

sammensetzung, in der wissenschaftlichen und der technischen Größe und Schwierigkeit ihrer Aufgaben. Unter den Umständen, die den künftigen Erfolg bestimmen werden, verdient ernste Beachtung der Einfluß der Forschungsarbeit, auf der unsere chemische Industrie beruht, und von der sie immer neue Anregung und Nahrung empfangen muß. Indem ich dieses Gedenkblatt für meinen heimgegangenen Freund schließe, stellt sich mir ein weiteres Erfordernis vor Augen. Die deutsche Wirtschaft bedarf der Männer von Franz Oppenheims Wesen, von seiner festen und bescheidenen, von seiner weisen Art der Führung.

Richard Willstätter.

L. Meitner: Die Bedeutung des Atomgewichtes in der modernen Physik.

[Vortrag, gehalten am 9. Mai 1931 in der Deutschen Chemischen Gesellschaft; eingegangen am 11. Juli 1931.]

Die moderne Atomtheorie ist auf der Erkenntnis aufgebaut, daß bei den meisten physikalischen und chemischen Prozessen nur die außerhalb des Atomkerns befindlichen Elektronen beteiligt sind, deren Zahl und Anordnung die Eigenschaften eines chemischen Elementes eindeutig bestimmen. Entsprechend dieser Theorie besteht jedes Atom aus dem positiv geladenen Atomkern und aus so viel außen umlaufenden Elektronen, als der Kern positive Ladungen trägt. Kern und Elektronen werden durch das Coulombsche Gesetz und die sog. Quanten-Bedingungen in ihren gegenseitigen Lagen geregelt. Die Zahl äußerer, um den Kern angeordneter Elektronen, oder die mit ihr identische positive Kernladungszahl, stellt bekanntlich nichts anderes als die Platzzahl des betreffenden Elementes im periodischen System dar und ist daher die maßgebende charakteristische Bestimmungsgröße seiner physikalischen und chemischen Eigenschaften. Masse und Struktur des Kerns spielen hierbei keine Rolle, und das Atomgewicht, das bei der Aufstellung des periodischen Systems der Elemente durch Mendelejew und Lothar Meyer die entscheidende Größe war, tritt bei der modernen Deutung dieses Systems zunächst überhaupt nicht in Erscheinung. Denn wenn das chemische Verhalten eines Elementes nur durch Zahl und Konfiguration der äußeren Elektronen bestimmt wird, so müssen Elemente gleicher Ordnungszahl chemisch identisch sein, unabhängig von der Masse und dem Aufbau ihres Atomkerns. Wir wissen heute, daß es tatsächlich solche Elemente oder richtiger Atome gibt, die bei gleicher äußerer Elektronen-Zahl und gleicher Elektronen-Anordnung, also bei chemischer Identität, verschiedene Atomgewichte besitzen. Man bezeichnet solche Atomarten als isotope Atomarten, d. h. gleichstellige Atomarten, weil sie demselben chemischen Element und daher auch demselben Platz im periodischen System zuzuordnen sind. Isotope Atomarten unterscheiden sich in der Masse und daher notwendigerweise auch in der Struktur ihrer Atomkerne.

Das Atomgewicht ist also eine charakteristische Konstante des Atomkerns und nicht des chemischen Elementes. Tatsächlich ist ja auch der Kern der Träger der Masse; denn selbst beim Wasserstoff-

atom beträgt die Masse des äußeren Elektrons weniger als $1/100$ des Atomgewichtes, und der prozentuelle Beitrag der äußeren Elektronenhülle zum Atomgewicht wird für schwerere Atome immer geringer; beim Uran macht dieser Betrag nur mehr etwa $0.3/100$ aus. Indes hat das Atomgewicht durch diese Verlegung auf den Atomkern an grundlegender Bedeutung nicht verloren, sondern im Gegenteil nur gewonnen. Die genaue Kenntnis der Atomgewichte der einzelnen Atomarten gestattet nicht nur sofort anzugeben, aus wieviel Elementarteilchen jeder Atomkern besteht, sondern ermöglicht auch gewisse Aussagen über den Energieverbrauch, mit dem der Aufbau des Atomkerns verknüpft ist; d. h. wir können die Wärmetönung angeben, die auftreten muß, wenn ein Atomkern aus seinen Elementarbestandteilen aufgebaut würde, und an die Kenntnis dieser Wärmetönung läßt sich eine Reihe wichtiger Folgerungen knüpfen.

Der Kern ist, wie wir heute sicher wissen, aus zwei verschiedenen Teilchenarten aufgebaut, aus Wasserstoffkernen oder Protonen, die die Träger der positiven Einheitsladung sind, und aus Elektronen, den Trägern der negativen Einheitsladung. Da das normale Atom neutral ist, so ist es klar, daß jedes Atom ebensoviele Protonen wie Elektronen enthalten muß. Die Protonen kommen als Atombausteine nur in den Atomkernen vor, die Elektronen sind dagegen z. T. in den Kern eingebaut, z. T. als Elektronen der äußeren Hülle angeordnet. Ein Atom, dessen Kern P Protonen enthält, enthält auch insgesamt P Elektronen; bezeichnet Z die Ordnungszahl des betreffenden Atoms, so sind, wie leicht einzusehen, $P-Z$ Elektronen im Kern vorhanden. Der Kern besteht demnach aus P Protonen und $n = P-Z$ Elektronen, und außerdem sind Z Elektronen zur äußeren Elektronenhülle zusammengeschlossen. Wenn man also zunächst nur die Zahl positiver und negativer Teilchen, aus denen ein normales Atom aufgebaut ist, in Betracht zieht, so ist jedes Atom darstellbar durch ein ganzzahliges Vielfaches von Wasserstoffatomen, weil ja das Wasserstoffatom sozusagen das Aufbau-Symbol für die Kombination aus einem positiven und einem negativen Elementarteilchen darstellt. Das Heliumatom entspricht danach einer Verbindung von 4 Wasserstoffatomen, wobei 4 Wasserstoffkerne und 2 Elektronen im Heliumkern vereinigt sind und die restlichen 2 Elektronen die äußere Elektronenhülle bilden. Das Chloratom Cl_{35} ist aus 35 Wasserstoffatomen aufgebaut zu denken, wobei, seiner Ordnungszahl 17 entsprechend, 17 Elektronen in der äußeren Elektronenhülle angeordnet sind. Wenn ich im folgenden die schwereren Atome als Vielfache von Wasserstoffatomen behandle, so ist es stets in dem hier dargelegten Sinn zu verstehen.

Aus diesem Aufbauschema läßt sich nun ohne weiteres folgender Schluß ziehen: Wenn die Masse eine unveränderliche Größe wäre, so müßten die Atomgewichte aller schwereren Atome ganzzahlige Vielfache des Wasserstoff-Atomgewichtes sein. Daß dies nicht der Fall ist, und daß sehr viele Abweichungen von dieser Ganzzahligkeit vorhanden sind, ist den Chemikern seit langem geläufig. Daß aber diese Abweichungen immer in der Richtung nach zu kleinen Atomgewichten liegen, d. h. daß die Atomgewichte der schwereren Atome immer kleiner sind als der Anzahl der sie aufbauenden Protonen und Elektronen entspricht, konnte erst nach der Auffindung der isotopen Atomarten und der Bestimmung der Einzelatomgewichte festgestellt werden. Denn, um nur ein Beispiel anzuführen, solange das Vorhandensein isotoper Atomarten nicht bekannt war und Chlor als ein einheitliches Element

betrachtet wurde, konnte aus dem chemisch bestimmten Atomgewicht von 35.46 nicht entschieden werden, ob die Abweichung von der Ganzzahligkeit als Vielfaches des Wasserstoffatoms nach zu kleinen oder nach zu großen Werten liegt.

Die Deutung, daß dieses Defizit an Atomgewicht auf eine Veränderlichkeit der Masse zurückzuführen ist, verdanken wir der Relativitätstheorie. Nach dieser Theorie können Masse und Energie ineinander übergeführt werden, sie sind einander äquivalente Größen in ganz derselben Weise, wie es Wärme und Energie sind. Diese theoretische Folgerung hat sich durch viele Experimente restlos bestätigen lassen. Wir erhöhen die Masse eines Teilchens, wenn wir ihm Energie zuführen, und wir verringern sie, wenn wir ihm Energie entziehen. Wir können solche Prozesse tatsächlich mit Elektronen ausführen; ein schnell bewegtes Elektron besitzt eine größere Masse, wie sich z. B. aus der Ablenkung im magnetischen Feld nachweisen läßt, als ein langsames Elektron. Indem wir ein Elektron durch ein elektrisches Feld beschleunigen, ihm also kinetische Energie zuführen, vergrößern wir auch seine Masse. Den umgekehrten Prozeß, die Verwandlung von Masse in Energie, können wir z. B. so durchführen, daß wir schnell bewegte Elektronen durch eine bestimmte Luftstrecke hindurchlaufen lassen. Dabei stoßen sie mit den Luftmolekülen zusammen und ionisieren sie, d. h. sie leisten Arbeit, und müssen also an kinetischer Energie verlieren. Durch magnetische Ablenkungsmessungen an den Elektronen vor und nach Durchlaufen der Luftstrecke können wir feststellen, daß die Masse der Elektronen, die durch die Luftstrecke hindurchgegangen sind, kleiner geworden ist. Jede Masse M stellt also zugleich eine Energie E dar, und zwar von solcher Größe, daß $E = mc^2$ ($c =$ Lichtgeschwindigkeit) ist. Jeder Änderung der Energie eines Systems entspricht eine Änderung seiner Masse und umgekehrt. Bezeichnet Δm die zur Energie-Änderung ΔE zugehörige Massen-Änderung, so gilt ganz allgemein die Beziehung: $\pm \Delta m = \pm \Delta E/c^2$. Danach entspricht einer Änderung der Masse um 0.01 Atomgewichts-Einheiten eine Energie-Änderung um 1.48×10^{-5} Erg oder 9.3 Millionen Volt, d. h., wenn man ein einfach geladenes Wasserstoffatom, also ein positives Wasserstoff-Ion, durch eine Spannung von 9.3 Millionen Volt beschleunigen würde, so würde durch die ihm hierbei erteilte kinetische Energie sein Atomgewicht um 0.01 erhöht werden. Man braucht also, wie Sie hieraus sehen, sehr große Energie-Mengen, um kleine Massen-Änderungen hervorzurufen, und das erklärt es, warum die wechselseitige Überführbarkeit von Masse und Energie sich bisher in direkter Weise nur an den kleinsten Masseteilchen, den Elektronen, hat nachweisen lassen. Denn während ein Wasserstoff-Ion beim Durchlaufen von 9.3×10^6 Volt Spannung nur eine Massen-Änderung von 1% erfährt, wird die Masse eines Elektrons durch die gleiche Spannung mehr als verzehnfacht. Daß wir aber heute auch schon Prozesse erzeugen können, bei denen die Masse von Atomen teilweise in Energie verwandelt oder umgekehrt durch Energie-Zufuhr erhöht wird, werde ich Ihnen nachher bei der Besprechung der künstlichen Zertrümmerung der Atome zeigen.

Kehren wir zu der Frage der Atomgewichte zurück: Die Tatsache, daß das Atomgewicht eines schwereren Atoms kleiner ist als seinem Gehalt an Wasserstoffatomen entspricht, besagt, daß bei dem Zusammenschluß der Protonen und Elektronen zu diesem schwereren Atom Energie abgegeben wurde. Ein derartiger Aufbauprozeß ist also ein exothermer Prozeß, und

die gesamte Wärmetönung bei einem Aufbau aus P Protonen und P Elektronen ist gegeben durch $A - P \cdot A_H$, wenn A das Atomgewicht des betreffenden Atoms und A_H das des Wasserstoffatoms bedeutet. Kennen wir also das genaue Atomgewicht einer reinen Atomart, so können wir aus demselben erstens durch Abrundung auf die nächstliegende ganze Zahl die Zahl P der das Atom aufbauenden Protonen und Elektronen ablesen und außerdem mit Hilfe der obigen Gleichung auch die bei diesem Aufbau frei gewordene Energie bestimmen. Daß uns das Atomgewicht die Zahl der im Atom vorhandenen positiven und negativen Elementarbestandteile angibt, danken wir sozusagen einer glücklichen Intuition der Chemiker, derzufolge die Atomgewichts-Bestimmungen seit langem auf Sauerstoff = 16 bezogen wurden. Dadurch ist für die reinen Atomarten der Unterschied zwischen Atomgewicht A und Zahl der aufbauenden Wasserstoffatome P stets so gering, daß immer die Abrundung auf die nächstliegende ganze Zahl, die die Größe P ergibt, eindeutig ist. Würde man die Atomgewichte auf das Atomgewicht des Wasserstoffs = 1 beziehen, so hätte z. B. Wismut statt des Atomgewichtes 209.00 das Atomgewicht 207.3, und die Zahl der das Wismut bildenden Protonen und Elektronen könnte hieraus nicht mehr richtig erschlossen werden. Allerdings ist durch den Nachweis, daß Sauerstoff kein Rein-Element ist, sondern ein Gemisch aus 3 Isotopen mit den abgerundeten Atomgewichten 16, 17 und 18 darstellt, die Frage des Bezugs-Elementes wieder neu zur Diskussion gestellt worden. Der Chemiker verwendet als Bezugsgröße $O = 16$, d. h. das mittlere Atomgewicht des Sauerstoff-Isotopengemisches. Es ist mehrfach vorgeschlagen worden, statt dessen Helium, das wohl sicher ein Rein-Element ist, als Bezugs-Element zu wählen. Ich will auf diese Frage hier nicht näher eingehen und nur betonen, daß den Bestimmungen der Einzelatomgewichte, auf die ich jetzt zu sprechen komme, als Bezugsgröße $O_{16} = 16$ zugrunde liegt, so daß diese Einzelatomgewichte etwas größer sind, als der üblichen chemischen Bezugsbasis entspricht. Will man die Einzelatomgewichte auf die chemische Basis $O = 16$ umrechnen, so muß man natürlich wissen, in welchem Intensitätsverhältnis die 3 Isotopen im Sauerstoff vertreten sind. Die bisherigen Angaben hierüber schwanken noch sehr beträchtlich. Nach neuesten Messungen von Mecke ist dieser Umrechnungsfaktor, um den die Einzelatomgewichte zu verkleinern sind, 0.99978.

Es ist ohne weiteres klar, daß die Feststellung der isotopen Atomarten und die Bestimmung ihrer Einzelatomgewichte nicht auf dem üblichen chemischen Weg erfolgen kann, weil ja durch chemische Methoden die isotopen Atomarten nicht trennbar sind. Man muß sich hierbei vielmehr auf Prozesse stützen, bei denen sich die Verschiedenheit der Atomkernmassen maßgebend geltend macht, und wo es außerdem möglich ist, sozusagen jedes Atom individuell zu erfassen. Das ist z. B. der Fall, wenn schnell bewegte Ionen (Kanalstrahlen) gleichzeitig durch ein elektrisches und ein magnetisches Feld aus ihrer geradlinigen Bahn abgelenkt werden. Die Ablenkung in einem Magnetfeld von gegebener Stärke hängt von dem Ausdruck mv/e , die im elektrischen Feld von m^2/e ($m =$ Masse, $e =$ Ladung, $v =$ Geschwindigkeit des Ions) ab. Durch geeignete Kombination der magnetischen und elektrischen Ablenkung kann man erreichen, daß alle Ionen von gleichem m/e trotz verschiedener Geschwindigkeit an derselben Stelle vereinigt werden, so daß auf einer entsprechend aufgestellten photographischen Platte durch das Auf-

treffen der Ionen ein Schwärzungsspektrum entsteht, dessen einzelne Linien ganz bestimmten m/e -Werten zugehören. Da man bei diesen Versuchen ja weiß, welches Element man vor sich hat, also die Größenordnung der zu erwartenden Atomgewichte kennt, so ist ohne weiteres zu entscheiden, ob der gefundene m/e -Wert einem einfach oder doppelt usw. geladenen Ion zuzuschreiben ist, d. h. man kennt die Ladung e , und der gemessene m/e -Wert ergibt also direkt die Masse m der betreffenden Atomart. Dieser Methode, die bekanntlich durch Aston zu einer außerordentlich exakten „Massen-Spektroskopie“ entwickelt worden ist, verdanken wir unsere Hauptkenntnisse über die verschiedenen Atomarten und ihre Einzelatomgewichte. Aston hat bei seinen letzten Messungen eine Genauigkeit von 1:10000 erreicht. In neuerer Zeit hat auch die genaue Ausmessung der Molekül-Bandenspektren sehr wichtige Beiträge zur Kenntnis der Isotopie geliefert. Ohne auf das Prinzip dieser Methode näher einzugehen, will ich nur erwähnen, daß sie gegenüber der Aston'schen Methode den Vorteil größerer Empfindlichkeit hat, wenn es sich um den Nachweis von isotopen Atomarten handelt, die gegenüber der Hauptkomponente nur in sehr geringer Intensität vorhanden sind. So sind z. B. die isotopen Atomarten von Sauerstoff 17 und 18, von Kohlenstoff 13 und Stickstoff 15 einwandfrei aus den Bandenspektren nachgewiesen worden, während sie Aston mit seinem Massen-Spektrographen nicht gefunden hat. Dagegen ist die Methode der Banden-Spektroskopie nicht geeignet, Absolutbestimmungen der Einzelatomgewichte durchzuführen, sondern sie kann nur relative Weite der Atomgewichte isotoper Atomarten liefern.

Bevor ich auf die Diskussion der hauptsächlich von Aston gemessenen Einzelatomgewichte eingehe, möchte ich noch auf einen Punkt besonders hinweisen. Wenn heute auch kein Zweifel darüber besteht, daß die Protonen und Elektronen die Elementarbausteine aller Atome sind, so sprechen andererseits eine Reihe experimenteller und auch theoretischer Tatsachen dafür, daß neben dem Proton auch der Helium-Kern als Einheit der schwereren Atome eine wichtige Rolle spielt. Die bei den radioaktiven Zerfallsprozessen auftretenden α -Teilchen sind ja nichts anderes als schnell bewegte Helium-Kerne (= doppelt ionisierte Helium-Atome), und dies zeigt, daß jedenfalls in den Atomkernen vom Uran bis Blei zumindest ein Teil der Protonen und Kern-Elektronen zu Helium-Kernen zusammengeschlossen ist. Die Tatsache, daß von den heute bekannten 170 Atomarten 60 ein durch 4 teilbares Atomgewicht besitzen, legt es nahe anzunehmen, daß auch außerhalb der Reihe Uran bis Blei, der Helium-Kern als sekundäre Einheit in den Atom-Kernen auftritt. Außerdem führt diese Annahme auch, wie ich später noch zeigen werde, auf eine Gesetzmäßigkeit im Aufbau der Atom-Kerne, der eine gewisse fundamentale Bedeutung zuerkannt werden muß. Und endlich sei noch darauf verwiesen, daß der Zusammenschluß von 4 Protonen und 2 Elektronen zu einem Helium-Kern, wie wir gleich an der Atomgewichtstabelle sehen werden, ein exothermer Prozeß ist, was auch als Stütze für das Vorhandensein von Helium-Kernen innerhalb der schweren Kerne herangezogen werden könnte. Ich möchte aber gerade diesen Umstand nicht als besondere Stütze ansehen, weil ja die positive Wärmetönung eines Prozesses durchaus nicht ausreicht, um sein Eintreten unter allen Bedingungen sicher zu stellen.

Die Tabelle der Einzelatomgewichte (Fig. 1), die ich Ihnen vorführe, ist im wesentlichen aus den Aston'schen Messungen zusammengestellt;

Fig. 1.

Einzelgewichte, bezogen auf $O_{16} = 16$					
H_1	$Z = 1$	1.00778	Ti_{48}	$Z = 22$	47.911
He_4	$Z = 2$	4.00216	Cr_{50}	$Z = 24$	49.950
Li_6	$Z = 3$	6.012	Cr_{52}	$Z = 24$	51.948 ± 0.016
Li_7	$Z = 3$	7.012	Cr_{53}	$Z = 24$	52.947
B_{10}	$Z = 5$	10.0135	Cr_{54}	$Z = 24$	53.946
B_{11}	$Z = 5$	11.0110	Ge_{75}	$Z = 32$	(74.931)
C_{12}	$Z = 6$	12.0036	As_{75}	$Z = 33$	74.934
N_{14}	$Z = 7$	14.008	Br_{79}	$Z = 35$	78.929
O_{16}	$Z = 8$	16.0000	Br_{81}	$Z = 35$	80.926
O_{17}	$Z = 8$	(17.0)	Kr_{78}	$Z = 36$	77.926
O_{18}	$Z = 8$	(17.99 \pm 0.01)	Kr_{80}	$Z = 36$	79.929
F_{19}	$Z = 9$	19.0000	Kr_{82}	$Z = 36$	81.926
Ne_{20}	$Z = 10$	20.0004	Kr_{83}	$Z = 36$	82.927
Ne_{22}	$Z = 10$	(22.0048)	Kr_{84}	$Z = 36$	83.927
Al_{27}	$Z = 13$	26.997	Sn_{112}	$Z = 50$	111.918
P_{31}	$Z = 15$	30.9825 ± 0.0005	Sn_{120}	$Z = 50$	119.912 ± 0.023
Cl_{35}	$Z = 17$	34.983	W_{184}	$Z = 74$	184.000
Cl_{37}	$Z = 17$	36.980	Hg_{196}	$Z = 80$	196.016 ± 0.039
Ar_{36}	$Z = 18$	35.976	Hg_{200}	$Z = 80$	200.016 ± 0.040
Ar_{40}	$Z = 18$	39.971	Th_{232}	$Z = 90$	232.14 ± 0.015

für vereinzelte Elemente, für die Aston nachgewiesen hat, daß sie Reinelemente sind, also keine isotopen Atomarten besitzen, ist das chemisch bestimmte Atomgewicht aufgenommen, natürlich auf die Aston'sche Basis $O_{16} = 16$ umgerechnet. Andererseits sind längst nicht alle Einzelatomgewichte angeführt, sondern nur diejenigen, die bis zu der höchsten, heute erreichbaren Genauigkeit bestimmt sind und auch diese nicht vollzählig, um die Tabelle nicht unübersichtlich zu machen. Die eingeklammerten Werte sind in ihren letzten Stellen unsicher.

Aus den angeführten Atomgewichten lassen sich nun sofort einige wichtige Schlüsse ziehen. Zu ihrem Verständnis möchte ich zuerst noch auf folgendes hinweisen: Da jedes Atom insgesamt, d. h. im Kern + Elektronenhülle, gleich viel Protonen und Elektronen besitzt, so ist es klar, daß irgend zwei Atome verschiedenen Atomgewichtes sich stets um ebensoviele Protonen wie Elektronen unterscheiden müssen, daher im Mindestfall um ein Proton und ein Elektron, also im früher definierten Sinne um ein Wasserstoffatom. Das gilt selbstverständlich ganz unabhängig davon, ob die unterschiedlichen Atomarten isotope sind oder verschiedenen Ordnungszahlen angehören, wenn das Wort Wasserstoffatom nur als Symbol für ein Proton und ein Elektron aufgefaßt wird, ohne Rücksicht darauf, ob das Elektron im Kern oder in der äußeren Elektronenhülle vorhanden ist.

Betrachten wir nun unter diesem Gesichtspunkt die Tabelle der Einzelatomgewichte und berücksichtigen wir die früher erörterte Äquivalenz zwischen Energie und Masse. Die Tabelle läßt sofort erkennen, daß die Atomgewichts-Differenz zwischen zwei isotopen Atomarten, die sich in ihrem Aufbau um ein Wasserstoffatom unterscheiden wie Li_7 und Li_6 oder B_{11} und B_{10} oder Cr_{54} , Cr_{53} , Cr_{52} , usw. immer kleiner ist als die Masse des freien

Wasserstoffatoms, und dasselbe gilt für zwei aufeinanderfolgende Elemente wie C_{12} und B_{11} oder Ar_{36} und Cl_{35} , Kr_{80} und Br_{79} usw.; d. h. aber, daß innerhalb des gesamten periodischen Systems ein spontaner Zerfall unter Abspaltung von Wasserstoff nicht stattfinden kann. Man kann das leicht an einem beliebigen speziellen Fall durch eine Gleichung veranschaulichen von genau derselben Art, durch die der Chemiker die Energie-Bilanz irgendeiner chemischen Reaktion darstellt; z. B. die Umwandlung von C_{12} in B_{11} . In Atomgewichten ausgedrückt, lautet die entsprechende Gleichung:

$$12.0036 - 1.00778 = 11.0110 - 0.0152.$$

Wenn also das Kohlenstoffatom C_{12} durch Abspaltung eines Protons und eines äußeren Elektrons in ein Boratom B_{11} zerfallen soll, muß ihm eine Energie zugeführt werden, die einer Masse von rund 0.0152 Atomgewichtseinheiten entspricht, d. i. nach dem früher Gesagten eine Energie von 14.2 Millionen Volt. Ohne diese Energie-Zufuhr kann dieser Prozeß nicht vor sich gehen, er wird daher niemals spontan eintreten. Das gilt durchwegs für das ganze periodische System, und tatsächlich ist ein spontaner Zerfall der Elemente unter Abgabe von Wasserstoffstrahlen niemals beobachtet worden. Dagegen ist es bekanntlich durch Aufwendung so großer Energiequellen, wie sie die α -Strahlen darstellen, möglich, eine Zertrümmerung gewisser Elemente unter Abspaltung von Wasserstoffstrahlen zu erzielen. Ich werde auf diesen Punkt noch zurückkommen.

Man kann sich die Frage vorlegen, ob eine spontane Abgabe von Kern-Elektronen möglich ist. Bei einem solchen Vorgang würde ein Element entstehen, das gegenüber dem ursprünglichen eine um 1 höhere Kernladung, aber das gleiche Atomgewicht besitzt, da ja bei diesem Vorgang ein Elektron aus dem Kern entfernt und dafür eines in der äußeren Elektronenhülle hinzukommt. Voraussetzung dabei ist allerdings, daß das Elektron im Kern und in der Elektronenhülle die gleiche Masse besitzt, worüber wir eigentlich gar nichts wissen. Gewisse Untersuchungen an den β -strahlenden Substanzen der radioaktiven Reihen sprechen sogar ohne Zweifel dafür, daß die Elektronen im Kern ganz andere Eigenschaften haben könnten als außerhalb der Kerne. Jedenfalls aber kennen wir solche Elemente, die bei verschiedener Kernladungszahl praktisch identische Atomgewichte haben, und die man daher als isobare Elemente zu bezeichnen pflegt, z. B. Cu_{65} und Zn_{65} oder Ge_{75} und As_{75} . Aus den Aston'schen Messungen folgt, daß eine spontane Umwandlung des Ge in As unter Abspaltung eines Elektrons nicht möglich ist, weil das As ein etwas höheres Atomgewicht besitzt als das Ge. Aber im allgemeinen reicht die bisherige Meßgenauigkeit der Atomgewichte noch nicht aus, um zu sagen, daß die spontane β -Strahlen-Emission schon aus Energiegründen bei allen isobaren Elementen ausgeschlossen ist. Beobachtet ist eine spontane β -Strahlen-Aussendung, abgesehen von den typischen radioaktiven Elementen, bekanntlich nur bei K und Rb. Das Kalium besitzt zwei isotope Atomarten K_{39} und K_{41} , und v. Hevesy hat gezeigt, daß bei einer fraktionierten Trennung der beiden Isotopen die schwerere Fraktion auch die stärkere β -Strahlen-Emission aufweist. Er hat daraus geschlossen, daß K_{39} einen gewöhnlichen stabilen Atomkern hat und die β -Strahlen-Aussendung von K_{41} herrührt. Aus dem K_{41} müßte aber durch β -Strahlen-Abgabe ein Ca_{41} entstehen, und genaue Atomgewichts-Bestimmungen an Ca, das aus Kaliummineralien hergestellt ist, müßten ein höheres Atomgewicht ergeben

als für gewöhnliches, aus kalium-freien Mineralien gewonnenes Ca. Hönig-schmid hat im Laufe des letzten Jahres eine Präzisionsbestimmung an Ca aus Sylvin durchgeführt und innerhalb der Fehlergrenze keine Abweichung von dem normalen Wert gefunden. Nach Analogieschlüssen aus den radio-aktiven β -Umwandlungen könnte man erwarten, daß das β -strahlende Kalium-Isotop die Masse 40 habe und in so geringer Konzentration vorhanden sei, daß es sich bisher dem massenspektroskopischen Nachweis entzogen hat. Ich möchte aber darauf nicht näher eingehen.

Wie steht es nun mit der Möglichkeit, daß verschiedene Atomarten sich unter Abspaltung von Helium-Teilchen spontan ineinander umwandeln. Die Tabelle zeigt, daß dies bei den leichten Elementen nicht möglich ist; z. B. $N_{14} \rightarrow B_{10} + He$ verlangt eine Energie-Zufuhr, ebenso $O_{16} \rightarrow C_{12} + He$ oder $Ne_{20} = O_{16} + He$, wobei das Wort He wieder nur als Symbol zu verstehen ist für ein Gebilde aus einem He-Kern und zwei Elektronen, ohne daß diese wirklich zu einem Helium-Atom vereinigt sind. Gehen wir dagegen zu schwereren Elementen über, so liegen die Verhältnisse etwas anders; z. B. wäre der Prozeß $Hg_{196} \rightarrow Wo_{184} + 3 He$ energetisch möglich, weil er nach den Atomgewichten exotherm verlaufen könnte, ebenso der Prozeß $Hg_{200} \rightarrow Sn_{120} + 20 He$. Es ist mehrfach die Frage diskutiert worden, warum die Elemente zwischen Quecksilber und Zinn stabil sind, obwohl sie ihren Atomgewichten nach exotherm Helium-Teilchen, also α -Strahlen und Elektronen, abspalten könnten, und es ist auch eine Art theoretischer Erklärung dafür versucht worden, die aber z. B. für den Fall $Hg_{196} \rightarrow Wo_{184} + 3 He$ nicht anwendbar ist. Mir scheint es gar nicht so verwunderlich, daß ein exothermer Prozeß nicht unbedingt spontan eintritt, denn wir kennen ja solche Fälle auch in der gewöhnlichen Chemie. Es gibt eine ganze Reihe von chemischen Reaktionen, die trotz positiver Wärmetönung unter gewöhnlichen Bedingungen nicht ablaufen. Abgesehen von diesem Umstand sind aber auch bei den schweren Atomarten die Aston'schen Atomgewichts-Bestimmungen ungenauer, wie Sie aus den in der Tabelle bei einzelnen Elementen angegebenen Fehlergrenzen ersehen können. Wenn man die höchsten Fehlergrenzen ansetzt, so sind die angeführten Prozesse nicht mehr exotherm. Der einzige Prozeß, der auch unter Berücksichtigung der größtmöglichen Fehler auf Grund der Atomgewichte noch exotherm unter α -Strahlung vor sich gehen kann, ist der Prozeß $Th_{232} \rightarrow Hg_{200} + 8 He + 6 Elektronen$, und dieser Prozeß ist ja auch bekannt, Thorium geht tatsächlich unter Abspaltung von α - und β -Strahlen in leichtere Elemente über, wobei allerdings der Abbau nur bis zum Thallium und nicht bis zum Quecksilber führt. Daß sich diese experimentelle Tatsache aus den genauen Einzelatomgewichten ablesen läßt, kann wohl als sehr schöner Erfolg der modernen Atomgewichts-Forschung betrachtet werden.

Ich habe bisher nur die Möglichkeit von spontanen Abbauprozessen in Zusammenhang mit den exakten Atomgewichten diskutiert. Man kann aber auch gewisse Aussagen über den Aufbau der Atome machen. Die einzelnen Elemente weisen nämlich sehr große Unterschiede auf in bezug auf die Anzahl der vertretenen isotopen Atomarten und in bezug auf den Aufbau der isotopen Atomkomponenten aus einer geraden bzw. ungeraden Zahl von Protonen und Elektronen. Was zunächst die Zahl der zu einem Element gehörigen Atomarten betrifft, so gilt ganz allgemein, daß Elemente mit gerader Ordnungszahl sehr viele Isotope besitzen können. Beispielsweise sind beim

Sn 11 Isotope nachgewiesen, bei Xe 9 Isotope, bei Ge 8 Isotope usw. Dagegen sind bei allen Elementen mit ungerader Ordnungszahl maximal 2 Isotope beobachtet worden mit der einzigen Ausnahme von Cl, bei dem aus bandenspektroskopischen Messungen von Hettner und seinen Mitarbeitern 3 Isotope festgestellt worden sind. Wenn auch sicher bisher noch nicht alle existierenden Atomarten erfaßt sein dürfen, so ist doch kaum zu bezweifeln, daß zumindest innerhalb des Sonnensystems die Elemente mit gerader Ordnungszahl bevorzugt auftreten. Harkins hat als erster darauf hingewiesen, daß 6 Elemente mit gerader Ordnungszahl 86 Gewichtsprocente der Gesteine der Erdoberfläche ausmachen, nämlich O, Si, Fe, Ca, Mg und Ti und 99,85% von Elementen der Ordnungszahl 1–29 herrühren. Außerdem zeigen die Aston'schen Messungen, wie eben dargelegt, daß Atomkerne mit gerader Ordnungszahl in viel mehr isotopen Konfigurationen existenzfähig sind als solche mit ungerader Ordnungszahl. Ich möchte aber hierbei hinzufügen, daß der oft gezogene Schluß, die Häufigkeit eines Elementes könne ein Maß für die Stabilität seiner Atomkerne sein, mir nicht rechtzeitig erscheint. Eine verschieden große Stabilität zweier Atomkerne kann sich nur darin äußern, daß sie mit verschiedener Geschwindigkeit zerfallen. Wir haben gar keinen Anhaltspunkt dafür, daß die gewöhnlichen Elemente eine beschränkte Lebensdauer haben, und daher auch nicht dafür, daß die Lebensdauer für Elemente mit ungerader Ordnungszahl kleiner wäre als für solche mit geradzahlig. Betrachten wir die Zerfallsvorgänge innerhalb der radioaktiven Zerfallsreihen, so zeigt es sich, daß einerseits die Substanzen mit den größten Lebensdauern, aber andererseits auch die mit den kleinsten Lebensdauern gerade Ordnungszahlen besitzen, während die Lebensdauern der Elemente von ungerader Ordnungszahl zwischen diesen Extremwerten liegen; es scheint also kein eindeutiger Zusammenhang zwischen gerader oder ungerader Ordnungszahl und Stabilität zu bestehen. Aus der größeren Häufigkeit der Atomarten einerseits gerader Kernladungszahl, andererseits kleiner Ordnungszahl läßt sich daher nur schließen, daß die Bedingungen, unter denen die verschiedenen Atome in unserem Sonnensystem entstanden sind, für die Bildung kleiner und gerader Ordnungszahlen günstiger waren als für solche mit ungerader oder großer Kernladung.

Dagegen besteht anscheinend eine gesetzmäßige Beziehung zwischen Geradzahligkeit oder Ungeradzahligkeit der Ordnungszahl Z und der Anzahl P der den Kern bildenden Protonen und Elektronen. Abgesehen von den leichtesten Elementen Li, B und Stickstoff besitzen alle Elemente ungerader Ordnungszahl ausnahmslos ungerade Anzahl von Protonen im Kern (35 Atomarten). Da die Zahl der Kern-Elektronen durch die Differenz $n = P - Z$ gegeben ist, so bedeutet das eben Gesagte, daß für alle diese Elemente die Zahl der Kern-Elektronen geradzahlig ist. Ebenso haben ausnahmslos alle Atomarten, deren Atomgewicht durch 4 teilbar ist, gerade Ordnungszahlen; sie besitzen also ebenfalls eine durch 2 teilbare Anzahl von Kern-Elektronen, und dasselbe gilt für die Mehrzahl der übrigen Atomarten. Von den etwa 180 nachgewiesenen Atomarten haben 136 eine gerade Zahl von Kern-Elektronen. Das beweist, daß die Kern-Elektronen in den meisten Fällen paarweise vorhanden sind. Ich möchte hier daran erinnern, daß bekanntlich auch bei der Bildung von Molekülen aus Atomen das paarweise Auftreten von Elektronen eine wichtige Rolle spielt, die durch die Quantenmechanik auch ihre theoretische Deutung erhalten hat. Daß dieselbe Gesetz-

mäßigkeit sich auch beim Aufbau der Kerne geltend macht, hat schon Aston erkannt, und diese Tatsache ist später von Beck eingehender diskutiert und von Gamow in einer Kurve dargestellt worden, die ich Ihnen hier vorführen möchte, weil sie in mehrfacher Hinsicht interessant ist. In der Kurve sind nur diejenigen Atomarten herausgegriffen, deren Protonen-Zahlen durch 4 teilbar sind, u. zw. alle derzeit von Aston angegebenen. Für solche Atomarten wird, wie ich schon erwähnte, aus verschiedenen Gründen angenommen, daß ihre Kerne nur aus Helium-Kernen und Elektronen aufgebaut sind. Die Zahl der Helium-Kerne ist offenbar $P/4$, und da in jedem Helium-Kern schon zwei Kern-Elektronen mit eingebaut sind, insgesamt also $2 P/4 = P/2$, so ist die Anzahl der übrigen, freien Kern-Elektronen offenbar $P/2 - Z$. Dabei ist $P/2 - Z$ stets eine durch 2 teilbare Zahl, d. h. auch die freien Kern-Elektronen treten nur paarweise auf.

In der nachfolgenden Kurve (Fig. 2) sind als Abzissen die Zahl der einen Kern bildenden Helium-Kerne aufgetragen, also die Größe $P/4$, als Ordinaten die Zahl der zugehörigen freien Kern-Elektronen-Paare, also $P/4 - Z/2$. Die Kurve läßt erkennen, daß bis zum Ca keine freien Kern-Elektronen vorhanden

Fig. 2.

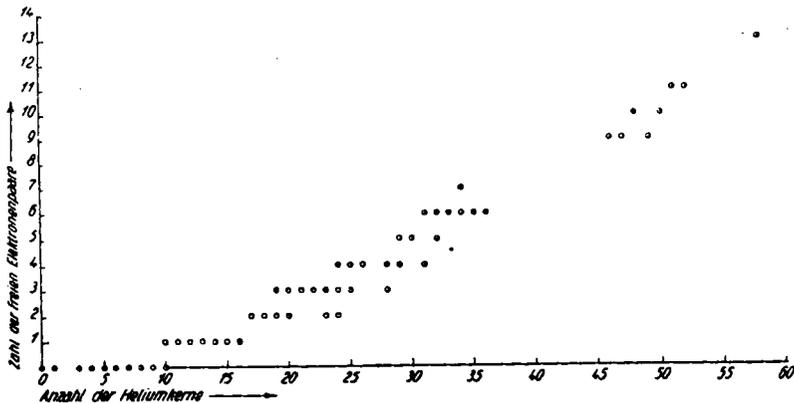


Fig. 2

sind (hier ist $Z = P/2$), und daß dann stufenweise mit steigendem Atomgewicht immer paarweise mehr und mehr freie Kern-Elektronen auftreten, d. h. aber, wenn eine gewisse Zahl von Helium-Kernen oder, wie man gewöhnlich sagt, von α -Teilchen zu einem schwereren Kern zusammen getreten sind, so müssen erst zwei Kern-Elektronen eingebaut werden, um den Anbau eines neuen Niveaus von Helium-Kernen zu ermöglichen. Dies legt die Deutung sehr nahe, daß in den schwereren Atomkernen verschiedene, durch je ein Elektronenpaar stabilisierte α -Teilchen-Niveaus vorhanden sind, ganz ähnlich wie die Elektronen-Niveaus in der äußeren Elektronenhülle. Dieser Gedanke drängt sich um so mehr auf, als die für den Aufbau stabiler Kerne dargestellte Gesetzmäßigkeit eine entsprechende Ergänzung in den Abbauprozessen der radioaktiven Substanzen findet. Ich zeige Ihnen in der nächsten Figur 3 die Umwandlungsreihe für Thorium, wobei Abszisse und Ordinate genau

dieselbe Bedeutung haben wie in der voranstehenden Figur. Sie sehen, daß der Zerfall der Thoriumreihe vom Thorium aus zum stabilen Thorblei wirklich genau denselben Verlauf zeigt wie die vorherige Aufbaukurve der Atome, nur

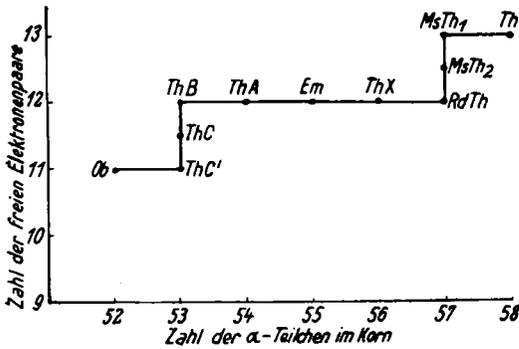


Fig. 3.

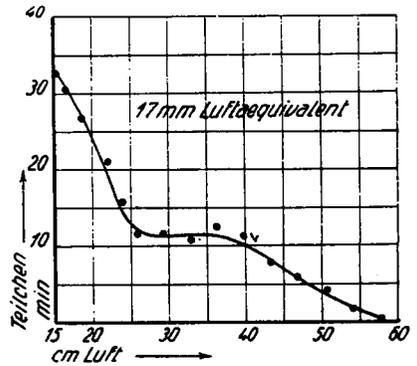


Fig. 4.

entsprechend in umgekehrter Richtung. Hier findet ein Abbau des α -Strahlen-Niveaus statt, und der jedesmalige Übergang von einem α -Niveau zum nächst tieferen wird durch 2 β -Strahlen-Emissionen, d. h. durch die Abgabe von 2 Elektronen, eingeleitet. Diese Gesetzmäßigkeiten und die besondere Bedeutung der paarweise auftretenden β -Strahlen-Umwandlungen waren im Gebiet der radioaktiven Atome seit langem erkannt und in ihren Folgerungen diskutiert. Die genaueren Untersuchungen über die Wellenlängen der γ -Strahlen und über die sog. weitreichenden α -Strahlen haben es sehr wahrscheinlich gemacht, daß so, wie die charakteristische Röntgen-Strahlung an die Übergänge der äußeren Elektronen zwischen den verschiedenen Elektronen-Niveaus geknüpft ist, ebenso die Emission der γ -Strahlung durch Übergänge der α -Teilchen zwischen den verschiedenen Kern-Niveaus zustandekommt. Daß solche α -Strahlen oder Helium-Kerne-Niveaus nicht nur in den radioaktiven, sondern in allen stabilen Kernen vorhanden sein dürften, hat Ihnen die aus den Einzelatomgewichten abgeleitete Gamowsche Kurve gezeigt. Es ist ohne weiteres einzusehen, daß die genaue Ausmessung der γ -Strahlen, und zwar nicht nur der von den radioaktiven Kernen emittierten, sondern auch der etwa von stabilen Kernen selektiv absorbierten oder künstlich in den stabilen Kernen erregten γ -Strahlen, zu Aussagen über die verschiedenen Kern-Niveaus führen kann.

Ich möchte nun noch zeigen, daß auch die Vorgänge bei der künstlichen Zertrümmerung der Atome durch die Kenntnis der genauen Atomgewichte unserem Verständnis viel näher gebracht worden sind. Bekanntlich ist es möglich, durch Bombardieren mit α -Strahlen aus verschiedenen Atomkernen schnell bewegte Wasserstoffkerne herauszuschlagen. Es ist ohne weiteres einzusehen, daß, wenn bei einem solchen Vorgang aus einem gewöhnlichen stabilen Atomkern wieder einer der uns bekannten Atomkerne entstehen soll, bei der Zertrümmerung soviel Energie zugeführt werden muß, daß erstens der entstehende Kern das ihm zugehörige Atomgewicht besitzt, zweitens das herausgeschlagene Proton die einem freien Wasserstoffkern entsprechende Masse hat und außerdem seine etwaige kinetische Energie gedeckt

ist. Wenn ich als Beispiel die Zertrümmerung von Aluminium betrachte, das bei Abspaltung eines Protons in Magnesium übergehen muß, und wenn ich alle Energien gleich in Massen-Äquivalenten ausdrücke, so muß für diesen Prozeß, wie leicht einzusehen, folgende Energie-Bilanz gelten, wenn E_α und E'_α die Energie des α -Teilchens vor bzw. nach der Zertrümmerung bedeuten:

$$A_{Al} + E_\alpha/c^2 = A_{Mg} + A_H + E_H/c^2 + E'_\alpha/c^2 \text{ oder} \\ (A_{Al} - A_{Mg}) - A_H = E_H - E_\alpha/c^2 + E'_\alpha/c^2.$$

Nun ist, wie schon gezeigt, innerhalb des ganzen periodischen Systems die Massendifferenz zweier aufeinanderfolgenden Atome immer kleiner als die Masse des freien Wasserstoffatoms, die linke Seite dieser Gleichung ist daher negativ, also muß es auch die rechte Seite sein, d. h. die Energie E_α der zur Zertrümmerung verwendeten α -Strahlen muß größer sein als die Energie E_H der herausgeschlagenen Wasserstoff-Kerne, und zwar mindestens um denselben Betrag, um den die Atomgewichts-Differenz zwischen Al_{27} und Mg_{26} von dem Wasserstoff-Atomgewicht abweicht, also sicher um einige Millionen Volt. Die experimentellen Ergebnisse der Zertrümmerung von Al zeigen dagegen, daß die Energie der Wasserstoff-Strahlen erheblich größer ist als die der α -Strahlen. Solche Versuche sind von mehreren Seiten und auch in unserem Institut mit den α -Strahlen von Polonium ausgeführt worden. Ich zeige Ihnen die Resultate in dem nachfolgenden Bild. Zum Verständnis muß ich noch vorausschicken, daß man die Energie der herausgeschleuderten H-Strahlen dadurch festlegt, daß man z. B. die Strecke Luft mißt, die die Strahlen maximal durchlaufen können, bevor sie ihre ganze Energie und damit ihre Wirkungsfähigkeit eingebüßt haben. Man schaltet also in den Gang der durch die Zertrümmerung des Aluminiums freigemachten Wasserstoff-Strahlen absorbierende Substanzen ein und bestimmt z. B. mit einem Geigerschen Spitzenzähler, wie die Anzahl von Wasserstoff-Strahlen mit wachsender Dicke der durchlaufenen Schicht abnimmt.

In der Figur 4 ist als Abszisse die durchlaufene Schichtdicke in cm Luft von normalem Druck und Zimmer-Temperatur angegeben, als Ordinate die Zahl der pro Minute hindurchgegangenen H-Strahlen. Die Kurve läßt deutlich 2 Gruppen von H-Strahlen erkennen, eine mit etwa 30 cm Reichweite und eine mit etwa 60 cm Reichweite. Berechnet man aus der Reichweite von rund 60 cm die Energie der H-Strahlen, so findet man dafür den Wert von 6×10^6 Volt, d. h. das H-Teilchen besitzt eine Energie, als ob es eine beschleunigende Spannung von dieser Größe durchlaufen hätte, während die α -Strahlen-Energie für Polonium nur 5.2 Millionen beträgt, also erheblich kleiner ist. Der Prozeß kann also nicht in der durch die vorstehende Gleichung beschriebenen Weise verlaufen, sondern es muß noch irgend eine Energiequelle vorhanden sein, die die überschüssige Energie des H-Strahls liefert. Die einzige Möglichkeit, eine solche überschüssige Energie zu erhalten, bietet die Annahme, daß bei diesem Zertrümmerungsprozeß das α -Teilchen in den Aluminiumkern hineinfällt und mit exothermer Wärmetönung eingebaut wird, d. h. seine Masse ist innerhalb des Kerns kleiner als im freien Zustand, wie es ja für die leichteren Elemente aus den Aston'schen Messungen auch folgt, und der Abnahme der Masse entspricht ein Freiwerden von Energie, die dann für die Abspaltung des H-Strahles und für seine kinetische Energie zur Verfügung ist. Natürlich entsteht hier nicht ein Mg-Atom, sondern wie leicht einzusehen, ein Silicium-Atom, und zwar ein Si_{26} , und diese Atomart

ist von Aston auch tatsächlich nachgewiesen. Der Prozeß muß also nach folgender Energie-Gleichung verlaufen:

$$A_{Al} + A_{\alpha} + E_{\alpha}/c^2 = A_{Si} + A_H + E_H/c^2.$$

Der Vorgang ist also in Wirklichkeit ein Aufbauprozeß: aus dem Al-Kern entsteht ein Si-Kern und ein schnell bewegter Wasserstoff-Kern. Daß außer den H-Strahlen von 60 cm Reichweite noch eine Gruppe von nur 30 cm Reichweite auftritt, ist folgendermaßen zu deuten. Wenn das α -Teilchen in den Aluminium-Kern fällt, so kann das herausgeworfene Wasserstoff-Teilchen entweder die ganze überschüssige Energie als kinetische Energie mit sich führen, dann hat es die Reichweite von 60 cm. Oder ein Teil der Energie wird als γ -Strahlen ausgestrahlt, und nur der Rest erscheint als kinetische Energie des H-Strahles, dann ist seine Reichweite nur 30 cm, die Energie der ausgesandten γ -Strahlung muß etwa 2.5×10^6 Volt entsprechen. Es ist im Zusammenhang hiermit ganz interessant, daß in einer gemeinsamen Arbeit mit Hrn. Hupfeld über die Absorption von γ -Strahlen Beobachtungen erhalten wurden, die es möglich erscheinen lassen, daß der Aluminium-Kern γ -Strahlen von der angegebenen Energie selektiv absorbiert; bei entsprechender Anregung müßte eine derartige Strahlung daher auch emittiert werden können. Tatsächlich ist bei Be, B und Al auch die Emission von sehr durchdringenden γ -Strahlen bei Anregung mit α -Strahlen von Bothe und Becker nachgewiesen worden. Ich will aber darauf nicht weiter eingehen, sondern noch einen direkten experimentellen Beweis für das Einfangen der α -Strahlen besprechen. Die Zertrümmerung von Stickstoff durch α -Strahlen ist von Blackett nach der Wilsonschen Nebel-Methode untersucht worden. Diese Methode gestattet es bekanntlich, die Bahn eines einzelnen α -Strahls oder H-Strahls sichtbar zu machen, weil die von den Strahlen erzeugten Ionen Kondensationskerne für die Kondensation von Wasserdampf bilden. Bei geeigneter Anordnung wird also in einem mit Wasserdampf gesättigten Gasraum eine Kondensation nur längs der von einem α -Strahl oder H-Strahl erzeugten Ionenbahn eintreten, es wird sich ein Nebelstrich ausbilden, der sich photographieren läßt und ein Abbild des durchgegangenen Strahls darstellt. Blackett hat solche Aufnahmen gemacht, bei denen α -Strahlen durch Stickstoff hindurchfließen, und festgestellt, daß in allen Fällen, in denen eine Zertrümmerung eines Stickstoff-Kerns durch das Auftreten eines Wasserstoff-Strahls gekennzeichnet war, die α -Strahlbahn hinter der Zertrümmerungsstelle abbricht. Das α -Teilchen ist eben in den Kern gefallen, so daß bei dem Prozeß aus dem N_{14} ein O_{17} entsteht. Daß O_{17} wirklich einen existenzfähigen Kern darstellt und im gewöhnlichen Sauerstoff als Isotop vorhanden ist, ist inzwischen, wie schon erwähnt, durch die Isotopen-Forschung festgestellt worden. Bei festen Substanzen ist der Nachweis dieses Einfangens außer durch die Energie-Bilanz nicht möglich, und geeignete gasförmige Verbindungen sind in den wenigsten Fällen verfügbar. In unserem Institut sind Untersuchungen im Gang, das direkte Einfangen durch Wilson-Aufnahmen in Bortrichlorid nachzuweisen, die Versuche sind aber noch nicht abgeschlossen.

Es erscheint wahrscheinlich, daß bei jeder künstlichen Atom-Umwandlung mittels α -Strahlen das α -Teilchen im Kern eingefangen wird, wobei, wie leicht einzusehen, ein Kern entstehen muß, der um 3 Atomgewichts-Einheiten schwerer ist und eine um 1 größere Ordnungszahl besitzt. Aus dieser Tatsache lassen sich eine Reihe von Folgerungen ziehen, von denen ich nur eine hervor-

heßen möchte, weil sie interessant erscheint, und weil sie bisher nicht beachtet worden ist. Da die künstliche Atom-Umwandlung durch Einfangen eines α -Teilchens und Abspaltung eines Protons letzten Endes einen Atcm-Aufbau bedeutet, so liegt die Vermutung nahe, daß bei der Bildung der uns bekannten

Element	Z	P	
Li } Be }	3 } 4 }	6 } 9 }	gefunden haben könnten. Man wird daher erwarten dürfen, daß bei den gewöhnlichen Atomarten ein Anwachsen der Ordnungszahl um eine Einheit häufig mit einer Massenzunahme um 3 Einheiten verknüpft auftritt. Das ist auch tatsächlich der Fall. Besonders auffallend zeigt sich das im Anfang des Periodischen Systems, etwa bis zum Eisen, wo häufig die stärksten Komponenten aufeinanderfolgender Elemente um 3 Masseneinheiten verschieden sind, wie die nebenstehende Tabelle (Fig. 5) erkennen läßt. Da ein erheblicher Teil der genannten Elemente nur eine einzige Atomart (sie sind in der Tabelle unterstrichen) und die übrigen maximal 3 Atomarten aufweisen, so erscheint es nicht sehr wahrscheinlich, daß die aufgezeigte Zahlen-Beziehung rein zufällig ist. Spricht man dieser Zahlen-Beziehung eine reelle Bedeutung zu, so besagt sie, daß der Helium-Kern nicht nur bei den Atom-Kernen, die eine durch 4 teilbare Protonen-Zahl besitzen, eine wichtige Rolle spielt, sondern auch bei den andern Atom-Kernen. Ob hierbei in allen schwereren Atom-Kernen die Protonen zu der maximal möglichen Anzahl von Helium-Kernen zusammengeschlossen sind, oder ob vielleicht Zwischengebilde vom Helium-Kern bis zu 4 unverbundenen Protonen auftreten, möchte ich unentschieden lassen.
N } O }	7 } 8 }	14 } 17 }	
F } Ne }	9 } 10 }	19 } 22 }	
Na } Mg }	11 } 12 }	23 } 26 }	
Al } Si }	13 } 14 }	27 } 30 }	
P } S }	15 } 16 }	31 } 34 }	
Cl } K }	17 } 19 }	37 } 41 }	
Ca } Sc }	20 } 21 }	44 } 45 }	
Ti } V }	22 } 23 }	48 } 51 }	
Cr }	24 }	54 }	

Fig. 5.

von Helium-Kernen zusammengeschlossen sind, oder ob vielleicht Zwischengebilde vom Helium-Kern bis zu 4 unverbundenen Protonen auftreten, möchte ich unentschieden lassen.

Ich bin damit am Schluß meiner Ausführungen angelangt, und ich hoffe, daß ich einigermaßen habe zeigen können, welche große Bedeutung dem Begriff des Atomgewichtes und der genauen Bestimmung der Isotopen-Gewichte in der modernen Atomlehre zukommt.