

## Physikalisches Forschen und Denken

Beständigkeit und Wandel in den letzten 100 Jahren

von Professor Dr. Walther GERLACH, München

### I.

Betrachtet man die Entwicklung der Physik seit 1800, so fallen ausgesprochen fruchtbare Perioden auf, eine Häufung von Entdeckungen innerhalb weniger Jahre. Das 17. Jahrhundert hatte die neue Physik begründet - Namen wie Galilei, Kepler, Huygens, Newton sind mit entdeckten Erscheinungen, mit neuartigen Experimenten, mit der mathematischen Formulierung der Prinzipien bis heute verbunden.

Das folgende Jahrhundert bringt mit der neuen Infinitesimalrechnung den großen Aufschwung der mathematischen Physik. Erst mit der Jahrhundertwende setzt eine neue physikalische Forschung ein - 1800-1802 sind die Geburtsjahre der neuen Physik: Das Voltaelement und die Grunderscheinung dessen, was Ampere später elektrischen Strom benannte, sowie die Entdeckung der ultraroten und der ultravioletten Strahlen und damit der ersten mit unseren Sinnen nicht erkennbaren Erscheinungen; noch 20 Jahre später liest man von dem Aufsehen, den Zweifeln, dem Widerspruch und dem Beifall, welche diese Entdeckungen erregten; dann, das für die Entwicklung der Lichttheorie entscheidende Interferenzprinzip und die ersten gezielten Interferenzversuche, die nach schwerem Kampf zum Sieg der Lichtquellenhypothese über Newtons Vorstellung von "globuli of light" führte, und die Entdeckung der Linienspektren der mit Salz gefärbten Flammen. Nur wenige Jahre später wird der alte Atombegriff für die Chemie neu formuliert, zu seiner Ergänzung stellt Avogadro die später so wichtig gewordene Regel auf, daß alle Gase bei gleichem Volumen, Druck und Temperatur gleich viel Moleküle enthalten.

Und noch ein Ereignis besonderer Art fällt in diese Zeit:

1798 gelingt Cavendish die absolute Messung der bis dahin zwar allgemein geglaubten, aber nie bewiesenen Kraft, welche zwei Massen aufeinander ausüben, Newtons Gravitation.

Denken wir noch kurz an das Jahrzehnt hundert Jahre später: Wieder häufen sich große Entdeckungen in wenigen Jahren, Röntgens X Strahlen, die Radioaktivität und die Entdeckung radioaktiver Elemente, die Klärung der Kathodenstrahlen als bewegte Elektronen (wie wir heute sagen), die Vorstellung der "Ionisation" von Atomen. Wesentlich anders als 1800 gehören jetzt die Entdeckungen nach Methode und Problem zusammen; sie

verbinden sich mit der noch hypothetischen Elektronentheorie von Lorentz, deren erster großer Erfolg 1895 die Entdeckung des Zeeman-Effektes, einer optischen Erscheinung war. 1900 bringt Plancks Quantenhypothese, 1903 die Idee der spontanen Transmutation von Atomen beim radioaktiven Zerfall.

In diesen wenigen Jahren um 1900 beginnt die Erforschung der Struktur der Atome, in welcher das Wunderjahr der Physik 1932 als Abschluß und zugleich Anfang einer Entwicklung besondere Bedeutung hat, wieder in schneller Folge die Entdeckung des Positrons, des Neutrons, des Deuteriums, die erste künstliche Atomumwandlung, die Konstruktion des ersten Cyclotron in Kalifornien und die Vorstellung von Heisenberg und von Tamm und Ivanenko über den Aufbau aller Materie aus den Nukleonen Proton und Neutron. Unmittelbar darauf wird die künstliche Radioaktivität, die allgemeine Umwandelbarkeit der Elemente und vor allem die Verwandlung von Strahlungsenergie in Materie und die Verwandlung von Materie in Strahlung – die "Materialisation der Strahlung" und die Zerstrahlung der "Materie" - entdeckt, vielleicht der bis jetzt tiefste Einblick in das Innere der Natur, als Konsequenz von Quantentheorie und Relativitätstheorie gesucht und mit allen Einzelheiten im direkten Laboratoriumsexperiment geprüft.

### II.

Welche Rolle spielt aber das gerade ein Jahrhundert zurückliegende Jahrzehnt? Ich denke, man charakterisiert es richtig als die Periode, welche in die im Gang befindliche Entwicklung neue Vorstellungen, prinzipiell neue Ideen brachten, die der physikalischen Forschung den Weg bis zum Ende des Jahrhunderts wiesen und sie dann in die atomaren und subatomaren und in die stellaren Bereiche der Welt führte, zu den Problemen der Entstehung von Materie und des Werdens und Vergehens der Welt.

Zählen wir die Probleme zunächst auf.

1860 begründet Kirchhoff die Theorie der Strahlung heißer Körper, Bunsen und Kirchhoff die Spektralanalyse.

1861 führt James Clerk Maxwell die primitive physikalische Atomistik der Gase in die statische Atomistik über, die 1868 durch Ludwig Boltzmann entschieden verbessert wird.

1865 berechnet Josef Loschmidt die Größe der Atome und ihre Zahl in einer definierten Masse, die Loschmidtsche Zahl, die Grundkonstante aller quantitativer atomistischer Überlegungen.

1865 gibt Rudolf Clausius dem zweiten Hauptsatz der Thermodynamik die endgültige Form mit dem Entropiebegriff mit erkenntnis-theoretischen Konsequenzen, welchem Boltzmann durch die Formulierung des

Zusammenhangs von Entropie und Wahrscheinlichkeit überragende Bedeutung in der atomistischen Physik und dann für die ganze Naturwissenschaft gab.

1865 entwickelt Maxwell die elektromagnetische Lichttheorie und befreit die Physik von dem mechanistischen Denken.

1864 bis 1869 stellen Lothar Meyer und ganz besonders Dimitri Mendelejew das periodische System der Elemente auf.

Schließlich fällt in das letzte Jahr 1869 Wilhelm Hittorfs Entdeckung der Kathodenstrahlen, welche mit Ende des Jahrhunderts die weitere Entwicklung der Physik bestimmt.

Um das Bild der Zeit vollständig zu machen, sei hinzugefügt:

1865 die Mendelschen Gesetze der Vererbung, 1865 die Strukturformen des Benzols von August Kekule, 1867 die Aufstellung des dynamoelektrischen Prinzips durch Werner Siemens, welches 36 Jahre nach Faradays Entdeckung der elektromagnetischen Induktion die Elektrotechnik heranreifen ließ - gerade als Michael Faraday die Augen schloß. Schließlich sollten wir die Erfindungen mit dem Januskopf nennen: Dynamit und Eisenbeton, Telephon und Schreibmaschine, und auch der Ottosche Verbrennungsmotor von 1864 gehört dazu.

Abgesehen von den Kathodenstrahlen ist keine der großen Leistungen dieses Jahrzehnts die Entdeckung von "etwas Neuem" - so wie UV und UR oder Röntgenstrahlen oder radioaktive Elemente oder Neutron. Es sind Theorien, Hypothesen, neue Denkweisen. Es ist das Jahrzehnt des ersten großen Wandels im physikalischen Denken. Die Physik trat in diese Zeit ein mit der endgültigen Anerkennung von Robert Mayers Gesetz der Erhaltung der Energie, dem ersten und damals einzigen für alle Bereiche der Natur als universell gültig geforderten Gesetz. Die mathematische Physik, die Periode, welche in der Newtonschen Mechanik, in den Prinzipia philosophiae naturalis die Lösung aller Probleme suchte, klingt aus - die neue Zeit geht wieder wie einst Galilei von der Natur aus, in deren Erscheinungen sie nach Einsichten unabhängig von den durch die Mechanik und unsere Sinne gesetzten Grenzen sucht.

Der Versuch, die Entwicklungslinien darzulegen, welche von den neuen Prinzipien der 60er Jahre bis in unsere Zeit führen, geht für ein paar Jahrzehnte ganz gut - aber dann beginnt eine Schwierigkeit, welche sich zur Unmöglichkeit der Fortsetzung dieses Weges auswächst. Sie liegt - mit kurzen Worten gesagt - in der Strukturänderung, welche die Physik und mit ihr die ganze Naturwissenschaft in diesen 100 Jahren erfuhr. Ihr erstes Anzeichen ist die elektromagnetische Lichttheorie von 1865 - schon an der Bezeichnung erkennbar als eine Verbindung von den drei gänzlich

verschiedenen Phänomenen Elektrizität, Magnetismus und Optik. Die alte Einteilung der Physik in Mechanik, Akustik, Wärme, Optik, Magnetismus und Elektrizität - aus angeblich pädagogischen Gründen im Unterricht noch immer krampfhaft aufrecht erhalten - entspricht ebensowenig mehr der Erkenntnis wie etwa die Unterscheidung zwischen exakten und beschreibenden Naturwissenschaften, als deren Grenzfälle Physik und Chemie einerseits, das Problem des Lebens andererseits einst bezeichnet wurden.

Die fortschreitende Analyse und Differenzierung der Erscheinungen der Natur, diese von außen betrachtet oft beklagte, weil mißverständene Spezialisierung der Forschung, hat zur wachsenden Einsicht in die innere Verflochtenheit verschiedenster Erscheinungen geführt, durch Auffindung gemeinsamer Prinzipien, von übergeordneten Ordnungsgesetzen, für deren Verfeinerung, weitere Vertiefung oder auch Verwerfung nur eine fortschreitende spezialisierte Analyse die Argumente liefern kann. Der vielfach geordneten Ganzheitsbetrachtung von der Erscheinung her setzt die heutige Naturwissenschaft das Streben nach einer von den Elementarprozessen ausgehenden rationalen Synthese gegenüber.

So laufen die genannten Entwicklungslinien nur ein Stück des Weges isoliert, bis ihre Erkenntnisse deduktiv oder induktiv, auf Grund von Beobachtungsergebnissen oder von ihrer gedanklichen Ordnung her sich verbinden und gemeinsam neue Bereiche, neue Vorstellungen, neue Denkweisen erschließen.

### III.

Wir beginnen mit der zeitlich ersten Entwicklung, der Spektralanalyse. Es sind zwei Erscheinungen.

a) Das durch ein Prisma zerlegte Licht von gefärbten Bunsenflammen zeigt nicht wie das Sonnenlicht ein kontinuierliches Farbenband, sondern nur einige scharf begrenzte Farbstreifen, die Emissionslinien. Bunsen und Kirchhoff beweisen, daß das Auftreten bestimmter Emissionslinien absolut charakteristisch für das Metallatom des Salzes ist, welches die Bunsenflamme färbt.

Die Farben, die Emissions- oder Spektrallinien, werden in der Lichtwellenvorstellung durch ihre Wellenlänge oder ihre Frequenz definiert - nicht anders als die von den Radiosendern ausgestrahlten diskreten Wellen.

Die Folgerungen aus den Beobachtungen waren: Die Wellenlängen der Emissionslinien sind ein untrügliches, eindeutiges und hochempfindliches Nachweismittel für chemische Elemente: Als Problem für die weitere Forschung ergibt sich die Frage des

Zusammenhangs dieser spektralen Lichtemission mit der Natur des chemischen Elements.

- b) Die dunklen Linien, welche schon 1815 von Josef Fraunhofer im Newtonschen kontinuierlichen Spektrum der Sonne gefunden waren, können im Laboratorium erzeugt werden, wenn man Licht eines heißen Körpers durch Metaldämpfe hindurchgehen läßt. Diese absorbieren bestimmte Wellenlängen, und zwar gerade die, welche die gleichen chemischen Elemente in den heißen Flammen emittieren.

Die Fraunhoferschen Linien beruhen also auf der Absorption des Lichtes des Sonnenkernes in einer Gasatmosphäre um die Sonne; sie liefern die chemische Analyse der Sonnenatmosphäre.

Die Entdeckung war heuristisch äußerst fruchtbar; denn sie führte zu neuen Forschungsprogrammen. Es gelang sofort die Entdeckung einer ganzen Reihe noch unbekannter chemischer Elemente in irdischen Mineralien, als man diese in Flammen verdampfte, unter anderem Caesium, Rubidium, Thallium, Indium. Gerade diese wurden bald ausschlaggebend für das Lothar Meyer-Mendelejewsche Wagnis, trotz der noch lückenhaften Kenntnis der Elemente das periodische System aufzustellen. 1868 wurde im Sonnenspektrum eine Absorptionsspektrallinie gefunden, welche keinem irdischen Element zuzuordnen war; Lockyer meinte, es sei ein Sonnenelement und nannte es Helium; es wurde erst 1895 wieder mit der Spektralanalyse auf der Erde gefunden.

So ergab sich die Notwendigkeit, die Wellenlängen der Spektrallinien so genau als möglich zu bestimmen. Die Fortschritte der Spektroskopie der nächsten 5 Jahrzehnte sind an die Entwicklung neuer Methoden gebunden, die durchweg auf dem Interferenzprinzip von Young, zum Teil seiner Ausnutzung im Fraunhoferschen Beugungsgitter beruhen. Schon 1868 veröffentlicht Angström die ersten absoluten Wellenlängenmessungen - die Angströmeinheit heißt noch heute ihre Maßeinheit - 1882 erfindet Rowland die Konkavgittermethode, entwickelt Michelson sein Interferometer, dem viele andere folgten. Die Präzisionsphysik feierte ihre größten Triumphe: Die Wellenlängen der Spektrallinien können auf weniger als ein Billionstel cm mit einer relativen Genauigkeit von der Größenordnung Millionstel-Prozent gemessen werden - so, als ob man die Entfernung von der Spitze des Ulmer Münsters bis zum Stuttgarter Fernsehturm auf einen Millimeter genau messen würde.

In der Tat war die genaue Längenmessung mit Hilfe der Lichtwellen eine schon 1891 von Michelson gezogene Konsequenz dieser rein physikalischen Entwicklung. Jeder materielle Maßstab kann seine

Länge ändern. Eine Lichtwellenlänge, die ein Atom aussendet, ist nach allem was man heute weiß und vermuten könnte, ein unveränderliches Naturmaß. So wurde in jahrzehntelanger Arbeit das Pariser Urmeter in Wellenlängen geeicht. Schon lange kaufen Sie Ihren Stoff nicht mehr nach Metern, sondern nach Lichtwellenlängen - aber das merken Sie nicht und die genannte Genauigkeit wäre dafür ja sinnlos. Aber das ist keineswegs mehr der Fall, wenn es sich etwa um die Länge oder Dicke von Maschinenteilen handelt, die auf weniger als 10 000tel Millimeter passen und reproduzierbar herstellbar sein müssen.

So wichtig das kulturell ist - von größerer Bedeutung sind die Folgen für die Erkenntnis. Mit den Methoden der Wellenlängenmessungen, d.h. also mit Wellenlängen mißt man die Größe von Objekten, welche jenseits der Grenze der Sichtbarkeit im Mikroskop sind: Molekulare Dimensionen, die Abstände der Atome in einem Kristall oder die für die gesamte Biologie noch entscheidender sich erweisende Größe der Proteine und der Abstände der sie bildenden Molekülgruppen. Hierfür sind allerdings die Lichtquellen oft schon viel zu groß; dazu bedarf es der 10 000mal kürzeren Wellen des Röntgenlichts. Mit ihnen werden auch die für unsere Technik unentbehrlichen inneren Strukturen der Werkstoffe geklärt und geprüft; zugleich wird erkannt, daß der Aufbau, die Festigkeit der Materie, mechanisch nicht zu verstehen ist.

Die Verwendung der Geisslerschen Röhren und des elektrischen Lichtbogens zur Erzeugung der Spektren der Elemente, die Verwendung der Photographie - in die Naturwissenschaft gerade vor 100 Jahren eingeführt - für ihre Festlegung, die Erschließung des kurzwelligen Ultraviolett und des Ultrarot hatten eine - bei manchen Elementen unüberschaubar - große Zahl von Spektrallinien ergeben; aber daran, daß sie stets charakteristisch für jedes Element waren, änderte sich nichts.

Zwischen manchen Wellenlängen der Spektrallinien vieler Elemente - oder besser gesagt für die Schwingungszahlen der von ihnen dargestellten definierten Lichtwellen - fand man offensichtlich charakteristische Zahlenbeziehungen - vergleichbar und doch wieder ganz anders als die Zahlenverhältnisse bei Tönen - Obertöne, Differenz- und Summationstöne - mit ganz deutlichen, aber nicht deutbaren Zusammenhängen zu den chemischen Eigenschaften der leuchtenden Atome.

Das spektroskopische Problem wird zum Problem der Atomistik, seine Aufklärung muß die Atomstruktur liefern! Das war die Lage im Jahr 1912.

Eine ganz andere Spektralanalyse war in den 90er Jahren begonnen worden: Die experimentelle Ermittlung der sog. Kirchhoffschen Funktion auch aus dem Jahre 1860, die Verteilung der Strahlungsenergie im kontinuierlichen Spektrum eines heißen Körpers auf die verschiedenen

Farben, in Abhängigkeit von der Temperatur. Es war die physikalische Erforschung der qualitativen Erfahrung, daß feste Körper bei Temperaturen unter 530 Grad nur unsichtbares Ultrarot ausstrahlen, daß mit Steigerung der Temperatur rotes, dann gelbes usw. Licht dazu kommt, das was man qualitativ als Rotglut, Gelbglut, schließlich bei sehr hoher Temperatur als Weißglut sieht.

Es ergab sich, daß bis zu rund 3000 Grad der größte Teil der Energie als Ultrarot ausgestrahlt wird, nur ein kleiner Teil als sichtbares Licht - deshalb ist der Nutzeffekt der Glühbirne so klein, nur wenige Prozent der bezahlten elektrischen Energie erhalten wir als Licht zurück. Erst bei den fast 6000 Grad der Sonne liegt das Energiemaximum der Strahlung im sichtbaren, im Grün. Die Ermittlung dieser Energieverteilungsfunktion in den Spektren der Sterne lieferte so deren Temperatur, die zweite große astrophysikalische Bedeutung der Spektralanalyse.

Aber bei der theoretischen Erklärung mit den doch offenbar allein in Betracht kommenden Theorien der Wärme und der Strahlung kamen unerwartete Schwierigkeiten. 1900 fand Max Planck eine offenbar genaue richtige Formel, deren physikalische Begründung auf ein ganz neuartiges physikalisches Prinzip hinwies: eine Art Atomistik der Strahlungsenergie. Ihre Bedeutung konnte man ahnen, weil sie zu einer quantitativen Berechnung der materiell-atomistischen Grundgrößen aus Strahlungsmessungen und damit zur Verbindung mit der zweiten 1861 begonnenen Entwicklung führte, der physikalischen Atomistik.

#### IV.

Diese erhielt ihre im Grundsätzlichen schon endgültige physikalische Fassung 1861 durch James Clerk Maxwell. Die einige Jahre vorher von Krönig und Clausius begründete und mathematisch formulierte kinetische Gastheorie, nach der ein Gas aus frei hin und her fliegenden winzigen elastischen Kügelchen besteht, deren Bewegungsenergie ein Maß der Temperatur ist, führte zur Berechnung des Gasdruckes, zu den bekannten Gasgesetzen, zum Avogadro'schen Gesetz und zur Berechnung der Geschwindigkeit der Gasatome; vorausgesetzt waren nur die mechanischen Grundgesetze der Erhaltung des Impulses und der Energie. Abgesehen von der Abneigung der damaligen Physiker, eine so unbeobachtbare und undefinierbare Größe wie "ein Atom" anzunehmen (Faraday meinte z.B., es sei sehr leicht, von Atomen zu reden, aber sehr schwer

zu sagen, was sie sind), lag ein schwerer Einwand vor. Für die Geschwindigkeit, mit welcher die Atome im Gasraum hin- und herfliegen sollten, berechneten sich Werte von der Größenordnung 1 km pro Sekunde;

die Diffusion, d.h. die Durchmischung zweier Gase, also doch offensichtlich ein durch die Bewegung der Atome erfolgender Vorgang, lief aber sehr langsam ab.

Die nähere Überlegung zeigte, daß dieser Widerspruch gar nicht besteht, weil die Atome ja untereinander dauernd zusammenstoßen; zwischen zwei Zusammenstößen auf ihrer sog. "freien Weglänge" können sie schon die hohe Geschwindigkeit haben; aber wegen der vielen Zusammenstöße kommen sie nur sehr langsam in komplizierten Zickzackbewegungen über eine größere Strecke weiter. Maxwell dachte noch schärfer: Es kommt noch auf etwas ganz anderes an; wegen der Zusammenstöße können die Atome eines Gases gar nicht alle gleiche Geschwindigkeit haben. Je nach der Richtung, in welcher zwei Atome vor dem Zusammenstoß fliegen, wird nach dem Zusammenstoß das eine langsamer, das andere schneller, wie man es beim Billardspiel kennt. Nur die mittlere Bewegungsenergie bleibt konstant.

Maxwell löst das schwierige mathematische Problem der Berechnung der Geschwindigkeitsverteilung der Atome um diesen Mittelwert, Boltzmann gab dem berühmten Geschwindigkeitsverteilungsgesetz den endgültigen Beweis. Die statische Physik wird hier geboren.

Die Resonanz in der Physik war nicht gerade sehr groß. Aber auch die Chemiker, die ja seit 1808 den Atombegriff für ihre Reaktionen mit größtem Erfolg benutzten, waren sich über die Realität der Atome keineswegs so sicher, wie man heute oft meint. Schwierigkeiten machte der uns heute so selbstverständliche Begriff der chemischen Valenz, die 1,2 usw. Wertigkeit.

So unterscheidet Kekulé - welcher das die organische Chemie entscheidend gestaltende Benzolmodell erdachte - zwischen Atomizität als einer Fundamenteleigenschaft und Atomigkeit, welche die beim gleichen Atom wechselnde chemische Affinität enthält. Und deshalb erklärt er, daß er "nicht an die wirkliche Existenz von Atomen glaube. Größen wie Atomigkeit, Atomgewicht und andere der sogenannten Atome lassen vielmehr erwarten, daß der Fortschritt der Wissenschaft zu einer Theorie der Konstitution der chemischen Atome führen wird, wodurch allerdings in der Chemie nur sehr wenig geändert wird. Das chemische Atom wird immer die chemische Einheit bleiben." Etwas später drückt Helmholtz dieses in der ironischen Form aus: "den Chemikern sei eben doch nichts Besseres eingefallen als Atome."

Die Entscheidung für die Maxwell-Boltzmannsche klassische materielle Atomistik, brachte die quantitative Analyse einer Beobachtung des englischen Botanikers Robert Brown aus dem Jahr 1828, das heute "Brownsche Molekularbewegung" genannte Phänomen. Blütenstaub und Moossporen, im Wasser suspendiert, tanzen im Mikroskop dauernd hin und her. War damit das Urphänomen des Lebens entdeckt? Damit war man

damals schnell bei der Hand - auch in der Elektrizität vermuteten die Romantiker so etwas. Aber auch pulverisierter Granit einer ägyptischen Sphinx tanzte im Wasser!! Das war nichts für Physiker.

1363 - angeregt durch die physikalische Konsolidierung der Atomistik der Gase - greift Christian Wiener das Phänomen der Brownschen Bewegung auf, zeigt durch schöne Versuche, daß die dauernde Zitterbewegung aller Materie eigen und nicht auf irgendwelchen äußeren Einflüssen beruht. Aber erst nach fast 40jährigem Hin und Her, nachdem Brownsche Bewegung auch bei Staubteilchen in der Luft beobachtet wurde, gibt Exner 1900 die endgültige qualitative Erklärung: die Staubteilchen werden durch die statistisch verteilten Stöße der Moleküle in eine räumlich und zeitlich statistisch schwankende Bewegung versetzt: unsichtbare wird in sichtbare Bewegungsenergie, die schnelle Bewegung der leichten Atome wird in eine langsame Ortsverlagerung der schweren Staubteilchen transformiert, die Bewegungsenergie beider ist ganz gleich. Kurz darauf geben Smoluchowski und in endgültiger Form Einstein 1905 die quantitative statistische Theorie für die mittlere Ortsverlagerung (etwa je Sekunde) eines Staubteilchens durch die mit Molekulargeschwindigkeit nach dem Geschwindigkeitsverteilungsgesetz sich bewegenden Atome. Ihre beste Prüfung stammt von Kappler 1930: Die Analyse der spontanen Schwingungsschwankungen einer feinen Torsionswaage um ihre Ruhelage - eines an einem dünnen Quarzfaden hängenden leichten Balkens der wegen der statistisch verteilten Stöße der Luftmoleküle niemals ruhig hängt - führt zur Präzisionsbestimmung der Loschmidtschen Zahl.

Schon 1910 war kein Zweifel an dem atomistischen Aufbau der Materie und der Richtigkeit der Theorie mehr berechtigt. Sie lieferte quantitativ alle mechanischen Eigenschaften der Gase, die Wärmegrößen der **10**Materie und war mit der bald darauf entwickelten Analyse der Materie mit Röntgenstrahlen quantitativ in Übereinstimmung. Aber die Fundamentalgrößen der Theorie, die Geschwindigkeit der Atome und **Ihre** Geschwindigkeitsverteilung um den von der Temperatur gegebenen Mittelwert, die großen Stoßzahlen und die kleinen freien Weglängen waren streng genommen Hypothesen. Die Physik muß aber an dem Grundsatz festhalten, daß der Nachweis der Konsequenzen einer Annahme den direkten experimentellen Beweis derselben nicht ersetzen kann. Es war ähnlich, wie wir in der Einleitung bei der Gravitation, der allgemeinen Massenanziehung sagten: kein Mensch konnte an ihr zweifeln, aber erst Cavendish maß die Kraft zwischen zwei Massen im Laboratorium.

Erst seit 1920 gelang auch die direkte Messung dieser atomistischen Grundgrößen mit der Methode der Atom- oder Molekularstrahlen.

Darunter versteht man die aus einer kleinen Öffnung eines, Gas- oder Metaldampf enthaltenden Gefäßes in einen hochevakuierten Raum austretenden und diesen geradlinig durchlaufenden Atome - mit den Geschwindigkeiten, welche sie vorher im Dampfgefäß hatten. Einen solchen Atomstrahl kann man natürlich nicht sehen, aber man kann seine Flugrichtung z.B. dadurch nachweisen, daß man ihn auf ein Glasplättchen fallen läßt, auf dem die Atome sich niederschlagen, auf «einer Fläche, die dem Querschnitt des Atomstrahls entspricht.

Mit rein mechanischen Mitteln wurden ihre Fluggeschwindigkeiten und deren Verteilung um den Mittelweg gemessen, im Princip nicht anders als die von Flintenkugeln; und wie diese - horizontal abgeschossen - wegen der Erdanziehung die Galileische Parabelbahn ausführen, so verließen auch die Atome ihre horizontale Richtung:

Sie fallen im Schwerfeld der Erde mit der gleichen Beschleunigung wie alle anderen Körper; der horizontal gerichtete Atomstrahl schlägt sich nicht auf der Stelle des Auffangplättchens nieder, die seinem Anfangsort horizontal gegenüberliegt, sondern auf einer etwas tiefer liegenden Stelle.

Hierzu sei eine vielleicht für manchen erstaunliche Zwischenbemerkung gemacht. Erst jetzt, vor etwa 30 Jahren, war bewiesen, warum unsere Atmosphäre und ihr Druckabfall mit der Höhe existiert. Auf ein Gasmolekül wirkt die Schwerkraft, es fällt also, und die ganze Atmosphäre müßte sich längst auf der Erdoberfläche niedergeschlagen haben. Aber das Molekül hat auch eine von der Temperatur abhängige Bewegungsenergie und mit dieser kann es gegen die Schwerkraft Arbeit leisten, also steigen und zwar umso höher, je größer die Bewegungsenergie ist. Da diese nach dem Geschwindigkeitsverteilungsgesetz den Mittelwert (den die Temperatur liefert) wesentlich übersteigen kann, so werden die schnellsten Molekel am höchsten kommen - und in der Tat liefert die empirisch gefundene Höhenabnahme des Barometerdrucks oder der Luftdichte ganz direkt das Maxwell- Boltzmannsche Geschwindigkeitsverteilungsgesetz. Mit der Methode der Atomstrahlen war es möglich, auch die Wirkung anderer Kräfte auf freiliegende Atome zu messen, etwa in magnetischen oder elektrischen Feldern; sie hat bis heute für atomare Messungen größte Bedeutung. Eine auch im Wunderjahr 1932 gemachte Entdeckung von Robert Otto Frisch sei erwähnt. Bringt man die Atome eines Atomstrahles zum Leuchten, so verbreitert er sich. Jedes strahlende Atom erfährt nämlich einen Rückstoß, der ihm eine zur Flugrichtung senkrechte Komponente gibt. Ihre Größe stimmt quantitativ mit dem Rückstoß überein, welchen ein Lichtquant in extrem atomistischer Betrachtung auf ein strahlendes Atom ausüben muß. Aber damit sind wir schon in eine andere Entwicklungslinie eingebrochen.

Schließlich sei erwähnt, daß die Messungen der Geschwindigkeitsverteilung in einem Atomstrahl das zwar nicht gerade bequemste, aber genaueste Verfahren ist, Temperaturen über etwa 2000 Grad zu messen.

So besteht die klassische Atomtheorie heute noch mit ihrem vollen Wert zurecht, in den Jahrzehnten, in denen nur noch von der völligen Auflösung der Atome gesprochen zu werden pflegt. Sie besteht zurecht - und damit machen wir eine weit über den speziellen Fall, eine für alle Naturwissenschaft gültige Aussage - sie besteht zurecht da, wo die Bedingungen bestehen, für welche sie als gültig erkannt, physikalisch bewiesen ist. Diese können wir hier sehr universell präzisieren: Die Energie, welcher die Atome unterliegen, z.B. die Temperatur, muß sehr klein sein gegenüber der Energie, welche zur irreversiblen Aufspaltung der Atome in seine Bestandteile erforderlich ist. Die Eigenschaft der Atome aber zu verstehen - warum und welche Strahlung sie aussenden können, warum die physikalischen und chemischen Eigenschaften der Materie so verschieden sein können - das verlangt die Kenntnis des Aufbaues der Atome.

#### V.

Der Weg, der zu dieser Aufspaltung der Atome und damit letzten lides zur Analyse der Atomstruktur führte, beginnt 1869 mit Hittorfs Entdeckung der Kathodenstrahlen. Er fand sie bei Versuchen mit Geissleröhren: Das charakteristische farbige Leuchten beim Durchgang eines hochgespannten elektrischen Stromes durch Gase hört auf, wenn der Gasdruck sehr klein wurde, aber es blieb ein "Glimmstrahl" - so sagte Hittorf -, welcher sich magnetisch ablenken ließ, als ob er ein elektrischer Strom sei; er schloß, daß Phänomen der Elektrizität an sich vor sich zu haben. Während in den folgenden 20 Jahren Wiedemann und Hertz glaubten beweisen zu können, daß die Kathodenstrahlen nichts mit Elektrizität zu tun haben - "so wenig wie das Licht einer Glühbirne eine elektrische Erscheinung sei", meinte Hertz - während Helmholtz sie als die lange gesuchten longitudinalen Ätherschwingungen und Lennard ihre magnetische Ablenkung als Folge einer magnetischen Polarisierung des Äthers deutete, wagte 1897 J.J.Thomson die Aussage: Kathodenstrahlen sind sehr schnelle, mit bis zu ein Drittel Lichtgeschwindigkeit fliegende negativ elektrische Teilchen mit einer Masse von etwa ein 2000tel der Masse des Wasserstoffatoms; er nannte sie Corpuscle, wir sagen heute Elektron. Da er gleiche Eigenschaften für die von belichteten Metallen (d.h. als Photoeffekt) und von glühenden Metallen fortgehenden Ladungen fand, sollte ein "Corpuscle" ein abtrennbarer Bestandteil aller Atome sein. Die Feststellung soll mit großer Heiterkeit quittiert worden sein!

Noch ehe die Klärung erfolgt war, entdeckte bei solchen Versuchen Wilhelm Conrad Röntgen die X-Strahlung. Neu gegenüber allen anderen Agentien der Physik war ihre große Durchdringungsfähigkeit und die bald darauf gefundene hohe elektrische Leitfähigkeit, welche sie in Gasen erzeugten. Ihre Natur blieb 17 Jahre unbekannt.

Über den schnellen Erfolgen der Röntgenstrahlen in der Medizin vergißt man leicht eine sofortige Bedeutung für die Physik - wenn man diese nicht darin sehen will, daß Röntgens Entdeckung in die etwas steril gewordene Physik neues Leben brachte: es gab eben doch noch unentdeckte Bereiche der Natur, worauf man damals nicht mehr hoffte. Ihre erst große Bedeutung für die Physik war sekundärer Art. Die Überführung eines elektrisch isolierenden Gases bei normalem Druck in einen Zustand hoher elektrischer Leitfähigkeit, welche Thomson Ionisation taufte, ließ diesen Zustand analysieren. Er beruht auf der Trennung von Atomen in positiv und negativ elektrisch geladene Teilchen gleicher Zahl. Beider elektrische Ladung hat immer dieselbe Größe; noch allgemeiner: wo auch immer elektrische Ladungen auftraten, wie sie auch erzeugt wurden, immer sind sie ganzzahlige Vielfache einer Einheitsladung. Das negative Ladungsteilchen erwies sich als identisch mit dem Kathodenstrahlteilchen, dem Elektron.

Auf der Erforschung der Ionisation beruht die Entdeckung der elektrischen Atomistik: alle elektrischen Erscheinungen beruhen auf der Existenz eines unveränderlichen Ladungsatoms; es ist das einzige Elementarteilchen der Materie, das sich bis heute als unzerlegbar erwiesen hat. Dazu kam ein zweites. Wenn Wasserstoffatome ionisiert werden, so wird jedes in ein solches negatives Elektron und ein positives elektrisches Masseteilchen zerlegt, das sich ebenfalls nicht weiter zerlegen läßt; man nennt das Wasserstoffion heute das Proton.

Die wegen ihrer methodischen Folgen wohl wichtigste Entdeckung machte C. T. R. Willson: Man kann die Ionisation grob sichtbar machen, weil sie zur Bildung von Nebel führt, wenn das Gas bei der Ionisation ein wenig mit Wasserdampf übersättigt ist. Die Ionen erwiesen sich als Kondensationskerne für Wasserdampf oder umgekehrt: Eine Nebelbildung zeigt die Anwesenheit von Ionen an. Es ist das für die Physik und besonders für ihre heutige Entwicklung so typische Vorgehen: Ein Effekt, hier die Nebelbildung durch Ionen, wird zur Methode für neues Forschen nach dem Auftreten von Ionen.

Das Verfahren einen mit Wasserdampf ein wenig übersättigten Raum für den Ionennachweis herzustellen, nennt man die Wilsonsche Nebelkammermethode.

Entstehen viele Ionen in einem kleinen Volumbereich, so entstehen viele Nebeltröpfchen, welche sich zu dickeren mit geringer Vergrößerung

sichtbaren Nebeltropfen zusammenlagern. Es sollte sich bald zeigen, daß hierbei die Methode gefunden war, Vorgänge der Mikrophysik in den makroskopischen Bereich zu transformieren und Vorgänge, die in äußerst kurzen Zeiten abgelaufen sind, wegen der relativen Beständigkeit von Wassertröpfchen für eine genügend lange Beobachtungszeit zu konservieren.

Diese neue Methode soll uns als Wegweiser für die Entdeckung der Konstitution der Atome bis zu der der Elementarteilchen führen.

Eine unmittelbare Folge von Röntgens Entdeckung ist Becquerels Entdeckung eines neuen Phänomens, der Radioaktivität. In der Umgehung von manchen natürlichen Erzen, z.B. von Uran, von Thorium ist die Luft mehr oder weniger ionisiert. Mit unendlicher Mühe suchte das physikalisch-chemische Ehepaar Curie nach Spuren unbekannter Stoffe, welche die ionisierende Strahlung liefern. Alle nur möglichen chemischen Analyseverfahren wurden verwendet; ob die anfangs unwägbar Mengen sich dabei anreicherten oder ausschieden, wurde aus der Zunahme oder Abnahme der Ionisation beurteilt - es ist die heute so wichtige Arbeitsmethode mit unwägbar aber strahlenden Substanzen, welche z.B. die gesamte biochemische Forschung bestimmt, nachdem Hans Geiger die berühmte Zählrohrmethode entwickelt hatte, welche geringste Spuren von Ionisation, also auch von strahlenden Substanzen nachweisen läßt.

Im Lauf von 15 Jahren wurden neue Atomsorten isoliert und die Radioaktivität als eine "spontane Umwandlung" von diesen Atomen - Radium, Polonium, Actinium usw. - in andere Atomsorten z.B. in normales Blei erkannt. Sie besteht z.B. darin, daß ein solches Atom kleine Teile seiner Atommasse mit sehr großer Energie ausschleudert, welche die Luft ionisieren; man nannte sie  $\alpha$ -Strahlen, chemisch waren sie positiv elektrisch geladene Atome des Edelgases Helium.

Zu der Erkenntnis, daß das Elektron ein abtrennbarer Bestandteil aller Atome ist, kommt die zweite, daß auch die Masse der Atome aus kleinen Bestandteilen zusammengesetzt ist. Sie führte zum berühmten Rutherford'schen Atommodell: ein sehr kleiner Massenkern aus elementaren elektrisch positiven Masseteilchen zusammengesetzt, umgeben von einer lockeren Wolke elementarer negativer Elektrizitätsteilchen, den Elektronen. Als man nun radioaktive, ionisierende Strahlen durch die Nebenkammer laufen ließ, trat nicht eine Nebelwolke, sondern eine Reihe scharfer, zentimeterlanger Nebelstriche auf.

Man "sah" die Bahnen der Atombruchstücke, weil sie genügend Energie hatten auf einem langen Weg die Gasatome der Nebelkammer zu ionisieren, und an den Ionen sich der Wasserdampf kondensierte.

Aber dann kamen neue, höchst aufregende Beobachtungen: Manchmal hörte eine solche Bahn nach kurzer Laufstrecke plötzlich auf, von ihrem Endpunkt gingen neue, mehrere Bahnen aus. Das energiereiche Bahnteilchen hatte offenbar bei einem Zusammenstoß mit einem Atom neue ionisierende Teilchenstrahlen erzeugt. Nun kam es darauf an, solche Vorgänge häufiger zu machen, als sie mit den natürlichen radioaktiven Strahlen beobachtet wurden. Man lernte elementare Bausteine von Atomen von sehr hoher Bewegungsenergie in großer Menge künstlich zu erzeugen. Wir sprachen schon von der Zerlegung von Wasserstoffatomen in negative Elektronen und positive Protonen.

Um ihnen sehr hohe Bewegungsenergie zu erteilen, muß man sie durch elektrische Kraft beschleunigen. Hierzu dienen die so viel besprochenen großen Maschinen, die physikalischen Fabrikanlagen, mit welchen Protonen oder Elektronen so beschleunigt werden, als ob Spannungen von Milliarden Volt gewirkt hätten, bis sie fast Lichtgeschwindigkeit haben. Diese zerlegen alle Materie nicht nur in die vermuteten Bestandteile Proton und Neutron; bei der Zertrümmerung der Massenkern der Atome treten ganz neue Phänomene auf, die sog. Mesonen, die Dutzende von verschiedenen Elementarteilchen: Alles einfach und sicher erkennbar an den von ihnen erzeugten Nebelbahnen.

Die Hoffnung, ein alle Atommassen bildendes "Uratom" zu finden, ist endgültig begraben. Mit Hilfe von Teilchen ungeheurer Energie ergeben sich völlig andersartige Fragen für das Problem der Materie - und der Welt; denn solche Teilchen sind in der Welt, in der sogenannten kosmischen Strahlung, vorhanden.

## VI.

Gehen wir ein letztes Mal zurück in das Jahr 1865, als James Clerk Maxwell die Elektromagnetische Lichttheorie veröffentlichte, die Krönung seiner theoretischen Arbeiten, welche er zur mathematischen Fassung der neuen Faradayschen Vorstellungen über elektrische und magnetische "Felder" unternommen hatte. Faraday hatte die bestehende Fernwirkungstheorie aufgegeben: Magnetische und elektrische Kräfte wirken nicht frei durch den Raum; sie werden mit Hilfe des Raumes, infolge einer Veränderung desselben übertragen, welche er "Felder" nannte und mit den bekannten Kraftlinien symbolisierte. Die elektrischen und magnetischen Wechselwirkungen in der Faradayschen elektro-magnetischen Induktion führt Maxwell zu der Hypothese, daß es transversale elektromagnetische Wellen geben muß, in dem ein periodisch wechselndes elektrisches Feld zu einem wechselnden magnetischen Feld führt, dieses wieder zu einem wechselnden elektrischen Feld usw., deren Richtungen stets senkrecht zueinander stehen. Nun stellt Maxwell die Hypothese auf, daß auch die

Lichtwellen im Raum fortschreitende periodische Wechselfelder gleicher Art und keine elastischen Schwingungen sind. Diese Hypothese sollte die trotz erheblicher gedanklicher Schwierigkeiten noch allgemein gültige Annahme, daß Licht eine transversale elastisch-mechanische Schwingung des Äthers sei, ersetzen.

Maxwells Versuch stellt so etwas völlig Neues in der Physik dar:

Das Aufgeben der Vorstellung, daß alles eine mechanische Erklärung finden kann, die zu suchen die Aufgabe der Physik sei. Neu war auch eine Theorie, welche nicht bekannte Erscheinungen ordnete, sondern die Existenz von unbekanntem Phänomenen in quantitativer Fassung voraussagte; aus solchem Denken entwickelte sich die moderne theoretische Physik.

Nach zwanzig Jahren waren alle Konsequenzen der elektromagnetischen Lichttheorie bestätigt.

"War es ein Gott, der diese Zeichen schrieb" zitierte Boltzmann in seiner Begeisterung bei der ersten zusammenfassenden Darstellung von Maxwells Werk.

Die weitestgehende Forderung, die Existenz der elektro-magnetischen, von einem hin- und hergehenden elektrischen Funken ausgestrahlten Wellen zu realisieren, gelang 1887/88 Heinrich Hertz. Mit der Entdeckung der "Wellen elektrischer Kraft" bewies Heinrich Hertz in umfassenden Versuchen, daß diese nicht nur alle für Maxwells Theorie erforderlichen Eigenschaften, sondern auch alle Eigenschaften der Lichtstrahlen haben - Geschwindigkeit, Brechung, Reflektion, Beugung, Interferenz und Polarisation. Am wichtigsten ist der erstmalige voraussetzungslose experimentelle Nachweis, daß die Wellen sich als transversale Schwingungen fortpflanzen; Wellen mit periodischen Änderungen des elektrischen Feldes in einer Ebene, senkrecht dazu gleichperiodische Wellen des magnetischen Feldes, beide um  $1/4$  Wellenlänge in der Phase verschoben, werden direkt mit elektrischen bzw. magnetischen Anzeigeverfahren gemessen.

Für die Optik lieferte die elektromagnetische Lichttheorie die noch fehlenden Teile der Fresnelschen Formel für Reflektion und Brechung, und das Verstehen einiger optischer Eigenschaften der Materie wie z.B. die anomale Dispersion durch Kombination der elektromagnetischen Lichttheorie mit der atomistischen Lorentzschen Elektronentheorie der Materie - eine erste Kombination optischer und atomistischer Prinzipien.

So versteht man, daß Planck diese 1911 als "einen der stolzesten Erfolge der Physik überhaupt" bezeichnete und davor warnte, sie anzutasten, als die Konsequenzen seiner eigenen Hypothese des Wirkungselementes und der universellen Wirkungskonstanten ihr schon einen Platz im Austragsstüberl der Physik bereitet hatten.

## VII.

Denn seit 1900 hatte die elektromagnetische Lichttheorie viermal versagt. Das erstemal war es die Unmöglichkeit, die Eigenschaften der Strahlung erhitzter fester Körper abzuleiten.

Das zweite war der Widerspruch zum Energiesatz bei der elektromagnetischen Erklärung des Photoeffekts, der Auslösung von Elektronen durch Licht.

Das dritte war die Unmöglichkeit, das so einleuchtende Rutherford'sche Atommodell zu verstehen.

Das vierte schließlich war die Ergebnislosigkeit aller Versuche, die Linienspektren der Elemente als elektromagnetische Strahlung der Atome darzustellen.

In allen vier, so verschiedenartige Probleme betreffenden Fragen war es das gleiche neuartige Naturprinzip, welches die Schwierigkeiten beseitigte; wir nennen es heute das Quantenprinzip oder die Atomistik der Energie. Mit ihm vereinigen sich die bis dahin ziemlich getrennt laufenden Entwicklungslinien der Strahlung, der Spektralanalyse, der materiellen und der elektrischen Atomistik; es mag beachtenswert sein, daß das Gesetz der Erhaltung der Energie die unantastbare Leitlinie blieb. Betrachten wir kurz die vier Fälle.

1. Wir sagten schon, daß die experimentell gemessene Verteilung der Strahlungsenergie eines erhitzten Körpers auf die verschiedenen Wellenlängen oder Farbbereiche des Spektrums mit den Theorien der Wärme und der elektromagnetischen Strahlung nicht deutbar war. Planck erkannte 1900, daß nur eine neue Vorstellung über die Strahlung, nämlich die Verwendung des Leitgedankens der Boltzmann'schen Atomistik zum vollen Erfolg führe.

Wie bei der statistischen Verteilung der thermischen Energie eines Gases auf die Atome, so ist die Strahlungsenergie in einem Hohlraum auf atomistische Energieelemente verteilt. Die kontinuierliche Strahlungsverteilung wird in eine atomistische Aufteilung umgeändert. Die Intensität der Strahlung einer bestimmten Frequenz liefert nicht die klassisch definierte Schwingungsenergie, sondern die Anzahl der Energieelemente dieser Frequenz. Ihre absolute Größe ist das Produkt der Frequenz mit einer offensichtlich universellen Naturkonstanten, dem Planckschen Wirkungsquantum, aus dem sich wie wir schon sagten, die atomaren Grundkonstanten ergaben.

2. 1905 sieht Einstein, daß die experimentellen Erfahrungen über eine Wirkung des Lichtes, nämlich die Auslösung von Elektronen bei Bestrahlung von Metallen, den sog. Photoeffekt, bei elektromagnetischer Deutung im Widerspruch zum Energiesatz stehen. Dieser verschwindet bei



einer Verallgemeinerung der Planckschen Strahlungshypothese: Das Elektron wird nicht durch eine elektromagnetische Schwingung in Bewegung gesetzt, allmählich aufgeschaukelt, bis es sich schließlich aus seiner Bindung an die Materie lösen kann; es wird vielmehr gewissermaßen mechanisch abgeschlagen, wenn das Plancksche Energieelement der betreffenden Strahlung genügend groß ist, um die Bindungskraft des Elektrons an die Materie zu überwinden; d.h. wenn nach der Planckschen Hypothese die Frequenz des Lichtes genügend groß ist. In der Tat wird das Elektron mit umso größerer Bewegungsenergie die Materie verlassen, je höher die Frequenz des auslösenden Lichtes ist. Ist diese zu niedrig - z.B. rotes oder gelbes Licht -, so wird überhaupt kein Elektron freigesetzt. Das Energieelement hat für die Wechselwirkung mit dem Elektron die Eigenschaft eines Teilchens, d.h. Energie und Impuls; Einstein nannte es das Photon.

Zahlenmäßig ergab sich nun, daß alle spezifische Wirkung einer Strahlung auf Materie, der erwähnte Photoeffekt oder die Ionisation der Gase durch Röntgenstrahlen, die Fluoreszenz und die chemischen Reaktionen durch Licht wie die Photographie oder das Wachsen der Pflanzen oder die Röntgenstrahlungsschädigung aller Art auf der quantenhaften Struktur der Strahlung beruhen.

Kehrt man diese Überlegung um, so heißt es, daß die Aussendung einer Spektrallinie von einem Atom besteht in der Abgabe eines Photons, eines Strahlungsenergiequants, offensichtlich auf Grund einer quantenhaften Struktur des Atoms.

Damit sind wir bei Punkt

3. Daß ein Atom aus einem positiven Massekern und einer sehr dünnen Atmosphäre von negativen Elektronen besteht, ist - ohne es jetzt begründen zu wollen - vielfach experimentell gesichert und dennoch nach den alten Prinzipien der Physik unmöglich. Die elektrischen Kräfte würden Kern und Elektron zu einer geschlossenen Masse zusammenziehen; der Ausweg, die Elektronen könnten den Kern nach mechanischen Gesetzen umkreisen wie die Planeten die Sonne, die ja auch nicht in dieser Zusammenstürzen, führt zum Widerspruch mit Maxwells elektromagnetischer Theorie.

Die Unlösbarkeit dieser Schwierigkeit verbindet 1913 Niels Bohr mit Punkt

4. der Entstehung der Linienspektren der Atome. Wenn die Strahlung eines Atoms, was ja Abgabe von Energie bedeutet, in der Abgabe von Photonen, von Energieelementen besteht, deren Größe durch ihre Frequenz und die Plancksche Konstante gegeben ist, so muß auch der Aufbau des Atoms durch die Plancksche Konstante gegeben sein, durch eine Größe, welche - wie Bohr sagt - sowohl der Mechanik als auch dem Elektromagnetismus fremd ist.

Sie ist so in eine Theorie des Atoms einzuführen, daß sowohl die Stabilität des Atoms als auch die nur quantenhaften Änderungen bei Abgabe und Aufnahme, bei Emission und Absorption von Strahlungsenergie gegeben ist. Die Unterschiede in der Struktur von verschiedenen Atomarten, welche sich in den verschiedenen Spektrallinien, d.h. in verschiedenen Photonen zeigen, müssen durch spezielle Größen des Atoms gegeben sein, von welchen die Größe der quantenhaften Änderungen der Energie abhängt. Die endgültige Lösung auf Grund der

Bohrschen Prinzipien ist die Sommerfeldsche Theorie von "Atombau Und Spektrallinien".

Die Erfolge, etwa das generelle Verstehen der allgemeinen chemischen Atomistik und auch die vielen neuen Probleme, die großartigen Erfolge und alle die Schwierigkeiten, vor denen heute diese Quantenphysik steht, liegen außerhalb unserer dem Rückblick gewidmeten Betrachtung.

So sei nur eine sich aufdrängende Bemerkung allgemeiner Art angefügt. Als Maxwell seine elektromagnetische Lichttheorie entwickelte, hatte er gesehen, daß die mechanische Äthertheorie des Lichtes nicht durchführbar war und eine der Mechanik fremde Größe, die Schwingungsausbreitung elektrischer und magnetischer Felder eingeführt. Die Unmöglichkeit, mit der elektromagnetischen Theorie zum Verständnis des elektrischen Stromes, selbst und der elektrischen Ladung zu kommen, hatte er mit der rhetorischen Frage nach der Existenz von unveränderlichen "Molekülen der Elektrizität", also durch die Annahme einer dieser Theorie fremden Größe, der Zukunft überlassen. - Thomson und besonders Rutherford sahen sich gezwungen, die der bestehenden Atomistik fremde, gar widersprechende Annahme der Unterteilbarkeit, gar der Verwandelbarkeit von Atomen anzunehmen. Die Einführung der, der Mechanik und dem Elektromagnetismus fremden Größe, des Wirkungsquantums, führte Bohr zum Erfolg; durch dem herrschenden Denken fremde Vorstellungen haben Einstein, de Broglie, Born, Heisenberg u.a. der Physik neue Wege der Erkenntnis erschlossen.

Das unterscheidet das letzte Jahrhundert von dem vorhergehenden:

Das Zurückfinden zu Galileis Freiheit des Denkens über verborgene Phänomene als Ursachen der sinnlich in Erscheinung tretenden, das Durchdenken, die Ausarbeitung neuartiger Vorstellungen bis zu dem Stadium der experimentellen Entscheidbarkeit - anstelle des letztlich unfruchtbaren Systemdenkens der Descartesschen mathematischen Physik. Denn nur das erstere erweitert die Grenzen der Erkenntnis.

Georg Christoph Lichtenberg konnte kaum ahnen, wie richtig seine Prophezeiung vor 150 Jahren war: was heute die Grenze der Erkenntnis ist, ist morgen ihre Mitte.