



Die Atomtheorie  
(von E. Schrödinger).

Die Atomtheorie hat ein merkwürdiges Schicksal gehabt. Zuerst wurde von Leukipp und Demokrit im 5. Jahrhundert vor unserer Zeitrechnung der Gedanke gefaßt - und erstaunlich detailliert durchgeführt - daß alle Materie aus kleinsten unveränderlichen Partikeln aufgebaut sei, Partikeln von vielen Sorten, die oft mit ineinandergreifenden Häkchen verkettet sind, in anderen Fällen wirr durcheinanderfliegen, einander stoßen, aneinander abprallen und so die bunte Mannigfaltigkeit der Erscheinungen erzeugen, unter denen uns die Materie erscheint. Der Gedanke wurde in den folgenden Jahrhunderten wohl von einzelnen Nachfolgern aufgegriffen - die bekanntesten Namen sind Epikur und Lukrez - deren Philosophien aber, dem Zeitgeist entsprechend, sich mit naturwissenschaftlichen Dingen nur nebenher befaßten, das Hauptinteresse lag auf der Ethik und etwa Metaphysik. Dem Epikur diente die Physik, d.h. die verständliche, mehr oder weniger richtige Erklärung der Naturerscheinungen, als eines der Mittel um dem Kreis seiner Jünger eine gewisse Gemütsruhe und Unbeirrtheit den wechselvollen Ereignissen des Lebens gegenüber aufzuprägen, was er für das Allerwichtigste hielt. Dem Lukretius Carus war besonders darum zu tun, den Menschen die Furcht vor dem Fortleben nach dem Tode zu benehmen, d.h. sie zu überzeugen, daß es für einen jeden mit seinem Tode wirklich Schluß sei. Uns Westlichen klingt das bizarr; uns schaudert eher vor dem Auslöschen, wie das der große ehrliche Denker Unamuno mit/erschütternder Offenheit bekannt hat in seinem Buch "Del sentimiento tragico de la vida". In den fernöstlichen philosophischen und religiösen Systemen war und ist es freilich anders, Fast umgekehrt - wenigstens in den meisten und verbreitetsten Formen. Gefürchtet wird die Befangenheit in dem nicht enden wollenden Kreis von Wiedergeburten, erstrebt wird die endliche Erlösung von der Wiedergeburt. -

Indem nun in den Jahrhunderten nach Demokrit, vor wie nach dem Beginn unserer Zeitrechnung, die Philosophie ihr vorzüglichstes Interesse den Fragen des menschlichen Schicksals und der menschlichen Lebensführung zuwandte (Stoa, Christentum, später Islam), trat das Interesse an den Naturwissenschaften immer mehr und mehr zurück, und die primitive Atomlehre des großen Abderiten geriet in Vergessenheit. Spielte sie doch damals weder in der Medizin noch in der Astronomie

irgendwelche Rolle, welche beide dem allgemeinen Verfall der Naturwissenschaften allerdings entgingen, jene wegen ihres höchst realen, diese wegen ihres fälschlich vermuteten Einflusses auf das Menschenschicksal.

Erst kurz nach dem Wiedererwachen der Naturwissenschaft um die Wende des 16. und 17. Jahrhunderts, entdeckte Pierre Gassendi (geb. 1592) die Demokrit'sche Lehre in den erhaltenen Schriften des Epikur und trat für sie ein. Newton und viele andere akzeptierten sie grundsätzlich. Aber zur quantitativen Deutung beobachtbarer Tatsachen gelangte sie erst um die Wende des 18. Jahrhunderts durch John Dalton (1766 - 1844) in der Chemie, was viele heute noch glauben macht, bei den Atomen und Molekülen handle es sich um wesentlich chemische Begriffe, die aus der Chemie entspringen und womöglich von Dalton erst erfunden worden seien. Von der wahren Größe und Masse dieser kleinsten Teilchen oder ihrer Anzahl in einem wägbaren Stück Materie hatte man aber damals noch keine entfernte Ahnung, auch der mit Recht berühmte italienische Chemiker Avogadro (1776 - 1856) nicht. Denn die erste richtige Abschätzung dieser Größe wurde erst 1865 von dem Wiener Physiker Josef Loschmidt (1821 - 1895) gegeben. So war der Weg geöffnet für das große Lebenswerk von Willard Gibbs (1839 - 1903) und Ludwig Boltzmann (1844 - 1906), welcher letzterer, ebenfalls Physikprofessor in Wien, mit seiner statistischen Deutung der Entropie und damit des einseitigen Ablaufs alles Naturgeschehens unserem ganzen materiellen Weltbild ein völlig neues Aussehen und eine tiefere Bedeutung gegeben hat. Einmal erkannt, ist Boltzmann's Anschauung ewig unveräußerliches Gedankengut. Auch daß sie irgendwie auf Abzählung diskreter Elemente sich gründen muß, ist ziemlich klar; ob es gerade Atome oder Korpuskeln sein müssen, darüber wird vielleicht erst die Zukunft entscheiden. Es setzt nämlich jetzt (etwa um 1900) ein höchst eigenartiger Prozeß ein, den zu schildern auf diesem kurzen Raum mein eigentliches Anliegen ist. Einerseits wird - naiv gesprochen - die wirkliche Existenz dieser kleinsten Teilchen zur unmittelbar wahrgenommenen Gewißheit: man kann sie zählen als Lichtblitze auf einem geeignet präparierten Auffängerschirmchen, als hörbares klick-klack in einer anderen Versuchsanordnung; Man kann ihre Bahnpuren sehen und photographieren auf viele Weisen. Wollte ich all dies im einzelnen besprechen, es wäre kein Ende. Die Evidenz war so schlagend und so vielfältig, daß sie selbst den großen Ernst Mach (1838 - 1916) in den letzten Jahren seines Lebens von seinem Widerwillen gegen die Atomistik wenigstens zur Hälfte zurückbrachte.

Andererseits wurde durch die große Entdeckung Max Planck's die Quantentheorie (1900), eine Krise angebahnt, die in der ersten Hälfte des zwanzigsten Jahrhunderts nur so allmählich sich vertiefte - überdies verdeckt durch die großen Erfolge der Quantentheorie auf fast allen Gebieten der Physik - daß heute zwar alle die Krise fühlen und zugeben, aber nur sehr wenige eine Krise des Partikelbegriffs d.i. der Atomtheorie sehen wollen. Der Ablauf war verwickelt, keineswegs "geradlinig", und ist schwer in Kürze zu beschreiben.

Die Quantentheorie dehnt den Atomismus auf die Energie aus: auch die Energie soll aus kleinen endlichen Energie-Portionen bestehen, deren Größe von der Frequenz  $f$  der betreffenden Energieform abhängt.

$$\text{Energiequant} = hf, \quad (1)$$

wobei  $h$  eine Naturkonstante, das Planck'sche Wirkungsquantum, ist. (Nicht jeder Energieform läßt sich wie der Wärmestrahlung, um die es sich zunächst handelte, eine bestimmte Frequenz  $f$  zuschreiben, z.B. der potentiellen Energie eines gehobenen Gewichtes nicht; aber das ist keine ernste Schwierigkeit, wir kümmern uns vorerst nicht darum.) Wenige Jahre später (1905) beweist Einstein aus wenigen, kaum bestreitbaren Grundsätzen die Äquivalenz von Energie und Masse: jede Energie hat Masse, jede Masse ist Energie, die beiden sind fast dasselbe, nur in anderen Einheiten gemessen, u.zw. ist

$$e = mc^2 \quad (2)$$

( $e = \text{Energie}$ ,  $m = \frac{\text{Masse}}{c}$ ,  $c = \text{Lichtgeschwindigkeit im Vakuum}$ ).

Das hat für unseren Gegenstand zwei wichtige Folgen. Erstens muß man jetzt in den kleinsten Masseteilchen auch Energieportionen sehen; die Atomistik wird von der Quantentheorie umfaßt oder, wenn Sie wollen, Demokrit war eigentlich der erste Quantentheoretiker. Zweitens, wenn Sie (1) und (2) verbinden

$$mc^2 = hf \quad \text{oder} \quad f = \frac{mc^2}{h}, \quad (3)$$

so muß zu jeder Elementarmasse  $m$  einer Partikel eine bestimmte Frequenz  $f$  gehören, die sich aus ihr, der Lichtgeschwindigkeit  $c$  und der Planck'schen Konstante  $h$  berechnen läßt. (Wenn die Partikel nicht ruht sondern sich bewegt, dann bekommt sie auch noch Bewegungsenergie; in Glng. (2) wächst  $e$ , daher auch  $m$ , und nach (3) auch die der bewegten Partikel zuzuordnende Frequenz  $f$ .)

Die zweite Folgerung wurde erst merkwürdig spät, nämlich 1924 von dem französischen Physiker de Broglie gezogen. Es war der erste Schritt zur Wellentheorie der Materie; denn wo anders als in Wellen

sollte diese Frequenz (3) ihren Sitz haben? Schon sehr bald darauf wurde de Broglies kühner Schritt experimentell bestätigt, die vorerst hypothetischen Wellen wurden durch Interferenzerscheinungen an Kathodenstrahlen zweifelsfrei nachgewiesen (Davissou & Germer), G.P. Thomson). Etwa zu derselben Zeit (1926) gelang es mir, die de Broglie'sche Theorie zu verfeinern und ausserordentlich stark zu erweitern. Es würde den Rahmen dieser kurzen Note sprengen, wollte ich von den zahllosen experimentellen Bestätigungen reden, welche diese neue Wellentheorie der Materie von de Broglie und mir erfahren hat. Allein, wie ich oben ausführte, wurde ja gerade in denselben Tagen - eigentlich Jahrzehnten - die Korpuskeltheorie der Materie immer aufs Neue ad oculos bestätigt.

Und so türmte und türmte sich die beklemmende Frage: ja kann denn ein Ding sowohl eine Korpuskel als auch eine Welle sein? Es sind Ausdeutungen, um nicht zu sagen Ausflüchte, erfunden worden, von denen ich hier nicht sprechen will, weil ich sie für abwegig halte. Meine Antwort ist: Nein. Meines Erachtens ist schon in den thermodynamischen Problemen, von denen Planck den Ausgang nahm, die Quantisierung oder "Portionierung" der Energie nicht ernst zu nehmen, sondern bloß als ein bequemer Denkbehelf. Hingegen schein mir - unwidersprochen - festzustehen, daß die Elementarteilchen selbst Energie = (oder Masse =)portionen von ebenderselben Art sind; folglich auch nicht ganz wirklich, sondern bequeme, fast unentbehrliche Denkbehelfe. Ich glaube wir langen damit auf dem Standpunkt an, den Ernst Mach (1838 - 1916) in seinem letzten Lebensjahre der Atomistik gegenüber bezogen hat und den ich oben so kennzeichnete, daß er angesichts schlagender Gegenbeweise seinen Widerwillen gegen die Atomistik "wenigstens zur Hälfte" zurückzog.

Ich glaube, sein Genius hatte Recht mit dieser Zurückhaltung. Er wußte noch nichts von der Wellentheorie der Materie, von Heisenberg's "Unbestimmtheitsrelation" und von vielem anderen. Er ist heute 40 Jahre tot. Könnte er von der heutigen Situation Kenntnis nehmen, so würde er wohl sagen: ein Elementarteilchen, dem man niemals zugleich einen bestimmten Ort und eine bestimmte Geschwindigkeit, folglich auch keine bestimmte Bahn zuschreiben darf, ist etwas nie zuvor ins Auge gefaßtes; ich sehe wohl, daß ihr zu diesen Annahmen gezwungen seid, aber sie bestätigen weit eher mein Mißtrauen zu eurer alten Atomtheorie als eure Zuversicht.