

Das Periodische System und die spezifische Verschiedenheit der Elemente.

Von Dr. Ed. Hartmann.

1. Im Jahre 1864 gelang es zwei Physikern, dem Russen Mendelejew und dem Deutschen Lothar von Meyer, die Gesamtheit der chemischen Elemente in eine sinnvolle Ordnung zu bringen, die man als das Periodische System der Elemente bezeichnet. Indem sie die Elemente nach steigendem Atomgewicht aneinander reihten, entdeckten sie die merkwürdige Tatsache, daß sich die chemischen und optischen Eigenschaften der Elemente periodisch wiederholten.¹⁾ Gestützt auf diese Entdeckung, konnte Mendelejew bekanntlich nicht nur manche der damals vorliegenden Atomgewichtsbestimmungen verbessern,²⁾ sondern auch aus gewissen Lücken des Systems die Existenz bisher unbekannter Elemente samt ihren Eigenschaften erschließen. In der Tat gelang es nach einiger Zeit, diese Elemente aufzufinden und festzustellen, daß ihnen die vorausgesagten Eigenschaften zukommen.³⁾ Als später Ramsay die sogenannten Edelgase entdeckte, so ordneten sich diese neuen Elemente zwanglos dem System ein und gaben ihm seine letzte Vollendung.

Allerdings bereitete die Beschäftigung mit dem Periodischen System den Physikern keine reine Freude. An mehreren Stellen traten Unstimmigkeiten zu Tage. Man mußte hier von der Anordnung

¹⁾ Betrachten wir z. B. die Reihe vom Lithium bis zum Argon, so erhalten wir zwei Perioden, die wir so anschreiben, daß die chemisch ähnlichen untereinanderstehen. Die eingeklammerten Zahlen bedeuten das Atomgewicht.

Li (6,94), Be (9,1), B (10,8), C (12), N (14), O (16) F (19) Ne (20,2)
Na (23), Mg (24,3), Al (27,1), Si (28,3) P (31), S (32), Cl (35,46) Ar (39,9)

²⁾ So gab Mendelejew für Beryllium und Indium, die nach ihrem Atomgewichte nicht in das System paßten, neue Atomgewichtswerte an, die sich in der Tat als richtig erwiesen.

³⁾ Es waren dies die Elemente Gallium, Germanium, Skandium und Polonium. Später kamen noch hinzu Hafnium, Rhenium, Masurium und Ilinium. Heute finden sich in dem System nur noch zwei Lücken: ein Halogen und ein Alkalimetall.

nach steigendem Atomgewicht abgehen, wenn man die Elemente an die ihnen nach ihren chemischen Eigenschaften zukommenden Stellen bringen wollte. So mußte man beispielsweise das Argon vor das Kalium setzen, obschon sein Atomgewicht (39,9) größer als das des Kaliums (39,1) ist.

Diese eigenartige, die ganze Reihe der Elemente vom Wasserstoff bis zum Uran durchziehende Gesetzmäßigkeit ist für die Erforschung des Wesens der Materie von größter Bedeutung. Sie zwingt uns, wie wir im folgenden zu zeigen gedenken, dazu, die alte Lehre von der Wesensverschiedenheit der Elemente aufzugeben und an ihre Stelle eine bloß systematische Verschiedenheit zu setzen.

2. Zunächst legt das Periodische System den Gedanken nahe, daß alle Elemente aus einem einzigen oder einigen wenigen Bestandteilen aufgebaut und demnach ihre Unterschiede nur in der Struktur ihres Aufbaues begründet sind. Bekanntlich hat schon 1815, also ein halbes Jahrhundert vor der Entdeckung des Periodischen Systems der englische Arzt Prout die kühne Hypothese aufgestellt, daß die Atome aller Elemente aus Wasserstoffatomen aufgebaut seien. Aber dieser Gedanke konnte sich nicht durchsetzen, weil er mit sicheren Tatsachen in Widerspruch zu stehen schien. Hätte Prout recht, so müßten ja alle Atomgewichte als ganzzahlige Vielfache des Wasserstoffatomgewichtes ganze Zahlen sein. Dem widersprachen aber die Atomgewichte vieler Elemente, die stark von der Ganzzahligkeit abwichen.

In der neueren Zeit hat jedoch die Proutsche Theorie eine glänzende Bestätigung erfahren. Der englische Physiker Aston konnte durch seine Massenspektrogramme den Nachweis führen, daß die meisten Elemente Atome verschiedener Art enthalten und darum als Mischelemente zu bezeichnen sind. So enthält das gewöhnliche Chlor mit dem Atomgewicht 35,46 zwei Chlorarten, die in allen chemischen und optischen Eigenschaften völlig übereinstimmen, sich aber im Atomgewichte unterscheiden. Die Atomgewichte dieser beiden Reinelemente sind 35 und 37, also ganzzahlig, wie es die Proutsche Hypothese verlangt. Das was vom Chlor gilt, ist, wie Aston gezeigt hat, ganz allgemein der Fall: Die Atomgewichte aller Reinelemente sind ganzzahlig.

Die Ganzzahligkeit der Atomgewichte ist für diejenigen, die jedem Element seine besondere substantiale Form zuschreiben, eine recht befremdende Tatsache. Warum sollen die Gewichte aller Atome ganzzahlige Vielfach des Gewichtes von $1,66 \cdot 10^{-24}$ Gramm (es ist dies das Gewicht des Wasserstoffatoms) sein, wenn die Atome

nicht aus Wasserstoffatomen aufgebaut sind? Die einzig befriedigende Erklärung liegt in der Annahme, daß die Masse eines jeden Atoms aus der Gesamtheit aller darin enthaltenen Wasserstoffmassen resultiert. Daraus folgt allerdings nicht, daß sich in den Atomen nur Wasserstoffteilchen finden, es könnten darin noch weitere Bausteine vorhanden sein; nur müßten diese eine so geringe Masse haben, daß sie gegenüber der Masse des Wasserstoffatoms nicht in Betracht kämen. Dies ist in der Tat die Auffassung der modernen Chemie, welche den Kern des Wasserstoffatoms als den Urbaustein, das „Proton“ aller Materie ansieht, daneben aber noch als weitere Bausteine die fast masse- und gewichtslosen Elektronen annimmt. Mit der Auflösung der Atome in Protonen und Elektronen hat die chemische Analyse ihren letzten Höhepunkt erreicht. Sie zerlegt die Dreiviertel-million homogener Stoffarten in zweiundneunzig Elemente und zerlegt dann die Elemente selbst wieder in Protonen und Elektronen, so daß die ganze fast unübersehbare Menge der vorgefundenen Stoffarten schließlich in zwei Urbestandteile aufgelöst wird.¹⁾

3. Die enge Verwandtschaft, die nach dem Periodischen System zwischen den Elementen besteht, legt auch den Gedanken an genetische Zusammenhänge nahe. Bezüglich der organischen Welt ist uns ja der Gedanke geläufig, daß Arten und Gattungen, die einander sehr ähnlich sind, auch blutsverwandt sind, d. h. entweder voneinander oder von gemeinsamen Ahnen abstammen. Man führt so die ganze Fülle der pflanzlichen und tierischen Arten auf eine oder einige Urformen zurück. Könnte es sich nicht auch mit den Elementen ähnlich verhalten? Sind vielleicht die 92 Elemente nur „systematische“ Arten, die aus einer einzigen oder aus einigen wenigen natürlichen Arten entstanden sind. Niemand würde es wohl gewagt haben, eine solche Vermutung aufzustellen, wenn uns nicht die Entdeckung der radioaktiven Stoffe ungeahnte Perspektiven erschlossen hätte.

Von einer großen Anzahl von Elementen wissen wir mit Sicherheit, daß sie von anderen abstammen. Wir sehen vor unseren Augen Elemente entstehen und vergehen. Wir stellen fest, daß die schwersten Stoffe des Periodischen Systems sich mehr und mehr in

¹⁾ In der neuesten Zeit sind zu den Protonen und Elektronen noch die Neutronen und Positronen gekommen. Das Neutron besteht, wie es scheint, aus einem Proton, das in ganz geringer Entfernung von einem Elektron umkreist wird. Es bringt also nichts prinzipiell Neues. Anders verhält es sich mit dem Positron, das in seiner Ladung mit dem Proton, in seiner Masse mit dem Elektron übereinstimmt.

leichtere umwandeln und können den Termin angeben, wann etwa nur noch $\frac{1}{1000}$ oder nur noch $\frac{1}{1000000}$ der heute vorhandenen Uran- oder Thoriummenge existieren wird. Dabei sind die „Halbwertzeiten“ der radioaktiven Elemente außerordentlich verschieden. Sie beträgt bei Ra C' nur ein Zehnmilliontel Sekunde, bei Uran I jedoch 5 Milliarden Jahre.

Um die rechte Vorstellung zu gewinnen von den gewaltigen Energien, die hier am Werke sind, empfiehlt es sich, den Zerfall eines bestimmten Elementes etwas näher ins Auge zu fassen. So schleudert z. B. das Radiumatom bei seinem Zerfall ein Geschöß von unvorstellbarer Geschwindigkeit aus. Es ist ein α -Teilchen (ein doppelt ionisiertes Heliumatom), das in der Sekunde 15 Millionen Meter zurücklegt. Bei dem Abschuß des α -Teilchens geht das Radiumatom in ein Emanationsatom über. Es ist die Emanation ein Edelgas, das mit den bereits früher bekannten Edelgasen Helium, Argon etc. die größte Aehnlichkeit hat. Die so entstandenen Emanationsatome sind nun aber wiederum radioaktiv. Nach nicht ganz vier Tagen ist die Hälfte dieser Atome wieder explodiert, wobei jedes zerfallende Atom wiederum das gleiche Geschöß, ein α -Teilchen, abschleudert. Das so entstandene Ra A-Atom zerfällt in kürzester Frist aufs neue. Die Halbwertzeit beträgt jetzt nur drei Minuten. So geht der Prozeß weiter, bis er beim Blei zur Ruhe zu kommen scheint.

Wir sagen absichtlich „scheint“, denn wir müssen fragen: Gibt es überhaupt Elemente, die nicht radioaktiv sind? Macht es nicht gerade die Zugehörigkeit aller Elemente zu dem einen Periodischen System wahrscheinlich, daß alle Elemente (bis auf das leichteste, den Wasserstoff) in beständiger Umwandlung begriffen sind? Gewiß haben, so erklärte ein angesehener Physiker,¹⁾ die verschiedenen Elemente verschiedene Eigenschaften, aber es ist nicht wahrscheinlich, daß sie so tiefgreifend verschieden sein sollten, daß einige Elemente von anderen abstammen, also eine Art von Familie mit ihnen bilden, während andere ganz getrennt danebenstehen, und doch sollen alle diese Stoffe ein so abgeschlossenes System miteinander bilden.

Derselbe Gelehrte weist mit Recht darauf hin, daß wir gewisse empirische Anhaltspunkte für die allgemeine Radioaktivität der Elemente haben. Bei allen Umwandlungen, bei denen ein α -Teilchen ausgeschleudert wird, muß, da das Atomgewicht des α -Teilchens (= dem des Heliumatoms) 4 beträgt, die Tochtersubstanz um vier

¹⁾ Th. Wulff S. J. *Lehrbuch der Physik* (Freiburg 1926), S. 354.

Einheiten im Atomgewicht von der Muttersubstanz abstehen.¹⁾ Betrachten wir daraufhin die Tabelle der Atomgewichte, so finden wir in der Tat, daß in einer überraschend großen Anzahl von Fällen die Differenzen derselben gleich 4 sind. Wir finden da z. B. die Reihe 4, 12, 16, 20, 24, 28, 32, 36 ebenso die Reihe 27, 31, 35 etc. Immer wieder tritt uns die Differenz 4 entgegen. In vielen Fällen wissen wir, worin diese Differenz ihren Grund hat: das um 4 geringere Atomgewicht ist durch Abschleuderung eines Heliumatoms entstanden. Sollte sie in den übrigen Fällen nicht den nämlichen Grund haben?

So drängen uns die Tatsachen, die die neuere Physik ans Licht gezogen hat, zu der Annahme, daß alle Elemente ihrem Gewichte nach aus Protonen aufgebaut sind, ja daß sie trotz der großen Mannigfaltigkeit ihrer systematischen Arten doch nur eine natürliche Art darstellen. Seltsamer Weise hat man gerade in den radioaktiven Vorgängen eine Bestätigung des Hylomorphismus sehen wollen. Man argumentierte folgendermaßen: Wenn aus Radium das Edelgas Emanation entsteht, so liegt offenbar eine echte Wesensumwandlung vor, denn Radium und Emanation sind spezifisch verschiedene Substanzen. Gibt es aber echte Wesensumwandlungen, so besteht der Hylomorphismus zu Recht. Dieses Argument hat keine Beweiskraft. Seine erste Prämisse ist zu verneinen. Gerade der spontane Uebergang des Radiums in Emanation zeigt, daß wir es hier mit keiner „Wesensumwandlung“ zu tun haben. Wie sollte auch die Wesensform des Radiums dazu kommen, aus sich heraus zu verschwinden und die beiden Wesensformen des Heliums (α -Teilchen) und der Emanation ins Dasein zu setzen. Der spontane Uebergang der Elemente ineinander, der durch keine äußere Ursache herbeigeführt wird und durch keine Veränderung der äußeren Bedingungen beeinflusst werden kann, beweist, daß die aristotelischscholastischen Theorien hier nicht mehr am Platze sind.

4. Was dem Periodischen System seinen besonderen Charakter verleiht, ist die mit fortschreitendem Atomgewicht periodische Wiederkehr der nämlichen Eigenschaften. Auch hierüber hat die moderne Wissenschaft weitgehende Aufklärung gebracht. Indem Niels Bohr das Rutherford'sche Atommodell mit der Planckschen Quantentheorie in Verbindung brachte, gelang es ihm, einen erfolgreichen Vorstoß in die bisher dem Verständnis der Physiker fast ganz verschlossene

¹⁾ So hat in dem obigen Beispiel Ra das Atomgewicht 226, Emanation das Atomgewicht 222, RaA das Atomgewicht 218, und so geht es weiter bis wir nach 5 α -Umwandlungen zum Blei kommen, dem (falls es auf diesem Wege entstanden ist) das Atomgewicht $226 - 5 \times 4 = 206$ zukommt.

Welt der Linienspektren zu machen. Mit Rutherford setzte er in das Zentrum des Atoms einen positiv geladenen Kern, der fast die gesamte Masse des Atoms in sich vereinigt. Rutherford hatte ja die Existenz solcher Kerne festgestellt, indem er schnell bewegte α -Teilchen durch eine Metallfolie hindurchschickte. Die meisten Geschosse durchdringen das Atom, ohne einem besonderen Hindernisse zu begegnen. Einige jedoch werden plötzlich so stark abgelenkt, daß sie die Folie überhaupt nicht durchdringen, sondern wie von einer festen Wand zurückgeworfen werden. Es gibt also — dieser Schluß scheint unvermeidlich zu sein — in den Atomen Stellen, die Ausgangspunkte großer abstoßender Kräfte sind. Aus der Ablenkung der positiv geladenen α -Teilchen kann man den Durchmesser und die Stärke der positiven Ladung dieser abstoßenden „Atomkerne“ berechnen. Ihr Durchmesser ist von der Größenordnung von einem Billiontel Millimeter, ihre Ladung entspricht der Stelle, die das Atom im Periodischen System der Elemente einnimmt. Nimmt das Atom z. B. die 20. Stelle ein, so beträgt seine Kernladung 20 Elementarladungen, wobei die Elementarladung gleich der Ladung eines Protons d. i. $4,77 \cdot 10^{-10}$ elektrostatischen Einheiten ist.

Durch dieses wichtige Ergebnis der Atomforschung werden unsere obigen Schlüsse bekräftigt. Wir sehen ja, daß nicht nur das Gewicht eines Atoms stets ein ganzzahliges Vielfaches des Gewichtes eines Protons ist, sondern auch die Kernladung eines Atoms ausnahmslos ein ganzzahliges Vielfaches der Ladung eines Protons ist. Weiterhin stellt es sich heraus, daß das Ordnungsprinzip der Periodischen Reihe nicht eigentlich das Atomgewicht sondern die Kernladung ist. Ordnet man die Elemente nach steigenden Kernladungen, so verschwinden alle bisherigen Unstimmigkeiten des Systems. So ist also — das ist eine folgenschwere Feststellung — das, was für das Verhalten des Elementes, für seine Eigenschaften und Kräfte, in letzter Linie maßgebend ist, die Größe seiner positiven Kernladung.

Es wird nun der positive Kern, in dem fast die ganze Masse des Atoms konzentriert ist, nach Niels Bohr umkreist von fast gewichtslosen Elektronen, deren Bahnen durch eigentümliche Quantengesetze geregelt sind. Man hat das Bohrsche Atommodell nicht selten mit dem Planetensystem verglichen. Dieser Vergleich ist aber nicht ganz richtig. Es gibt kein Gesetz, das einem Planeten eine bestimmte Entfernung von der Sonne vorschreibt. Das dritte Keplersche Gesetz besagt nichts über die Entfernungen der Planeten von der Sonne an sich, sondern ordnet nur den Entfernungen in bestimmter Weise die Umlaufzeiten zu. Würde durch eine äußere Ursache, etwa durch

den Vorübergang eines Himmelskörpers von großer Masse, die Ordnung des Planetensystems gestört, so würde sich nach Wegfall der Störung die alte Ordnung nicht von selbst wieder herstellen, sondern es würden die Planeten, soweit sie nicht vom Systeme endgültig losgerissen wären, in neuen Bahnen um die Sonne kreisen. Ganz anders verhält sich nach Niels Bohr das Atom. Auch hier bewegen sich die Elektronen in Ellipsen um den Kern, aber es sind ihnen bestimmte Bahnen vorgeschrieben, die in dem Spektrum des Elementes ihren Ausdruck finden. Trotz der zahlreichen Zusammenstöße, welche die Atome eines leuchtenden Gases miteinander haben, zeigt ihr Spektrum eine Reihe gesetzmäßig geordneter scharfer Linien. Darin sieht Bohr den Beweis, daß nicht alle mit dem Coulombschen Anziehungsgesetz verträglichen, sondern nur ganz bestimmte, durch eigenartige Quantengesetze geregelte Bahnen für den Umlauf der Elektronen in Betracht kommen. Es besitzt so jedes Element seine bestimmte Mikrostruktur, in der wir den Grund für seine physikalischen und chemischen Eigenschaften zu suchen haben.

5. Die von Bohr aufgestellte und von Sommerfeld weiter ausgebaut Theorie hat große Erfolge erzielt. Es gelang ihr nicht nur das Wasserstoffspektrum bis in seine feinsten Einzelheiten qualitativ und quantitativ zu erklären, sondern auch für die Spektren der übrigen Elemente eine wenigstens qualitative Erklärung zu geben. Schließlich gelang es ihr sogar, was für uns besonders in Betracht kommt, den periodischen Charakter des Mendelejewischen Systems aufzuhellen. Es zeigte sich nämlich, daß die Periodizität der Eigenschaften ihren Grund hat in dem ring- oder schalenförmigen Aufbau des den Kern umkreisenden Elektronenschwarms. Indem im Fortschritt der periodischen Reihe immer neue Schalen aufgebaut werden, müssen jene chemischen und optischen Eigenschaften, die durch die Besetzung der jeweils letzten Schale bedingt sind, periodisch wiederkehren. Zeigen wir dies etwas näher an dem elektropositiven oder -negativen Verhalten der Elemente. Bei jedem Edelgase ist eine Schale gerade abgeschlossen. Hier ist die Elektronenanordnung besonders fest. Die Edelgase gehen ja mit anderen Elementen keine chemischen Verbindungen ein, ja ihre Atome vereinigen sich nicht einmal zu Molekülen. Auch sind sie nur schwer zu ionisieren, d. h. es bedarf hoher elektrischer Spannungen, um ein Elektron aus dem Elektronenverbande loszulösen. Gehen wir nun in der Periodischen Reihe von einem Edelgase aus einen Schritt weiter, so treffen wir auf ein Element, das außerhalb der eben fertiggestellten Schale noch ein weiteres Elektron enthält, das den Anfang einer neuen Schale bildet.

Dieses gleichsam auf verlorenem Posten stehende Elektron wird leicht abgegeben, wodurch das Atom eine positive Elementarladung erhält. So erklärt es sich, daß solche Atome in der Elektroanalyse als einwertige positive Ionen erscheinen. Gehen wir einen Schritt weiter, so finden wir Elemente, deren letzte, noch unfertige Schale zwei Elektronen enthält. Auch diese werden leicht abgegeben, und so kommt es, daß die Elemente, die den Edelgasen an zweiter Stelle folgen, in der Elektroanalyse als Ionen von doppelter positiver Ladung erscheinen. Betrachten wir aber ein Element, das einem Edelgase vorausgeht, so finden wir ein Atom, dem an der fertigen Schale nur ein Elektron fehlt. Die Schale hat gleichsam eine Lücke, die bei der ersten günstigen Gelegenheit ausgefüllt wird. Dadurch entstehen aber Ionen mit einer negativen Ladung. Aus dem nämlichen Grunde haben die Elemente, die einem Edelmetall an zweiter Stelle vorausgehen, die Tendenz, als zweifach geladene negative Ionen aufzutreten. Hiermit ist der periodische Aufbau der Elementenreihe gegeben.

Damit sind wir auch der Antwort auf eine Frage näher gekommen, die bisher allen Lösungsversuchen hartnäckigen Widerstand entgegengesetzt hat: der Frage nach der Natur der chemischen Bindungskräfte. Wenn, wie wir darlegten, Natrium sein über den Schalenbau des unmittelbar vorausgehenden Edelgases Neon hinausgehendes Elektron leicht abgibt, Chlor dagegen das an der Konfiguration des unmittelbar folgenden Edelgases Argon noch fehlende Elektron leicht aufnimmt, so liegt die Annahme nahe, daß bei der Verbindung von Chlor und Natrium zu Kochsalz ein Elektron vom Natriumatom zum Chloratom übertritt. Dadurch werden die beiden Atome in Ionen verwandelt, die sich wegen ihrer entgegengesetzten Ladung anziehen. In derselben Weise vereinigen sich, um ein weiteres Beispiel zu nennen, Magnesium und Sauerstoff, indem die beiden gleichsam überschüssigen Elektronen des Magnesiums die beiden Lücken der letzten Elektronenschale des Sauerstoffs füllen. So stimmt die chemische Valenz eines Elementes mit der Zahl der Elektronen überein, die es von dem nächstliegenden Edelgas unterscheidet. Diese (von Kossel und Lewis) ausgebildete Theorie gibt allerdings nur für die sog. „heteropolaren“ Verbindungen eine befriedigende Erklärung. Sie versagt bei jenen Verbindungen, bei denen gleichartige Atome zusammentreten. Um auch diese Verbindungen zu erklären, muß man von der Niels Bohrschen Theorie zu der modernen Wellenmechanik fortschreiten.

Die moderne Atomtheorie zeigt uns auch, weshalb gewisse Eigenschaften der Elemente, z. B. das charakteristische Röntgenspektrum, nicht periodisch wiederkehren, sondern mit wachsender

Kernladung immer in demselben Sinne fortschreiten. Es sind dies Eigenschaften, die von den inneren bezw. der innersten Schale abhängen, die bei allen Elementen den nämlichen Aufbau hat und nur bei fortschreitender Kernladung näher und näher an den Kern heranrückt.

6. Ein besonderer Triumph der modernen Atomtheorie ist noch darin zu sehen, daß es ihr gelungen ist, die Länge der aufeinanderfolgenden Perioden verständlich zu machen. Die Länge der Perioden ist offenbar erklärt, wenn es gelingt, aus der Bohrschen Theorie die Anzahl der Elektronen abzuleiten, die zur Füllung einer Schale erforderlich sind. Die Stellung der Edelgase im Periodischen System lehrt uns, daß diese Anzahlen die Zahlenreihe 2, 8, 18 . . bilden, die Rydberg als doppelte Quadratzahlen erkannt hat. Woher diese eigentümliche Gesetzmäßigkeit? Die Antwort lautet: Der Zustand eines Elektrons ist durch vier „Quantenzahlen“ bestimmt, die man ihrer Bedeutung entsprechend als radiale, äquatoriale, als Breiten- und als Drallquantenzahl bezeichnen kann. Nimmt man nun mit Pauli an, daß in ein und demselben Atom sich niemals zwei Elektronen finden, die in sämtlichen vier Quantenzahlen übereinstimmen, so ergibt sich, daß die erste Schale zwei, die zweite acht, die dritte achtzehn Elektronen fassen kann. Es ergibt sich also genau die oben angeführte Reihe. Der tiefere Grund für die Paulische Regel, die auch in der Wellenmechanik Schrödingers eine wichtige Rolle spielt, ist uns bis jetzt allerdings noch verborgen.

7. Aus dem Gesagten dürfte erhellen, daß jene Theorie, die für jedes Element eine besondere forma substantialis annimmt, die die letzte Wurzel aller seiner statischen und dynamischen Qualitäten sein soll, den Problemen des Periodischen Systems ganz hilflos gegenübersteht. Ihr bleibt die Ganzzahligkeit der Atomgewichte ebenso ein Rätsel wie die Ganzzahligkeit der Kernladung. Die Abhängigkeit der Eigenschaften der Elemente von der Kernladung ist für sie unverständlich und erst recht unverständlich der periodische Charakter dieser Abhängigkeit, sowie die Länge der einzelnen Perioden. Wie sehr die neuen Auffassungen den alten überlegen sind, erhellt auch aus dem Versuche mancher Vertreter des Alten, das Alte mit dem Neuen zu vereinigen. Man adoptiert das Bohrsche Atommodell, läßt es aber noch durch eine substantiale Form informiert sein.

Dieser Versuch, ganz disparate Vorstellungen zu einer wahren Einheit zu verbinden, war von vornherein zum Scheitern verurteilt und wurde auch von hervorragenden Vertretern der Scholastik abgelehnt. So spricht J. de Vries von den „seltsamsten Hilfshypo-

thesen“, zu denen die Verfechter des Alten gedrängt werden. Er sagt: „Denn da nach der gewöhnlichen Auffassung eine einheitliche körperliche Wesensform nur eine stetig ausgedehnte Materie informieren kann, muß man den zwischen den Protonen und Elektronen des Atoms, bezw. Molekels, gelagerten Aether mit dieser zu einer kontinuierlichen Masse werden lassen, in der die (womöglich nur noch „virtuell“ vorhandenen) Elektronen trotzdem um den Kern kreisen sollen. Wer unvoreingenommen an die Sache herantritt, wird sich verwundert fragen: Wozu denn diese seltsamen Konstruktionen? Eine andere Erklärung als die Liebe zum Alten wird man schwerlich dafür finden. Da man die alten Vorstellungen nicht ganz aufgeben möchte, sucht man ein Stück des alten naturwissenschaftlichen Weltbildes mit einem Stück des neuen zu verbinden. Und man beachtet nicht, daß sie zueinander passen wie eine Alchemistenküche zu einem physikalischen Laboratorium unserer Zeit.“¹⁾

8. Wir haben nun noch einige Schwierigkeiten zu beseitigen, die man gegen unsere Auffassung erheben wird. Wie kommt es, wird man fragen, daß jedes Element seinen besonderen Typus hat, den man durch äußere Eingriffe nicht beeinflussen kann, und wie kommt es, daß die in der Periodischen Reihe aufeinander folgenden Typen eine sprunghafte Verschiedenheit aufweisen, die keine allmählichen Uebergänge zuläßt? Die Antwort auf diese Fragen kann nicht zweifelhaft sein: Es ist die Kernladung, die die Stellung des Elementes im Periodischen System bestimmt, und darum ist es die Stabilität des Kernes, worin Festigkeit der typischen Eigenschaften begründet ist. Der Kern, der (abgesehen vom Wasserstoffkern, der aus nur einem Proton besteht), aus Protonen und Neutronen aufgebaut ist, hat im allgemeinen eine sehr stabile Struktur. Darum halten die meisten Elemente für außerordentlich große Zeiträume ihren Typus fest. Aber nicht alle Kerne sind stabil, wir kennen gegen 40 Elemente, bei denen die Kerne einem spontanen Zerfall unterliegen, bei denen darum auch von der Festigkeit des Typus keine Rede sein kann: hier geht ein Typus von selbst in einen anderen über. Bekanntlich ist es bei vielen Elementen gelungen, auch durch äußere Eingriffe einen Typus in einen anderen überzuführen. Durch Beschießung mit α -Teilchen oder mit künstlich beschleunigten Protonen oder mit Neutronen kann man unter Umständen eine Veränderung der Kernladung herbeiführen und dadurch ein Element in ein anderes umwandeln. Warum aber die sprunghafte Verschiedenheit der Typen?

¹⁾ Scholastik. 1935. J. de Vries: *Neue Physik und Metaphysik* S. 84.

Der Grund hierfür liegt natürlich in der sprunghaften Verschiedenheit der Kernladung. Die atomistische Struktur der Elektrizitätsladung bringt es mit sich, daß die Ladung des Kernes immer eine ganze Zahl von Elementarladungen beträgt. Der Kern kann eine oder zwei oder drei etc. Ladungen haben, niemals aber 1,2 oder 2,5 oder 3,4 Ladungen. Daher gibt es keine Uebergänge zwischen den Kernladungen und infolgedessen auch nicht zwischen den Typen.

Ein weiterer Einwand, den man gegen die hier vertretene Auffassung erhoben hat, ist der folgende: Wie kommt es, daß sich die planetarischen Elektronen nicht in allen mechanisch möglichen Bahnen bewegen? Was zwingt sie in den durch gewisse Quantenregeln ausgezeichneten Geleisen zu laufen? Sieht es nicht so aus, als ob im Innern des Atoms eine zielstrebige, ordnende Kraft säße, die dafür sorgt, daß die durch äußere Einflüsse gestörte Struktur immer wieder hergestellt wird? Auf diesen Einwand wäre zunächst zu erwidern: Wenn man auch einen solchen zielstrebigen Faktor in dem Atom annehmen müßte, so wäre hiermit zwar der rein mechanischen Erklärung eine Grenze gesetzt, aber es wäre noch nichts für die Wesensverschiedenheit der Elemente gewonnen. Es gelten ja für alle Elemente, die nämlichen Quantenregeln, wodurch die „ausgezeichneten“ Bahnen bestimmt werden, nur daß der Aufbau der Elektronenschalen je nach der Größe der Kernladung mehr oder weniger weit geführt wird. Es wäre demnach in allen Elementen spezifisch der nämliche ordnende Faktor anzunehmen, der überall soviel Elektronen in ihren Bahnen ordnet, als die anziehende Kraft des Kernes festhalten kann.

Es wäre sodann zweitens zu sagen, daß der Einwand eine Schwäche der Bohrschen Theorie berührt, die durch die Wellenmechanik Schrödingers beseitigt worden ist. Das Atommodell Bohrs sucht in der Tat Unvereinbares zu vereinigen. Es läßt die Elektronen nach dem Coulombschen Gesetz um den Kern laufen, schreibt ihnen aber bestimmte „ausgezeichnete Bahnen“ vor und verbietet es ihnen zugleich, bei diesem Umlauf ein periodisch wechselndes elektromagnetisches Feld auszustrahlen, wie dies doch die Maxwell'schen Gleichungen verlangen. Auf diese Weise gerät das Atommodell in offenen Widerspruch mit den Grundgleichungen der Elektrodynamik.

Die Physiker haben diesen Zwiespalt schmerzlich empfunden; sie konnten sich nicht mit dem Gedanken abfinden, daß für die Mikrowelt der Atome eine andere Physik gälte als für die Makrowelt der gewöhnlichen Erfahrung. Sie kamen darum mehr und mehr zu der Ueberzeugung, daß die klassische Physik nur eine für

die Makrowelt giltige Näherung darstellt, die durch eine neue Physik, welche die Mikro- und Makrowelt gleichmäßig umfaßt, ersetzt werden muß. Es handelte sich hier nicht um die Aufstellung irgendeiner speziellen physikalischen Theorie, sondern um eine neue Grundlegung der Physik überhaupt. Diese Grundlegung war auch dadurch notwendig geworden, daß gewisse Tatsachen uns zwingen, einerseits dem Lichte, dessen Wellencharakter durch die Beugungs- und Interferenzerscheinungen unzweideutig bezeugt wird, korpuskulären Charakter (Photo- und Comptoneffekt) und andererseits den Korpuskeln z. B. den Elektronen Wellencharakter (Versuche von Davisson und Germer) beizulegen. Den ersten Schritt zur Begründung der neuen Physik tat L. de Broglie, der das mechanische Geschehen im Bilde einer Wellenbewegung zu verstehen suchte. Was L. de Broglie begonnen, wurde durch Schrödingers Wellenmechanik und Heisenbergs Quantenmechanik weitergeführt und zu einem wenigstens vorläufigen Abschluß gebracht. Alles was die Bohrsche Theorie, deren Ergebnisse auch in der Wellenmechanik zum größten Teil bestehen bleiben, zur Aufklärung des Periodischen Systems geleistet hat, wird von der Wellenmechanik übernommen. Zugleich aber werden die bisherigen Unstimmigkeiten des Atommodells beseitigt und damit alle substantialen Formen, die für die Einhaltung der „ausgezeichneten“ Bahnen zu sorgen haben, überflüssig gemacht.

Wenn die Frage, ob jedem Elemente eine besondere Wesensform beizulegen ist, verneint werden muß, so ist damit zugleich auch die Frage, ob es in der anorganischen Welt substantiale Veränderungen gebe, in negativem Sinne entschieden. Wenn Chlor und Natrium keine besonderen Wesensformen haben, sondern nur zwei nach den Prinzipien der Wellenmechanik aufgebaute komplizierte Systeme von Protonen und Elektronen sind, dann ist natürlich das gleiche auch von ihrer chemischen Verbindung, dem Chlornatrium, zu sagen.

Aus dem Gesagten dürfte hervorgehen, daß die Betrachtung der Gesetzmäßigkeiten der Periodischen Reihe der einfachste und sicherste Weg ist, um zur Entscheidung gewisser viel umstrittener Fundamentalfragen der Naturphilosophie zu gelangen.