

Die chemischen Elemente und der Weltenraum.

Von Alexander Gutbier.

Vorgetragen bei der Einweihung des neuen Technischen Verwaltungs-Gebäudes
der Farbwerke vorm. Meister Lucius & Brüning in Höchst a. M.
am 6. Juni 1924.

Hochgeehrte Damen und Herren!

Des Chemikers Kenntnisse von der Materie und seine Anteilnahme an der Erforschung der Materie pflegten sich vor nicht allzufern zurückliegender Zeit im allgemeinen auf die uns und unseren einfacheren Untersuchungsmethoden unmittelbar zugänglichen Gebiete, im besonderen somit auf die Oberfläche unserer Erde, auf die Meere und auf die tieferen Schichten der Atmosphäre zu beschränken.

Es ist anders geworden in den letzten Jahren.

Große Ergebnisse experimenteller und theoretischer Forschung haben uns mit wahrhaft umwälzend wirkenden Erkenntnissen überreich beschenkt, und ihnen konnte auch der Chemiker teilnahmslos nicht gegenüberstehen. Wie schnell mußten wir vielfach umlernen, und wieviel Schönes, Neues durften wir innerhalb einer überraschend kurzen Spanne Zeit als gesicherten Bestand aufnehmen. Und wenn wir heute auf die Fortschritte zurückblicken und der neuen Lehren Wert überprüfen, werden wir gern und offen gestehen: Wir haben wahrlich keinen Grund, zu bedauern, daß manch alte, uns lieb gewesene Anschauungen nun gar keine Berechtigung mehr haben, trotzdem sie einst den alle Theorien überdauernden Experimenten getreulich und erfolgreich den Weg wiesen.

Unmöglich kann erwartet werden, daß ein kurzer Vortrag das Gesamtbild zu entwerfen in der Lage wäre von all der Förderung, die wir in der jüngst vergangenen Zeit chemischen und physikalischen Untersuchungen in experimenteller sowohl

als auch in theoretischer Hinsicht verdanken. So wollen wir uns denn mit einem bescheidenen Ausschnitt aus den Studien begnügen, die über den Rahmen des Alltags und seiner Forderungen hinaus unser Interesse fesseln und vielleicht auch den einen oder anderen unter uns schon zum Nachdenken oder zu eigenen Spekulationen angeregt haben.

Wenn wir in stillen Stunden das durchdenken, was bereits Gemeingut der Chemiker und wohl aller Naturforscher geworden ist, die Erkenntnis nämlich von der zusammengesetzten Natur unserer Elementaratome und von dem Zerfall und der Bildung der Radioelemente, dann drängt sich uns eine wahre Fülle von fesselnden und für die gesamte Naturforschung wichtigen Fragen auf, als deren für den Chemiker bedeutsamste mir die erscheint:

Muß es unbedingt als ausgeschlossen gelten, daß die Bausteine unserer Atome, die positiven und negativen Elektronen, im Verein mit den einfachsten Elementen Wasserstoff und Helium sich unter irgendwelchen Einflüssen von Druck und Temperatur oder von elektrischen Vorgängen besonderer Art zu neuen, uns noch nicht bekannten Formen der Materie zusammenfinden könnten? Sollte keine Möglichkeit bestehen, solche bisher unbekannte Elemente aufzuspüren irgendwo, sei es neben den uns vertrauten, sei es an deren Stelle?

Auf Grund aller älteren und neueren, der Chemie und der Physik der Erde gewidmeten Untersuchungen hat es heute als durchaus unwahrscheinlich zu gelten, daß in den tieferen Schichten unseres Planeten andere Elemente als die uns wohl-bekannteren anzutreffen sind. Kein Zweifel: Die so zahlreichen und so ausgedehnten vulkanischen Ausbrüche aller Zeiten haben aus des Erdinnern Tiefe so ungeheuerlich viel Material emporgeschleudert und der Forschung unmittelbar zugänglich gemacht, daß wir hier klar sehen. „Wenn die Temperatur im Erdinnern, wie die meisten Geophysiker annehmen, mehr als 5000° beträgt und der Druck viele Tausende von Atmosphären erreicht, so folgt“, sagt K. A. Hofmann überzeugend, „daß unsere Elemente einstmals die Feuerprobe bestanden haben und demgemäß unter solchen Bedingungen beständig sind.“

Irgend eine bündige Antwort auf die gestellten Fragen kann also nicht erwartet werden, solange die Betrachtungen sich auf die Erde allein erstrecken. Diese Erkenntnis ermuntert, ja zwingt^e uns, den Blick von unserem Planeten weg zu erheben hinauf in die höheren und höchsten Schichten des Luftmeers und hinaus in den weiten, unendlichen Weltenraum.

Wo immer im Kosmos Materie unter dem Einfluß von hoher Temperatur oder von elektrischen Entladungen steht, kündigt sie ihren Zustand durch Lichtsignale. So ist es uns trotz aller Schwierigkeiten, die durch besondere Einflüsse, wie Druck und Temperatur, Dopplereffekt usw. bedingt sind, vergönnt, mit Hilfe der Spektralanalyse, eines der köstlichsten Geschenke, das der Naturforschung je gereicht worden ist, Verhältnisse erforschen zu können, die weit über dem Geschehen auf Erden liegen. Ich brauche vor dieser Kreise nicht zu betonen, daß gerade jene soeben erwähnten Einflüsse dazu verholfen haben, unsere Kenntnisse von dem Zustande der leuchtenden Materie zu erweitern und zu vertiefen: Das Spektrum charakterisiert nicht allein die Elemente und ihren physikalischen Zustand, sondern auch die Art der Anregung und die Eigenschaften der kosmischen Strahlen.

Frühzeitig schon hat man erkannt, daß die Bestimmung des Nordlichtspektrums für die Förderung physikalischen und chemischen Wissens ebenso wie für die Aufklärung mancher kosmischer Fragen von grundlegender Bedeutung ist. So hat man denn oft und eingehend das Licht untersucht, das unter dem Druck von 10^{-6} Atmosphären da, wo nach Véronnet die Meteore aufzuleuchten beginnen, in einer Höhe von etwa 90 bis 160 km in unvergleichlicher Schönheit flammt. Und was man noch vor drei Jahren als Hauptergebnis der Studien über das Nordlicht im besonderen und über die höheren Schichten der Atmosphäre im allgemeinen buchte, war dies: In der Höhe von mehr als 100 km über dem Meeresspiegel überwiegen, wie man von vornherein anzunehmen geneigt war, die leichten Gase Wasserstoff und Helium in ausgeprägtem Maße über die schweren Gase der tieferen Schichten. Stickstoff erreicht bei Höhen von 100 km ein Maximum. Wasserstoff tritt in merklicher Menge

bei 110 km auf und bildet, nachdem Sauerstoff von 160 km an verschwunden ist, in der Höhe von rund 200 km neben Helium fast den alleinigen Bestandteil der Atmosphäre. Da es gelang, gewisse Stickstofflinien nachzuweisen, die man durch die positiven Kanalstrahlen, nicht aber durch Kathodenstrahlen zu erregen vermag, schloß man mit Stark, daß die das Nordlicht hervorbringenden Strahlen der Sonne gleich den Kanalstrahlen aus schnell bewegten, positiv geladenen stofflichen Teilchen bestehen.

Umfassend hat jetzt in diese Untersuchungen und Folgerungen mit experimentell ausgezeichnet durchgeführten Arbeiten Vegard eingegriffen.

Vegard beweist im Gegensatze zu seinen Vorgängern, daß die meisten im Nordlichtspektrum aufgefundenen Linien dem Stickstoff angehören, zeigt, daß nur vier von ihnen (3208,3, 3432,7, 4182,5 und die „grüne Linie“ 5577,1—5578,4) sich mit bekannten Stickstofflinien nicht identifizieren lassen, und stellt weiter fest, daß diese vier Linien sicher nicht den leichten Gasen Wasserstoff und Helium zuzurechnen sind: in Höhen nämlich, in denen der bisherigen Auffassung nach die Atmosphäre gerade aus Wasserstoff und Helium bestehen soll, findet sich von beiden Gasen keine Spur. Vegards erstes wichtiges Ergebnis ist demnach: Die bisher angenommene Wasserstoff-Helium-Schicht der Atmosphäre existiert nicht.

Fragt sich nunmehr: Woher stammen die „grüne“ und die anderen drei Linien? Gehören auch sie dem Stickstoff oder etwa einem bisher noch nicht isolierten leichten Gase, dem hypothetischen „Geokoronium“ an?

Vegard ermittelt, daß die Stärke der „grünen Linie“ im Verhältnis zu typischen Stickstofflinien in Höhen von etwa 100 km ebenso groß ist wie in Höhen von ungefähr 160 km. Die Linie folgt dem Stickstoff und kann somit unmöglich von einem leichteren Gase stammen. Mit diesem Nachweise ist das Schicksal des „Geokoroniums“ besiegelt. Da Vegard weiter die „grüne Linie“ bis an die obere Grenze der Nordlichtstrahlen zu beobachten vermochte, selbst wenn diese Strahlen Höhen von mehreren hundert Kilometern erreichten, und da er fest-

stellen konnte, daß gleichzeitig die Stärke typischer Stickstofflinien im Verhältnis zu der unbekanntem mit der Höhe etwas zunimmt, so folgt, daß die fraglichen vier Linien dem Stickstoff angehören. Als weitere wichtige Ergebnisse von Vegards Untersuchungen haben wir also festzuhalten: Stickstoff muß ein vorherrschender Bestandteil der Atmosphäre bis in ihre äußersten Grenzen sein, und: Das Nordlicht-Spektrum ist im ganzen ein Stickstoff-Spektrum, das für die in der Nordlichtregion vorhandenen, ganz besonderen Erregungsbedingungen charakteristisch ist.

Zwei Möglichkeiten der Erklärung sind denkbar dafür, daß der Stickstoff bis zu Höhen von 500—700 km eine für das Auftreten des Nordlichts genügende Dichte besitzen kann: Entweder muß von einer Höhe von etwa 90 km an aufwärts die Temperatur schnell bis zu ungefähr 1000° abs. zunehmen, der Stickstoff also durch thermische Bewegung in die Höhe getrieben werden, oder aber der Stickstoff wird, da ein merklicher, der Schwere entgegen gerichteter Lichtdruck nicht vorhanden ist, durch die Wirkung elektrischer Kräfte emporgeführt.

Vegards Experimente lehren, daß die Annahme, die höheren Schichten der Atmosphäre bestünden aus Stickstoff von hoher Temperatur, den typischen Charakter des Nordlichts nicht zu erklären vermag. So werden wir mit Notwendigkeit zu der Erkenntnis geführt, daß die äußersten Atmosphärenschichten elektrisch geladen sind, und daß ein elektrisches Feld entsteht, unter dessen Wirkung der Stickstoff sich in die Höhe erhebt. Diese Auffassung ist auch vom physikalischen Standpunkte aus wahrscheinlich: Wir wissen ja, die Atmosphäre wird durch die photoelektrische Wirkung kurzweiliger Lichtstrahlen ionisiert. Elektronen werden mit einer Geschwindigkeit ausgeschossen, die durch die Einsteinsche Gleichung: $h\nu = \frac{1}{2} m v^2$ bestimmt ist. Wahrscheinlich emittiert die Sonne neben dem Licht auch Strahlen vom Röntgen- oder γ -Strahlentypus; dann wird die Geschwindigkeit der lichtelektrischen Elektronen sehr groß. Die Größe des elektrischen Feldes wäre dadurch bestimmt, daß die Elektronen von größter Geschwindigkeit gerade genügten, um das Erdpotential gegenüber dem Weltenraume zu über-

winden, d. h. das Erdpotential V_E wäre durch die Gleichung:
 $V_E e = h \nu_{\max.}$ gegeben.

Vegards Berechnungen zeigen, daß die oberen Schichten der Atmosphäre nicht im gasförmigen Zustande existieren. Wollen wir also die größte Stickstoff-Dichte in Höhen von 500 bis 700 km durch die Wirkung elektrischer Kräfte gedeutet wissen, so müssen wir unbedingt annehmen, daß die Ionen aus einer großen Menge von Molekülen gebildet sind, oder daß der Stickstoff um eine elektrische Ladung als Keim zu kleinen Tropfen oder Kriställchen kondensiert ist. Nun gefriert bekanntlich Stickstoff bei etwa 60° abs., und nichts spricht dagegen, daß die Temperatur in der Nordlichtregion erheblich niedriger ist.

Überblicken wir das soeben Gesagte noch einmal, dann verstehen wir, daß Vegard aus allen seinen Versuchen und Überlegungen tatsächlich auch den letzten und kühnen Schluß zieht: Die oberen Schichten der Atmosphäre bestehen hauptsächlich aus wenigstens teilweise elektrisch geladenem Stickstoffstaub.

Solche Stickstoffteilchen werden sich je nach Größe und Ladung entweder aufwärts bewegen, oder sie werden herabsinken. Im letzteren Falle werden sie bei einer gewissen Höhe schmelzen, während neue Gasmassen aufsteigen und sich kondensieren. Wenn der Wert von e/M' , in dem e die Ladung, M' die Masse des Teilchens bedeutet, im Verhältnis zum elektrischen Felde genügend groß ist, werden die Teilchen emporgetrieben; sie können Elektronen aufnehmen, vermindern dadurch ihre Ladung und werden sinken. Für einige Teilchen wird die Wirkung der Schwere durch diejenige der elektrischen Kräfte beinahe aufgehoben; dann werden sie schweben. Und unter den Teilchen schließlich, die sich aufwärts bewegen, werden einige vielleicht Elektronen nicht aufnehmen; sie werden von der Erde weggeführt.

Die Atmosphäre sollte also wegen der lichtelektrischen Wirkung Stickstoff verlieren und würde, wäre dieser Prozeß nicht kompensiert, immer abnehmen. Vegard begegnet diesem Einwand, indem er einen solchen Ausgleich für möglich hält dadurch, daß der Erde Stickstoff von außen zugeführt wird,

z. B. von der Sonne. Tatsächlich deutet ja die Sonnenkorona auf eine stoffliche Ausstrahlung von der Sonne, und es wäre möglich, daß Stickstoff in stark ionisiertem Zustande die Koronalinie emittiert. Dann ist der jetzige Zustand der Atmosphäre als stationär aufzufassen.

Die von Vegard angenommene Konstitution der höheren Atmosphärenschichten bietet uns Möglichkeiten für die Erklärung sowohl der Eigenart des Nordlichtspektrums als auch zahlreicher sonstiger Eigentümlichkeiten bei den Nordlichterscheinungen. Sie eröffnet gleichzeitig aber auch neue Möglichkeiten für das Verständnis einer Reihe von anderen kosmischen Vorgängen.

Die Kürze der mir zur Verfügung stehenden Zeit gestattet nur folgende Hinweise.

Nach Vegards Auffassung entsteht also das Nordlichtspektrum, wenn elektrische Strahlen in eine Atmosphäre von gefrorenem Stickstoffstaub hineindringen, und auch die vielgenannte „grüne Linie“ entsteht durch Anregung von staubförmigem Stickstoff mit elektrischen Strahlen. Gehen wir nun von der gasförmigen zu der staubförmigen Stickstoffschicht über, so muß sich das Spektrum unbedingt ändern, denn oberhalb der Grenze wird die „grüne Linie“ emittiert. Hierdurch kann der bei den Meteoren beobachtete Farbenwechsel eine Erklärung finden. Wenn nämlich ein Meteor in die Atmosphäre eindringt, ist seine Farbe erst weiß oder grünlich; plötzlich, in einer gewissen Höhe, geht sie in Rot über. Dies bedeutet nur, daß das Meteor aus der Staubatmosphäre mit der starken „grünen Linie“ in die Gasatmosphäre übertritt. Und da die Meteore in eine elektrisch geladene Staubatmosphäre eindringen, werden sie die Ladung verdichten, und so müssen elektrische Entladungen vom Bahnkopfe aus entstehen. So wird uns klar, daß das Leuchten nicht zuerst durch Erhitzen der Meteore erregt ist. Nein, sie werden vielmehr erst zum Glühen gebracht, wenn sie in die dichteren Schichten der Atmosphäre gelangen. Es scheint deshalb nicht statthaft zu sein, mit Lindemann und Dobson die Gasdichte in den oberen Schichten der Atmosphäre aus der Annahme zu berechnen, daß die Meteore ihre ganze Bahn entlang thermisch leuchten.

Schließlich gibt Vegards Anschauung von der elektrischen Staubatmosphäre auch die Erklärung für das Nichtbestehen der früher angenommenen Wasserstoff-Heliumschicht: Beide Gase werden infolge ihrer niedrigen Gefrierpunktstemperatur nicht kondensiert, können somit keine Staubkörnchen bilden und werden, wenn sie geladen sind, die Erde in Form von positiven Strahlen verlassen. Allerdings ist nicht ausgeschlossen, daß der Stickstoff, z. B. in Form von Ammoniak, Wasserstoff gebunden enthält. Eine solche Annahme würde mit den Ergebnissen von Vegards Untersuchungen durchaus nicht im Widerspruch stehen, denn man könnte sich ja vorstellen, daß gegebenenfalls vorhandene Ammoniakkerne den Kondensationsprozeß ebenso wie die Staubbildung vielleicht begünstigen würden.

Soviel über die schönen Arbeiten Vegards. Wir sehen, sie bringen trotz des vielen Neuen, das sie uns schenken, im Verein mit den älteren Studien über das Nordlicht auch keine bündige Antwort auf die eingangs gestellte Frage. Sie bestätigen nur, daß in den höheren Schichten der Atmosphäre uns wohlbekannte Elemente anzutreffen sind. Den Glauben an das „Geokoronium“ haben sie gründlich zerstört.

Von Kant und Laplace ist zuerst grundlegend ausgesprochen worden, was wir unter Anlehnung an Nernst heute folgendermaßen zusammenfassen.

An irgendeiner Stelle im Weltenraume häuft sich, in zunächst ungeheurer Verdünnung, Materie, Staub oder Gas an. Durch die Newtonsche Massenanziehung — gewaltige Arbeit leistet diese Kraftwirkung — erfolgt Kontraktion, und die Masse gerät, wie besonders Helmholtz unter Anwendung des Gesetzes von der Erhaltung der Kraft gezeigt hat, in hohe Glut: sie bildet einen großen Nebelstern. Das sind die „Riesensterne“, wie wir sie nennen, die Riesensterne, die man am Himmel, wenn auch nicht in großer Zahl, beobachten kann. Die Kontraktion schreitet fort, und mit ihr steigen Dichte und Temperatur. So entsteht der in weißem Lichte erstrahlende Fixstern, der „Zwergstern“, wie wir ihn bezeichnen. Nunmehr setzt die Abkühlung ein. Das weiße Licht wird gelblich,

dann rötlich, und endlich hört die Leuchtkraft überhaupt auf: Dunkelsterne sind entstanden, die sich natürlich unserer unmittelbaren Wahrnehmung entziehen, deren Bestehen aber u. a. in vielen Doppelsternen als unsichtbare Begleiter eines hellen Sternes durch ihre Kraftwirkung nicht nur nachgewiesen, sondern auch nach ihrer Masse hin untersucht werden konnte. Die roten Sterne sind entweder sehr hell, dann sind sie schwachglühende Nebelsterne von großer Ausdehnung, oder sie sind sehr dunkel, dann sind sie dichte, schon stark erkaltete Sonnen. Wohl darf man nicht behaupten, daß alle Sterne genau einen solchen Entwicklungsgang durchgemacht haben. Vielmehr muß es als durchaus möglich gelten, daß einzelne Sterne ihre eigenen, besonderen Schicksale gehabt haben. Tatsache aber ist, daß man imstande ist, alle Stufenfolgen der beschriebenen Entwicklung in zahlreichen Exemplaren am Himmel zu erkennen und somit auch zu studieren.

Des Sternhimmels Pracht, in klarer, tiefer Sommernacht vom hohen Berge erschaut, wirkt überwältigend auf jedes Menschen Herz und Sinn. Und ich habe den Eindruck, als sei unter allen Naturforschern gerade der Chemiker für diese Beweise der Allmacht der Natur besonders empfänglich, weiß ich doch aus manch ernstem Gespräche mit Fachgenossen, wie gern man in solchen Stunden das Wesen der Materie in Rede und Gegenrede zu ergründen trachtet. So bitte ich Sie denn, sich mit mir vergegenwärtigen zu wollen, was die Untersuchung des Sternhimmels im Hinblick auf unser Thema uns lehrt, und welche Förderung der Anschauungen uns neue Experimentalarbeiten und neue geistvolle Spekulationen gebracht haben.

Das Spektrum der roten Sterne, denen wir Temperaturen von etwa $2500\text{--}3700^\circ$ zuschreiben, ist charakterisiert durch bekannte Metall-Linien, hauptsächlich von Eisen, Calcium und Natrium, und weist zahlreiche Bänder auf, die teils dem Kohlenstoff angehören, teils chemischen Verbindungen entstammen, deren Bestehen bei so verhältnismäßig niederen Temperaturen gesichert erscheint.

Zu den gelben Sternen, deren Temperatur in der leuchtenden Schicht wir zu 7500° abs. annehmen, gehört die Sonne. Entsprechend der Bedeutung, die die Sonne für alles irdische

Geschehen hat, sind die Ergebnisse der Untersuchungen über das Sonnenspektrum so gut wie allgemein bekannt. Ich darf mich daher kurz fassen. Erinnerung braucht nur daran zu werden, daß, wie durch Fraunhofers klassische Studien zuerst festgestellt worden ist, das Licht der Sonne gleich dem der meisten Fixsterne die Umkehrung des Spektrums aufweist, auf hellem Untergrunde also dunkle Linien zeigt. Und ich kann mich mit dem weiteren Hinweise begnügen, daß bisher im Sonnenspektrum 36 Elemente endgültig und 13 Elemente mit schwachen Linien nachgewiesen worden sind, während die Existenz von anderen 13 Elementen noch als zweifelhaft zu gelten hat. Es wäre aber voreilig, behaupten zu wollen, daß diejenigen Elemente, von welchen man Linien noch nicht hat auffinden können, in der Sonne nun auch tatsächlich sich nicht vorfinden. Aus Untersuchungen anderer Art wissen wir ja, daß die Aussendung von Licht an bestimmte Bedingungen gebunden ist. Warum sollten diese auf der Sonne immer gegeben sein? Die moderne Atomtheorie lehrt, daß Atome infolge hoher Temperaturen so vollständig ionisiert sein können, daß ein auch nur zeitweise erfolgendes Zurückspringen der äußeren Elektronen in ihre Bahnen nicht mehr statthat und damit die Aussendung von Licht unterbleibt. Verhältnisse dieser Art können wir uns auf der Sonne doch wohl recht gut vorstellen. Was schließlich die Fraunhoferschen Linien anlangt, deren sichere Beurteilung wir noch erwarten, so gehören sie wahrscheinlich Molekülen, nicht aber Atomen an.

Ich darf Sie bitten, mit mir noch ein wenig bei den Betrachtungen über die Sonne verweilen zu wollen, ehe wir uns den anderen Sternen zuwenden.

Jedermann spricht davon, daß die Sonne ihren Höhepunkt als Fixstern bereits überschritten habe, sich also auf dem absteigenden Aste befinde. Daß dem tatsächlich so ist, geht, entsprechend unseren obigen Betrachtungen, aus der Farbe der Sonne hervor. So darf man es denn dem ernstesten Naturforscher wahrlich nicht verübeln, wenn er, haltlose Spekulationen weit von sich weisend, doch sich bemüht, die Lebensdauer der Sonne einerseits und ihr Alter andererseits zu erforschen.

Nernst hat vor kurzem dieser allgemein wichtigen Sonderfrage seine Aufmerksamkeit zugewandt und sie mit Hilfe der

Einsteinschen fundamentalen Beziehung gelöst, nach der jeder Körper, der Energie abgibt, zugleich Masse verliert. Dieser Massenverlust ist gleich der abgegebenen Energiemenge dividiert durch das Quadrat der Lichtgeschwindigkeit.

Nernst wendet diese Beziehung auf kosmische Fragen an und gewinnt folgendes Ergebnis.

Unsere Sonne strahlt, seitdem sie sich aus dem Nebel zu größerer Dichte kondensiert hat, fortwährend ungeheure Energiemengen aus und verliert jährlich 10^{20} g, d. i. das Gewicht von hundert Billionen Tonnen. Nun ist festgestellt, daß die Fixsterne von nahezu gleicher Masse sind, d. h. die am Ende ihres Fixsternlebens stehenden, schon weit abgekühlten roten Sterne sind im Mittel jedenfalls nicht viel leichter als die hellweißen Sterne. Das beweist, daß der Massenverlust durch Strahlung im Laufe des Fixsternlebens keinen sehr erheblichen Bruchteil ihrer Gesamtmasse betragen kann. Würde die Sonne z. B. 10^{13} , also zehn Billionen Jahre genau so gestrahlt haben wie heute, dann wäre von ihr nichts mehr übrig geblieben. Da zu bedenken ist, daß sie früher als noch hellerer Stern weit mehr Wärme ausgestrahlt hat, folgt aus allem, daß ihre Lebensdauer sehr erheblich viel kleiner sein muß. Und da es unwahrscheinlich ist, daß die Sonne auch nur ein Hundertstel ihres Betrages an Masse durch Strahlung eingebüßt hat, so können wir mit Nernst ihre Lebensdauer und damit die der heißen Fixsterne überhaupt auf höchstens 10^{11} , also auf hunderttausend Millionen Jahre schätzen.

Auf das Alter der Sonne vermögen wir natürlich aus dem Alter der Erde zu schließen, die einst sich aus einem glühenden Auswurf der Sonne in einen Himmelskörper mit fester Erdrinde verwandelt hat. Nernst benutzt die Erscheinungen der Radioaktivität, um zu berechnen, daß die Bildung der festen Erdkruste sich vor etwa fünfzehnhundert Millionen Jahren vollzogen hat. Als die Erde erstarrte, mußte offenbar die Sonne sich schon weitgehend kontrahiert haben, aus einem Nebelstern von riesiger Ausdehnung bereits zu einem verhältnismäßig dichteren Sterne geworden sein. Nernst folgert dementsprechend, daß das Alter der Sonne als eines dichteren Sternes also mindestens ebenfalls fünfzehnhundert Millionen

Jahre betragen muß, wahrscheinlich aber noch größer sein dürfte. Eine noch sicherere Einengung ist auf Grund unserer heutigen Kenntnisse wahrlich kaum möglich.

Doch kehren wir zu unseren eigentlichen Fragen zurück. Wir haben weiter der weißen Fixsterne zu gedenken, deren Temperatur wir auf ungefähr 12000° zu schätzen pflegen. Von ihnen wissen wir, daß das Spektrum einiger dunkle, aber stark ausgeprägte Wasserstofflinien, undeutliche Heliumlinien und daneben dunkle Calcium- und Eisenlinien aufweist, während das Spektrum anderer helle Wasserstoff- und Heliumlinien zeigt. Im ersteren Falle nehmen wir an, daß die tieferen Schichten der Atmosphäre mit viel helleuchtendem Staube erfüllt sind, und daß nur die äußerste Schicht das aus dem Innern kommende Licht absorbieren kann. Im zweiten Falle glauben wir das Richtige mit der Annahme zu treffen, daß die äußeren Gasschichten so heiß oder elektrisch so stark beeinflußt sind, daß ihr Licht das vom Innern stammende verdeckt. Sicher festgestellt ist, daß sich in den jüngsten dieser Sterne nur die leichteren Elemente — Wasserstoff, Helium, Stickstoff, Magnesium, Silicium — finden, und daß die schwereren Elemente — Kalium, Titan, Eisen — erst in den älteren, also schon kühler gewordenen Sternen nachweisbar sind. Das wollen wir im Hinblick auf unsere späteren Erörterungen festhalten, daß die Untersuchungen der weißen Fixsterne uns zum ersten Male die Möglichkeit einer Elementumwandlung auf leuchtenden Himmelskörpern vor Augen geführt haben.

Auch hier bitte ich eine kurze Sonderbemerkung einzuwerfen und auf die geistreiche Theorie verweisen zu dürfen, die Eddington vor einigen Jahren aufgestellt und Nernst bei seinen tiefgründigen Arbeiten mit verwertet hat.

Heiße Fixsterne können als Gaskugeln betrachtet werden. Dann hat man damit zu rechnen, daß der Gasdruck der durch die Gravitation bedingten, allmählich erfolgenden Kontraktion entgegenwirkt. Eddington läßt nun als weiteres, der Gravitation entgegenwirkendes Moment den Lichtdruck auftreten, der, von dem sehr viel heißeren Innern ausgehend, die vom Mittelpunkte weit entfernten Schichten nach bekannten Gesetzen abstoßt. Die Rechnung ergibt, daß die abstoßende Wirkung

bei sehr großen Sternen im Verein mit dem Gasdruck die Attraktion überwiegt, sodaß ein Stern dieser Größe gar nicht mehr bestehen kann. Das überraschende, von Nernst weitgehend bestätigte Ergebnis der Eddingtonschen Theorie ist, daß, ganz im Einklange mit den Erfahrungen der Astronomen, Sterne von der Masse erheblich über 10^{34} g nicht mehr existenzfähig sind. Und noch etwas anderes Wichtiges lehrt Eddingtons Theorie, nämlich Druck und Temperatur für das Innere von Fixsternen zu berechnen. So ließ sich nunmehr die Erkenntnis gewinnen, daß im Innern, also in der Umgebung des Mittelpunktes unserer Fixsterne, Temperatur und Druck sich ziemlich konstant ergeben zu einigen Millionen Grad und zu einigen Millionen Atmosphären.

Wir wenden uns nunmehr noch den Nebelflecken zu, jenen Gebilden, deren Entfernung von unserem Planeten wir zu mehreren hundert Lichtjahren annehmen müssen. Hat Alles, was wir bisher miteinander am Sternenhimmel betrachten konnten, uns nur immer wieder gezeigt, daß unsere Elemente weit über die Temperatur des Lichtbogens hinaus keinerlei Umbildung erfahren, so lehrt uns die Erforschung der Nebelflecken zum ersten Male mit großer Wahrscheinlichkeit, daß hier Materie anzutreffen ist, mit der wir nicht vertraut sind. Wohl sehen wir im Nebelfleckenspektrum auf schwach erhelltem kontinuierlichem Untergrunde helle, uns wohlbekannte, dem Wasserstoff und dem Helium zugehörige Linien, aber wir finden außerdem meist sehr ausgeprägt Linien ($\lambda = 500,7, 495,9$ und $372,7$), die keinem irdischen Stoffe zu entstammen scheinen. Noch kann experimentell keine Entscheidung getroffen werden, ob das hypothetische „Asterium“ oder „Nebulium“ als Element anerkannt werden darf. Manche Forscher, u. a. Arrhenius und K. A. Hofmann, haben darauf hingewiesen, daß diese hypothetischen Stoffe an der Zusammensetzung der Nebelflecken verhältnismäßig stark beteiligt sein müssen, denn die Stärke der uns fremden Linien ist bedeutend. Von anderer Seite ist die Ansicht geäußert worden, daß jene Stoffe spezifisch leichte Gase seien, die auch in den äußersten Schichten der Erdatmosphäre vorkommen könnten, ohne daß es bis jetzt gelungen wäre sie nachzuweisen.

Lockyer hat den Nebelflecken höchste Temperaturen zugesprochen und angenommen, daß dort alle anderen Elemente bis auf „Asterium“, „Nebulium“, Helium und Wasserstoff aufgespalten seien und dieser letzte sich teilweise schon im Zerfall befände. Wäre diese Theorie haltbar, dann würden wir in den Nebelflecken die Urmaterie vor uns haben, durch deren Kondensation mit sinkender Temperatur die anderen Elemente sich bilden könnten. Aber — Lockyers Anschauungen, die also zur Voraussetzung haben, daß die Nebelflecken Stellen höchster Temperatur entsprechen, lassen sich nicht aufrecht erhalten. Wir schätzen auf Grund aller neueren Untersuchungen heute die Temperatur in den Nebelflecken sehr tief, etwa gleich der des Weltenraumes, und nehmen an, daß die Gasdichtigkeit über alle Vorstellungen gering ist. Demnach ist als Ursache der Lichterregung nicht hohe Temperatur, sondern Eindringen von elektrisch geladenen Staubteilchen und von Strahlen aus den Sternen in die dünnen sehr kalten Gase anzunehmen. An und für sich ist die Lichterregung sehr schwach infolge der starken Verdünnung, und sie kommt zur Sichtbarkeit nur dank der ungeheuer großen Tiefenerstreckung der leuchtenden Schichten, die viele Millionen von Kilometern betragen muß.

Wir stehen am Schlusse unserer Bemühungen. auf Grund der Spektraluntersuchungen eine bündige Antwort auf die gestellten Fragen zu erhalten. Das Ergebnis läßt sich in die wenigen Worte zusammenfassen dahin:

Wahrscheinlich haben wir als uns bisher nicht vertraut nur das Vorkommen von einem oder vielleicht zwei Elementen in den Nebelflecken anzunehmen. Sonst aber stellen wir mit K. A. Hofmann fest, daß die Materie auch auf den fernsten Weltkörpern aus den uns wohlbekannten irdischen Elementen besteht. und daß diese Stoffe unter den verschiedenartigsten Bedingungen von Druck und Temperatur, von elektrischer Spannung oder Entladung wenn nicht absolut, so doch während endlicher Zeiträume beständig sind.

Lassen Sie uns jetzt mit wenigen Worten der materiellen Sendboten aus fernen Welten gedenken. der Meteorite, jener

„Musterkarten der in allen möglichen Fernen des Weltenraumes gesammelten Materie“, wie K. A. Hofmann treffend sie bezeichnet. Sie geben uns ja auch, was die Spektralanalyse nicht gleich sicher gestattet, willkommenen Aufschluß über der Nichtmetalle Verbreitung in anderen Welten.

Die außerordentlich große Anzahl von Analysen derartiger Musterkarten hat zur Genüge dargetan, daß die Meteorite keine anderen als die auch auf unserem Planeten vorkommenden chemischen Elemente enthalten. Daraus hat man, unter der Annahme, daß die Meteorite wenigstens zum Teil fremden Sonnensystemen entstammen und nicht durchweg Bruchstücke unseres Sonnensystems darstellen, lange schon, bevor spektralanalytische Untersuchungen die Bestätigung erbrachten, geschlossen, daß alle Himmelskörper im wesentlichen aus den gleichen Stoffen bestehen wie unsere Erde oder auch wie unsere Sonne, aus deren Schoße einst ja die Erde geboren worden ist.

Ausgehend von der Anschauung, daß die Meteorite, wenn sie, wenigstens zum Teil, etwa aus Trümmern erloschener Sterne stammen, uns ein späteres Stadium des Abbaus der chemischen Elemente darstellen müßten, als wir es auf der Erde zu beobachten in der Lage sind, hat Nernst aufmerksam gemacht auf die auffallende Tatsache, daß in den Meteoriten die Elemente mit höherem Atomgewicht zu fehlen scheinen. Tatsächlich lehrt die daraufhin von Eggert ausgearbeitete Statistik das starke Überwiegen der Elemente mit niederem Atomgewicht. Als obere Grenze erscheint das Eisen, oberhalb dessen äußerst selten und immer nur in kleinen Mengen Zinn aufgefunden worden ist. Da immerhin denkbar ist, daß Elemente mit höherem Atomgewicht in den Meteoriten in zu geringer Menge vorliegen, als daß sie mit den gewöhnlichen analytischen Hilfsmitteln nachweisbar wären, wird die künftige Forschung auf solche Spuren von Elementen höheren Atomgewichts besonders sorgfältig zu achten haben.

Der Ansicht, daß die Meteorite an ihrem Gefüge erkennen lassen müßten, wenn sich in ihnen radioaktive Prozesse von ungeheuer langer Zeitdauer vollzogen haben sollten, stellt Nernst entgegen, daß die Meteorite auf ihren Bahnen durch

den Weltenraum leicht wiederholt sehr heiße Sterne kometenartig umkreist haben könnten; dann würde der damit verbundene Umschmelzungsprozeß ein derartiges Gefüge natürlich vernichtet haben. Und den Umstand, daß in der Sonne wie auf der Erde und auch in den Meteoriten Eisen den Hauptbestandteil zu bilden scheint, erklärt Nernst dahin, daß dieses Element eine ganz besonders große Lebensdauer besitzt, eine Art Ruhepunkt also im radioaktiven Abbau der Elemente bedeutet.

Gleichartig sind — das ist das Ergebnis aller unserer bisherigen Betrachtungen — ihrer chemischen Zusammensetzung nach alle die verschiedenen Himmelskörper des unendlichen Kosmos, soweit ihn der rastlose Menscheng Geist hat erforschen können. Als man noch an die Möglichkeit unzähliger chemischer Elemente glaubte, mochte ein solcher Befund überraschen. Uns, die wir der Elemente endliche, ganz begrenzte Anzahl erkannt haben, ist er verständlich.

Mit diesen Erörterungen haben wir zur Beantwortung unserer Fragen Alles erschöpft, was auf experimentell gesicherter Grundlage ruht. Ehe wir aber schließen, darf ich Sie bitten, mir noch ganz kurz Gehör zu schenken zur Behandlung einer rein theoretischen Frage, die mit unseren eigenen im engsten Zusammenhange steht. Nernst hat sie sich kürzlich gestellt und uns gelöst. Fragestellung und Beantwortung sind gleich geistreich und beanspruchen unser aller aufmerksamste und eindringendste Beachtung.

Die moderne Atomtheorie lehrt, daß im Innern des Atoms lebhaft Bewegungen auch noch beim absoluten Nullpunkte statthaben, daß also ein Teil der Masse auf Energieinhalt, auf Nullpunktsenergie beruht. Nernst macht die Annahme, daß die gesamte Materie aus Nullpunktsenergie besteht, zieht die weitere Folgerung, daß diese Energie sich im Gleichgewicht mit der Energie des Lichtäthers befindet, und stellt nunmehr die Hypothese auf, daß im Weltenraume durch gelegentliche Schwankungen des Energieinhalts des Lichtäthers Atome chemischer Elemente sich zu bilden vermögen, und daß in Fortsetzung des radioaktiven Abbaus die Atome che-

mischer Elemente, insbesondere die Endprodukte jenes Abbaus, Helium- und Wasserstoffatome, wieder in die Nullpunktsenergie des Lichtäthers sich zurückverwandeln können. „So hätten wir denn also im Weltall ein fortwährendes Kommen und Gehen der Materie anzunehmen.“

Daß die Bildung von Atomen chemischer Elemente nicht unmittelbar beobachtet werden kann, beruht nach Nernst einmal darauf, daß die Lebensdauer der meisten Elemente sehr viel größer sein muß als die Zerfallsdauer des Urans, also ungeheuer viel größer als tausend Jahrmillionen. Und zum anderen ist die Dichtigkeit der Materie in unserem Milchstraßensystem so groß, als ob etwa immer in hundert Litern ein Uranatom sich befände. „Um die Masse der Welt im Mittel konstant zu erhalten, brauchte sich in dem genannten Raume noch ganz ungeheuer viel seltener als einmal in tausend Jahrmillionen ein Uranatom zu bilden“.

Rückkehr von Materie in das Äthermeer beobachtet man im Prinzip bei jeder Ausstrahlung von Wärme, merklicher schon bei den radioaktiven Prozessen. Daß wir den Hauptverlust an Materie freilich, das Verschwinden eines Helium- oder Wasserstoffatoms, experimentell noch nicht haben fassen können, das erklärt sich wieder nur durch die ganz ungeheure Seltenheit dieses Vorgangs.

In den letztvergangenen Jahren haben wir gelernt, unsere Elemente alle nach der Zahl der Ladungen des Kerns, nach der Zahl also der umlaufenden Elektronen zu ordnen. Die Ordnungszahl des höchsten uns bekannten Elementes, des Urans, beträgt 92. Ob es Elemente mit noch höherer Ordnungszahl gibt, wissen wir nicht. Mit Nernst bezweifeln wir nicht, daß gerade solche Elemente oberhalb des Urans stark radioaktiv sein würden und aus diesem Grunde als größtenteils abgestorbene Elemente auf der Erde, zum mindesten an den uns zugänglichen Stellen, vielleicht nicht mehr aufzufinden sein dürften.

Im einzelnen führt Nernst seine Hypothese dahin aus, daß sich unmittelbar durch die Nullpunktsenergie des Lichtäthers fast oder ganz ausschließlich Elemente von sehr hoher Ordnungszahl und damit von sehr stark radioaktivem Charakter bilden, und daß sie in zahlreichen Stufen, also unter viel größerer als beim

Uran gemessener Wärmeentwicklung radioaktiv zerfallen. Und es gelingt ihm in der Tat, uns zu zeigen, daß er mit solchen Annahmen die Bildung der Fixsterne, ihr außerordentlich langes Leuchten und schließlich ihre fortwährende Neubildung einfach und anschaulich zu erklären vermag.

Im Sinne Nernsts entwickelt sich die Weltentheorie von Kant und Laplace nunmehr zu folgendem fesselnden Bild:

Die im Weltenraume, wenn auch ganz vereinzelt, neugebildeten Atome von Elementen sehr hoher Ordnungszahl vereinigen sich zunächst zu riesenhaft ausgedehnten kalten Nebelsternen, deren schwaches Leuchten durch radioaktive Ausstrahlung hervorgerufen wird. Bei ihrer stärkeren Verdichtung entsteht hohe Temperatur, die zu gewöhnlicher Lichtstrahlung führt, und durch weiter folgendes Zusammenballen bilden sich die heißen Zwergsterne, jene sonnenartigen Weltkörper mit gewaltigem Vorrat an radioaktiven Stoffen, der ihre hohe Temperatur und damit ihre Wärmestrahlung so lange aufrecht erhält. Allmählich erschöpft sich dieser Vorrat, die sehr lange Zeit ungefähr konstant gebliebene Temperatur beginnt zu sinken, und verhältnismäßig schnell geht der weiße Fixstern in einen gelben, dann in einen rötlichen Stern über, um schließlich zu erkalten. Der erkaltete Stern zerfällt nunmehr mit großer Langsamkeit weiterhin radioaktiv in ungeheuren Zeiträumen und verschwindet auf diese Weise gänzlich von der Bildfläche. Inzwischen aber bilden sich im Mittel ungefähr in der gleichen Anzahl aus den neu entstandenen radioaktiven Atomen neue Sterne. Wenn der radioaktive Abbau, wie es bei der Sonne der Fall ist, im wesentlichen erschöpft ist, dann müssen die gewöhnlichen chemischen Elemente immer in ungefähr konstantem Mengenverhältnis vorhanden sein, d. h. die im späteren Stadium befindlichen Sterne müssen nahezu gleiche chemische Zusammensetzung aufweisen. Und das ist, wie wir oben sahen, tatsächlich der Fall.

Nernsts geistvolle Auffassung läßt sich auch insofern an der Beobachtung prüfen, als seine Hypothese zu der Folgerung führt, daß diejenigen Sternzustände am Himmel besonders häufig vorkommen müssen, welche die längste Lebensdauer besitzen. also einerseits die hellsten, nahe der Höhe ihrer Entwick-

lung stehenden Sterne, andererseits die ganz oder fast ganz erloschenen. Für die erste Art trifft dies in auffälliger Weise zu. Die zweite Art können wir nicht sehen, doch wissen wir aus der astronomischen Literatur, daß die Gesamtmasse der erloschenen, schwach glühenden Sterne im Vergleiche zu der Masse der leuchtenden vielfach als nicht unbeträchtlich geschätzt wird.

Hochgeehrte Damen und Herren!

Was ich Ihnen vortragen durfte, ist in großen Zügen das Ergebnis moderner Forschungen auf dem so umfangreichen und so schönen Gebiete des Weltenraums und seiner Beziehungen zu den chemischen Elementen. Noch harren viele wichtige Fragen der Klärung. Aber wir dürfen vertrauen, daß der unendliche und unermüdliche Fleiß von Chemikern und Physikern dem Weltgebäude auch fernerhin arbeitsfreudigen Forschergeist entgegenbringen wird. Solche Bemühungen sind des Schweißes der Edelsten wahrlich wert: Jeder, der hier, sei es mit experimentell gesicherten, sei es mit theoretisch gründlich gefügten Arbeiten einen Schritt wirklich vorwärts kommt, wird wie kaum ein anderer Naturforscher tief und dankbar die Wahrheit jener treffenden Worte Goethes empfinden:

„ . . . Es ist ein groß Ergetzen,
„Sich in den Geist der Zeiten zu versetzen,
„Zu schauen, wie vor uns ein weiser Mann gedacht,
„Und wie wir's dann zuletzt so herrlich weit gebracht.“
Jena, im Mai 1924.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Sitzungsberichte der Physikalisch-Medizinischen Sozietät zu Erlangen](#)

Jahr/Year: 1922-1923

Band/Volume: [54-55](#)

Autor(en)/Author(s): Gutbier Alexander

Artikel/Article: [Die chemischen Elemente und der Weitenraum. 102-120](#)