„Gespenster-Chemie".

Ein Lied von Mensch, Atom und Stern.

Von Dipl. Ing. **P. Medinger.**

An dât as ké Wonner,
Sét d'Fakulte't,
Dât könnt vun der Radio-
Aktivite't.

EINLEITUNG. Unser Leben und Erleben, die uns direkt faßbaren und erkennbaren Vorgänge spielen sich ab zwischen zwei gewaltig fernen Extremen. Auf der einen Seite die unfaßbaren Entfernungen und Dimensionen des Weltalls, auf der andern die unendlich kleinen Maße der Molekule und Atome.

Wir sind Sklaven der Dimensionen. Wenn wir von unsern Verkehrs- und Verbindungsmitteln reden, sprechen wir von gewaltigen Entfernungen; wenn wir aber auf den Flügeln der Wissenschaft unsern Geist in die Sternenwelt schweifen lassen, so erscheinen uns unsere irdischen Entfernungen ultra-mikroskopisch klein. Und wenn wir umgekehrt unsern Geist in die winzigen Maße der Molekule und Atome pressen, so erscheinen wir und unsere Werke uns riesengroß.

Und je nachdem erscheint uns unsere eigene Bedeutung im Universum auch größer oder kleiner. Von jeher hat die Ansicht des Menschen von seiner eigenen Bedeutung im Weltall gewaltig an Übertreibung gelitten; und besonders in früheren Zeiten hat diese Übertreibung, der Egoismus und Größenwahn des Menschen gewaltige Fehler und Hemmungen im Studium der Naturerscheinungen verschuldet, obwohl er andrerseits zu diesem Studium anspornte. Und das ist nicht verwunderlich, denn der Mensch fand sich in eine Welt hinein gestellt, von der er gar nichts verstand, und so kam er sich vor als Mittelpunkt der Welt und glaubte alles sei für ihn geschaffen. Aber mit dem Fortschreiten der wissenschaftlichen Erkenntnis wurde dieser Standpunkt immer unhaltbarer und heute erscheint uns der Mensch als vollkommen bedeutungslos im Wandel der Welten. Aber, ob von Bedeutung oder nicht, wir sind neugierig und ehrgeizig genug, um immer tiefer in die Geheimnisse der Natur eindringen zu wollen.

DIE BAUSTEINE DER MATERIE. Schon gelehrte Köpfe des Altertums hatten erkannt, daß die Materie den engeren Raum vollständig ausfüllt und haben angenommen, daß alle Stoffe aus unendlich kleinen Teilchen zusammengesetzt seien, die durch Zwischenräume von einander getrennt seien. Diese kleinsten Teilchen der Materie nennen wir heute

Atome. Über ihre Form und Natur herrschten im Laufe der Zeit die verschiedensten Ansichten. Newton (1704) sah sie an als winzig kleine Körper verschiedener Form: Tetraëder, Würfel, Kugeln u. s. w. — Boscowich (1758) bezeichnete sie als mathematische Punkte, Kraftzentren. Dann kam Dalton (1810), der ihnen Unteilbarkeit und ein für jedes Element fest bestimmtes Gewicht zuschrieb, und damit die heutige Atomtheorie begründete. Schließlich kam Kelvin mit seinen Wirbelringen (1867).

Alle diese Vorstellungen hatten aber nur rein spekulativen Charakter (mit Ausnahme der von Dalton eingeführten Atomgewichte); es fehlte eben damals jeder Ausgangspunkt zum Studium des Wesens der Atome. Nur eines wurde als feststehend angesehen: die Unteilbarkeit der Atome.

„GESPENSTER-CHEMIE".

Da trat gegen Ende des 19. Jahrhunderts ein Ereignis ein, das mit der so heilig gehaltenen Unteilbarkeit der Atome mit einem Schlag aufräumte, zugleich aber auch die Grundlagen lieferte für die heutige Atomchemie. Mit der Entdeckung des Radiums durch das Ehepaar Curie in Paris war ein Element gefunden worden, dessen Atom in Trümmer zerfiel, und seine Trümmer stellten teils neue, teils bereits bekannte Elemente dar. Es wurde in die physikalisch-chemische Forschung ein neues Instrument eingeführt: das alte Elektroskop, das erste elektrische Meßinstrument, das in den physikalischen Kabinetts nur mehr ein historisch begründetes Dasein führte. Und als nun, angeregt durch die schier unglaublichen Mitteilungen, die aus dem Laboratorium Curie in die Welt drangen, Physiker und Chemiker aller Länder sich anschickten, aus Änderungen der Entladungsgeschwindigkeit des Elektroskops Schlüsse auf das Vorhandensein, oder sogar auf die Eigenschaften neuer, unsichtbarer chemischer Elemente zu ziehen, da lehnten sich zahlreiche Chemiker der alten Schule ganz entrüstet auf gegen diese «Gespenster-Chemie». Auch jene, welche nicht soweit gingen, wie der Autor des berühmt gewordenen Ausspruches «Radioaktive Stoffe gibt es nicht, es gibt nur Isolationsfehler», klagten über das bedrückende Gefühl, das sie hätten, wenn auf so ganz unchemische Weise auf neue Elemente geschlossen würde. Und doch lag ja seit langer Zeit ein ähnlicher Präzedenzfall vor, indem Kirchhof und Bunsen auf Grund der von ihnen gefundenen Spektralanalyse ja auch neue Elemente feststellten. Und Clemens Winkler hat 1904 in den Berichten der Deutschen Chemischen Gesellschaft ganz energisch Protest eingelegt gegen den «Radiotaumel».

Als dem damals schon alten Lord Kelvin (Sir Will. Thomson) einer seiner Schüler die Frage vorlegte, was er von der Struktur

des Atoms halte, antwortete er: «Atom ist griechisch und heißt «unteilbar», es kann also von Struktur keine Rede gehen.» Worauf der Student geantwortet haben soll: «Ja, das ist der Nachteil des Griechischlernens.»

Heute sind die reichen Ergebnisse der Gespenster-Chemie längst allgemein anerkannt, und wir wissen nun bestimmt, daß wieder einmal die «denkbar kleinsten Teilchen» aus noch kleineren Teilchen zusammengesetzt sind. Es ist, wie der Dichter Pope singt:

The larger fleas have smaller fleas
Upon their backs to bite 'em;
These smaller fleas have other fleas,
And so ad infinitum.

Jedes Atom besteht aus einem positiven, auf den kleinsten Raum konzentrierten Kern mit einer oder mehreren ihn umschliessenden Hüllen von negativ geladenen Elektronen.

ORDNUNGSZAHL UND KERNLADUNG Wenn man die Elemente ihrer Schwere (Atomgewicht) nach vom leichtesten, dem Wasserstoff an, fortlaufend numeriert bis zum Uran, dem Element mit dem höchsten Atomgewicht, so geben diese Nummern (Ordnungszahlen) zugleich die wirksame Kernladung der einzelnen Atomarten an, wie auch die Anzahl der den Kern umkreisenden negativen Elektronen.

Durch die Ordnungs- oder Kernladungszahl werden die chemischen Eigenschaften des Elementes bestimmt, und statt die chemischen Elemente mit Phantasienamen zu benennen, wie «Kohlenstoff», «Silizium», «Eisen», könnte man sie ebensogut mit ihren Ordnungszahlen als Element 6, 14 oder 26 bezeichnen, welche Zahlen dann dem Chemiker zugleich über ungefähres Atomgewicht und die chemischen Eigenschaften der Atome belehren würden.

Die auf der Erde verlaufenden, uns bekannten chemischen und physikalischen Reaktionen spielen sich ausschließlich vermittelst der äußeren Elektronen ab; der Atomkern bleibt dabei intakt. Wir besitzen praktisch kein Mittel, ihn zu ändern. Atomkernreaktionen sind, wenigstens einstweilen noch, das Monopol der Sternenlaboratorien.

DAS BOHR'SCHE ATOMMODELL. Die Arbeiten von Rutherford und Bohr haben für das Atom ein sehr anschauliches Planetenmodell geschaffen. Um einen Zentralkörper, den positiven Kern, kreisen die negativen Elektronen gruppenweise in konzentrischen Schalen in bestimmten Abständen wie Planeten herum. (Fig. 1.)

Der Gedanke, daß sich auf diese Weise die Gesetze des Makrokosmos in der kleinen irdischen Welt wiederspiegeln, übt offenbar einen großen Zauber auf das menschliche Gemüt aus. Bildet er doch eine Wurzel jenes Aberglaubens, der so alt ist wie die Menschheit, daß die Schicksale der Menschen aus den Sternen gelesen werden können. Die astrologische Mystik ist aus der Wissenschaft geschwunden, geblieben ist aber das Streben nach der Erkenntnis der Einheit der Weltgesetze. Und diesem Streben ward unerwartet Befriedigung, als das Studium in den Atomen die Formen wiederfand, die einst die Astronomie am Himmel entdeckt hatte.

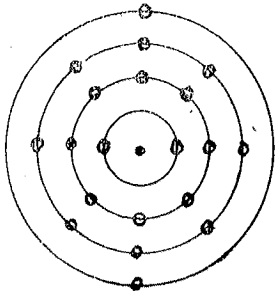


Fig. 1.

Dieses Atommodell von Bohr hat gewaltiges der Wissenschaft geleistet. Schon in seiner ersten Arbeit gelang Bohr die Berechnung der Rydberg'schen Konstante und die Erklärung der eigentümlichen Spektrallinien, die man schon lange kannte, aber nicht zu deuten wußte. Und als dann die gesamte Spektralanalyse in den Dienst der Bohr'schen Ideen trat, da fand man eine Bestätigung nach der andern. So wurde der innere Aufbau des Atoms erschlossen, ja, es wurde noch viel mehr geleistet, denn es gelang Bohr, die chemischen Eigenschaften der Atome aus seinem Modell zu erklären.

Nach Bohr kreisen die äußeren Elektronen auf ganz bestimmten «stabilen Bahnen» und nur solche Bahnen sind stabil, deren Energie ein ganzzahliges Vielfaches des «Elementarquantums» der Energie beträgt. Denn nach Planck hat auch die Energie atomare Struktur und kann sich nicht um beliebig kleine Beträge vermindern oder vermehren, sondern nur sprungweise — «quantenhaft», d. h. nur um den Betrag eines oder mehrerer Elementarquanten.

MIKROKOSMISCHE WELTKATASTROPHEN. Die Strahlung, d. h. das Entstehen von Spektrallinien kommt dadurch zustande, daß infolge äußerer Einwirkung (Energiezufuhr) in dem mikrokosmischen Planetensystem kleine Weltkatastrophen stattfinden: Ein Elektron stürzt aus seiner stabilen Bahn in eine andere stabile Bahn und während des Sturzes sendet es eine Strahlung — Lichtwelle — Spektrallinie aus. Die Energie dieser ausgesandten Lichtwelle ist gleich der Energiedifferenz der beiden in Betracht kommenden stabilen

Bahnen und ihre Frequenz (resp. Wellenlänge) berechnet sich nach der Gleichung $f = \frac{\Delta E}{h}$, worin Δ obige Energiedifferenz und h das Elementarquantum darstellt.

Viele Tausend Jahre mögen es her sein, lange vor den ersten Pharaonen, da stürzten irgendwo im Weltenraum auf einem fernen, fernen Stern in verschiedenen Atomen einzelne Elektronen aus einer stabilen Bahn in eine andere. Von diesem Sturze von ca. dem tausendsten Teil eines Millionstel Millimeters wurden in Form von Lichtwellen Botschafter in den Weltenraum ausgesandt, um allen Sternen dieses Ereignis zu verkünden. Sie wanderten mit einer Geschwindigkeit von 300 000 Kilometer pro Sekunde während Tausenden und aber Tausenden von Jahren und langen heute bei uns auf der Erde an. Und erzählen uns von der Katastrophe, und auf welchem Stern sie stattgefunden, und wie weit sie gereist seien, und wie groß der Stern sei und wie er sich bewege, und wie schwer er sei und wie heiß, und werden nicht fertig mit Erzählen. Wir träumen von Radio-Verbindungen mit dem Mars und seit Millionen von Jahren senden ungezählte im Weltenraum verteilte Radiostationen uns Botschaft über Botschaft!

Wenn, wie vor einigen Jahren in Sibirien, ein mehrere Tausend Tonnen schwerer Meteorit zur Erde niedersaust und in einem Umfange von mehreren Hundert Kilometern den Urwald niederwirft und verbrennt, so macht dieses Ereignis auf uns einen erschütternden Eindruck. Aber ist für den denkenden Menschen der Sturz der Elektronen aus einer stabilen Bahn in eine andere und seine Folgen und Ergebnisse nicht grandioser und ergreifender? Und so geht es überall: mit steigender Erkenntnis wendet sich die Bewunderung des Menschen von dem großen ab zu dem kleinsten. Der primitive Mensch fürchtete den Elephanten, der heutige Mensch hat vor ihm keine Furcht mehr, wohl aber vor dem winzigen Tuberkelbazillus!

Seit Aeonen sausen so in den Atomen die Elektronen um den Kern in ihren vorgeschriebenen Quantenbahnen, mit einer Geschwindigkeit von einigen Tausend Millionen Umdrehungen in der Sekunde!

Ungezählte Elektronen
In der Welt um Kerne kreisen
Und als Sterne oder Ionen
Quantenhaft den Schöpfer preisen!

(frei nach *Walden*).

DAS LEBEN DER TOTEN MATERIE. Vor genau einem Jahrhundert untersuchte der Botaniker Brown eine Suspension feinster Partikelchen irgend eines Stoffes bei starker Vergrößerung im Mikroskop. «Sie leben!» rief er aus, denn er sah die Teilchen in lebhafter Bewegung. Er untersuchte dann Suspensionen der verschiedensten Stoffe und stets fand er dieselbe Erscheinung wieder. — Schon seit langem haben die Physiker erkannt, daß der Druck eines Gases gegen die Gefäßwand bewirkt wird durch das Anstoßen der ständig umherfliegenden Gasmoleküle gegen die Gefäßwände. Berechnungen zeigten dann bald, daß mit steigender Temperatur die Molekularbewegung der Gase genau zum Verhältnis der Druckvermehrung steigt, und daß alle Moleküle mit der gleichen Energie behaftet sind, daß demnach die kleineren rascher fliegen müssen als die größeren. Und ein genaues Studium der von Brown entdeckten Bewegung feinster Teilchen in Suspensionen (der «Brownschen Bewegung») mit Hilfe der Kinematographie zeigte, daß auch für diese Bewegung dieselben Berechnungen und Gesetze gelten. Es sind also Molekularbewegungen, wenn auch die einzelnen Brown'schen Teilchen aus Millionen von Atomen bestehen mögen.

Wir haben so einen Einblick gewonnen in das Leben der sogenannten «toten Materie». Jedes Molekul ist ein Uhrwerk, wie es feiner keines irdischen Meisters Hand je hervorgebracht, und diese Uhren selbst sind in immerwährender Bewegung.

«Staub bist du und zu Staub zurückkehren wirst du!» Sind wir mehr als ein kosmisches Staubkorn oder als ein Grashalm?

Stets hat der Mensch geträumt von Unsterblichkeit und von Reinkarnation. Kann man ein ironisches Lächeln unterdrücken, wenn man bedenkt, daß die Wissenschaft für die tote Materie ein ewiges Leben und Reinkarnation dargetan hat, und uns für die Existenz unserer «unsterblichen Seele» noch nicht den geringsten Anhaltspunkt gegeben hat?

Wir liegen nachts im tiefen Schlaf und unser Geist ruht. Aber die Trillionen Moleküle und Atome unserer Bettdecken bleiben ebenso lebendig und in steter Bewegung wie diejenigen aus denen wir selbst bestehen. Dieses Schwingen und Schwirren der Atome, Elektronen und Moleküle geht weiter, ob wir schlafen oder wachen, ob wir leben oder tot sind.

Ein sogenanntes lebendes Wesen stirbt, aber die Trillionen Moleküle, aus denen es besteht, bleiben ebenso lebendig wie zuvor. Eine gewisse Organisation, die in dem lebenden Körper sich vorfand, zerfällt, große Moleküle des Körpers zerfallen in kleinere, die meisten Atome verbinden sich mit andern Molekülen oder

Molekülkomplexen. Manche von ihnen «werden wieder zu Staub» und verbleiben Millionen Jahre in der Erdkruste, und immer und immer weiter vibrieren sie, und drehen sich in ihnen die Elektronen. Andere treten ein in den «lebenden» Bau von Blättern oder Gräsern, in denen sie während eines Sommers das Leben unterhalten helfen, um dann wieder in eine andere Phase ihres ewigen Lebens einzutreten.

Da atmen wir Atome Sauerstoff ein, die bereits Nebukadnezar eingeatmet hatte, und zugleich mit ihnen Stickstoffatome, die als Bestandteile von Eiweißmolekülen zur Ernährung eines Ichthyosaurus einst beigetragen haben. Und das Kohlenstoffatom, das wir eben an Sauerstoff gebunden als Kohlensäure ausatmen, war einst, als der Erdball noch glühend und flüßig war, an ein Metallatom gebunden als Karbid. Aus dem Karbid wurde es dann Millionen Jahre später, als sich die Erdkugel soweit abgekühlt hatte, daß sich Wasser darauf kondensieren konnte, von diesem als Kohlenwasserstoff in Freiheit gesetzt. Durch einen Blitzstrahl mag dann Jahrtausende später das Gemisch von Kohlenwasserstoff und Luft verpufft sein, und unser Kohlenstoffatom finden wir wieder in Form von Kohlensäure. Bei Gegenwart von Kalk und Wasser entstand daraus Zucker und andere «organische Substanz» und als dann einst in späteren Perioden das erste lebende Wesen auf Erden entstand, war unser Kohlenstoffatom ein Bestandteil dessen Körpers, bis es eines Tages von diesem ausgeatmet wurde. Aeonen später wurde es dann von Schachtelhalmen der Urzeit absorbiert; die Vegetation der Urzeit verschwand und bildete die Steinkohlenlager, in denen nun unser Atom wieder Millionen Jahre ruhte, bis es ausgegraben und in irgend einem Herd wieder zu Kohlensäure verbrannt wurde. Die Kohlensäure wurde von einem Weizenhalm eingeatmet, unser Atom gelangte ins Mehl, ins Brot und in unsern Körper, aus dem wir es heute wieder einmal als Kohlensäure ausatmen. Und weiter geht das Wechselspiel weitere Millionen Jahre, und weiter, wie von Anfang an, rotieren 6 Elektronen um einen Kern mit der Kernladung 6 mit 5000 Millionen Umdrehungen in der Sekunde! — Was ist dagegen des Menschen Leben? — — Ein winziges Feuersteinfünkchen!

VERSCHMIERTE ELEKTRONEN.

Großes hat, wie bereits erwähnt, das Bohr'sche Atommodell der Wissenschaft geleistet, und Großes wird es ihr weiter leisten, trotzdem seine Tage gezählt zu sein scheinen. Denn der französische Physiker de Broglie und nach ihm Schrödinger haben aus mathematischen Erörterungen ein neues Atommodell ersonnen, das mehr erklären soll als das Bohr'sche Modell. Sie nehmen an, daß die

negativen Ladungen um den positiven Kern keine rotierenden punktförmigen Elektronen seien, sondern daß die Elektronenladungen kontinuierlich durch das ganze Atomvolumen verteilt seien. Diese Annahme der «verschmierten Elektronen» hat auf den ersten Blick etwas fürchterliches an sich. Alle diese verschmierten Ladungen sollen sich um den Kern in stehender Schwingung befinden, so wie z. B. eine Saite, an beiden Enden befestigt, beim Tönen schwingt. So wie die Saite aber auch in Obertönen schwingt, treten auch im Atom noch andere Schwingungen auf, die zum Teil unter einander interferieren. Es kommen dann derartige Überlagerungen der verschiedenen Schwingungen zustande, daß in den größten Teilen des Gebietes Interferenz, und damit Auslöschung der Ladung herrscht, und nur kleine Gebiete bleiben, auf denen sich die Ladungen konzentrieren, eine Analogie mit den Elektronenschalen. (Fig. 2.) Die Spektrallinien entstehen durch Schwebungen bei Störung der Schwingungen durch äußere Zufuhr von Energie. Mehr Schwierigkeit macht schon die Erklärung der Ionisierung, die nach Bohr durch Abtrennung eines oder mehrerer Elektronen der äußersten Schale entsteht. Beim Schrödinger-Modell muß man sich vorstellen, daß eine Elektronenladung von der gesamten verschmierten Ladung sich abtrennt, sei es als Wirbel oder Wellenbüschel oder auch als punktförmiges Elektron. Beim Planetenmodell des Atoms konnte man sich die Ionisation versinnbildlichen durch das Abfliegen von Wassertropfen von einem schnell rotierenden Schleifstein Bei dem neuen Modell gleicht der Vorgang eher einer Erscheinung, die man an Holzfeuer beobachten kann: wie sich von Zeit zu Zeit von der großen Flamme kleine Flämmchen ablösen und, wenn auch nur kurze Zeit, für sich brennend in die Höhe wirbeln.

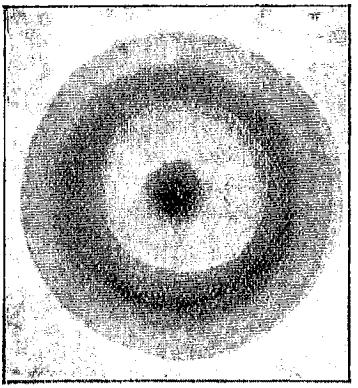


Fig. 2.

PLANETENATOM UND WELLENATOM.

«Aber, wie kommt es denn,» so wird man sich fragen, «daß man heute noch die Realitäten der Bohr'schen Planetenbahnen, ihre Eignung zur Erklärung der kompliziertesten Spektren, der Eigenschaften der Atome und der Elemente und vieler

anderer Erscheinungen mit soviel Emphase proklamieren kann?» — Der Grund ist folgender: Das wesentliche an dem Bohr'schen Modell und an dem neuen sind die ganzen Quantenzahlen, die entsprechenden Energieniveaus, die sich in beiden wiederfinden. Das Planetenmodell gibt in dieser Hinsicht ein getreues, mathematisch eindeutiges und anschauliches Bild, viel besser als das neue Modell. Das neue Modell macht schon bei der Deutung der einfacheren Spektren die größten Schwierigkeiten, und man wird wohl auch in Zukunft das Bohr'sche Modell kaum entbehren können. Es verhält sich damit ungefähr, wie mit den Lichtstrahlen, die wir zur Erklärung der Lichtbrechung, der Wirkung der Linsen u. s. w. in der Optik noch heute immer gebrauchen, oder wie mit den Valenzstrichen, dem Benzolring in der Chemie. Übrigens darf man auch das Wellenmodell nicht zu wörtlich nehmen. Das Elektron im alten Sinne, als punktförmiges Massenzentrum ist denn doch eine physikalische Realität, erklärt und erwiesen durch unzählige Versuche mit Kathodenstrahlen, Glühelektroden, Verstärkerröhren u. s. w. Wie kann es nun im Atomverband seine Punktnatur aufgeben und sich verschmieren? Und die Schrödinger'sche Zustandsgröße Ψ bedeutet mutmaßlich auch nur die Wahrscheinlichkeit oder Häufigkeit, mit der das Elektron am betreffenden Ort angetroffen wird. Man müßte schließlich annehmen, daß dem Elektron eine Doppelnatur zukomme, und es wäre dann, um ein Bild Plancks zu gebrauchen, wie wenn vorher die Straße mit Pferden und Menschen bevölkert gewesen wäre, jetzt aber mit Zentauren! — Es hält aber heutzutage schwer, an Zentauren zu glauben! —

Es geht uns hier mit den Elektronen, wie den Physikern heute mit dem Licht: eine ganze Reihe von Erscheinungen beweist unstreitig seine Wellennatur, und andere ebenso unstreitig seine Korpuskelnatur! «Das dunkelste Problem der heutigen Physik», sagt Compton, «ist das Licht».

DER ATOMKERN. Das Studium der Radioaktivität sowie der Atomezertrümmerung durch Alpha-Strahlen hat ergeben, daß sich die Atomkerne zusammensetzen aus Wasserstoffkernen (Protonen) und Heliumkernen, welch letztere aber wieder aus je vier Wasserstoffkernen bestehen. Das Proton ist bekanntlich zugleich das Elementarquantum, das «Atom» der positiven Elektrizität.

Man hat aber bald eingesehen, daß die Atomkerne nebst positiven Elementarladungen (Protonen) auch negative Elementarladungen (Elektronen) enthalten müssen. Denn da das Proton die Ladung 1 und die Masse 1 (Atomgewicht) besitzt, müßte für einen

nur aus Wasserstoffkernen aufgebauten Atomkern die positive Ladung, also die Ordnungszahl gleich sein der Masse (dem Atomgewicht). Aber schon das zweite Element besitzt die Ordnungszahl 2 und das Atomgewicht 4! Das läßt sich nun so erklären, daß das Heliumatom in seinem Kern nebst vier Protonen noch zwei Elektronen enthält, deren negative Ladungen zwei der positiven Protonladungen neutralisieren. So bleiben für den Kern nur zwei positive Ladungen wirksam und das gibt ihm die Ordnungszahl 2.

Das Element Uran mit seiner Ordnungszahl 92 und seinem Atomgewicht 238 muß in seinem Kern 238 Protonen u. 238—92= 146 Elektronen enthalten. Dazu kommen dann noch die 92 äusseren Elektronen, so daß das «unteilbare» Uranatom aus 476 Teilchen zusammengesetzt ist!

Die Ordnungszahl gibt also nicht die Gesamtzahl der positiven Ladungen des Kerns an, sondern den Überschuß dieser über die im Kern gleichzeitig vorhandenen Elektronen. Das Atomgewicht dagegen gibt die Gesamtzahl der positiven Ladungen des Kernes an.

Beim Zerfall des Radiumatoms werden Heliumkerne ausgeworfen und bei den neuern Versuchen über künstliche Atomzertrümmerung haben Rutherford und andere einwandfrei nachgewiesen, daß dabei stets Heliumkerne und meist zugleich auch Wasserstoffkerne frei werden. Es sei jedoch bemerkt, daß es nie gelungen ist und wohl auch nie gelingen wird, einen Heliumkern zu zertrümmern. Warum, das erfahren wir später.

Wir haben uns demnach den Atomkern als ein System von Wasserstoffkernen, Heliumkernen und Elektronen vorzustellen, in dem die beiden ersteren das Atomgewicht (die Masse) bestimmen, während die Ordnungszahl, und damit die typischen Eigenschaften und die Art des Elementes durch die Differenz der positiven Ladungen und der Elektronen im Kern gegeben ist. Die Elektronen im Kern wirken augenscheinlich wie Leim, der die sich abstoßenden positiven Ladungen zusammenhält.

ISOTOPIE. Die Ordnungszahl, die die chemische Natur des Elementes bestimmt, kann nach obigem auf mancherlei Art entstehen. Nehmen wir z. B. das Silizium mit seiner Ordnungszahl 14. Also kann sein Kern z. B. bestehen aus 28 Protonen, die durch gleichzeitig vorhandene 14 Elektronen zur Hälfte neutralisiert wären. Sein Atomgewicht wäre dann 28. Der Kern kann aber auch 29 Protonen und 15 Elektronen erhalten und die Ordnungszahl wäre wieder 14 und damit die chemische Natur genau dieselbe wie vorhin, das Atomgewicht aber 29! Oder auch finden sich im Kern 30 Protonen nebst 16 Elektronen und dann

haben wir wieder die Ordnungszahl 14, also Silizium, aber mit dem Atomgewicht 30. Und, es sei gleich vorweg bemerkt, diese drei Siliziumatome gibt es in Wirklichkeit! Und was hier am Silizium gezeigt wurde, trifft zu für eine große Anzahl unserer chemischen Elemente.

Solche Atomarten gleicher Ordnungszahl, also gleicher chemischer Eigenschaften, aber verschiedenen Atomgewichtes nennt man Isotope.

Die Isotopie zeigte sich zuerst bei der Radioaktivitätsforschung. Hier fand man nach und nach eine so große Anzahl von neuen Substanzen, die alle als neue chemische Elemente anzusehen waren, daß ihre Unterbringung im periodischen System der Elemente hoffnungslose Schwierigkeiten bieten mußte. Soddy hat dann zuerst erkannt, daß es unter dieser Schar von Radioelementen eine ganze Anzahl gibt, die chemisch völlig untrennbar von einander sind, die also, bei ganz verschiedenen radioaktiven Eigenschaften, chemisch identisch sind, und im periodischen System alle zusammen an eine und dieselbe Stelle gehören. Und schon 1910 hat der «Gespensterchemiker» Soddy angenommen, daß auch die gewöhnlichen Elemente Gemische von Isotopen sein könnten.

Aber auch für die Gegner der «Gespensterchemie» wurden die Tatsachen der Isotopie überzeugend, als chemisch der Beweis erbracht wurde, daß das in den Uranerzen sich stets vorfindende Blei ein anderes Atomgewicht hat als das gewöhnliche Blei, und daß auch das Blei in den Thoriummineralien wieder ein anderes Atomgewicht hat als die beiden vorgenannten Bleiarten.

Das Atomgewicht hatte damit seine Rolle als wichtigstes Charakteristikum eines chemischen Elementes verloren. An seine Stelle ist die Ordnungszahl getreten, die nicht durch die Masse, sondern durch die elektrische Ladung des Atomkernes bestimmt wird.

DAS ALTER DER ERDE. Daß es bei den isotopen Bleiarten möglich ist die einzelnen Isotopen zu fassen, kommt daher, daß das Uranblei und das Thorblei, im Gegensatz zum gewöhnlichen Blei, erst nach der Erstarrung der Erdkruste entstanden sind. Die Bildung der gewöhnlichen chemischen Elemente ist aber sicher bereits vor dem Erstarren der Erdkruste erfolgt, sodaß in dem damals flüssigen und gasförmigen Milieu sich alle Isotopen homogen mit einander vermischten. Einmal gemischt, verhalten sie sich unsern chemischen Methoden gegenüber wie ein einheitliches, homogenes Element, da infolge der gleichen chemischen Eigenschaften eine Entmischung nicht mehr möglich ist. Aus den bekannten Zerfallzeiten der verschiedenen Zwischenstufen des Zer-

falls des Urans bis zum Blei, und dem heutigen Verhältnis von Uran und Uranblei berechnet sich, daß die Erstarrung der Erdkruste vor rund 4.800.000.000 Jahren stattfand.

DIE ATOMGEWICHTE SIND GANZZAHLIG. Vor mehr denn 100 Jahren hat der englische Arzt Prout auf Grund der merkwürdig häufigen Ganzzahligkeit oder großen Annäherung an die Ganzzahligkeit die Vermutung ausgesprochen, daß die Atome aller Elemente aus dem leichtesten, dem Wasserstoff (Atomgewicht = 1) zusammengesetzt seien. Irgend sonst eine Stütze für diese Annahme bestand nicht. Was nun im Laufe von 100 Jahren an mühevoller und langwieriger Präzisionsarbeit zur genauen Bestimmung der Atomgewichte geleistet wurde, ist geradezu unheimlich. Einmal bildeten die Atomgewichte ja auch die Grundlagen der chemischen Analyse und indirekt auch der Synthese. Andrerseits hoffte man, wenigstens anfangs noch immer, durch möglichst genaue Bestimmungen immer mehr Elemente auf ganzzahlige Atomgewichte zu bringen.

SIE SIND ES NICHT! Aber trotz der genauesten Bestimmung und trotzdem die Bohr'sche Atomtheorie und die Radioaktivitätsforschung inzwischen die Prout'sche Hypothese als zum mindesten äußerst wahrscheinlich bestätigt hatten, wollte für eine ganze Anzahl von Elementen, wie z. B. Chlor, Magnesium, Kupfer und viele andere die Sache mit der Ganzzahligkeit absolut nicht stimmen.

Mit dem Auffinden der Isotopen dämmerte dann auch die Erkenntnis der Ursache dieser Unstimmigkeit. Man sah ein, daß man in vielen Fällen Atomgewichtsbestimmungen nicht an einer Art von Atomen gemacht hatte, sondern an einer Mischung von Isotopen, d. h. von Atomen zwar gleichen chemischen Charakters, aber verschiedener Masse. Was man hätte tun müssen, waren wirkliche Atomgewichtsbestimmungen, d. h. Bestimmungen an einzelnen Atomen. Nun kann man zwar ein einzelnes Atom nicht auf der Wage abwägen, und hat auch, chemisch gesprochen, kein Mittel, aus einem Gemisch von Isotopen die einzelnen Sorten herauszusieben. Das war dem Chemiker nicht möglich, aber einer der bedeutendsten «Gespensterchemiker», Aston, hat es fertig gebracht, und zwar auf eine wunderbar elegante Art und Weise.

SIE SIND ES DOCH! Wenn man eine, mit Elektroden versehene evakuierte Geißlerröhre mit den Polen einer Hochspannungsstromquelle verbindet, und diese Röhre z. B. Chlorgas unter sehr niederem Druck enthält, so wird dieses ionisiert und die abgetrennten Elektronen fliegen als Kathoden-

strahlen zur Anode, während die positiven Ionen zur Kathode fliegen. Ist letztere durchbohrt, so fliegen sie als Kanalstrahlen in den Raum hinter der Kathode und können hier untersucht werden. Diese Chlorionen bestehen aus dem Atomkern und einer Anzahl äußerer Elektronen. Wir haben gesehen, daß die Atomkerne allein die Masse (das Atomgewicht) der Elemente bestimmen, die Elektronen kommen dabei nicht in Frage.

Als bewegte elektrische Ladungen werden die Kanalstrahlen von elektrischen und magnetischen Feldern beeinflußt, d. h. aus ihrer ursprünglichen Richtung abgelenkt. Aston läßt die Kanalstrahlen zuerst durch ein elektrisches Feld ablenken (Fig. 3.) *) (indem sie zwischen zwei geladenen Kondensatorplatten durchgehen). Die Ablenkung ist hier um so größer, je größer für die einzelnen Ionen die Ladung, und je kleiner die Masse und die Geschwindigkeit ist. Da nun in einem Bündel Kanalstrahlen auch

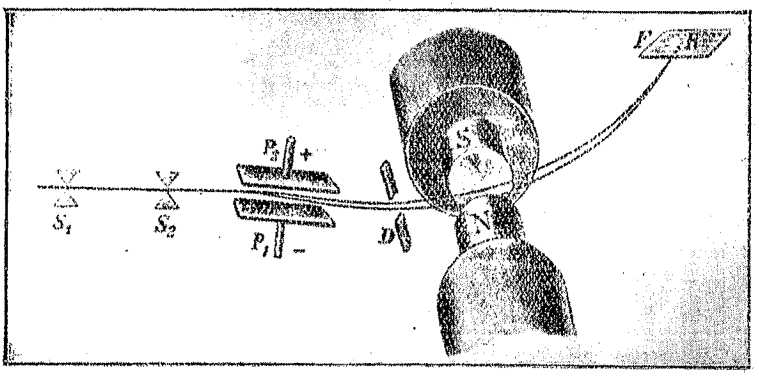


Fig. 3.

für Ionen gleicher Ladung und gleicher Masse die Geschwindigkeit der einzelnen Ionen nicht gleich groß ist, so werden auch die Ionen gleicher Masse verschieden stark abgelenkt, die langsameren stärker als die rascheren. Aston's Kunstgriff besteht nun darin, daß er die infolge verschiedener Geschwindigkeit ungleich abgelenkten Ionen dann durch ein homogenes magnetisches Feld gehen läßt, das sie wieder einmal, aber in entgegengesetztem Sinne wie vorher, ablenkt. Auch hier werden die langsameren Strahlen stärker abgelenkt, also schärfer gebogen und schneiden in ihrem neuen Weg irgendwo die rascheren Strahlen gleicher Masse. An diesem Schnittpunkt werden also alle Strahlen gleicher

*) Die Abbildung ist entnommen dem ausgezeichneten kleinen Werk «Die Atomtheorie» von Graetz.

Masse vereinigt. An diesem Punkte bringt Aston eine photographische Platte an, auf der sich dann die Ionen von je gleicher Masse, jede Art für sich gesondert, hübsch hintereinander einschreiben. Da die Ladung bekannt ist und die Geschwindigkeit ausgeschaltet, so kann man aus der Lage der Schwärzung auf der Platte die Masse, d. h. das Atomgewicht der einzelnen Arten von Ionen berechnen. Dieser Massenspektrograph Aston's stellt einen der genialsten Apparate der modernen Wissenschaft dar.

Jahrelang arbeiteten die gewiegtesten Analytiker an der Bestimmung eines einzelnen Atomgewichtes, und an Atomgewichtsbestimmung der Isotopen war überhaupt nicht zu denken. Und hier trägt sich jedes Element und jedes Isotop selbst mit Nennung seines Namens und seines Atomgewichtes in's Fremdenbuch ein! Und unser gegen die Ganzzahligkeit so widerspenstiges Chlor muß wohl oder übel seine Doppelnatur endlich eingestehen, und schreibt sich ein als Chlor vom Atomgewicht 35 und Chlor vom Atomgewicht 37. Und unser altes Chlor mit dem rabiaten Atomgewicht 35,46 existiert gar nicht.

Diese neue Methode hat vor allem die Annahme vollkommen bestätigt, daß Elemente, deren Atomgewicht wesentlich von der Ganzzahligkeit abweicht, in der Tat alle Isotopengemische darstellen, und diese Isotopen haben alle ganzzahlige Atomgewichte! Es gibt Elemente, die aus nicht weniger als 11 Isotopen bestehen, deren Atomgewichte sich bis zu 12 Einheiten von einander unterscheiden. Mit diesem Nachweis, daß die Atomgewichte praktisch gesprochen, alle ganze Zahlen darstellen, kann die Prout'sche Hypothese als bewiesen gelten.

SIE SIND ES DENNOCH UND ENDGÜLTIG NICHT!

Da gelang es vor anderthalb Jahren Aston, einen Massenspektrographen zu bauen, dessen Leistung das fünffache der früheren Apparate darstellt. Damit hat dieser Apparat für die Atomgewichtsbestimmung die Genauigkeit der feinsten chemischen Methoden erreicht, und in vielen Fällen übertroffen! Die größte Errungenschaft besteht aber darin, daß man jetzt für die genaue Atomgewichtsbestimmung zwei gleich scharfe, aber vollkommen verschiedene Methoden besitzt, die sich gegenseitig scharf kontrollieren. Damit erlangen die erhaltenen Resultate bei Übereinstimmung den Charakter absoluter Sicherheit. Und nun kam das Unerwartete: Die so aufs genaueste bestimmten Gewichte der Atome und vieler Isotopen sind nicht ganzzahlig, sondern weichen fast alle deutlich, wenn auch immer nur wenig, aber doch unzweifelhaft von der Ganzzahligkeit ab! — Die Prout'sche Hypothese stimmt, daran ist nicht mehr zu

rütteln! Was bedeuten nun aber diese ihr widersprechenden Abweichungen von der Ganzzahligkeit?

UMWANDLUNG VON MASSE IN ENERGIE.

Hier müssen wir erst etwas mehr Hintergrund aufbauen. Eine der Grundbehauptungen der speziellen Relativitätstheorie Einstein's besagt, daß Masse und Energie eins und dasselbe sind. Falsch ist demnach das Gesetz von der Erhaltung der Masse, falsch auch das Gesetz von der Erhaltung der Energie; richtig ist nur das Gesetz: Die Summe von Masse und Energie ist konstant. Es kann Masse verschwinden und in Energie umgewandelt werden, und umgekehrt. Erst diese Erkenntnis hat zu einem wirklichen Verständnis der radioaktiven Erscheinungen geführt. Mit ihr ist einer der ältesten physikalischen und chemischen Grundbegriffe, der Begriff der Substanz, aufgelöst.

Die Forschung hat erwiesen, daß der Heliumkern aus vier Protonen und zwei Elektronen bestehen muß. Nun ist das Atomgewicht des Protons genau 1,00778 und das des Heliumkerns 4. Es müßte dieses aber nach obigem gleich vier mal 1,00778 sein! Daraus ergibt sich, daß bei der Packung von vier Wasserstoffkernen zu einem Heliumkern ein Massendefekt eingetreten ist. Die dabei verloren gegangene Masse kann sich nur in Energie umgewandelt haben. Nach der von Einstein formulierten Aequivalenz von Masse und Energie: $E = m.c^2$ läßt sich die bei solchen Massendefekten entstandene Energie berechnen. m bedeutet die Masse, die sich umgewandelt hat, und c die Lichtgeschwindigkeit in Centimetern pro Sekunde. Für den Heliumkern berechnet sich darnach die bei der Bildung eines Atomgewichtes (= 4 Gramm) aus Wasserstoffkernen freiwerdende Energie zu

$$4 \times 0{,}00778 \times 9 \times 10^{20} = 2{,}8 \times 10^{19} \text{ Erg, oder}$$

klarer ausgedrückt, rund 400 Millionen Pferdekräfte!

Das gibt uns ein Bild von der Festigkeit der Atomkerne, und der Schwierigkeit ihrer Zerlegung. Denn, um aus dem Heliumkern die vier Protonen wieder in Freiheit zu setzen, müssen wir dieselbe Energiemenge, also mindestens 100 Millionen Pferdekräfte pro Gramm Helium zuführen! Und das sind Energiemengen, die weit jenseits aller uns zugänglichen Hilfsmittel liegen. Und wir können ihnen nicht helfen, den Protonen, die dereinst unter schändlicher Energievergeudung sich zusammengetan und die

nun als positive Kerne
Fest in den Atomen tronen
Und doch wirklich gar zu gerne
Bummeln möchten als Protonen!

wie's im Walden'schen Gedicht heißt.

PACKUNGSFRAKTION. Im Sinne dieser Erklärung ist also die Verpackung von vier Wasserstoffkernen zu einem Heliumkern eine besonders dichte (da pro Proton der Wasserstoffkern als solcher am meisten von der Ganzzahligkeit abweicht) und viel dichter als die weitere Verpackung von z. B. 3 Heliumkernen zu einem Kohlenstoffkern oder vier Heliumkernen zu einem Sauerstoffkern. Die Abweichungen der einzelnen Atomgewichte von der Ganzzahligkeit geben uns also nach Aston ein Maß für die bei ihrer Bildung freigewordenen Kräfte, resp. für den zu ihrer Zerlegung notwendigen Energieaufwand, d. h. für die Kräfte, die die Protonen und Elektronen des Kerns zusammenhalten. Damit erhält dann wieder die möglichst genaue Bestimmung der Atomgewichte eine erhöhte Bedeutung. So hat in letzter Zeit Aston mit seinem neuen Massenspektrographen das genaue Atomgewicht des Heliums zu 4,00216 festgestellt, und ist damit in Übereinstimmung mit den neuesten Bestimmungen auf chemischem Wege von Baxter und Starkwerther. Daraus ergibt sich auch für die Entstehung eines Sauerstoffatoms aus vier Heliumkernen ein Massendefekt, der uns die bei den Atomzertrümmerungsversuchen festgestellte Festigkeit dieses Kernes verstehen läßt. Aston führt den Begriff der Packungsfraktion als Maß für die Festigkeit der Kerne ein. Unter Packungsfraktion versteht er die Abweichung von der Ganzzahligkeit pro Proton in der betreffenden Atomart, bezogen auf $0 = 16$.

DER TRAUM DER ENERGIEGEWINNUNG DURCH ATOMZERLEGUNG. Angesichts der großen Energiemengen, die beim Zerfall des Radiums frei werden, hat man vielfach die Hoffnung gehegt, daß man einst die sterbende Steinkohle durch Energie ersetzen könnte, die man aus der Zerlegung der gewöhnlichen Elemente gewinnen würde. Und andere, sogenannte Humanisten, Apostel der Wiederkehr zu vorwissenschaftlicher Herrlichkeit, jammerten schon ob des frevelhaften Vorhabens diese ungeheuren Energiemengen in Freiheit setzen zu wollen, indem dies sich auswirken könnte wie der Funken im Pulverfaß. Und unser schöner gemütlicher Erdglobus mit allem was drauf fleucht und kreucht, könnte eines schönen Tages einfach verpuffen! — Mit dieser Hoffnung und dieser Befürchtung ist es nun nach den Aston'schen Zahlen nichts. Millikan hat daraus berechnet, daß bei Elementen von Atomgewicht von ca. unter 100 keines beim Zerfall Energie abgeben kann. Und weit über 99 % unserer Erde bestehen aus Elementen vom Atomgewicht unter 100. Und bei den übrigen sind die Aussichten auf großen Energiegewinn durch Zerlegung derselben auch gleich Null. Es wird uns vielleicht einmal gelingen

Elemente zu zerlegen, dann geschieht es aber stets «im Schweiße unseres Angesichtes» unter großem Energie- und Kostenaufwand.

KOSMISCHE STRAHLUNG. Wenn wir dem Atom Energie zuführen, Wärme, elektrische Energie, Strahlungsenergie u. s. w., so geraten seine äußersten Elektronen in Unordnung: Einzelne trennen sich ab (Ionisation), andere fallen aus ihrer stabilen Bahn in eine andere und kehren nachher in ihre alte Bahn zurück, unter Ausstrahlung von Lichtwellen von einer Frequenz von im Mittel 600 Milliarden Schwingungen pro Sekunde. Bei stärkerer Energiezufuhr wie z. B. beim Bombardement mit Elektronen (Kathodenstrahlen), werden die innern Elektronen der Hülle aus ihren Bahnen geworfen und es entstehen Strahlen viel höherer Frequenz: die Röntgenstrahlen. Und beim Atomzerfall des Radiumkernes entstehen Strahlen noch höherer Frequenz: die Gammastrahlen. Je größer die Energie, die die Strahlung hervorruft, desto größer die Frequenz der letzteren und desto größer ihr Durchdringungsvermögen. Die Gammastrahlen können wir in ihrer Frequenz durch die härtesten Röntgenstrahlen eventuell noch erreichen, darüber hinaus versagen unsere derzeitigen Hilfsmittel.

Vor 25 Jahren hat nun Rutherford die Existenz einer Strahlung auf unserer Erde entdeckt, deren Frequenz resp. Durchdringungsvermögen alles bisher bekannte weit in den Schatten stellt. Rutherford glaubte zuerst, die Strahlung sei irdischen Ursprungs; es zeigte sich jedoch bald, daß sie aus dem Weltall zu uns dringt. Diese kosmischen Strahlen wurden dann von Kohlhörster und Nernst, Hess und andern, vor allem aber in eingehendster und gründlichster Weise durch den berühmten amerikanischen Physiker und Nobelpreisträger Robert A. Millikan untersucht. Und als Instrument für diese Untersuchungen diente wieder einmal der alte Apparat der «Gespenster-Chemie», das Elektroskop, das Millikan für seine Untersuchungen bedeutend verbessert hatte. Mit Hilfe von selbstregistrierenden Instrumenten wurden Ionisationsmessungen angestellt in Sondierballons bis zu 18 Km. Höhe und in Gebirgsseen bis zu 70 Meter Wassertiefe. Als Ergebnis dieser Untersuchungen steht heute fest, daß die kosmische Strahlung annähernd gleichmäßig aus dem ganzen Weltenraum zu uns dringt. Die Sonne hat damit nichts zu tun.

Über ihre Frequenz im Vergleich zu den andern uns bekannten elektromagnetischen Wellen gibt folgende Zusammenstellung ein Bild.

Radiowellen	600 000
Lichtwellen	600 000 000 000 000
x-Strahlen	3 000 000 000 000 000 000
Kosmische Strahlen	1 500 000 000 000 000 000 000

Dementsprechend ist auch ihr Durchdringungsvermögen ganz außerordentlich: sie durchdringen 70 Meter Wasser und über 6 Meter Blei, während die härtesten Gammastrahlen nur 0,70 m Wasser und 7 Centimeter Blei durchdringen.

Die Ergebnisse seiner zahlreichen, mehrfach kontrollierten Messungen hat Millikan in ein Koordinatensystem mit der durchdrungenen Wasserschicht als Abzisse und dem Ionisationsgrad als Ordinate eingetragen, und so eine äußerst interessante Kurve erhalten, die ich hier etwas schematisiert und zusammengezogen (sie ist sehr langgestreckt), aber im Prinzip richtig wiedergebe. (Fig. 4.)

Wenn die kosmischen Strahlen homogen von nur einer bestimm-Frequenz wären, so hätte die Kurve die Form einer von links oben nach rechts unten verlaufenden geraden Linie.. Die gebogene Linie

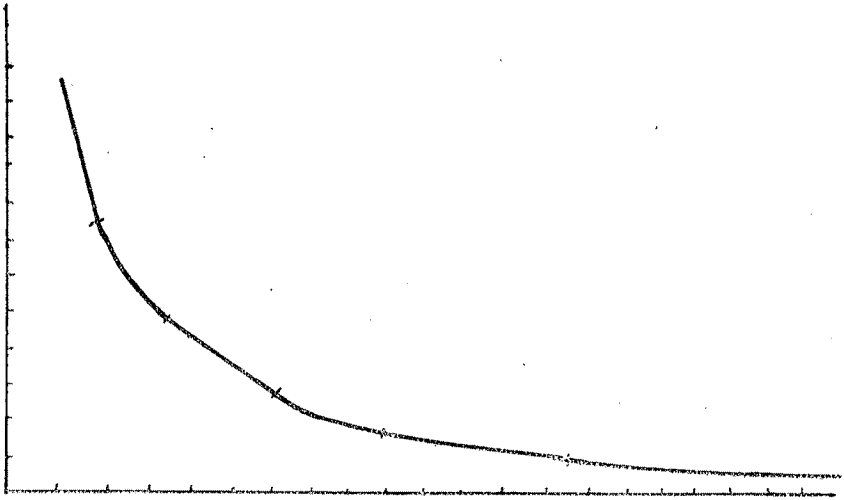


Fig. 4.

zeigt, daß die Strahlung ein ausgedehntes Spektrum besitzt. Dabei fällt auf, daß einzelne Teile fast gradlinig sind. Das weist unzweifelhaft darauf hin, daß es sich um ein Bandenspektrum handelt, mit wenigstens drei, wahrscheinlich vier Banden. Aus diesen Graden hat Millikan den Absorptionskoeffizienten der entsprechenden Frequenzen berechnet zu $\mu = 0{,}35$, $\mu = 0{,}08$ u. $\mu = 0{,}04$ (μ = Absorption pro Meter Wasser). Es sei bemerkt, daß in der Kurve die Resultate der Ballonversuche mit einbegriffen sind, unter Berücksichtigung der Tatsache, daß die Absorption der 18 km hohen Luftschicht gleich derjenigen von 10 m Wasser gleichkommt.

URSPRUNG DER KOSMISCHEN STRAHLEN.

Wie entsteht nun diese geheimnisvolle Strahlung? Eines ist von vornherein sicher: es müssen gewaltige Energiemengen umgesetzt werden, um sie zu erzeugen. Millikan nahm zuerst an, sie seien die Folge des Auftreffens von Kathodenstrahlen auf Materie in einem elektrischen Feld von mindestens 150 Millionen Volt. Dem widerspricht aber die Natur des Spektrums als Bandenspektrum. Es käme noch in Frage die Energie, die frei wird, wenn Wasserstoff vollständig verschwindet durch Zusammenfallen des Protons mit dem Elektron, und die man ja heute vielfach als Hauptquelle der Sonnenenergie ansieht. Auch diese Quelle ist hier ausgeschlossen, da die hierbei entstehende Strahlung noch viel durchdringender sein müßte und auch kein Bandspektrum ergeben könnte.

Als Ursprung der kosmischen Strahlung bleibt schließlich nur noch das Entstehen von Atomkernen aus Protonen im Weltenraum. Die Aston'schen Packungsfraktionen ergeben mit der Einstein'schen Gleichung die dabei freiwerdenden Energiemengen, und die Frequenz der dabei entstehenden Strahlung läßt sich nach der Bohr-Einstein'schen Formel $\nu = \frac{E}{h}$ (worin h das Planck'sche Elementarquantum bedeutet) berechnen. Diese Frequenzen werden für die verschiedenen Atomarten verschieden sein und zusammen ein langes Spektrum mit vielen Oktaven ergeben, so wie dasjenige der kosmischen Strahlung. Es ist ohne weiteres klar, daß in diesem Spektrum die Frequenzen am kräftigsten auftreten werden, die der Bildung der häufigsten Elemente entsprechen. Über die Häufigkeit der verschiedenen Elemente im Weltall belehren uns die Himmelsspektroskopie und die Meteoriten:

1) Die Spektroskopie des Himmels beweist ein gewaltiges Vorherrschen des Wasserstoffes überall. Dieser, aus einem Proton und einem Elektron bestehend, stellt das Baumaterial sämtlicher übrigen Elemente dar.

2) Weiter zeigt uns die Spektroskopie des Himmels, daß das Helium in gewaltigen Mengen überall im Weltall vorkommt. Die Erde allerdings konnte wegen seiner Leichtigkeit und seiner Unfähigkeit zur Verbindung mit andern Elementen nicht viel davon festhalten. Andrerseits wissen wir aber heute bestimmt, daß alle unsere schwereren Elemente hauptsächlich aus Heliumkernen aufgebaut sind.

GESCHÄLTE ATOME.

3) An dritter Stelle käme das «Nebulium» in Frage, das man bis vor kurzem für ein auf der Erde nicht vorkommendes Element gehalten hat. Erst 1927 ist es I. S. Bowen gelungen, nachzuweisen, daß das Nebulium nichts anderes ist als ein Gemisch von zweifach ionisiertem Sauerstoff und einfach ionisiertem Stickstoff. Es ist selbstverständlich, daß bei den ungeheuren Temperaturen und Drucken, kurzum bei den Energieverhältnissen wie sie auf den heißen Sternen herrschen, die meisten Elemente viel stärker ionisiert sein müssen als sie es in irdischen Verhältnissen sind. Ionisation heißt aber nach Bohr Abwerfen eines oder mehrerer der äußersten Elektronen. Da nun die Spektrallinien, wie schon bemerkt, hauptsächlich in den äußersten Elektronenschalen ihren Ursprung haben, ist es ohne weiteres klar, daß das Spektrum solcher «geschälter Atome», wie sie Millikan ganz treffend bezeichnet, («stripped atoms»), ein anderes sein muß als unter gewöhnlichen irdischen Umständen. Aus dem Fehlen einzelner Linien eines Elementes darf also nicht auf das Fehlen dieses Elementes auf einem Stern geschlossen werden. Der Astronomie ist eben in dem Fehlen einzelner Linien ein neues Mittel an die Hand gegeben zur Beurteilung der auf den verschiedenen Sternen herrschenden Energieverhältnisse.

4) 95 % des Gewichtes des Meteoriten bestehen aus Sauerstoff (54 %), Magnesium (13 %), Silizium (15 %) und Eisen (13 %), während die Erdkruste, soweit wir sie kennen, zu 76 % aus Sauerstoff, Silizium, Aluminium und Eisen besteht.

Nach alledem kann man als häufigste Elemente des Weltalls bezeichnen (abgesehen von dem als Baustein der Elemente dienenden Wasserstoff): Helium, Sauerstoff und Stickstoff, Magnesium, Aluminium und Silizium und Eisen.

Sauerstoff und Stickstoff können wir ihrer wenig verschiedenen Ordnungszahl (8 und 7) und ähnlichen Energieverhältnissen wegen zusammen als ein Element gruppieren, desgleichen die drei: Magnesium, Aluminium und Silizium (12, 13 und 14).

DER GEBURTSSCHREI DER ELEMENTE.

Millikan hat nun auf Grund der Aston'schen Packungsfraktionen die Energien berechnet, die frei werden, wenn aus Protonen Helium, Sauerstoff-Stickstoff, und Magnesium-Aluminium-Silizium gebildet werden. Nach der Bohr-Einstein'schen Formel hat er dann aus diesen Energien die Frequenzen der dabei entstehenden Strahlungen berechnet, und schließlich aus den Frequenzen nach der Formel von Dirac die diesen Fre-

quenzen entsprechenden Absorptionskoeffizienten und fand für Werte: $\mu = 0{,}30$, $\mu = 0{,}08$, $\mu = 0{,}04$.

Im Vergleich zu den von Millikan in den kosmischen Strahlen festgestellten Absorptionskoeffizienten 0,35 — 0,08 — 0,04 ist die Übereinstimmung verblüffend! Und auf Grund dieser Daten sieht Millikan den Ursprung der kosmischen Strahlen in der Bildung von neuen Atomkernen aus Protonen und Elektronen irgendwo im Weltall. Und er bezeichnet die kosmische Strahlung als den Geburtsschrei der Elemente!

Natürlich stellt Millikan dies nur als eine Hypothese hin, die noch weiterer Bestätigung bedarf.

Wo geht denn die Geburt der Elemente vor sich? In den furchtbar heißen Schmelztiegeln der Sonnen? Millikan glaubt dies nicht. Die schweren radioaktiven Elemente, von denen wir auf unsrer Erde nur noch das Uran und das Thorium mit ihren Zerfallprodukten haben, mögen dort gebildet worden sein. Denn der Zerfall der radioaktiven Elemente ist ein exothermer Prozeß; es wird dabei Wärme und Strahlungsenergie frei. Andernfalls wäre der spontane Zerfall ja auch unmöglich. Daraus ergibt sich aber, daß die Bildung dieser Elemente ein endothermer Prozeß war, daß sie dabei große Mengen Energie aufgenommen haben. Das kann aber nur da geschehen, wo große Energiemengen konzentriert sind, wie in den heißen Sternen. Die exotherme Bildung der gewöhnlichen Atomkerne dagegen verlegt Millikan in Räume, wo in Bezug auf Temperatur und Druck entgegengesetzte Verhältnisse herrschen, in den leeren kalten Weltenraum.

WAS WIRD AUS DEM LICHT?

Wie, und durch was die Bildung der Atomkerne hier vor sich geht, davon haben wir «nicht den Dunst einer Ahnung, eines Scheines, eines Schimmers, einer Spur von einer Vorstellung». Eine Frage drängt sich hier auf: Was wird aus all der in den Weltenraum ständig ausgestrahlten Energie? Was wird aus dem Licht, das Millionen Jahre wandert durch den unendlichen, äußerst dünnbesäten Weltenraum? Ein kleiner Teil stößt auf Sterne und wird von diesen absorbiert; eine Spur trifft unsere Erde und erzählt uns alles, was wir vom Kosmos wissen. Der Rest wandert weiter und weiter

Auf ew'ger Bahn, von Stern zu Stern,
Ein Wanderer, ein Vagabund!

Licht ist Energie, und Energie hat Masse und ist der Gravitation unterworfen. Der Weg des Lichtes wird also durch die Sterne gekrümmt und es ist sehr wohl möglich, daß es nach Jahrtausenden oder Jahrmillionen wieder an seinen Ausgangspunkt

zurückkehrt und von neuem seine ewige Bahn beginnt! Wenn wir einmal gelernt haben die Wellenzüge des Lichtes zu trennen und schwaches Licht zu verstärken, wird es vielleicht möglich sein zu sehen wie es in der Urzeit auf der Erde aussah?

Was wird aus der gewaltigen Energie, die in allen Wellenlängen ständig in den Raum hinausgestrahlt wird? Soll nur Masse verschwinden und sich in Energie umwandeln? — Oder ist der Prozeß reversibel? — Nach Millikan's Theorie der kosmischen Strahlung scheint es so, und dann hätten wir in dieser Rückverwandlung von Strahlungsenergie in Masse den Ursprung der kosmischen Strahlen? Die so entstandenen frischgeborenen Atome müssen sich infolge der ungeheueren bei ihrer Bildung freiwerdenden Energiemengen auf höchster Temperatur, d. h. in Dampfform befinden. Infolge der Schwerkraft ziehen sie sich gegenseitig an und gruppieren sich zu neuen Sternen, zu neuen Welten?

Wie aber entstehen die Protonen?

Und die Elektronen?

Ein Narr fragt viel ....

Aber aus «dummen Fragen sind Weltanschauungen geworden», und zu den dummen Fragen zählte noch vor einigen Dezennien alles was wir über Atome und Moleküle wissen.

Und Fragen ist der Anfang der Weisheit.

* * *

EPILOG. Nahe meinem Heimatsorte liegt irgendwo, nur dem Einheimischen bekannt, fern von jeder menschlichen Wohnung, fern von jeder Straße und Eisenbahn, von Wäldern umschlossen, ein stilles Wiesental. Dort zog es mich in Ferientagen gar oft hin, um in stiller Einsamkeit bei der Natur Ruhe und Erholung zu finden.

Und so lag ich denn an einem schönen Spätsommernachmittag vorigen Jahres dort im Grase, gleich dem «Hirtenknaben» von Lenbach.

Da — was war das? Aus den Gräsern und Halmen tönte ein Singen und Klingen an mein Ohr, so lieb und schön, so fein und zart wie ich dergleichen noch nie gehört! Diese fremdartigen Klänge des in den Halmen säuselnden Windes muteten mich an wie Musik des Mikrokosmos, der Moleküle und Atome, wie Geisterstimmen der Natur. Und aus diesem wunderbaren Tönen und Klingen ist diese Arbeit entstanden. Und während ich darüber sann, ging drüben ein Bauersmann vorbei und drückte mit schwerem Tritt die Grashalme nieder, manches dabei zerquet-

schend. Und er ahnt es wohl kaum, daß die Trillionen Atome, deren Organisation in den nun welkenden Halmen er mit roher Gewalt zerstört hat, dereinst irgendwo im Weltenraum bei ihrer Entstehung Energiemengen entwickelten und in das Weltall hinausstrahlten, gegen die alle von Menschenhand und Menschengenie gebannte Energie nicht dem Schwanken eines Grashalmes gleichkommt?

Und es ist doch so, denn ihre Atomgewichte sind ja nicht ganzzahlig! — —

Und ich frage mich: Hat der Landmann, der sein ganzes Leben in der Natur verbringt, hat er dieses wunderbare Singen und Tönen schon gehört? Hört er es überhaupt je? — Wohl kaum!

Und da ward mir, als ob die Geisterstimmen mir flüsterten: Weißt du, daß Jahrtausende und aber Tausende hindurch aus dem Weltenraum Botschafter zu euch Menschen der Erde gesandt wurden, um euch zu erzählen von der Herrlichkeit und der wunderbaren Gesetzmäßigkeit im Wandel ferner Welten? — Und die Menschen — sie hörten sie nicht!

Weißt du, daß Jahre und Jahre hindurch in den physikalischen Kabinetts der Hochschulen seltsam geformte evakuierte Glasröhren lagen, die beim Anlegen einer Hochspannung in mancherlei Farben prächtig aufleuchteten? Und die Autoritäten der Physik zeigten diese Röhren gelegentlich bei Vorträgen als eine Art Spielzeug, und legten sie dann wieder in ihren Kasten bis zur nächsten Gelegenheit. Sie hörten nicht die Geister in den Röhren und ahnten nicht, daß sie mit Elektronenströmen spielten. Elektronen, die einen der Bausteine der Materie bilden, deren Fließen im Metalldraht den elektrischen Strom darstellt, deren Einschlagen in Atome Röntgenstrahlen aufspritzen läßt, deren Bewegung in den Radioröhren uns die Übertragung von Musik und Sprache über den ganzen Erdball hinweg ermöglicht! Sie ahnten es nicht!

Weißt du wie seit Tausenden und aber Tausenden von Jahren im Joachimtal in der Pechblende Atomwelten zerfielen unter Aussendung von Bausteinen der Materie, von Heliumkernen und Elektronen. Und die Menschen sie merkten es nicht!

Bis dann schließlich doch einer den fremden Klängen horchte und ihnen nachging, und wie dann aus dem Curie'schen Laboratorium bald fremde Weisen in die Welt gingen, die Forscher aller Nationen aufhorchen ließen. Und wie sich dann mit ihrer Mitarbeit die fremden Klänge zu Akkorden, zu Melodien und schließlich zu der schönsten Symphonie der Wissenschaft zusammenfügten. Und wie in das gewaltige Rauschen, das damals durch den wissenschaftlichen Blätterwald ging, ein Unkenrufen hinein-

tönte von denen, die noch nicht hören wollten, und die da schimpften auf die «Gespenster-Chemie»!

Und ich lauschte den geheimnisvollen Tönen im Grase, und dachte mir wie sie, Tag für Tag und Tag und Nacht, ruhig weiterklingen, einerlei ob der Mensch ihnen zuhört oder nicht!

Und so ging seit Anbeginn durch die Welt ein Tönen und Singen, ein Klingen und Schwingen in allen Oktaven, einerlei ob der Mensch darauf hört oder nicht.

Und hin und wieder lauscht ein Naturfreund den geheimnisvollen Klängen, die aus weiter Ferne zu ihm dringen, und wie er lauscht, merkt er wie einzelne Töne sich abheben und sich zu Akkorden reihen. Und aus den Akkorden werden Melodien, die sich schließlich zu wunderbaren Symphonien zusammenschließen.

Und schon wieder dringen neue, eigenartige Klänge an sein Ohr. Er weiß nicht, von wannen es kommt und braust, er weiß noch nicht ob die Töne richtig sind, aber schon ahnt er neue Melodien und weiß, daß auch sie sich schließlich zusammenfügen werden zu neuen Harmonien, und so mit dazu beitragen werden, unser Leben reicher und schöner zu gestalten.

Unser Ehrenmitglied Dr M. Lucius.

Vor erst kurzer Zeit erschien in unserer Vereinsschrift, N° 9, 1928, S. 83 u. ff., eine Arbeit unseres Landsmannes und unseres Ehrenmitgliedes Hrn. Dr M. Lucius, Landesgeologe in Angora (Klein-Asien), über die Meerschaumlager von Eskichehir (Klein-Asien). Einige Monate später weilte Hr. Lucius in Europa. Bei Gelegenheit seines Besuches in Luxemburg erzählte Hr. Lucius in zwei Montagsversammlungen unserer Gesellschaft von seinen Forschungsreisen in Klein-Asien, die er im Auftrage der türkischen Regierung machte. Seine hochinteressanten Mitteilungen faßte darauf Hr. Lucius zusammen in einem Vortrag, den er am 30. Januar in dem großen Festsaal des Mädchenlyzeums zu Luxemburg hielt, vor den Mitgliedern des Großhzl. Instituts (math. naturw. Abteilung), die in der Mehrheit auch Mitglieder unserer Gesellschaft sind. Sein Vortrag ging über: Die Türkei von heute, ihre Entwicklung, Topographie und Geologie, — Erschautes und Erlebtes. Aus dem Bericht, den die «Luxemburger Zeitung» über diesen Vortrag in ihrer Abend-Ausgabe von Donnerstag, 31. Januar 1929 veröffentlichte, mögen einige Abschnitte unseren Lesern unterbreitet werden.