Mitteilungen des Institutes für Radiumforschung
Nr. 235.

Zur Darstellung der Packungseffekte der Atome

Von

Stefan Meyer
korr. Mitglied d. Akad. d. Wiss.

(Mit 3 Textfiguren)

(Vorgelegt in der Sitzung am 13. Juni 1929)

Bekanntlich verdankt man F. W. Aston[1] die genauesten Atomgewichtsbestimmungen zahlreicher Elemente und ihrer Isotope. Die Genauigkeit seiner Massenspektroskopie vermochte er so weit zu steigern, daß die Abweichungen von der Ganzzahligkeit der Atomgewichte nicht nur quantitativ festgestellt, sondern weitergehend als ein Maß für den bei der Kernbildung aus Protonen auftretenden Packungseffekt herangezogen werden konnten und die zutage tretenden Gesetzmäßigkeiten für Strukturfragen zur Geltung kommen.

Als Bezugsbasis wählte F. W. Aston für seine Angaben im chemischen Maßsystem $O = 16 \cdot 0000$ und er berechnete nicht nur die totalen Abweichungen der Atomgewichte von der Ganzzahligkeit z. B. aus den Atomgewichten für $H = 1 \cdot 00778$; $He = 4 \cdot 00216$; $Li_6 = 6 \cdot 012$; $N = 14 \cdot 008$ die Werte: $0 \cdot 00778$; $0 \cdot 00216$; $0 \cdot 012$; $.0 \cdot 008$; sondern auch die anscheinend besonders charakteristischen Packungsanteile pro Proton, das ist die totalen Packungseffekte dividiert durch die Zahl der den Kern bildenden Protonen (runde Massenzahl), also z. B. für H $0 \cdot 00778$; für He $0 \cdot 00216/4$; für Li_6 $0 \cdot 012/6$;.. für N $0 \cdot 008/14$ usw.

Diese Packungsanteile in 10^4facher Vergrößerung sind in den Aston'schen Kurven (Fig. 1) eingetragen.[2]

Für die leichten Elemente bis etwa $M = 50$ spaltet Aston den Kurvenzug in zwei Teile; der untere soll dabei vorwiegend die Elemente vom Typus 4n enthalten und dieses Verhalten wurde vielfach bereits zu Erwägungen über die Kernstruktur, Möglichkeit künstlicher Atomzerlegung und anderem herangezogen.

Wiederholt wurde freilich darauf hingewiesen, daß die Wahl von $O = 16 \cdot 0000$ als Basis eine rein empirische und willkürliche

---

[1] F. W. Aston, Proc. Roy. Soc., London (A), *115*, 487, 1927; Nature, *120*, 956, 1927.

[2] In den Naturwissenschaften, *15*, 623, 1927 wurde schon vor Bekanntwerden der Aston'schen Kurve auf Grund der roheren Daten für die Atomgewichte der Reinelemente darauf hingewiesen, daß bezogen auf $O = 16$ als Basis die Packeffekte bis zum Atomgewicht zirka 52 positiv, bei höheren Atomgewichten negativ seien.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

ist,[1] und nur aus praktischen Gründen von Seiten der Chemiker (leichtere genaue Bestimmung des Atomgewichtes) eingeführt wurde.

Hält man das Proton für den Urbaustein aller Elemente, so ist es wohl näherliegend, für derartige Überlegungen als Basis der Atomgewichte H = 1·00000 entsprechend O = 15·8765 zu wählen.

Speziell L. Strum[2] hat deshalb eine Umrechnung der Astonschen Werte vorgenommen und gab für H = 1 0000 als Basis die entsprechend abgeänderten totalen Packungseffekte an. In Fig. 2 sind seine (zum Teil korrigierten und ergänzten) Werte eingezeichnet.[2]

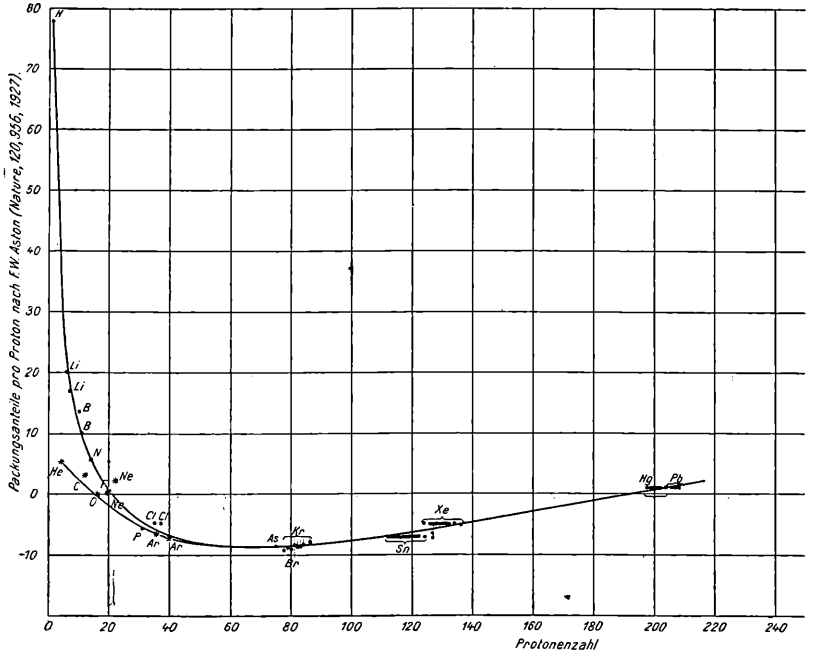

Fig. 1.

Strum begnügte sich mit einer Darstellung der totalen Massendefekte (D) bis zur Protonenzahl 120 und findet praktisch für dieselben (eingezeichnet ist D.10³) linearen Verlauf.

---

[1] z. B. Die Naturwissenschaften, *15*, 623, 1927; Scientia, *22*, 89, 1928; L. Strum, Zeitschr. f. Phys., *50*, 555, 1928; A. C. Burton, Trans. Soc. Canada (3), *22*, 379, 1928.

[2] L. Strum, Zeitschr. f. Phys., *50*, 555, 1928; auf p. 556 darf in der Figur die Gerade nicht von 0 ausgehen, sondern soll mit D = 0 bei H = 1 beginnen. Auf p. 558 soll es richtig heißen:

Li_6	5·9656	statt	5·9654
F	18·8533	»	18·8553
Ar^{40}			Ar^{80}
Br^{79}	D.10³ = 680		Br^{78} D.10³ = 670
Br^{81}			Kr^{81}
Kr^{78}	D.10³ = 676		636

Die Betrachtung der totalen Massendefekte anstatt der Packungsanteile Aston's ist zweifellos eine Vergröberung der Darstellung, bei der eine Anzahl von Feinheiten der Aston'schen Kurven verlorengehen. Gleichwohl ist zunächst für den von Strum behandelten Anfang der Linie in Fig. 2 die Übereinstimmung eine so gute, daß an dieser Tatsache nicht vorbeigegangen werden darf.

Man kann versuchen, die Daten noch für die bezüglich H = 1 als Basis umgerechneten Werte der praktischen Atomgewichte von

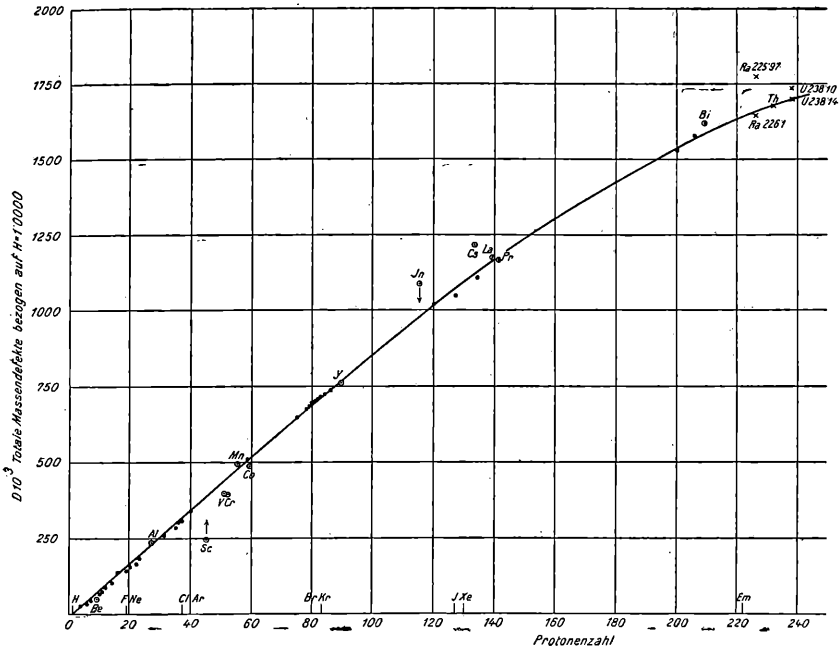

Fig. 2.

Reinelementen (in der Fig. 2 als ⊙ eingezeichnet), für die noch keine massenspektroskopischen Angaben vorliegen, zu ergänzen. Weiters kann man auch noch die Atomgewichte von Ra, Th, U (in der Fig. 2 als × eingetragen) bezogen auf H = 1 heranziehen. Diese radioaktiven Elemente sind zwar Isotopengemische, aber der Anteil des dominierenden Stoffes ist gegenüber dem seiner Isotopen immer so überwiegend groß, daß deren Vernachlässigung für das Atomgewicht zunächst gestattet ist. (Vgl. Tabelle, p. 435).

Leider ist die Genauigkeit der chemischen Atomgewichtsbestimmung nicht ebenso groß als die der massenspektroskopischen, was bei der großen Empfindlichkeit obiger Darstellung zum Ausdruck kommt. Es sollte, um dem Linienzug der Fig. 2 gerecht zu werden, bezogen auf O = 16·000 als Basis das Atomgewicht von

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Be	9·0146	betragen statt	9·02
Al	26·988		26·97
Sc	44·97		45·1
V	50·96		51·0
Cr	51·96		52·01
Mn	54·945		54·93
Co	58·94		58·97
In	114·91		114·8
Cs	132·92		132·81

wie derzeit angenommen wird.

Für Ra würde der Wert 226·09 am besten entsprechen, was im Einklang mit anderen Überlegungen steht.[1]

Es muß der künftigen Atomgewichtsforschung überlassen bleiben, festzustellen, ob die Abweichungen der angeführten Atomgewichte dadurch zu erklären sind, daß diese Elemente nicht, wie bisher angenommen wurde, Reinelemente sind, sondern noch Isotope haben, oder ob neue Atomgewichtsbestimmungen die für das Hineinfallen in die Kurve berichtigten Werte zulassen.

Die Verlängerung des Linienzuges über M = 120 hinaus läßt deutlich eine Abweichung von der Linearität erkennen, und genauere Betrachtung zeigt, daß auch schon von 80 bis 120 die Neigung etwas flacher ist als anfangs. Es mag Beachtung verdienen, daß für die ersten vier Perioden der Elemente (2 Reihen mit je 8 und 2 Reihen zu 18 Grundstoffen) der Verlauf noch praktisch als linear gelten kann, daß aber mit Beginn der fünften Periode (zu 32 Elementen) die Krümmung deutlich in Erscheinung tritt. Dies würde es nahelegen, auch für die ersten Perioden an hier bloß verdeckte periodische Erscheinungen zu denken, wie dies weiter unten ausgeführt wird.

Während die anfängliche Linearität in Fig. 2 es als gerechtfertigt erscheinen läßt, die Packungsanteile pro Proton als gleichwertig anzusehen, zeigt der weitere Kurvenverlauf, daß die Annahme gleichwertiger Packungsanteile für alle Protonen der Atome mit höheren Atomgewichten nicht zutreffend ist.

In der nachstehenden Tabelle sind neben Symbol (*S*), Ordnungszahl (*N*) und Protonenzahl (runder Massenzahl) (*M*) die Atomgewichte bezogen auf O = 16 und bezogen auf H = 1 angegeben. Die von F. W. Aston massenspektroskopisch bestimmten und daher sichersten Werte sind mit * bezeichnet. *D* bedeutet den totalen Massendefekt für Wasserstoff als Bezugselement (H = 1·0000); *D*/*M* den Packungsanteil der letzten Größe pro Proton.

Berechnet man in gleicher Weise wie dies Aston für die Basis O = 16 tat, die Packungsanteile pro Proton für die Basis H = 1, so erhält man die in Fig. 3 dargestellten Punkte. Die Kurven ähneln der inversen Aston'schen Kurve Fig. 1. Da die verschiedenen totalen Packeffekte in beiden Fällen durch den mittels des Faktors 1/1·00778 veränderten Wert als Unterschiede von der nächsten ganzen Zahl gewonnen werden, sind sie aber nicht ganz spiegelbildlich gleichbedeutend.

[1] Vgl. St. Meyer, Mitt. d. Ra-Inst. Nr. 226, diese Sitzber., *137*, 599, 1928.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

S	Z	M	Atomgewicht für O = 16·0000	Atomgewicht für H = 1·0000	D.10³	D.10³/M
H	1	1	1·00778	1·00000	0	0
He	2	4	4·00216	3·97126	28·74	7·185
Li	3	6	*6·012	5·96559	34·41	5·735
Li	3	7	*7·012	6·9579	42·1	6·014
Be	4	9	9·02	8·9503	(49·7)	(5·522)
B	5	10 (*b*)	*10·0135	9·9362	63·8	6·380
B	5	11 (*a*)	*11·0110	10·9260	74·0	6·727
C	6	12	*12·0036	11·9109	89·1	7·425
N	7	14	*14·008	13·8999	100·1	7·15
O	8	16	*16·000	15·8765	123·5	7·719
F	9	19	*19·000	18·8533	146·7	7·721
Ne	10	20 (*a*)	*20·0004	19·8460	154·0	7·700
Ne	10	21 (*c*)	—	—	—	—
Ne	10	22 (*b*)	*22·0048	21·8349	165·1	7·505
Na	11	23	22·997	22·8195	180·5	7·848
Al	13	27	26·97	26·762	(238)	(8·815)
P	15	31	*30·9825	30·7433	256·7	8·281
Cl	17	35 (*a*)	*34·983	34·7129	287·1	8·203
Cl	17	37 (*b*)	*36·980	36·6945	305·5	8·257
Ar	18	36 (*b*)	*35·976	35·6983	301·7	8·381
Ar	18	40 (*a*)	*39·971	39·6624	337·6	8·440
Sc	21	45	45·10	44·752	(248)	(5·511)
V	23	51	51·0	50·606	(394)	(7·725)
Cr	24	52	52·01	51·608	(392)	(7·538)
Mn	25	55	54·93	54·506	(494)	(8·982)
Co	27	59	58·97	58·515	(485)	(8·220)
Ni	28	58 (*a*)	*57·942	57·4947	505·3	8·712
As	33	75	*74·1934	74·3551	644·9	8·599
Br	35	79 (*a*)	*78·929	78·3197	680·3	8·611
Br	35	81 (*b*)	*80·926	80·3013	698·7	8·626
Kr	36	78 (*f*)	*77·926	77·3244	675·6	8·662
Kr	36	80 (*e*)	*79·926	79·3090	691·0	8·637
Kr	36	82 (*c*)	*81·927	81·2945	705·5	8·604
Kr	36	83 (*d*)	*82·927	82·2869	713·1	8·592
Kr	36	84 (*a*)	*83·928	83·2801	719·9	8·570
Kr	36	86 (*b*)	*85·929	85·2656	734·4	8·540
Y	39	89	88·93	88·243	(757)	(8·506)
Jn	49	115	114·8	113·914	(1086)	(9·443)
Sn	50	120 (*a*)	*119·912	118·9863	1013·7	8·448
J	53	127	*126·932	125·9521	1047·9	8·251
X	54	134 (*d*)	*133·929	132·8951	1104·9	8·246
Cs	55	133	132·81	131·785	(1215)	(9·135)
La	57	139	138·90	137·828	(1172)	(8·432)
Pr	59	141	140·92	139·832	(1168)	(8·283)
Hg	80	200 (*b*)	*200·016	198·472	1528·1	7·6405
Pb	82	206 (*b*)	*206·016	204·426	1574·4	7·643
Bi	83	209	209·0	207·387	(1613)	(7·718)
Ra	88	226	225·97	224·226	(1774)	7·747
			226·09	224·345	(1655)	7·323
Th	90	232	232·12	230·328	(1672)	7·207
U	92	238	238·14	236·302	(1698)	7·134

Man könnte nun auch in dieser Darstellung für die Elemente mit niedrigem Atomgewicht an eine Aufspaltung in zwei Äste denken, wie dies Fig. 3 *a* andeutet. Der obere Ast enthielte dann He, C, O, F, Ne^{20}, Na, P, Ar; d. h. neben typischen Elementen

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

der Bauart 4 n auch F, Na, P, die ganz andere Bauart haben und zweifellos als durch α-Beschießung zertrümmerbar erkannt sind.

Man kann aber auch die Punktfolgen in anderer Weise ungezwungen verbinden, wie in Fig. 3 *b*, und es ergeben sich dann dem Gesamtverlauf überlagerte periodische Änderungen, die mit steigender Protonenzahl verflachen.

Wohl ist es zur Zeit völlig unbekannt, ob periodische Strukturänderungen der Atomkerne von Einfluß auf das periodische Verhalten von Eigenschaften sind, die von den Elektronen der Hülle beherrscht werden, doch erscheint dies anderseits gegenüber dem

Fig. 3 *a*

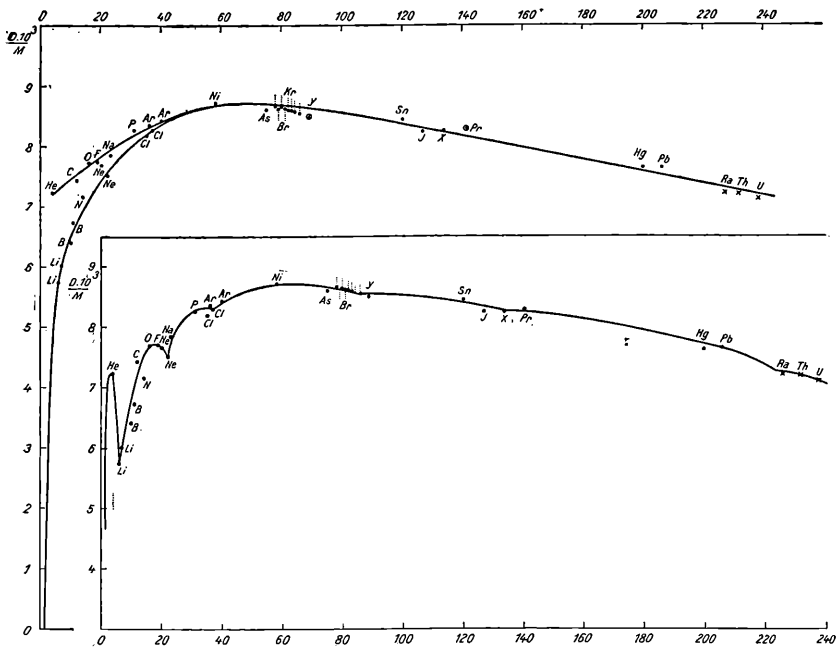

Fig. 3 *b*.

Wunder, daß eine positive Punktladung die eindeutige Anordnung von bis zu 92 Elektronen in ihren Bahnen in der Hülle bedingen soll, nicht als undenkbar. In dem gezeichneten Kurvenzug findet sich jedenfalls ein mit den sonstigen Perioden verwandter Gang.

Es ist danach wohl zulässig, zu sagen, daß ein regelmäßiger Zusammenhang der Packungsanteile der Grundstoffe auch ohne Aufspaltung in zwei Kurvenäste darstellbar ist, und es erscheinen weitgehende Schlüsse über die Art des Kernaufbaues und speziell über die Zertrümmerbarkeit von Elementen aus der Aston'schen Darstellung verfrüht.

Wenngleich die Grundlagen für Strukturmodelle der Elementenkerne noch in ganz unzureichendem Maße vorhanden sind, ist es

doch schwer, der Versuchung zu widerstehen, Ansätze dafür zu entwerfen. Gegeben ist jedenfalls die Protonenzahl und die Ordnungszahl. Als Bausteine können α-Teilchen (Masse 4, Ladung 2), Protonen ($M = 1$, $L = 1$) (π) und neutralisierte Protonen (π') ($M = 1$, $L = 0$), vielleicht echte Neutronen[1] in Frage kommen; für Elemente

S	M	N	α $M = 4$; $L = 2$	$M = 1$; $L = 1$	$M = 1$; $L = 0$
H	1	1	0	1	0
He	4	2	1	0	0
Li	6	3	1	1	1
Li	7	3	1	1	2
Be	9	4	1	2	3
B	10	5	1	3	3
B	11	5	1	3	4
C	12	6	1	4	4
N	14		1 (2)	5 (3)	5 (3)
O	16	8	1 (3)	6 (2)	6 (2)
O*	17	8	1 (3)	6 (2)	7 (3)
O*	18	8	1 (3)	6 (2)	8 (4)
F	19	9	1 (4)	7 (1)	8 (2)
Ne	20	10	$(1 + 4) = 5$	0	0
Ne	21	10	5	0	1
Ne	22	10	5	0	2
Na	23	11		1	2
Mg	24	12		2	2
Mg	25	12	5	2	3
Mg	26	12	5	2	4
Al	27	13	5	3	4
Si	28	14	5	4	4
Si	29	14	5	4	5
Si	30	14	5	4	6
P	31	15	5 (6)	5 (3)	6 (4)
S	32	16	5 (7)	6 (2)	6 (2)
S	33	16	5 (7)	6 (2)	7 (3)
S	34	16	5 (7)	6 (2)	8 (4)
Cl	35	17	5 (8)	7 (1)	8 (2)
Ar	36	18	$(5 + 4) = 9$	0	0
Cl	37	17	5 (8)	7 (1)	10 (2)
K	39	19	9	1	2
Ca	39	20	9	2	1
Ar	40	18	9	0	4
Ca	40	20	9	2	2
K	41	19	9	1	4

[1] Vgl. Wiener Anzeiger, *66*, 101, 1929.

* Vergl. W. F. Giauque und H. L. Johnstone, Nature, *123*, 318 und 831, 1929.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

mit hohem Atomgewicht eventuell noch Lise Meitner's neutralisierte α-Teilchen (α'). Das läßt vorstehende Aufstellung zu, die gewisse Gesetzmäßigkeiten erkennen läßt und auch zu der Kurve in Fig. 3 *b* in Beziehung gebracht werden kann. Die Ordnungs- oder Kernladungszahl (N) gibt gleichzeitig die Zahl der nicht in α-Teilchen oder in π' gebundenen Elektronen an.

Die eingeklammerten Werte stellen eine zweite Möglichkeit dar, wenn eine systematische Vermehrung der α-Gebilde im Kern anzunehmen wäre; vielleicht könnten auch beide Formen nebeneinander existieren. Möglicherweise wäre auch schon bei C eine Form mit (2), (2), (2) für die dreierlei Bausteine anzusetzen und für die drei Si-Arten (6), (2), (2), beziehungsweise (6), (2), (3) und (6), (2), (4). Eine Steigerung der Zahl der α-Teilchen im Kern auf 3 bei C oder 4 bei O wäre aber auszuschließen.

Die Werte für π, der nicht an Elektronen im Kern gebundenen Protonen, laufen dabei — aus vorläufig ganz ungeklärten Ursachen — parallel den Wertigkeiten der betreffenden Elemente.

Ein Weiterspinnen solcher Ansätze für höhere Atomgewichte ist wegen aller vorhandenen Unsicherheiten zu gewagt, als daß es zur Zeit am Platze erschiene; wissen wir doch nicht einmal, ob überhaupt im Li und den nächstfolgenden Elementen ein α-Teilchen im Kerngefüge bestehen bleibt oder die Kerne dieser Substanzen nur aus Protonen und neutralisierten Protonen (Neutronen) aufgebaut zu denken seien. Das Verhalten der Packungseffekte der dem He zunächst folgenden Elemente (vgl. Fig. 3 *b*) scheint sogar eher gegen als für das Vorhandensein eines vorgebildeten α-Teilchens im Kern zu sprechen.

Erst weitere Präzisionsangaben über die Atomgewichte der Elemente und ihrer Isotope ließen es als aussichtsreich gelten, in den Aufbau der Kerne näheren Einblick zu gewinnen. Es ist zu hoffen, daß uns F. W. Aston bald Ergänzungen seiner grundlegenden Daten bescheren wird, und es muß natürlich ihm in erster Linie überlassen bleiben, daraus die entsprechenden Folgerungen zu ziehen. Aus obigem möge nur im Hinblick auf die große Wichtigkeit, die den Packungseffekten für die Deutung der Struktur der Atome zugemessen wird, hervorgehen, daß es möglich ist, aus den bisherigen Ergebnissen auch andere Schlüsse zu ziehen, als dies bisher geschah.

Zusammenfassung.

Es werden von der Aston'schen Darstellung der Packungseffekte der Atome abweichende Aufstellungen, speziell für das Atomgewicht des Wasserstoffes gleich 1 als Basis versucht und es wird gezeigt, daß es möglich ist, zu einer Deutung der Packungsanteile für die leichten Elemente zu gelangen, ohne eine Aufspaltung der Kurve in zwei Äste zu benötigen. Es ergeben sich Periodizitäten, die Verwandtschaft mit den bekannten Perioden im sogenannten natürlichen System der Elemente erkennen lassen.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Sitzungsberichte der Akademie der Wissenschaften mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse

Jahr/Year: 1929

Band/Volume: 138_2a

Autor(en)/Author(s): Meyer Stefan

Artikel/Article: Mitteilungen des Institutes für Radiumforschung Nr. 235. Zur Darstellung der Packungseffekte der Atome. 431-438