

Berichte der Deutschen Chemischen Gesellschaft

73. Jahrg. Nr. 1. — (Abteilung A (Vereinsnachrichten), S. 1–23 — 10. Januar

O. Hahn, S. Flügge und J. Matthauch: Die chemischen Elemente und natürlichen Atomarten nach dem Stande der Isotopen- und Kernforschung.

(Bericht über die Arbeiten von Ende 1937 bis Ende 1939.)

[Aus d. Kaiser-Wilhelm-Institut für Chemie, Berlin-Dahlem.]

(Eingegangen am 12. Dezember 1939.)

Seit einer Reihe von Jahren hat der eine von uns in den „Berichten der Deutschen Chemischen Gesellschaft“ jährlich einen Bericht über „die chemischen Elemente und natürlichen Atomarten nach dem Stande der Isotopen- und Kernforschung“ herausgegeben. Das Interesse an dieser Zusammenstellung verschob sich dabei immer mehr zur Seite der Physik. Der Isotopen-Bericht wird deshalb von jetzt ab erstmalig in der „Physikalischen Zeitschrift“ veröffentlicht.

Die Zusammenstellung erscheint jedoch auf Wunsch der Redaktion wie in früheren Jahren auch in den „Berichten“ weiter.

Die Unterteilung ist die gleiche wie bisher: Der erste Teil des Berichts bringt die Art der Berechnung der Atommassen aus massenspektrographischen und kernphysikalischen Ergebnissen. Der zweite Teil enthält das neu hinzugekommene Material über die Isotopenzusammensetzung der einzelnen Elemente und die chemischen Atomgewichte.

Statt wie bisher einer Tafel folgen dann zwei Tafeln. Tafel I bringt die Isotope und Atomgewichte der chemischen Elemente, soweit Ende 1939 bekannt, in gegenüber der früheren Anordnung erweiterter Form. In die Tafel wurden auch die β -stabilen α -Strahler der natürlichen Zerfallsreihen aufgenommen, weil sie zur Festlegung der Packungsanteil-Kurve zwischen Pb und U notwendig sind. Als einziger Vertreter der Ordnungszahl 89 wurde auch der langlebige β -Strahler Ac eingetragen.

Für die Zwecke der Kernphysik ist es oft erforderlich zu wissen, mit welcher Sicherheit wahrscheinlich nicht existierende Isotope ausgeschlossen werden können. Soweit Messungen von maximal möglicher Häufigkeit vorliegen, wurden sie in Tafel II zusammengestellt.

Schließlich folgt noch eine Kurve der Packungsanteile der einzelnen Atomarten mit Angabe der Genauigkeitsgrenzen der einzelnen Werte und Hinweis auf noch unsichere Stellen.

I. Atommassen aus massenspektrographischen und kernphysikalischen Ergebnissen.

Zur genauen Festlegung der Atommassen wurde eine umfassende Neuberechnung vorgenommen.

a) Leichte Kerne.

Hier liegen außer dem massenspektrographischen Material in großem Umfange Kernumwandlungswerte vor. Es wurde zur Neuberechnung wie folgt vorgegangen:

Zunächst wurden die drei Standardmassen ^1H , ^2D und ^{12}C berechnet unter Zugrundelegung der Messung für die drei Grunddubletts $^{12}\text{CH}_4$ — ^{16}O , D_3 — $^{12}\text{C}^{++}$, H_2 — D . Es wurden gewogene Mittel gebildet aus den gut miteinander übereinstimmenden Meßergebnissen von J. Mattauch und A. Bönnisch¹⁾ einerseits und von K. T. Bainbridge und E. B. Jordan²⁾ andererseits und aus diesen Mittelwerten die Atommassen selbst berechnet. Für das erste dieser drei Dubletts ergibt sich ein Mittelwert, der sich mit einer Neubestimmung von Asada und Mitarbeitern³⁾ deckt. Die Werte der Grunddubletts von Aston, dessen Fehlerangabe recht groß ist, und der für $^{12}\text{CH}_4$ — ^{16}O einen abweichenden Wert erhält, wurden dabei nicht verwertet.

Weiterhin wurden die Massen von ^4He , ^7Li , ^9Be , ^{10}B , ^{11}B , ^{13}C , ^{14}N , ^{15}N , ^{20}Ne , ^{21}Ne , ^{22}Ne und ^{40}Ar aus den massenspektrographischen Dubletts von Bainbridge und Jordan²⁾ sowie von Mattauch und Mitarbeitern⁴⁾ ⁵⁾ 1) neu berechnet (Gruppe I). Auch hier wurden gewogene Mittel aus den Einzelergebnissen unter Berücksichtigung der von den Verff. angegebenen Fehlergrenzen gebildet. Die älteren Dublettmessungen von Mattauch bei $^{12}\text{CH}_3$ — ^{15}N und $^{16}\text{OH}_2$ — ^{18}O sowie die älteren Aston'schen Messungen wurden dabei nicht verwertet²⁾.

Um weitere Elemente einzubeziehen, muß man auch Umwandlungsdaten zur Massenbestimmung heranziehen. Das Material über die bei Umwandlungen auftretenden Wärmetönungen wurde dem Bericht von M. S. Livingston und H. A. Bethe²⁾ entnommen und durch folgende neuere Messungen ergänzt:

^9Be (p, α)	^6Li	$+ 2.279 \pm 0.04$	TME ⁶⁾ 7)
^9Be (p, d)	$^8\text{Be}^*$	$+ 0.580 \pm 0.006$	TME ⁶⁾ 8)
^7Li (p, α)	^4He	$+ 18.55 \pm 0.03$	TME ⁹⁾
^6Li (d, α)	^4He	$+ 23.85 \pm 0.04$	TME ⁹⁾
^{18}O (p, α)	^{15}N	$+ 4.25 \pm 0.16$	TME ¹⁰⁾
^{15}N (p, α)	^{12}C	$+ 5.37 \pm 0.16$	TME ¹⁰⁾

1) J. Mattauch, Physik. Ztschr. **39**, 892 [1938].

2) M. S. Livingston u. H. A. Bethe, Rev. mod. Physics **9**, 245 [1937], insbesondere Tab. 71, S. 370; Tab. 72, S. 371 f.

3) T. Asada, T. Okuda, K. Ogata u. S. Yoshimoto, Nature **143**, 797 [1939].

4) J. Mattauch u. R. Herzog, Naturwiss. **25**, 747 [1937].

5) J. Mattauch, Physik. Ztschr. **38**, 951 [1937].

6) Bei diesen Reaktionen wurde noch eine Korrektur angebracht. Die Wärmetönung war hier durch die Ablenkung der Partikeln in einem elektrischen Radialfeld bestimmt worden, wobei nicht berücksichtigt war, daß beim Eintreten in das Feld die Teilchen einen Potentialsprung überwinden müssen. — TME = tausendstel Masseneinheit. Ein Sternchen bedeutet, daß der betreffende Kern nicht stabil ist.

7) S. K. Allison, L. S. Skaggs u. N. M. Smith jr., Physic. Rev. **54**, 171 [1938].

8) S. K. Allison, E. R. Graves, L. S. Skaggs u. N. M. Smith jr., Physic. Rev. **55**, 107 [1939].

9) N. M. Smith jr., Physic. Rev. **56**, 548 [1939].

10) W. F. Burcham u. C. L. Smith, Nature **143**, 795 [1939].

Zunächst wurde für zehn Reaktionen, an denen nur solche Kerne beteiligt sind, deren Massen bereits rein massenspektrographisch bestimmt waren, aus diesen Massen die Wärmetönung und ihre Fehlergrenzen berechnet. Aus dieser berechneten Wärmetönung und der bei der Umwandlung direkt beobachteten wurde ein gewogenes Mittel gebildet und mit Hilfe dieses Mittels jeweils aus der als richtig unterstellten Masse des einen an der Reaktion beteiligten Kerns die des anderen berechnet. Auf diese Weise wurden noch geringfügige Korrekturen an den massenspektrographischen Werten von ${}^7\text{Li}$, ${}^9\text{Be}$, ${}^{10}\text{B}$, ${}^{13}\text{C}$, ${}^{14}\text{N}$ und ${}^{15}\text{N}$ angebracht (Gruppe II).

Unter Zugrundelegung der rein massenspektrographischen Werte von Gruppe I und der korrigierten Werte von Gruppe II wurden sodann Kernumwandlungen benutzt, bei denen ebenfalls die Fehlergrenzen der Umwandlungsenergie angebar sind, aber die Masse des einen Reaktionspartners noch nicht bei Gruppe I oder Gruppe II vorkam. Auf diese Weise konnten die Massen von ${}^3\text{H}^*$, ${}^3\text{He}$, ${}^6\text{Li}$, ${}^8\text{Be}^*$, ${}^{10}\text{Be}^*$, ${}^{17}\text{O}$, ${}^{18}\text{O}$, ${}^{19}\text{F}$, ${}^{23}\text{Na}$, ${}^{24}\text{Na}^*$ bestimmt werden (Gruppe III). Insbesondere ergibt sich ${}^8\text{Be}^*$ als α -labil, was auch den direkten Beobachtungen von O. Laaff¹¹⁾ entspricht.

Kernreaktionen, an denen Neutronen beteiligt sind, wurden bis dahin nicht verwendet, da die Energiebestimmung von Neutronen immer etwas ungenauer ist als die von geladenen Teilchen. Die Masse des Neutrons selbst wurde aus dem durch zahlreiches experimentelles und theoretisches Material sehr sicher gestellten Massendefekt des Deuterons von 2.35 ± 0.02 TME berechnet.

Gruppe IV umfaßt Massenbestimmungen unter Benutzung von weniger genau bekannten Wärmetönungen bei Kernumwandlungen, deren Fehlergrenzen nicht angegeben werden können. Es handelt sich dabei um den Massenbereich zwischen 24 und 34. Dabei wurde folgender Weg eingeschlagen: in Gruppe III war die Masse des β -labilen Kerns ${}^{24}\text{Na}^*$ mitbestimmt worden. Er zerfällt unter Emission von β - und γ -Strahlen mit einer Gesamtenergieabgabe von 5.0 TME in ${}^{24}\text{Mg}$, dessen Masse hierdurch festgelegt wurde. Von dort führt die Reaktion ${}^{24}\text{Mg} (\alpha, p) {}^{27}\text{Al}$ zum ${}^{27}\text{Al}$, an welches die Isotope ${}^{25}\text{Mg}$, ${}^{28}\text{Al}^*$ und ${}^{30}\text{Si}$ durch Kernreaktionen unmittelbar angeschlossen werden konnten. Die Reaktion ${}^{25}\text{Mg} (\alpha, p) {}^{28}\text{Al}^*$ führt wieder zu einem radioaktiven Kern, aus dessen Zerfallsenergie von 3.7 TME die Masse von ${}^{28}\text{Si}$ berechnet werden kann. Sonst wurden β -Zerfallsenergien an keiner Stelle benutzt. Diese Gruppe IV umfaßt die stabilen Kerne ${}^{24}\text{Mg}$, ${}^{25}\text{Mg}$, ${}^{26}\text{Mg}$, ${}^{27}\text{Al}$, ${}^{28}\text{Si}$, ${}^{30}\text{Si}$, ${}^{31}\text{P}$ und ${}^{34}\text{S}$.

Darüber hinaus liegt massenspektrographisches Material von F. W. Aston^{12) 2)} vor für ${}^{29}\text{Si}$, ${}^{31}\text{P}$, ${}^{32}\text{S}$, ${}^{35}\text{Cl}$, ${}^{37}\text{Cl}$, ${}^{36}\text{A}$. Die Fehler können bei diesen Massen schon mehr als 1 TME betragen.

b) Schwere Kerne.

Außer einigen Messungen von Aston¹²⁾ bei ${}^{\text{Ti}}$, ${}^{\text{Cr}}$, ${}^{\text{Br}}$, ${}^{\text{Kr}}$, ${}^{\text{Xe}}$ und von J. Mattauch¹³⁾ bei ${}^{\text{Sr}}$ verfügen wir über ein sehr umfangreiches Material

¹¹⁾ Ann. Physik [5] **32**, 743 [1938].

¹²⁾ Proc. Roy. Soc. (London) Ser. A. **163**, 391 [1937]; Nature **141**, 1096 [1938].

¹³⁾ Naturwiss. **25**, 170 [1937].

durch die Arbeiten von A. J. Dempster¹⁴⁾ und A. C. Graves¹⁵⁾. Diese Neumessungen wurden den in der Tafel angegebenen Massenwerten zugrunde gelegt. Die Packungsanteile ergeben eine Kurve, die in der Abbildung dargestellt ist. Sie zeigt einige Abweichungen vom glatten Verlauf. Von den Mattauchschen Bestimmungen bei Sr und den Astonischen bei Ni und Br, die von den Verff. selbst als unsicher angesehen werden, wurde bei der Konstruktion der Kurve abgesehen. Die Kurve zeigt deutlich zunächst, daß kurz vor Fe ein Gebiet besonders starker Bindung liegt. Sie zeigt weiterhin ein Gebiet ausgesprochen starker Bindung in der Gegend von Kr. Selbst wenn die absolute Lage der Astonischen Punkte für Kr zu tief wäre, so spräche doch immer noch ihre Lage relativ zueinander dafür, daß hier eine scharfe Ausbuchtung der Packungsanteil-Kurve nach unten vorliegt.

Besondere Schwierigkeit macht das Gebiet zwischen den Massen 150 und 190. Absolutwerte von Packungsanteilen stehen hier nirgends zur Verfügung. Lediglich folgende Packungsanteilendifferenzen sind dort bekannt: Yb gegen Sr (mehrere Isotope), W und Ta gegen Zr (ebenfalls mehrere Isotope). Legt man für die Gegend um Zr und Sr den durch die Astonischen Messungen beim Kr in diesem Massengebiet naheliegenden und in der Abbildung eingezeichneten Verlauf zugrunde, so ergeben sich die eingetragenen Kreuze in dem Gebiet zwischen 170 und 190. Man darf aber sicher die Kurve nicht durch diese Punkte legen, da sie dann zwischen Cp und Ta so steil ansteigen würde, daß dort ein ganzer Bereich in höchstem Maße α -labil würde mit einer Zerfallsenergie von rund 10 MeV*). Um diese Punkte berücksichtigen zu können, wurde zunächst die Möglichkeit geprüft, daß die Kurve zwischen Cp und Ta eine Unstetigkeitsstelle durchläuft, so daß etwa bis zur Masse 176 aufwärts die Kurve von links her flach verläuft, dann etwa vom Packungsanteil -0.5 auf $+1$ springt und dann weiter flach genug verläuft, um auch den höheren Massen α -Stabilität zu garantieren. Auf ein solches Verhalten scheinen auch die bekannten Anomalien beim Cp hinzudeuten: die β -Aktivität und der extrem große Spin des seltenen ^{176}Cp -Isotops. Diese Möglichkeit läßt sich aber ausschließen. Damit nämlich der Kern $^{182}_{74}\text{W}$ existieren kann, dessen Packungsanteil $+1.5$ betragen soll, muß der doppelte α -Zerfall über $^{178}_{72}\text{Hf}$ in $^{170}_{70}\text{Yb}$ verboten sein. Der Packungsanteil von $^{174}_{70}\text{Yb}$ ist aber ebenfalls gemessen (-0.7). Die beiden Kerne unterscheiden sich, falls man beide Zahlen glauben dürfte, so stark in ihrer Masse, daß bei der Emission zweier α -Teilchen nacheinander aus ^{182}W insgesamt rund 30 MeV Energie frei würden. Es müßte also mindestens einer der beiden α -Zerfälle in der Natur stattgefunden, und entweder alle ^{182}W -Kerne oder alle ^{178}Hf -Kerne bereits vernichtet haben. Demnach bleibt nur die Möglich-

¹⁴⁾ Physic. Rev. **53**, 64, 898 [1938].

¹⁵⁾ Physic. Rev. **55**, 863 [1939].

*) Bedeutet M die genaue Masse, A die Massenzahl eines Atoms, so ist der Packungsanteil f definiert durch $M = A(1 + f)$. Damit ein Kern der Masse M α -stabil ist, muß $M(A) - M(A-4) < M(^4\text{He})$ sein; d. h., wenn f in Einheiten 10^{-4} gemessen wird, da die ^4He -Masse um 38.4×10^{-4} den ganzzahligen Wert übersteigt: $A f(A) - (A-4)$. $f(A-4) < 38.4$. Sieht man den Sprung um 4 Masseneinheiten als Differential an, so ergibt sich auf diese Weise die Gleichung $4(A \frac{df}{dA} + f) - 38.4 = 10 E$, worin E die α -Zerfallsenergie in TME bedeutet.

keit, die Punkte in dieser Gegend so festzulegen, daß sie auf eine vernünftige glatte Kurve fallen und größere Anomalien im Massengebiet um 90 herum, also bei den Bezugsmassen, anzunehmen. Zu diesem Zwecke wurde die Packungsanteilkurve zwischen den Massen 150 und 190, da sich eine völlige Vermeidung der α -Labilität in diesem Bereich nicht erreichen läßt und auch infolge der bekannten Aktivität von ^{148}Sm durchaus wahrscheinlich ist, so gelegt, daß sich überall eine α -Labilität mit einer Zerfallskonstante von $10^{-20} \text{ sec}^{-1}$ ergab, d. i. eine rd. 17-mal längere Halbwertszeit, als sie beim ^{148}Sm beobachtet worden ist. Etwas andere Annahmen würden die Packungsanteilkurve kaum wesentlich geändert haben. Immerhin wäre es sehr erwünscht, dies Gebiet durch zahlreiche genaue Einzelmessungen noch besser zu belegen.

Am besten bekannt ist endlich die Gegend der natürlichen α -Strahler oberhalb von Hg. Die Kurve konnte hier deshalb auch wieder genauer unter Mitnahme der einzelnen differentiellen Schwankungen um den mittleren Verlauf herum gezeichnet werden. Die angegebenen Werte sind an die direkt bestimmten Packungsanteile von Tl, Pb und Bi angeschlossen mit Hilfe der von S. Flüge und A. Krebs¹⁶⁾ veröffentlichten Abbildung.

II. Isotopenzusammensetzung der einzelnen Elemente und chemische Atomgewichte.

Im folgenden werden die Änderungen, die gegenüber der 1938 erschienenen Tabelle von O. Hahn in Tafel I vorgenommen wurden, des näheren durch Literaturzitate belegt.

Wasserstoff (1). Das bei der D+D-Reaktion entstehende H-Isotop ^3H wurde von L. W. Alvarez und R. Cornog¹⁷⁾ als langlebiger β -Strahler sehr kurzer Reichweite nachgewiesen. Es wurde daher als nicht stabile Atomart nicht mehr in die Tafel aufgenommen.

Helium (2). Indem das Cyclotron als Massenspektrograph verwendet wurde, gelang es Alvarez und Cornog¹⁷⁾ im natürlichen He, das Isotop ^3He mit sehr geringer Häufigkeit nachzuweisen. Für spektroskopisch reines (atmosphärisches) He ergab sich für das Häufigkeitsverhältnis $^3\text{He}/^4\text{He}$ der Wert 10^{-7} , für Bomben-He aus irdischen Gasquellen 10^{-8} . Für die Tafel wurde der erste Wert übernommen.

Beryllium (4). Da es jetzt hinreichend gesichert erscheint, daß ^8Be und ^{10}Be instabil sind, wurden sie aus der Tafel gestrichen^{11) 2)}.

Kohlenstoff (6). Massenspektrometrische Untersuchungen von A. O. Nier und E. A. Gulbransen¹⁸⁾ von CO_2 aus verschiedenen Quellen zeigen charakteristische Variationen des Häufigkeitsverhältnisses $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ von maximal 5%. Im allgemeinen erscheint das schwere Isotop in Kalkstein, das leichte in Pflanzen bevorzugt. Für die Tafel wurde der Wert $^{12}\text{C}/^{13}\text{C} = 90 \pm 2$, den Nier und Gulbransen als mittleren Wert verwenden und für Luft gefunden hatten,

¹⁶⁾ Physik. Ztschr. **38**, 13 [1937].

¹⁷⁾ Physic. Rev. **56**, 379, 613 [1939].

¹⁸⁾ Journ. Amer. chem. Soc. **61**, 697 [1939].

aufgenommen; er stimmt gut mit der alten massenspektrometrischen Bestimmung von A. L. Vaughan, J. H. Williams und J. T. Tate¹⁹⁾ (91.6 ± 2.2) und der spektroskopischen Messung von A. R. Brosi und W. D. Harkins²⁰⁾ (92.2 ± 3.7) überein.

Sauerstoff (8). In derselben Arbeit kontrollierten A. O. Nier und E. A. Gulbransen¹⁸⁾ auch den alten Mecke-Childsschen Wert für das Häufigkeitsverhältnis $^{16}\text{O}/^{17}\text{O} = 2500$ und fanden ihn innerhalb von 10% richtig.

Schwefel (16). Von A. O. Nier²¹⁾ wurde mit Sicherheit ein neues seltenes Isotop von der Massenzahl 36 nachgewiesen. Niers Neubestimmung der Häufigkeiten wurde auch für die anderen Isotope in die Tafel aufgenommen.

Chlor (17). Hier wurde das von A. O. Nier und E. E. Hanson²²⁾ ermittelte Häufigkeitsverhältnis $^{35}\text{Cl}/^{37}\text{Cl} = 3.07 \pm 0.03$ zugrunde gelegt.

Kalium (19). Die eingehenden Untersuchungen von A. K. Brewer²³⁾ haben für das Häufigkeitsverhältnis von $^{39}\text{K}/^{41}\text{K}$ in Proben von Ozeanwasser verschiedener Herkunft und Tiefe den konstanten Wert 14.20 ergeben. Für Mineralien schwankt der Wert zwischen 14.1 und 14.6, in Pflanzenaschen sogar zwischen 12.6 und 14.6. Als mittlerer Wert wurde in der Tafel 14.2 benutzt.

Calcium (20). Von Nier²¹⁾ wurden die bisher unbekannten Isotope ^{46}Ca und ^{48}Ca entdeckt und die relativen Häufigkeiten aller Ca-Isotope neu bestimmt.

Titan (22). Chrom (24). Eisen (26). Hier liegen neue genaue Messungen der relativen Häufigkeiten von A. O. Nier²¹⁾ ²⁴⁾ vor, die für die Tafel benutzt wurden.

Kobalt (27). Der Nachweis für ^{57}Co von M. B. Sampson und W. Bleakney²⁵⁾ gründete sich auf die Auffindung einer Linie bei der Masse 92, die als ^{57}Co ^{35}Cl gedeutet wurde, während die Massenzahl 57 selbst durch eine Verunreinigung besetzt war. Die Auffindung zweier Halbwertszeiten bei der Neutronenbestrahlung von Co schien diese Deutung zu stützen. Seitdem man die Erscheinung der Isomerie an anderen Elementen kennengelernt hat, entfällt diese Stütze. Die Existenz des Isotops ^{57}Co erscheint daher zu unsicher, und es wurde gestrichen.

Nickel (28). Von W. A. Lub²⁶⁾ wurde die Existenz von ^{61}Ni mit der Parabelmethode bestätigt, jedoch eine viel geringere Häufigkeit gefunden, als früher von Dempster angegeben war, nämlich $^{61}\text{Ni}/^{64}\text{Ni} = 0.1$ (statt 1).

¹⁹⁾ Physic. Rev. **46**, 327 [1934].

²⁰⁾ Physic. Rev. **52**, 472 [1937].

²¹⁾ Physic. Rev. **53**, 282 [1938].

²²⁾ Physic. Rev. **50**, 722 [1936].

²³⁾ Journ. Amer. chem. Soc. **58**, 365, 370 [1936].

²⁴⁾ Physic. Rev. **55**, 1143 [1939].

²⁵⁾ Physic. Rev. **50**, 732 [1936].

²⁶⁾ Kon. Akad. Wetensch. Amsterdam, Proc. **42**, 3 [1939].

Die von Lub umgerechneten Häufigkeitswerte wurden in die Tafel eingesetzt.

Zink (30). Strontium (38). Von A. O. Nier⁴⁰⁾ ²⁹⁾ wurden genauere Bestimmungen der Häufigkeit durchgeführt.

Molybdän (42). Messungen von J. Mattauch und H. Lichtblau²⁷⁾ ergaben die in die Tafel übernommenen Häufigkeitswerte. ¹⁰³Mo ließ sich nicht nachweisen, trotzdem noch ein hundertstel des Betrages der von J. de Gier und P. Zeeman²⁸⁾ geschätzten Häufigkeit hätte gefunden werden müssen.

Rhodium (45). Wie beim Co war auch beim Rh das Auftreten von zwei Halbwertszeiten bei der Neutronenbestrahlung für Sampson und Bleakney²⁵⁾ die Veranlassung, massenspektrometrisch nach einem zweiten Isotop zu suchen. Da, wie die Verff. hervorheben, die massenspektrometrische Untersuchung sehr schwierig war, und eine geringe Verunreinigung mit Hg nicht mit Sicherheit ausgeschlossen werden konnte, wurde das vorher vermutete Isotop ¹⁰¹Rh gestrichen, zumal inzwischen bei ¹⁰⁴Rh* die Isomerie völlig sicher gestellt ist.

Barium (56). Neue Messungen von A. O. Nier²⁹⁾ ergeben die Häufigkeitswerte der Tafel.

Samarium (62). Durch Aufnahme des Massenspektrums von Sm auf Spezialplatten, die für den Nachweis von α -Teilchenbahnen geeignet sind, konnten T. R. Wilkins und A. J. Dempster³⁰⁾ die α -Aktivität dem Isotop ¹⁴⁸Sm zuordnen. Seine Halbwertszeit ergibt sich aus den Messungen von R. Hosemann³¹⁾ bei Berücksichtigung der von Aston geschätzten Häufigkeit zu 1.4×10^{11} Jahren.

Europium (63). Das von H. Lichtblau³²⁾ mit dem Massenspektrographen gemessene Häufigkeitsverhältnis von ¹⁵¹Eu/¹⁵³Eu beträgt 0.963 ± 0.012 .

Gadolinium (64). Dysprosium (66). Erbium (68). Ytterbium (70). Bei diesen Elementen wurden von A. J. Dempster³³⁾ je zwei seltene Isotope mit kleineren Massen entdeckt, nämlich ¹⁵²Gd, ¹⁵⁴Gd, ¹⁵⁸Dy, ¹⁶⁰Dy, ¹⁶²Er, ¹⁶⁴Er, ¹⁶⁸Yb, ¹⁷⁰Yb. Ihre relativen Häufigkeiten wurden von A. J. Dempster geschätzt. Die Aufnahme dieser Isotope erforderte geringe Änderungen der bisherigen Häufigkeitsangaben von Aston. Beim Yb haben H. Schüler, J. Roig und H. Korsching³⁴⁾ aus Messungen der Hyperfeinstruktur das Häufigkeitsverhältnis ¹⁷³Yb/¹⁷¹Yb = 1.14 gefunden, während aus den Schätzungen Atons 1.9 folgt; dagegen stehen die relativen Häufigkeiten der geraden Isotope nicht im Widerspruch zu Atons An-

²⁷⁾ Ztschr. physik. Chem. B. **42**, 288 [1939].

²⁸⁾ Kon. Akad. Wetensch. Amsterdam, Proc. **39**, 327 [1936].

²⁹⁾ Physic. Rev. **54**, 275 [1938].

³⁰⁾ Physic. Rev. **54**, 315 [1938].

³¹⁾ Ztschr. Physik **99**, 405 [1936].

³²⁾ Naturwiss. **27**, 260 [1939].

³³⁾ Physic. Rev. **53**, 727 [1938].

³⁴⁾ Ztschr. Physik **111**, 165 [1939]; s. a. H. Schüler u. J. Roig, Naturwiss. **26**, 495 [1938].

gaben. Eine dementsprechende Änderung der Häufigkeitswerte wurde in der Tafel vorgenommen.

Hohnium (67). Der in Spalte 15 von Tafel I eingetragene Wert ist eine Neubestimmung von O. Hönigschmid^{34a)}

Cassiopeium (71). Von J. Mattauch und H. Lichtblau³⁵⁾ wurde massenspektrographisch die Masse des seltenen Isotops zu 176 bestimmt. Die Messung der Häufigkeit ergab $^{176}\text{Cp}/^{175}\text{Cp}=0.0258\pm 0.0007$. Da nach Messungen von M. Heyden und W. Wefelmeier³⁶⁾, die von W. F. Libby³⁷⁾ bestätigt wurden, das Cp eine natürliche β -Aktivität zeigt, scheint es vernünftig, diese dem ^{176}Cp zuzuschreiben. Die Halbwertszeit von ^{176}Cp ergibt sich nach Libby unter Berücksichtigung der Häufigkeit zu $(7.3\pm 2)\times 10^{10}$ Jahren. Das in Spalte 15 der Tafel I aufgenommene chemische Atomgewicht ist eine Neubestimmung von O. Hönigschmid^{37a)}.

Hafnium (72). Ein neues seltenes Isotop der Masse 174 wurde von A. J. Dempster³⁸⁾ entdeckt und seine Häufigkeit geschätzt. Die Existenz eines weiteren seltenen Isotops ^{172}Hf ist nicht ausgeschlossen.

Thallium (81). Eine Neubestimmung von A. O. Nier²⁹⁾ ergab $^{203}\text{Tl}/^{205}\text{Tl}=0.410\pm 0.001$.

Blei (82). Genaue massenspektrometrische Analysen von gewöhnlichem Pb, die A. O. Nier³⁹⁾ unternommen hat, haben zu unerwarteten Schwankungen in seiner Isotopenzusammensetzung geführt. Die Werte für geologisch sehr alte Pb-Proben erwiesen sich indessen als konstant. Die älteste Probe ergibt

Atomart (Massenzahl)	204	206	207	208
Prozentuale Beteiligung	1.48	23.6	22.6	52.3

Diese Werte wurden der Tafel zugrunde gelegt. Ferner hat A. O. Nier⁴⁰⁾ 21 Proben von radiogenem Pb verschiedenen Ursprungs massenspektrometrisch untersucht.

Uran (92). A. O. Nier⁴¹⁾ hat neben ^{235}U (AcU) auch noch ^{234}U (U II) massenspektrometrisch nachweisen können und die folgenden Häufigkeitsverhältnisse gemessen. $^{238}\text{U}/^{235}\text{U}=139\pm 1\%$ und $^{238}\text{U}/^{234}\text{U}=17\,000\pm 10\%$. Nachdem mit Hilfe der oben erwähnten Untersuchungen radiogener Bleiprobe das Abzweignungsverhältnis der Ac-Reihe von A. O. Nier⁴⁰⁾ zu $(4.6\pm 0.1)\%$ bestimmt worden war, konnte er mit Hilfe seiner Häufigkeiten der U-Isotope sowie der von A. F. Kovarik und N. J. Adams⁴²⁾ gefundenen Zahl von α -Teilchen (24 770) je Gramm Uran je Sek. die Halbwertszeiten von U I zu 4.56×10^9 Jahren, von U II zu 2.7×10^5 Jahren und von AcU zu 7.13×10^8 Jahren berechnen.

^{34a)} Naturwiss. **27**, 855 [1939].

³⁵⁾ Ztschr. Physik **111**, 514 [1939].

³⁶⁾ Naturwiss. **26**, 612 [1938].

³⁷⁾ Physic. Rev. **56**, 21 [1939].

^{37a)} Ztschr. anorgan. allgem. Chemie, **240**, 284 [1939].

³⁸⁾ Physic. Rev. **55**, 794, [1939].

³⁹⁾ Journ. Amer. chem. Soc. **60**, 1571 [1938].

⁴⁰⁾ Physic. Rev. **55**, 153 [1939].

⁴¹⁾ Physic. Rev. **55**, 150 [1939].

⁴²⁾ Physic. Rev. **40**, 718 [1932].

In der Tafel I gibt die Spalte 5 für die wenigen aktiven Kerne an, ob α - oder β -Zerfall vorliegt. In Spalte 10 sind die Packungsanteile angegeben, die bei den schwereren Kernen direkt massenspektrographisch bestimmt sind. In Klammern gesetzte Zahlen sind aus der Kurve geschätzt. Die in Spalte 11 und 12 aufgeführten Zahlen geben den Massendefekt gegenüber freien Protonen und Neutronen. Sie sind aus den Isotopengewichten und den bekannten Massen von Neutron und Proton berechnet. Umrechnungsfaktor: $0.931 \text{ MeV} = 1 \text{ TME}$. Die in Spalte 13 aufgenommene mittlere Massenzahl berechnet sich nach der Mischungsregel aus Spalte 7 und 8 bei den leichteren Elementen bis einschließlich Argon, aus Spalte 7 und 4 bei den schwereren Elementen. Die in Spalte 14 angegebenen chemischen Atomgewichte sind aus Spalte 13 mit Hilfe des Smytheschen Umrechnungsfaktor 1.000275, von Argon aufwärts unter Berücksichtigung des in Spalte 10 angegebenen Packungsanteils gewonnen.

Tafel I. Isotope und Atomgewichte der chemischen Elemente, soweit Ende 1939 bekannt.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	Element	Sym- bol	Mas- sen- zahl A		Neu- tro- nen zahl A—Z	Häufig- keit in %	Isotopen- gewicht M ¹⁶ O = 16	Fehler von M TME	Packungsanteil $f_{10^{-4}}$	Massendefekt gegen Protonen und Neutronen TME, MeV	Mittlere Massen- zahl	Chemisches Atomgewicht für O = 16 berechn. aus Isoto- penzusam- mensetzung		
Z.														int. Tabelle
0	Neutron	n	1		1	—	1.00895	0.022	89.5 ± 0.22	—	—	—	—	—
1	Wasserstoff	H	1		0	99.98	1.008131	0.0034	81.31 ± 0.034	—	—	1.0083	1.0080	1.0081
		(D)	2		1	0.02	2.014726	0.0066	73.63 ± 0.033	2.35	2.19	—	—	—
2	Helium	He	3		1	10 ⁻⁵	3.0170	0.1	56.66 ± 0.33	8.2	7.6	—	—	—
			4		2	~100	4.003842	0.042	9.61 ± 0.11	30.3	28.2	4.0038	4.0027	4.003
3	Lithium	Li	6		3	7.9	6.01687	0.060	28.1 ± 0.1	34.4	32.0	—	—	—
			7		4	92.1	7.01811	0.07	25.9 ± 0.1	42.1	39.2	6.939	6.937	6.940
4	Beryllium	Be	9		5	100	9.01505	0.11	16.72 ± 0.12	62.2	57.9	9.0151	9.0126	9.02
5	Bor	B	10		5	20	10.01619	0.13	16.19 ± 0.13	69.2	64.4	10.814	10.81	10.82
			11		6	80	11.01290	0.11	11.73 ± 0.1	81.5	75.8	—	—	—
6	Kohlenstoff	C	12		6	98.9	12.003892	0.029	3.243 ± 0.024	98.6	91.8	12.015	12.012	12.010
			13		7	1.1	13.00758	0.056	5.83 ± 0.043	103.9	96.7	—	—	—
7	Stickstoff	N	14		7	99.62	14.007526	0.015	5.376 ± 0.011	112.0	104.3	14.011	14.007	14.008
			15		8	0.38	15.00494	0.07	3.293 ± 0.047	123.6	115.1	—	—	—
8	Sauerstoff	O	16		8	99.76	16. —	Standard	0	136.6	127.2	—	—	—
			17		9	0.04	17.00450	0.06	+ 2.647 ± 0.035	141.1	131.4	16.0044	16.0000	16.0000
			18		10	0.20	18.00490	0.18	+ 2.72 ± 0.1	149.7	139.3	—	—	—
9	Fluor	F	19		10	100	19.00447	0.14	+ 2.353 ± 0.074	158.2	147.3	19.0045	18.9993	19.00
10	Neon	Ne	20		10	90.00	19.998926	0.054	—0.537 ± 0.027	171.9	160.0	—	—	—
			21		11	0.27	20.99980	0.20	—0.095 ± 0.095	180.0	167.5	20.196	20.191	20.183
			22		12	9.73	21.99862	0.35	—0.63 ± 0.16	190.1	177.0	—	—	—
11	Natrium	Na	23		12	100	22.99627	0.30	—1.62 ± 0.13	200.6	186.7	22.996	22.990	22.997
12	Magnesium	Mg	24		12	77.4	23.9926	—	—3.08	212.4	197.7	24.330	24.323	24.32
			25		13	11.5	24.9941	—	—2.36	219.8	204.6	—	—	—
			26		14	11.1	25.9899	—	—3.88	233.0	216.9	—	—	—

13	Aluminium	Al	14	100	26.9902		—3.63	240.8	224.2	26.990	26.983	26.97
14	Silicium	Si	14	89.6	27.9870*		—4.64	252.1	234.7			
			15	6.2	28.9865		—4.66	261.6	243.5	28.133	28.125	28.06
			16	4.2	29.9834		—5.53	273.6	254.7			
15	Phosphor	P	16	100	30.9851		—4.81	280.1	260.8	30.985	30.977	30.98
16	Schwefel	S	16	95.1	31.9823		—5.53	291.0	270.9			
			17	0.74						32.074	32.065	32.06
			18	4.2	33.9804		—5.76	310.8	289.4			
			20	0.016								
17	Chlor	Cl	18	75.4	34.9805		—5.57	319	297	35.472	35.462	35.457
			37	24.6	36.9786		—5.78	339	315			
18	Argon	A	36	0.31	35.9791	0.75	—5.81 ± 0.21	328	306	39.962	39.926	39.944
			38	0.06		0.14	—6.113 ± 0.034	367.7	342.3			
19	Kalium	K	20	99.63	39.97555							
			22									
			20	93.44						39.131	39.097	39.096
			21	0.012			(—6.0)					
			41	6.55								
20	Calcium	Ca	20	96.96								
			22	0.64								
			23	0.15			(—6.2)			40.115	40.08	40.08
			24	2.07								
			26	0.003								
			28	0.185								
21	Scandium	Sc	24	100			(—6.9)			45	44.96	45.10
22	Titan	Ti	24	7.95								
			25	7.75								
			26	73.45	47.966	0.47	—7.08 ± 0.10	446	415	47.925	47.88	47.90
			27	5.51	48.964	2.0	—7.35 ± 0.41	457	425			
			28	5.34	49.963	2.0	—7.4 ± 0.4	466	434			
23	Vanadium	V	28	100			(—7.4)			51	50.95	50.95
24	Chrom	Cr	26	4.49								
			28	83.78	51.959	0.9	—7.9 ± 0.2	487	453	52.051	52.00	52.01
			29	9.43								
			30	2.30								

β

Tafel I. Isotope und Atomgewichte der chemischen Elemente, soweit Ende 1939 bekannt (Fortsetzung).

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Z.	Element	Sym- bol	Mas- sen- zahl A	Neu- tro- nen zahl A—Z	Häufig- keit in %	Isotopen- gewicht M 16O = 16	Fehler von M TME	Packungsanteil f 10 ⁻⁴	Massendefekt gegen Protonen und Neutronen TME · MeV	Mittlere Massen- zahl	Chemisches Atomgewicht für O = 16 berechn. aus Isoto- penzusam- mensetzung	Chemisches Atomgewicht für O = 16 berechn. aus Isoto- penzusam- mensetzung		
25	Mangan	Mn	55	30	100			(-7.3)		55	54.94	54.93		
26	Eisen	Fe	54 56 57 58	28 30 31 32	6.0 91.6 2.1 0.28	53.960 55.961	2.7 2.3	-7.4 ± 0.5 -7.0 ± 0.4	502 467 519 483	55.907	55.85	55.84		
27	Kobalt	Co	59	32	100			(-7.0)		59	58.94	58.94		
28	Nickel	Ni	58 60 61 62 64	30 32 33 34 36	68.0 27.2 0.1 3.8 0.9	59.959	2.8	(-7.1) -6.8 ± 0.5	555 517	58.753	58.70	58.69		
29	Kupfer	Cu	63 65	34 36	68 32	62.956 64.955	1.3 1.3	-6.9 ± 0.2 -6.9 ± 0.2	584 544 603 561	63.64	63.58	63.57		
30	Zink	Zn	64 66 67 68 70	34 36 37 38 40	50.9 27.3 3.9 17.4 0.5	63.956 65.952	3.2 3.3	-6.8 ± 0.5 -7.3 ± 0.5	592 551 614 572	65.389	65.33	65.38		
31	Gallium	Ga	69 71	38 40	61.5 38.5	67.956 69.954	3.5 3.7	-6.5 ± 0.5 -6.5 ± 0.5	628 585 648 603	69.770	69.70	69.72		
32	Germanium ...	Ge	70 72 73 74 76	38 40 41 42 44	21.2 27.3 7.9 37.1 6.5	68.935 70.953	3.5 3.6	-6.5 ± 0.5 -6.6 ± 0.5	637 593 657 612	72.657	72.59	72.60		

[illegible]

Tafel I. Isotope und Atomgewichte der Elemente chemischen, soweit Ende 1939 bekannt (Fortsetzung).

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Z.	Element	Sym- bol	Mas- sen- zahl A	Neu- tro- nen zahl A—Z	Häufig- keit in %	Isotopen- gewicht M 100 = 16	Fehler von M TME	Packungsanteil f_{10^4}	Massendefekt gegen Protonen und Neutronen TME MeV	Mittlere Massen- zahl	Chemisches Atomgewicht für O = 16 berechn. aus Isoto- penzusam- mensetzung	int. Tabelle		
44	Ruthenium ...	Ru	96 98 99 100 101 102 104	52 54 55 56 57 58 60	(5) — (12) (14) (22) (30) (17)	95.945 98.944	3.5 3.6	—5.7 ± 0.4 —5.7 ± 0.4	878 906	817 843	101.180 101.10	101.7		
45	Rhodium	Rh	103	58	100			(—5.3)		103	102.92	102.91		
46	Palladium	Pd	102 104 105 106 108 110	56 58 59 60 62 64	0.8 9.3 22.6 27.2 26.8 13.5	103.946 104.945 105.945 107.943 109.942	4.2 4.3 4.3 4.3 4.4	—5.2 ± 0.4 —5.2 ± 0.4 —5.2 ± 0.4 —5.2 ± 0.4 —5.2 ± 0.4	947 957 966 986 1005	882 891 899 918 936	106.631 106.55	106.7		
47	Silber	Ag	107 109	60 62	52.5 47.5	106.948 108.947	3.2 3.3	—4.8 ± 0.3 —4.8 ± 0.3	971 990	904 922	107.950 107.87	107.880		
48	Cadmium	Cd	106 108 110 111 112 113 114 116	58 60 62 63 64 65 66 68	1.4 1.0 12.8 13.0 24.2 12.3 28.0 7.3						112.465 112.38	112.41		
49	Indium	In	113 115	64 66	4.5 95.5			(—4.9)		114.910	114.82	114.76		

50	Zinn.....	Sn	112 114 115 116 117 118 119 120 122 124 121 123	62 64 65 66 67 68 69 70 72 74	1.1 0.8 0.4 15.5 9.1 22.5 9.8 28.5 5.5 6.8	115.942 117.939 118.938 121.944 123.943	7.0 4.0 4.8 7.3 7.4	—5.0 ± 0.6 —5.1 ± 0.4 —5.2 ± 0.4 —4.6 ± 0.6 —4.6 ± 0.6	1055 1076 1086 1107 1126	982 1002 1011 1031 1048	118.70 118.785 118.70	118.70 118.70	118.70
51	Antimon	Sb	121 123	70 72	56 44			(—4.7)			121.880	121.79	121.76
52	Tellur	Te	122 123 124 125 126 128 130	70 71 72 73 74 76 78	2.9 1.6 4.5 6.0 19.0 32.8 33.1			(—4.4)			127.668	127.58	127.61
53	Jod	J	127	74	100			(—4.4)			127	126.91	126.92
54	Xenon	X	124 126 128 129 130 131 132 134 136	70 72 74 75 76 77 78 80 82	0.094 0.088 1.91 26.23 4.06 21.18 26.98 10.55 8.95	128.946 131.946	1.4 ~5	—4.2 ± 0.1 —4.1	1164 1191	1084 1109	131.400 131.31	131.3	131.3
55	Caesium	Cs	133	78	100			(—4.0)			133	132.91	132.91
56	Barium	Ba	130 132 134 135 136 137 138	74 76 78 79 80 81 82	0.101 0.097 2.42 6.6 7.8 11.3 71.7			(—3.7)			137.422	137.33	137.36

Tafel I. Isotope und Atomgewichte der chemischen Elemente, soweit Ende 1939 bekannt (Fortsetzung).

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Z.	Element	Sym- bol	Mas- sen- zahl A		Neu- tro- nen zahl A—Z	Häufig- keit in %	Isotopen- gewicht M 16O = 16	Fehler von M TME	Packungsanteil / 10 ⁴	Massendefekt gegen Protonen und Neutronen TME in MeV	Mittlere Massen- zahl	Chemisches Atomgewicht für O = 16 berechn. aus Isoto- penzusam- mensetzung	Chemisches Atomgewicht für O = 16 berechn. aus Isoto- penzusam- mensetzung	
57	Lanthan	La	139		82	100	138,955	5,6	—3,2 ± 0,4	1242	1156	138,92	138,92	
58	Cer	Ce	136 138 140 142		78 80 82 84	selten selten 89 11			(—3,5)		140,22	140,13	140,13	
59	Praseodym . . .	Pr	141		82	100			(—3,4)		141	140,91	140,92	
60	Neodym	Nd	142 143 144 145 146 148 150		82 83 84 85 86 88 90	25,95 13,0 22,6 9,2 16,5 6,8 5,95	145,960 147,961 149,967	5,8 4,2 6,0	—2,8 ± 0,4 —2,7 ± 0,3 —2,2 ± 0,4	1298 1314 1326 1208 1223 1235	144,402	144,32	144,27	
62	Samarium	Sm	144 147 148 149 150 152 154	α	82 85 86 87 88 90 92	3 17 14 15 5 26 20			(—2,4)		150,200	150,12	150,43	
63	Europium	Eu	151 153		88 90	49 51			(—2,2)		152,020	151,94	152,0	
64	Gadolinium . . .	Gd	152 154 155 156		88 90 91 92	0,2 1,5 21 22	154,977 155,976	3,2 3,0	—1,5 ± 0,2 —1,5 ± 0,2		157,005	156,94	156,9	

Berichte d. D. Chem. Gesellschaft. Jahrg. LXXIII.	65	Terbium	Tb	157	93	17	156.976	3.2	-1.5 ± 0.2	159	158.93	159.2
	66	Dysprosium . . .	Dy	158	94	0.1						
			159	95	22							
			160	96	16							
			161	97	24							
			162	98	28							
			163	99	0.25							
			164	100	2							
			165	101	(35)							
			166	102	(24)							
67	Holmium	Ho	167	103	(29)	167.167	-0.6	167.2				
68	Erbium	Er	168	104	(10)							
			169	105	100							
			170	106	100							
69	Thulium	Tm	171	107	0.06							
70	Ytterbium	Yb	172	108	2							
			173	109	(9)							
			174	110	(23)							
			175	111	(17)							
			176	112	(37)							
71	Cassiopeium . .	Cp	177	113	(12)	173.197	-0.0	173.04				
			178	114	97.5							
			179	115	2.5							
			180	116	(0.3)							
			181	117	(5)							
			182	118	(19)							
			183	119	(28)							
			184	120	(18)							
			185	121	(30)							
			186	122	100							
72	Hafnium	Hf	187	123	100	175.025	$+0.2$	174.98				
			188	124	0.06							
			189	125	2							
			190	126	(9)							
			191	127	(23)							
			192	128	(17)							
			193	129	(37)							
			194	130	(12)							
			195	131	97.5							
			196	132	2.5							
73	Tantal	Ta	197	133	(0.3)	178.477	$+0.5$	178.44				
			198	134	(5)							
			199	135	(19)							
			200	136	(28)							
			201	137	(18)							
			202	138	(30)							
			203	139	100							
			204	140	100							
			205	141	0.06							
			206	142	2							

Tafel I. Isotope und Atomgewichte der chemischen Elemente, soweit Ende 1939 bekannt (Fortsetzung).

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Z.	Element	Sym- bol	Massen- zahl A		Neu- tro- nen zahl A—Z	Häufig- keit in %	Isotopen- gewicht $^{16}\text{O} = 16$	Fehler von M TME	Packungsanteil f 10^{-4}	Massendefekt gegen Protonen und Neutronen TME MeV	Mittlere Massen- zahl		Chemisches Atomgewicht für $\text{O} = 16$ berechn. aus Isoto- penzusam- mensetzung	int. Tabelle
74	Wolfram	W	180 182 183 184 186		106 108 109 110 112	0.2 22.6 17.3 30.1 29.8			(+1.0)		183.963	183.93	183.92	
75	Rhenium	Re	185 187		110 112	38.2 61.8			(+1.2)		186.236	186.21	186.31	
76	Osmium	Os	184 186 187 188 189 190 192		108 110 111 112 113 114 116	0.018 1.59 1.64 13.3 16.2 26.4 40.9			(+1.6)		190.276	190.25	190.2	
77	Iridium	Ir	191 193		114 116	38.5 61.5	190.038 192.038	16.3 7.5	+2.0 \pm 0.9 +2.0 \pm 0.4	1600 1618	1490 1506	192.230	192.22	193.1
78	Platin	Pt	192 194 195 196 198		114 116 117 118 120	0.8 30.2 35.3 26.6 7.2	191.040 193.041 (192.05) 194.040 195.040 196.039 198.044	10.2 10.3 (11.2) 7.8 5.9 8.1 7.5	+2.1 \pm 0.5 +2.1 \pm 0.5 (+2.7 \pm 0.6) +2.0 \pm 0.4 +2.0 \pm 0.3 +2.0 \pm 0.4 +2.2 \pm 0.4	1606 1623 (1605) 1632 1641 1651 1664	1495 1511 (1494) 1519 1528 1537 1549	195.156	195.14	195.23
79	Gold	Au	197		118	100	197.039	5.9	+2.0 \pm 0.3	1659	1545	197	196.99	197.2
80	Quecksilber . . .	Hg	196 198 199 200		116 118 119 120	0.15 10.12 17.04 23.25			(+2.4)		200.613	200.61	200.61	200.61

Thallium	Tl	201	121	13.18 29.54 6.72	203.057 205.057	9.2	+2.8 ± 0.5 +2.8 ± 0.5	1694	1577 1593	204.413	204.42	204.39
		202	122					1711				
		204	124					1701				
Blei	Pb	204	122	1.5 23.6 22.6	204.058	9.2	+2.8 ± 0.5	1737	1584	207.242	207.24	207.21
		206	124					1748				
		207	125					1752				
Wismut	Bi	208	126	52.3	208.057	9.0	+2.7 ± 0.4	1776	1617	209	209.00	209.00
		209	126					1791				
		210	126					1791				
Polonium	Po	210	α	α	α	8.6	+2.6 ± 0.4	1752	1631	209	210.00	210.00
		211	α					1754				
		212	α					1761				
Emanation . . .	An Tn Rn	214	α	α	α	9.0	+3.45	1772	1651	222.04	222.04	222.04
		215	α					1776				
		216	α					1781				
Radium	AcX ThX Ra	218	α	α	α	9.0	+3.84	1791	1669	222.04	222.04	222.04
		219	α					1798				
		220	α					1805				
Actinium	Ac	222	α	α	α	9.0	+4.50	1815	1690	222.04	222.04	222.04
		223	α					1822				
		224	α					1827				
Thorium	RdAc RdTh Jo	226	α	α	α	9.0	+4.86	1840	1713	227	227.05	226.05
		227	β					1847				
		228	α					1847				
Protactinium . .	Pa	230	α	α	α	9.0	+5.00	1852	1725	231	231.06	231
		231	α					1870				
		232	α					1875				
Uran	U	232	α	α	α	9.0	+5.52	1875	1746	237.978	238.06	238.07
		233	α					1888				
		234	α					1893				
Uran	U	235	α	α	α	9.0	+5.70	1910	1778	237.978	238.06	238.07
		236	α					1888				
		238	α					1893				

Tafel II.

Ausschließungsgrenzen von wahrscheinlich nicht vorhandenen Isotopen.

Ele- ment	A	max. Häufig- keit %	Lite- ratur	Ele- ment	A	max. Häufig- keit %	Lite- ratur		
1 H	3	10 ⁻¹⁰	43)	24 Cr	55	0.006	24)		
2 He	5	0.0001	44)	25 Mn	53, 57	0.007	25)		
3 Li	5	0.001	45)	26 Fe	52, 53	0.002	} 24)		
4 Be	8	0.001	46)		55	0.005			
					59	0.013			
					60	0.003			
10 Ne	23	0.001	47)						
11 Na	20, 21	} 0.002	} 48)	27 Co	57	0.17	25)		
	22, 24			30 Zn	63	0.0013	} 49)		
	25				65	0.0025			
16 S	30, 35	0.002	} 21)		69	0.0017			
	31	0.005		33 As	71, 72	} 0.001	} 46)		
	37, 38	0.0005			73, 77				
				78, 79					
17 Cl	39	0.004	22)		74	0.005	} 46)		
					76	0.002			
18 A	37	0.005	} 49)	35 Br	73, 87	0.004	} 51)		
	39, 41	0.01				74, 86		0.008	
	42	0.0003			21)	75, 84		} 0.013	
19 K	42, 43	0.0006	50)	85	0.017				
20 Ca	38	0.0017	} 21)		76	0.03			
	39	0.0025				77, 83		0.25	
	41	0.0007				78, 82		0.05	
	45, 47	} 0.0005				80		} 0.0012	} 46)
	49, 50								
22 Ti	42, 51	} 0.0007	} 21)	36 Kr	76, 77, 79	0.0023			
	52, 53						81, 88		
	43	0.007			37 Rb	87		} 49)	
	44, 45	0.0014			80, 81	} 0.0007			
	54	0.003			89, 90		0.0012		
24 Cr	49, 51	} 0.001	} 24)		83	0.0060			
	56						84		0.0056
							86		0.0033

⁴³⁾ R. Sherr, L. G. Smith u. W. Bleakney, Physic. Rev. **54**, 388 [1938].⁴⁴⁾ W. Bleakney, G. P. Harnwell, W. W. Lozier, P. T. Smith u. H. D. Smyth, Physic. Rev. **46**, 81 [1934].⁴⁵⁾ M. B. Sampson u. W. Bleakney, Physic. Rev. **50**, 456 [1936].⁴⁶⁾ A. O. Nier, Physic. Rev. **52**, 933 [1937].⁴⁷⁾ W. Bleakney, Physic. Rev. **43**, 1056 [1933].⁴⁸⁾ A. K. Brewer, Physic. Rev. **49**, 56 [1936].⁴⁹⁾ A. O. Nier, Physic. Rev. **50**, 1041 [1936].⁵⁰⁾ A. O. Nier, Physic. Rev. **48**, 283 [1935].

Tafel II.
(Fortsetzung).

Ele- ment	A	max. Häufig- keit %	Lite- ratur	Ele- ment	A	max. Häufig- keit %	Lite- ratur		
38 Sr	80, 81	} 0.0004	} 29)	55 Cs	131	0.005	} 46)		
	82				132	0.025			
	83, 89	0.0008			134	0.017			
	85	0.0017			135	0.002			
	90, 91	} 0.0003		56 Ba	128, 129	} 0.0007	} 29)		
	92				131, 133				
39 Y	91	0.05	38)		140, 141			} 0.002	}
	41 Nb	91, 95	0.25		26)	139			
42 Mo		88—91	} 0.02	} 27)	71 Cp	177	0.1	38)	
	93, 99	73 Ta			179	0.1	38)		
	102—105				76 Os	182, 183	} 0.003	} 51)	
	101	0.03	185			0.011			
45 Rh	101	0.08	} 25)	191	0.007				
	105	0.10		193	0.004				
48 Cd	107, 109	0.043	} 49)	79 Au	199	0.01	53)		
	115	0.125			194	0.0015	} 46)		
	118	0.0068			197	0.0037		29)	
49 In	110, 111	0.01	} 45)	80 Hg	203	0.0006	} 46)		
	112, 116	} 0.02			205, 206	0.0016		} 53)	
	117				0.5	81 Tl	199—201		} 0.002
	114	0.012			206—209		} 0.003		
	118	0.003		202, 204	82 Pb			203	0.002
	119	0.0004		205		0.01			
53 J	123, 124	} 0.002	} 46)	83 Bi		209	0.0009	} 29)	
	125					0.004	210		0.009
	126	0.007			205—207	} 0.001	} 29)		
	128	0.0025			211—213				} 0.002
	129	0.0008		208, 210	92 U	231—233		} 0.003	
	130	0.0004		236		} 0.0083			
	131	0.0004		237, 239			0.0016		
54 X	122, 123	} 0.00045	} 46)	92 U	240—242	} 0.0016	}		
	125				0.0009			} 0.003	
	127	0.0018			} 0.001				
	133, 135	} 0.0018		} 0.002					
	137, 138				} 0.0018	} 0.003			
55 Cs	129, 130	} 0.001	} 46)						
	136, 137								

⁵¹⁾ A. O. Nier, Physic. Rev. **52**, 763 [1937].

⁵²⁾ A. J. Dempster, Proc. Am. Phil. Soc. **75**, 755 [1935]; Nature **136**, 65 [1935].

⁵³⁾ A. O. Nier, Physic. Rev. **51**, 1007 [1937].

⁵⁴⁾ G. P. Blewett, Physic. Rev. **49**, 900 [1936].

Packungsanteilkurve. Für die Massen < 40 ist zwischen geraden und ungeraden Massen unterschieden. Die ausgezogene Kurve verbindet Punkte gerader Masse und zeigt am Anfang eine ausgesprochene, später abklingende Vierperiode, entsprechend der Bildung eines neuen α -Teilchens jeweils nach Anlagerung von zwei weiteren Protonen und Neutronen. Die strichpunktierte Kurve verbindet die Punkte ungerader Masse und verläuft im wesentlichen monoton.

Oberhalb $A = 40$ ist nur noch eine Kurve gezeichnet. Die im Text diskutierte Ausbuchtung bei Kr (um $A = 80$ herum) ist gestrichelt. — Bei einigen Differenzmessungen ist die Masse des einen Partners nicht anderweit bekannt und willkürlich auf die Kurve gelegt. Der daraus folgende Packungsanteil des anderen Partners ist dann durch ein Kreuzchen in die Figur eingetragen. Punkte dieser Art liegen vor allem um $A = 180$ herum und sind im Text näher besprochen.

Von $A = 206$ an aufwärts beginnen die natürlichen α -Strahler, deren Packungsanteile relativ zueinander sehr genau bekannt sind. Die absolute Lage dieses Teils der Kurve ist etwa mit dem gleichen Fehler behaftet wie die für etwas kleinere Massenzahlen mit den Fehlergrenzen eingezeichneten Meßpunkte.

