuch der Spektroskopie Bd. 6. — Dunz, Diss. Tübingen 1911. S. Hirtzel, Leipzig. — K. W. Meissner, Ann. d. Phys. 50, 728; 1916; Phys. ZS. 15, 670; 1914.

<sup>1)</sup> Von K. W. Meissner in I. Ä. zu 8446,76 und 8446,36 gemessen.

<sup>2)</sup> Werte von K. W. Meissner in I. Ä., I. c. S. 728.

## Optische Serienspektren einiger Elemente.

## Selen.

## II. Nebenserie:

$m = 1,5$ (8980)	2,5	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	—	—
—	—	—	6746,65	6177,87	5878,88	5700,32	—	—
—	—	—	6699,78	6138,51	5843,10	5666,95	—	—
—	—	—	6679,72	6121,95	5827,90	5652,62	—	—

## I. Nebenserie:

$m = 5$	6	7	8	9	10	11	—	—
7062,14	6325,4	5961,7	5752,31	5618,05	5528,64	5497,06	—	—
7010,84	6284,19	5925,13	5718,28	—	—	—	—	—
6990,96	6266,36	5909,49	5703,86	—	—	—	—	—

Literatur: Runge u. Paschen, Wied. Ann. 61, 641; 1897. — Kayser, Handbuch der Spektroskopie Bd. 6, S. 462. Dasselbst Angaben über Begleitlinien und uneingeordnete Triplets.

## Bor.

## I. Nebenserie: B[D] (Rydberg).

## II. Nebenserie: B[S] (Rydberg).

$m = 1$	2	—	—	—	$m = 2$	—	—	—
4966	2497,83 <sup>1)</sup>	—	—	—	3451,50 <sup>1)</sup>	—	—	—
4964	2496,89 <sup>1)</sup>	—	—	—	—	—	—	—

Literatur: J. R. Rydberg, Ostwalds Klassiker Nr. 196, S. 172; 1922.

## Aluminium.

Hauptserie:  $1,5s - m p_i$ .II. Nebenserie:  $2 p_i - m s$ .

$m = 1$	2	3	4 <sup>2)</sup>	5 <sup>2)</sup>	6	$m = 1,5$	2,5	3,5	4,5	5,5
—	3961,68	13 125,36	6696,269	5557,283	5105,32	3961,68	2660,49	2378,52	2263,83	2204,73
—	3944,16	13 151,65	6698,936	5558,167	5105,82	3944,16	2652,56	2372,21	2258,27	2199,71

I. Nebenserie:  $2 p_i - m d$ .

$m = 3$	4	5	6	7	8	9	10	11
3092,95	2575,49	2373,45	—	—	—	—	—	—
3092,84	2575,20	2373,23	2269,20	2210,15	2174,13	2150,69	2134,81	2123,44
3082,27	2568,08	2367,16	2263,52	2204,73	2168,87	2145,48	2129,52	2118,58

## Bergmannserie:

$m = 4$	5	6	7	—	—	—	—	—
11 255,5	8774,56 <sup>3)</sup>	7836,85 <sup>3)</sup>	7466 <sup>3)</sup>	—	—	—	—	—

## Kombinationen:

$3 p_1 - 2,5 s$	21 166,3	$3 p_2 - 4 d'$	16 720,5	$2 p_1 - 5 p_1$	2312,56	$4 \Delta p - N/5^2$	39 108,6
$3 p_2 - 2,5 s$	21 098,2	$2 p_1 - 4 \Delta p$	2 426,22	$2 p_1 - 6 p_1$	2231,27	—	—
$3 p_1 - 4 d$	16 752,2	$2 p_2 - 4 \Delta p$	2 419,64	$2 p_2 - 6 p_2$	2225,77	—	—

Andere Gesetzmäßigkeiten bei Al s. Huppers, Diss. Münster 1913. ZS. wiss. Phot. 13, 80; 1913.

## Indium.

Hauptserie:  $1,5s - m p_i$ .

$m = 2$	3	4	5	6	7	8	—	—
4511,310 <sup>4)</sup>	(12 857) <sup>5)</sup>	6848,01	5709,97	5254,14	5017,7	4879	—	—
4101,764	(13 359)	6900,62	5728,49	5262,55	5023,2	—	—	—

F. Paschen u. K. Meissner, Ann. d. Phys. 43, 1224; 1914.

II. Nebenserie:  $2 p_i - m s$ .

$m = 1,5$	2,5	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5	9,5
4511,310	2932,633	2601,756	2468,012	2399,189	2240,9	2219,4	2202,5	2192,0
4101,364	2753,889	2460,079	2340,191	2278,3	—	—	—	—

Werte nach H. S. Uhler u. T. W. Tanch in I. Å.

<sup>1)</sup> Zahlen in Rowland-Å.-E. nach Crookes, Proc. Roy. Soc. (A) 86, 36; 1911. <sup>2)</sup> F. Paschen, Ann. d. Phys. (4) 29, 625; 1909. <sup>3)</sup> K. W. Meissner, l. c. S. 726. <sup>4)</sup> I. Å. nach H. S. Uhler u. J. W. Tanch. <sup>5)</sup> Durch Vergleich mit den Serien des Al und Tl erhalten.

Optische Serienspektren einiger Elemente.

Indium. (Fortsetzung.)

I. Nebenserie:  $2p_i - md$ .

$m = 3$	4	5	6	7	8	9	10	11	12
3258,565 } 3256,089 } 3039,356 }	2713,932 } 2710,264 } 2560,157 }	2522,854 } 2521,371 } 2389,543 }	—	—	2229,8	2210,9	2198,2	2189,0	2181,7

Zahlen in I. Å. nach H. S. Uhler J. W. Tanch, l. c.

Kombinationen.

Nach Dunz l. c.

	beob.	ber.
$2p_1 - 4p_1$	2720,10	2719,68
$2p_2 - 4p_1$	2565,59	2565,25
$2p_2 - 4p_2$	2572,71	2572,59
$2p_1 - 4p$	2666,33	—

Weitere nicht eingeordnete Kombinationslinien (?).

Nach H. S. Uhler u. J. W. Tanch in I. Å.

2957,094	2837,039	2775,408	2306,147
2957,047	2836,998	2775,355	2306,082
2956,994	2836,957	2775,292	2306,029
2956,735	2836,910	—	—
—	2836,856	—	—
—	2836,793	—	—

Weitere Literatur: H. Kayser u. Runge, Über die Spektren der Elemente VI. Abh. Akad. Berlin 1892, S. 11. — Erich Huhn, Messungen am Bogenspektrum des Indium nach Internationalen Normalen. Diss. Bonn 1921. — F. A. Saunders, Astroph. Journ. 43, 234; 1916. — † Schulemann, ZS. wiss. Phot. 10, 263; 1911. — H. S. Uhler u. J. W. Tanch, Astrophys. Journ. 55, 299; 1922. — Johanson, Ark. f. Mat., Astron. och Fys. 12, Nr. 6, 22; 1917.

Gallium.

Hauptserie:  $1,5s - mp_i$ .

$m = 2$	3	4	5
4172,048 } 4032,975 }	(11 940) } (12 096) }	6397,10 } 6413,98 }	5354,00 } 5360,00 }

II. Nebenserie:  $2p_i - ms$ .

$m = 2,5$	3,5	4,5	5,5	6,5
4172,048 } 4033,975 }	2719,664 } 2659,873 }	2418,699 } 2371,325 }	2297,869 } 2255,034 }	2236,103 } 2195,665 }

I. Nebenserie:  $2p_i - md$ .

$m = 3$	4	5	6	7	—	—	—
2944,175 } 2943,639 } 2874,240 }	2500,714 } 2500,187 } 2450,078 }	2338,596 } 2338,293 } 2294,202 }	2259,227 } 2218,039 }	2211,753 } 2171,9 }	—	—	—

Literatur: F. Paschen u. K. Meissner, Ann. d. Phys. 40, 1223; 1914. — Exner u. Haschek, Die Spektren der Elemente bei normalem Druck. Bd. 2, 98; 1911. — Hartley u. Ramage, Dublin Trans. 7, 339; 1901; Proc. Roy. Soc. (A) 68, 97; 1901. — Ramage, Proc. Roy. Soc. (A) 70, 1; 1901. — J. R. Rydberg, K. Svenska Vet. Akad. Handl. 23, Nr. 11; 1890. — W. M. Hicks, Phil. Trans. (A) 212, 71; 1912. — H. S. Uhler u. J. W. Tanch, Astroph. Journ. 55, 295; 1922.

Thallium.

Hauptserie:  $1,5s - mp_i$ .

$m = 2$	3 <sup>1)</sup>	4 <sup>1)</sup>	5 <sup>1)</sup>	6	7	8	9	10
5350,65 } 3775,87 }	11 513,22 } 13 013,8 }	6549,99 } 6713,92 }	5528,118 } 5584,195 }	5109,65 } 5137,01 }	4891,29 } 4906,5 }	4760,8 } 4768,7 }	4678,3 } — }	4617,4 } — }
11	12	—	—	—	—	—	—	—
4574,8	4548,1	—	—	—	—	—	—	—

II. Nebenserie:  $2p_i - ms$ .

$m = 1,5$	2,5	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5	9,5
5350,65 } 3775,87 }	3229,88 } 2580,23 }	2826,27 } 2316,01 }	2665,67 } 2207,13 }	2585,68 } 2152,08 }	2538,27 } 2119,2 }	2508,03 } 2098,5 }	2487,57 } 2083,2 }	2472,65 } 2072,4 }
10,5	11,5	12,5	13,5	—	—	—	—	—
2462,01	2453,87	2447,59	2442,24	—	—	—	—	—

I. Nebenserie:  $2p_i - md$ .

$m = 3$	4	5	6	7	8	9	10	11
3529,58 } 3519,39 } 2767,97 }	2921,63 } 2918,43 } 2379,66 }	2710,77 } 2709,33 } 2237,91 }	2609,86 } 2609,08 } 2168,68 }	2553,07 } 2552,62 } 2129,39 }	— } 2517,50 } 2105,1 }	— } 2494,00 } 2088,8 }	— } 2477,58 } 2077,3 }	— } 2465,54 } 2069,2 }
12	13	14	15	—	—	—	—	—
2456,53 } 2062,3 }	2449,57 } 2057,3 }	2444,0 } 2053,9 }	2439,58 } — }	— } — }	— } — }	— } — }	— } — }	— } — }

<sup>1)</sup> F. Paschen, Ann. Phys. (4) 29, 625; 1909; (4) 33, 717; 1910.

Optische Serienspektren einiger Elemente.

Thallium. (Fortsetzung.)

Bergmannserie<sup>1)</sup>:

$m = 4$	4	5	5	7	—	—	—	—
16 123,0	16 340,3	11 482,2	11 594,5	9 171,1	—	—	—	—

Literatur: **Kayser u. Runge**, Wied. Ann. 48, 126; 1893. — **Kayser**, Handbuch der Spektroskopie Bd. 6. Leipzig, S. Hirzel, 1912. — **Dunz**, Diss. Tübingen. Leipzig, S. Hirzel, S. 24—26; 1911. — **J. C. Mc Lennan**, Journ. Frankl. Inst. 181, 201; 1916. — **H. Ramage**, Proc. Roy. Soc. (A) 70, 1; 1907. — **F. Paschen**, Ann. d. Phys. (4) 29, 625; 1909; (4) 33, 717; 1910. — Weitere Gesetzmäßigkeiten bei **Huppers**, Diss. Münster 1913. ZS. wiss. Phot. 13, 34; 1913.

Magnesium.

Hauptserie weiter Paare, Serienbezeichnung  $P$  (Fowler).  $1\sigma - m\pi, \pi$  (Saunders).

$m = 1$	2	3	—	—	—	—	—	—
2802,698 <sup>3)</sup>	1240,37 <sup>2)</sup>	1026,11 <sup>2)</sup>	—	—	—	—	—	—
2795,523 <sup>3)</sup>	1239,90 <sup>2)</sup>	1025,96 <sup>2)</sup>	—	—	—	—	—	—

2 Serien weiter Doppellinien.

I.  $1\pi - m\delta$  (Saunders).  $D$ -Serie (Fowler). II.  $1\pi - m\sigma$  (Saunders).  $S$ -Serie (Fowler).

$m = 1$	2	3	—	—	$m = 1$	2	3	—
—	2797,989 <sup>6)</sup>	1737,8 <sup>6)</sup>	—	—	2795,523 <sup>5)</sup>	2936,496 <sup>5)</sup>	1753,6 <sup>6)</sup>	—
—	2790,768 <sup>6)</sup>	1735,0 <sup>6)</sup>	—	—	2802,698 <sup>5)</sup>	2928,625 <sup>5)</sup>	1750,9 <sup>6)</sup>	—

Grundserie enger Paare. Serie ist von A. Fowler entdeckt<sup>7)</sup> und wird von ihm als 4481 Serie bezeichnet.  $2\delta - m\Phi$  (Saunders),  $\Phi'$  (Saunders)<sup>8)</sup>.

$m = 3$	4	5	6	7	8 <sup>*</sup>	9	10	—
4481,327	3104,805	2660,821	2449,573	2329,58	2253,87	2202,68	2166,28	—
4481,129	3104,713	2660,755	—	—	—	—	—	—

Serie sehr enger Paare, bisher nur einfach beobachtet, Serienbezeichnung  $3\delta - m\Phi, \Phi'$  (Saunders), Kombinationsserie  $A$  ( $3d - mf$ ),  $A(m)$  (Fowler).

$m = 5$	6	7	8	9	10	11	—	—
6346,67	5264,14	4739,59	4436,48	4242,47	4109,54	4013,80	—	—

Wellenlängen in I. Å. nach **Fowler**, Phil. Trans., l. c. S. 252.

Einzellinienserie in dem Seriensystem der Paare.

Serienbezeichnung  $3\Phi - m\Phi, \Phi''$  (Saunders), Kombinationsserie  $B$  ( $3f - mf$ ),  $B(m)$  (Fowler).

$m = 5$	6	7	8	9	10	11	—	—
6545,80	5401,05	4851,10	4534,26	4331,93	4193,44	4093,90	—	—

Wellenlängen in I. Å. nach **Fowler**, Phil. Trans., l. c. S. 253.

Die Kombinationsserie  $B$  ist schwächer als die Kombinationsserie  $A$ .

Doppellinienserie vom Haupttypus.  $2\sigma - m\pi$  (Saunders),  $\pi'$  (Saunders),  $FP(p)$  (Fowler).

$m = 2$	3	4	5	—	—	—	—	—
9243,7 <sup>9)</sup>	3615,64 <sup>10)</sup>	2790,84 <sup>11)</sup>	2474,37 <sup>9)</sup>	—	—	—	—	—
9217 <sup>9)</sup>	3613,80 <sup>10)</sup>	2790,35 <sup>9)</sup>	2474,09 <sup>9)</sup>	—	—	—	—	—

Kombinationsserie zur Doppellinienserie vom Haupttypus.

$2\delta - m\pi$  (Saunders),  $\pi''$  (Saunders),  $C$  (Fowler).

$m = 3$	3	—	—	—	—	—	—	—
3850,40	3848,24	—	—	—	—	—	—	—

Wellenlänge in I. Å. nach **Fowler**, Phil. Trans. l. c. S. 245, 252.

<sup>1)</sup> **Paschen**, l. c. <sup>2)</sup> Nur berechnet. <sup>3)</sup> Wellenlänge in I. Å. **Nacken**, l. c.

<sup>4)</sup> Nach **Fowler** erstes Glied der  $P$ -Serie. <sup>5)</sup> Wellenlängen in I. Å. nach **Nacken**, l. c.

<sup>6)</sup> Wellenlängen in Rowland-Å.-E., von **Handke** beobachtet. Diss. Berlin 1909.

<sup>7)</sup> **A. Fowler**, Proc. Roy. Soc. London (A) 89, 133; 1914. Einzelheiten s. **A. Fowler**, Bakerian lecture. London; Phil. Trans. (A) 214, 225; 1914.

<sup>8)</sup> Läßt sich nach der Formel von **Ritz** darstellen:

$$\frac{1}{\lambda} = 49774,76 - \frac{4 \cdot 109679,3}{\left(m + 0,004714 + \frac{0,021503}{m^2}\right)^2} \quad m = 4, 5 \dots$$

s. **A. Fowler**, l. c. S. 232.

<sup>9)</sup> Nur berechnet.

<sup>10)</sup> Beobachtet von **A. Fowler** u. **Payn**.

<sup>11)</sup> Von **Kayser** u. **Runge**, **Eder**, **Exner** u. **Haschek** im Funken beobachtet.

Optische Serienspektren einiger Elemente.

Magnesium. (Fortsetzung.)

Doppellinienserie vom Typus der diffusen Serie,  
Serienbezeichnung  $2\pi - m\delta$  (Saunders), FP (d) (Fowler).

$m = 2$	3	4	5	6	7	—	—	—
-10897,8 <sup>1)</sup>	7896,37	4390,585 <sup>2)</sup>	3538,86	3168,98	2967,87	—	—	—
-10934,2 <sup>1)</sup>	7877,13	4384,643 <sup>2)</sup>	3535,04	3165,94	2965,19	—	—	—

Doppellinienserie vom Typus der scharfen Serie,  
Serienbezeichnung  $2\pi - m\delta$  (Saunders), FP (s) (Fowler).

$m = 2$	3	4	5	6	7	—	—	—
-9334,8 <sup>1)</sup>	8227,5 <sup>1)</sup>	4433,991 <sup>2)</sup>	3553,51	3175,84	2971,70	—	—	—
-9361,5 <sup>1)</sup>	8206,9 <sup>1)</sup>	4427,995 <sup>2)</sup>	3549,61	3172,79	2969,02	—	—	—

Hauptserie von weiten Triplettts.  $1s - mp, p$  (Saunders).

15028,3	7656,6	6315,6	5783,4	—	—	—	—	—
---------	--------	--------	--------	---	---	---	---	---

F. Paschen, Zur Kenntnis ultraroter Linienspektren II. Ann. d. Phys. (4) 29, 625; 1909.

II. Nebenserie. Scharfe Triplettserie.

$1p - ms, s$  (Saunders), S(m) (Fowler u. Reynolds).

$m = 3$ (1)	4 (2)	5 (3)	6 (4)	7 (5)	8 (6)	9 (7)	10 (8)
5183,600 <sup>3)</sup>	3336,688 <sup>3)</sup>	2942,016 <sup>3)</sup>	2781,43	2698,16 <sup>3)</sup>	2649,08	2617,57 <sup>4)</sup>	2596,01
5172,673 <sup>3)</sup>	3332,163 <sup>3)</sup>	2938,487 <sup>3)</sup>	2778,27	2695,21 <sup>3)</sup>	2646,24	2614,74 <sup>4)</sup>	93,28
5167,303 <sup>3)</sup>	3329,934 <sup>3)</sup>	2936,754 <sup>3)</sup>	2776,73	2693,75 <sup>3)</sup>	2645,09	—	—

I. Nebenserie. Diffuse Triplettserie<sup>5)</sup>.

$Dm$  (Fowler u. Reynolds),  $1p - md, d$  (Saunders).

$m = 4$ (2)	5 (3)	6 (4)	7 (5)	8 (6)	9 (7)	10 (8)	11 (9)
3838,283 <sup>3)</sup>	3096,914 <sup>3)</sup>	2852,128 <sup>3)</sup>	2736,60 <sup>3)</sup>	2672,56 <sup>3)</sup>	2633,04 <sup>3)</sup>	2607,64 <sup>6)</sup>	2588,37 <sup>7)</sup>
3832,306 <sup>3)</sup>	3093,011 <sup>3)</sup>	2848,38 <sup>3)</sup>	2733,55 <sup>3)</sup>	2669,65 <sup>3)</sup>	2630,12 <sup>3)</sup>	2604,87 <sup>6)</sup>	2585,63 <sup>7)</sup>
3829,364 <sup>3)</sup>	3091,093 <sup>3)</sup>	2846,75 <sup>3)</sup>	2732,07 <sup>3)</sup>	2668,20 <sup>3)</sup>	2629,58 <sup>6)</sup>	2603,50 <sup>6)</sup>	2584,32 <sup>7)</sup>
12 (10)	13 (11)	14 (12)	15 (13)	—	—	—	—
2575,02 <sup>7)</sup>	2565,00 <sup>7)</sup>	2557,29 <sup>7)</sup>	2551,22 <sup>7)</sup>	—	—	—	—
2572,03 <sup>7)</sup>	2562,30 <sup>7)</sup>	2554,70 <sup>7)</sup>	2548,56 <sup>7)</sup>	—	—	—	—
2570,96 <sup>7)</sup>	2560,96 <sup>7)</sup>	—	—	—	—	—	—

Bergmannserie:  $2d - mf, f'$  (Saunders).

Hauptserie einzelner Linien:  $1,5S - m_1P$  (J. C. Mc Lennan).  
2852,22<sup>8)</sup> | 2073,36 | 2026,48<sup>10)</sup> | 1828,06<sup>10)</sup>

Literatur: Eder u. Valenta, Atlas typischer Spektren. Tafel 27. — J. C. Mc Lennan, Journ. Frankl. Inst. 181, 195; 1916. † J. C. Mc Lennan u. Edwards, Proc. Roy. Soc. of Canada 1915; Phil. Mag., Nov. 1915. — E. Lorensen, Diss. Tübingen 1913.

Zweite Serie einzelner Linien, Serienbezeichnung  $R_2(m)$  (Fowler u. Reynolds) (Rydbergserie),  
Typus der scharfen oder zweiten Nebenserie  $1P - mS, S$  (Saunders).

$m = 2$	3	4	5	—	—
$\nu = 8542,6^1)$	5711,132 <sup>5)</sup>	4730,08 <sup>6)</sup> 11)	4354,53 <sup>11)</sup> 12)	—	—

Schwache Serie von Linien, ähnlich der Rydbergserie, dritte Nebenserie (Fowler u. Reynolds).

4511,4	4251,0	4106,8	4018,3	—	—	—
--------	--------	--------	--------	---	---	---

s. A. Fowler, Proc. Roy. Soc. (A) 71, 420; 1903. — A. Fowler u. Reynolds, l. c. S. 144—145.

<sup>1)</sup> Nur berechnet. <sup>2)</sup> s. Fowler, Proc. Roy. Soc. (A) 89, 136; 1914. <sup>3)</sup> Von Kayser u. Runge aufgefunden. <sup>4)</sup> Fowler u. Reynolds, l. c. S. 140 in Rowland-Ä.-E. <sup>5)</sup> Wellenlängen in I. Ä. nach Nacken, l. c. <sup>6)</sup> Wellenlängen in Rowland-Ä.-E. nach Kayser u. Runge. <sup>7)</sup> Nach Fowler u. Reynolds in Rowland-Ä.-E., l. c. S. 139. <sup>8)</sup> Zeigt im elektr. Ofen stärkste Intensität. Umkehr bis 30 Ä.-E. von A. S. King beobachtet. Astroph. Journ. 48, 33; 1918; s. a. Fowler u. Reynolds, l. c. S. 144. <sup>9)</sup> Doppellinie ähnlich wie bei Hg von R. W. Wood mit 2536 und 2539 nachgewiesen; s. a. J. C. Mc Lennan, l. c. S. 197, Fig. 7. <sup>10)</sup> F. A. Saunders, Astroph. Journ. 43, 236; 1916. <sup>11)</sup> Wellenlänge in Rowland-Ä.-E. nach Fowler u. Reynolds, l. c. 4730,34. <sup>12)</sup> Von H. A. Rowland in der Sonne bestimmt zu 4354,43.



Optische Serienspektren einiger Elemente.

Magnesium. (Fortsetzung.)

Einzellinienserie (Rydbergserie), Typus  $R_1(m)$  (Fowler u. Reynolds).  $1P - mD(D)$  (Saunders), diffuse oder erste Nebenserie.

$m = ?$ 17 108,1	2 8807,3 <sup>2)</sup>	3 5528,466 <sup>1)</sup>	4 4703,069 <sup>1)</sup> <sup>3)</sup>	5 4351,940 <sup>1)</sup> <sup>4)</sup>	6 4167,65 <sup>1)</sup>	7 4057,81 <sup>1)</sup>	8 3986,81 <sup>1)</sup>
9 3938,58 <sup>5)</sup>	10 3904,17 <sup>5)</sup>	11 3878,73	12 3859,39	—	—	—	—

Verbindungsserien (Kombinationen zwischen Triplettserien und Einzellinienserien):

$p_2(m) = 2S - mP_2$	$d_1(m) = 2P_1 - mD$	$S_1(m) = 1p_1 - ms$	$f(m) = 2D - mf$
$p_1(m) = 2S - mP_1$	$d_2(m) = 2P_2 - mD$	$S_2(m) = 1p_2 - ms$	oder
$s_1(m) = 2P_1 - mS$	$P_2(m) = 1s - mP_2$	$D_1(m) = 1p_1 - md$	$2D - m(P_1 - P_2)$
$s_2(m) = 2P_2 - mS$	$P_1(m) = 1s - mP_1$	$D_2(m) = 1p_2 - md$	

s. A. Fowler, Phil. Trans. (A) 214, 251; 1914.

Literatur: A. Fowler u. Payn, Proc. Roy. Soc. London (A) 72, 255; 1903. A. Nacken, Diss. Bonn. ZS. wiss. Phot. 12, 54; 1913. A. Fowler, Phil. Trans. Roy. Soc. London (A) 214, 225; 1914. — † Catalan, Ann. Soc. Esp. Ph. Ch. 14, 584; 1916; Bull. Soc. chim. (4) 22, 291; 1917. — J. C. Mc Lennan u. J. F. F. Young, Phil. Mag. (6) 36, 450; 1918.

Calcium.

Serie breiter Dubletts, diffuse Serie (Rowland).  $2p_1 - mD, P_1$  (Saunders).

$m = 2$ — 8498,35 <sup>6)</sup> 7 <sup>8)</sup>	3 3181,4 <sup>8)</sup>	4 2113,01	5 1815,0	6 1680,5	—	—	—
— 8542,47 <sup>9)</sup>	3179,45	2103,47	1807,8	1674,1	—	—	—
— 8662,50 <sup>11)</sup>	3158,98	—	—	—	—	—	—

Serie weiter Dubletts, scharfe Serie, II. Nebenserie (Dunz).  $2p_1 - mS, P_2$  (Saunders).

$m = 2$ — 3933,83 <sup>10)</sup>	3 3737,08	4 2208,95	5 1851,3	6 1698,9	—	—	—
— 3968,63 <sup>10)</sup>	3706,18	2198,03	1843,8	1692,4	—	—	—

Bergmannserie, Serie enger Dubletts, Grundserie (Fowler) (Wellenlängen für die 3 Dublettserien nach Rowland aufs Vakuum bezogen).

$m = 4$ 1804,02	5 1555,1	6 1434,3	7 1370,6	—	—	—	—
1838,0	1553,5	1433,1	1363,1	—	—	—	—

I. Å.

7202,161 p	6499,648 p	6455,606 p	4302,525 p	3006,864 p	3736,903 P <sub>2</sub>	3181,283 P <sub>1</sub>	—
7148,123 p	6493,789 p	6449,811 p	4283,008 p	2997,309 p	3706,022 P <sub>2</sub>	3179,340 P <sub>1</sub>	—

Werte von Crew u. Mc Cauley, zit. nach King, Astroph. Journ. 48, 17; 1918. 3158,877 P<sub>1</sub>, von A. Fowler mit 4N berechnet.

Tripletts-Hauptserie<sup>12)</sup>:  $1s - mp$ .

6162,177	19852,7 ber. <sup>13)</sup>	9108,71 <sup>14)</sup>	7448,2 <sup>15)</sup>	—	—	—	—
	19856,3 beob.	—	—	—	—	—	—
6122,216	19932,2 ber.	9105,40	—	—	—	—	—
	19935,2 beob.	—	—	—	—	—	—
6102,716	19959,7 ber.	9098,93	—	—	—	—	—

1) Wellenlänge in I. Å. nach Nacken, l. c. 2) F. Paschen, Ann. d. Phys. (4) 29, 652; 1909.  
 3) Stark-Effekt von Takamine u. Kikubu gemessen. 4) Stark-Effekt von Takamine gemessen.  
 5) Von Fowler u. Reynolds in Rowland-Å.-E. gemessen; l. c. S. 142. 6) Die Zahlenreihe nach Fowler, Phil. Trans. 214, 236; 1914. 7) Von K. W. Meissner in I. Å. gemessen zu 8498,02.  
 8) Satelliten nach Fowler. 9) Von K. W. Meissner in I. Å. gemessen zu 8542,25.  
 10) Erstes Dublett der Hauptserie. Vgl. auch Lyman, Astroph. Journ. 35, 341; 1912; A. Fowler, Astroph. Journ. 21, 81; 1905; H. Kayser u. C. Runge, Wied. Ann. 43, 384; 1891; F. Paschen, Ann. d. Phys. 29, 625; 1909; W. Ritz, Phys. ZS. 9, 528; 1908; C. Runge u. F. Paschen, Abh. Akad. Berlin 1902; J. R. Rydberg, Recherches, Wied. Ann. 50, 625; 1893; 62, 119; 1894; F. A. Saunders, Astroph. Journ. 21, 195; 1905; Johanson, Ark. f. Mat., Astr. och Fys. 12, Nr. 6, S. 87; 1917.  
 11) Wellenlänge nach Lorensen in Rowland-Å.-E. — 8662,0 Wellenlänge in I. Å. nach C. F. Meyer, Astroph. Journ. 45, 97; 1917. 12) Von F. Paschen aufgefunden; Näheres s. F. A. Saunders, Astroph. Journ. 52, 267; 1920. 13) Aus der Kombination  $1d - 2p$  zu berechnen.  
 14) Aus der Kombination  $1d - 3p$  zu berechnen. 15) Berechnet von F. A. Saunders.

Optische Serienspektren einiger Elemente.

Calcium. (Fortsetzung.)

II. Triplet- Nebenserie:  $T_2$  (Saunders).  $1p - ms$ .

$m = 1,5$	2,5	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5 <sup>1)</sup>	8,5	9,5	10,5
6162,177	3973,716	3487,611	3286,060	3180,521	3117,656	3076,99 <sup>1)</sup>	3049,01 <sup>2)</sup>	3028,97 <sup>2)</sup>	3014,01 <sup>2)</sup>
6122,216	3957,054	3474,774	3274,661	3169,854	3107,388	3067,01	3039,21 <sup>2)</sup>	3019,37 <sup>2)</sup>	—
6102,716	3948,899	3468,484	3269,090	3164,618	3102,36	3062,05	3034,52 <sup>2)</sup>	—	—

I. Nebenserie:  $T_1$  (Saunders).  $1p - md$ .

$m = 3$	4	5	6	7	8	9	10	11
19 917,5	4456,612	3644,990	3362,131	3226,129	3151,280	3109,51	3081,55	3055,55
19 864,6	4455,875	3644,760	3361,918	3225,883	3150,747	3108,58	3080,82	3055,32
19 777,4	4454,765	3644,400	3350,361	3215,334	3141,164	3100,22	3071,97	3045,75
19 506,9	4435,673	3630,973	3350,198	3215,145	3140,782	3099,34	3071,58	3041,05
19 452,9	4434,948	3630,749	3344,508	3209,930	3136,003	3095,29	3067,01	—
19 310,6	4425,428	3624,107	—	—	—	—	—	—
12	13	14	15	16	17	—	—	—
3034,52	3018,55	3006,22	2996,67	2988,98	2982,89	—	—	—
3024,93	—	2996,67	—	—	—	—	—	—
3020,15	—	—	—	—	—	—	—	—

Bergmannserie:  $t$  (Saunders).  $1d - mf$ .

$m = 4^3)$	5	6	7 <sup>4)</sup>	8	9	10	11	12	13 <sup>5)</sup>
4585,868	4098,552	3875,807	3753,367	3678,240	3628,60	3594,08	3568,91	3550,03	3535,55
4581,414	4094,944	3872,552	3750,349	3675,307	3625,69	3591,26	3566,12	3547,38	—
4578,570	4092,049	3870,516	3748,374 <sup>4)</sup>	3673,448	3624,11	3589,49	3564,35	3545,58	—

Einzellinienreihe: Serienbezeichnung  $SLI$  (Saunders).<sup>6)</sup>  $1S - mP$ .

Der Charakter läßt nach F. A. Saunders auf eine Hauptlinie schließen.

Die ersten beiden Linien dieser Serie sind die Flammenlinien  $\lambda = 4226$  und  $2721,76$  (Rowland).

I. Ä. (Vakuum)	I. Ä. (Vakuum)	I. Ä. (Vakuum)	I. Ä. (Vakuum)
2428,77 1 Luftbogen	2222,59 1 Luftbogen	2167,57 0 Luftbogen	2073,26 0 Luftbogen
2392,95 2 „	2211,86 0 D	2132,51 0 „	2065,42 0 „
2330,02 2 „	2187,66 1 Luftbogen	2098,14 1 „	1840,26 6 D
2258,07 1 „	2179,44 1 „	2083,38 1 „	1838,13 5 D

Neu von F. A. Saunders mit kleinem Konkavgitter und Schumannplatten gemessen. Astroph. Journ. 43, 238; 1916; s. auch F. A. Saunders, Astroph. Journ. 32, 153; 1910.

System von Einzellinienreihen nach der neuen Einteilung von F. A. Saunders<sup>6)</sup>.

Hauptserie:  $1S - mP$ .

$m = 1^7)$	2	3 <sup>7)</sup>	4 <sup>7)</sup>	5 <sup>7)</sup>	6 <sup>7)</sup>	7	8	9	10	11
4226,731	2721,65	2398,582	2275,493	2200,76	2150,78	2118,68	2097,49	2082,73	2073,04	2064,77

Scharfe Nebenserie:  $1P - mS$ .

$m = 1^8)$	2	3	4	5	6	7	8	9
4226,731	10345,0	5512,978	4847,292	4496,16	4312,31	4203,22	4132,64	4084,5

Diffuse Nebenserie:  $1P - mD$ .

$m = 1$	2	3	4	5	—	—	—	—
5,55 $\mu$	7326,099	5188,846	4685,264	4412,30 <sup>9)</sup>	—	—	—	—

Grundserie (Bergmannserie):  $1D - mF$ .

$m = 1$	2	3	4	5	6	7	8	—
4878,132	4355,099	4108,554	3972,578	3889,141	3833,96	3795,62	3767,42	—

Kombinationsreihen in dem Einzelserienliniensystem.

Serie  $1D - mP$  (Saunders), frühere Serie  $SLZ$  (Saunders)<sup>10)</sup>.

6717,688 | 5041,613<sup>11)</sup> | 4526,944 | 4240,455 | 4058,912 | 3946,05 | 3871,54 erstes Glied 5,55  $\mu$  (?)

Serie $1S - mD$ <sup>12)</sup>	Serie $1S - mS$	Serie $1P - mP$
4575,43   2680,36   2329,33   2221,91   3000,865 <sup>10)</sup>   2392,22   2257,40   2177,8   7645,25 <sup>13)</sup>   5546 <sup>14)</sup>   4929,25 <sup>15)</sup>		

1) Gemessen von Crew u. Mc Cauley, l. c. 2) Neu gemessen von F. A. Saunders, Astroph. Journ. 52, 268; 1920. 3) Doppelt nach F. A. Saunders, l. c. 1920. 4585,92, 4585,87; s. a. Crew u. Mc Cauley, die 4585,923, 4585,868 angeben. 4) Astroph. Journ. 32, 178; 1910. 5) Glieder 9—13 neu von F. A. Saunders, l. c. 1920. 6) F. A. Saunders, Astroph. Journ. 52, 272; 1920. 7) Nach Crew u. Mc Cauley in I. Ä./Vak. 8) Nach Crew u. Mc Cauley in I. Ä./Vak. 5—9 neu F. A. Saunders. 9) 5 neu F. A. Saunders, 1—4 Crew u. Mc Cauley I. Ä./Vak. 10) Zahlen nach Crew u. Mc Cauley in I. Ä./Vak. 11) S. Astroph. Journ. 32, 178; 1910. 12) F. A. Saunders, Astroph. Journ. 43, 238; 1916. 13) Beob. von Lorensen. 14) Liegt im Gebiet der Bandenspektrens. 15) Im Vakuum beob.

Optische Serienspektren einiger Elemente.

Calcium. (Fortsetzung.)

Serie 2 S - m P.			Serie 1 D - m S.		
$\frac{1}{\lambda} = \nu = 3415$ ber. 3412 beob. <sup>1)</sup>	3 8362 ber. 8359 beob.	4 —	$\frac{1}{\lambda} = \nu = 19936,9$ ber. 19935,2 beob.	—	—
Kombinationsserien: Serie 1 S - m p <sub>2</sub> .					
$m = 1$ 6572,783 <sup>2)</sup>	erstes Glied dieser Serie stark im Ofenspektrum, identifiziert von F. Paschen.			$m = 2$ ? 3734,84 ber. ? 2734,82 beob.	$m = 3$ — ?
Serie 1 p <sub>2</sub> - m S.					
$m = 1$ ?	$m = 2$ 3761,72 beob.	wahrscheinlich zufällige Übereinstimmung.		—	—
Serie 1 D - m p.					
Unsicher $m = 1, 2, 3$ als schwache Linien im Lichtbogen an Luft beobachtet.					
Literatur: W. M. Hicks, Proc. Roy. Soc. (A) 91, 451; 1915. — F. A. Saunders, Astroph. Journ. 42, 234; 1916; Phys. Rev. 30, 270; 1910; Astroph. Journ. 32, 153; 1910. 52, 265; 1920. — A. S. King, Astroph. Journ. 48, 17; 1918; 52, 265; 1920. — Crew u. Mc Cauley, Astroph. Journ. 39, 29; 1917. — O. Holtz, Diss. Bonn 1913. ZS. wiss. Phot. 12, 101; 1913. — Weitere Gesetzmäßigkeiten bei Huppers, Diss. Münster 1913. ZS. wiss. Phot. 13, 76; 1914.					

Strontium.

Triplet-Hauptserie: 1 s - m p (Saunders).							
1	2 <sup>3)</sup>	3 <sup>4)</sup>	4 <sup>5)</sup>	—	—	—	—
7070,28	20263	9597	7873	—	—	—	—
6878,12	20705	—	—	—	—	—	—
6791,06	20767	—	—	—	—	—	—
1 p - m s (Saunders). Scharfe Triplet-Nebenserie, von Dunz als zweite Nebenserie geführt.							
$m = 1, 0^6)$	2,0	3	4	5	6	7	—
7070,102 <sup>7)</sup>	4438,044 <sup>10)</sup>	3865,46	3628,33	3504,04	3430,16	3382,10	—
6878,347 <sup>8)</sup>	4361,710 <sup>11)</sup>	3807,24	3577,20	3456,56	3384,39	3337,65	—
6791,046 <sup>9)</sup>	4326,444 <sup>12)</sup>	3780,35	3553,19	3434,28	—	—	—
1. Triplet-Nebenserie. 1 p - m d (Saunders).							
$m = 1^{13)}$	$m = 2$	3	4	5	6	7	8 <sup>14)</sup>
30665	4971,649	4033,19	—	—	—	—	—
30109,7	4967,928	4032,387	3706,74	3548,65	3458,47	—	3363,84
29225,0	4962,244	4030,386	3705,98	3548,09	3457,98	3401,22	3363,04
27355,3	4876,062	3970,049	3653,93	3500,11	—	—	—
26914,5	4972,485	3969,270	3653,26	3499,69	3411,94	3356,69	3319,72
26023,6	4832,075	3940,806	3629,14	3477,37	3390,67	3363,13	—
—	9	10	11	12	13	—	—
—	3316,32	—	3289,74	3280,54	—	—	—
3336,58	—	?	—	—	—	—	—
3336,13	—	von starken, anderen Linien verdeckt	—	—	—	—	—
3293,42	—	—	—	—	—	—	—

Zahlen in I. Å. meist nach F. A. Saunders.

<sup>1)</sup> Randall. <sup>2)</sup> Zahl nach Crew u. Mc Cauley in I. Å./Vak. <sup>3)</sup> Berechnete Werte sind 20 259, 20 698, 20 762. Die angegebenen Werte sind von Randall beobachtet. <sup>4)</sup> Berechnete Werte sind  $\lambda = 9595, 9624, 9637$ ; der gegebene Wert ist von Randall beobachtet. <sup>5)</sup> Nur berechnet. <sup>6)</sup> Wurde zuerst von Kayser u. Runge beobachtet. Wied. Ann. 52, 116; 1894. <sup>7)</sup> Von F. A. Saunders zu 7070,28 beobachtet (I. Å.). <sup>8)</sup> Von F. A. Saunders zu 6878,12 beobachtet (I. Å.). <sup>9)</sup> Von F. A. Saunders zu 6791,06 beobachtet (I. Å.). <sup>10)</sup> Von F. A. Saunders zu 4438,03 beobachtet (I. Å.). <sup>11)</sup> Von F. A. Saunders zu 4361,74 beobachtet (I. Å.). <sup>12)</sup> Von F. A. Saunders zu 4326,47 beobachtet (I. Å.). <sup>13)</sup> Zuerst von Randall, Ann. d. Phys. 33, 739; 1910 beobachtet. <sup>14)</sup> Von Hampe, l. c. S. 366 zu  $\lambda = 3366,339, 3322,237, 3301,739$  gegeben.

## Optische Serienspektren einiger Elemente.

## Strontium. (Fortsetzung.)

Grundserie von Triplets (Bergmannserie):  $1d - mf^{1)}$  (Saunders).  
(Engere Triplets), von Dunz als 1. Nebenserie bezeichnet.

$m = 1$	2	3	4	5	6	7	8	9	10
4893,12	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4892,666 <sup>2)</sup>	4337,89	4087,46	3950,65	3866,98	3811,94	3773,76	3746,13	3725,24	3708,87
4892,009 <sup>2)</sup>	4337,70	—	—	—	—	—	—	—	—
4869,194 <sup>4)</sup>	4319,12	4070,88	3935,10	3852,11	3797,50	3759,62	3732,19	—	—
4868,739 <sup>5)</sup>	4319,03	—	—	—	—	—	—	—	—
4855,078 <sup>6)</sup>	4308,07	4060,92	3925,86	3843,12	3788,94	3751,26	3723,80	—	—

Alle Zahlen in I. Å.

Diese Serie wurde zuerst von A. Fowler aufgefunden. (Astroph. Journ. 21, 81; 1905). — Die ersten zwei Glieder wurden schon von C. Runge beobachtet. Ann. d. Phys. 43, 385; 1891.

Kombinationsserien in dem Tripletsystem. Alle Zahlen in I. Å.

$1d - m p$ (Saunders).			$2d - m f$ (Saunders).	$2p - m d$ (Saunders).	$2p_1 - m s$ (Saunders).
$m = 1$	$m = 2$	$m = 3$	$m = 1$	$m = 3$	$m = 2$
— 30 665	unsicher?)	4729,52	26 947	17 446	28 964
— 30 109,7	6369,91?	4713,96	26 806	17 170	—
— 29 225,0	oder 6380,72?	4707,10	26 714	17 137	—
— 27 355,3	—	4703,93	—	—	—
— 26 914,5	—	4700,75	—	—	—
— 26 023,6	—	4693,89	—	—	—

2. Nebenserie.

5534,796	5504,166	5486,121	5256,897	5229,266	5212,968	—	—	—
Serie weiter Dubletts, diffuse					Serie (Rowland).			
$m = 2$	3 <sup>8)</sup>	4	5	6	—	—	—	—
— 10 038,3 <sup>9)</sup>	3475,01 <sup>9)</sup>	2324,60 <sup>9)</sup>	1995,7	1847,0	—	—	—	—
— 10 328,3	3464,58	2322,47	1965,2	1820,0	—	—	—	—
— 10 915,0	3380,89	2282,14	—	—	—	—	—	—

Serie weiter Dubletts, scharfe Serie (Rowland).

$m = 2$	3 <sup>11)</sup>	4	5	6	$m = 4$	5	6	—
— 4077,88 <sup>10)</sup>	4305,60	2471,71	2053,3	4077,714	2166,11	1778,8	1620,7	—
— 4215,66 <sup>10)</sup>	4161,95	2423,67	2020,5	4215,515	2152,82	1769,8	1613,3	—

Serie enger Dubletts, Grundserie (Rowlandvakuum).

Das Einfachliniensystem:  $1S - mP^{12)}$  (Saunders); S L I. (Saunders), von Dunz als „ultraviolette Serie“ bezeichnet.

$m = 1$	2	3	4	5	6	7	8	9	10
4607,34	2931,88	2569,50	2428,11	2354,32	2307,39	2275,29	2253,32	2237,65	2226,38
Frühere Werte von F. A. Saunders 1916:					$1P - mD$ (Saunders) <sup>13)</sup> .				
4607,52	2569,60	2354,40	2275,5	2237,4	$m = 1$	2	3	4	5
2931,98	2428,16	2307,5	2253,5	2226,0	— 6,45 $\mu$	7621,54	5543,42	4965,54	4688,59
					$1P - mS$ (Saunders).				
$m = 1$	2	3	4 <sup>14)</sup>	5 <sup>14)</sup>	6 <sup>14)</sup>	7 <sup>14)</sup>	—	—	—
— 4607,34	11 242,3	5970,10	5165,45	4783,93	4582,91	4463,31	—	—	—

$1D - mF$  (Saunders); S L 3 (Saunders).

$m = 1$	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5156,07	4678,35	4406,05	4252,97	4158,49	4096,14	4052,47	4021,02	3997,16	3978,47

<sup>1)</sup> Von A. Fowler entdeckt. <sup>2)</sup> Bei F. A. Saunders 4892,69. <sup>3)</sup> Bei F. A. Saunders 4892,03. <sup>4)</sup> Bei F. A. Saunders 4869,19. <sup>5)</sup> Bei F. A. Saunders 4868,74. <sup>6)</sup> Bei F. A. Saunders 4855,08. <sup>7)</sup> s. l. c. F. A. Saunders, S. 78. <sup>8)</sup> Werte für  $m = 3$  3474,901 3464,470 3380,721 (Hampe) in I. Å. <sup>9)</sup> Von A. Fowler, l. c. als Satelliten bezeichnet. <sup>10)</sup> Erstes Dublett der Hauptserie. Die Laufzahlen nach Fowler, Phil. Trans. 214, 237; 1914. Vgl. auch Lyman, Astroph. Journ. 35, 341; 1912; J. R. Rydberg, Recherches; A. Fowler, Astroph. Journ. 21, 81; 1905; H. Kayser u. C. Runge, Wied. Ann. 43, 384; 1891; H. M. Randall, Ann. d. Phys. 33, 739; 1910. W. Ritz, Phys. ZS. 9, 528; 1908; F. A. Saunders, Astroph. Journ. 21, 195; 1905. <sup>11)</sup> Werte für  $m = 3$  4305,459 4161,812 (Hampe) in I. Å. <sup>12)</sup> Serie von F. A. Saunders aufgefunden. Astroph. Journ. 29, 243; 1909; 32, 167; 1910; s. E. Lorenser, Diss. Tübingen 1913; s. auch Saunders, Astroph. Journ. 43, 237; 1916. Dunz, l. c. S. 37. <sup>13)</sup> Die Anordnung der Serie wird von F. A. Saunders noch für unsicher gehalten. <sup>14)</sup> Ofenlinien (King).

Optische Serienspektren einiger Elemente.

**Strontium.** (Fortsetzung.)  
Neue Einzellienserien (Saunders).

$1P - mX$	$1p_1 - mX$	$1p_2 - mX$	$1p_3 - mX$	$1P - mY$	$1p_2 - mY$	$1P - mZ$	$1p_1 - mZ$	$1p_2 - mZ$
6550,25	4531,32	4451,80	4414,87	7673,11	5041,85	6465,79	4491,01	4412,62

Kombinationsserien in dem Einfachliniensystem nach Saunders:  $1D - mP$ , früher S L 2 (Saunders), von Dunz, l. c. S. 37 als 2. Nebenserie geführt.

$1S - mD$ (Saunders).	$2S - mP$ (Saunders).
$m=1$	$m=2$
4961,50 <sup>1)</sup>	2871,00 <sup>2)</sup>
$m=2$	$m=3$
—	—
$m=3$	$m=4$
—	2389,3 <sup>2)</sup>
$m=4$	$m=5$
28516 <sup>3)</sup>	—

Kombinationsserien (inter-system combination series, Saunders).

$1S - m p_2$ (Saunders) <sup>4)</sup> .	$2S - m p_2$ (Saunders).	$1D - m p$ (Saunders).	$1p - m S$ (Saunders).	$1p - m D$ (Saunders).
$m=1$	$m=2$	$m=1$	$m=3$	$m=3$
6892,60	2951,71	30482 <sup>5)</sup>	—	— <sup>8)</sup>
—	—	7232,24	4175,84 <sup>7)</sup>	3962,61 <sup>9)</sup>
—	—	7287,44	—	3658,23 <sup>9)</sup>
—	—	7309,46 ber. <sup>6)</sup>	—	—

Literatur: Sergius Popow, Ann. d. Phys. 45, 147; 1914. (Zeeman-Effekt). — F. A. Saunders, Astroph. Journ. 56, 73—83; 1922. — Hampe, Diss. Bonn 1913. ZS. wiss. Phot. 13, 348; 1914.

**Barium.**

Grundserie von Triplets<sup>11)</sup>.  $1d - m f$ .

$m=1$	2	3	4	5	6	7	8	9
3997,92	3596,33	3421,48	—	—	—	—	—	—
—	3593,20	3421,01	3323,06	3262,24	3222,28	3193,97	3173,72	—
—	3579,67	3420,32	3322,80	3261,96	3221,63	3193,91	3173,69	3185,4
$m=10$	11	12	—	—	—	—	—	—
3146,90	3137,80	3130,6	—	—	—	—	—	—

Diffuse Triplettsreihe oder erste Triplettsnebenserie.  $1p - m d$  (Saunders).

$m=1$	$m=2$	$m=3$	$m=4$	$m=5$	$m=6$	$m=7$
25515,7	—	—	5818	5535,93	5425,55	—
23255,3	29223,9	—	5800,30	5519,12	—	4493,66
22313,4	27751,1	30933,8	5777,70	—	—	4489,00
—	$m=4$	—	—	$m=5$	—	—
—	3947,51	3890,57	—	3771,93	3719,92	—
4087,31	3945,61	—	3898,58	3769,48	—	3789,72
4084,87	—	—	3894,34	—	—	3788,18
—	$m=7$	—	—	—	—	—
3721,17	3603,40	—	—	—	—	—
3720,85	—	—	—	—	—	—

F. A. Saunders, l. c. S. 27—28.

Scharfe Triplettsreihe oder zweite Triplettsnebenserie.  $1p - m s$  (Saunders).

$m=1$	$m=2$	$m=3$	$m=4$	$m=5$	$m=6$	$m=7$
7905,80	7392,44	7195,26	4902,90	4700,45	4619,98	4239,56
—	—	—	—	—	—	4087,31
3975,32	3841,15	3787,23	3828,93	3704,23	—	—

F. A. Saunders, l. c. S. 28.

Hauptserie von Triplets.  $1s - m p$ .

$m=1$	$m=2$	$m=3$	$m=4$	$m=5$	$m=6$	$m=7$
7195,26	7392,44	7905,80	nur berechnet, unsicher	—	10326 <sup>12)</sup>	10272,9
—	—	—	—	—	—	10189,1
$m=1$	2	3	4	5	6	7
5535,53	3071,59	2702,65	2596,68	2543,2	2500,2	2473,1

Literatur: F. A. Saunders, Astroph. Journ. 32, 155; 1910; Phys. Rev. 1, 332; 1913. — Mc Lennan u. Young, Proc. Roy. Soc. (A) 95, 277; 1919.

<sup>1)</sup> Von A. S. King auf Platten hoher Dispersion getrennt von  $\lambda = 4962,31$  gefunden. <sup>2)</sup> 2871,43 berechnet. <sup>3)</sup> Beobachtet von Randall, berechnet zu 28505. <sup>4)</sup>  $1,5S - 2p_2 = 6892,86$ . E. Lorensen, Diss. Tübingen 1913, S. 41. <sup>5)</sup> Von Randall beobachtet, berechnet ist 30470. <sup>6)</sup> Zu stark, vielleicht zusammenfallend mit einer anderen Linie. <sup>7)</sup> Ofenlinie wahrscheinlich  $1p_2 - 3S$ . <sup>8)</sup>  $\lambda = 4025,52$  vermutlich  $1p_1 - 3D$ . <sup>9)</sup> Im Ofenspektrum beobachtet. <sup>10)</sup>  $\lambda = 3711,90$  schwache Ofenlinie wahrscheinlich  $1p_1 - 4D$ . <sup>11)</sup> Von F. A. Saunders aufgefunden. Astroph. Journ. 28, 228; 1908. <sup>12)</sup> Neu von Randall aufgefunden. F. A. Saunders, l. c. S. 28—29.

Optische Serienspektren einiger Elemente.

Barium. (Fortsetzung.)

Kombinationsserie in dem Triplettsystem.

Serie 1 d - m p.		Serie 2 d - m f.								
m = 2	3	v = 3813,0 berechnet		—	—	—	—	—	—	
—	3790,27 <sup>1)</sup>	v = 3812,8 beobachtet.	Randall.	—	—	—	—	—	—	
Kombinationsserien in dem System der Einzellinien.										
Serie 1 D - m P (frühere Serienbezeichnung SL 2 von F. A. Saunders, Astroph. Journ. 32, 156; 1910)										
Serie 1 S - m F.					Serie 2 S - m P.					
m = 1	2	3	4	m = 1	2	3	4	m = 2	3	4
15 000,4	4726,46	3905,98	3688,35	3501,12	2785,26	2646,50	—	v 6918,2 berechnet	8799,70	7766,80
Serie 1 P - m F.					Serie 1 S - m S.					
m = 1		2		v berechnet		25 629,0		—		—
berechnet v 10 494,1		17 833		beobachtet		25 631,5		—		—
beobachtet v 10 493,6		λ 9527,0		λ		3 900,37		—		—
Kombinationsserien: 1 S - m p <sub>2</sub> .										
m = 1		2		m = 1		2		3		4
1 S - 1 p <sub>2</sub> .		3244,20 nur berechnet,		11 304,20		4284,90		3599,40		3413,84
λ 7911 beobachtet,		Beobachtung unsicher.								
F. A. Saunders, l. c. S. 35-36.					F. A. Saunders, l. c. S. 36.					

Literatur: Schmitz, Diss. Bonn 1912; ZS. wiss. Phot. 11, 209; 1912. — George, Diss. Bonn 1913; ZS. wiss. Phot. 12, 237; 1913. — Ed. Lorensen, Diss. Tübingen 1913. — Werner, Ann. d. Phys. 44, 289; 1914. — Meggers, Scient. Pap. Bur. Stand. No. 312; 1918. — Eder, Wien. Akad. 123 [2a] 2299; 1914. — Randall, Astroph. Journ. 42, 195; 1915. — A. S. King, Astroph. Journ. 48, 13; 1918. — F. A. Saunders, Astroph. Journ. 51, 23; 1920.

Radium. (Nach Runge u. Precht, Ber. chem. Ges. 1904, 417).

Hauptserie: 4682,36 | 3814,58 | I. Nebenserie: 4436,49 | 4340,83 | 3649,75  
 II. Nebenserie: 5813,85 | 4533,33

Über die Triplettserien vgl. Anslow u. Howell, Proc. Nat. Acad. 3, 409; 1917; Journ. chem. Soc. 112 [2], 401; 1917.

Literatur: C. Runge, Ann. d. Phys. 2, 741; 1900; Phil. Mag. 6, 698; 1903. — C. Runge u. J. Precht, Astroph. Journ. 17, 232; 1903; Ann. d. Phys. 10, 655; 1903; 14, 418; 1904; Berl. Sitzber. 1904, S. 417.

Zink.

II. Nebenserie: 2 p <sub>i</sub> - m s.									
m = 1,5	2,5	3,5	4,5	5,5	6,5	—	—	—	—
4810,71	3072,19	2712,60	2567,99	2493,67	2449,76	—	—	—	—
4722,338	3035,93	2684,29	2542,60	2469,72	2427,05	—	—	—	—
4680,38	3018,50	2670,67	2530,34	2457,72	2415,54	—	—	—	—
I. Nebenserie: 2 p <sub>i</sub> - m d.									
m = 3	4	5	6	7	8	—	—	—	—
3346,04	—	—	2463,47	—	—	—	—	—	—
3345,62	2801,17	—	—	—	—	—	—	—	—
3345,13	2801,00	2608,65	2516,00	—	2430,74	—	—	—	—
3303,03	2771,05	2582,57	2491,67	2439,94	2407,98	—	—	—	—
3302,67	2770,94	—	—	—	—	—	—	—	—
3282,42	2756,53	2570,00	2479,85	—	—	—	—	—	—
Hauptserie: 1,5 s - m p.									
m = 2	3	4	5	6	7	—	Bergmannserie:		
4810,71	13 054,89	6928,582	5712,218	5308,714	5068,711	—	m = 4 <sup>2)</sup>		
4722,26	13 151,50	6938,733	5775,645	5310,311	5069,667	—	16 498,6		
4680,38	13 197,79	6943,474	5777,240	5311,039	5070,16	—	16 490,3		
II. Nebenserie: 2 P - m S <sup>3)</sup> .									
m = 1,5	2,5 <sup>4)</sup>	3,5	4,5	5,5	6,5	m = 3	4	5	6
2138,67	11 055,4	5182,175	4298,54	3966 <sup>5)</sup>	3799 <sup>5)</sup>	6362,58	4630,06	4114	3880

<sup>1)</sup> Im Vakuumbogen von F. A. Saunders beobachtet, l. c. S. 33. <sup>2)</sup> In I. Ä. nach Huppers, Diss. Münster. ZS. wiss. Phot. 13, 82; 1914. Volk gibt in Rowland-Ä.-E. 16 505,63, 16 504,47, 16 486,37; in I. Ä. 16 504,01, 16 503,85, 16 485,74. <sup>3)</sup> S. a. E. Fues, Ann. d. Phys. 63, 25; 1920. <sup>4)</sup> Volk gibt 11 054,58 in Rowland-Ä.-E. und 11 054,16 in I. Ä. <sup>5)</sup> F. Saunders.

## Optische Serienspektren einiger Elemente.

## Zink. (Fortsetzung.)

Hauptserie einfacher Linien:  $2,5s - mP$ .

$m = 2^1)$	$3^2)$	—	—	—	—	—	—	—
11 054,58	14 039,5	7799,62	6439,50	5937,93	5654,48	5486,19	—	—

Hauptserie einfacher Linien<sup>3) 4)</sup>.  $1,5S - mP$ .

$m = 2$	3	4	5	6	7 <sup>9)</sup>	8 <sup>9)</sup>
ber. 2139,33	ber. 1589,64	1457,64	1404,18	1376,97	1361,16	1351,19
2138,33	beob. 89,76	57,56	04,19	76,87	n. beob.	n. beob.

Kombination mit dem Triplettssystem<sup>3) 4)</sup>.  $1,5S - mP_2$ .

$m = 2$	3	4	5	6	7	—
ber. 3076,94	1632,08	1468,90	1408,86	1379,38	1362,59	—
beob. —	1632,11	nicht von Wolff beob.	n. beob.	n. beob.	n. beob.	—

Funken-Dubletts erscheinen nach Fowler u. Payn bei  $\lambda = 4912,2$  und  $4924,1$ .

Kombinationen:

$3D - 4p$	15 682,1 <sup>5)</sup>	$2p_1 - 4p$	2781,33	$2p_2 - 5p$	2 575,15	$3p_1 - 4d''$	13 792,4 <sup>7)</sup>	—
$2P - 3d'$	6 238,21	$2p_2 - 4p$	2751,49	$2p_3 - 5p$	2 562,70	$3p_2 - 2,5s$	24 045,7 <sup>8)</sup>	—
$2P - 3d''$	6 239,43	$2p_3 - 4p$	2736,96	$1,5s - 3d$	10 979,4 <sup>9)</sup>	$2p_1 - 3p$	3 515,26	—
		$2p_1 - 5p$	2601,03	$3p_1 - 4d$	13 784,8 <sup>7)</sup>			—

Weitere Kombinationen (?) s. Huppers, Diss. Münster 1913. ZS. wiss. Phot. 13, 83; 1914.

Literatur: Kayser u. Runge, Ann. d. Phys. 43, 385; 1891; 52, 114; 1894. — Paschen, Ann. d. Phys. 29, 625; 1909; 30, 747; 1909. — Rydberg, Ann. d. Phys. 50, 625; 1890. — Saunders, Phys. Rev. 20, 117; 1905. — Fowler u. Payn, Proc. Roy. Soc. London 72, 255; 1904. — Volk, Diss. Tübingen 1914. — K. Wolff, Diss. Tübingen 1913.

## Cadmium.

Hauptserie:  $1,5S - mP^3)$ .

$m = 3$	4	5	6	7	—	—	—
$\lambda$ berechnet 1669,30	1526,73	1469,35	1440,15	1423,22	—	—	—
beobachtet 69,29	26,85	69,39	40,18	23,23	—	—	—

Kombinationsserie:  $1,5S - mP_2^3)$ .

$m = 2^9)$	3	4	5 <sup>9)</sup>	6 <sup>9)</sup>	7 <sup>9)</sup>	—	—
$\lambda_{\text{vak.}}$ ber. 3262,095	1710,58	1537,89	1474,06	1442,60	1424,40	—	—
$\lambda$ beob.	10,51	37,83	nicht beob.	nicht beob.	nicht beob.	—	—

II. Nebenserie:  $2p - m s$ .

$m = 1,5$	2,5	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	—	—
5086,06	3252,63	2868,35	2712,65	2632,29	2582,86	2553,61	—	—
4800,09	3133,29	2775,09	2629,15	2553,61	2507,93	—	—	—
4678,37	3081,03	2733,97	2592,14	2521,74	2474,15	—	—	—

I. Nebenserie:  $2p_i - m d$ .

$m = 2^{10)}$	3	4	5	6	7	—	—	—
10880 ber.	3614,58	2982,01	—	—	—	—	—	—
10950,5 <sup>11)</sup>	3613,04	2981,46	2764,29	—	—	—	—	—
11 104,3 <sup>11)</sup>	3610,66	2980,75	2763,99	2660,45	2601,99	—	—	—
—	3467,76	2881,34	—	—	2525,57	—	—	—
—	3466,33	2880,88	2677,65	2580,33	—	—	—	—
—	3403,74	2837,01	2639,63	2544,84	—	—	—	—

Hauptserie:  $1,5s - mP_i$ .

Bergmannserie:

$m = 2$	3	4	5	6	7	$m = 4$	5	—
5086,06	13 979,22	7346,5	6099,393	5598,989	5339,69	16482,2 <sup>12)</sup>	11 630,8 <sup>10)</sup>	—
4800,09	14 327,99	7385,3	6111,729	5604,903	5339,692	16433,8 <sup>13)</sup>	—	—
4678,37	14 474,62	7399,2	6116,395	5607,068	5339,692	16401,5 <sup>14)</sup>	—	—

1) Nach Volk, l. c. 11 054,16 in I. Ä. 2) Nach Volk 14 039,05 in Rowland-Ä.-E. und 14 038,52 in I. Ä. 3) K. Wolff, Diss. Tübingen. Ann. d. Phys. 42, 834; 1913. 4) Serie ist zuerst von F. Paschen angegeben. Ann. d. Phys. 35, 863; 1911. 5) Nach Volk 15 680,33 in Rowland-Ä.-E. und 15 679,72 in I. Ä. 6) Nach Volk 11 054,58 in Rowland-Ä.-E. und 11 054,16 in I. Ä. 7) Nach Volk 13 786,6 und 13 781,95 in Rowland-Ä.-E. und 13 786,08 und 13 781,43 in I. Ä. 8) Von Volk nicht gegeben. 9) S. F. Paschen, Ann. d. Phys. 40, 604; 1913. 10) Von Volk nicht beobachtet. 11) Lehmann, Ann. d. Phys. 39, 77; 1912. 12) Volk gibt 16483,35 in Rowland-Ä.-E. und 16482,72 in I. Ä. 13) Volk gibt 16432,45 in Rowland-Ä.-E. und 16431,82 in I. Ä. 14) Volk gibt 16403,36 in Rowland-Ä.-E. und 16402,73 in I. Ä.

Optische Serienspektren einiger Elemente.

Cadmium. (Fortsetzung.)

Kombinationen:

$3p_1 - 4d$	14 852,9 <sup>1)</sup>	$2p_1 - 4p$	2961,64	$2p_2 - 5p$	2670,81	$2p_2 - 3p_2$	3595,64	—
$3p_2 - 4d$	14 474,62 <sup>2)</sup>	$2p_2 - 4p$	2862,36	$2p_3 - 5p$	2632,29	$2p_2 - 4p_1$	2903,24	—
$3p_3 - 4d$	14 329,60 <sup>3)</sup>	$2p_3 - 4p$	2818,66	$2p_1 - 3p_1$	3729,21	$2p_2 - 4p_2$	2908,85	—
$3p_3 - 4d''$	14 354,15 <sup>4)</sup>	$2p_1 - 5p$	2756,69	$2p_1 - 4p_1$	3005,53			

Hauptserie:  $2,5s - mP$ .

$m = 2$	3 <sup>?</sup>	4	5	6	7	8	9	—
10 395,17	15 154,78	8200,5	6778,34	6198,43	5896,0	5716	5598,28	—

II. Nebenserie:  $2P - mS$ .

$m = 1,5$	$m = 2,5$	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	$m = 3$	4	5	6
2288,10	10 395,17	5154,85	4306,98	3981,92	3819	3723	6438,71	46 629,69	4141	3905

I. Nebenserie:  $2P - mD$ .

Kombinationen:

$2p_1 - 3D$	3 649,74	$3D - 5p$	11 268,36 <sup>6)</sup>	$2P - 4d'$	4614,35	$2P - 5d''$	4 114,7
$2p_2 - 3D$	3 500,09	$2P - 3d'$	6 325,40	$2P - 4d''$	4615,57	$4p - N/5^2$	39 086,9 <sup>6)</sup>
$3D - 4p$	15 713,50 <sup>5)</sup>	$2P - 3d''$	6 330,18	$2P - 5d'$	4114,7		

Weitere Gesetzmäßigkeiten bei **Huppers**, Diss. Münster 1913. ZS. wiss. Phot. 13, 69; 1914. Funkenlinien erscheinen nach **Fowler u. Payn**, l. c., bei  $\lambda = 5379,3$  und  $5338,6$ .

Literatur: **F. Paschen**, Ann. d. Phys. 29, 625; 1909; 30, 747; 1909; 40, 602; 1913. — **K. Wolff**, Diss. Tübingen. Ann. d. Phys. 42, 824; 1913. — **T. Takamine**, Proc. Math. Phys. Soc. Tokyo 8, 51; 1915. Ann. d. Phys., Beibl. 39, 417; 1915. — **Volk**, Diss. Tübingen 1914. — **Fowler u. Payn**, Proc. Roy. Soc. London 72, 256; 1904. — **Kayser u. Runge**, Ann. d. Phys. 43, 385; 1891; 52, 114; 1894. — **Rydberg**, Ann. d. Phys. 50, 625; 1893. — **Saunders**, Phys. Rev. 20, 117; 1905.

Quecksilber.

Quadruplett-Hauptserie:  $1\Sigma - m\pi$  (Dingle);  $2,5s - mP$  (Kombinationsserie) +  $2,5s - m p$  (Triplet-Hauptserie).

$m = 1$	2 <sup>7)</sup>	3	4	5	6	7	8	9
—12070,23	?	6072,63	5675,86	5316,69	5102,42	4970,13	4883,1	4822,3
— 5460,74	11 287,15	6907,53	5803,55 <sup>8)</sup>	5354,05	5120,65	4980,82	4890,27	4827,1
— 4358,34	11 673,09	7082,01	5859,32 <sup>9)</sup>	5384,70 <sup>10)</sup>	5138,09	4991,5	4896,9	4832,2
— 4046,56	13 950,76	7092,20	5872,12	5389,01	5140,10	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—
10	11	12	13	14	15	16	17	—
4782,1	4748,1	4722,8	4701,8	4685,3	4672,7	4662,4	4653,4	—

Serie vorgelagerter Linien:

$m = 4$	5	6	7	8	9	10	—	—
6072,839	5676,075	5316,870	5102,600	4970,305	4883,3	4822,5	—	—

Scharfe Quadruplett-Nebenserie:  $1\pi_1 - m\Sigma$  (Dingle);  $2P - m s$  (Kombinationsserie)<sup>11)</sup> +  $2p - m s$  (scharfe Triplet-Nebenserie).

$m = 1$	2	3	4	5	6	7	8 <sup>12)</sup>	9
12070,23	5025,56	4140,03	3815,84	—	—	—	—	—
5460,74	3341,48	2925,41	2759,70	2674,99	2625,24	2593,41	2571,75	2556,30
4358,34	2893,60	2576,29	2446,90	2379,99	2340,60	—	—	—
4046,56	2752,78	2464,06	2445,43	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—
10	11 <sup>13)</sup>	12	13	14	15	16	17	18
2544,87	—	2529,53	2524,11	2519,79	2616,32	—	—	—

<sup>1)</sup> Volk gibt 14 849,87 in Rowland-Ä.-E. und 14 849,30 in I. Ä. <sup>2)</sup> Volk gibt 14 472,10 in Rowland-Ä.-E. und 14 472,55 in I. Ä. <sup>3)</sup> Volk gibt 14 328,02 in Rowland-Ä.-E. und 14 327,47 in I. Ä. <sup>4)</sup> Von Volk nicht beobachtet. <sup>5)</sup> Volk gibt 15 711,71 in Rowland-Ä.-E. und 15 711,12 in I. Ä. <sup>6)</sup> Von Volk nicht gegeben. <sup>7)</sup> S. F. Paschen, Ann. d. Phys. 35, 860; 1911. <sup>8)</sup> Kommt auch als  $2P - 5\pi_1$  vor, ist sehr verwaschen und geht nach F. Paschen doppelt darzustellen. <sup>9)</sup> Hat Begleiter 5860,10 und 5868,08. <sup>10)</sup> Hat Begleiter 5385,79. <sup>11)</sup> S. Wiedmann, l. c. Diss. S. 13—14. <sup>12)</sup> Von  $m = 8 - 15$  von H. Dingle neu gemessen. <sup>13)</sup> Verdeckt durch 2536,52.



Optische Serienspektren einiger Elemente.

Quecksilber. (Fortsetzung.)

Diffuse Quadruplett-Nebenserie  $1\pi - m\Delta$  (Dingle);  $2P - mD$  (diffuse Einfachlinienserie) +  $2P - md$  bzw.  $2p - mD$  (Kombinationsserie) + diffuse Triplet-Nebenserie.

Schema:		$1\pi_3 - m\Delta'''$	$2p_2 - mD$	Kombinationsserie
$1\pi_1 - m\Delta'''$ entspr. $2P - mD$	Diffuse Einzelliniens. } Kombinationsserie	$1\pi_3 - m\Delta''$	$2p_2 - m d''$	diffuse Triplet-Nebenserie.
$1\pi_1 - m\Delta''$		$2P - m d''$	$1\pi_3 - m\Delta'$	
$1\pi_1 - m\Delta'$	$2P - m d'$	$1\pi_4 - m\Delta'''$	$2p_3 - mD$	Kombinationsserie
$1\pi_2 - m\Delta_1$	—	$1\pi_4 - m\Delta''$	$2p_3 - m d''$	Diffuse Triplet-Nebens.
$1\pi_2 - m\Delta'''$	$2p_1 - mD$ Kombinationsserie	Diffuse Triplet-Nebenserie; Schema (Wiedmann):		
$1\pi_2 - m\Delta''$		$2p_1 - m d''$	$1\pi_2 - m\Delta'''$	$1\pi_3 - m\Delta'''$
$1\pi_2 - m\Delta'$	Diffuse Triplet-Nebenserie	$1\pi_2 - m\Delta''$	$1\pi_3 - m\Delta''$	$1\pi_4 - m\Delta''$
$1\pi_2 - m\Delta$		$2p_1 - m d$	$1\pi_2 - m\Delta'$	$1\pi_3 - m\Delta'$
$1\pi_2 - m\Delta_2$	—			

Zweite Nebenserien und ihre Kombinationen:  $(2, P) - (m, D)$ .  
 Erste Nebenserien und ihre Kombinationen:  $V = (2, P) - (m, D)$ .

m = 2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
5790,66 <sup>1)</sup>	4347,50	3906,40	3704,22	3592,97	3524,27	3478,98	3447,22	2549,24	2539,00
5789,69	4343,64	3903,64	3702,36	3591,48	—	—	—	2548,55	—
5769,60	4339,23	3901,90	3701,44	3590,95	3523,00	3477,85	—	—	—
3663,28 <sup>2)</sup>	3027,48 <sup>5)</sup>	2810,51	2703,50 <sup>10)</sup>	2642,48	2604,73	2579,58	2562,02	—	—
3662,88	3025,62	2806,84 <sup>7)</sup>	2700,92	2641,11	2603,84	2578,91	—	—	—
3654,83	3023,47	2805,42	—	—	—	2578,44	—	—	—
3650,15	3021,50	2804,46	2699,50	2639,93	2603,15	—	2561,18	—	—
3131,84 <sup>3)</sup>	2655,13	2803,48	2698,85	2638,85	2602,38	—	—	—	—
3131,55	2653,68	2801,22	2697,29	—	—	—	—	—	—
3125,66	2652,04	2483,83 <sup>8)</sup>	2400,52 <sup>11)</sup>	—	—	—	—	—	—
2967,52 <sup>4)</sup>	2534,77 <sup>6)</sup>	2482,22	2399,74	—	—	—	—	—	—
2967,28	—	2482,01	2399,38	2358,48	2323,30	—	—	—	—
—	—	2379,46 <sup>9)</sup>	—	—	—	—	—	—	—
—	—	2378,34	2302,09	2258,87	—	—	—	—	—
12	13	14	15	16	17	18	19	20	—
2531,69	2525,84	2521,23	2517,45	2514,26	2511,64	2509,47	2507,47	2505,87	—

Quadruplett-Grundserie:  $2\Delta - m\Phi$  (Dingle),  $3d - mf$  (Bergmann-Triplettserie). Schema:

$2\Delta - m\Phi$	$3d - mf$	$m = 3$	4	—	—
$2\Delta' - m\Phi$	$3d' - mf$	17 193	12 020,20	—	—
$2\Delta'' - m\Phi$	—	17 108,51	—	—	—
$2\Delta''' - m\Phi$	$3d'' - mf$	16 938,86	—	—	—
—	—	16 918,32	11 886,64 <sup>12)</sup>	—	—

Quadruplett-Kombinationsserie:  $1\pi - m\Phi$  (Dingle);  $2p - mf$  (Kombinationsserie). Schema:

$1\pi_1 - m\Phi$	—	$m = 3$	4	—	—
$1\pi_2 - m\Phi$	$2p_1 - mf$	4313,3	3893,89	—	—
$1\pi_3 - m\Phi$	$2p_2 - mf$	3011,05 <sup>13)</sup>	2799,83 <sup>16)</sup>	—	—
$1\pi_4 - m\Phi$	$2p_3 - mf$	2642,60 <sup>14)</sup>	2478,66 <sup>17)</sup>	—	—
—	—	2524,71 <sup>15)</sup>	2374,02 <sup>18)</sup>	—	—

Einzellinienserien. Hauptserie:  $1\pi_3 - mP$  (Dingle);  $2p_2 - mS$  (Kombinationsserie).

$m = 1$	2	3	4	5	—	—	—	—
—2536,52	4077,83	2856,94	2563,90	2441,03 <sup>19)</sup>	—	—	—	—

Diffuse Serie:

$1P - m\pi_1$  (Dingle);  $1,5S - mP$   
 (Hauptserie einfacher Linien).

$m = 1$	2	3
1849,57	1402,72 <sup>20)</sup>	1223 ber.
—	—	1224 beob. <sup>21)</sup>

Scharfe Serie:

$1P - m\pi_3$  (Dingle);  $1,5S - m p_2$   
 (Kombinationsserie).

$m = 1$	2	—
2536,52	1435,63	—
—	—	—

<sup>1)</sup>  $2P - 3d''$ , 5789,88;  $2P - 3d'$ , 5769,81 nach Dunz. <sup>2)</sup>  $2p_1 - 3D$ , 3663,46 nach Dunz.  
<sup>3)</sup>  $2p_2 - 3D$ , 3131,95 nach Dunz. <sup>4)</sup>  $2p_3 - 3D$ , 2967,64 nach Dunz. <sup>5)</sup>  $2p_1 - 4D$ , 3027,66;  
 $2p_2 - 4D$ , 2625,29 nach Dunz. <sup>6)</sup>  $2p_3 - 4D$ , 2536,12 nach Dunz. <sup>7)</sup>  $2p_1 - 5D$ , 2806,844 nach  
 Dunz. <sup>8)</sup>  $2p_2 - 5D$ , 2483,9 nach Dunz. <sup>9)</sup>  $2p_3 - 5D$ , 2380,06 nach Dunz. <sup>10)</sup>  $2p_1 - 6D$ , 2700,92 nach  
 Dunz. <sup>11)</sup>  $2p_2 - 6D$ , 2400,57 nach Dunz. <sup>12)</sup> Von Paschen als Doppellinie mit 10 Å.-E. Abstand gemessen  
<sup>13)</sup> Wird durch  $1\pi_2 - 6\Delta_1$  gestört, von Dunz als  $2p_1 - 4\Delta p$  gegeben. <sup>14)</sup> Von Dunz als  $2p_2 - 4\Delta p$   
 gegeben. <sup>15)</sup> Von Dunz durch  $2p_3 - 4\Delta p$  gegeben. <sup>16)</sup> Von Dunz als  $2p_1 - 5\Delta p$  gegeben. <sup>17)</sup> Von  
 Dunz als  $2p_2 - 5\Delta p$  gegeben. <sup>18)</sup> Von Dunz als  $2p_3 - 5\Delta p$  gegeben. <sup>19)</sup> Von Dingle neu gemessen.  
<sup>20)</sup> Von Paschen so eingereicht. <sup>21)</sup> J. C. Mc Lennan, Proc. Roy. Soc. (A) 87, 256; 1912.

Optische Serienspektren einiger Elemente.

Quecksilber. (Fortsetzung.)

Serie vorgelagerter Linien:  $1,5 S - m p_2$  <sup>1)</sup> <sup>2)</sup>.

$m = 1$	2	3	4	5	6	7	—	—
ber. Sek. 2536,52	1435,59	1307,83	1259,31	1235,91	1222,44	1213,97	—	—

J. C. Mc Lennan, Proc. Roy. Soc. (A) 87, 256; 1912.

Kombinationsserie <sup>3)</sup>:  $1 \pi_1 - m P$  (Dingle);  $2 P - m S$  (scharfe Einzellinienserie).

II. Nebenserie einfacher Linien (Dunz).

$m = 1$	2	3	4	5	—	—	—	—
—1849,57	10139,67	4916,04	4108,08	3801,67	—	—	—	—

Kombinationsserie: (Dingle);  $2,5 S - m P$  (Hauptserie einfacher Linien).

$m = 1$	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
—10139,67	? <sup>4)</sup>	6716,45	6234,35	5803,55	5549,28	5393,50	5290,1	5218,9	5165,8	5128,9

(Dingle)

Kombinationslinien:

$2 \pi_2 - 3 \Delta'''$	$(3 p_1 - 4 D)$	17071,54	$1 \pi_3 - 2 \pi_2$	$(2 p_1 - 3 p_1)$	3144,48	$2 \pi_2 - 2 \Sigma$	$(3 p_1 - 3,5 s)$	36258 <sup>5)</sup>
$1 \pi_2 - 2 \pi_2$	$(2 p_1 - 3 p_1)$	3680,01	$1 \pi_3 - 3 \pi_2$	$(2 p_2 - 4 p_1)$	2672,67	$2 \pi_3 - 2 \Sigma$	$(3 p_2 - 3,5 s)$	23263
$1 \pi_2 - 3 \pi_2$	$(2 p_1 - 4 p_1)$	3050,46	$1 \pi_3 - 2 \pi_3$	$(2 p_2 - 3 p_2)$	3305,09	$2 \pi_4 - 2 \Sigma$	$(3 p_3 - 3,5 s)$	22489
$1 \pi_2 - 3 \pi_4$	$(2 p_1 - 4 p_3)$	3085,29	$1 \pi_4 - 2 \pi_4$	$(2 p_3 - 3 p_3)$	3135,76			

Literatur: J. R. Rydberg, Wied. Ann. 50, 625; 1893; Öfs. Stockh. 1893, No. 8. — C. Runge u. F. Paschen, Ann. d. Phys. 5, 725; 1901; Astroph. Journ. 14, 49; 1901. — F. Paschen, Ann. d. Phys. 29, 662; 1909; 30, 750; 1909; 35, 869; 1911; Jahrb. Rad. 8, 178; 1911. — Wiedemann, Ann. d. Phys. 38, 1041; 1912; Diss. Tübingen 1912. — Dunz, Diss. Tübingen 1911. — Mc Lennan, Proc. Roy. Soc. London (A) 87, 256; 1912. — E. Fues, Ann. d. Phys. 63, 26; 1920. — H. Dingle, Proc. Roy. Soc. London (A) 100, 167; 1921. — Th. Volk, Diss. Tübingen 1914. — J. C. Mc Lennan u. W. W. Shaver, Proc. Roy. Soc. London (A) 100, 200; 1921. — Kayser u. Runge, Wied. Ann. 43, 385; 1891; 52, 115; 1894. — Eder u. Valenta, Wied. Ann. 55, 489; 1895. — Stiles, Astroph. Journ. 30, 48; 1909. — Milner, Phil. Mag. 20, 640; 1910.

Kupfer.

II. Nebenserie:

$m = 1,5$	2,5	3,5	4,5	5,5	$m = 3$	4	5	—
3274,06	8092,78 <sup>6)</sup>	4531,04	3861,88	3599,20	5220,25	4063,50	3688,60	—
3247,65	7933,24 <sup>6)</sup>	4480,59	3825,13	—	5218,45	4062,94	—	—
—	—	—	—	—	5153,33	4022,83	3654,60	—

I. Nebenserie:

I. Nebenserie:

$m = 3$	4	5
19 399,62	24 851,26	27 355,22

Hauptserie:

$m = 2$	3	—
3247,65	[2024,42]	—
3274,6	[2025,88]	—

Bergmannserie:

$m = 4$	—	—
18 194,7	—	—

Kombinationen:

$3 p_1 - 2,5 s$	16 008,5	$2 p_2 - 4 \Delta p$	4056,8	$x - 4 \Delta p$	2369,91	$x - 3 p_1$	2766,56	—
$3 p_1 - 4 d$	16 653,4	$2 p_1 - 5 \Delta p$	3512,19	$x - 5 \Delta p$	2238,52	$x - 3 p_2$	2768,94	—
$2 p_1 - 4 \Delta p$	4 015,8	$2 p_2 - 5 \Delta p$	3652,36	$x - 2 p_1$	5700,39	$x - 3 d$	2724,04	—
				$x - 2 p_2$	5782,30			

In starkem elektrischen Felde erscheinen nach T. Takamine<sup>7)</sup> folgende Linien:

3652,6	3686,7	4015,8 <sup>8)</sup>	4056,8 <sup>8)</sup>
--------	--------	----------------------	----------------------

Literatur: † W. M. Hicks, Phil. Mag. (6) 39, 457; 1920. — Huppers, ZS. wiss. Phot. 13, 59; 1914.

<sup>1)</sup> K. Wolff, Diss. Tübingen. Ann. d. Phys. 42, 835; 1913. <sup>2)</sup> F. Paschen, Ann. d. Phys. 40, 605; 1913. <sup>3)</sup> S. Paschen, Ann. d. Phys. 30, 750; 1909. <sup>4)</sup>  $\lambda = 13 571$  nach R. C. Dearle, Proc. Roy. Soc. (A) 95, 296; 1919. <sup>5)</sup> Von Dunz als  $2 P - 4,5 S$  31952,01 gegeben. <sup>6)</sup> Von H. M. Randall aufgefunden. Ann. d. Phys. 33, 739; 1910. Wellenlängen nach K. W. Meissner, l. c. S. 727. <sup>7)</sup> T. Takamine, Astroph. Journ. 50, 29; 1919. <sup>8)</sup> Nach T. Takamine, l. c., als Komponente von 4022,83 aufzufassen. <sup>9)</sup> Nach T. Takamine, l. c., als Komponente von 4062,14 aufzufassen.

## Optische Serienspektren einiger Elemente.

## Silber.

Hauptserie:	II. Nebenserie:				I. Nebenserie:			
$m = 3$	$m = 3$	4	5	$m = 4$	5	6	7	
3382,897	8273,82	4668,51 <sup>1)</sup>	3981,641 <sup>1)</sup>	5471,51	4212,04 <sup>1)2)</sup>	3810,7 <sup>1)</sup>	3624,4	
3280,683	7687,84	4476,08 <sup>1)</sup>	3840,80 <sup>1)</sup>	5209,03	4055,26 <sup>1)</sup>	3682,37 <sup>1)</sup>	—	

Sämtliche Werte  $\lambda$  in  $\text{\AA}$ . nach Frings, Diss. Bonn 1915. ZS. wiss. Phot. 15, 182; 1915.

In starkem elektrischen Feld erscheinen folgende Ag-Linien:

4081,7 und 4206,8.

Sie zeigen nach Takamine<sup>3)</sup> ein gleiches Verhalten wie die Heliumlinien 4519, 4046 und 3930.

Literatur: F. J. Kayser, Diss. Bonn 1911. — H. Oellers, Diss. Münster 1912. — H. Köne-  
mann, ZS. wiss. Phot. 12, 134; 1913. — W. Huppers, ZS. wiss. Phot. 13, 51; 1914. — B. Reismann,  
ZS. wiss. Phot. 13, 299; 1914.

## Gold.

Stark-Effekt für 3796,15<sup>4)</sup> (ähnlich wie Calcium 3654,59 und 3688,60)

4084,31<sup>4)</sup>

4128,80<sup>5)</sup> von T. Takamine (Astroph. Journ. 50, 27—28; 1919) untersucht.

Literatur: † Hicks, Phil. Mag. (6) 38, 1—31; 1919.

<sup>1)</sup> Stark-Effekt von T. Takamine untersucht, l. c. <sup>2)</sup> Linie ist doppelt: 4210,87 und 4212,76.

<sup>3)</sup> T. Takamine, Astroph. Journ. 50, 26—27; 1919.

<sup>4)</sup> Nach T. Takamine sind diese Linien als Linien einer diffusen Serie einzuordnen, während  
sich 4084,31<sup>5)</sup> wie eine Linie einer scharfen Serie verhält.

Glaser.

## 21

Anregungs- und Ionisierungsspannungen ein- und mehratomiger  
Gase und Dämpfe.

## Definitionen und Erläuterungen.

Anregungsspannung (A.Sp.)  $V_A$  eines Atomes oder mehratomigen Moleküls ist die Mindest-  
spannung, die ein Elektron in einem elektrischen Felde frei durchlaufen haben muß, damit seine kinetische Energie  $\frac{1}{2} m v^2 = e \cdot V_A$  ausreicht, um beim Auftreffen auf das Atom oder Molekül durch den Stoß dieses von dem Quantenzustand  $a$  mit der Energie  $E_a$  in einen anderen möglichen Quantenzustand  $b$  mit der größeren Energie  $E_b$  zu überführen. Es ist dann die vom Atom oder Molekül aufgenommene Energie

$$e \cdot V_A = E_b - E_a. \quad (1)$$

Wird bei der Rückkehr des Atomes oder Moleküls von dem Zustand  $b$  in den Zustand  $a$  diese aufgenommene Energie monochromatisch mit der Frequenz  $\nu$  und der Wellenlänge  $\lambda$  ausgestrahlt, so ist

$$e \cdot V_A = h \cdot \nu = h \cdot \frac{c}{\lambda}. \quad (2)$$

Durch Gl.(2) ist jede A.Sp. zahlenmäßig mit einer Frequenz  $\nu$  und Wellenlänge  $\lambda$  verknüpft. Zur Umrechnung werden in den folgenden Tabellen die Zahlenwerte benutzt

$$e = 4,774 \cdot 10^{-10} \text{ el.-stat. E.}$$

$$h = 6,54 \cdot 10^{-27} \text{ Erg sec.}$$

$$c = 3 \cdot 10^{10} \text{ cm sec}^{-1}$$

Es ist also

$$V = 1,234 \cdot 10^{-4} \cdot \nu = 1,234 \frac{10^4}{\lambda},$$

wobei  $V$  in Volt,  $\nu$  in Wellenzahlen ( $\text{cm}^{-1}$ ) und  $\lambda$  in  $\text{\AA}$ -E. gemessen ist.

## Sonderfälle.

1. Resonanzspannung. Ist bei Atomen der Zustand  $a$  der Dauerzustand des Atoms und  $b$  der Endzustand, der durch quantenhafte Absorption der ersten Linie einer Absorptionsserie von der Frequenz  $\nu_R$  und der Wellenlänge  $\lambda_R$  erreicht wird, so wird die A.Sp., die diesem Übergang entspricht, Resonanzspannung (R.Sp.)  $V_R$  genannt. Es ist also

$$e \cdot V_R = h \cdot \nu_R = h \cdot \frac{c}{\lambda_R}.$$

Bei Verwendung von Paschens Serienbezeichnung sind die ersten Glieder der Absorptionsserien

$$V_R = 1,5 S - 2 P \quad \text{für Einfachlinien}$$

$$V_R = 1,5 s - 2 p_i \quad i = 1, 2 \quad \text{für Dubletts}$$

$$V_R = 1,5 S - 2 p_2 \quad \text{für Kombination zwischen Einfachlinien und Triplettts.}$$

Grottrian.

## Anregungs- und Ionisierungsspannungen ein- und mehratomiger Gase und Dämpfe.

2. Umwandlungsspannung. Bei Atomen, in deren Spektren neben Einfachlinien Dubletts oder Triplets vorkommen, entspricht dem kleinsten Übergang vom Dauerzustand zu einem Term des Dublett- oder Tripletspektrums meist keine Absorptions- oder Emissionslinie. Dieser Übergang kann aber durch Elektronenstoß herbeigeführt werden. Die dem entsprechende Spannung  $V_u$  heißt Umwandlungsspannung (U.Sp.). Man kann wieder

$$e \cdot V_u = h \nu_u$$

setzen, wobei  $\nu_u$  aus der Differenz der Terme

$$\begin{aligned} \nu_u &= 0,5 S - 1,5 s & (\text{z. B. für Helium}) \\ \nu_u &= 1,5 S - 2 p_3 & (\text{z. B. für Quecksilber}) \end{aligned}$$

berechenbar ist, aber keiner optisch beobachteten Serienlinie entspricht.

3. Bei mehratomigen Molekülen gibt es entsprechend der großen Zahl der möglichen Quantenzustände eine große Zahl verschiedener A.Sp.en, die bisher experimentell nicht einzeln meßbar sind. Aus dieser Gruppe heben sich als einzelne charakteristische Werte diejenigen heraus, die der langwelligen Grenze oder dem Maximum einer Bandenabsorption entsprechen, ferner solche Werte, die eine Energieaufnahme des Moleküls hervorrufen, die gleich der Summe aus der Dissoziationsarbeit  $D$  des Moleküls und der Hauptanregungsspannung eines der Atome ist.

Ionisierungsspannung (I.Sp.)  $V_J$  ist die Spannung, die ein Elektron frei durchlaufen haben muß, um beim Auftreffen auf ein Atom oder Molekül dieses in einen positiv und einen negativ geladenen Bestandteil zu zerlegen, dergestalt, daß die beiden Teile nach der Trennung praktisch unendlich weit voneinander entfernt und relativ zueinander in Ruhe sind.

Für Atome entspricht der kleinsten I.Sp. die Zerlegung in ein positives Atomion und ein Elektron.  $V_J$  ist dann mit der Frequenz  $\nu_\infty$  und der Wellenlänge  $\lambda_\infty$  der Grenze der Absorptionsserie durch die Gleichung verknüpft

$$e \cdot V_J = h \cdot \nu_\infty = h \cdot \frac{c}{\lambda_\infty}$$

Größere I.Sp.s entsprechen der gleichzeitigen Abtrennung mehrerer Elektronen oder der Abtrennung eines fester gebundenen Elektrons (Röntgenspektren).

Bei zweiatomigen Molekülen, bestehend aus den Atomen X und Y, kommen wesentlich drei Fälle der Ionisierung in Betracht:

- I.  $XY \rightarrow \overset{+}{X} \overset{-}{Y}, e$  Zerleg. in ein pos. Molek.-Ion u. ein Elektr.  $V_{JI}$
- II.  $XY \rightarrow \overset{+}{X}, Y, e$  Zerleg. in ein pos. Atomion, ein At. u. ein Elektr.  $V_{JII}$
- III.  $XY \rightarrow \overset{+}{X}, \overset{-}{Y}$  Zerleg. in ein pos. u. neg. Atomion  $V_{JIII}$ .

In den folgenden Tabellen sind sämtliche Spannungen in Volt und sämtliche Wellenlängen in Angström-Einheiten angegeben.

### I. Vertikalreihe des periodischen Systems.

#### Alkalimetalle.

Spektraltypus: Dubletts.

Element	Resonanzsp. $V_R$		Wellenlängen $\lambda_R$ der Resonanzlinien $1,5 s - 2 p_2$ und $1,5 s - 2 p_1$	Ionisierungssp. $V_J$		Wellenlänge $\lambda_\infty$ der Seriengrenze ber. aus $\nu_\infty = 1,5 s$	Beobachter
	beob.	ber.		beob.	ber.		
Li	—	1,84	6707,85	—	5,36	2301,97	—
Na	2,12	$\left\{ \begin{array}{l} 2,093 \\ 2,095 \end{array} \right\}$	$\left. \begin{array}{l} D_1 \ 5895,93 \\ D_2 \ 5889,96 \end{array} \right\}$	5,13	5,12	2412,8	T. u. F. <sup>I</sup>
K	1,55	$\left\{ \begin{array}{l} 1,602 \\ 1,609 \end{array} \right\}$	$\left\{ \begin{array}{l} 7699,01 \\ 7664,94 \end{array} \right\}$	4,13	4,32	2856,7	T. u. F. <sup>I</sup>
Rb	1,66	$\left\{ \begin{array}{l} 1,55 \\ 1,58 \end{array} \right\}$	$\left\{ \begin{array}{l} 7947,6 \\ 7800,3 \end{array} \right\}$	4,16	4,16	2968,7	F., R. u. M.
Cs	1,48	$\left\{ \begin{array}{l} 1,38 \\ 1,45 \end{array} \right\}$	$\left\{ \begin{array}{l} 8943,5 \\ 8521,1 \end{array} \right\}$	3,96	3,87	3184,0	F., R. u. M.

## Anregungs- und Ionisierungsspannungen ein- und mehratomiger Gase und Dämpfe.

### II. Vertikalreihe des periodischen Systems.

#### Erdalkalien u. Zn, Cd u. Hg.

Spektraltypus: Einfachlinien und Triplets.

Element	Erste Glieder der Absorptionsserien						$V_J$		$\lambda_\infty$	Beobachter
	$\nu_A = 1,5S - 2p_2$			$\nu_A = 1,5S - 2P$			beob.	ber.	ber. aus $\nu_\infty = 1,5S$	
	$\nu_A$ beob.	$\nu_A$ ber.	$\lambda_A$	beob.	$\nu_A$ ber.	$\lambda_A$				
Mg	{ 2,65 a) 2,65 b)	2,70	4571,1	4,42 b)	4,33	2852,1	{ 7,75 a) 8,0 b)	7,61	1621,7	{ a) F. u. M. <sup>I</sup> b) M., F. u. M.
Ca	1,90	1,88	6572,8	2,85	2,92	4226,7	6,01	6,09	2027,56	M., F. u. St.
Sr	—	1,79	6892,6	—	2,68	4607,3	—	5,67	2178,91	—
Ba	—	1,56	7911,4	—	2,23	5535,5	—	5,19	2379,28	—
Zn	{ 4,1 a) 4,18 b)	4,02	3075,9	5,65 b)	5,77	2138,6	{ 9,5 a) 9,3 b)	9,35	1319,98	{ a) T. u. F. <sup>I</sup> b) M., F. u. M.
Cd	{ 3,88 a) 3,95 b)	3,78	3261,0	5,35 b)	5,40	2288,0	{ 8,92 a) 9,0 b)	8,96	1378,69	{ a) T. u. F. <sup>I, II</sup> b) M., F. u. M.
Hg	4,9	4,86	2536,52	6,7	6,68	1849,6	10,38	10,39	1187,96	Siehe besondere Tabelle für Hg

### Aus der III. u. IV. Vertikalreihe des per. Systems.

Spektraltypus für Tl: Doublets, für Pb unbekannt.

Element	Kleinste A. Sp.		$\lambda_A$	$V_J$		$\lambda_\infty$	Beobachter
	$\nu_A$ beob.	$\nu_A$ ber.	für Tl ber. aus $\nu_A = 2p_2 - 2p_1$	beob.	ber.	ber. aus $\nu_\infty = 2p_2$	
Tl	1,07	0,96 <sup>1)</sup>	12 832,9 <sup>1)</sup>	7,3	6,08	2029,93	F. u. M. <sup>I</sup>
Pb	1,26	1,20(?)	10 291 (?)	7,93	—	?	M., F. u. St.

Die I.Sp.en der übrigen Elemente der III. Vertikalreihe sind nicht gemessen, lassen sich aber aus den bekannten Termen  $2p_2$  der Serienspektren berechnen. Es ergibt sich für  
Al 5,957 Volt, Ga 5,970 Volt, In 5,759 Volt, Tl 6,083 Volt.

### Anregungs- und Ionisierungsspannungen des Hg.

Beobachter	$V$		$\lambda$	Serienbezeichnung	Bemerkung
	beobachtet	berechnet			
F. u. E.	4,68	4,65	2655,5 <sup>2)</sup>	$1,5S - 2p_3$	U.Sp.
F. u. H. <sup>I</sup>	4,9 ± 0,1				
T.	4,90 ± 0,3				
G.	4,9 ± 0,1	4,86	2536,52	$1,5S - 2p_2$	R.Sp.
N.	4,9				
P.	4,9				
F. u. E.	4,9 ± 0,0				
Gr.	4,90 ± 0,05				
F. u. E.	5,47	5,43	2270,6 <sup>2)</sup>	$1,5S - 2p_1$	—
B. D. u. G. <sup>I</sup>	6,7				
F. u. E.	6,73	6,67	1849,6	$1,5S - 2P$	—
E.	6,7				
F. u. E.	7,73	7,69	1603,9 <sup>2)</sup>	$1,5S - 1,5s$	—
F. u. E.	8,64				
T.	10 ± 0,3	8,58	1435,6	$1,5S - 3p_2$	—
B. D. u. G. <sup>I</sup>	10,3				
H. u. D.	10,15				
B.	10,27	10,39	1187,96	$1,5S$	I.Sp. entspr. der Serien-grenze
St. u. G.	10,3				
E.	10,38 ± 0,05	—	—	—	Bildung doppelt pos. gel. Ionen?
E.	42				

<sup>1)</sup> Die Verfasser berechnen aus  $\lambda = 11513 (\nu = 1,5s - 3p_1) \nu_A = 1,07$ . Trotz guter Übereinstimmung erscheint dies unberechtigt, da nicht  $1,5s$  sondern  $2p_2$  dem Dauerzustand des Tl-Atomes entspricht.

<sup>2)</sup> Nicht beob., sondern aus der Differenz der Terme berechnet.

Anregungs- und Ionisierungsspannungen ein- und mehratomiger Gase und Dämpfe.

Edelgase.

Helium.

Spektraltypus: Einfachlinien (Parhelium) und Dubletts (Orthohelium).

Beobachter	V		λ		Serienbezeichnung	Bemerkung
	beob.	ber.	beob.	ber.		
F. u. H. <sup>II</sup>	20,5 ± 0,5					
B. u. C.	20					
F. H. u. A. D. <sup>I</sup>	20,4 ± 0,25					
F. u. K. <sup>I</sup>	20,5 ± 0,25					
F. u. K. <sup>II</sup>	20,45	19,77 <sup>1)</sup>		(625) <sup>2)</sup>	0,5 S - 1,5 S	U.Sp. von Parhelium in Orthohelium
C.	20,2					
St. u. G.	20,3					
Fd. <sup>I</sup>	20,2					
F. H. u. A. D. <sup>II</sup>	20,4					
F. u. K.	21,25	20,55	600,5 <sup>3)</sup>		0,5 S - 1,5 S	Kleinste A.Sp. des Parheliums
F. H. u. A. D. <sup>II</sup>	21,2					
F. u. K.	21,9	21,12	584,4 <sup>3)</sup>		0,5 S - 2 P	R.Sp. des Parheliums.
F. u. K.	23,6	22,97	537,1 <sup>3)</sup>		0,5 S - 3 P	A.Sp. des 2. Gliedes der Absorpt.-Serie des Parheliums.
F. H. u. A. D. <sup>I</sup>	25,3					
H. u. B.	25					
F. u. K. <sup>I</sup>	25,4 ± 0,25	24,5		503 <sup>4)</sup>	0,5 S	I.Sp. des He.
F. u. K. <sup>II</sup>	25,3 ± 0,25					
C.	25,5					
F. H. u. A. D. <sup>III</sup>	41	40,5 <sup>5)</sup>		305 <sup>5)</sup>		R.Sp. des He <sup>+</sup>
F. H. u. A. D. <sup>III</sup>	55	54,08 <sup>5)</sup>		228 <sup>5)</sup>		I.Sp. des He <sup>+</sup>
R.	75-80					A.Sp. der ersten Linie der Fowlerserie.
F. u. K. <sup>I</sup>	79,5 ± 0,3	78,6 <sup>6)</sup>				I.Sp. zur Abtrenn. beider Elektr. des He.
F. H. A. u. . D. <sup>III</sup>	80?					

Die beob. und ber. Werte unterscheiden sich um 0,7 Volt. Dieser Betrag muß nach J. Franck von den gemessenen Werten tatsächlich in Abzug gebracht werden, um die richtigen Werte zu erhalten, da bei der Festlegung der Absolutwerte der Spannungen zum mindesten bei den Messungen von J. Franck u. P. Knipping ein Irrtum in der Deutung der Versuchsergebnisse unterlaufen war. Vgl. hierzu J. Franck, ZS. f. Phys. 11, 155; 1922.

Neon und Argon.

Element	V <sub>A</sub> beob.	λ <sub>A</sub> ber.	V <sub>J</sub> beob.	λ <sub>J</sub> ber.	Beobachter
Ne	16	771			F. u. H. <sup>I</sup>
	11,8 <sup>8)</sup>	1046	16,7	740	F. H. u. A. D. <sup>IV</sup>
	17,8	694	20,0 <sup>8)</sup>	617	
			22,8	541	H. u. O.
			20	617	
			c. 21	c. 588	Rr.
			742	21,5 <sup>7)</sup>	575
A	16,65 <sup>7)</sup>	742			F. u. H. <sup>I</sup>
	18,45 <sup>7)</sup>	670			F. H. u. A. D. <sup>V</sup>
	12	1029			
	11,5	1073	15,1 <sup>8)</sup>	817	Fd. <sup>II</sup>
			18,1	682	
			15,6	791	H. u. O.
	12	1029			St. u. G.
	c. 12	c. 1029			D.
			15 ± 0,5	823	H.
	11,55 <sup>7)</sup>	1069	15,3 <sup>7)</sup>	807	
13,0 <sup>7)</sup>	950				
		883			

<sup>1)</sup> Ber. als Differenz 20,55 - 0,78, wobei 0,78 der der Differenz der Terme 1 5s - 1,5 S entsprechende Voltwert ist.  
<sup>2)</sup> Ber. aus V<sub>ber.</sub> gemäß Gleich. 2 der Einleitung. <sup>3)</sup> Mit Vakuumspektrographen gemessene Werte von Th. Lyman, Nature 110, 278; 1922. <sup>4)</sup> Ber. als Seriegrenze der von Lyman gemessenen Linien. <sup>5)</sup> Ber. nach der Bohrschen Theorie. <sup>6)</sup> Ber. als Summe 24,5 + 54 08. <sup>7)</sup> Dieser Wert ist gegenüber der Originalarbeit um 0,7 Volt vermindert angegeben, da er auf He als Eichgas bezogen war. Vgl. Anm. unter der He-Tabelle. <sup>8)</sup> Die Richtigkeit dieser Werte wird aus experimentellen Gründen von J. Franck angezweifelt.

### Anregungs- und Ionisierungsspannungen ein- und mehratomiger Gase und Dämpfe.

#### Mehratomige Moleküle. Wasserstoff.

Beobachter	$V$ beob.	$\lambda$ ber. aus $V_{\text{beob.}}$	$\lambda$ beob.	$V$ ber.	Bemerkung
Bch.	10,1	1220	ca. 1200 —1300	ca. 10 (ber. aus $\lambda_{\text{beob.}}$ )	Kleinste A.Sp. des $H_2$ -Moleküls, entsprechend der langwelligen Grenze der Bandenabsorption
L.; F. u. H. <sup>I</sup> ; M.; B.; B. u. C.; G.	11	1122			
B. D. u. G. <sup>I</sup>	10,8 <sup>1)</sup>	1142			
F., K. u. Kr.	10,8 ± 0,7 <sup>1)9)</sup>	1142			
M. u. F.	10,4 ± 0,5	1188			
F. H. u. A. D. <sup>VI</sup>	10,5	1177			
C. u. O.	10,8 <sup>1)</sup>	1142			
O.	11,5 <sup>1)</sup>	1073			
B. D. u. G. <sup>I</sup>	13,6	907			
F. K. u. Kr.	13,6 ± 0,7	907			
M. u. F.	12,2 <sup>2)</sup>	1011	894 (ber. aus $V_{\text{ber.}}$ )	13,8	Vermutlich A.Sp. des $H_2$ -Moleküls gleich Summe aus Diss.-Arbeit D. u. R.Sp. $V_R$ des H-Atoms $D + V_R = 3,6 + 10,2 = 13,8$ $V_R$ berechnet aus der Bohrschen Theorie
F. H. u. A. D. <sup>VI</sup>	13,3 ± 0,5 <sup>1)</sup>	928			
C. u. O.	13,9	888			
C. u. O.	14,4 <sup>1)</sup>	856			
C. u. O.	13,4	921			
F. u. M. <sup>II</sup>	13,1 ± 0,5	943			
Bch.	13,6 <sup>1)</sup>	907			
St. u. G.	14,5	852			
B. D. u. G. <sup>I</sup>	15,8	782			
Bch.	15,6	792			
B.	15,7	786	717 (ber. aus $V_{\text{ber.}}$ )	17,2	Vielleicht I.Sp. $V_{JII}$ Zerlegung des $H_2$ in H, H + u. 1 Elektron $V_{JII} = D + V_J = 3,6 + 13,6 = 17,2$ $V_J =$ I.Sp. des H-Atoms ber. aus der Bohrschen Theorie
F., K. u. Kr.	16,4 ± 0,25 <sup>9)</sup>	703			
M. u. F.	16,51 ± 0,5	747			
F. H. u. A. D. <sup>VI</sup>	16,9	730			
F.	15,8	782			
C. u. O.	15,9	777			
F. u. M. <sup>II</sup>	16,4 ± 0,5	703			
O.	16	772			
F., K. u. Kr.	29,7 ± 0,5 <sup>9)</sup>	416			
O.	10,2	1210			
O.	13,5	914	1215,7 (beob. v. Th. Lyman) 911 (ber. aus $V_{\text{ber.}}$ )	10,17 13,53	Deutung fraglich R.Sp. des H-Atoms I.Sp. des H-Atoms

#### Mehratomige Gase und Dämpfe.

##### Aus der V. Vertikalreihe des periodischen Systems.

Element	$V_A$ beob.	$\lambda_A$ ber.	$\lambda_A$ beob.	$V_J$ beob.	$\lambda_J$ ber.	Beobachter		
N <sub>2</sub>	7,5	1646	ca. 1870—1250 <sup>5)</sup>	ca. 18 <sup>6)</sup>	ca. 685	F. u. H. <sup>I</sup>		
	(11,8)	(1046)				M.		
	7,7	1605				H. u. D.		
	7,5	1646				B.		
	7,4	1669				B. D. u. G. <sup>II</sup>		
	(9)	(1371)						
	(6,29)	1692				S.		
	8,29	7,3				18 <sup>6)</sup>	685	
	8,18 ± 0,1	1510				16,9 ± 0,5 <sup>8)</sup>	730	M. u. F.
	6,5 <sup>3)9)</sup>	1900				17,05 ± 0,3 <sup>8)9)</sup>	725	Br.
7,8 <sup>4)9)</sup>	1583	24,7 ± 0,1 <sup>8)9)</sup>	500					
		30,0 ± 0,2 <sup>8)9)</sup>	412	F. u. M. <sup>II</sup>				
8,25 ± 0,1	1498	16,9 ± 0,5 <sup>8)</sup>	730					
		ca. 16 <sup>6)</sup>	ca. 770	Fd.				
		16,7 <sup>6)</sup>	740	St. u. G.				
		15,8	782	Bch.				
P	8,4	1470	13,3 ± 0,5 <sup>6)</sup>	928	F. u. M. <sup>II</sup>			
As	5,80 ± 0,1	2130	11,5 <sup>6)</sup>	1073	F., R. n. M.			

<sup>1)</sup> Bei dieser Spannung wird angeblich auch Ionisation beobachtet. <sup>2)</sup> Fraglich. <sup>3) 4) 5) 6) 8) 9)</sup> s. folg. S.

## Anregungs- und Ionisierungsspannungen ein- und mehratomiger Gase und Dämpfe.

### Mehratomige Gase und Dämpfe. Aus der VI. Vertikalreihe des periodischen Systems.

Element	$V_A$ beob.	ber.	$\lambda_A$ beob.	$V_J$ beob.	$\lambda_J$ ber.	Beobachter		
O <sub>2</sub>	9	1371	1800—1300 <sup>5)</sup>			F. u. H. <sup>I</sup>		
	9,5	1300				M.		
	9,2	1341				H. u. D.		
	9,0	1371				B.		
	$7,9 \pm 0,1$	1560				$15,5 \pm 0,5^6)$	795	M. u. F.
	$7,8 \pm 0,1$	1588				$15,4 \pm 0,5$		F. u. M. <sup>II</sup>
S	8,0	1543			14,0	882	Bch.	
Se	$4,8 \pm 0,5$	2581		$12,2 \pm 0,5^6)$	1012	M. u. F.		
				$12,7 \pm 0,4$	980	U.		

### Aus der VII. Vertikalreihe des periodischen Systems.

J <sub>2</sub>	$2,3 \pm 0,2$	5280	Bandenabsorption im sichtbaren Spektralgebiet	$10,1 \pm 0,5$ 8 <sup>7)</sup>	1542	M. u. F.
Br <sub>2</sub>				$9,4^7)$	1312	S. u. C.
Cl <sub>2</sub>				$10,0^8)$	1234	H. u. D.
				$8,2^8)$	1506	H. u. D.

### Gasförmige Verbindungen.

Verbindung	$V_A$ beob.	$V_J^8)$ beob.	Beobachter	Verbindung	$V_A$ beob.	$V_J^8)$ beob.	Beobachter	
NO . . .	—	9,3	H. u. D.	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> . . . .	—	9,9	H. u. D.	
	—	7,5	B.		C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> . . . .	—	10,0	H. u. D.
	—	14,5	M.			Zinkäthyl . .	ca. 7	12
CO . . .	7,2	—	H. u. D.	Zinkchlorid . .	—	12,9	F. u. M. <sup>III</sup>	
	6,4; 12,1; 13,6;	10,1; 14,3	F. u. M. <sup>III</sup>	Quecksilber- chlorid . .	—	12,1	F. u. M. <sup>III</sup>	
	19,1; 21,9; 24,6	14,5	St. u. G.	Äther C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> O	6,6	13,6	Bch.	
	—	12,5	M.	Benzol C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> .	6,0	9,6	Bch.	
CO <sub>2</sub> . . .	—	10,0	H. u. D.	Toluol C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> .	$6,2 \pm 0,2$	$8,5 \pm 0,5$	Bch.	
CH <sub>4</sub> . . .	—	13,5	M.	Xylol C <sub>8</sub> H <sub>10</sub> .	6,5	10,0	Bch.	
C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> . . .	—	9,5	H. u. D.	Chloroform				
	—	9,9	H. u. D.	CHCl <sub>3</sub> . .	6,5	11,5	Bch.	

### Halogenwasserstoffe.

Verbindung	$V_{JIII}^1)$		Beobachter	Verbindung	$V_{JIII}^1)$		Beobachter
	beob.	ber. <sup>2)</sup>			beob.	ber. <sup>2)</sup>	
HCN . . .	14,8 <sup>9)</sup>	—	K.	HBr . . . .	13,1 <sup>9)</sup>	13,5	K.
HCl . . .	13,7 <sup>9)</sup>	13,9	K.	HJ . . . .	12,7 <sup>9)</sup>	13,1	K.
	14,1		F. u. M. <sup>IV</sup>				

<sup>1)</sup>  $V_{JIII}$  entspricht der Zerlegung in H<sup>+</sup> und Halogen<sup>-</sup> (siehe Einleitung).

<sup>2)</sup> Ber. von M. Born aus der Gittertheorie.

<sup>3)</sup> Beginn der Bandenabsorption des N<sub>2</sub>. <sup>4)</sup> Maximum der Bandenabsorption des N<sub>2</sub>.

<sup>5)</sup> Bereich der von Lyman spektroskopisch beobachteten Bandenabsorption.

<sup>6)</sup> Die Deutung der dieser I.Sp. entsprechenden Zerspaltung des Molcküls ist fraglich.

<sup>7)</sup> Es wird gedeutet 9,4 Volt als I.Sp.  $V_{JII}$  des J<sub>2</sub>-Moleküls, 8 als I.Sp. des J-Atomes. Die Differenz  $9,4 - 8 = 1,4$  Volt stimmt gut mit der thermisch bestimmten Diss.-Arbeit überein.

<sup>8)</sup> Die Deutung sämtlicher unter dieser Rubrik angegebenen I.Sp. ist unsicher.

<sup>9)</sup> Dieser Wert ist gegenüber der Originalarbeit um 0,7 Volt vermindert angegeben, da die gemessenen Werte auf Helium als Eichgas bezogen waren, bei dessen Bestimmung ein Fehler unterlaufen war. Siehe Anm. zur Helium-Tabelle.



Literatur betr. Anregungs- und Ionisierungsspannungen ein- und mehratomiger Gase und Dämpfe.

- B. u. C. . . . . J. M. Benade u. K. T. Compton, Phys. Rev. 11, 184; 1918.  
 B. D. u. G.<sup>I</sup> . . . Bergen Davis u. F. S. Goucher (1), Phys. Rev. 10, 101; 1917.  
 B. D. u. G.<sup>II</sup> . . . " " (2), Phys. Rev. 13, 1; 1919.  
 B. . . . . F. M. Bishop, Phys. Rev. 9, 567; 1917 u. 10, 244; 1917.  
 Bch. . . . . P. E. Boucher, Phys. Rev. (2) 19, 189—209; 1922.  
 Br. . . . . E. Brandt, ZS. Phys. 8, 32; 1921.  
 C. . . . . K. T. Compton, Phil. Mag. 40, 553; 1920.  
 C. u. O. . . . . K. T. Compton u. Olmstead, Phys. Rev. 17, 45; 1921.  
 D. . . . . G. Déjardin, C. r. 172, 1347; 1921.  
 E. . . . . E. Einsporn, ZS. Phys. 5, 208; 1921.  
 Fd.<sup>I</sup> . . . . . C. G. Found (1), Phys. Rev. 15, 132; 1920.  
 Fd.<sup>II</sup> . . . . . " (2), Phys. Rev. 16, 41; 1920.  
 F. u. H.<sup>I</sup> . . . . J. Franck u. G. Hertz (1), Verh. D. phys. Ges. 15, 34; 1913.  
 F. u. H.<sup>II</sup> . . . . " (2), Verh. D. phys. Ges. 16, 457; 1914.  
 F. u. E. . . . . J. Franck u. E. Einsporn, ZS. Phys. 2, 18; 1920.  
 F. u. K.<sup>I</sup> . . . . J. Franck u. P. Knipping (1), Phys. ZS. 20, 481; 1919.  
 F. u. K.<sup>II</sup> . . . . " (2), ZS. Phys. 1, 320; 1920.  
 F., K. u. Kr. . . . J. Franck, P. Knipping u. Th. Krüger, Verh. D. phys. Ges. 21, 728; 1919; s. auch Th. Krüger, Ann. d. Phys. (4) 64, 288; 1921.  
 F. u. M.<sup>I</sup> . . . . P. D. Foote u. F. L. Mohler (1), Phil. Mag. 37, 33; 1919.  
 F. u. M.<sup>II</sup> . . . . " (2), Phys. Rev. (2) 15, 555; 1920.  
 F. u. M.<sup>III</sup> . . . . " (3), Phys. Rev. (2) 17, 394; 1921.  
 F. u. M.<sup>IV</sup> . . . . " (4), Journ. Amer. chem. Soc. 42, 1832; 1920.  
 F., R. u. M. . . . P. D. Foote, O. Rognley u. F. L. Mohler, Phys. Rev. 13, 59; 1919.  
 G. . . . . F. S. Goucher, Phys. Rev. 8, 561; 1916.  
 Gr. . . . . W. Grotrian, ZS. Phys. 5, 148; 1921.  
 H. . . . . G. Hertz, Verh. d. D. phys. Ges. 3, 45; 1922.  
 H. u. O. . . . . G. Holst u. E. Osterhuis, Physica 1, 78; 1921.  
 F. H. u. A. D.<sup>I</sup> . . Frank Horton u. Ann Davies (1), Proc. Roy. Soc. (A) 95, 408; 1920.  
 F. H. u. A. D.<sup>II</sup> . . " (2), Phil. Mag. (6) 42, 746; 1921.  
 F. H. u. A. D.<sup>III</sup> . . " (3), Phil. Mag. (6) 39, 592; 1920.  
 F. H. u. A. D.<sup>IV</sup> . . " (4), Proc. Roy. Soc. (A) 98, 124; 1920.  
 F. H. u. A. D.<sup>V</sup> . . " (5), Proc. Roy. Soc. (A) 97, 1; 1920.  
 F. H. u. A. D.<sup>VI</sup> . . " (6), Proc. Roy. Soc. (A) 97, 23; 1920.  
 H. u. B. . . . . F. Horton u. D. Bailey, Phil. Mag. (6) 40, 440; 1920.  
 H. u. D. . . . . Hughes u. Dixon, Phys. Rev. 10, 495; 1917.  
 K. . . . . P. Knipping, ZS. Phys. 7, 328; 1921.  
 L. . . . . P. Lenard, Ann. d. Phys. (4) 8, 149; 1903.  
 M. . . . . F. Mayer, Ann. d. Phys. (4) 45, 1; 1914.  
 M., F. u. M. . . . F. L. Mohler, P. D. Foote u. W. T. Hegggers, Journ. Opt. Soc. Amer. 4, 364; 1920 u. Scient. Pap. Bur. of Standards Washington 16, 723; 1920.  
 M., F. u. St. . . . F. L. Mohler, P. D. Foote u. H. F. Stimson, Scient. Pap. Bur. of Standards 15, 723; 1919.  
 M. u. F. . . . . F. L. Mohler u. P. D. Foote, Scient. Pap. Bur. of Standards Washington 16, 669; 1920 u. Journ. Opt. Soc. Amer. 4, 49; 1920 sowie Phys. Rev. (2) 15, 321; 1920.  
 N. . . . . Newman, Phil. Mag. 28, 753; 1914.  
 O. . . . . P. S. Olmstead, Phys. Rev. (2) 19, 532—533; 1922.  
 P. . . . . Pawlow, Proc. Roy. Soc. (A) 90, 398; 1914.  
 R. . . . . Rau, Med. Ges. Würzburg 1914.  
 Rr. . . . . Rentschler, Phys. Rev. 14, 503; 1919.  
 S. . . . . H. D. Smyth, Phys. Rev. (2) 14, 409; 1919.  
 S. u. S. . . . . H. D. Smyth u. Compton, Phys. Rev. (2) 16, 501; 1920.  
 St. u. G. . . . . Stead u. Gossling, Phil. Mag. (6) 40, 413; 1920 (Werte korr. entspr. Phys. Ber. 2, 323; 1921).  
 T. . . . . J. T. Tate, Phys. Rev. 7, 686; 1916 u. 10, 77; 1917.  
 T. u. F.<sup>I</sup> . . . . J. T. Tate u. P. D. Foote (1), Phil. Mag. 36, 64; 1918.  
 T. u. F.<sup>II</sup> . . . . " (2), Bull. Bur. of Stand. Washington 14, 479; 1918.  
 U. . . . . A. D. Udden, Phys. Rev. 58, 385; 1922.

### Zahlenwerte der „Terme“ von Spektralserien.

Entnommen aus „Seriengesetze der Linienspektren“, gesammelt von F. Paschen u. R. Götze (Verlag Julius Springer, Berlin 1922) unter Anpassung der Term-Numerierung an N. Bohrs neue Auffassung (Göttinger Vorträge 1922).

Für eine Serienlinie von der Wellenlänge  $\lambda$  cm im Vakuum ( $\lambda_{vac}$ ) gilt:

$$\text{die „Wellenzahl“ } \nu = \frac{1}{\lambda_{vac}} = \text{Term I} - \text{Term II.}$$

Einheit von  $\nu$  ist  $1 \text{ cm}^{-1}$ ;  $\nu \times$  Lichtgeschwindigkeit ist die Schwingungszahl.

Die Terme I und II gehören zu „Termfolgen“, welche aus einer unendlichen Reihe von Werten bestehen, die je einer Termnummer  $m$  zugeordnet sind.

$$N/m^2 \quad m = 1, 2, 3, 4 \dots \infty \quad N = 109678 \text{ cm}^{-1}$$

ist die Termfolge, deren Werte die Serien des Wasserstoffspektrums bilden. In anderen Spektren sind mehrere Termfolgen vorhanden. Man unterscheidet:

	II. Nebenserie	Hauptserie	I. Nebenserie	Bergmannserie	Über-Bergmannserie
Paschens Bezeichnung	$m s$	$m p$	$m d$	$m f$	$m f'$
Bohrs Bezeichnung	$n_1$	$n_2$	$n_3$	$n_4$	$n_5$

Die Termnummer  $m$  (auch Ordnungszahl oder Laufzahl genannt) ist identisch mit Bohrs Haupt-Quantenzahl  $n$  der entsprechenden Elektronenbahn. Es ist die Summe  $n + n'$  von Sommerfelds azimutaler ( $n$ ) und radialer ( $n'$ ) Quantenzahl. In einer Termfolge durchläuft  $m$  die aufeinanderfolgenden ganzen Zahlen und bezeichnet in einer Serie die aufeinanderfolgenden Linien. Die Indices der Bohrschen Bezeichnung sind identisch mit den azimutalen Quantenzahlen Sommerfelds. Durch diese sind die verschiedenen Termfolgen gekennzeichnet.

Als Termnummern  $m$  wurden bisher in der Spektroskopie gewählt:

für die Termfolge	$m s$	der II. N.S.	die Zahlen	$m = 1, 2, 3 \dots$
„ „ „	$m p$	H.S.	„ „	$m = 2, 3, 4 \dots$
„ „ „	$m d$	I. N.S.	„ „	$m = 3, 4, 5 \dots$
„ „ „	$m f$	B.S.	„ „	$m = 4, 5, 6 \dots$
„ „ „	$m f'$	Über-B.S.	„ „	$m = 5, 6, 7 \dots$

Die niederste Nummer entspricht der stärksten Linie der Serie solcher Termfolge und wäre gleich der azimutalen Quantenzahl dieser Termfolge. Der Term der Nummer  $m$  obiger Numerierung ist ferner von der Größenordnung  $N/m^2$ .

Diese Numerierung entspricht nach Bohrs neuer Auffassung nicht den Zahlenwerten der Haupt-Quantenzahl  $n$  der betreffenden Elektronenbahn. Da nach Bohr der Aufbau des neutralen Atoms durch sukzessive eingefangene Elektronen aus den Spektren dieser Einfangung erschlossen wird, sollten die Bahnen der Elektronen mit ihren richtigen Quantenzahlen belegt werden. Die Grenze der stärksten H.S. der Alkalien z. B. wurde bisher als Term  $1 s$  bezeichnet, weil er von der Größenordnung  $N/1^2$  ist. Nach Bohr ist diese Größe des Terms durch starke Bindung des Elektrons in dem Teile der elliptischen Bahn bedingt, der innerhalb der inneren Elektronensphäre verläuft und dem Kern sehr nahe kommt. Der ganzen (außen elliptischen, innen stark deformierten) Bahn aber darf nach Bohr nicht die Hauptquantenzahl  $1$  zugeschrieben werden. Nach Bohr wäre der größte  $s$ -Term nicht als  $1 s$ , sondern bei Li  $2 s$ , bei Na  $3 s$ , bei K  $4 s$  usw. zu bezeichnen. Diese und entsprechende Term-Numerierungen in den anderen Serien nach den von Bohr im letzten Jahre veröffentlichten Überlegungen werden hier angewandt. Bezüglich der Darstellung der beobachteten Spektrallinien durch die Terme der Termfolgen muß auf die oben bezeichnete Sammlung der „Seriengesetze“ verwiesen werden.

#### (I)<sup>1)</sup> Wasserstoff.

$$\nu = N_W \left( \frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right) \quad n = 1, 2, 3 \dots \quad m > n$$

$$N_W = N_\infty - \frac{M_W}{M_W + \mu}, \quad N_\infty = 109737,1, \quad M_W = 1,008$$

$$\mu = \frac{1}{1844} M_W, \quad N_W = 109677,69$$

$m =$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\frac{N_W}{m^2} =$	109677,7	27419,4	12186,4	6854,8	4387,1	3046,6	2238,3	1713,7	1354,1	1096,8

<sup>1)</sup> Nummer des Atoms.

## Zahlenwerte der „Terme“ von Spektralserien.

## (2) Helium- (ionisiert) Funkenspektrum.

$$\nu = 4 N_{\text{He}} \left( \frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right) \quad \begin{matrix} n = 1, 2, 3 \dots \\ m = 2, 3, 4 \dots \end{matrix} \quad m > n, \quad N_{\text{He}} = N_{\infty} \frac{M_{\text{He}}}{M_{\text{He}} + \mu} = 109\,722,14.$$

$m =$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\frac{4 N_{\text{He}}}{m^2} =$	438 888,6	109722,1	48 765,4	27 430,6	17 555,5	12 191,4	8956,9	6857,6	5418,4	4388,9

Mit Berücksichtigung der Relativitätskorrektur ist das Spektrum der Bindung des ersten Elektrons durch einen Kern von der positiven Ladung  $E$  und der Masse  $M$  gegeben durch:

$$\nu = N_{\infty} \frac{M}{M + \mu} \left( \frac{E}{e} \right)^2 \left( \frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right) \left[ 1 + \frac{\alpha^2}{4} \left( \frac{E}{e} \right)^2 \left( \frac{1}{n^2} + \frac{1}{m^2} \right) \right]; \quad \alpha = \frac{2\pi e^2}{h \cdot c} \quad \left. \begin{matrix} h = \text{Plancksche Konstante,} \\ c = \text{Lichtgeschwindigkeit.} \end{matrix} \right\}$$

Hier ist außerdem jede Linie gemäß Sommerfelds Theorie der relativistischen Feinstruktur aufgespalten in  $n$  Komponenten, von denen jede wieder  $m$ -fach wäre, wenn nicht eine große Zahl dieser Komponenten durch das Auswahlprinzip verboten wäre.  $n = 1, m = 2$  gibt ein Dublett von der Aufspaltung  $N_{\infty} \frac{\alpha^2}{2^4} \left( \frac{E}{e} \right)^4$ , also der  $\left( \frac{E}{e} \right)^4$  fachen des Wasserstoffdubletts, dessen Aufspaltung von der Größe

$$\Delta \nu_{\text{W}} = N_{\infty} \frac{\alpha^2}{2^4} \cdot (0,365 \text{ cm}^{-1}) \text{ ist. Alle Feinstrukturen können als Bruchteile von } \Delta \nu_{\text{W}} \text{ dargestellt werden.}$$

## (2) Helium-Bogenspektrum.

2 Systeme von Serien: Einfachlinien (Parhelium) und Doppellinien.

2 Kreisbahnen der 2 Elektronen,  $1_1$ -quantig, unter  $120^\circ$  gegeneinander geneigt, entsprechen dem stationären (Ruhe-) Zustand des Atoms. Die Einfachlinien-Serien schließen an diesen an. Außerdem findet eine Umwandlung in einen metastabilen Zustand statt (J. Franck), bei dem die Bahnen der 2 Elektronen komplanar liegen. Dieser Anordnung werden die Serien der Doppellinien zugeschrieben (Theorien von A. Landé und N. Bohr).

System der Einfachlinien  
(auf Grund neuer Messungen und Berechnungen von Paschen).

$m =$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$m S$	198284,1 <sup>1)</sup>	32 033,3	13 445,9	7370,5	4647,2	3195,8	2331,8	1776,0	1397,9	1128,6
$m P$	—	27 175,9	12 101,4	6818,1	4368,3	3035,8	2231,6	1709,4	1351,1	1094,6
$m D$	—	—	12 205,8	6864,3	4392,5	3050,0	2240,7	1715,3	1355,5	1097,9
$m F$	—	—	—	6857,8	4390,7	—	—	—	—	—
$m F'$	—	—	—	—	4391	—	—	—	—	—
$m =$	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$m S$	—	780,7	655,2	—	—	—	—	—	—	—
$m P$	904,8	760,4	648,1	558,9	486,9	428,0	379,1	338,2	303,6	274,0
$m D$	907,4	762,5	649,8	560,1	—	—	—	—	—	—

System der Doppellinien  
(auf Grund neuer Messungen und Berechnungen von Paschen).

$m =$	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$m s$	38454,7	15 073,9	8012,5	4963,7	3374,5	2442,4	1849,2	1448,4	1165,2	958,0	801,3
$m p_1$	29223,9 <sup>2)</sup>	12 746,1	7093,6	4509,9	3117,8	2283,8	1743,9	1375,3	1112,4	918,0	770,6
$m d$	—	12 209,1	6866,2	4393,5	3050,6	2241,0	1715,6	1355,4	1097,7	907,2	762,3
$m f$	—	—	6858,2	4389,0	—	—	—	—	—	—	—
$m f'$	—	—	—	4391	—	—	—	—	—	—	—
$m =$	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	
$m s$	680,0	583,9	508,4	—	—	—	—	—	—	—	
$m p_1$	655,9	565,1	491,9	432,1	382,5	340,1	305,9	275,9	250,2	227,9	
$m d$	649,5	560,1	488,0	428,6	379,7	338,3	303,6	273,6	248,5	—	

Die Bogenspektren der Alkalien und die Funkenspektren der Erdalkalien haben Seriensysteme von Dubletts. Differenzierungen der Terme  $m p$ ,  $m d$ ,  $m f$  z. B. in  $m p_1$  und  $m p_2$ . Höherer Index entspricht im allgemeinen größerem Zahlenwert des Terms und immer kleinerer Intensität.

<sup>1)</sup> Th. Lyman, Nature 26. Aug. 1922; vgl. J. Franck, ZS. f. Phys. 11, 156; 1922. Das Ionisationspotential ist danach 24,4735 Volt.

<sup>2)</sup> d oppelt  $2 p_2 = 29\,222,85$ ;  $2 p_1 = 29\,223,87$ .

## Zahlenwerte der „Terme“ von Spektralserien.

## (3) Lithium-Bogenspektrum.

$m =$	2	3	4	5	6	7	8	9	10	—
$m s$	43484,5	16280,5	8474,2	5186,9	3499,6	2535,4	—	—	—	—
$m p^1)$	28581,4	12559,9	7017,0	4472,9	3094,5	2268,9	1735,2	1372,2	1113,5	916,8
$m d$	—	12202,5	6862,5	4389,3	3046,9	2239,4	1699,9	1345,5	—	—
$m f$	—	—	6855,5	4381,2	—	—	—	—	—	—
$m f'$	—	—	—	4385	—	—	—	—	—	—
$m f''$	—	—	—	—	3041	—	—	—	—	—

## (11) Natrium-Bogenspektrum.

$m =$	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$m s$	41444,9	15706,5	8245,8	5073,9	3435,1	2482,1	1872,4	1456,6	—	—
$m p_2$	24492,7	11181,9	6408,9	4152,9	2908,9	2150,7	1655,4	—	—	—
$m p_1^2)$	24475,6	11177,5	6405,5	4150,9	2907,5	2149,8	1654,1	1312,3	1065,9	883,4
$m d$	12274,4	—	6897,1	4411,6	3060,9	2247,5	1719,3	—	—	—
$m f$	—	6858,6	4388,6	3039,7	—	—	—	—	—	—
$m f'$	—	—	4385,0	—	—	—	—	—	—	—
$m f''$	—	—	—	3042	—	—	—	—	—	—

## (12) Magnesium-Funkenspektrum

(analog Natriumspektrum, aber mit 4  $N$ ).

$m =$	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$m s$	121265,2	51459,4	28487,2	18067,9	12481,2	9136,0	6973,6	—	—	—
$m p_2$	85595,6	40645,3	23809,7	15644,3	—	—	—	—	—	—
$m p_1$	85504,1	40614,6	23795,4	15636,7	—	—	—	—	—	—
$m d$	49773,9 <sup>3)</sup>	27953,9	17844,8	12364,9	9067,9	6930,2	—	—	—	—
$m f$	—	27464,8	17574,6	12200,9	8962,4	6860,5	5419,8	4388,6	3626,4	3046,7
$m f'$	—	—	nicht beob.	12194,6	8957,6	6859,2	5419,3	4389,4	3627,3	3047,7

## (19) Kalium-Bogenspektrum.

$m =$	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$m s$	—	35005,9	13980,3	7556,7	4732,4	3241,6	2358,8	1795,2	1411,8	1142,1
$m p_2$	—	22020,8	10306,8	6007,3	3937,1	2781,6	2065,6	—	—	—
$m p_1^4)$	—	21962,9	10286,5	5998,9	3932,3	2779,2	2065,6	1596,6	1270,0	1034,2
$m d$	13471,0 <sup>5)</sup>	7610,2	4821,4	3311,0	2409,4	1831,4	1435,7	—	—	—
$m f$	—	6879,2	4404,9	3057,6	2245,4	1716,0	—	—	—	—
$m f'$	—	—	4387,1	—	—	—	—	—	—	—
$m f''$	—	—	—	3041	—	—	—	—	—	—

## (20) Calcium-Funkenspektrum

(analog Kaliumspektrum, aber mit 4  $N$ ).

$m =$	3	4	5	6	7	8	—	—	—	—
$m s$	—	95719,3	43554,3	25048,2	16291,2	11443,2	—	—	—	—
$m p_2$	—	70528,7	—	—	—	—	—	—	—	—
$m p_1$	—	70305,7	—	—	—	—	—	—	—	—
$m d_2$	82069,5	38881,9	23002,9	15212,7	10795,7	—	—	—	—	—
$m d_1$	82008,7	38862,7	22994,5	15209,7	10799,7	—	—	—	—	—
$m f$	—	27665,6	17702,2	12290,1	9039,1	—	—	—	—	—

<sup>1)</sup>  $2 p$  ist doppelt beobachtet,  $2 p_2 - 2 p_1 = 0,34$ . Die Termfolge  $m p$  ist bis  $m = 42$  beobachtet von **Bevan**, Proc. Roy. Soc. (A) 86, 320; 1912.

<sup>2)</sup>  $m p_1$  von **R. W. Wood** u. **R. Fortrat** verfolgt bis  $m = 59$ ; Astroph. Journ. 43, 73; 1916.

<sup>3)</sup>  $3 d$  ist doppelt  $3 d_1 - 3 d_2 = 0,90$  (stärkere Linie  $3 d_1$ , größerer Termwert im Gegensatz zu  $m p_1$  und zu  $m d_1$  bei größerer Aufspaltung  $\Delta d_i$ ).

<sup>4)</sup> verfolgt bis  $m = 45$  von **S. Datta**, Proc. Roy. Soc. (A) 101, 539; 1922.

<sup>5)</sup>  $3 d_1 - 3 d_2 = 2,74$ ; vgl. **S. Datta**, Proc. Roy. Soc. (A) 99, 1921.  $3 d_1$  entspricht der stärkeren Linie, aber größerem Zahlenwert. Bei größerer Differenz  $\Delta d_i$  ist es umgekehrt.

## Zahlenwerte der „Terme“ von Spektralserien.

## (37) Rubidium-Bogenspektrum.

$m =$	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
$m s$	—	—	33 684,8	13 553,4	7375,8	4638,6	3187,3	2324,6	1770,0	—
$m p_2$	—	—	21 105,8	9 970,6	5850,9	3851,6	2726,7	—	—	—
$m p_1$	—	—	20 868,1	9 893,0	5815,9	3832,3	2716,2	2035,1	—	—
$m d_2$	—	14 329,8	7 984,4	4 998,6	3405,8	2464,4	1865,1	1459,4	1179,0	—
$m d_1$	—	—	7 981,5	4 996,1	3403,8	2463,1	1862,1	1459,1	1174,1	—
$m f$	—	6893,1	4 413,7	3 063,9	2248,4	—	—	—	—	—
$m f'$	—	—	4 385,4	—	—	—	—	—	—	—
$m f''$	—	—	—	3 040	—	—	—	—	—	—

## (38) Strontium-Funkenspektrum (analog Rubidiumspektrum, aber mit 4 N).

$m =$	3	4	5	6	7	8	—	—	—	—
$m s$	—	—	88 854,7	41 119,1	23 892,3	15 657,0	—	—	—	—
$m p_2$	—	—	65 139,0	—	—	—	—	—	—	—
$m p_1$	—	—	64 339,0	—	—	—	—	—	—	—
$m d_2$	—	74 298,2	35 569,8	21 333,9	14 270,0	10 194,0	—	—	—	—
$m d_1$	—	74 018,5	35 483,6	21 294,4	14 247,0	10 197,0	—	—	—	—
$m f$	—	27 865	17 798	12 315	—	—	—	—	—	—

## (55) Cäsium-Bogenspektrum.

$m =$	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
$m s$	—	—	—	31406,7	12870,9	7090,7	4497,6	3107,9	2276,5	1740,2	—	—
$m p_2$	—	—	—	20228,3	9642,0	5699,1	3767,7	—	—	—	—	—
$m p_1$	—	—	—	19674,2	9461,0	5618,9	3724,9	2656,4	1989,3	1552,9	1240,2	992,3
$m d_2$	—	—	16906,9	8817,6	5359,4	3595,4	2578,4	1938,7	1511,0	1211,1	999,1	831,2
$m d_1$	—	—	16809,0	8775,6	5337,3	3583,6	2570,5	1934,2	1507,6	1210,0	991,2	825,7
$m f_1$	—	6934,43	4435,29	3077,04	2258,54	1727,77	1364,19	1104,32	912,07	765,77	—	—
$m f_2$	—	6934,19	4435,12	3076,93	2258,47	1727,70	1364,14	1104,29	912,13	—	—	—
$m f'$	—	—	4395,6	3059,7	—	—	—	—	—	—	—	—
$m f''$	—	—	—	3049,2	—	—	—	—	—	—	—	—

## (56) Barium-Funkenspektrum (analog Caesiumspektrum, aber mit 4 N).

Nach Saunders, Astroph. Journ. 51, 23; 1920 und Popow, Ann. d. Phys. 45, 147; 1914.

$m =$	3	4	5	6	7	8	9	10	—	—
$m s$	—	—	—	80 655,5	38 301,7	22 631,1	14 976,2	10 706,3	—	—
$m p_2$	—	—	—	60 394,6	—	—	—	—	—	—
$m p_1$	—	—	—	58 703,6	—	—	—	—	—	—
$m d_2$	—	—	75 781,7	34 707,1	20 855,5	13 984,3	10 103,7	—	—	—
$m d_1$	—	—	74 980,7	34 502,4	20 762,8	13 930,2	10 056,9	—	—	—
$m f_2$	—	32 397,7	21 713,7	16 183,7	—	—	—	—	—	—
$m f_1$	—	32 173,0	21 481,7	15 959,7	—	—	—	—	—	—

## (29) Kupfer-Bogenspektrum.

$m =$	3	4	5	6	7	8	—	—	—
$m s$	—	62 305,9	19 170,7	9459,0	5635,9	3746,9	—	—	—
$m p_2$	—	31 771,2	12 959,8	—	—	—	—	—	—
$m p_1$	—	31 523,1	12 924,5	—	—	—	—	—	—
$m d_2$	—	12 371,9	6 920,3	4415,5	—	—	—	—	—
$m d_1$	—	12 365,6	6 917,2	4413,4	—	—	—	—	—
$m f$	—	6 879,4	4 399,2	3058,8	—	—	—	—	—

## (47) Silber-Bogenspektrum.

$m =$	3	4	5	6	7	8	9	—	—
$m s$	—	—	61 093,5	18 539,0	9208,4	5515,7	3675,8	—	—
$m p_2$	—	—	31 542,2	12 798,6	—	—	—	—	—
$m p_1$	—	—	30 621,7	12 595,1	—	—	—	—	—
$m d_2$	—	—	12 350,8	6 890,8	4 393,9	—	—	—	—
$m d_1$	—	—	12 330,6	6 880,1	4 386,6	3035,5	—	—	—
$m f$	—	6891,1	4 385,5	—	—	—	—	—	—

Die Bogenspektren der Erdalkalien haben Seriensysteme von Triplets (kleine Buchstaben) und zugleich von einfachen Serien (große Buchstaben).

Zahlenwerte der „Terme“ von Spektralserien.

(12) Magnesium-Bogenspektrum.

<i>m</i> =	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
<i>m s</i>	—	20 466,9	9792,1	5774,0	3810,9	2704,5	2019,0	—	—	—	—
<i>m S</i>	61 663,0	18 161,0	9109,1	5487,5	3654,7	—	—	—	—	—	—
<i>m p<sub>3</sub></i>	39 813,1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
<i>m p<sub>2</sub></i>	39 793,2	13 816,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—
<i>m p<sub>1</sub></i>	39 752,3	13 812,7	7402,9	4644,7	3185,3	—	—	—	—	—	—
<i>m P</i>	26 612,7	12 317,8	6963,7	4456,6	3090,9	2267,7	1734,0	—	—	—	—
<i>m D</i>	15 261,1	8 530,4	5357,0	3642,1	2624,6	1975,3	1538,0	1230,3	1005,7	838,7	709,1
<i>m d</i>	13 707,4	7 472,5	4698,8	3224,6	2248,5	1787,3	1381,4	—	—	—	—
<i>m f</i>	—	6 987,4	4461,6	(3119,4)	—	—	—	—	—	—	—

(20) Calcium-Bogenspektrum.

(Nach F. A. Saunders, Astroph. Journ. 52, 385; 1920.)

<i>m</i> =	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
<i>m s</i>	—	—	17 765,2	8830,4	5323,8	3565,8	2556,3	1922,1	1498,6	1201,1	984,1	819,8
<i>m S</i>	—	49 304,8	15 988,2	7518,4	5028,0	3417,3	2469,4	1867,7	1461,5	1176,0	—	—
<i>m p<sub>3</sub></i>	—	34 146,8	12 752,5	6789,6	—	—	—	—	—	—	—	—
<i>m p<sub>2</sub></i>	—	34 094,6	12 750,2	6785,6	—	—	—	—	—	—	—	—
<i>m p<sub>1</sub></i>	—	33 988,7	12 730,3	6777,8	4342,8	—	—	—	—	—	—	—
<i>m P</i>	—	25 652,4	12 573,1	7625,9	5371,4	3879,6	2824,6	2120,3	1638,2	1305,9	1071,6	888,5
<i>m D</i>	27 455,3	12 006,3	6 385,5	4314,7	2994,7	—	—	—	—	—	—	—
<i>m d<sub>3</sub></i>	28 969,1	11 556,4	6 561,4	4255,5	3002,4	2268,2	1848,9	1551,2	1272,7	—	—	—
<i>m d<sub>2</sub></i>	28 955,2	11 552,6	6 559,7	4254,0	3000,6	2264,5	1838,7	1547,0	1270,7	—	—	—
<i>m d<sub>1</sub></i> <sup>1)</sup>	28 933,5	11 547,0	6 556,9	4252,2	2998,2	2259,3	1828,8	1539,1	1268,2	1045,4	869,6	733,8
<i>m f</i>	—	7 133,7 <sup>2)</sup>	4 541,5	3139,6	2298,1	1754,1	1382,3	1117,6	921,3	773	660	—
<i>m F</i>	—	6 961,3	4 500,0	3122,6	2289,7	1749,8	1379,8	1116,3	919,3	—	—	—

(38) Strontium-Bogenspektrum.

Wellenlängen von Lorensen, Saunders u. Meggers, Ordnung nach Fowler.

<i>m</i> =	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
<i>m s</i>	—	—	16 897,8	8511,8	5174,0	3485,7	2509,4	—	—	—
<i>m S</i>	—	45 936,5	15 345,6	7492,6	4884,1	—	—	—	—	—
<i>m p<sub>3</sub></i>	—	31 619,0	—	—	—	—	—	—	—	—
<i>m p<sub>2</sub></i>	—	31 432,2	—	—	—	—	—	—	—	—
<i>m p<sub>1</sub></i>	—	31 038,0	11 964,0	6480,7	—	—	—	—	—	—
<i>m P</i>	—	24 238,1	11 838,7	7030,1	4764,7	3474,4	2611,0	2003,2	1571,7	1255,7
<i>m D</i>	25 786,8	11 121,0	6 203,4	—	—	—	—	—	—	—
<i>m d<sub>3</sub></i>	27 777,6	10 929,5	6 250,7	4072,0	2869,8	—	—	—	—	—
<i>m d<sub>2</sub></i>	27 717,7	10 914,5	6 245,8	4067,5	2866,3	—	—	—	—	—
<i>m d<sub>1</sub></i>	27 617,2	10 891,4	6 233,5	4061,7	2861,8	—	—	—	—	—
<i>m f<sub>3</sub></i>	—	7 186,0	4 571,3	3160,5	2314,5	—	—	—	—	—
<i>m f<sub>2</sub></i>	—	7 184,2	4 570,9	3159,9	2312,6	—	—	—	—	—
<i>m f<sub>1</sub></i>	—	7 181,5	4 570,0	3159,0	2312,1	1766,0	—	—	—	—
<i>m F</i>	—	6 397,6	4 417,5	3097,4	2280,4	—	—	—	—	—

(56) Barium-Bogenspektrum. (Nach Saunders.)

<i>m</i> =	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
<i>m s</i>	—	—	—	15 869,3	8124,3	4934,0	3366,5	2404,5	—	—	—
<i>m S</i>	—	—	42 029,4	16 399,6	—	—	—	—	—	—	—
<i>m p<sub>3</sub></i>	—	—	29 763,6	11 286,4	6186,9	—	—	—	—	—	—
<i>m p<sub>2</sub></i>	—	—	29 393,0	11 214,2	6137,9	—	—	—	—	—	—
<i>m p<sub>1</sub></i>	—	—	28 514,8	11 042,3	6057,2	—	—	—	—	—	—
<i>m P</i>	—	—	23 969,2	9 482,2	5039,5	3529,9	2721	2044	1606	—	—
<i>m D</i>	—	30 634,1	13 800,3	7 931,5	4988,3	3473,2	2532,5	—	—	—	—
<i>m d<sub>3</sub></i>	—	32 995,6	11 333,9	6 320,1	4067,5	2888,7	2137,1	—	—	—	—
<i>m d<sub>2</sub></i>	—	32 814,1	11 279,0	6 267,3	4055,4	2871,4	2134,8	1649,1	—	—	—
<i>m d<sub>1</sub></i>	—	32 433,0	11 211,6	6 244,2	4041,0	2843,8	2124,2	1646,8	—	—	—
<i>m f<sub>3</sub></i>	—	7 426,8	4 634,6	3 213,8	2351,0	1790,5	1415,4	1134,2	932,2	—	—
<i>m f<sub>2</sub></i>	—	7 412,8	4 610,4	3 210,1	2348,7	1788,0	1407,8	1132,8	932,9	782,6	665,2
<i>m f<sub>1</sub></i>	—	7 398,6	4 505,3	3 204,2	2346,3	1785,2	1401,6	1132,2	933,0	781,9	664,7
<i>m F</i>	13 475,2	6 136,7	4 236,4	—	—	—	—	—	—	—	—

<sup>1)</sup> Beobachtet bis *m* = 17.

<sup>2)</sup> *4 f<sub>1</sub>* = 7133,3; *4 f<sub>2</sub>* = 7133,7; *4 f<sub>3</sub>* = 7133,9.

## Zahlenwerte der „Terme“ von Spektralserien.

## (30) Zink-Bogenspektrum.

$m =$	3	4	5	6	7	8	9	10	—	—
$m s$	—	—	22 090,2	10 330,6	6017,2	3941,9	2779,1	2065,7	—	—
$m S$	—	75 758,6	19 972,0	9 723,4	5757,8	3808,0	2699,0	—	—	—
$m p_3$	—	43 450,1	14 515,2	7 692,1	4785,6	3266,6	2372,4	—	—	—
$m p_2$	—	43 260,4	14 488,5	7 682,2	4780,8	3264,1	2370,5	—	—	—
$m p_1$	—	42 871,5	14 432,3	7 661,2	4770,6	3258,4	2366,7	—	—	—
$m P$	—	29 105,0	12 851,2	7 154,3	4542,8	3 135,6	2292,1	1749,4	—	—
$m D$	—	13 302,4	7 422,5	4 714	3249	—	—	—	—	—
$m d_3$	—	12 993,6	7 183,1	4 551,0	3 137,0	—	—	—	—	—
$m d_2$	—	12 990,2	7 182,0	4 550,5	3 138,4	2287,8	1744,0	—	—	—
$m d_1$	—	12 985,6	7 180,1	4 548,5	3 137,4	2290,2	1743,9	—	—	—
$m f$	—	6927,5	4438,6	—	—	—	—	—	—	—

## (48) Cadmium-Bogenspektrum.

$m =$	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$m s$	—	—	—	21 050,4	9971,4	5853,2	3853,0	2728,3	2010,1	1557,7
$m S$	—	—	72 532,8	19 224,3	9447,7	5630,0	3735,2	2664,3	1988,7	—
$m p_3$	—	—	42 419,5	14 143,6	7534,3	4705,3	3220,6	—	—	—
$m p_2$	—	—	41 877,7	14 072,9	7508,5	4692,9	3213,7	—	—	—
$m p_1$	—	—	40 706,6	13 898,8	7441,4	4659,8	3194,9	2327,8	—	—
$m P$	—	—	28 841,6	12 627,5	7033,2	4475,4	3095,6	2269,4	1734,4	1366,5
$m D$	—	—	13 314,7	7400,7	4699,6	3241,6	—	—	—	—
$m d_3$	—	—	13 048,5	7 181,4	4546,3	3 135,8	—	—	—	—
$m d_2$	—	—	13 036,8	7 175,7	4541,7	3 134,2	2294,2	—	—	—
$m d_1$	—	—	13 018,5	7 167,4	4537,4	3 129,9	2285,6	—	—	—
$m f$	—	6953,2	4441,2	—	—	—	—	—	—	—

## (80) Quecksilber-Bogenspektrum.

$m =$	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
$m s^1)$	—	—	—	—	21 830,8	10 219,9	5964,8	3912,8	2765,1	2057,5	1590,3	1265,6
$m S$	—	—	—	84 181,2	20 253,0	9 776,6	5777,1	3815,7	—	—	—	—
$m p_3$	—	—	—	46 536,2	14 664,5	7 734,4	4805,8	3279,6	2381,3	—	—	—
$m p_2$	—	—	—	44 768,9	14 519,1	7 714,6	4768,7	3264,7	2373,7	1802,3	1415,4	1142,0
$m p_1^2)$	—	—	—	40 138,3	12 973,5	7 357,8	4604,7	3158,4	2307,4	1759,3	1387,7	1120,1
$m P^3)$	—	—	—	30 112,5	12 886,1	5 368,2	4217,2	3026,9	2237,6	1717,2	1355,1	1097,3
$m D$	—	—	—	12 848,0	7 117,2	4 520,7	3 123,9	2288,1	1 745,8	1 376,1	1 111,5	—
$m d_3$	—	—	—	12 845,0	7 096,5	4 502,7	3 110,2	2279,4	—	—	—	—
$m d_2$	—	—	—	12 785,0	7 073,2	4 491,0	3 104,5	2273,1	1 739,4	—	—	—
$m d_1^4)$	—	—	—	12 749,9	7 051,7	4 478,7	3 096,3	2269,6	1 734,5	1 366,4	1 105,2	911,7
$m f_3$	—	—	6938,4	4 436,3	—	—	—	—	—	—	—	—
$m f_2$	—	—	6936,9	4 432,2	3 074,8	2 254,1	1 723,2	—	—	—	—	—
$m f_1$	—	—	6937	4 432	—	—	—	—	—	—	—	—
$m F$	—	—	6939,8	4 438,3	—	—	—	—	—	—	—	—
$m f'$	—	—	—	4 397	—	—	—	—	—	—	—	—

Differenzierung der Terme in mindestens 3fache scheint erwiesen, aber die Zuordnung der Zahlenwerte ist unsicher.

Die aus den Grundtermen folgenden Linien werden durch Landés Schema<sup>5)</sup> dargestellt, welches auch für die folgenden Terme und ebenso für Zn, Cd, Mg und fast ebenso für die übrigen Bogenspektren der Erdalkalien gilt.  $n$  ist azimutale,  $k$  Sommerfelds „innere“ Quantenzahl. Erlaubt sind die Übergänge  $n - n' = \pm 1$  und  $k - k' = \pm 1$  oder 0 unter Ausschluß von  $k = k' = 0$ . (Schema siehe folgende Seite.)

Von G. Wiedmann verfolgt

<sup>1)</sup> bis  $m = 21$ ;

<sup>2)</sup> bis  $m = 22$ ;

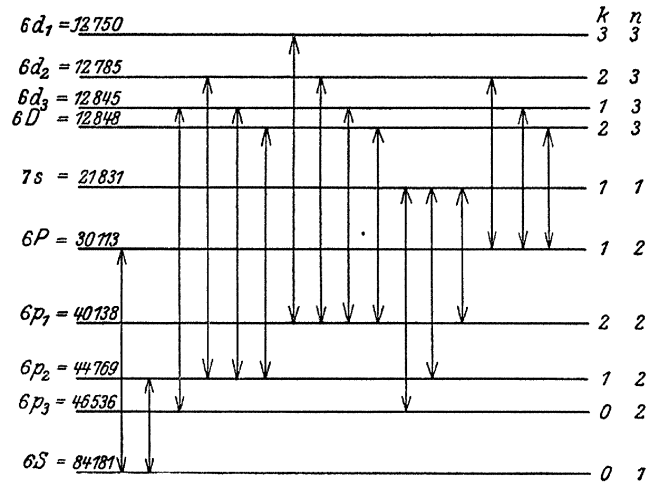
<sup>3)</sup> bis  $m = 16$ ;

<sup>4)</sup> bis  $m = 21$ .

<sup>5)</sup> A. Landé, Phys. ZS. 22, 421; 1921.

Zahlenwerte der „Terme“ von Spektralserien.

Quecksilber-Bogenspektren. (Fortsetzung.)



Die Bogenspektren der Erdmetalle haben Dublettsysteme.

(13) Aluminium-Bogenspektrum.

$m =$	3	4	5	6	7	8	9	10	11	—
$m s$	—	22 932,6	10 591,1	6137,1	4009,5	2828,6	—	—	—	—
$m p_2$	48 279,5	15 331,0	8 008,9	4946,0	3352,5	—	—	—	—	—
$m p_1$	48 167,4	15 315,8	8 002,9	4943,1	3350,5	—	—	—	—	—
$m d_2$	15 845,0	9 351,2	6 047,2	4113,8	2936,3	2186,6	1684,2	—	—	—
$m d_1$	15 843,7	9 346,8	6 043,2	4112,3	2935,3	2186,0	1685,0	1337,1	1090,5	—
$m f$	—	6 962,8	4 451,9	3 088,7	—	—	—	—	—	—

(31) Gallium-Bogenspektrum.

$m =$	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$m s$	—	—	23 591,0	10 794,8	(6295,0)	—	—	—	—	—
$m p_2$	—	48 378,5	(15 326,0)	8 004,3	4939,4	—	—	—	—	—
$m p_1$	—	47 552,4	(15 218,0)	7 963,2	4918,5	—	—	—	—	—
$m d_2$	—	13 597,9	7 577,2	—	—	—	—	—	—	—
$m d_1$	—	13 592,5	7 568,4	—	—	—	—	—	—	—

(49) Indium-Bogenspektrum.

$m =$	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
$m s$	—	—	—	22 294,9	10 366,4	6031,3	3950,0	2788,4	2061,5	1601,4	1226,6
$m p_2$	—	—	—	46 667,4	14 811,0	7 807,2	4843,1	3297,9	2392,7	—	—
$m p_1$	—	—	—	44 454,7	14 519,0	7 696,2	4786,5	3267,5	2370,9	1805,0	—
$m d_2$	—	—	—	13 776,0	7 619,9	4 832,3	3329,2	2444,6	—	—	—
$m d_1$	—	—	—	13 752,4	7 570,1	4 806,6	3310,6	2445,9	1855,9	1456,7	1175,0
$m f$	—	6960,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—

(81) Thallium-Bogenspektrum.

$m =$	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
$m s$ <sup>1)</sup>	—	—	—	—	22 785,9	10 517,8	6097,8	3967,8	2806,8	2084,7	1609,8
$m p_2$	—	—	—	49 262,6	15 103,8	7 895,5	4883,1	3324,6	2410,3	1821,6	—
$m p_1$ <sup>2)</sup>	—	—	—	41 470,1	14 102,6	7 522,8	4701,5	3220,4	2348,0	1786,8	1416,5
$m d_2$	—	—	—	13 145,6	7 252,3	4 591,6	3165,2	2314,0	1773,6	1403,0	1138,2
$m d_1$ <sup>3)</sup>	—	—	—	13 064,0	7 214,8	4 571,2	3153,4	2306,0	1759,8	1385,7	1120,2
$m f_2$	—	—	6945,0	4438,9	—	—	—	—	—	—	—
$m f_1$	—	—	6945,8	4441,6	—	2 244,8	—	—	—	—	—
$m f'$	—	—	—	4397,1	—	—	—	—	—	—	—

<sup>1)</sup> beob. bis  $m = 19$ .

<sup>2)</sup> beob. bis  $m = 16$ .

<sup>3)</sup> beob. bis  $m = 15$ .



## Absorption und Zerstreung von Röntgenstrahlen.

### I. Definitionen und Bezeichnungen.

Beim Durchgang eines parallelen, homogenen<sup>1)</sup> Röntgenstrahlenbündels durch eine  $D$  cm dicke Schicht eines Stoffes von der Dichte  $\rho$  gilt

$$E = E_0 e^{-\mu D}$$

$E_0$  = Strahlungsenergie vor der Schicht

$E$  = " " hinter " "

$\mu$  eine für den betr. Stoff und die betr. Wellenlänge charakteristische Größe,

Schwächungskoeffizient oder totaler Absorptionskoeffizient genannt.

Ferner gilt (siehe z. B. Glocker)

$$\mu = \bar{\mu} + s.$$

$\bar{\mu}$  Absorptionskoeffizient (korrigierter Absorptionskoeffizient)

$s$  Zerstreungskoeffizient

$\frac{\bar{\mu}}{\rho}$  Massenabsorptionskoeffizient

$\frac{s}{\rho}$  spezifischer Zerstreungskoeffizient.

### II. Schwächungskoeffizienten.

Messungen an nicht homogenen Strahlungen sind, weil nicht vergleichbar, nicht aufgeführt.

#### A. Messungen an den charakteristischen Eigenstrahlungen von Elementen (K-Serie).

Tafel I.  $\frac{\mu}{\rho}$  für feste Stoffe.

Eigenstrahlung von	2) $K_{\alpha}$ (Å.)	C	Mg	Al	Fe	Ni	Cu	Zn	Ag	Sn	Pt	Au	Beobachter
Al	8,360	—	—	580°	—	—	3900°	—	2020°	1030°	2010°	1760°	Barkla (r), Barkla-Sadler und Barkla-Collier.
Ca	3,357	—	—	435	—	—	—	—	—	—	—	—	
Cr	2,286	15,3	126,5	136	103,8	129	143	170,5	580,5	713,7	—	—	
Fe	1,930	10,1	80	88,5	66,1	83,8	95,1	112,5	381	472	340	367	
Co	1,783	7,96	63,5	71,6	67,2	67,2	75,3	91,5	314	392	281	306	
Ni	1,655	6,58	51,8	59,1	314	56,3	61,8	74,4	262	328	236	253	
Cu	1,541	5,22	41,4	47,7	268	62,7	53,0	60,9	214	272	194	210	
Zn	1,435	4,26	34,7	39*	221	265	55,5	50,1	175	225	162,5	178,2	
As	1,172	2,49	19,3	39,4 23,6*	134	166	176	186*	—	131,5	105,7	106,1	
Se	1,107	2,04	15,7	22,5 18,9	127* 116,3	147* 141,3	155* 149,8	203,5 174,6	105,3 87,5	112*	112	92,1	
Br	1,037	1,9	—	16,4	—	—	—	—	77,1	—	176	135,5	
Rb	0,924	1,32	—	10,9	—	—	—	—	52,3	—	168	147	
Sr	0,873	1,16	—	9,4	57†	—	76†	—	45,2	—	165	159,6	
Mo	0,712	0,81	—	4,7	35,7†	—	46,5†	—	26,5	—	103	111,0	
Rh	0,617	—	—	3,1	—	—	—	—	—	—	—	—	
Ag	0,565	0,46	2,5	2,5	18†	22,7	22,1†	27,1	13,3	16,5	56,5	61,4	
Sn	0,488	0,35	—	1,83*	14,3*	17,1*	16,2†	17,4	16,5	12,9*	47,1	51,7	
		0,33*	—	1,57	12,8†	—	24,3	—	15,4*	—	—	—	
Sb	0,470	0,31	—	1,21	—	—	—	—	56,1	—	—	—	
J	0,439	0,29	—	0,92	—	—	—	—	46,0	—	—	—	
Ba	0,390	0,26	—	0,8	—	—	—	—	35,4	—	—	—	
Ce	0,357	0,24	—	0,6	—	—	—	—	—	—	—	—	

Die mit \* bezeichneten Werte sind von Bragg und Porter,

„ „ † „ „ „ Whiddington,

„ „ † „ „ „ Sadler beobachtet worden.

<sup>1)</sup> Homogene Strahlung = Strahlung, welche nur einen engen Spektralbezirk umfaßt.

<sup>2)</sup> Wellenlängenwerte vom Verf. hinzugefügt nach Messungen von Siegbahn und Stenström.

Absorption und Zerstreung von Röntgenstrahlen.

Tafel 2.  $\mu$  für Gase.

Eigenstrahlung von	Wellenlänge von $K_{\alpha}$ in Å.	Luft 0° C 76 cm Hg	CO <sub>2</sub> 0° C 76 cm Hg	SO <sub>2</sub> 0° C 76 cm Hg	Beobachter	SO <sub>2</sub> 0° C 76 cm Hg	SH <sub>2</sub> 0° C 76 cm Hg	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> Br 0° C 16 6cm Hg	CH <sub>3</sub> J 0° C 13,5cm Hg	Beobachter
Al	8,360	1,484	—	—	Whiddington	—	—	—	—	Barkla u. Collier
Fe	1,930	0,0254	0,0456	0,2673		0,24	0,204	0,112	0,384	
Ni	1,655	0,0186	0,0319	0,1691	Owen	0,166	0,149	—	0,319	
Cu	1,541	0,0130	0,0227	0,1404		0,134	0,121	0,057	0,273	
Zn	1,435	0,0108	0,0184	0,1040		0,112	0,104	0,047	0,225	
As	1,172	0,00592	0,00988	0,0548		—	—	0,028	—	
Se	1,107	0,00442	0,00782	0,0449		0,0546	0,049	0,024	0,11	
Br	1,037	—	—	—		—	—	0,021	—	
Sr	0,873	0,00258	0,0042	0,0272		0,0281	0,0248	0,071	0,060	
Mo	0,712	—	0,0028	0,0170		0,0160	0,0137	0,046	0,035	
Ag	0,565	—	—	—	0,0079	0,0060	0,0236	0,020		

B. Messungen an stark filtrierten Strahlungen (Endstrahlung).

Die Strahlung einer technischen Röntgenröhre enthält nach Durchgang durch stark absorbierende Stoffe im wesentlichen nur noch einen engen Spektralbereich bei der kürzesten Grenzwellenlänge. Prinzipielle Bedenken gegen diese von Barkla-White u. a. angewandte Methode siehe bei Wagner.

C. Messungen mit spektral zerlegter Strahlung.

Tafel 3 a<sup>1</sup>).  $\frac{\mu}{\rho}$  für feste Stoffe.

Spektrallinie	Wellenlänge in Angström	Al	Fe	Ni	Cu	Zn	Pd	Ag	Sn	Pt	Au	Beobachter
$K_{\alpha}$ von Rh	0,617	3,58	26,4	32,5	35	39,3	18,2	20,1	23,6	77,0	79,2	Bragg und Peirce
„ „ Pd	0,588	3,21	23,7	29,4	31,3	34,4	16,4	17,2	20,2	75,3	76	
„ „ Ag	0,565	2,73	20,7	25,35	27	30,5	13,8	14,5	18,4	64,9	66,5	
$K_{\beta}$ „ Rh	0,547	2,78	19,6	23,8	25,6	28,5	13	14,2	16,9	55,8	58,5	
„ „ Pd	0,521	2,27	17,9	21,9	22,7	25,3	11,6	12,6	15,4	52,9	58,6	
„ „ Ag	0,501	1,96	14,4	18,1	21,1	22	67	10,4	12,4	47,5	48,5	

Tafel 3 b<sup>2</sup>).  $\frac{\mu}{\rho}$  für feste Stoffe.

Wellenlänge in Angström	Al	Cu	Pb	Beobachter	Wellenlänge in Angström	Al	Cu	Pb	Beobachter
0,776	6,92	—	—	Siegbahn und Wingardh	0,294	0,493	3,84	11,1	Hull und Rice
0,728	5,81	47,7	—		0,245	0,342	2,24	6,7	
0,679	4,76	38,0	—		0,221	0,283	1,70	4,63	
0,639	3,88	—	—		0,208	0,255	1,39	3,70	
0,631	—	31,0	—		0,196	0,243	1,27	3,40	
0,582	3,13	24,9	—	0,184	0,218	1,07	2,71		
0,533	2,51	18,9	—	0,172	0,199	0,91	2,32		
0,484	1,94	14,4	—	0,160	0,178	0,79	1,82		
0,392	0,860	—	—	Hull und Rice	0,147	0,154	0,71	1,50	
0,343	0,726	—	—		0,122	—	—	3,00	

1) Angegeben ist von Bragg und Peirce der totale Atomabsorptionskoeffizient  $\mu_{At}$ ; hieraus  $\frac{\mu}{\rho}$  vom Verf. berechnet

$$\mu_{At} = \frac{\mu}{\rho} \cdot m_H \cdot A.$$

A Atomgewicht,  $m_H = 1,62 \cdot 10^{-24}$  (Masse des Wasserstoffatoms).

2) Angegeben sind von Siegbahn und Wingardh die Werte für  $\mu$ ; hieraus vom Verfasser  $\frac{\mu}{\rho}$  berechnet ( $\rho_{Al} = 2,7$  und  $\rho_{Cu} = 8,88$ ).

## Absorption und Zerstreung von Röntgenstrahlen.

Tafel 3 c.  $\frac{\mu}{\rho}$  für feste Stoffe und Gase.

Wellenlänge in Angström	Li	C	O <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	Al	Fe	Cu	Mo	Ag	Pb	Beobachter
1,054	—	1,470	—	3,19	16,55	—	—	—	—	—	Hewlett
1,006	—	1,311	—	2,74	14,03	91,7	—	—	—	—	"
0,958	—	1,119	—	2,43	12,19	79,63	—	—	—	—	"
0,943	—	—	—	—	—	—	—	43,4	—	—	Richtmyer
0,861	—	0,838	—	1,80	8,96	60,60	—	—	—	—	Hewlett
0,847	—	—	—	—	—	—	—	32,3	—	—	Richtmyer
0,764	—	0,636	1,337	1,31	6,30	45,65	—	—	—	—	Hewlett
0,743	—	—	—	—	5,83	—	—	22,6	—	—	Richtmyer
0,715	0,422	0,551	1,126	1,073	5,17	37,14	—	—	—	—	Hewlett
0,715	—	—	—	—	5,32	—	52,8	19,9	—	—	Richtmyer
0,666	0,361	0,477	0,980	0,910	4,08	31,05	—	—	—	—	Hewlett
0,650	—	—	—	—	4,05	—	39,5	15,1	24,3	—	Richtmyer
0,600	—	—	—	—	3,18	—	31,6	80,7	—	—	"
0,569	0,286	0,365	0,619	0,629	2,60	19,40	—	—	—	—	Hewlett
0,551	—	—	—	—	2,49	—	24,9	63,8	15,1	73,0	Richtmyer
0,479	—	—	—	—	1,706	—	16,6	42,5	—	55,0	"
0,471	0,228	0,280	0,440	0,444	1,60	11,22	—	—	—	—	Hewlett
0,453	—	—	—	—	1,477	—	13,4	37,3	56,0	47,0	Richtmyer
0,422	0,218	0,250	0,365	0,360	1,11	8,12	—	—	—	—	Hewlett
0,417	—	—	—	0,376	1,174	—	11,3	29,5	43,7	37,9	Richtmyer
0,373	0,195	0,229	0,302	0,301	0,825	5,66	—	—	—	—	Hewlett
0,368	—	—	—	0,319	0,861	—	8,10	21,7	31,0	26,3	Richtmyer
0,319	—	—	—	—	0,577	—	—	—	—	—	Hewlett
0,314	0,176	—	0,250	—	—	—	—	—	—	—	"
0,309	—	—	—	0,251	—	—	—	—	—	—	"
0,308	—	—	—	0,266	0,567	—	4,87	13,5	19,5	15,5	Richtmyer
0,265	—	0,191	0,214	0,228	0,403	2,12	—	—	—	—	Hewlett
0,258	—	—	—	0,234	0,393	—	3,00	8,10	12,5	9,35	Richtmyer
0,210	—	0,176	0,187	0,204	0,288	1,16	—	—	—	—	Hewlett
0,209	—	—	—	0,207	0,276	—	1,74	4,55	5,94	5,11	Richtmyer
0,184	—	—	—	0,199	0,239	—	1,25	3,27	4,26	3,20	"
0,179	—	0,166	0,176	0,197	0,242	0,864	—	—	—	—	Hewlett
0,135	—	—	—	0,179	0,193	—	0,59	1,51	—	—	Richtmyer
0,130	—	0,156	0,149	0,165	0,179	0,437	—	—	—	—	Hewlett
0,120	—	—	—	0,175	—	—	—	—	—	—	Richtmyer
0,105	—	0,146	—	—	—	—	—	—	—	—	Hewlett
0,093	—	—	—	0,165	—	—	—	—	—	—	Richtmyer

Tafel 3 d.  $\frac{\mu}{\rho}$ -Werte für  $\lambda = 0,708 \text{ \AA}$  (Molybdän  $K\alpha$ ).

Element	$\frac{\mu}{\rho}$	Beobachter	Element	$\frac{\mu}{\rho}$	Beobachter	Element	$\frac{\mu}{\rho}$	Beobachter
C	0,667	Wingardh	Ca	20,17	Wingardh	Y	99,52	Wingardh
N	1,072		Cr	29,98		Zr	19,70	
O	1,000		Mn	34,74		Mo	20,48	
Na	3,392		Fe	36,93		Ag	30,79	
Mg	4,605		Co	38,11		Cd	30,28	
Al	5,276		Ni	48,19		Sn	35,04	
P	8,281		Cu	46,33		J	39,76	
S	8,827		Zn	55,22		Ba	41,36	
Cl	11,70		Br	67,22		Au	100,9	
K	16,21		Sr	94,28		Pb	101,7	

Glocker.

## Absorption und Zerstreung von Röntgenstrahlen.

### III. Absorptionskoeffizienten.

Aus Tafel 1 bis 3 d wird  $\bar{\mu}$  nach Abzug von  $s$  (Tafel 4 a bis 6 b) erhalten.

Solange  $\frac{\mu}{\rho} \gg 0,2$ , darf  $\mu = \bar{\mu}$  gesetzt werden.

Interpolationsformeln bei Kossel, Siegbahn, Glocker:

$$\frac{\bar{\mu}}{\rho} = 0,0004 z^{3,14} \lambda^{2,8} \quad \text{für } \lambda > \lambda_A ;$$

$$\frac{\bar{\mu}}{\rho} = 0,0195 z^{2,58} \lambda^{2,8} \quad \text{für } \lambda \leq \lambda_A .$$

$z$  = Atomzahl des betr. Elementes,

$\lambda_A$  = Absorptionsbandkante der K-Serie des absorb. Elementes,  
 $\lambda$  in Ångström einzusetzen.

Weitere Formeln bei Bragg, Hull-Rice, Hewlett, Richtmyer, Wingardh.

### IV. Zerstreungskoeffizienten.

Streung erfolgt in den verschiedenen Richtungen  $\vartheta$  zum Primärstrahl verschieden stark.

Bei langwelliger Strahlung Gültigkeit der Thomsonschen Formel (Proportionalität mit  $1 + \cos^2 \vartheta$ ), bei kurzwelligen starke Bevorzugung der Richtung  $\vartheta = 0$ .  
 $s$  = Mittelwert der Streung, gebildet über alle möglichen Richtungen.

Nach Barkla ist für leichtatomige Elemente  $A < 32$  unabhängig von der Härte  $^1) \frac{s}{\rho} = 0,2$ .

Tafel 4 a. Absolute Werte für  $\frac{s}{\rho}$ .

Streuender Stoff	Primärstrahlung $\lambda = 0,56 \text{ \AA}$ $\lambda = 2,28 \text{ \AA}$	Bemerkungen	Beobachter	Primärstrahlung heterogen	Bemerkungen	Beobachter
Luft	—	0,2	Barkla-Sadler <sup>2)</sup>	—	Inhomogene Strahlung einer weichen Röntgenröhre ( $\mu_{Al} = 11$ ).	Crowther <sup>3)</sup> (2)
C	0,2	0,2		nahezu homogen,		
paraffiniertes Papier	—	—		Eigenstrahlung von Ag und Cr (Wellenlängen von $K_\alpha$ 0,56 und 2,28 Å).		
Al	0,2	0,2		„		
Cu	0,4	0,4 <sup>?</sup>		„		
Ag	—	1,5		„		
Sn	—	—		„		

Tafel 4 b. Werte für  $\frac{s}{\rho}$ , bezogen auf  $(\frac{s}{\rho})_{Al}$ .

Primärstrahlung $\lambda$ in Å	Cu				Beobachter	Primärstrahlung $\lambda$ in Å	Cu				Beobachter
	Al	Al	Al	Al			Al	Al	Al	Al	
0,96	—	—	5,6	—	Barkla und Dunlop	0,31 <sub>6</sub>	1,12	—	—	2,65	Barkla und Dunlop
0,91	—	3,66	—	—		0,31 <sub>4</sub>	1,07	1,37	—	2,1	
0,63	2,5	—	—	11,2		0,31 <sub>1</sub>	—	—	1,47	—	
0,52	2,1	—	—	9,0		0,30 <sub>2</sub>	—	1,25	—	1,9	
0,43	1,5	—	—	4,4		0,30 <sub>5</sub>	1,05	—	—	1,7	

$$\frac{Cu}{Al} \text{ abgekürzt für } \frac{(\frac{s}{\rho})_{Cu}}{(\frac{s}{\rho})_{Al}}$$

<sup>1)</sup> Für kurzwellige Strahlung nicht mehr gültig, da hier schon  $\frac{\mu}{\rho} < 0,2$  ist.

<sup>2)</sup> Streuung nur für  $\vartheta = 90^\circ$  gemessen und hieraus mit der Thomsonschen Formel  $\frac{s}{\rho}$  berechnet.

Werte für  $\lambda = 0,56$  sind unsicher, da Gültigkeit der Thomsonschen Formel hier fraglich. (S. oben IV.)

<sup>3)</sup> Werte aus direkten Messungen der Richtungsabhängigkeit der Streung gewonnen.

## Absorption und Zerstreung von Röntgenstrahlen.

**Tafel 4 c. Indirekte Bestimmungen von  $\frac{s}{\varrho}$ .**

Messungen von  $\mu = \bar{\mu} + s$  und Berechnung von  $s$  mit Hilfe der in III. angegebenen Absorptionsgesetze oder unter Benutzung der Erfahrungstatsache, daß für zwei Stoffe bei Ausschluß selektiver Absorptionsstellen  $\frac{\mu_1}{\mu_2} = \text{const.}$  in bezug auf  $\lambda$  ist.

Stoff	Wellenlängenbereich	$\frac{s}{\varrho}$	Beobachter	Stoff	Wellenlängenbereich	$\frac{s}{\varrho}$	Beobachter
Al	0,15 bis 0,3 Å	0,12	Hull und Rice	Al	0,1 bis 0,4 Å	0,15	Richtmyer
Cu	0,15 „ 0,3 Å	0,12		Cu	0,1 „ 0,6 Å	0,5	
Pb	0,15 „ 0,3 Å	0,12		Mo	0,1 „ 0,35 Å	0,4	
H <sub>2</sub>	0,2 „ 0,5 Å	0,309		Ag	0,1 „ 0,4 Å	0,7	
Li	0,2 „ 0,5 Å	0,157	Hewlett	Al	0,1 „ 0,2 Å	0,05	Dessauer-Back
C	0,2 „ 0,5 Å	0,175		H <sub>2</sub> O	0,07 „ 0,18 Å	0,074	
N <sub>2</sub>	0,2 „ 0,5 Å	0,168		C	0,2 „ 0,5 Å	0,14	Holthusen
O <sub>2</sub>	0,2 „ 0,5 Å	0,165		Paraffin	0,2 „ 0,5 Å	0,12	
Al	0,2 „ 0,5 Å	0,173				0,18	
Fe	0,2 „ 0,5 Å	0,18				0,22	„

**Tafel 5. Relativwerte für die Streuung verschiedener Stoffe in Richtung senkrecht zur Primärstrahlung.**

$J_{90}$  = Streuintensität in der Richtung  $\vartheta = 90^\circ$ .  $\frac{J_{90}}{\varrho}$  für Luft = 1 gesetzt.

Streuender Stoff	$\frac{J_{90}}{\varrho}$	Beobachter	Streuender Stoff	$\frac{J_{90}}{\varrho}$	Beobachter
H <sub>2</sub>	1,71	Crowther (1) (weiche Primärstrahlung)	CO <sub>2</sub>	1,00	Crowther (1) (weiche Primärstrahlung)
He	1,14		SO <sub>2</sub>	1,26	
N <sub>2</sub>	1,00		H <sub>2</sub>	2,4	Barkla (1)
NH <sub>3</sub>	1,12		SH <sub>2</sub>	0,92	
Luft	1,00		CO <sub>2</sub>	0,95	
O <sub>2</sub>	1,00		SO <sub>2</sub>	0,96	
NO <sub>2</sub>	1,00				

Sämtliche Messungen mit heterogenen Primärstrahlungen; Einfluß der Härte nach Barkla nicht bemerkbar.

**Tafel 6 a. Richtungsabhängigkeit der Streuung.**

Relative Werte für die Streuintensität in Richtung  $\vartheta$  bezogen auf die Streuintensität für  $\vartheta = 90^\circ$  als Einheit.

Winkel $\vartheta$	Barkla-Ayres (Kohle)	Owen (1) (Papier)	Crowther (2) (Aluminium)		Winkel $\vartheta$	Barkla-Ayres (Kohle)	Owen (1) (Papier)	Crowther (2) (Aluminium)	
			I	II				I	II
10°	—	—	3,66	4,60	90°	1,00	1,00	1,00	1,00
15°	—	—	3,25	2,86	100°	1,06	—	—	—
20°	3,7	—	2,90	2,30	110°	1,11	—	—	—
25°	—	—	2,51	1,97	120°	1,27	1,10	—	—
30°	2,1	3,11	2,14	—	130°	1,41	1,42	—	—
40°	1,58	2,30	1,78	1,52	140°	1,51	1,59	—	—
50°	1,43	1,72	—	—	150°	1,69	1,83	—	—
60°	1,27	—	—	—	160°	1,84	—	—	—
70°	1,02	—	—	—	170°	1,99	—	—	—
80°	1,07	—	—	—					

Sämtliche Primärstrahlungen inhomogen; weiche Röntgenröhren.

- I. 1 cm Parallelfunkstrecke.  
 II. 4 „ „ „ „  
 Owen 2,5 „ „ „

## Absorption und Zerstreung von Röntgenstrahlen.

**Tafel 6b. Richtungsabhängigkeit der Streuung.**

Werte der Streuintensität  $J$ , wenn für  $\vartheta = 0$  bei Cl  $J = 18$ , bei Na  $J = 10$  gesetzt wird.

Winkel $\vartheta$	Cl	Na	Beobachter	Winkel $\vartheta$	Cl	Na	Beobachter
11° 24'	12,72	8,32	} W. L. Bragg, James und Bosanquet	40°	5,15	2,75	} W. L. Bragg, James und Bosanquet
15°	10,59	7,61		45°	4,61	2,22	
20°	8,60	6,23		50°	4,15	1,76	
25°	7,44	4,91		55°	3,70	1,37	
30°	6,50	4,01		60°	3,16	0,76	
35°	5,78	3,37					

Primärstrahlung  $\lambda = 0,615 \text{ \AA}$ . Cl und Na in ionisiertem Zustand gemessen (Kochsalzkrystall).

### Literatur betr. Absorption und Zerstreung von Röntgenstrahlen.

- |  |   |
|--|---|
| <p>Barkla (1), Phil. Mag. 5, 685; 1903.<br/>         „ (2), Phil. Mag. 22, 396; 1911.<br/>         Barkla u. Ayres, Phil. Mag. 21, 270; 1911.<br/>         Barkla u. Collier, Phil. Mag. 23, 987; 1912.<br/>         Barkla u. Dunlop, Phil. Mag. 31, 222; 1916.<br/>         Barkla u. Sadler, Phil. Mag. 17, 739; 1909.<br/>         Barkla u. White, Phil. Mag. 34, 270; 1917.<br/>         Bragg, James u. Bosanquet, Phil. Mag. 41, 309;<br/>         42, 1; 1921.<br/>         Bragg u. Peirce, Phil. Mag. 27, 407; 28, 608; 1914.<br/>         Bragg u. Porter, Proc. Roy. Soc. 85, 349; 1911.<br/>         Crowther (1), Phil. Mag. 14, 653; 1907.<br/>         „ (2), Proc. Roy. Soc. 85, 29; 1911; 86,<br/>         478; 1912.<br/>         Dessauer u. Back, Verh. D. phys. Ges. 21, 9; 1919.</p> | <p>Dessauer u. Vierheller, ZS. Phys. 4, 131; 1921.<br/>         Glocker, Phys. ZS. 19, 66; 1918.<br/>         Hewlett, Phys. Rev. 17, 284; 1921.<br/>         Holtzhusen, Phys. ZS. 20, 5; 1919.<br/>         Hull u. Rice, Phys. Rev. 8, 326; 1916.<br/>         Kossel, Verh. D. phys. Ges. 16, 898; 1914.<br/>         Owen (1), Proc. Cambr. Soc. 16, 161; 1911.<br/>         „ (2), Proc. Roy. Soc. 86, 426; 1912.<br/>         Richtmyer, Phys. Rev. 18, 13; 1921.<br/>         Sadler, Phil. Mag. 22, 447; 1911.<br/>         Siegbahn, Phys. ZS. 15, 753; 1914.<br/>         Siegbahn u. Wingardh, Phys. ZS. 21, 83; 1920.<br/>         Wagner, Jahrb. Rad. 16, 221; 1920.<br/>         Whiddington, Proc. Roy. Soc. 85, 99; 1911.<br/>         Wingardh, ZS. Phys. 8, 363; 1922.</p> |
|--|---|

Glocker.

## 24

### Krystalstrukturen.

Ein Krystallgitter wird beschrieben durch Angabe der drei Translationen (Verschiebungsvektoren, Achsen)  $a_1, a_2, a_3$  und der Basis, d. h. der Atomgruppe, welche durch die Translationen periodisch wiederholt wird. In der Tabelle wird von den unendlich vielen Arten der Beschreibung die kürzeste bzw. übersichtlichste bevorzugt.

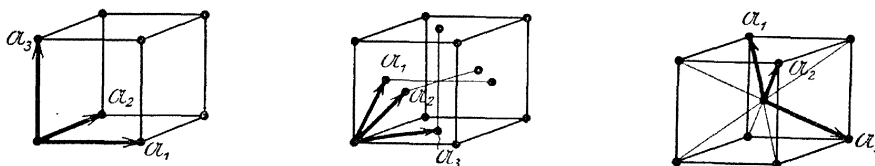


Fig. 1:  $\Gamma_c$ , gew. kub. Gitter. Fig. 2:  $\Gamma'_c$ , flächenz. kub. Gitter. Fig. 3:  $\Gamma''_c$ , körperz. kub. Gitter.

An Achsen kommen vor:

1.  $\Gamma_c$ -Achsen: orthogonale kubische Achsen (Fig. 1)  
Längen:  $|a_i| = a_w$ ; ( $a_w$  bedeutet stets die Länge der Würfelkante).
2.  $\Gamma'_c$ -Achsen: Achsen des flächenzentrierten kubischen Gitters (Fig. 2)  
Längen:  $|a_i| = \frac{a_w}{\sqrt{2}}$ ;  $(a_i a_k) = \frac{1}{2} a_w^2$ ;
3.  $\Gamma''_c$ -Achsen: Achsen des körperzentrierten kubischen Gitters (Fig. 3)  
Längen:  $|a_i| = \frac{\sqrt{3}}{2} a_w$ ;  $(a_i a_k) = -\frac{1}{2} a_w^2$

Ewald.

## Krystalstrukturen. (Fortsetzung.)

4. Orthotetragonale Achsen: (Fig. 4)

$$|a_1| = |a_2| = a; \quad |a_3| = c; \quad (a_i a_k) = 0.$$

5. Rhomboedrische Achsen: (Fig. 5)

Längen:  $|a_i| = a$ ; Achsenwinkel  $\alpha \dots \dots \dots \cos \alpha = \frac{(a_i a_k)}{a^2}$

Flächenwinkel  $A \dots \dots \dots \cos A = \frac{\cos \alpha}{1 + \cos \alpha}$

6. Hexagonale Achsen: (Fig. 6)

$$|a_1| = |a_2| = a; \quad |a_3| = c; \quad (a_1 a_2) = -\frac{1}{2} a^2; \quad (a_3 a_1) = (a_3 a_2) = 0.$$

7. Orthohexagonale Achsen:

Spezialfall rhombischer Achsen. Entstehen aus gewöhnlichen Hexagonalen als

$$\mathcal{A}_1 = a_1; \quad \mathcal{A}_2 = 2 a_2 + a_1 = OP \text{ in Fig. 6}; \quad \mathcal{A}_3 = a_3$$

daher  $|\mathcal{A}_1| = a$ ;  $|\mathcal{A}_2| = a \sqrt{3}$ ;  $|\mathcal{A}_3| = c$ ;  $(\mathcal{A}_i \mathcal{A}_k) = 0$ .

Die Basis wird durch die Koordinaten der einzelnen Basisatome beschrieben, wobei die 3 Translationen  $a_i$  als Koordinatenachsen und -maßstäbe dienen.

Beispiel: Zinkblende. Angabe unter Achsen:  $[I'_c; a_w = 5,41]$ . D. h. jede Atomart bildet ein flächenzent. kub. Gitter, dessen Längenabmessungen durch  $a_w$  gegeben sind. Die Angabe unter Basis:  $\begin{matrix} \text{Zn} & 0 & 0 & 0 \\ \text{S} & \frac{1}{4} & \frac{1}{4} & \frac{1}{4} \end{matrix}$  bedeutet, daß die Zn-Atome unverschoben in den Gitterpunkten liegen, während die S-Atome ein kongruentes aber um  $\frac{1}{4} a_1 + \frac{1}{4} a_2 + \frac{1}{4} a_3$  ( $= \frac{1}{4}$  der Körperdiagonale der Grundzelle) verschobenes Gitter bilden.

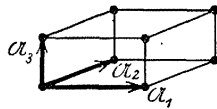


Fig. 4: Tetragonales Gitter.

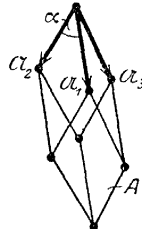


Fig. 5: Rhomboedr. Gitter.

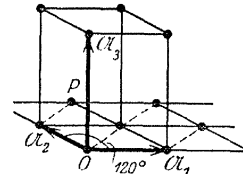


Fig. 6: Hexagonales Gitter.

Bei vielen Gittern (z. B. Zinkblende) ist die Lage der Basisatome innerhalb der Gitterzelle durch die Symmetrie unverrückbar festgelegt. Dann sind die Zahlwerte der Koordinaten in der Spalte „Basis“ unmittelbar angegeben. Läßt jedoch die Symmetrie eine Änderung der Basiskoordinaten (z. B. bei Erwärmung) zu, so sind deren Werte unter „Basis“ mit Benutzung von Parametern  $\varphi, \psi, \chi, \xi, \dots$  angegeben, deren (aus den Intensitäten der Röntgeninterferenzen folgende) Beträge eigens vermerkt sind.

Beispiel: Antimon. Basisangabe:  $\left[ 2 \text{ Sb} : \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \end{pmatrix} \varphi \right]$ . Das zweite Basisatom ist um  $\varphi \cdot (\frac{1}{2} a_1 + \frac{1}{2} a_2 + \frac{1}{2} a_3)$  gegen das erste verschoben.  $\varphi = 1$  würde eine Verschiebung bis auf die Mitte der Körperdiagonale der Grundzelle geben; der vermerkte Wert  $\varphi = 1,074$  bedeutet eine um  $7,4\%$  größere Verschiebung auf dieser Diagonale.

Die Symmetriangabe in der zweiten (bzw. dritten) Spalte betrifft die kristallographisch festgestellte Symmetrie in der Bezeichnung von Liebisch (bzw. eingeklammert von Groth).

Bei den Achsen  $I'_c$  und  $I''_c$  ist nicht die Achsenlänge selbst, sondern (des Vergleiches wegen) die Länge der Würfelkante  $a_w$  angegeben.

Die Genauigkeit der Angaben dürfte nur in wenigen als Präzisionsbestimmungen in Tafel 3 zusammengestellten Fällen 1% überschreiten. Meist ist aus den Angaben nicht zu sehen, ob die von den Verf. verwandten Dichten oder ihre Ablenkungswinkel genauer sind. Darum ist nicht immer genau erfüllt

$$\text{Dichte} = \frac{\text{Masse der Basis}}{\text{Volum d. Gitterzelle}} = 1,64 \cdot 10^{-24} \frac{\sum \mu_s}{v} \text{ [g/cm}^3\text{]}$$

( $\mu_s$  chem. Atomgewicht des  $s^{\text{ten}}$  Basisatoms,  $1,64 \cdot 10^{-24} \text{ g} = \text{Masse von 1 Wasserstoffatom}$ ). Immerhin mag dem Leser die Dichteangabe zur Kontrolle des richtigen Verständnisses der Strukturangaben dienen.

Für die Aufnahme in die Tabelle war maßgebend, daß vollständige Bestimmungen der Struktur und Dimensionen aus Röntgenaufnahmen vorlagen. Bestimmungen auf Grund von Isomorphie und Dichte (wie z. B. bei den nicht aufgeführten Alkalihalogeniden) genügten ebensowenig wie unvollständige Bestimmungen.

Krystalstrukturen.

Tafel I. Elemente.

Z	Name	Krystallogr. Symmetrie	Dichte	Beobachter	Achsen (in Angström = 10 <sup>-8</sup> cm)	Basis	Bemerkungen
3	Lithium . . . . Li	kub.	0,53	Hull (1)	$I''_c; a_w = 3,50$	—	Nicht völlig sicher.
4	Beryllium . . . . Be	hex. (holi?) $c/a = 1,5802$	1,89	Meier Mc Keehan	hexagon. $\alpha = 2,283; c/a = 1,58$ $c = 3,61$	2 Be: $\left( \begin{smallmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1/3 & 2/3 & 1/2 \end{smallmatrix} \right)$	s. bei Magnesium.
6	Diamant . . . . C	kub. hol.	3,52	Bragg (1, 2) Keller	$I'_c; a_w = 3,55$	2 C: $\left( \begin{smallmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1/4 & 1/4 & 1/4 \end{smallmatrix} \right)$	Kleinsten Atomabstand 1,53 Å. Wichtiger Gittertyp!
6	Graphit . . . . C	rhomboedr. hemiedr. (litri- gon. skalén.) $\alpha = 85^\circ 6'$	12, 12—2,32	Debye-Scherrer (3)	rhomboedr., $a = 3,70$ $\alpha = 39^\circ 45'$ $A = 115^\circ 46'$	2 C: $\left( \begin{smallmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1/4 & 1/4 & 1/4 \end{smallmatrix} \right)$ $\varphi$ zwischen $0,31 \dots 0,37$	Geht aus Diamantgitter durch Dehnung längs Würfediago- nale und Packungsänderung ( $\varphi$ statt $1/4$ ) hervor. Mit $\varphi = 0,33$ einfache Basis- ebenen-Atomabstände in 1,45 Å.
11	Natrium . . . . Na	kub.	0,97	Hull (1)	$I''_c; a_w = 4,30$	—	—
12	Magnesium . . . . Mg	hexag. holoedr. (dihex. dipyrr.) $a:c = 1:1,6242$	1,75	Bohlin Hull (1)	hexagon. $a = 3,23$ $c = 5,25; c/a = 1,625$	2 Mg: $\left( \begin{smallmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1/3 & 2/3 & 1/2 \end{smallmatrix} \right)$	Mit $c/a = 1,633$ wäre dies die häufwiederkehrende „hexa- gonale dichteste Kugel- packung“.
13	Aluminium . . . . Al	kub. holoedr.	2,60	Scherrer Hull (1)	$I'_c; a_w = 4,07$	—	—
14	Silicium . . . . Si	kub. hol.	2,34	Debye-Scherrer (1)	$I''_c; a_w = 5,41$	2 Si: $\left( \begin{smallmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1/4 & 1/4 & 1/4 \end{smallmatrix} \right)$	Diamanttypus! Atomabstand 2,33 Å.
19	Kalium . . . . K	kub.	0,862	Gerlach (1) Mc Keehan	$I''_c; a_w = 5,20$	—	Bei $-150^\circ\text{C}$ , bei gewöhnl. Tem- per. anorph. Kongendichte 0,92.
20	Calcium . . . . Ca	hexag.?	—	Hull (2)	$I'_c; a_w = 5,56$	—	—
22	Titan . . . . Ti	?	—	Hull (4)	hexagon. $a = 2,97$ $c = 4,72; c/a = 1,59 \pm 0,1$	2 Ti: $\left( \begin{smallmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1/3 & 2/3 & 1/2 \end{smallmatrix} \right)$	Längs Hauptachse gepreßte hex. dichteste Packung.
24	Chrom . . . . Cr	kub.	—	Hull (3)	$I''_c; a_w = 2,895$	—	—
26	$\alpha$ -Eisen . . . . Fe	kub. holoedr.	7,86	Hull (1) Westgren	$I''_c; a_w = 2,86$	—	$\alpha$ -Eisen stab. b. gewöhnl. Tem- peraturen. Martensit. $\beta$ - und $\delta$ -Eisen ebenfalls Körperzen- triert.
26	$\gamma$ -Eisen . . . . Fe	kub.	8,16	Westgren n	$I'_c; a_w = 3,61$	—	Stabil von $900-1400^\circ\text{C}$ ; Haupt- bestandteil von Austenit.



Krystallstrukturen.							
Tafel I. Elemente. (Fortsetzung.)							
Z	Name	Krystallogr. Symmetrie	Dichte	Beobachter	Achsen (in Angström = 10 <sup>-8</sup> cm)	Basis	Bemerkungen
27	α-Kobalt . . . . Co	kub. hol.	8,66	Hull (3)	$I'_c$ ; $a_w = 3,554$ hexagon.	—	Hexagonale dichteste Kugelpackung.
27	β-Kobalt . . . . Co	hexag. hol. (dihex. dipyr.)	8,66	Hull (3)	$a = 2,514$ ; $c/a = 1,63$ $c = 4,098$	$2 \text{ Co} : \left( \begin{smallmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1/3 & 2/3 & 1/2 \end{smallmatrix} \right)$	Die in Hull (1) angegebene körperezentrierte Modifikation wird in Hull (3) widerrufen.
28	α-Nickel . . . . Ni	kub. hol.	9,00	Hull (3) Bohlin	$I'_c$ ; $a_w = 3,54$	—	Längs Hauptachse gedehnte dichteste Kugelpackung.
29	Kupfer . . . . Cu	kub. hol.	8,937	Bragg (5)	$I'_c$ ; $a_w = 3,61$ hexagon.	—	Diamantgitter!
30	Zink . . . . Zn	hexag. hol. (dihex. dipyr.) $c/a = 1,3564$	7,04—7,16	Hull-Davey	$a = 2,670$ ; $c/a = 1,86$ $c = 4,966$	$2 \text{ Zn} : \left( \begin{smallmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1/3 & 2/3 & 1/2 \end{smallmatrix} \right)$	Die Kanten des morpholog. Rhomboeders {100} sind $b_1 = -a_1 + a_2 + a_3$ . Isomorph m. Sb, Bi.
32	Germanium . . . . Ge	?	5,459	Kolkmeijer	$I'_c$ ; $a_w = 5,61$	$2 \text{ Ge} : \left( \begin{smallmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1/4 & 1/4 & 1/4 \end{smallmatrix} \right)$	Längs $c$ gepreßte hex. dichteste Kugelpackung.
33	Arsen . . . . As	rhomboedr. hemiedr. (ditrigon. skalenoeodr.) $\alpha = 85^\circ 58'$ , $c/a = 1,4025$	5,73	James-Tunstall	$a = 4,58$ $\alpha = 53^\circ 50'$ , $A = 68^\circ 10'$ $-84^\circ 38'$	$2 \text{ As} : \left( \begin{smallmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1/2 & 1/2 & 1/2 \end{smallmatrix} \right) \varphi$ $\varphi = 1,037$	—
40	Zirkonium . . . . Zr	?	—	Hull (4)	hexagon. $a = 3,23$ ; $c/a = 1,59$ $c = 5,14$	$2 \text{ Zr} : \left( \begin{smallmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1/3 & 2/3 & 1/2 \end{smallmatrix} \right)$	—
42	Molybdän . . . . Mo	?	10,16	Hull (3)	$I'_c$ ; $a_w = 3,143$	—	—
44	Ruthenium . . . . Ru	kub. u. trigon.	12,56	Hull (3)	hexagon. $a = 2,686$ ; $c/a = 1,59$ $c = 4,271$	$2 \text{ Ru} : \left( \begin{smallmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1/3 & 2/3 & 1/2 \end{smallmatrix} \right)$	Längs $c$ gestauchte dichteste Kugelpackung.
45	Rhodium . . . . Rh	kub. u. trigon.	12,18	Hull (3)	$I'_c$ ; $a_w = 3,820$	—	—
46	Palladium . . . . Pd	kub. u. trigon.	11,40	Hull (3)	$I'_c$ ; $a_w = 3,950$	—	—
47	Silber . . . . Ag	kub. hol.	10,50	Vegard (1)	$I'_c$ ; $a_w = 4,06$	—	—
48	Cadmium . . . . Cd	hexag. hol. (dihex. dipyr.) $c/a = 1,335$	8,74 —8,655	Hull (3) Hull-Davey	hexagon. $a = 2,960$ ; $c/a = 1,89$ $c = 5,594$	$2 \text{ Cd} : \left( \begin{smallmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1/3 & 2/3 & 1/2 \end{smallmatrix} \right)$	Längs $c$ gedehnte dichteste Kugelpackung.
49	Indium . . . . In	?	—	Hull (3) Hull-Davey	orthotetragonal $a = 3,24$ ; $c/a = 1,505$ $c = 4,86$	$2 \text{ In} : \left( \begin{smallmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1/2 & 1/2 & 1/2 \end{smallmatrix} \right)$	= 1 körperezentriert, tetrag. Gitter. = (Nach Dreh. um 45°) flächenezentriert, kub. Gitter, $a_1 = 4,58$ , längs $c$ -Achse im Verhältnis 1 : 1,06 gedehnt.

## Krystallstrukturen.

Tafel I. Elemente. (Fortsetzung.)

Z	Name	Krystallogr. Symmetrie	Dichte	Beobachter	Achsen (in Ångström = 10 <sup>-8</sup> cm)	Basis	Bemerkungen
50	Graues Zinn . . . Sn	rhom. holoedr. (rhomb. dipyr.) $a : b : c = 0,387 : 1 : 0,356$	5,75 6,55?	Bijl-Kolkmeijer	$I'_c; a_w = 6,46$	2 Sn: $\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1/4 & 1/4 & 1/4 \end{pmatrix}$	Diamantgitter. Atomabstand 2,80. Stabil bis 20° C.
50	Weißes Zinn . . . Sn	tetrag.hol. (ditetrag. dipyr.) $c/a = 0,3857$	7,287?	Bijl-Kolkmeijer	orthotetragonal $a = 5,84; c/a = 0,406$ $c = 2,37$	3 Sn: $\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1/2 & 0 & 1/2 \\ 0 & 1/2 & 1/2 \end{pmatrix}$	Seitenflächen zentriert. Stabil von 18° - 170° C.
51	Antimon. . . . . Sb	rhomboedr. hemiedr. (ditrig. skal.) $\alpha = 86^\circ 58'; c/a = 1,324$	6,70	James-Tunstall Ogg	rhomboedr. $\alpha = 56^\circ 30'; a = 4,50$ $A = 69^\circ 10'$	2 Sb: $\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1/2 & 1/2 & 1/2 \\ 0 & 1/2 & 1/2 \end{pmatrix} \varphi$ $\varphi = 1,074$	s. As u. Bi. Mit $\varphi = 1$ wäre dies Steinalzitter längs einer Würfdiagonale etwas gedehnt.
58	Cerium . . . . . Ce	?	6,70	Hull (4)	hexagon. $a = 3,65; c/a = 1,62$ $c = 5,96$	2 Ce: $\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1/3 & 2/3 & 1/2 \end{pmatrix}$	Dichteste hexagonale Kugelpackung.
73	Tantal . . . . . Ta	?	6,70	Hull (4)	$I'_c; a_w = 5,04$	—	Dichteste kubische Kugelpack.
74	Wolfram . . . . . W	kub. hol.	17,09 19,1	Hull (3) Debye Gross	$I'_c; a_w = 3,272$ $I'_c; a_w = 3,18$	—	—
76	Osmium . . . . . Os	kub. und rhomboedr.	22,48	Hull (4)	hexagon. $a = 2,714; c/a = 1,59$ $c = 4,32$	2 Os: $\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1/3 & 2/3 & 1/2 \end{pmatrix}$	Längs $c$ gepresste hexagon. Kugelpackung.
77	Iridium . . . . . Ir	kub. hol.	23,15	Hull (3)	$I'_c; a_w = 3,805$	—	—
78	Platin . . . . . Pt	kub. hol.	21,23	Hull (3)	$I'_c; a_w = 3,930$	—	—
79	Gold . . . . . Au	kub. hol.	19,32	Vegard (2)	$I'_c; a_w = 4,07$	—	—
80	Quecksilber . . . Hg	?	14,19	Mc Keehan-Cioffi	rhomboedr. $\alpha = 70^\circ 31,7'; a = 3,025$ $A = 75^\circ 30'$	—	Einziges bekanntes einfaches rhomboedrisches Gitter.
82	Blei . . . . . Pb	kub. hol.	11,34	Vegard (2)	$I'_c; a_w = 4,91$	—	—
83	Wismuth . . . . . Bi	rhomboedr. hemiedr. (ditrig. skal.) $\alpha = 87^\circ 34'; c/a = 1,3035$	9,80	James Ogg	rhomboedr. $\alpha = 57^\circ 18'; a = 4,74$ $A = 69^\circ 29'$	2 Bi: $\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1/2 & 1/2 & 1/2 \\ 0 & 1/2 & 1/2 \end{pmatrix} \varphi$ $\varphi = 1,052$	Gleiche Struktur wie Sb und As. Deformiertes einfaches Gitter.
90	Thorium . . . . . Th	kub. hol.	—	Bohlin Hull (4)	$I'_c; a_w = 5,04$	—	(Bohlin: $a_w = 5,11$ ).

Krystallstrukturen.						
Tafel II. Verbindungen <sup>1)</sup> .						
Name	Krystallogr. Symmetrie	Dichte	Beobachter	Achsen (in Angström = 10 <sup>-8</sup> cm)	Basis	Bemerkungen
Lithiumfluorid . . . LiF	kub.	2,601	Debye-Scherrer (1, 2)	$I_c^v; a_w = 4,02$		
Natriumfluorid . . . NaF	kub.	2,766	Davey (1)	$I_c^v; a_w = 4,63$		
Steinsalz . . . . . NaCl	kub. plagiedr. hem. (pent.-ikosi-tetraedr.)	2,161	Bragg (1, 3)	$I_c^v; a_w = 5,628$		
Natriumbromid . . . NaBr	—	—	Davey (1)	$I_c^v; a_w = 6,02$		
Natriumjodid . . . NaJ	—	—	Davey (1)	$I_c^v; a_w = 6,50$		
Kaliumfluorid . . . KF	—	—	Davey (1)	$I_c^v; a_w = 5,38$		
Sylvin . . . . . KCl	kub. plagiedr. hem. (pent.-ikosi-tetraedr.)	1,987	Bragg (1, 3)	$I_c^v; a_w = 6,26$	Alkali Halogen	Steinsalztypus. Die Schwerpunkte aller Atome zusammen bilden ein gew. kub. Gitter der halben Würfelkante.
Bromkalium . . . . . KBr	kub. plagiedr. hem. (pent.-ikosi-tetraedr.)	2,749	Bragg (1, 3)	$I_c^v; a_w = 6,57$		
Kaliumjodid . . . . . KJ	—	—	Davey (1)	$I_c^v; a_w = 7,05$		
Rubidiumbromid . RbBr	kub. plag. hem. (pent.-ikosi-tetraedr.)	3,35	Davey (1)	$I_c^v; a_w = 6,93$		
Rubidiumjodid . . . RbJ	—	—	Davey (1)	$I_c^v; a_w = 7,308$		
Caesiumchlorid . . . CsCl	kub. plag. hem. (pent.-ikosi-tetraedr.)	?	Davey-Wick	$I_c^v; a_w = 4,12$	(Cs, Tl) (Cl, Br)	Nicht-Steinsalztypus. Die Schwerpunkte aller Atome zusammen bilden ein körper- zentriertes Gitter!
Caesiumbromid . . . CsBr	—	—	Davey (1)	$I_c^v; a_w = 4,287$		
Thalliumchlorid . . TlCl	kub. (holoedr.?)	7,02	Davey-Wick	$I_c^v; a_w = 3,85$		
Ammoniumchlorid (NH <sub>4</sub> )Cl	kub. plag. hem. (pent.-ikosi-tetraedr.)	1,536	Bartlett-Lang- muir	$I_c^v; a_w = 3,859$		Stabile Form bei niedriger Temperatur (20° C). Typus des CsCl. Bei höherer Temperatur (250° C). Steinsalztypus. Isomorph. mit KCl. Übergangstem- peratur bei Atmosphären- druck 184,3° C.
Salmiak	—	1,265		$I_c^v; a_w = 6,532$	(NH <sub>4</sub> ) (Cl, Br, I)	bei 20° C { Umwandlungs- temperatur bei Atmosphären- druck 184,3° C.
Ammoniumbromid (NH <sub>4</sub> )Br	kub. plag. hem. (pent.-ikosi-tetraedr.)	2,548	Bartlett-Lang- muir	$I_c^v; a_w = 3,988$		bei 250° C { Atmosphären- druck 137,8° C.
Ammoniumjodid (NH <sub>4</sub> )J	kub. plag. hem. (pent.-ikosi-tetraedr.)	1,972		$I_c^v; a_w = 6,90$		Umwandlungstemp. — 17,6° C, andere Modifikation mit Röntgenstr. nicht beobacht.
		2,563	Bartlett-Lang- muir, auch Vegard (3)	$I_c^v; a_w = 7,20$		

<sup>1)</sup> Anordnung: Halogenide, Monoxyde- und -sulfide, Dioxyde- und -sulfide, Carbonate, Nitrate, Chlorate.

Kristallstrukturen.						
Tafel II. Verbindungen. (Fortsetzung.)						
Name	Krystallogr. Symmetric	Dichte	Beobachter:	Achsen (in Ångström = 10 <sup>-8</sup> cm)	Basis	Bemerkungen
Silberchlorid . . . AgCl	kub. (holoedr. ?)	5,52	Wilson	$I'_c; a_w = 2,78$	Ag $\circ$ Cl $\frac{1}{2} \frac{1}{2} \frac{1}{2}$	Steinsalztypus.
Kerargyrit . . . AgBr	kub. (holoedr. ?)	6,23	Wilson	$I'_c; a_w = 2,89$	Ag $\circ$ Br $\frac{1}{2} \frac{1}{2} \frac{1}{2}$	
Bromargyrit . . . AgJ	hexag. hemimorph (dihex. pyram.)	5,67 5,77	Wilson	$I'_c; a_w = 6,53$	Ag $\circ$ J $\frac{1}{4} \frac{1}{4} \frac{1}{4}$	Struktur wie Zinkblende.
Silberjodid . . . AgJ	kub. tetr. hem. (hexakistetraedr.)	—	Davey (2)	$I'_c; a_w = 5,36$	Cu $\circ$ Cl $\frac{1}{4} \frac{1}{4} \frac{1}{4}$	
Kupferchlorid . . . CuCl	kub. tetr. hem. (hexakistetraedr.)	—	Davey (2)	$I'_c; a_w = 5,75$	Cu $\circ$ Cl $\frac{1}{4} \frac{1}{4} \frac{1}{4}$	
Kupferbromid . . . CuBr	kub. tetr. hem. (hexakistetraedr.)	—	Davey (2)	$I'_c; a_w = 6,08$	Cu $\circ$ Br $\frac{1}{4} \frac{1}{4} \frac{1}{4}$	
Kupferjodid . . . CuJ	kub. tetr. hem. (hexakistetraedr.)	—	Davey (2)	$I'_c; a_w = 6,08$	Cu $\circ$ J $\frac{1}{4} \frac{1}{4} \frac{1}{4}$	Ca bildet ein flächenzentr. Gitter, die $F$ ein gewöhnliches kub. Gitter der halben Kante. isomorph. m. vorigen
Marshit . . . CuJ	kub. holoedr.	3,18	Bragg (1), 4) Gerlach (1)	$I'_c; a_w = 5,45$	Ca $\circ$ 2 F $\pm (\frac{1}{4} \frac{1}{4} \frac{1}{4})$	
Flußpat . . . . . CaF <sub>2</sub>	kub. holoedr.	—	Davey (2)	$I'_c; a_w = 6,20$	Ba $\circ$ 2 F $\pm (\frac{1}{4} \frac{1}{4} \frac{1}{4})$	
Fluorit . . . . . CaF <sub>2</sub>	kub. hol.	—	Davey (2)	$I'_c; a_w = 6,20$	Ba $\circ$ 2 F $\pm (\frac{1}{4} \frac{1}{4} \frac{1}{4})$	
Bariumfluorid . . . BaF <sub>2</sub>	kub. hol.	—	Davey (2)	$I'_c; a_w = 6,20$	Ba $\circ$ 2 F $\pm (\frac{1}{4} \frac{1}{4} \frac{1}{4})$	Steinsalztypus.
Berylliumoxyd . . . BeO	—	—	Gerlach (1) Mc Keehan	$I'_c; a_w = 3,80$		
Magnesiumoxyd . . MgO	kub. hol.	3,64	Bragg (1), Davey- Hoffm., Gerlach- Wyckoff (4), Schiebold	$I'_c; a_w = 4,20$		
Periklas . . . . . MgO	kub. hol.	—	Davey (2)	$I'_c; a_w = 6,20$		
Calciumoxyd . . . . CaO	kub.	3,3	Davey-Hofmann, Hull (2), Gerlach	$I'_c; a_w = 4,76$	Metall $\circ$ Sauerstoff $\frac{1}{2} \frac{1}{2} \frac{1}{2}$	
Strontiumoxyd . . . SrO	kub.	4,75	Gerlach (2)	$I'_c; a_w = 5,10$		
Bariumoxyd . . . . BaO	kub.	5,72	Gerlach (2)	$I'_c; a_w = 5,50$	Steinsalztypus.	
Cadmiumoxyd . . . CdO	kub.	8,15	Bragg (1), Davey- Hoffm.	$I'_c; a_w = 4,72$		
Nickeloxyd . . . . . NiO	kub.	6,80	Davey-Wick	$I'_c; a_w = 4,14$		
Bunsentit . . . . . NiO	kub.	—	Davey-Wick	$I'_c; a_w = 4,14$		
Bleiglanz . . . . . PbS	kub. holoedr.	7,54	Bragg (1)	$I'_c; a_w = 5,94$	Pb $\circ$ S $\frac{1}{2} \frac{1}{2} \frac{1}{2}$	
Galenit . . . . . PbS	kub. holoedr.	—	Bragg (1)	$I'_c; a_w = 5,94$		

Krystallstrukturen.						
Tafel II. Verbindungen. (Fortsetzung.)						
Name	Krystallogr. Symmetrie	Dichte	Beobachter	Achsen (in Ångström = 10 <sup>-8</sup> cm)	Basis	Bemerkungen
Zinkblende . . . . ZnS	kub. hemimorph (hexakis-tetraedr.)	4,06	Bragg (1, 2). Gerlach (1)	$I_c; a_w = 5,41$	Zn $\begin{matrix} \circ & \circ & \circ \\ 1/4 & 1/4 & 1/4 \end{matrix}$	isomorph. Die Strukturen be- stehen aus lauter Tetraedern, wie bei Diamant und Zink- blende.  Jedes O ist von einem Tetraeder aus Cu umgeben, aber nicht um- gekehrt. Alle O bilden ein $T_c$ , alle Cu ein $T'_c$ das gegen das erste um $1/4, 1/4, 1/4$ verschoben ist.  isomorph m. vorigem.  $x$ zwischen 0,111 und 0,113. Jedes Koordinatenpaar ist mit nur oberen und nur unteren Vor- zeichen gemeint.  $x = 0,10$ d. h. Abstand zweier Schwefelatome. = $1/2$ der Würfels- diagonale. $\varphi = 0,156$ . Die Ti bilden ein längs $c$ gedrehtes Diamantgitter. Kleinste Abstände Ti $\rightarrow$ O 1,95 Å.
Wurtzit . . . . ZnS	hexag. hemimorph (dihex. pyram.) $c/a = 0,8175$	3,98	Gerlach (6)	hexagonal $a = 6,29; c/a = 1,635$ $c = 10,3$	2 Zn $\begin{pmatrix} \circ & \circ & \circ \\ 2/3 & 1/3 & 1/2 \\ \circ & \circ & 5/6 \\ 2/3 & \circ & 1/3 \end{pmatrix}$	
Rotzinkerz . . . . ZnO	hexag. hemimorph (dihex. pyram.) $c/a = 1,6077$	5,78	Bragg (6)	hexagonal $a = 3,22; c/a = 1,61$ $c = 5,20$	2 Zn : $\begin{pmatrix} \circ & \circ & \circ \\ 2/3 & 1/3 & 1/2 \\ \circ & \circ & 5/6 \\ 2/3 & \circ & 1/3 \end{pmatrix}$	
Greenockit . . . . CdS	hexag. hemimorph (dihex. pyram.) $c/a = 0,811$	4,8	Bragg (6)	hexagonal $a = 4,21; c/a = 1,622$ $c = 6,84$	2 O : $\begin{pmatrix} \circ & \circ & \circ \\ 2/3 & 1/3 & 1/2 \\ \circ & \circ & 5/6 \\ 2/3 & \circ & 1/3 \end{pmatrix}$	
Rotkupfererz . . . . Cu <sub>2</sub> O	kub.-plagiedr. (kub. pent.-ikosi-tetr.)	5,975	Bragg (1)	$I_c; a_w = 4,29$	2 O : $\begin{pmatrix} \circ & \circ & \circ \\ 1/2 & 1/2 & 1/2 \\ \circ & \circ & \circ \\ 1/2 & 1/2 & 1/2 \end{pmatrix}$	
Silberoxyd . . . . Ag <sub>2</sub> O	kub.	7,52	Davey (2) Wyckoff	$I_c; a_w = 4,69$	4 Cu : $\begin{pmatrix} \circ & \circ & \circ & \circ \\ 3/4 & 3/4 & 1/4 & 1/4 \\ 3/4 & 1/4 & 3/4 & 1/4 \\ 1/4 & 3/4 & 1/4 & 3/4 \end{pmatrix}$	
Eisenkies . . . . FeS <sub>2</sub>	kub. pent.-hem. (dyakisdodekaedr.)	5,1	Bragg (4) Ewald	$I_c; a_w = 4,77$ $I_c; a_w = 5,38$	Wie Cuprit	
Mangan kies Hauerit	kub. pent.-hem. (dyakisdodekaedr.)	3,4	Bragg (4) Ewald	$I_c; a_w = 6,16$	4 Fe: ein flächenzentr. Gitter $\circ \circ \circ$	
Anatas . . . . . TiO <sub>2</sub>	tetragon. hol. $c/a = 1,777$	3,9	Vegard (3)	orthotetragonal $a = 5,27; c/a = 1,777$ $c = 9,37$	8 S : $\begin{pmatrix} 1/2 \pm x; 1/2 \pm x; 1/2 \pm x; \\ \pm x; \pm x; \pm x; \pm x; \\ 1/2 \pm x; 1/2 \pm x; \pm x; \\ \pm x; \pm x; \pm x; 1/2 \pm x \end{pmatrix}$ analog	

Krystalstrukturen.

Tafel II. Verbindungen. (Fortsetzung.)

Name	Krystallogr. Symmetrie	Dichte	Beobachter	Achsen (in Ångström = 10 <sup>-8</sup> cm)	Basis	Bemerkungen
Rutil . . . . . TiO <sub>2</sub>	tetragon. hol. c/a = 0,6439	4,283	Vegard (2) Williams	orthotetragonal a = 9,04; c/a = 0,645 c = 5,84	2 Ti: ( 0 0 0 ) ( 1/2 1/2 1/2 ) bzw. 2 Sn: ( 1/2 1/2 1/2 ) 4 O: ( 1/2 ± φ, 1/2 ± φ, 0 ) ( ± φ, ± φ, 1/2 )	φ = 0,155. Kleinste Abstände Ti → O 1,99 Å. Nur obere u. nur untere Vor- zeichen! Abstand Sn → O 2,08 Å.
Zinnstein . . . . SnO <sub>2</sub> Kassiterit	tetragon. hol. c/a = 0,6726	7,0	Vegard (2) Williams	orthotetragonal a = 9,34; c/a = 0,673 c = 6,29	8 Moleküle. Flächenzentr. Gitter in Zr: ( 0 0 0 ) ( 1/4 1/4 1/4 ) ( Y ) ( 1/4 1/4 1/4 ) Si: ( 1/2 1/2 1/2 ) ( P ) ( 3/4 3/4 3/4 ) O: ( ± φ φ 0 ) ( 1/4 ± φ, 1/4 ± φ, 1/2 ) ( 1/2 ± φ, 1/2 ± φ, 1/2 ) ( 3/4 ± φ, 3/4 ± φ, 3/4 )	φ = 0,21; ψ = 0,064; Abstände O → Zr . . . . 2,71 O → Si . . . . 1,08.
Zirkon . . . . . ZrSiO <sub>4</sub>	tetragon. hol. c/a = 0,639	4,70	Vegard (2)	orthotetragonal a = 9,20; c/a = 0,640 c = 5,88	orthotetragonal a = 9,60; c/a = 0,618 c = 5,94	φ = 0,19; ψ = 0,105; Abstände O → Y . . . . 2,55 Å. O → P . . . . 1,42 Å.
Ytterspat . . . . YPO <sub>4</sub> Xenotim . . . .	tetragon. hol.	—	Vegard (3)	orthotetragonal a = 9,60; c/a = 0,618 c = 5,94	hexagonal a = 3,34; c/a = 1,40 c = 4,68	Isomorph. z ∞ 1/6.
Pyrochroit . . . Mn(OH) <sub>2</sub>	rhomboedr. hem. (ditrigr.-skal.) α = 84° 26', c/a = 1,3999	3,26	Aminoff	hexagonal a = 3,34; c/a = 1,40 c = 4,68	1 Mn: ( 0 0 0 ) 2 (OH): ± ( 2/3 1/3 ∞ )	
Brucit . . . . . Mg(OH) <sub>2</sub>	rhomboedr. hem. (= ditrigr. skal.) α = 81° 12', c/a = 1,5208	2,36	Aminoff	hexagonal a = 3,13; c/a = 1,52 c = 4,75	1 Mg: ( 0 0 0 ) 2 (OH): ± ( 2/3 1/3 ∞ )	
Kalkspat . . . . CaCO <sub>3</sub> Calcit	rhomboedr. hem. (= ditrigr. skal.) α = 101° 55'; c/a = 0,8543	2,72	Bragg (1, 4), Schiebold, Wyckoff (2)	rhomboedr. α = 46° 6' a = 6,34	(Mn, Fe, Na) ( 0 0 0 ) ( 1/2 1/2 1/2 ) 2 Ca: ( 0 0 0 ) ( 1/4 1/4 1/4 ) ( 3/4 3/4 3/4 ) (N) ( 1/4 1/4 1/4 ) 6 O: ( 1/4 + φ, 1/4 - φ, 1/4 ) ( 3/4 - φ, 3/4 + φ, 3/4 ) und cycl. Vertausch.	Mit der üblichen kristallogr. Aufstellung (Spaltungsrhomb- oeder als {100}) sind die hier gewählten Achsen die Kanten des Rhomboeders {311}. Schi bold: a = 6,34, φ = 0,24 - 0,26. φ = 0,31; Wyckoff: a = 6,55, φ = 0,24 - 0,26. φ = 0,34 (Bragg) 0,27 (Wyckoff).
Manganspat . . . MnCO <sub>3</sub> Rhodochrosit	rhomboedr. hemiedr. (ditrigr. skalenoedr.) α = 102° 50'; c/a = 0,8259	3,65	Wyckoff (2) Bragg (4)	rhomboedr. α = 6,02 α = 47° 46'		φ = 0,37 (Bragg). Wyckoff: innerhalb der Maß- g nauigkeit gleich der vorigen Struktur. φ wie bei Kalkspat.
Eisenspat . . . . FeCO <sub>3</sub> Siderit (Chalybit)	rhomboedr. hemiedr. (ditrigr. skalenoedr.) α = 103° 41/2'; c/a = 0,8191	3,85	Wyckoff (2) Bragg (4)			
Salpeter . . . . NaNO <sub>3</sub>	rhomboedr. hemiedr. (ditrigr. skalenoedr.) α = 102° 42 1/2'; c/a = 0,8297	2,27				

## Krystallstrukturen.

## Tafel III. Präzisionsbestimmungen von Netzebenenabständen.

1. Würfelflächen von Steinsalz. $d = \frac{1}{2} a_c$ .			
(Moseley . . . . . Siegbahn . . . . . Ledoux-Lebard und Dauvillier	Phil. Mag. 26, 1029; 1913 Ann. d. Phys. 59, 56; 1919 C. r. 169, 788; 1919	$d = 2,81400$ $2,8125 \pm 0,0028$	$= \lg 2 d = 0,750\ 3541 - 8$ $= 0,750\ 1225 - 8$
2. Spaltebenen von Kalkspat.			
Siegbahn . . . . . Ledoux-Lebard und Dauvillier Duane-Palmer u. Chi Sun Yeh	Ann. d. Phys. 59, 56; 1919 C. r. 169, 788; 1919 Phys. Rev. 18, 98; 1921	$d = 3,02904$ $3,02825 \pm 0,00225$ $3,028 \pm 0,002$	$\lg 2 d = 0,782\ 3347 - 8$ $= 0,782\ 2217 - 8$ $= 0,782\ 1859 - 8$
3. Spaltebenen von Gips.			
Hjalmar . . . . .	ZS. Phys. 1, 439; 1920	$d = 7,5776 \pm 0,00025$	$\lg 2 d = 1,180\ 5620 - 8$ $\pm 0,000\ 0149$
4. Spaltebenen von Ferrocyanalium.			
(Moseley . . . . . Siegbahn . . . . .	Phil. Mag. 26, 1029; 1913 Ann. d. Phys. 59, 56; 1919	$d = 8,454$ $8,408$	$\lg 2 d = 1,228\ 0922 - 8$ $= 1,225\ 7227 - 8$
5. Spaltebenen von Zucker.			
Stenström . . . . .	Ann. d. Phys. 57, 347; 1918	$d = 10,56$	—

## Literatur betreffend Krystallstrukturen.

- Aminoff, Geol. För. i Stockholms Forh. 41, 407; 1919 [Mn(OH)<sub>2</sub>, Mg(OH)<sub>2</sub>].
- Andrews, Phys. Rev. 17, 261; 1921 [Legierungen Ni-Fe, Co-Fe, Zn-Cu].
- Bartlett u. Langmuir, Journ. Amer. chem. Soc. 43, 84; 1921 [NH<sub>4</sub>Cl, NH<sub>4</sub>Br, NH<sub>4</sub>I].
- Benedick u. Owen, Journ. Amer. chem. Soc. 40, 1749; 1918.
- Bijl u. Kolkmeijer, Proc. Amst. Akad. 21, 406 u. 494; 1919 [Sn].
- Bohlin, Ann. d. Phys. 61, 430; 1920 [Th, Ni, Mg].
- W. H. u. W. L. Bragg (1), X Rays and Crystal Structure (Buch).
- " (2), Proc. Roy. Soc. 88, 277; 1913 [Diamant, ZnS].
- W. L. Bragg (3), Proc. Roy. Soc. 89, 249; 1914 [NaCl, KCl, KBr, K].
- " (4), Proc. Roy. Soc. 89, 468; 1914 [NaCl, CaF<sub>2</sub>, ZnS, FeS<sub>2</sub>, NaNO<sub>3</sub>, CaCO<sub>3</sub>, MnCO<sub>3</sub>, FeCO<sub>3</sub>, CaMg[CO<sub>3</sub>]<sub>2</sub>].
- " (5), Phil. Mag. 28, 355; 1914 [Cu].
- " (6), Phil. Mag. 39, 647; 1920 [ZnO, ZnS, CdS].
- Cooper, Nature 107, 745; 1921 [KCN].
- Davey (1), Phys. Rev. 18, 102; 1921 [Halogenide].
- " (2), " " 19, 248; 1922 [Ag-, Cu-halog., Ag<sub>2</sub>O, BaF<sub>2</sub>].
- " (3), " " 19, 538; 1922 [CsBr, Rb].
- Davey u. Hoffmann, Phys. Rev. 15, 333; 1920 [CaO, CdO, MgO, NiO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>].
- Davey u. Wick, Phys. Rev. 17, 402—403; 1921 [RbBr, NiO, CsCl, TlCl].
- Debye, Phys. ZS. 18, 483; 1917 [W].
- Debye u. Scherrer (1), Gött. Nachr. 1916, S. 1 [LiF, Si].
- Debye u. Scherrer (2), Phys. ZS. 19, 474; 1918 [NaF].
- " " (3), Phys. ZS. 18, 291; 1917 [C].
- Dennison, Phys. Rev. 17, 20; 1921 [H<sub>2</sub>O].
- Dickinson, Journ. Amer. chem. Soc. 42, 85; 1920 [PbMO<sub>2</sub>, CaWO<sub>4</sub>].
- Dickinson u. Goodhue, Journ. Am. chem. Soc. 43, 2045; 1921 [NaClO<sub>3</sub>, NaBrO<sub>3</sub>].
- Espig, Abh. Sächs. Akad. Wiss. 38, 1; 1921 [CSi].
- Ewald, Ann. d. Phys. 44, 1183; 1914 [FeS<sub>2</sub>, MnS<sub>2</sub>].
- Gerlach (1), ZS. f. Phys. 9, 184; 1922 [BeO, MgO, CaO, SrO, BaO].
- " (2), Phys. ZS. 23, 114; 1922 [Si, ZnS, CaF<sub>2</sub>].
- Gerlach u. Pauli, ZS. f. Phys. 7, 116; 1921 [MgO].
- Gross u. Blassmann, N. Jahrb. Min. 1919, S. 728 [W].
- Hull (1), Phys. Rev. 10, 661; 1917 [Fe, Si, Al, Mg, Na, Li, Ni, C].
- " (2), Phys. Rev. 17, 42; 1921 [Ca, CaO].
- " (3), Phys. Rev. 17, 571; 1921 [Cr, Mo, Ta, Co, Ni, Rh, Pd, Ir, Pt, Zn, Cd, Ru, In].
- " (4), Phys. Rev. 18, 88; 1921 [Ti, Os, Ce].
- Hull u. Davey, Phil. Rev. 17, 550; 1921 [Zn, Cd, In].
- James, Phil. Mag. 42, 193; 1921 [Bi].
- James u. Tunstall, Phil. Mag. 40, 233; 1920 [Sb].
- Keller, Ann. d. Phys. 46, 157; 1915 [Diamant].
- Kolkmeijer, Proc. Amst. Acad. 25, 4; 1922 [Ge].
- Kolkmeijer, Bijvoet u. Karssen, Proc. Amst. Acad. 23, 4; 1921 [NaClO<sub>3</sub>, NaBrO<sub>3</sub>].
- McKeehan, Proc. Nat. Acad. Sc. 8, 270; 1922 [Be, BeO].
- " " Proc. Nat. Acad. Sc. 8, 254; 1922 [K].
- McKeehan u. Clouff, Phys. Rev. 19, 444; 1922 [Hg].

## Literatur betreffend Krystalstrukturen.

(Fortsetzung.)

<b>Meier</b> , Diss. Göttingen 1921 (ungedruckt) [Be].	<b>Vegard</b> (3), Phil. Mag. 32, 505; 1916 [YPO <sub>4</sub> , NH <sub>4</sub> J, N(CH <sub>3</sub> ) <sub>4</sub> J, TiO <sub>2</sub> ].
<b>Niggli</b> , ZS. f. Kryst. 56, 1921, Referatenteil [N(CH <sub>3</sub> ) <sub>4</sub> J].	<b>Westgren</b> u. <b>Lindh</b> , ZS. ph. Ch. 98, 181; 1921 [Fe].
<b>Ogg</b> , Phil. Mag. 42, 163; 1921 [Sb, Bi].	<b>Williams</b> , Proc. Roy. Soc. 98, 418; 1917 [TiO <sub>2</sub> , SnO <sub>2</sub> ].
<b>Olie</b> u. <b>Bijl</b> , Proc. Amst. Akad. 19, 920; 1917 [C].	<b>Wilson</b> , Phil. Mag. 42, 262; 1921 [AgCl, AgBr, AgJ].
<b>Scherrer</b> , Phys. ZS. 19, 23; 1918 [Al].	<b>Wyckoff</b> (1), Journ. Amer. chem. Soc. 42, 1100; 1920 [CsCl <sub>2</sub> J].
<b>Schiebold</b> (1), Abh. Sächs. Akad. Wiss. 36, 69; 1919 [CaCO <sub>3</sub> ].	„ (2), Sill. Journ. 50, 317; 1920 [CaCO <sub>3</sub> , MnCO <sub>3</sub> , FeCO <sub>3</sub> ].
„ (2), ZS. Kryst. 56, 430; 1921 [MgO].	„ (3), Phys. Rev. 16, 149; 1920 [NaNO <sub>3</sub> ].
<b>Vegard</b> (1), Phil. Mag. 31, 83; 1916 [Ag].	„ (4), Sill. Journ. 1, 138; 1921 [MgO].
„ (2), Phil. Mag. 32, 65; 1916 [Au, Pb, TiO <sub>2</sub> , SnO <sub>2</sub> , ZrSiO <sub>4</sub> ].	<b>Wyckoff</b> u. <b>Posnjak</b> , Journ. Am. chem. Soc. 44, 30, 1922 [CuCl, CuBr, CuJ].

Ewald.

## 25

## Beweglichkeit der Ionen in den wichtigsten Gasen und Dämpfen.

Gas	Beweglichkeit d. h. Geschwindigkeit in cm·sec <sup>-1</sup> im Felde 1 Volt·cm <sup>-1</sup> , umger. auf 760 mm Druck		Meßmethode	Ionisator	Beobachter
	posit. Ionen	negat. Ionen			
Luft, trocken .	1,35	1,82	—	—	Mittelwert älter. Messungen nach Franck, Jahrb. d. Radioakt. u. Elektron. 9, 235; 1912.
„ (15°) trocken	1,331	1,927	statisches Wechselfeld	Polonium	Rothgießer, Diss. Freiburg 1913.
„ (15°) feucht	1,325	1,610	„	„	„
Sauerstoff . . .	1,36	1,80	Gastrom	Röntgenstr.	J. Zeleny, Phil. Trans. (A) 195, 193; 1900.
„ . . .	1,30	1,85	elektr. Wind	Spitzenentladung	Chattock, Phil. Mag. (5) 48, 401; 1899 u. Phil. Mag. (6) 1, 79; 1901.
„ . . .	1,29	1,79	Wechselstrommethode	Polonium	J. Franck, Verh. D. phys. Ges. 12, 613; 1910.
Stickstoff, techn. rein . .	1,27	1,84	Verbesserte Rutherford'sche Wechselstrommethode	Polonium	J. Franck, l. c.
„ rein .	1,27	120,4	„	„	J. Franck, l. c.
„ „	—	370—500	„	„	Haines, Phil. Mag. (6) 30, 503; 1915.
„ „	—	etwa 10000	Wechselstrommethode mit 7000—150000 Perioden	Photoeffekt	L. B. Loeb, Phys. Rev. (2) 19, 24; 1922.
Wasserstoff, trocken	5,79	8,23	—	—	Mittelwert aus älteren Messungen nach Rothgießer, l. c.
„ (15°) trocken	5,91	8,26	Statisches Wechselfeld	Polonium	Rothgießer, l. c.
„ (15°) feucht	5,30	6,26	„	„	Haines, Phil. Mag. (6) 30, 503; 1915.
„ rein . .	6	bis 170	Wechselstrommethode nach Rutherford-Franck	„	„
Radioaktive Restatome in Wasserstoff .	6,21	—	Wechselstrommethode	—	J. Franck, Verh. D. phys. Ges. 11, 397; 1909.

Regener.



Beweglichkeit der Ionen in den wichtigsten Gasen und Dämpfen. (Fortsetzung.)					
Gas	Beweglichkeit d. h. Geschwindigkeit in $\text{cm} \cdot \text{sec}^{-1}$ im Felde 1 Volt $\cdot \text{cm}^{-1}$ , umger. auf 760 mm Druck		Meßmethode	Ionisator	Beobachter
	posit. Ionen	negat. Ionen			
Kohlensäure, trocken	0,83	0,94	—	—	Mittelwert aus älteren Messungen nach Rothgießer, l. c.
„ (15°) trocken	0,760	0,994	Statisches Wechselfeld	Polonium	„
„ (15°) feucht	0,820	0,786	„	„	Wellish, Phil. Trans. (A)
Kohlenoxyd	1,10	1,14	Langevins Nullmethode	—	209, 249; 1909.
Argon, schwach verunreinigt	1,37	1,70	Wechselstrommethode	Polonium	J. Franck, l. c.
„ rein	1,37	etwa 206	„	„	„
Helium, schwach verunreinigt	5,09	6,31	„	„	J. Franck u. R. Pohl, Verh. D. phys. Ges. 9, 194; 1907.
„ rein	5,09	etwa 500	„	„	„
Stickoxydul	0,82	0,90	—	—	Wellish, l. c.
Ammoniak	0,74	0,80	—	—	„
Acetaldehyd	0,31	0,30	—	—	„
Äthylalkohol	0,34	0,27	—	—	„
Äthyläther	0,29	0,31	—	—	„

Weitere Dämpfe, auch bei höheren Temperaturen siehe bei **K. Przibram**, Wien. Ber. 118 [2a], 665; 1908 u. 331; 1909, sowie bei **Wellish**, Phil. Trans. (A) 209, 249; 1909 und Phil. Mag. (6) 34, 33; 1917. Vgl. auch das Referat von **J. Franck**, Jahrb. d. Radioakt. u. Elektr. 9, 235; 1912, sowie das von **Przibram**, Jahrb. d. Radioakt. u. Elektr. 8, 285; 1911. Eine neuere zusammenfassende Darstellung siehe bei **R. Seeliger** im Graetzschen Handbuche d. Elektr. u. d. Magn. Bd. III; 1920. Dasselbst auch Literatur über die Verhältnisse bei hohen und niederen Drucken sowie über den Einfluß der Temperatur und der Feldstärke auf die Beweglichkeit. Vgl. auch das Referat von **H. F. Mayer**, Jahrb. Rad. 18, 201; 1921.

Zur Deutung der durch das Auftreten freier Elektronen verursachten hohen Werte der neg. Beweglichkeiten in reinen Gasen mit geringer Elektronenaffinität vgl. den Bericht von **Franck u. Hertz**, Phys. ZS. 17, 409, 430; 1916.

**Beweglichkeit der negativen Flammenionen (Elektronen)** etwa  $10000 \text{ cm sec}^{-1}$  für 1 Volt  $\cdot \text{cm}^{-1}$  nach Messungen von **H. A. Wilson**, Proc. Roy. Soc. (A) 82, 895; 1909; **E. Gold**, Proc. Roy. Soc. (A) 79, 60; 1907; **E. Wilckens**, Diss. Heidelberg 1914.

Über **positive Flammenionen** vgl. den Abschnitt von **A. Becker** im Graetzschen Handbuch d. Elektr. u. d. Magn. Bd. III; 1920, sowie auch **E. Marx** im Bd. IV des Handb. d. Radiologie 1917. **Lenard** (Ann. d. Phys. 9, 642; 1902), **Andrade**, **Ebert** u. **Wilckens** (Diss. Heidelberg 1911, 1911 u. 1916) finden in der Bunsenflamme Beweglichkeiten von  $0,04 - 2,5 \frac{\text{cm}}{\text{sec}} \cdot \frac{\text{Volt}}{\text{cm}}$ . Nach **Lenard** sind die Verhältnisse durch dauernde schnelle Umladungen kompliziert. Eine neuere Arbeit von **Schönborn** (ZS. f. Phys. 4, 118; 1921) findet in der Bunsenflamme je nach der Temperatur Werte zwischen  $200$  und  $400 \frac{\text{cm}}{\text{sec}} \cdot \frac{\text{Volt}}{\text{cm}}$  in Bestätigung älterer ähnlicher Werte von **H. A. Wilson** und **Lusby** (Lit. bei Schönborn l. c.).

## 26

## Diffusionskoeffizient der Ionen in Gasen.

Gas	Diffusionskoeffizient in $\text{cm}^2 \cdot \text{sec}^{-1}$ .		Beobachter
	der positiv. Ionen	der negativ. Ionen	
Luft, trocken . . . . .	0,028	0,043	J. Townsend, Phil. Trans. (A) 195, 295; 1900.
„ „ . . . . .	0,032	0,042	E. Salles, Rad. 7, 362; 1910 u. 8, 59; 1911.
„ „ . . . . .	0,029	0,045	J. Franck u. W. Westphal, Verh. D. phys. Ges. 11, 146; 1909.

## Diffusionskoeffizient der Ionen in Gasen.

(Fortsetzung.)

Gas	Diffusionskoeffizient in $\text{cm}^2 \cdot \text{sec}^{-1}$		Beobachter
	der positiv. Ionen	der negativ. Ionen	
Luft, feucht . . . . .	0,032	0,035	Townsend, l. c.
Sauerstoff, trocken . . .	0,025	0,039	Townsend, l. c.
„ „ „ . . . . .	0,030	0,044	Salles, l. c.
Sauerstoff, feucht . . . .	0,029	0,036	Townsend, l. c.
Wasserstoff, trocken . . .	0,123	0,190	Townsend, l. c.
Wasserstoff, feucht . . . .	0,128	0,142	Townsend, l. c.
Stickstoff . . . . .	0,0295	0,041	Salles, l. c.
Kohlensäure, trocken . . .	0,023	0,026	Townsend, l. c.
„ „ „ . . . . .	0,025	0,026	Salles, l. c.
Kohlensäure, feucht . . . .	0,025	0,025	Townsend, l. c.

Nach J. Townsend, Trans. Roy. Soc. 193, 129; 1899 besteht zwischen der Beweglichkeit  $k$ , dem Diffusionskoeffizienten  $D$ , der Loschmidtschen Zahl  $L$ , der Elementarladung  $e$  und dem Druck  $p$  die Beziehung  $k = D \cdot \frac{L \cdot e}{p}$ . In den hier benutzten Einheiten berechnet sich danach der Diffusionskoeffizient  $D$  zu  $\frac{k}{42,6}$ .

## 27

Koeffizient der gegenseitigen Wiedervereinigung der Ionen in verschiedenen Gasen ( $\alpha$  in der Gleichung  $\frac{dn}{dt} = -\alpha n^2$ , wobei  $n$  = Konzentration der Ionen).

Gas	$\frac{\alpha}{e}$ , Wiedervereinigungskoeffizient, geteilt durch die Elementarladung in elektrost. Einheiten	Beobachter
Luft (trocken u. staubfrei)	3420	J. Townsend, Phil. Trans. 193, 129; 1900.
	3380	R. Mc Clung, Phil. Mag. (6) 3, 283; 1902.
	3200	R. Langevin, C. r. 137, 177; 1903.
	3500	L. Hendren, Phys. Rev. 21, 314; 1905.
	3300	H. A. Erikson, Phil. Mag. (6) 18, 328; 1909.
	3500	Thirkill, Proc. Roy. Soc. 88, 488; 1913.
	3420	H. Ogden, Phil. Mag. (6) 26, 991; 1913.
	3220	H. Seemann, Ann. d. Phys. 38, 781; 1912.
	3368	Mittelwert.
	3020	Townsend, l. c.
Wasserstoff . . . . .	2938	Mc Clung, l. c.
Sauerstoff . . . . .	3380	Mc Clung, l. c.
Kohlensäure . . . . .	3500	Townsend, l. c.
	3500	Mc Clung, l. c.
	3400	Langevin, l. c.
	3440	Thirkill, l. c.
Kohlenoxyd . . . . .	1820	Thirkill, l. c.
Schwefeldioxyd . . . . .	2740	Thirkill, l. c.

Die ältere Literatur ist zusammengestellt in dem Referat von F. Harms, Jahrb. Rad. 3, 321; 1906. Den letzten zusammenfassenden Bericht über das Gebiet gibt der Abschnitt von R. Seeliger im Graetzschen Handb. d. Elektr. u. d. Magn., Bd. III; 1920, von wo auch die obige Zusammenstellung entnommen.

Abweichungen von den oben mitgeteilten normalen Werten ergeben sich

- durch die sog. „Kolonnenionisation“, bei den  $\alpha$ -Strahlen von Bragg u. Kleemann früher (Phil. Mag. 11, 466; 1906 u. 12, 273; 1906) nicht zutreffend als Initial-Rekombination gedeutet, später von M. Moulin (Rad. 5, 136; 1908 u. 7, 350; 1910) richtig erklärt und von G. Jaffé (Phys. ZS. 15, 353; 1914) bestätigt, und
- unmittelbar (nach Bruchteilen einer Sekunde) nach Entstehung der Ionen (vgl. dazu Plimpton, Phil. Mag. (6) 25, 65; 1913 und Rümelin, Ann. d. Phys. 43, 821; 1914).

Über die noch ungenau bekannte Abhängigkeit der Wiedervereinigung von Druck (annähernde Proportionalität) und von der Temperatur (Zunahme mit steigender Temperatur) siehe die Literatur bei R. Seeliger, l. c.

Entladungsspannungen in Gasen.

Tafel I.

Anfangsspannungen in kV ( $10^{11}$  el.-magn. CGS) für zwei gleiche Kugeln bei symmetrischer Spannungsverteilung gegen Erde, in normaler Luft. Druck 760 mm Hg, Temperatur 20° C, Schlagweiten in cm.

Schlagweite cm	Kugeldurchmesser (in cm):										Ebene Platten <sup>1)</sup>	
	1,11 (nach Peek)	2 (nach Weicker)	2,54 (nach Peek)	5 (nach Weicker, Estorff, Töpfer)	6,25 (nach Peek)	6,66 (nach Peek)	7,5 (nach Estorff)	10 (nach Estorff, Weicker, Töpfer)	12,5 (nach Peek)	15 (nach Weicker, Estorff, Töpfer)		25 (nach Peek)
0,05	2,90	—	—	—	—	2,65	—	—	2,65	—	2,65	2,65
0,1	4,95	—	—	—	—	4,60	—	—	4,60	—	4,60	4,47
0,2	8,70	—	8,32	—	—	8,09	—	—	8,04	—	8,04	7,96
0,3	12,0	—	11,6	—	—	11,3	—	—	11,3	—	11,3	11,3
0,4	15,0	—	14,8	—	—	14,4	—	—	14,4	—	14,4	14,4
0,5	17,9	—	17,9	—	17,5	17,5	—	—	17,4	—	17,4	17,4
0,6	20,6	—	21,0	—	—	20,5	—	—	20,4	—	20,4	20,3
0,7	23,3	—	24,0	—	—	23,5	—	—	23,3	—	23,3	23,2
0,8	25,6	—	27,0	—	—	26,4	—	—	26,2	—	26,2	26,1
0,9	27,7	—	29,8	—	—	29,4	—	—	29,1	—	29,0	28,9
1,0	29,5	32,0	32,5	32,4	32,4	32,2	32,1	32,1	32,0	31,8	31,8	31,7
2,0	—	52,1	—	59,3	59,7	—	59,7	60,0	60,0	60,0	60,5	59,6
3,0	—	64,2	—	80,7	82,4	—	83,8	85,4	85,7	86,2	87,3	87,0
4,0	—	71,9	—	97,7	102	—	104	108	110	110	113,5	114
5,0	—	76,8	—	111	117	—	122	128	131	133	138	140
6,0	—	—	—	122	129,5	—	136	146	151	154	162	166
7,0	—	—	—	131	140	—	149	162	169	174	185	192
8,0	—	—	—	139	150	—	160	176	185	191	205	217
9,0	—	—	—	145	158	—	170	187	200	207	227	242
10,0	—	—	—	150	165	—	178	199,5	213	222	247	266
11,0	—	—	—	—	—	—	185	209	225	236	266	290
12,0	—	—	—	—	—	—	192	218,5	236	249	283	—
13,0	—	—	—	—	—	—	198	227	246	260	300	—
14,0	—	—	—	—	—	—	203	234	255	271	316	—
15,0	—	—	—	—	—	—	208	241	265	282	331	—
16	—	—	—	—	—	—	—	247	—	291	—	—
17	—	—	—	—	—	—	—	252	—	300	—	—
17,5	—	—	—	—	—	—	—	—	284	304	367	—
20	—	—	—	—	—	—	—	—	299	—	398	—
22,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	424	—
25	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	451	—
30	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	492	—
40	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	555	—

Gleichspannungswerte. Für effektive Wechselspannungsmessungen durch  $\sqrt{2}$  zu dividieren. Genauigkeit 1 bis 2%.

Die Tabelle gibt ausgeglichene Mittelwerte der zuverlässigsten und übereinstimmendsten Messungen. Im Kopf jeder Spalte ist der Autor angegeben, dessen Messungen zur Ausgleichung verwendet wurden. Die Spannungen sind nur für die Bereiche angegeben, in denen im allgemeinen die Anfangsspannung auch Funkenspannung ist. Sollte sich jedoch (besonders bei kleinen Kugeln) zunächst ein Glimmen zeigen, so sind die angegebenen Spannungen die Anfangsspannungen des Glimmens und nicht die Funkenspannungen.

Ergänzungen zu Tafel I und II.

Anfangsspannung ist diejenige, bei der die ersten Zeichen einer elektrischen Zerstörung des Gases auftreten; wesentlich durch die Gestalt des elektrostatischen Feldes bedingt. Bei kleineren Schlagweiten im allgemeinen gleich der Funkenspannung (130–135, 157). Dicke der Zuleitungen bis etwa  $\frac{1}{10}$  Kugeldurchmesser ohne Einfluß. Zuleitungen nicht mit Isolationsmaterial überziehen (135a). (Fortsetzung auf S. 101.)

<sup>1)</sup> Neueste Werte (W. Spath, Arch. f. Elektrot. 1923) für ebene Elektroden, bei 760 mm Hg u. 20°.

Schlagweite, cm . . . . .	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
Anfangsspannung, kV . . . . .	4,65	7,76	10,7	13,8	16,8	19,8	22,8	25,6	28,6	31,6
Durchbruchfeldstärke, kV/cm . . . . .	46,5	38,8	35,8	34,5	33,6	33,1	32,5	32,1	31,8	31,6

## Entladungsspannungen in Gasen.

## Tafel II.

Anfangsspannungen in kV ( $10^{11}$  el.-magn. CGS) für zwei gleiche Kugeln, von denen eine geerdet ist, in normaler Luft. Druck 760 mm Hg, Temperatur 20° C, Schlagweiten in cm.

Schlagweite cm	Kugeldurchmesser (in cm)									Ebene Platten. (Dieselben Werte wie für symmetrische Spannungsverteilung.)
	0,5 (nach Heydweiller)	1 (nach Heydweiller)	2 (nach Heydweiller)	2,5 (nach Orgler)	5 (nach Müller, Weicker)	6,25 (nach Peek)	12,5 (nach Peek)	25 (nach Peek)	37,5 (nach Chubb und Fortescue)	
0,01	1,10	1,02	0,993	—	—	—	—	—	—	—
0,02	1,60	1,53	1,52	—	—	—	—	—	—	—
0,03	2,07	2,02	1,97	—	—	—	—	—	—	—
0,04	2,50	2,46	2,38	2,26	—	—	—	—	—	—
0,05	2,92	2,87	2,79	2,67	—	—	—	—	—	2,65
0,06	3,32	3,26	3,18	3,07	—	—	—	—	—	—
0,08	4,08	4,03	3,96	3,86	—	—	—	—	—	—
0,10	4,87	4,80	4,74	4,61	—	—	—	—	—	4,47
0,20	8,51	8,37	8,28	8,20	—	—	—	—	—	7,96
0,30	11,5	11,7	11,6	11,5	—	—	—	—	—	11,3
0,40	14,0	14,8	14,7	14,6	—	—	—	—	—	14,4
0,50	15,9	17,5	17,7	17,6	17,5	17,4	17,4	—	—	17,4
0,60	17,3	20,0	20,7	—	20,4	—	—	—	—	20,3
0,70	18,4	22,0	23,5	—	23,2	—	—	—	—	23,2
0,80	19,3	24,0	26,2	—	26,1	—	—	—	—	26,1
0,90	19,9	25,5	28,6	—	28,9	—	—	—	—	28,9
1,0	20,5	27,1	31,0	—	31,8	31,9	31,9	31,7	—	31,7
1,1	—	—	—	—	34,5	—	—	—	—	—
1,2	—	—	35,0	—	37,1	—	—	—	—	—
1,3	—	—	—	—	39,9	—	—	—	—	—
1,4	—	—	—	—	42,5	—	—	—	—	—
1,5	—	—	—	—	45,0	45,3	45,8	46,0	—	—
2,00	—	—	—	—	56,7	58,9	59,5	59,7	—	59,6
3,0	—	—	—	—	74,6	78,4	85,0	86,0	87,2	87,0
4,0	—	—	—	—	87,4	92,4	108	111	113	114
5,0	—	—	—	—	96,6	105	129	136	139	140
6,0	—	—	—	—	104	114	146	160	164	166
7,0	—	—	—	—	109	121	162	182	188	192
8,0	—	—	—	—	114	126	175	203	212	217
9,0	—	—	—	—	—	131	186	223	235	242
10,0	—	—	—	—	—	135	197	241	256	266
12,0	—	—	—	—	—	—	214	274	296	—
15,0	—	—	—	—	—	—	231	314	351	—
17,5	—	—	—	—	—	—	244	342	392	—
20	—	—	—	—	—	—	253	365	—	—
22,5	—	—	—	—	—	—	—	385	—	—
25	—	—	—	—	—	—	—	402	—	—
30	—	—	—	—	—	—	—	430	—	—
40	—	—	—	—	—	—	—	468	—	—

Gleichspannungswerte. Für effektive Wechselspannungsmessungen durch  $\sqrt{2}$  zu dividieren.

Die Spannungswerte für Funkenstrecken mit einer geerdeten Kugel sind außerordentlich empfindlich gegen Influenzwirkungen. Aus diesem Grunde ist die Genauigkeit dieser Tafel (besonders bei großen Kugeln) geringer zu schätzen als bei Tafel I. Ist die Schlagweite klein gegen den Kugelradius, so geben Tafel I und II gleiche Werte. Bei ebenen Elektroden ist die Funkenspannung unabhängig davon, ob eine Elektrode geerdet ist oder nicht.

## Entladungsspannungen in Gasen.

Die wichtigsten Messungen mit ihren Hauptdaten sind:

### I. Wechsellspannung.

(Kugeldurchmesser Dm., Schlagweite  $\delta$ , in cm.)

Weicker(157)	Dm.	1	2	5	10	15	Spitzen	Anfangsspannung u. Büschelgrenzspannung. Kugel-Kugel bei symmetr. Spannungsverteilung. Kugel-Ebene. Kugel-geerdete Kugel.					
	$\delta$	1-60			1-20	1-15	8-60						
Estorff (35)	Dm.	0,1	0,3	0,45	1,0	1,5	2,15	3,5	5,0	7,5	10,0	15,0	Funkenspannungen. Symm. Spannungsverteilung.
	$\delta$	0,1-45,0									0,1-25		
Peek (98)	Dm.	6,25		12,5		25		50					Symm. Spannungsverteilung und eine Kugel geerdet.
	$\delta$	0,5-10		0,25-20		0,5-40		2-20					
Peek (97)	Dm.	0,316	1,110	2,54	6,66	12,5		25					Symmetrische Spannungsverteilung.
	$\delta$	0,0025-1,27						0,013-12,7					
Chubb u. Fortescue (22)	Dm.	25		37,5		50					Eine Kugel geerdet.		
	$\delta$	1,2-28		3-20		4-16							
Toepler (135a)	Dm.	5		10		15					Anfangsspannungen. Symm. Spannungsverteilung u. eine Kugel geerdet. Metallkäfing von 200 cm Durchmesser.		
	$\delta$	1-12		1-20		1-16							
Kowalski u. Rappel (69)	Dm.	2	3,85	10	15	20	30				Eine Kugel geerdet.		
	$\delta$	0,08-2,2		0,1-1,7	0,1-1,8	0,1-1,9	0,1-1,6	0,1-1,5					
Voegel (142)	Dm.	1		1,4		2					Induktorium, Wechsellspannung, beide Kugeln isoliert.		
	$\delta$	1-8		3-10		2-10							
<b>II. Gleichspannung.</b>													
Heydweiller (56)	Dm.	0,5	1,0	2,0	5,0					Eine Kugel geerdet. Anfangsspannung.			
	$\delta$	0,1-1,5		0,1-1,0	0,1-1,6		0,5-1,6						
Heydweiller (55)	Dm.	1		2					Anfangsspannung. Eine Kugel geerdet.				
	$\delta$	0,02-0,80		0,01-0,80									
Orgler (92)	Dm.	2,5					Eine Kugel geerdet. Metallkäfing.						
	$\delta$	0,04-0,50											
Bichat u. Blondlot(10)	Dm.	1					Eine Kugel geerdet.						
	$\delta$	0,1-2,2											
Villard u. Abraham (141a)	Dm.	5	10	30					Symm. Spannungsverteilung. Anfangsspannung. Auch Kugel-Platte.				
	$\delta$	0,6-53		0,6-36		0,6-13							
Toepler (135a)	Dm.	2					Symm. Spannungsverteilung u. Erdung einer Kugel. Im Metallkäfing von 200 cm Durchmesser.						
	$\delta$	1-6											
Voigt (145)	Dm.	2	4	5	6					Eine Kugel geerdet.			
	$\delta$	1,2-1,6		1,2-5	1,2-5		1,2-4,5						
Müller (87)	Dm.	2		5					Eine Kugel geerdet. Bei größeren Schlagweiten starke Influenzwirkung.				
	$\delta$	0,5-10		0,5-17									
Paschen (93)	Dm.	2,0	1,0		0,5					Eine Kugel geerdet.			
	$\delta$	0,01-0,80		0,01-1,50									
Freyberg(39)	Dm.	0,5-6					Eine Kugel geerdet.						
	$\delta$	0,1-1,0											

## Entladungsspannungen in Gasen.

## II. Gleichspannung. (Fortsetzung.)

Baille (6)	Dm.	0,1	0,35	0,6	1,0	3,0	Eine Kugel geerdet.
	$\delta$	0,05—1,00					
R. de Kowalski, C. r. 138, 487; 1904	Dm.	2,0					Kugel gegen ebene Platte von 15,8 cm Durchm. Gleichspannung (3Thurymaschinen).
	$\delta$	0,1—8					

Weitere Messungen s. noch Quincke (103), Oberbeck (90), Czermak (25), Toepler (130—135), Lohmann (74), Hupka (63), Algermissen (2), Clark u. Ryan (23) (hohe Frequenzen), Nordmeyer (89) (Serienschaltung zweier gleicher Funkenstrecken), Steinmetz (123), Grob (46).  
Über die Durchbruchfeldstärke bei Kugelelektroden vgl. Schuster (120), Heydweiller (55, 56), Rappell u. Kowalski (69), Peek (97, 98), Estorff (35).  
Messungen mit **ebenen** (oder nahezu ebenen) Elektroden:

Autor	Schlagweite cm	Bemerkung
Lord Kelvin (128) (W. Thomson)	0,009—0,13	Eine Elektrode eben, die andere schwach konvex. Werte zu gering. Gleichspannung.
de la Rue u. Müller (133)	0,02—0,5	Ebene Elektroden. Gleichspannung.
Baille (6)	0,0015—1,0	Platte gegen Kugelkalotte (18 cm Durchm.). Gleichspannung.
Freyberg (39)	0,1—1,0	Kreisförmige Platte mit Wulst. Gleichspannung.
Liebig (73)	0,007—1,1	Elektrodenkrümmungsradius 9,76 cm. Durchmesser 4,83 cm. Gleichspannung.
Earhart (27)	$5 \cdot 10^{-4} - 10^{-2}$	Kugel von 2,54 cm Durchmesser gegen ebene Platte. Gleichspannung.
Müller (87)	0,3—5,5	Flache Schalen, 22 cm Durchmesser. Gleichspannung.
Schumann (119)	1—10,8	Flache Schalen, 60 cm Durchmesser, große umgebötelte Bleche 1,50 × 1,50 m. Wechselspannung.
Villard u. Abraham (141a)	0,6—12	Flache Schalen, 80 cm Durchmesser. Gleichspannung.
Guye u. Mercier (50)	0,05—0,5	Ebene Elektroden. Gleichspannung.
Macfarlane (75)	0,1—1	Werte zu klein. Influenz. Gleichspannung.
Baur (8)	0,07—1,02	Werte zu klein. Wechselspannung.

## Ergänzungen zu Tafel I und II:

(Fortsetzung von S. 98.)

Bestrahlung, besonders bei kleinen Schlagweiten, für genaue Messung erforderlich. Abweichungen im Kugeldurchmesser nicht mehr als 0,1%, in der Krümmung nicht mehr als 1% (98). Verdickungen und Metallkragen der Zuleitungen möglichst vermeiden. Abstand von Erde und den nächsten umgebenden Teilen bei symmetrischer Spannungsverteilung mindestens gleich etwa 5fachem, bei geerdeter Kugel gleich etwa 10fachem Kugeldurchmesser. Langsame, stetige Spannungssteigerung. Temperatur und Druckeinfluß innerhalb kleiner Schwankungen proportional der entsprechenden Luftdichte (157) oder Zunahme der Spannung um 1% bei je  $-3^{\circ}\text{C}$  Temperatur- oder  $+8\text{ mm Hg}$  Druckänderung (55,56).

**Verzögerung**, besonders bei kleinen Schlagweiten und feinen Spitzen, wichtig. Siehe 12, 34, 34a, 37, 52, 65, 66, 86a, 87, 92, 109, 124, 149, 153, 157. In  $\text{Cl}_2$ ,  $\text{Br}_2$ ,  $\text{CO}_2$  stärker als in Luft.

**Feuchtigkeitseinfluß**, besonders bei sehr geringer Feuchtigkeit und niederen Drucken von Bedeutung. Siehe 37, 82, 83, 95, 117, 140, 157, 158, 159.

**Elektrodenmaterial** scheinbar nur bei ganz frischen Flächen und in Edelgasen von Einfluß. Siehe 12, 14, 37, 61a, 84, 94, 112, 118, 166; J. J. Thomson, *El.-Durchgang in Gasen* 1906, S. 376; J. S. Townsend, *The Theory of Ionisation of Gases by Collision*, London 1910, S. 81.

**Temperatur**, ohne Einfluß, solange Gasdichte ungeändert. Siehe 7, 11a (1903), 13, 29, 30, 51, 56, 157, 161.

**Polarität**, kein Einfluß, wenn nicht sehr kleine Elektroden (dünne Drähte, Spitzen) und kleinste Schlagweiten. Siehe 56, 87, 93, 60.

**Frequenz**, bis etwa  $10^8\text{ Per. sec}^{-1}$  bei Bestrahlung sehr geringer Unterschied gegen Niederfrequenz. Siehe 1, 2, 23, 99, 116, 124, 162, 164.

**Gleich- und Wechselspannung** geben dieselben Werte der Anfangsspannung, wenn Spitzen und dünne Drähte ausgeschlossen. Siehe 52, 99a, dagegen 169.

## Entladungsspannungen in Gasen.

### Büschelgrenzspannung.

Überschlagsfunke aus der voll ausgebildeten Büschelentladung hervorbrechend [kleine Elektroden bei großen Schlagweiten, z. B. Spitzen bei Schlagweiten von etwa 20 cm an aufwärts (157)].

Bei Wechselfspannung, Spitzen von 24—50° Öffnungswinkel, vorderes Ende etwas abgefeilt, 740 mm Hg, 20° C, 50% relativer Feuchtigkeit, gilt (157)

$$U = 30 + (\delta - 6)(2,8 + 0,06 q)$$

$U$  effektive Spannung in kV,  $\delta$  Schlagweite in cm,  $q$  absolute Feuchtigkeit in g/m<sup>3</sup>. 10 mm Hg Druckzunahme entspricht 2,4% Spannungszunahme.  $U$  nimmt etwas stärker als umgekehrt proportional der absoluten Temperatur ab.

Lineare Beziehung zwischen Spannung und Abstand. Starke Feuchtigkeitsabhängigkeit. Kugeln von 1 cm Durchmesser geben etwa 3%, solche von 2 cm Durchmesser etwa 4% höhere Werte. Siehe auch 46, 68, 130, 131, 132, 135, 141a, 143, 147.

### Kleine Schlagweiten.

Nach Earhart (27), Stahlkugel von 2,52 cm Durchmesser gegen eine Messingscheibe, beide nickelplattiert. Nicht bestrahlt. Beziehung zwischen Spannung und Schlagweite nahezu linear. Zimmertemperatur.

Schlagweite cm · 10 <sup>-4</sup>	Atmosphärische trockene Luft				Strömende Kohlensäure	
	760 mm Hg		150 mm Hg		760 mm Hg	
	Spannung Volt	Durchbruchfeldstärke kV/cm	Spannung Volt	Durchbruchfeldstärke kV/cm	Spannung Volt	Durchbruchfeldstärke kV/cm
5	350	700	—	—	—	—
10	400	400	—	—	400	400
20	470	235	340	170	470	235
30	540	180	362	121	542	181
40	610	152,5	380	95,0	602	150,5
50	680	136	402*	81,4	660	132
60	750	125	420	69,2	713	119
70	822	117	438	61,0	764	109
80	888	111	455	55,5	—	—
90	955	106	470	51,8	—	—
100	1025	102,5	488	50,2	—	—
	Abweichung der exp. Punkte ± 5%		* schwacher Knick in der Kurve Abweichung ± 1,5%		Abweichung ± 5%	

### Kleinste Schlagweiten und hohes Vakuum.

Die Funkenspannung wird proportional der Schlagweite. (Konstante Durchbruchfeldstärke.) Unabhängig von der Natur des Gases, sehr stark abhängig von der Elektrodenbeschaffenheit. Geringer Polaritätseffekt.

Nach Hoffmann (58, 59, 60) für Drucke < 10<sup>-3</sup> mm Hg, Schlagweiten 0,028—0,6 · 10<sup>-4</sup> cm, plötzlicher Stromanstieg (Stromstärke ≈ 1,73 · 10<sup>-5</sup> A) für hochglanzpolierte Elektroden bei

Pt-Ir : 4800 kV/cm ;  
Cu-Cu : 3480—3800 kV/cm (verschiedene Sorten) ;  
Al-Al : 3400 kV/cm ;  
Zn-Zn : 2700 kV/cm ;  
Pb-Pb : 2200 kV/cm.

Kleinste Schrammen von 10<sup>-3</sup> mm Breite verringern die Durchbruchfeldstärke auf etwa 1/5.

Millikan und Sawyer (85) und Millikan und Shackelford (86) finden bei Wolframelektroden nach Erhitzen auf 2700° C im höchsten Vakuum den ersten Funken bei 6000 kV/cm, bei rotgeglühten nur 400—700 kV/cm. Weiter siehe 4, 5, 15, 28, 57, 67, 77, 111, 121, 126, 166, 167a, 168; s. dagegen Lilienfeld (71), der im höchsten Vakuum dunkle Ströme beobachtet.

### Verschiedene Gase bei Kugelelektroden und verschiedenen Drucken.

Normale atmosphärische Luft nach Orgler (92). Elektroden Messingkugeln von 1,25 cm Radius Eine Elektrode geerdet. In einem allseitigen geerdeten Metallkäfig von 19,5 cm Durchmesser und etwa 21 cm Höhe. Bestrahlt. Temperatur ≈ 18° C. Spannungen in kV:

Entladungsspannungen in Gasen.

Verschiedene Gase bei Kugelelektroden und verschiedenen Drucken. (Fortsetzung.)

Druck mm Hg	Schlagweite cm							
	0,04	0,06	0,08	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50
750	2,253	3,036	3,807	4,566	8,202	11,57	14,65	17,45
650	2,040	2,724	3,396	4,062	7,245	10,21	12,95	15,47
550	1,818	2,424	3,024	3,612	6,375	8,946	11,29	13,46
450	1,638	2,160	2,658	3,120	5,475	7,650	9,618	11,42
350	1,374	1,818	2,220	2,616	4,506	6,273	7,872	9,339
250	1,110	1,422	1,725	2,040	3,495	4,800	6,000	7,116
150	—	1,062	1,281	1,491	2,460	3,300	4,077	4,848
100	—	0,771	0,933	1,092	1,839	2,448	3,015	3,579
60	—	0,582	0,690	0,795	1,293	1,740	2,139	2,505
40	—	0,483	0,567	0,648	1,017	1,350	1,644	1,914
20	—	—	—	—	0,744	0,939	1,110	1,266

CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> nach Orgler (92) für die gleiche Anordnung:

Druck in mm Hg	750	650	550	450	350	250	150	100	60	40	20	
0,50 cm Schlagweite	Luft	17,45	15,47	13,46	11,42	9,339	7,116	4,848	3,579	2,505	1,914	1,266
	CO <sub>2</sub>	15,73	14,00	12,33	10,49	8,640	6,762	4,656	3,537	2,520	2,010	—
	H <sub>2</sub>	9,858	8,805	7,722	6,651	5,469	4,212	2,871	2,148	1,554	1,140	—
	N <sub>2</sub>	18,13	16,20	14,18	12,08	9,954	7,617	5,175	3,840	2,691	2,010	—
	O <sub>2</sub>	15,71	14,02	12,14	10,25	8,325	6,372	4,320	3,171	2,244	1,710	—
0,10 cm Schlagweite	Luft	4,566	4,062	3,612	3,120	2,616	2,040	1,491	1,092	0,795	0,648	—
	CO <sub>2</sub>	4,362	4,002	3,573	3,120	2,667	2,169	1,626	1,275	1,002	0,870	—
	H <sub>2</sub>	2,766	2,481	2,229	1,917	1,614	1,299	0,993	0,762	0,603	—	—
	N <sub>2</sub>	4,890	4,398	3,918	3,366	2,841	2,235	1,605	1,218	—	—	—
	O <sub>2</sub>	4,080	3,699	3,291	2,844	2,385	1,860	1,359	1,026	—	—	—

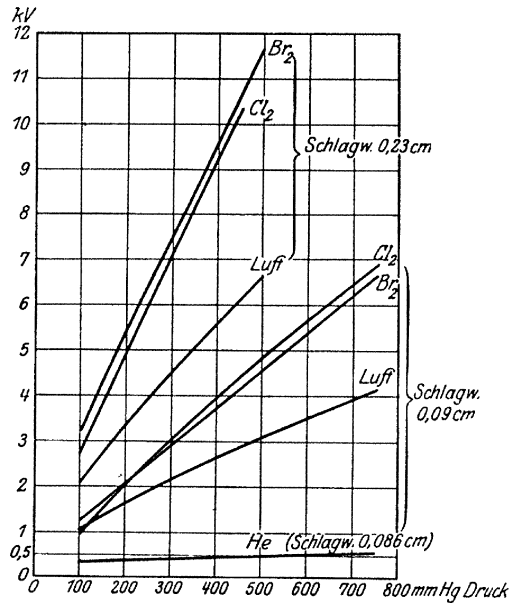


Fig. 1.

Ritters (109) Beobachtungen in Cl<sub>2</sub> und Br<sub>2</sub> auf einheitliche Schlagweiten umgerechnet, zeigt Fig. 1. Starke Verzögerungen. Bestrahlt. Temperatur 18—20° C. Ferner ist eine Kurve für He (aus Cleveit, also argonhaltig) eingetragen. Siehe weiter 73, 88, 104, 129, Gasmische siehe 11 a, (1901) 52.



Entladungsspannungen in Gasen.

Paschens Gesetz und geringe Drücke.

Messungen von Carr (14) in Luft, CO<sub>2</sub>, NO, SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, O<sub>2</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>, nicht bestrahlt, aber lange gewartet, Zimmertemperatur, Gas nicht erneuert, Schlagweiten 1—10 mm, z. T. in Fig. 2, in der auch die Werte von E. Meyer (82) für Luft (untere Kurve für kleinere  $p\delta$ ). (Mittl. Temp. 21,5° C, staubfreie trockene Luft, immer erneuert und frisch, CO<sub>2</sub>-haltig, Feuchtigkeit unter 0,04 mm Hg, bestrahlt mit RaBr<sub>2</sub>.)

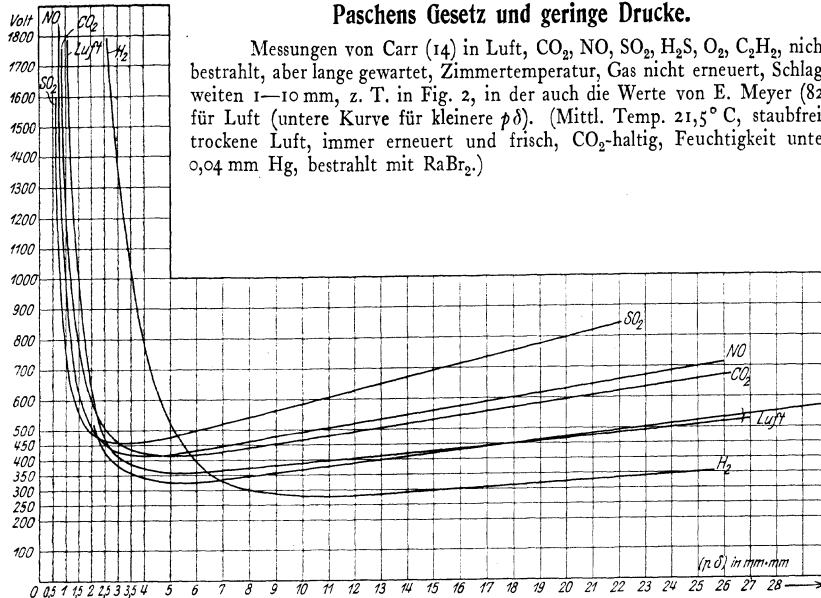


Fig. 2.

Andere Gase siehe Fig. 3. Luft, nach der ersten Messung von Paschen (93) (nicht bestrahlt), Earhart (27) (Messungen bei 760 und 150 mm Hg, nicht bestrahlt), E. Meyer (82), Townsend (136), Townsend u. Hurst (137) (altes, nicht jedesmal erneuertes Gas, bestrahlt), Carr (14). N<sub>2</sub> nach Hurst (64) (gut gereinigt, aber ohne Einfluß von zugesetzten Spuren von O<sub>2</sub>), Strutt (125) (äußerst rein). H<sub>2</sub> nach Townsend (136) und Townsend u. Hurst (137) (sehr sorgfältig gereinigt, bestrahlt). Ar nach Gill u. Pidduck (42) 1908, Zn-Elektroden [siehe auch G. Holst u. A. N. Koopmanns (61)]. He nach Gill u. Pidduck (42) 1912 (sehr sorgfältig gereinigt, siehe auch Strutt (125), Zn-Elektroden.

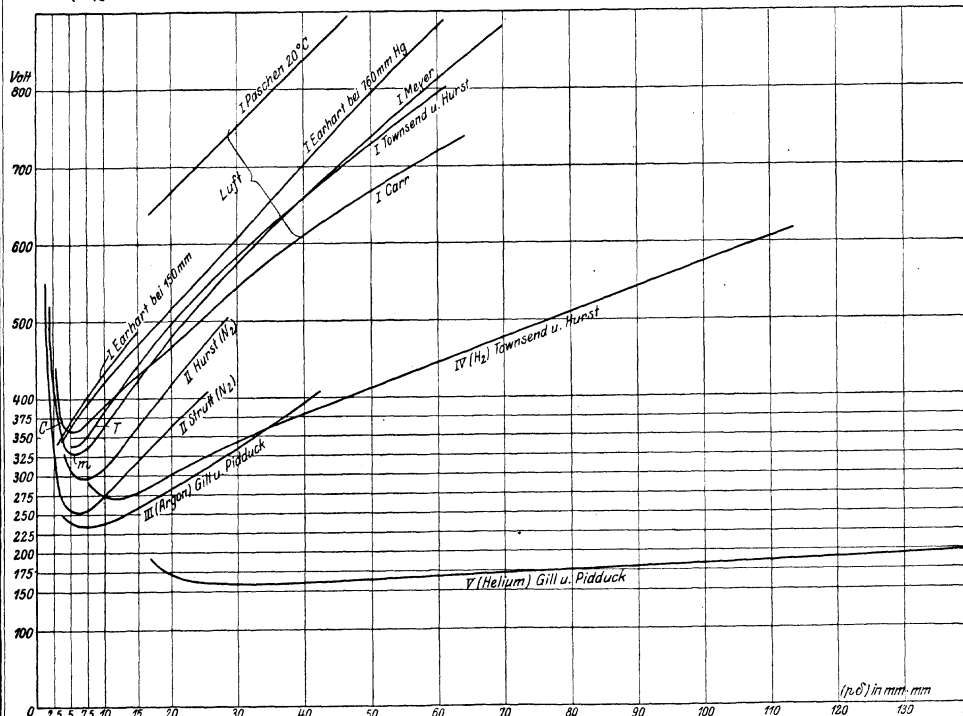


Fig. 3.

## Entladungsspannungen in Gasen.

Minimumspannungen (Minimumpotentiale) und kritische Werte von  $(p\delta)$ : $(p$  Druck in mm Hg,  $\delta$  Schlagweite in mm).

Gas	Minimumspannung Volt	$(p\delta)_k$ mm · mm	Mittl. freie Weiglänge bei 1 mm Hg Druck $\lambda$ in mm	$\frac{(p\delta)_k}{\lambda}$	Bemerkungen
Luft . . .	341	5,62	0,073	77	Strutt (125) } Gas nicht erneuert. Starke Verzögerung beobachtet. Nicht bestrahlt, aber lange gewartet. Keine Temperatur angegeben.
	350—351	5,91	—	81	
	334	5,12	—	70	Townsend (136) } Gas nicht erneuert. Elektroden nicht jedesmal geputzt. Geringer Einfluß des Vorschaltwiderstandes. Bestrahlt.
	<336	<5,06	—	—	
	356—400	6,0	—	—	Earhart (27). Bei normalem Druck und sehr kleinen Abständen. Nicht bestrahlt.
327	5,67	—	78	E. Meyer (82). Staubfreie trockene frische Luft, nicht von CO <sub>2</sub> befreit. Saubere Elektroden. Bestrahlt. Obere Feuchtigkeitsgrenze ca. 0,04 mm Hg. M tll. Temperatur 21° C.	
H <sub>2</sub> . . .	302—308	14,4	0,135	—	Strutt (125).
	278—280	12,55	—	93	Carr (14).
	273	11,5	—	85	Townsend und Hurst (137). Sehr reiner H <sub>2</sub> . Bestrahlt. Geringer Einfluß des Vorschaltwiderstandes.
O <sub>2</sub> . . .	455	4,8	0,078	62	Carr (14). Je nach Erzeugung. Hohe Werte dem Ozon zugeschrieben.
	453	6,9	—	—	
	439	7,2	—	92	
N <sub>2</sub> . . .	388	je nach Herkunft und Reinigung	0,072	—	Strutt (125). Gut getrocknetes Gas. Reinstes Gas vielfach durch flüssige K-Na-Legierung geperlt.
	369		—		
	347		—		
	351		—		
	251 äußerst rein		6,7	—	
	298	je nach Her-	—	104	Hurst (64). Spuren von O <sub>2</sub> als von geringem Einfluß gefunden. Bestrahlt.
	295		stellung	—	
	302			—	
312 m. 5% O <sub>2</sub> Zusatz	—	—	—	—	
CO <sub>2</sub> . . .	419—420	5,08	0,048	106	Carr (14).
	485	4,64	—	97	Hurst (64). Wert außergewöhnlich hoch. (Altes, nicht erneuertes Gas.)
He . . .	261 (—326)	27,0	0,217	124	Strutt (125). Sehr empfindlich gegen Verunreinigungen.
	156	39—40	—	182	Gill und Pidduck (42) 1908 und 1912. Äußerst rein. Mit Cocosnußkohle und flüssiger Luft behandelt. Bei ca. 98% He Spannung 231 Volt. Ultraviolett bestrahlt. Zn-Elektroden.
Ar . . .	233	7,56	0,077	98	Gill und Pidduck (42) 1908. Auf 1 bis 2 Volt genau. Bestrahlt. Sehr sorgfältig gereinigt, s. a. Holst und Koopmanns (61).
SO <sub>2</sub> . . .	457	3,3	0,036	92	Carr (14).
NO . . .	418	5,0	0,052	96	
H <sub>2</sub> S . . .	414	6,0	0,048	125	
C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> . . .	468	7,13	—	—	
Na-Dampf	335	0,4	—	—	Dunoyer (26).

Weitere Messungen zum Paschenschen Gesetz über größere Druckbereiche siehe Peace (94), Paschen (93), de la Rue u. Müller (113), Orgler (92), Wagner (146), E. Bouty (11a) 1905.

Entladungsspannungen in Gasen.

Funkenspannung  $U$  für verschiedene  $(p \delta)$  nach E. Meyer (82)

für atmosphärische trockene frische Luft, 21,5° C.

$p \delta$ mm · mm	2	3	4	5	6	7	8	9	10	20	30	40	50	60	70
$U$ Volt	520	385	338	329	328	332	342	353	364	477	574	659	737	811	879

Hohe Drucke.

Zunächst lineares Wachsen der Spannung mit dem Druck, dann Zurückbleiben der Spannung. Abweichungen vom Paschenschen Gesetz, um so mehr, je kleiner die Schlagweite. Siehe 16, 17, 47, 48, 49, 50, 52, 53, 79, 154, 165, 167.

Elektrodenlose Entladung.

Flaches zylindrisches Gefäß mit dem betreffenden Gase in ein homogenes elektrisches Feld gebracht (Bouty 11a). Für Werte  $(p \delta)$  oberhalb der Minimumspannung ergibt sich die Durchbruchfeldstärke

$$E_{\text{Volt/cm}} = a \sqrt{p \left( p + \frac{k}{\delta} \right)}$$

$p$  in cm Hg,  $\delta$  in cm gemessen,  $a$ ,  $k$  Konstante.

Für genügend große  $(p \delta)$  die Durchbruchspannung  $U$

$$U_{\text{Volt}} = E \delta = \frac{a k}{2} + a(p \delta)$$

(Paschens Gesetz). Konstante  $a$  von Bouty als dielektrische Festigkeit bezeichnet.

Gas	$a$	Gas	$a$
Luft . . . . .	418—425	Äthylpropionat . . . . . 28,7°	1083
H <sub>2</sub> . . . . .	250	Aceton . . . . . 24,1°	1100
CO <sub>2</sub> . . . . .	570	Äthylformiat . . . . . 31,8°	1110
H <sub>2</sub> O-Dampf . . . . . 22°	500	Methylacetat . . . . . 28,7°	1250
Acetylen . . . . .	740	Schwefelkohlenstoff . . . . . 29,6°	1510
Leuchtgas . . . . .	480	Toluol . . . . . 28,7°	1610
Methylalkohol . . . . . 22,3°	616	Benzol . . . . . 28,8°	1670
Äthylalkohol . . . . . 22,8°	800	Hg-Dampf, auf 17° C reduziert	354
Äther . . . . . 26,4°	1000	Ar } sehr empfindl. gegen Ver-	38
Methylformiat . . . . . 29,5°	1020	Ne } unreinigungen u. unregel-	7,6
		He } mäßig (oberer Grenzwert)	18,3

$\frac{a k}{2} \approx 1760$  Volt für Luft, 1350 für H<sub>2</sub>.  $a p \delta \approx 2,46 \cdot 10^7$  für 1 g durchschlagene Luft und 1 cm<sup>2</sup> Querschnitt.

Weiteres s. Bouty (11a), Wagner (146).

Spitzenentladung.

Anfangsspannung (in Volt) einer feinen Spitze in verschiedenen Gasen bei Bestrahlung.

[Warburg und Gorton (153).]

[Gleich der Minimumspannung (Röntgen (110)), außer negative Spitze in N<sub>2</sub>.] Spitze aus einem 0,25 mm dicken Pt-Draht ausgezogen, 15 mm aus einem Glasrohr hervorragend, in einem 4,5 cm hohen, 4,7 cm weiten Metallzylinder. Auf 20° C reduziert. (N<sub>2</sub> war O<sub>2</sub>-frei, O<sub>2</sub> enthielt 8% N<sub>2</sub>):

Gas	760 mm Hg			485 mm Hg		
	positive A-sp. Volt	negative A-sp. Volt	+ A-sp. - A-sp.	positive A-sp. Volt	negative A-sp. Volt	+ A-sp. - A-sp.
H <sub>2</sub> . . .	1370	1140	1,20	1120	1000	1,12
N <sub>2</sub> . . .	1930	1400	1,36	1630	1200	1,36
O <sub>2</sub> . . .	2550	1950	1,31	—	—	—
Luft . .	2250	1660	1,35	1930	1500	1,29
Cl <sub>2</sub> . .	2680	1900	1,41	2400	1660	1,45
Br <sub>2</sub> . .	} Sehr starke Wirkung der Bestrahlung. } A-sp. um 380 Volt herabgesetzt.			2500	1700	1,47
J <sub>2</sub> . . .				2620	1870	1,40

Feine Spitzen siehe 36, 43, 101, 102, 122a, 127, 143, 148—152.

## Entladungsspannungen in Gasen.

### Spitzenentladung. (Fortsetzung.)

#### Anfangsspannung halbkugelig abgerundeter Drähte [Zeleny (170)] gegen eine ebene Platte.

Trockene atmosphärische Luft, dauernd strömend. Bestrahlt mit RaBr<sub>2</sub>. Glasgefäß mindestens 13 cm Durchmesser. Spitze 1,5 cm lang, Platte 7,5 cm Durchmesser. Drahtenden abgedreht, oder sorgfältig auf einem Stein abgerieben. Spitzen aus Messing, nur die beiden dünnsten aus Pt. Entladungsbeginn mit Galvanometer von 10<sup>-8</sup> A Empfindlichkeit beobachtet. Werte auf 74 cm Hg und 20° C reduziert.

#### 1. Abstand Spitze—Platte 1,5 cm.

Durchmesser der Spitze mm	0,0244	0,039	0,091	0,174	0,244	0,50	0,73	1,13	2,005
Positive Entladungsspannung Volt	1610	1990	2480	3050	3405	4650	5550	6800	9300
Negative Entladungsspannung Volt	1133	1470	2010	2823	3160	4740	Ströme von dickeren Spitzen intermittierend.		

#### 2. Abstand Spitze—Platte 1 cm.

Positive Entladungsspannung Volt	—	1880	2350	2910	3267	4250	—	6480	8800
Negative Entladungsspannung Volt	—	1454	1899	2820	3026	Schwer, stetige Entladungen zu erhalten.			

Näherungsleichungen:

Positive Entladung: 1,5 cm Abstand:  $U = 5465 \sqrt{d} + 755$

$d$  Spitzendurchmesser in mm. Bis  $d = 0,7$  mm gültig.

Wenn  $d > 0,5$  mm  $U = 6420 \sqrt{d}$ .

1,0 cm Abstand:  $U = 5340 \sqrt{d} + 675$  bis  $d = 0,7$  mm.

Negative Entladung: 1,5 cm Abstand:  $U = 6400 \sqrt{d} + 90$

1,0 cm Abstand:  $U = 5300 \sqrt{d} + 385$ .

Bei negativer Entladung nur kleinste Ströme zulässig.

Druckeinfluß (50—75 cm Hg):  $\frac{\partial U}{\partial p} = 0,0087 U_{p=74 \text{ cm}} \text{ (Pos. Entl.)}$

$\frac{\partial U}{\partial p} = 0,0096 U_{p=74 \text{ cm}} \text{ (Neg. Entl.)}$

Temperatureinfluß (0°—23° C). Für 1° C Abnahme steigt die positive Entladungsspannung um 0,18%, die negative um 0,28%.

### Zylindrische, sich umhüllende Elektroden.

Vorteil: Unabhängigkeit von äußeren Feldern. Nachteil: große Dimension bei hohen Spannungen und u. U. die Kapazität. Durchbruchfeldstärke am Innenzylinder unabhängig von Dimension und Lage des Außenzylinders, wenn beide sich nicht sehr nahe kommen. Außenzylinder mindestens doppelt so lang wie sein Durchmesser, Innenzylinder noch einmal so lang.

Anwendung zu Meßzwecken (Coronavoltmeter) siehe Whitehead u. Pullen (163), Whitehead u. Isshiki (164).

**Tabelle der Durchbruchfeldstärke (entsprechend der Anfangsspannung).  $\mathcal{E}_{\text{max}}$  (in kV/cm) an der Oberfläche kreiszylindrischer Leiter vom Radius  $r$  (in cm) für Wechselspannung. 760 mm. 20° C.**

$r$	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$\mathcal{E}_{\text{max}}$	75,1	70,9	67,7	65,3	63,5	62,0	53,3	49,0	46,7	44,8	43,5	42,4	41,5	40,8	40,2
$r$	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
$\mathcal{E}_{\text{max}}$	36,6	34,7	33,7	33,1	32,6	32,2	31,9	31,6	31,3	31,1	30,9	30,75	30,6	30,5	

Nach Messungen von Peek (96) ( $r = 0,06 - 1,0$ ), Whitehead (158, 159, 160) ( $r = 0,045 - 0,24$ ), Whitehead u. Isshiki (164) ( $r = 0,052 - 0,633$ ), Whitehead u. Fitch (161), Petersen (100) ( $r = 0,05 - 5,0$ ), Schumann (119) ( $r = 1,15 - 16$ ). Zwei parallele Drähte siehe Peek (95).

Messungen bei Gleichspannungen, wo Polaritätseffekte bei dünnen Drähten, die sich bei  $r \approx 0,01$  cm umkehren, siehe Schaffers (118), Farwell (37), Watson (156), Whitehead u. Brown (163a), Whitehead u. Lee (164a). Ferner 3, 24, 40, 41, 70, 76, 80, 99a, 112, 114, 115, 140.

## Entladungsspannungen in Gasen.

Tabelle der Durchbruchfeldstärke (entsprechend der Anfangsspannung). (Fortsetzung.)

Die Werte unterscheiden sich nur bei dünnen Drähten um Prozente von den Wechselspannungswerten.

Über Druck- und Temperaturabhängigkeiten siehe auch die Arbeiten von Peek, Whitehead, Farwell. Innerhalb begrenzter Bereiche gilt als Näherung  $\mathcal{E} = A\delta + B\sqrt{\frac{\delta}{r}}$ .  $A, B$  Konstante,  $\delta$  Luftdichte.

Zum Vergleich diene folgende

Tabelle der Durchbruchfeldstärke  $\mathcal{E}_{\max}$  (in kV/cm) ebener Elektroden vom Abstände  $\delta$  (in cm) (siehe auch Tabelle I und II).

760 mm Hg. 20° C.

$\delta$	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10	
$\mathcal{E}_{\max}$	95,6	73,0	62,6	56,9	52,9	50,0	48,3	46,8	45,7	44,7	
$\delta$	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00	
$\mathcal{E}_{\max}$	44,7	39,8	37,5	35,9	34,7	33,9	33,2	32,6	32,1	31,7	
$\delta$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$\mathcal{E}_{\max}$	31,7	29,8	29,0	28,5	28,0	27,7	27,4	27,1	26,8	26,6	26,4

## Literatur betreffend Entladungsspannungen in Gasen.

- |   |   |
|---|---|
| <p>1) <b>Alexanderson</b>, Gen. El. Rev. 1914, S. 427.<br/>         2) <b>Algermissen</b>, Ann. d. Phys. (4) 19, 1016; 1007, 1906.<br/>         3) <b>J. E. Almy</b>, Sill. Journ. (4) 12, 175; 1902.<br/>         4) „ Phil. Mag. (6) 16, 456; 1908.<br/>         5) „ Phys. ZS. 9, 498; 1908.<br/>         6) <b>J. B. Baille</b>, Ann. chim. phys. (5) 25, 486; 1882.<br/>         7) „ Ann. chim. phys. (5) 29, 181; 1883.<br/>         8) <b>C. Baur</b>, Elektrot. ZS. 25, 7; 1904.<br/>         9) <b>E. Bennet</b>, Proc. Amer. Inst. Electr. Eng. 32, 1471; 1913.<br/>         10) <b>E. Bichat</b> u. <b>R. Blondlot</b>, Journ. phys. (2) 5, 457; 1886.<br/>         11) <b>E. Bloch</b>, Le Rad. 8, 51; 1911.<br/>         11a) <b>E. Bouty</b>, C. r. 131, 443 u. 503; 1900; 138, 616; 1904; 141, 312; 1905; 149 u. 150, 1643; 1910.<br/>         12) <b>N. Campbell</b>, Phil. Mag. (6) 38, 215; 1919.<br/>         13) <b>P. Cardani</b>, Rend. Linc. (4) 6, 44; 1888.<br/>         14) <b>W. R. Carr</b>, Phil. Trans. (A) 201, 403; 1903.<br/>         15) <b>E. Carter</b>, Phys. Rev. 3, 453; 1914.<br/>         16) <b>L. Cassuto</b> u. <b>A. Occhialini</b>, N. Cim. (5) 14, 330; 1907.<br/>         17) <b>G. Ceruti</b>, Rend. Lomb. (2) 42, 446; 1909.<br/>         18) <b>A. P. Chattock</b>, Phil. Mag. (5) 32, 285; 1891.<br/>         19) <b>A. P. Chattock</b> u. <b>A. M. Tyndall</b>, Phil. Mag. (6) 19, 449; 1910.<br/>         20) <b>A. P. Chattock</b>, Phil. Mag. (6) 20, 266; 1910.<br/>         21) <b>A. P. Chattock</b> u. <b>A. M. Tyndall</b>, Phil. Mag. (6) 20, 277; 1910.<br/>         22) <b>L. W. Chubb</b> u. <b>C. Fortescue</b>, Proc. Amer. Inst. Electr. Eng. 32, 629; 1913.</p> | <p>23) <b>J. C. Clark</b> u. <b>H. J. Ryan</b>, Proc. Amer. Inst. Electr. Eng. 33, 937; 1914; Elektrot. ZS. 36, 484; 1915.<br/>         24) <b>S. J. Crooker</b>, Phys. Rev. 8, 344; 1916.<br/>         25) <b>P. Czermak</b>, Wien. Ber. 97 [2a], 307; 1888.<br/>         26) <b>Dunoyer</b>, C. r. 155, 270; 1912.<br/>         27) <b>R. F. Earhart</b>, Phil. Mag. (6) 1, 147; 1901.<br/>         28) „ Phil. Mag. (6) 16, 48; 1908.<br/>         29) „ Phys. Rev. 29, 293; 1909.<br/>         30) „ Phys. Rev. 31, 652; 1910.<br/>         31) „ Phys. Rev. (2) 3, 103; 1914.<br/>         32) „ Phys. Rev. (2) 4, 135; 1914.<br/>         33) <b>F. W. Edmondson</b>, Phys. Rev. 6, 65; 1898.<br/>         34) <b>P. J. Edmunds</b>, Phil. Mag. (6) 28, 234; 1914.<br/>         34a) <b>M. Esch</b>, Diss. Münster 1908.<br/>         35) <b>W. Estorff</b>, Elektrot. ZS. 37, 60; 1916; Diss. Berlin 1915.<br/>         36) <b>P. Ewers</b>, Ann. d. Phys. 17, 780; 1905.<br/>         37) <b>S. P. Farwell</b>, Proc. Amer. Inst. Electr. Eng. 33, 1693; 1914.<br/>         38) <b>G. C. Foster</b> u. <b>Pryson</b>, Chem. News 49, 114; 1884.<br/>         39) <b>J. Freyberg</b>, Wied. Ann. 38, 231; 1889.<br/>         40) <b>O. A. Gage</b>, Phys. Rev. 30, 720; 1910.<br/>         41) <b>J. M. Gaugain</b>, Ann. chim. phys. (4) 8, 75; 1866.<br/>         42) <b>E. W. B. Gill</b> u. <b>F. B. Pidduck</b>, Phil. Mag. (6) 16, 280; 1908; (6) 23, 837; 1912.<br/>         43) <b>F. R. Gorton</b>, Verh. D. phys. Ges. 7, 217; 1905.<br/>         44) <b>L. Gouy</b>, C. r. 150, 1652; 1910.<br/>         45) „ C. r. 151, 1020; 1910.<br/>         46) <b>H. Grob</b>, Elektrot. ZS. 25, 951; 1904.<br/>         47) <b>C. E.</b> u. <b>H. Guye</b>, C. r. 140, 1320; 1905.<br/>         48) „ Arch. de Genève (4) 20, 111; 1905.</p> |
|---|---|

Literatur betreffend Entladungsspannungen in Gasen.  
(Fortsetzung.)

- 49) C. E. Guye u. C. Stancescu, Arch. de Genève (4) 43, 131; 1917.  
50) C. E. Guye u. P. Mercier, Arch. de Genève (5) 2, 30 u. 99; 1920.  
51) W. Snow Harris, Phil. Trans. 124, 230; 1834.  
52) F. Hayashi, Ann. d. Phys. (4) 45, 431; 1914.  
53) A. de Hemptinne, Bull. Sc. Acad. Belg. 8, 603; 1902.  
54) J. Herweg, Ann. d. Phys. (4) 24, 326; 1907.  
55) A. Heydweiller, Wied. Ann. 40, 464; 1890.  
56) „ Wied. Ann. 48, 213; 1893.  
57) M. Hobbs, Phil. Mag. (6) 10, 617; 1905.  
58) G. Hoffmann, Phys. ZS. 11, 691; 1910.  
59) „ Verh. D. phys. Ges. 12, 880; 1910.  
60) „ ZS. f. Phys. 4, 363; 1921.  
61) G. Holst u. A. N. Koopmans, Versl. K. Akad. van Wet. 26, 502; 1917.  
61a) G. Holst u. E. Oosterhuis, Physica 1, 78; 1921.  
62) F. Horton, Phil. Mag. (6) 26, 902; 1913.  
63) E. Hupka, Ann. d. Phys. (4) 36, 440; 1911.  
64) H. E. Hurst, Phil. Mag. (6) 11, 534; 1906.  
65) G. Jaumann, Wien. Ber. 97 [2], 765; 1888.  
66) „ Wied. Ann. 55, 656; 1895.  
67) C. Kinsley, Phil. Mag. (6) 9, 692; 1905.  
68) Klingelfuess, Ann. d. Phys. (4) 5, 855; 1901.  
69) J. v. Kowalski u. U. Rappel, Phil. Mag. (6) 18, 699; 1909.  
70) J. Kunz, Phys. Rev. 8, 28; 1916.  
71) J. E. Lillienfeld, Verh. D. phys. Ges. 2, 13; 1921.  
72) „ Sächs. Ak.-Ber. 71, 145; 1919.  
73) G. A. Liebig, Phil. Mag. (5) 24, 106; 1887.  
74) H. Lohmann, Ann. d. Phys. (4) 22, 1008; 1907.  
75) A. Macfarlane, Phil. Mag. (5) 10, 389; 1880.  
76) D. Mac Kenzie, Phys. Rev. 5, 294; 1915; Elektrot. ZS. 37, 9; 1916.  
77) E. Madelung, Phys. ZS. 8, 68; 1907.  
78) E. Mascart, Traité d'él. stat. 2, 87, 93; 1876.  
79) P. Mercier u. G. Hammerschaimb, Arch. de Genève (5) 2, 421; 1920.  
80) A. B. Meservey, Phil. Mag. (6) 21, 479; 1911.  
81) H. Meurer, Ann. d. Phys. 28, 199; 1909.  
82) E. Meyer, Ann. d. Phys. (4) 58, 297; 1919.  
83) E. Meyer, Ann. d. Phys. (4) 65, 335; 1921.  
84) „ Mitt. phys. Ges. Zürich 1919, S. 70.  
85) R. A. Millikan u. R. A. Sawyer, Phys. Rev. 12, 167; 1918.  
86) R. A. Millikan u. B. E. Shackelford, Phys. Rev. 15, 239; 1920.  
86a) S. D. Morgan, Phil. Mag. (6) 41, 462; 1921.  
87) C. Müller, Ann. d. Phys. (4) 28, 585; 1909.  
88) Natterer, Wied. Ann. 38, 63; 1889.  
89) P. Nordmeyer, Phys. ZS. 9, 835; 1908.  
90) A. Oberbeck, Wied. Ann. 64, 193; 1898.  
91) A. v. Obermayer, Wien. Ber. 100 [2], 134; 1889.  
92) A. Orgler, Ann. d. Phys. (4) 1, 159; 1900.  
93) F. Paschen, Wied. Ann. 37, 69; 1889.  
94) J. B. Peace, Proc. Roy. Soc. 52, 99; 1892.  
95) F. W. Peek, Trans. Amer. Inst. Electr. Eng. 30, 1889; 1911 (Proc. Amer. Inst. Electr. Eng. 30, 1485; 1911; Elektrot. ZS. 33, 60; 1912).  
96) „ Trans. Amer. Inst. Electr. Eng. 31, 1085; 1912 (Elektrot. ZS. 34, 298; 1913).  
97) „ Trans. Amer. Inst. Electr. Eng. 32, 1337; 1913.  
98) „ Proc. Amer. Inst. Electr. Eng. 33, 889; 1914 (Elektrot. ZS. 37, 11; 1916).  
99) „ Proc. Amer. Inst. Electr. Eng. 34, 1695; 1915 (Elektrot. ZS. 37, 246; 1916).  
99a) „ Trans. Amer. Inst. Electr. Eng. 35, 783; 1916.  
100) W. Petersen, Hochspannungstechnik S. 43.  
101) J. Precht, Wied. Ann. 49, 150; 1893.  
102) „ Wied. Ann. 66, 676; 1898.  
103) G. Quincke, Wied. Ann. 19, 568; 1883.  
104) Ramsay u. Collie, Proc. Roy. Soc. 59, 257; 1896.  
105) A. Righi, Nuovo Cim. (2) 16, 97; 1876.  
106) „ Rend. Acad. Bologna 14, 151; 1909/10.  
107) „ Le Rad. 7, 285; 1910.  
108) „ Le Rad. 8, 135; 196; 1911.  
109) F. Ritter, Ann. d. Phys. (4) 14, 118; 1904.  
110) W. C. Röntgen, Gött. Nachr. 1878, S. 390.  
111) F. Rother, Phys. ZS. 12, 671; 1911; Ann. d. Phys. 44, 1238; 1914.  
112) W. de la Rue u. H. W. Müller, Phil. Trans. 169 I, 55; 1878.  
113) W. de la Rue u. H. W. Müller, Phil. Trans. 171, 109; 1880.  
114) H. J. Ryan, Trans. Amer. Inst. Electr. Eng. 23, 275; 1904.  
115) „ Proc. Amer. Inst. Electr. Eng. 30, 1; 1911 (Elektrot. ZS. 32, 1104; 1911).  
116) H. J. Ryan u. R. G. Marx, Electr. 78, 6; 1916.  
117) H. Saegusa, Sc. Rep. of the Tohoku Imp. Univ. 9, 423; 1920.  
118) F. Schaffers, Phys. ZS. 14, 981; 1913; 15, 405; 1914.  
119) W. O. Schumann, Arch. f. Elektrot. 11, 1; 1922.  
120) A. Schuster, Phil. Mag. (5) 29, 182; 1890.  
121) Shaw, Proc. Roy. Soc. 73, 337; 1904.  
122) H. Sieveking, Ann. d. Phys. (4) 20, 209; 1906.  
122a) J. Stark, Verh. D. phys. Ges. 6, 113; 1904.  
123) C. P. Steinmetz, Trans. Amer. Inst. Electr. Eng. 15, 281; 1899.  
124) C. P. Steinmetz u. Hayden, Trans. Amer. Inst. Electr. Eng. 29, 1125; 1910.

Literatur betreffend Entladungsspannungen in Gasen.  
(Fortsetzung.)

- 125) R. J. Strutt, Phil. Trans. Roy. Soc. (A) 193, 377; 1900.  
126) „ Proc. Roy. Soc. (A) 89, 68; 1913/14.  
127) Tamm, Ann. d. Phys. (4) 6, 259; 1901.  
128) W. Thomson (Lord Kelvin), Phil. Mag. (4) 20, 316; 1860 (Proc. Roy. Soc. 10, 326; 1860).  
129) L. Tits, Ann. Soc. Scient. Brüssel 31 II, 1; 1907.  
130) M. Toepler, Ann. d. Phys. (4) 7, 477; 1902.  
131) „ Ann. d. Phys. (4) 10, 730; 1903.  
132) „ Ann. d. Phys. (4) 19, 191; 1906.  
133) „ Ann. d. Phys. (4) 22, 119; 1907.  
134) „ Ann. d. Phys. (4) 29, 153; 1909.  
135) „ Elektrot. ZS. 28, 998, 1025; 1907.  
135a) „ ZS. techn. Phys. 3, 327; 1922.  
136) J. S. Townsend, Phil. Mag. (6) 6, 598; 1903.  
137) J. S. Townsend u. H. E. Hurst, Phil. Mag. (6) 8, 738; 1904.  
138) J. S. Townsend, Phil. Mag. (6) 26, 730; 1913.  
139) „ Electr. 71, 348; 1913.  
140) J. S. Townsend u. P. J. Edmunds, Phil. Mag. (6) 27, 789; 1914.  
141) A. M. Tyndall, Phil. Mag. (6) 21, 585; 1911.  
141a) P. Villard u. H. Abraham, C. r. 153, 1200; 1911.  
142) W. Voege, Ann. d. Phys. (4) 14, 556; 1904.  
143) „ Ann. d. Phys. (4) 18, 606; 1905.  
144) „ Elektrot. ZS. 28, 578; 1907.  
145) E. Voigt, Ann. d. Phys. (4) 12, 385; 1903.  
146) H. Wagner, Journ. phys. (4) 6, 615; 1907.  
147) B. Walter, Elektrot. ZS. 25, 874; 1904.  
148) E. Warburg, Wied. Ann. 59, 1; 1896.  
149) „ Wied. Ann. 62, 385; 1897.  
150) „ Berl. Ber. 1897, S. 128.  
151) „ Verh. D. phys. Ges. 2, 212; 1900.  
152) „ Ann. d. Phys. (4) 2, 295; 1900.  
153) E. Warburg u. F. R. Gorton, Ann. d. Phys. (4) 18, 128; 1905.  
154) E. A. Watson, Electr. 62, 851; 1909.  
155) „ Electr. 64, 707, 776; 1909.  
156) „ Electr. 11. u. 18. Febr. 1910.  
157) W. Weicker, Elektrot. ZS. 32, 436; 1911 (Diss. Dresden 1910).  
158) J. B. Whitehead, Proc. Amer. Inst. Electr. Eng. 29, 1059; 1910.  
159) „ Proc. Amer. Inst. Electr. Eng. 30, 1079; 1911.  
160) „ Proc. Amer. Inst. Electr. Eng. 31, 839; 1912 (Elektrot. ZS. 34, 442; 1913).  
161) J. B. Whitehead u. T. T. Fitch, Proc. Amer. Inst. Electr. Eng. 32, 1317; 1913.  
162) J. B. Whitehead u. W. S. Gorton, Proc. Amer. Inst. Electr. Eng. 33, 915; 1914.  
163) J. B. Whitehead u. M. W. Pullen, Proc. Amer. Inst. Electr. Eng. 35, 795; 1916.  
163a) J. B. Whitehead u. W. S. Brown, Trans. Amer. Inst. Electr. Eng. 36, 169; 1917.  
164) J. B. Whitehead u. T. Isshiki, Journ. Amer. Inst. Electr. Eng. 39, 441; 1920 (Elektrot. ZS. 41, 613; 1920).  
164a) J. B. Whitehead u. F. W. Lee, Journ. Amer. Inst. Electr. Eng. 40, 373; 1921.  
165) M. Wien, Ann. d. Phys. (4) 29, 679; 1909.  
166) E. H. Williams, Phys. Rev. 31, 216; 1910; 32, 585; 1911.  
167) M. Wolf, Wied. Ann. 37, 306; 1889.  
167a) R. Wood, Phil. Mag. 24, 316; 1912.  
168) A. G. Worthing, Phys. Rev. (2) 17, 418; 1921.  
169) J. C. Yensen, Phys. Rev. 8, 433; 1916.  
169a) Young, Phil. Mag. (6) 13, 542; 1907.  
170) J. Zeleny, Phys. Rev. 25, 305; 1907.  
171) „ Phys. Rev. (2) 3, 69; 1914 (Elektrot. ZS. 35, 1069; 1914).

Schumann.

## 29

## Kathodengefälle der Glimmentladung.

## Literatur.

- 1) Günther Bode, Phys. ZS. 6, 618; 1905.  
2) J. W. Capstick, Proc. Roy. Soc. 63, 356; 1898.  
3) W. L. Cheney, Phys. Rev. (2) 7, 241; 1916.  
4) Arthur H. Compton u. C. C. van Voorhuis, Phys. Rev. (2) 15, 492; 1920.  
5) Robert Defregger, Ann. d. Phys. 12, 662; 1903.  
6) H. Dember, Ann. d. Phys. 20, 379; 1906.  
7) Georg Gehlhoff, Ann. d. Phys. 24, 553; 1907.  
7a) G. Gehlhoff u. K. Rottgardt, Verh. D. phys. Ges. 12, 492; 1910.  
7b) G. Gehlhoff, Verh. D. phys. Ges. 12, 963; 1910.  
8) W. Heuse, Ann. d. Phys. 5, 670; 1901.  
9) W. Hittorf, Wied. Ann. 20, 705; 1883.  
10) W. Matthies, Ann. d. Phys. 17, 675; 1905.  
11) K. Mey, Ann. d. Phys. 11, 127; 1903.  
12) W. Neuswanger, Phys. Rev. (2) 7, 253; 1916.  
13) Karl Rottgardt, Ann. d. Phys. 33, 1161; 1910.  
14) Armin Schaufelberger, Diss. Zürich 1921.  
15) H. Schüler, Phys. ZS. 22, 264; 1921.  
16) R. J. Strutt, Phil. Mag. (5) 49, 293; 1900.  
17) L. Vegard, Phil. Mag. 18, 465; 1909.  
18) E. Warburg, Wied. Ann. 31, 545; 1887; 40, 1; 1890. C. A. Skinner, Phys. Rev. (2) 5, 483; 1915.  
19) G. Gehlhoff, Verh. D. phys. Ges. 14, 960; 1912.  
20) G. Gehlhoff, Verh. D. phys. Ges. 12, 411; 1910.  
21) H. Dember u. G. Gehlhoff, Verh. D. phys. Ges. 8, 264; 1906.

Dember.

### Kathodengefälle der Glimmentladung.

Nach Warburg<sup>18)</sup> ist das normale Kathodengefälle die Potentialdifferenz zwischen der Kathode und einem Punkt der äußeren sichtbaren Grenze des negativen Glimmlichts, solange die Kathode noch nicht vollständig vom Glimmlicht bedeckt ist. Nach dieser Definition sind die meisten der angeführten Werte gemessen. Ausnahmen sind die Messungen von Gehlhoff und Rottgardt<sup>7) 7a) 7b) 13)</sup>. Sie definieren das Kathodengefälle als den niedrigsten Wert der Potentialdifferenz zwischen der Kathode und der Grenze des negativen Glimmlichts gegen den dunklen Kathodenraum. Die Unterschiede in den Zahlenwerten verschiedener Beobachter erklären sich oft durch die verschiedene Reinheit der Gase und durch die verschiedene Definition. Geringe Beimengungen, besonders von Wasserdampf, haben einen großen Einfluß auf den Wert des Kathodengefälles<sup>18) 14)</sup>, ebenso Veränderungen der Kathodenoberfläche.

### Potentialdifferenzen in Volt.

Metall	Gas							
	Luft	Sauerstoff	Stickstoff	Wasserstoff	Helium	Argon	Neon	Verschiedene Gase
Natrium . . .	—	—	178 <sup>11)</sup>	185 <sup>11)</sup>	80 <sup>11)</sup>	—	75 <sup>4)</sup>	—
Kalium . . .	—	—	170 <sup>11)</sup>	172 <sup>11)</sup> 94 <sup>19)</sup>	60 <sup>11)</sup> 59 <sup>19)</sup>	64 <sup>20)</sup>	68 <sup>4)</sup>	—
NaK-Legierung	—	—	125 <sup>11)</sup>	169 <sup>11)</sup> 192,5 <sup>21)</sup>	78,5 <sup>6)</sup> 78,5 <sup>11)</sup>	63 0 <sup>6)</sup>	73,6 <sup>4)</sup>	Kohlensäure 460 <sup>7)</sup> ; Kohlenoxyd 484 <sup>7)</sup> ; Ammoniak 380—385 <sup>7)</sup> ; Stickstoff, schwach feucht 252 <sup>18)</sup> .
Kupfer . . .	252 <sup>13)</sup> 375 <sup>14)</sup>	—	208 <sup>13)</sup>	214 <sup>13)</sup> 300 <sup>18)</sup> 280 <sup>18)</sup>	177 <sup>5)</sup>	131 <sup>13)</sup>	—	—
Silber . . .	279 <sup>13)</sup> 428,4 <sup>14)</sup>	—	233 <sup>13)</sup>	216 <sup>13)</sup> 295 <sup>18)</sup>	162 <sup>5)</sup>	131 <sup>13)</sup>	—	—
Gold . . .	285 <sup>13)</sup> 417 7 <sup>14)</sup>	—	233 <sup>13)</sup>	247 <sup>13)</sup>	—	131 <sup>13)</sup>	—	—
Magnesium . .	224 <sup>13)</sup> (247) <sup>14)</sup>	310 <sup>18)</sup>	188 <sup>13)</sup>	153 <sup>13)</sup> 207 <sup>18)</sup>	125 <sup>5)</sup>	119 <sup>13)</sup>	—	Wasserstoff, schwach feucht 207 <sup>18)</sup> .
Zink . . .	277 <sup>13)</sup> 371,7 <sup>14)</sup>	354 <sup>18)</sup>	216 <sup>13)</sup>	273,5 <sup>3)</sup> 280 <sup>18)</sup> 184 <sup>13)</sup> 213 <sup>18)</sup>	143 <sup>5)</sup>	119 <sup>13)</sup>	94 <sup>4)</sup>	Kohlensäure 410 <sup>7)</sup> ; Kohlenoxyd 478 <sup>7)</sup> ; Ammoniak 330 <sup>7)</sup> ; Stickstoff, schwach feucht 260 <sup>18)</sup> .
Cadmium . .	266 <sup>13)</sup> 374,8 <sup>14)</sup>	—	213 <sup>13)</sup>	200 <sup>13)</sup>	—	119 <sup>13)</sup>	—	—
Quecksilber .	—	—	226 <sup>11)</sup>	—	142 <sup>5)</sup>	—	—	—
Aluminium . .	229 <sup>13)</sup> 302,2 <sup>14)</sup>	300—320 <sup>1)</sup>	218 <sup>13)</sup> 207 <sup>18)</sup>	197 <sup>3)</sup> 173,8 <sup>15)</sup> 171 <sup>13)</sup> 168 <sup>18)</sup>	141 <sup>5)</sup> 161,3 <sup>13)</sup>	100 <sup>13)</sup> 100 <sup>18)</sup>	—	—
Zinn . . .	266 <sup>13)</sup> 374 8 <sup>14)</sup>	—	216 <sup>13)</sup>	226 <sup>13)</sup>	—	123 5 <sup>13)</sup>	120 <sup>4)</sup>	—
Blei . . .	207 <sup>13)</sup> (391 7) <sup>14)</sup>	—	210 <sup>13)</sup>	223 <sup>13)</sup>	—	123 5 <sup>13)</sup>	—	—
Antimon . .	269 <sup>13)</sup> 395,7 <sup>14)</sup>	—	225 <sup>13)</sup>	252 <sup>13)</sup>	—	135 5 <sup>13)</sup>	—	—
Wismut . . .	272 <sup>13)</sup> (345 2) <sup>14)</sup>	—	210 <sup>13)</sup>	240 <sup>13)</sup>	137 <sup>5)</sup>	135 5 <sup>13)</sup>	—	—
Eisen . . .	260 <sup>13)</sup> 362 7 <sup>14)</sup>	343 <sup>18)</sup>	215 <sup>13)</sup>	198 <sup>13)</sup> 301 <sup>3)</sup> 290 <sup>18)</sup> 237,9 <sup>15)</sup> 230 <sup>18)</sup> 268,0 <sup>15)</sup>	161 <sup>5)</sup> Stahl	131 <sup>13)</sup>	—	Quecksilberdampf 389 <sup>8)</sup> ; Stickstoff, schwach feucht; 262 <sup>18)</sup> ; Kaliumdampf 80 <sup>7a)</sup> ; Na-Dampf 115 <sup>7a)</sup> ; Rubidiumdampf 395 <sup>7b)</sup> ; Cäsiumdampf 340 <sup>7b)</sup> .
Nickel . . .	226 <sup>13)</sup> 353 3 <sup>14)</sup>	—	197 <sup>13)</sup>	322 <sup>3)</sup> 211 <sup>13)</sup>	—	131 <sup>13)</sup>	—	—
Platin . . .	342 <sup>7)</sup> 424,5 <sup>14)</sup> 277 <sup>13)</sup> 340—50 <sup>18)</sup>	370 <sup>1)</sup> 364 <sup>17)</sup> 369 <sup>3)</sup>	216 <sup>13)</sup> 230 <sup>8)</sup> 232 <sup>18)</sup>	298 <sup>2)</sup> 276 <sup>13)</sup> 302,5 <sup>3)</sup> 300 <sup>18)</sup>	160 <sup>5)</sup> (226) <sup>18)</sup> 165 <sup>6)</sup>	131 <sup>13)</sup> 167 <sup>16)</sup> 163 <sup>6)</sup>	152 <sup>4)</sup>	Wasserstoff, schw. feucht 350 <sup>18)</sup> ; Stickstoff, schwach feucht 260 <sup>18)</sup> } und besondere Tabelle.
Versch. Metalle	Iridium 379,1 <sup>14)</sup> Palladium 420 6 <sup>14)</sup> Kobalt 381,2 <sup>14)</sup>	—	Natrium-Amalgam 185 <sup>13)</sup>	—	Platin platinirt 168 <sup>5)</sup>	—	—	—

Kohlenstoff in Kohlenoxyd 525<sup>7)</sup>. Kohlenstoff in schwach feuchtem Stickstoff 256<sup>18)</sup>.

### Weitere Kathodengefälle an Platin.

Metall	Chlor	Brom	Jod	Kohlensäure	Kohlenoxyd	Stickoxyd	Stickstoffdioxid	Stickoxydul
Platin . . .	320—340 <sup>1)</sup>	376—414 <sup>1)</sup>	377 <sup>10)</sup> 380—430 <sup>1)</sup>	475 <sup>7)</sup>	490 <sup>7)</sup>	373 <sup>3)</sup> 365 <sup>7)</sup>	387 <sup>7)</sup>	331 <sup>7)</sup>
Metall	Ammoniak	Wasserdampf	Chlorwasserstoff	Bromwasserstoff	Quecksilberdampf	Quecksilberchlorid	Quecksilberbromid	Quecksilberjodid
Platin . . .	582 <sup>2)</sup> 370 <sup>7)</sup>	469 <sup>2)</sup>	329,6 <sup>12)</sup>	350,3 <sup>17)</sup>	340 <sup>18)</sup>	365 <sup>10)</sup>	395 <sup>10)</sup>	432 <sup>10)</sup>



## Durchgang von Elektronen (Kathodenstrahlen, $\beta$ -Strahlen) durch Materie. (Geschwindigkeitsverlust, Absorption, Sekundärstrahlung.)

Die Zahlengrößen können sehr stark verändert erscheinen, wenn mehrere Vorgänge durcheinandergreifen oder die Strahlenbündel divergieren. Zur Kritik der Versuchsanordnungen, Meßmethoden, Definitionen, sowie als ausführliche Quelle kritisch gesichteter Zahlen vgl. vor allem die mit vollständiger Berücksichtigung der Literatur vorgehende Monographie von P. Lenard: Quantitatives über Kathodenstrahlen aller Geschwindigkeiten, Abh. d. Heidelb. Akad. d. Wiss., math.-naturw. Kl. 1918, Abh. 5. Angaben mit dem Zeichen LK stammen aus dieser bereits die Angaben vieler Autoren verwendenden Arbeit. Zur Absorptionsberechnung weitgeöffneter Bündel vgl. St. Meyer u. E. v. Schweidler, Radioaktivität, Leipzig 1916.

$\beta$  ist die Geschwindigkeit, auf Lichtgeschwindigkeit als Einheit bezogen.

$x$  die durchsetzte Dicke, in der Richtung des einfallenden Strahls gerechnet.

### A. Geschwindigkeitsverlust.

#### a) Geschwindigkeitsverlust in Aluminium (aus LK, Tab. I, dort ausführlicher)

$\frac{\beta}{d\beta}$	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	0,95
$\frac{d\beta}{dx}$	0,23	0,06	0,024	0,014	0,0084	0,0047	0,0023	0,0008	0,0003

Einheit von  $x$  ist hier 0,01 mm. —  $\frac{d\beta}{dx}$  ist der in einem bereits diffus gewordenen Bündel zu beobachtende maximale Geschwindigkeitsverlust auf 0,01 mm Dicke, in Bruchteilen der Lichtgeschwindigkeit.

b) Grenzdicke (d. i. Dicke, in der unter Normalbedingungen die angegebene Geschwindigkeit völlig verzehrt ist — nicht = Reichweite! —, da die Zahl der Elektronen von Anfang der Bahn an ständig zurückgeht), für Aluminium in mm (aus LK, Tab. II, dort ausführlicher)

$\beta$	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	0,95	0,99
$x$	0,0003	0,0019	0,011	0,038	0,089	0,178	0,320	0,63	1,33	2,36	6,71 mm

### B. Absorption

d. i. Verlust an Zahl ( $N$ ) der fliegenden Elektronen, bestimmt durch  $N_x = N_0 \cdot e^{-\alpha x}$ . Darin heißt  $\alpha$  „Absorptionskoeffizient“, hängt ab von Geschwindigkeit und Material, bei gegebener Geschwindigkeit in erster Näherung der Dichte des durchsetzten Mat. prop. (Lenard 1895, 20 Stoffe). Statt  $\alpha$  ( $\frac{\text{cm}^2}{\text{cm}^3} = \text{cm}^{-1}$ , dimensionsgleich mit „Querschnittssumme“ der Gastheorie) wird deshalb vielfach der bei Wägung statt Dickenmessung der Schichten experimentell genauer und unmittelbarer erhaltene Massenabsorptionskoeffizient  $\frac{\alpha}{D}$  angewendet, der, mit der Dimension  $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$ , den von einem  $g$  als undurchlässig entgegengestellten Querschnitt angibt.

a) Geschwindigkeitsabhängigkeit von  $\frac{\alpha}{D}$ . Experimentell sind 3 Bereiche untersucht, aus denen wir die von Lenard (LK) korrigierten und ausgeglichenen Werte anführen:

1) bis  $\beta = 0,088$  (= 2000 Volt) — künstlich beschleunigte lichtelektrische Elektronen —

$\beta = 0,00$	0,01	0,02	0,03	0,04	0,06	0,088
$\frac{\alpha}{D} = 20$	18	13	8,6	5,8	2,5	$1,0 \cdot 10^6 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$

2)  $\beta = 0,3$  bis  $\beta = 0,5$  — Kathodenstrahlen selbständiger Entladungen —

$\beta = 0,30$	0,35	0,40	0,45	0,50
$\frac{\alpha}{D} = 29$	14	7,4	4,0	$2,2 \cdot 10^2 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$

3) um  $\beta = 0,9$  —  $\beta$ -Strahlen — Werte um  $7,0 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ .

Eine ausführliche Interpolation der Zwischengebiete siehe bei Lenard (LK, Tafel III). Ebenda (Tafel IV und V) die Abnahme der wahren und scheinbaren Intensität von Strahlen verschiedener Geschwindigkeit mit der durchsetzten Dicke.

b) Materialabhängigkeit. Für mittlere und große Geschwindigkeiten läßt sich  $\frac{\alpha}{D}$  additiv aus Atomkoeffizienten zusammensetzen. Gegenüber den untereinander massenproportionalen Atomen C, N, O, Al, S usf. absorbieren weniger als dem Gewicht entspräche: He und Ar, mehr:  $\text{H}_2$ , H-Verbindungen, Halogene.

Durchgang von Elektronen (Kathoden-,  $\beta$ -Strahlen) durch Materie.

Für mittlere Geschwindigkeiten 35 000 Volt ( $\frac{1}{3}$  Lichtgeschwindigkeit) gibt A. Becker (Ann. d. Phys. (4) 17, 381; 1905):

$\frac{\alpha}{pM}$	He	Ar	O <sub>2</sub>	Luft	CO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	NH <sub>3</sub>	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>
	7,4	8,4	9,6	10,3	10,3	10,4	10,6	17,8	13,7	14,8	12,6

$p$  Druck in mm Hg,  $M$  Mol.-Gew. Die Zahlen sind also auf ein Gas von  $p = 1$  mm und  $M = 1$  reduziert. Für die Halogene beobachteten J. Silbermann (Diss. Heidelberg 1912) und E. Friman (Ann. d. Phys. (4) 49, 373; 1916) folgende prozentische Abweichung vom  $\frac{\alpha}{D}$  für Luft u. dgl.:

	Cl	Br	J	
$\beta = 0,50$	+23%	+56%	+86%	Silbermann
$\beta = 0,92$	+33%	+86%	+136%	Friman.

Auch Metalle zeigen im höchsten Geschwindigkeitsgebiet merkl. Anwachsen mit dem Atomgewicht:

	Al	Cu	Sn	Pt	H. W. Schmidt, Ann. d. Phys. (4) 23, 671; 1907. Dasselbe, mit Korrektion von Lenard (LK, S. 102).
$\beta = 0,92; \frac{\alpha}{D}$	5,7 7	7,4 9,8	8 11	9,3 13,6	

Für die niedersten Geschwindigkeiten, wo  $\alpha$  die Größe der gastheoretischen Querschnittssumme erreicht, treten ganz individuelle Werte ein, H<sub>2</sub> z. B. übertrifft Luft sogar absolut. (P. Lenard, Ann. d. Phys. (4) 12, 714; 1903, H<sub>2</sub>, Luft, Ar, CO<sub>2</sub>, Al, Au; J. Robinson, Ann. d. Phys. (4) 31, 769; 1910: N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, CO.) In Argon geht  $\alpha$  für niederste Geschwindigkeit wieder weit unter die molekulare Querschnittssumme herunter. (C. Ramsauer, Ann. d. Phys. (4) 64, 513; 1921; H. F. Mayer, ebenda S. 451; C. Ramsauer, Ann. d. Phys. (4) 66, 546; 1922.)

C. Sekundärstrahlung (d. i. Befreiung von Elektronen aus den durchschossenen Atomen).

Untersuchte Bereiche, wie bei B, die folgenden Zahlen sind die von Lenard korrigierten und interpolierten (LK, Tab. IV):

$\beta = 0,000$	0,006	0,024	0,03	0,04	0,05	0,07
$s = 0,00$	—	7700	7500	5000	3200	2300
	(Beginn)	(Optimum)				

$\beta = 0,10$	0,15	0,20	0,25	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	0,99
$s = 1700$	1200	830	580	400	250	180	131	95	69	65	41
$S = 2$	7	20	53	100	247	580	1150	1990	3310	8600	26800

$s$  Zahl der auf 1 cm Weg bei  $p = 760$  mm in Luft von einem Elektron erzeugten Elektronen.  
 $S$  Zahl der insgesamt bei  $p = 760$  mm in Luft von einem Elektron erzeugten Elektronen.  
 $S$  für andere Stoffe ist der Masse proportional, abgesehen von Wasserstoff, der für  $\beta = 0,02$  (125 Volt, sein Optimum) das 12 fache, für  $\beta = 0,062$  (1000 Volt) das 4 fache, für  $\beta = 0,3$  und mehr das doppelte ergibt. Kossel.

31

Langwellige Grenze (rotes Grenzlicht) der lichtelektrischen Wirkung.

Substanz	Langwellige Grenze in Å.-E.	Substanz	Langwellige Grenze in Å.-E.
Aluminium . . . . .	4770 <sup>2)</sup> 3596 <sup>23)</sup> 3340 <sup>18)</sup> ungeglüht	Magnesium . . . . .	3300 <sup>14)</sup> 3820 <sup>2)</sup>
Antimon . . . . .	3075 <sup>14)</sup>	Natrium . . . . .	5830 <sup>2)</sup> 6800 <sup>20)</sup>
Arsen . . . . .	2360 <sup>14)</sup>	Nickel . . . . .	3050 <sup>23)</sup>
Blei . . . . .	3115 <sup>14)</sup> > 3650 <sup>4)</sup> 2980 <sup>23)</sup>	Palladium . . . . .	∞ 2850 <sup>12)</sup>
Cadmium . . . . .	3140 <sup>14)</sup> 3130 <sup>23)</sup> 3650—3130 <sup>4)</sup>	Platin . . . . .	2800 <sup>2)</sup> Ungeglüht 2600 <sup>18)</sup> 2782 <sup>23)</sup> 2840 <sup>10)</sup> Schwach 3000 <sup>18)</sup> geglüht ∞ 2850 <sup>12)</sup> Entgast 2650 <sup>18)</sup>
Calcium . . . . .	3700 <sup>14)</sup>	Quecksilber . . . . .	2600 <sup>4)</sup>
Eisen . . . . .	2870 <sup>23)</sup>		2535—3126 <sup>11)</sup> ∞ 2200 <sup>14)</sup>
Gold . . . . .	∞ 2850 <sup>12)</sup>	Selen . . . . .	2350—2250 <sup>19)</sup>
Kalium . . . . .	> 10 000 <sup>4)</sup>	Schwefel . . . . .	3250 <sup>10)</sup> 3391 <sup>23)</sup>
Kohlenstoff . . . . .	2550—2600 <sup>14)</sup>	Silber . . . . .	3150 <sup>12)</sup>
Kupfer . . . . .	3000 <sup>2)</sup>	Wismuth . . . . .	3233 <sup>14)</sup> 3650—3130 <sup>4)</sup>
Lithium . . . . .	2750 <sup>12)</sup> 2665 <sup>23)</sup> 5260 <sup>20)</sup>		

Langwellige Grenze (rotes Grenzlicht) der lichtelektrischen Wirkung.			
Substanz	Langwellige Grenze in Å.-E.	Substanz	Langwellige Grenze in Å.-E.
Wismut . . . . .	3300 <sup>2)</sup> 3050 <sup>12)</sup>	Chlordampf . . .	< 1200 <sup>21)</sup>
Wolfram . . . . .	2615 <sup>23)</sup>	Zinnchlorid . . .	< 1849 <sup>17)</sup>
Zink . . . . .	3016 <sup>14)</sup> 3426 <sup>23)</sup> 3760 <sup>2)</sup>	Zinkäthyl . . . .	< 1849 <sup>17)</sup>
Zinn . . . . .	3620 <sup>2)</sup> 3185 <sup>23)</sup>	Schwefelkohlenstoff	< 1849 <sup>17)</sup>
Messing . . . . .	3426 <sup>23)</sup> 2665 <sup>23)</sup>	Anthracen . . . .	2150—2200 <sup>6)</sup> 2250 <sup>7)</sup>
Kupferoxyd . . . .	2000 <sup>5)</sup> 2688 <sup>20)</sup>	Diphenylmethan . .	> 1849 <sup>8)</sup>
Wasser . . . . .	2025 <sup>5)</sup>	α-Naphthylamin . .	> 1849 <sup>8)</sup>
Eis . . . . .	2000 <sup>5)</sup>	Diphenylamin . . .	> 1849 <sup>8)</sup>
Schellack . . . . .	wenig < 2200 <sup>19)</sup>	Anilindampf . . . .	> 1849 <sup>8)</sup>
Paraffin . . . . .	< 2150 <sup>19)</sup>	Methylviolett . . .	2585 <sup>23)</sup>
Luft . . . . .	1800—1200 <sup>1)</sup> 1300 <sup>15)</sup> 1) 1350 <sup>13)</sup> 1350 <sup>14)</sup> 1350 <sup>16)</sup>	Quecksilberdampf	< 3300 <sup>22)</sup>
Sauerstoff . . . . .	2200—1800 <sup>1)</sup>	<b>Legierungen</b>	
Ammoniak . . . . .	< 1849 <sup>17)</sup>	Kalium-Wismut . . .	4600 <sup>3)</sup>
Kohlensäure . . . .	< 1400 <sup>1)</sup>	40 Atomproz. Kalium	4600 <sup>3)</sup>
Wasserstoff . . . . .	< 1270 <sup>16)</sup>	Kalium-Blei . . . .	4000 <sup>3)</sup>
		20 Atomproz. Kalium	4000 <sup>3)</sup>
		Kalium-Antimon . .	4000 <sup>3)</sup>
		50 Atomproz. Kalium	3600 <sup>3)</sup>
		Kalium-Phosphor . .	

### Literatur betreffend langwellige Grenze der lichtelektrischen Wirkung.

- 1) P. Lenard, Ann. d. Phys. 1, 486; 1900; 3, 298; 1900. P. Lenard u. C. Ramsauer, Heidelberger Akademieberichte 1911.
- 2) O. W. Richardson u. Karl T. Compton, Phil. Mag. 24, 576; 1912.
- 3) R. Pohl u. P. Pringsheim, Verh. D. phys. Ges. 12, 697; 1910.
- 4) R. Pohl u. P. Pringsheim, Verh. D. phys. Ges. 13, 474; 1911.
- 5) W. Obolensky, Ann. d. Phys. 39, 961; 1912.
- 6) A. L. Hughes, Phil. Mag. 24, 380; 1912.
- 7) Max Volmer, Ann. d. Phys. 40, 775; 1913.
- 8) Joh. Stark, Phys. ZS. 10, 614; 1909.
- 9) Serkof, vgl. A. L. Hughes, Photoelectricity, Cambridge 1914.
- 10) Otto Stuhlmann jr., Phys. Rev. (2) 15, 549; 1920.
- 11) John B. Derieux, Phys. Rev. (2) 11, 276; 1918.
- 12) Simon Werner, Diss. Upsala 1914.
- 13) A. L. Hughes, Proc. Camb. Phil. Soc. 15, 482; 1910.
- 14) A. L. Hughes, Phil. Trans. Roy. Soc. (A) 205; 1912.
- 15) Th. Lyman, Phys. Rev. 13, 583; 1912.
- 16) F. Palmer, Phys. Rev. 32, 1; 1911.
- 17) A. L. Hughes, Camb. Phil. Soc. 16, 376; 1911.
- 18) Rudolf Suhrmann, Ann. d. Phys. 67, 43; 1922.
- 19) M. J. Kelly, Phys. Rev. 16, 260; 1920.
- 20) R. A. Millikan, Phys. Rev. 7, 355; 1916.
- 21) E. B. Ludlam, Phil. Mag. 23, 757; 1912; vgl. auch P. Lenard u. C. Ramsauer, oben 1).
- 22) W. Steubing, Verh. D. phys. Ges. 11, 561; 1909; Phys. ZS. 10, 787; 1909.
- 23) R. Hammer, Phys. Rev. 20, 198; 1922.

### 32

### Resonanzwellenlängen der selektiven lichtelektrischen Wirkung.

Metall	$\lambda_{\max}$ in Å.-E.	Metall	$\lambda_{\max}$ in Å.-E.	Metall	$\lambda_{\max}$ in Å.-E.
Caesium . . .	5100 <sup>1)</sup> 2500 <sup>3)</sup>	Kalium . . .	4350 <sup>2)</sup>	Lithium . . .	2800 <sup>2)</sup>
Rubidium . .	4800 <sup>2)</sup>	Natrium . . .	3400 <sup>2)</sup> 3600 } <sub>3)</sub> 2270 } <sub>3)</sub>	Barium . . .	4000 <sup>2A)</sup>
				Aluminium . .	2200 <sup>3)</sup>

### Literatur betreffend Resonanzwellenlängen der selektiven lichtelektrischen Wirkung.

- 1) Joh. Braun, Diss. Bonn 1906.
- 2) R. Pohl u. P. Pringsheim, Verh. D. phys. Ges. 12, 349; 1910; 14, 46; 1912.
- 2A) R. Pohl, Elster-Geitel Festschrift, Braunschweig 1915.
- 3) K. T. Compton u. O. W. Richardson, Phil. Mag. 26, 549; 1913.
- Theorie des selektiven lichtelektrischen Effektes: F. A. Lindemann, Verh. D. phys. Ges. 13, 482; 1911.
- F. Haber, Berl. Sitzber. 1919, S. 1004.
- W. Hallwachs, Die Lichtelektrizität, in Marxs Handbuch der Radiologie, Leipzig 1916.
- R. Pohl u. P. Pringsheim, Die lichtelektrischen Erscheinungen, Braunschweig 1914.
- Friedrich Groß, ZS. Phys. 7, 316; 1921.

## Verlag von Julius Springer in Berlin W 9

**Einführung in die physikalische Chemie** für Biochemiker, Mediziner, Pharmazeuten und Naturwissenschaftler. Von Dr. Walther Dietrich. Zweite, verbesserte Auflage. Mit 6 Abbildungen. 1923. GZ. 2.8

**Praktikum der physikalischen Chemie**, insbesondere der Kolloidchemie für Mediziner und Biologen. Von Dr. med. Leonor Michaelis, a. o. Professor an der Universität Berlin. Zweite, verbesserte Auflage. Mit 40 Textabbildungen. 1922. GZ. 5

**Fachausdrücke der physikalischen Chemie.** Ein Wörterbuch von Dr. Bruno Kisch, Privatdozent an der Universität Köln a. Rh. 1919. GZ. 3.6

**Die physikalisch-chemischen Grundlagen der Biologie.** Mit einer Einführung in die Grundbegriffe der höheren Mathematik. Von Dr. phil. E. Eichwald, ehemaliger Assistent, und Dr. phil. A. Fodor, erster Assistent am Physiologischen Institut der Universität Halle a. S. Mit 119 Abbildungen und 2 Tafeln. 1919. GZ. 24, gebunden GZ. 27

**$P_H$ -Tabellen**, enthaltend ausgerechnet die Wasserstoffexponentwerte, die sich aus gemessenen Millivoltzahlen bei bestimmten Temperaturen ergeben. Gültig für die gesättigte Kalomel-Elektrode. Von Dr. Arvo Zippö, Helsingfors (Finnland). Zweite, unveränderte Auflage. Unveränderter Neudruck. 1922. GZ. 2.8

**Der Gebrauch von Farbenindikatoren.** Ihre Anwendung in der Neutralisationsanalyse und bei der colorimetrischen Bestimmung der Wasserstoffionenkonzentration. Von Dr. J. M. Koltzoff, Konservator am Pharmazeutischen Laboratorium der Reichs-Universität Utrecht. Mit 7 Textabbildungen und 1 Tafel. 1921. GZ. 4.5

**Die Wasserstoffionen-Konzentration**, ihre Bedeutung für die Biologie und die Methoden ihrer Messung. Von Dr. Leonor Michaelis, a. o. Professor an der Universität Berlin. In drei Teilen. Erster Teil: **Die theoretischen Grundlagen.** Zweite, völlig umgearbeitete Auflage. Mit 32 Textabbildungen. (Monographien aus dem Gesamtgebiete der Physiologie der Pflanzen und der Tiere, Bd. 1.) 1922. GZ. 8.8, gebunden GZ. 11  
Zweiter Teil: **Methodik.** Dritter Teil: **Physiologie.** In Vorbereitung.

**Ernst Schmidt, Anleitung zur qualitativen Analyse.** Herausgegeben und bearbeitet von Dr. J. Gadamer, o. Professor der pharmazeutischen Chemie und Direktor des Pharmazeutisch-Chemischen Instituts der Universität Marburg. Neunte, verbesserte Auflage. 1922. GZ. 2.5

**Der Gang der qualitativen Analyse.** Für Chemiker und Pharmazeuten bearbeitet von Dr. Ferdinand Henrich, Professor an der Universität Erlangen. Mit 4 Textfiguren. 1919. GZ. 1.2

**Praktikum der quantitativen anorganischen Analyse.** Von Alfred Stock und Arthur Stähler. Dritte, durchgesehene Auflage. Mit 36 Textfiguren. 1920. GZ. 3.5

**Qualitative Analyse auf präparativer Grundlage.** Von Professor Dr. W. Streckler, Privatdozent an der Universität Greifswald. Mit 16 Textabbildungen. 1913. Gebunden GZ. 5.6

**Lehrbuch der analytischen Chemie.** Von Dr. H. Wöbbling, Dozent und etatsmäßiger Chemiker an der Bergakademie zu Berlin. Mit 83 Textfiguren und 1 Löslichkeitstabelle. 1911. GZ. 8

**Stereochemie.** Von A. W. Stewart. Deutsche Bearbeitung von Privatdozent Dr. Karl Löffler, Breslau. Mit 87 Textfiguren. 1908. GZ. 12, gebunden GZ. 14.5

**Einführung in die Mathematik für Biologen und Chemiker.** Von Dr. Leonor Michaelis, a. o. Professor an der Universität Berlin. Zweite, erweiterte und verbesserte Auflage. Mit 117 Textabbildungen. 1922. GZ. 9

**Biochemisches Handlexikon.** Unter Mitwirkung hervorragender Fachgenossen herausgegeben von Professor Dr. Emil Abderhalden.

1. Band, 1. Hälfte, 1911. GZ. 44, gebunden GZ. 46.5. — 2. Hälfte, 1911. GZ. 48, gebunden GZ. 50.5. — II. Band, 1911. GZ. 44, gebunden GZ. 46.5. — III. Band, 1911. GZ. 20, gebunden GZ. 22.5. — IV. Band, 1. Hälfte, 1910. GZ. 14. — 2. Hälfte, 1911. GZ. 54, zusammen gebunden GZ. 71. — V. Band, 1911. GZ. 38, gebunden GZ. 40.5. — VI. Band, 1911. GZ. 22, gebunden GZ. 24.5. — VII. Band, 1. Hälfte, 1910. GZ. 22. — 2. Hälfte, 1912. GZ. 18, zusammen gebunden GZ. 43. — VIII. Band (1. Ergänzungsband), 1920. Gebunden GZ. 36.5. — IX. Band (2. Ergänzungsband), 1922. Gebunden GZ. 30.5. — X. Band (3. Ergänzungsband). Erscheint im Frühjahr 1923. — XI. Band (4. Ergänzungsband). In Vorbereitung.

*Die Grundzahlen (GZ.) entsprechen den ungefähren Vorkriegspreisen und ergeben mit dem jeweiligen Entwertungsfaktor (Umrechnungsschlüssel) vervielfacht den Verkaufspreis. Über den zur Zeit geltenden Umrechnungsschlüssel geben alle Buchhandlungen sowie der Verlag bereitwilligst Auskunft.*

Verlag von Julius Springer in Berlin W 9

**Untersuchungen über Kohlenhydrate und Fermente I.** (1884–1908.) Von Emil Fischer. 1909. GZ. 22

**Untersuchungen über Kohlenhydrate und Fermente II.** (1908–1919. Von Emil Fischer. Herausgegeben von M. Bergmann. (Emil Fischer, Gesammelte Werke. Herausgegeben von M. Bergmann.) 1922. GZ. 17, gebunden GZ. 21

**Untersuchungen über Aminosäuren, Polypeptide und Proteine. I.** (1899–1906.) Von Emil Fischer. 1906. GZ. 16, gebunden GZ. 20

**Untersuchungen über Aminosäuren, Polypeptide und Proteine II.** (1907–1919.) Von Emil Fischer. Herausgegeben von M. Bergmann. (Emil Fischer, Gesammelte Werke. Herausgegeben von M. Bergmann.) 1923. GZ. 29, gebunden GZ. 32

**Untersuchungen über Depside und Gerbstoffe.** (1908–1919.) Von Emil Fischer. 1919. GZ. 16, gebunden GZ. 20

**Untersuchungen in der Puringruppe.** (1882–1906.) Von Emil Fischer. 1907. GZ. 15, gebunden GZ. 19

**Aus meinem Leben.** Von Emil Fischer. Mit drei Bildnissen. (Emil Fischer, Gesammelte Werke. Herausgegeben von M. Bergmann.) 1922. Gebunden GZ. 9,2, in Geschenkband GZ. 7,2

**Lehrbuch der organisch-chemischen Methodik.** Von Dr. Hans Meyer, o. ö. Professor der Chemie an der Deutschen Universität zu Prag. In zwei Bänden. Erster Band: Analyse und Konstitutions-Ermittlung organischer Verbindungen. Vierte, vermehrte und umgearbeitete Auflage. Mit 360 Figuren im Text. 1922. GZ. 56, gebunden GZ. 62

**Beilsteins Handbuch der organischen Chemie.** Vierte Auflage, die Literatur bis 1. Januar 1910 umfassend. Herausgegeben von der Deutschen Chemischen Gesellschaft. Bearbeitet von Bernhard Prager und Paul Jacobson. Unter ständiger Mitwirkung von Paul Schmidt und Dora Stern.

Erster Band: Leitsätze für die systematische Anordnung. – Acyclische Kohlenwasserstoffe, Oxy- und Oxo-Verbindungen. 1918. Gebunden GZ. 38,5

Zweiter Band: Acyclische Monocarbonsäuren und Polycarbonsäuren. 1920. Geb. GZ. 35

Dritter Band: Acyclische Oxy-Carbonsäuren und Oxo-Carbonsäuren. 1921. Geb. GZ. 36

Vierter Band: Acyclische Sulfinsäuren und Sulfonsäuren. – Acyclische Amine, Hydroxylamine, Hydrazine und weitere Verbindungen mit Stickstoff-Funktionen. – Acyclische C=Phosphor-, C=Arsen-, C=Antimon-, C=Wismut-, C=Silicium-Verbindungen und metallorganische Verbindungen. 1922. Gebunden GZ. 28,5

Fünfter Band: Cyclische Kohlenwasserstoffe. 1922. Gebunden GZ. 30,5

Sechster Band: Oxy-Verbindungen. In Vorbereitung

**Literatur-Register der organischen Chemie** geordnet nach M. M. Richters Formelsystem. Herausgegeben von der Deutschen Chemischen Gesellschaft, redigiert von Robert Stelzner. Dritter Band, umfassend die Literaturjahre 1914 und 1915. 1921.

*Über die Preise erteilen der Verlag sowie die Buchhandlungen Auskunft.*

**Lunge-Berl, Chemisch-technische Untersuchungsmethoden,** unter Mitwirkung zahlreicher hervorragender Fachmänner herausgegeben von Ing.-Chem. Dr. E. Berl, Professor der Technischen Chemie und Elektrochemie an der Technischen Hochschule zu Darmstadt. Siebente, vollständig umgearbeitete Auflage. In 4 Bänden.

Erster Band: Mit 291 Textfiguren und einem Bildnis. 1921. Gebunden GZ. 35

Zweiter Band: Mit 313 in den Text gedruckten Figuren. 1922. Gebunden GZ. 45

Dritter Band: Mit 235 in den Text gedruckten Figuren. Erscheint im Frühjahr 1923

Vierter Band. In Vorbereitung

**Fortschritte in der anorganisch-chemischen Industrie.** An Hand der Deutschen Reichspatente dargestellt. Mit Fachgenossen bearbeitet und herausgegeben von Ing. Adolf Bräuer und Dr.-Ing. J. d'Ans. In drei Bänden.

Erster Band 1877–1917. 1. Teil. 1921. GZ. 60

Erster Band 1877–1917. 2. Teil. 1922. GZ. 72

Erster Band. 3. Teil. Erscheint im Frühjahr 1923

*Die Grundzahlen (GZ.) entsprechen den ungefähren Vorkriegspreisen und ergeben mit dem jeweiligen Entwertungsfaktor (Umrechnungsschlüssel) vervielfacht den Verkaufspreis. Über den zur Zeit geltenden Umrechnungsschlüssel geben alle Buchhandlungen sowie der Verlag bereitwilligst Auskunft.*