

DIE NATURWISSENSCHAFTEN

21. Jahrgang

31. März 1933

Heft 13

Licht und Leben¹.

Von NIELS BOHR, Kopenhagen.

Als Physiker, dessen Arbeit sich auf die Erforschung der Eigenschaften der leblosen Materie beschränkt, habe ich nur mit großem Bedenken die freundliche Aufforderung angenommen, vor dieser Versammlung von Wissenschaftlern, die sich hier zur Förderung unserer Kenntnis über die heilbringende Wirkung des Lichtes vereinigt haben, zu sprechen. Außerstande, zu diesem für das Wohl der Menschheit so bedeutungsvollen Zweige der Wissenschaft einen Beitrag zu liefern, müßte ich mich jedenfalls darauf beschränken, einige Bemerkungen über die rein unorganischen Lichtphänomene zu machen, die zu allen Zeiten die besondere Aufmerksamkeit der Physiker auf sich gezogen haben, nicht zuletzt deshalb, weil das Licht unser wichtigstes Beobachtungsmittel ist. Indessen habe ich gedacht, daß es bei dieser Gelegenheit vielleicht von Interesse sein könnte, in Verbindung mit einigen solchen Bemerkungen auf das Problem einzugehen, welche Bedeutung die auf dem engeren Gebiet der Physik erreichten Resultate für unsere Anschauung über die Stellung der lebenden Organismen in dem Gebäude der Naturwissenschaften haben dürften. Trotz der Unerschöpflichkeit der Lebensrätsel hat sich diese Frage in jeder Entwicklungsstufe der Wissenschaft erhoben, da ja eine wissenschaftliche Erklärung ihrem Wesen nach in der Zurückführung verwickelterer Sachverhalte auf einfachere besteht. Im Augenblick hat indessen die alte Frage neues Interesse erhalten durch die unerwartete Belehrung über die Begrenztheit der mechanischen Naturbeschreibung, die uns die jüngste Entwicklung der Atomtheorie gegeben hat. Die erste Erkenntnis dieser Begrenzung wurde eben durch die nähere Untersuchung der Wechselwirkung zwischen Licht und materiellen Körpern gewonnen, die gewisse Züge bei den Lichtphänomenen offenbart hat, welche mit den bisher an eine physikalische Erklärung gestellten Forderungen unvereinbar sind. Wie ich versuchen werde zu zeigen, ähneln die Bestrebungen der Physiker, diese Situation zu meistern, in gewisser Weise der Einstellung, die die Biologen — mehr oder weniger intuitiv — gegenüber den Fragen des

Lebens eingenommen haben. Doch möchte ich gleich betonen, daß das Licht, das wohl das einfachste aller physikalischen Phänomene ist, nur in dieser rein formalen Hinsicht eine Analogie zum Leben darbietet, dessen Mannigfaltigkeit ja weit über den Bereich wissenschaftlicher Forschung hinausgeht.

Vom physikalischen Standpunkt aus können die Lichterscheinungen als Übertragung von Energie zwischen räumlich getrennten materiellen Körpern bezeichnet werden. Bekanntlich findet eine solche Energieübertragung eine einfache Erklärung in der elektromagnetischen Theorie, die als eine sinngemäße Erweiterung der klassischen Mechanik betrachtet werden kann, geeignet den Gegensatz zwischen Fern- und Nahwirkungen zu beseitigen. Nach dieser Theorie wird das Licht durch gekoppelte elektrische und magnetische Schwingungen beschrieben, die sich von gewöhnlichen elektromagnetischen Wellen, wie sie in der Radioübertragung benutzt werden, nur durch ihre größere Schwingungsfrequenz und kleinere Wellenlänge unterscheiden. Die praktisch geradlinige Fortpflanzung des Lichtes, auf der unsere Bestimmung der relativen Lage der Körper beim direkten Sehen oder bei Benutzung optischer Instrumente beruht, ist in der Tat nur durch die im Verhältnis zu den Dimensionen der betrachteten Körper und der Instrumente sehr kleine Größe der Wellenlänge bedingt. Indessen bildet die Vorstellung von der Wellennatur des Lichtes nicht allein unsere Grundlage für die Erklärung der Farbphänomene, die in der Spektroskopie so wertvolle Aufschlüsse über den inneren Aufbau der Stoffe gegeben haben, sondern sie spielt auch eine wesentliche Rolle in jeder feineren Analyse optischer Phänomene. Als typisches Beispiel brauche ich nur die sog. Interferenzfiguren zu nennen, die auftreten, wenn Licht ein und derselben Lichtquelle auf zwei verschiedenen Wegen einen weißen Schirm erreichen kann. In diesem Fall beobachten wir, daß die Wirkungen, die jedes Lichtbündel für sich hervorbringen würde, an solchen Stellen des Schirmes verstärkt werden, wo die beiden Wellenzüge gleiche Phase haben, d. h. wo die elektrischen und die magnetischen Schwingungen in den beiden Bündeln dieselben Richtungen haben, während die Wirkungen geschwächt werden oder sogar vollständig verschwinden können an den Stellen, an denen die Schwingungen entgegengesetzte Richtungen haben oder wo die Wellenzüge, wie man sagt, außer Phase sind. Diese Interferenzfiguren ermöglichen eine so ein-

¹ Vortrag, gehalten bei der Eröffnungssitzung des II. Internationalen Kongresses für Lichttherapie in Kopenhagen am 15. August 1932 und in dem Kongreßbericht in englischer Sprache veröffentlicht. Vorliegende deutsche Fassung wurde nach der von der englischen durch einige rein formale Änderungen abweichenden dänischen Ausgabe des Vortrags (Naturens Verden, XVII, 49) von Frau HERTHA KOPFERMANN übersetzt.

gehende Prüfung der Wellennatur der Lichtfortpflanzung, daß diese Vorstellung keineswegs als eine Hypothese in des Wortes gewöhnlicher Bedeutung zu betrachten ist, sondern als ein unentbehrliches Mittel zur Beschreibung der betrachteten Phänomene.

Wie wir alle wissen, ist trotzdem die Diskussion über die Natur des Lichtes in den letzten Jahren erneut aufgenommen worden auf Grund der Entdeckung eines eigentümlichen atomistischen Zuges in dem Mechanismus der Energieübertragung, welcher vom Standpunkt der elektromagnetischen Theorie aus ganz unverständlich ist. Es hat sich nämlich gezeigt, daß jede Energieübertragung durch Licht von individuellen Prozessen herrührt, bei denen jeweils ein sog. Lichtquant ausgetauscht wird, dessen Energie gleich dem Produkt der Frequenz der elektromagnetischen Schwingungen und der PLANCKSchen Konstante, dem sog. universellen Wirkungsquantum, ist. Der schroffe Gegensatz zwischen der Individualität der Lichtprozesse und der von der elektromagnetischen Theorie geforderten Kontinuität der Energieübertragung stellt uns vor ein Dilemma von einer Art, wie es bisher in der Physik unbekannt war. Trotz der offensichtlichen Unzulänglichkeit der Wellenvorstellung kann es sich nämlich nicht darum handeln, sie durch ein anderes, auf gewöhnlichen mechanischen Vorstellungen beruhendes Bild zu ersetzen. Es muß besonders betont werden, daß die Einführung des Lichtquantenbegriffes keineswegs eine Rückkehr zu der alten Vorstellung von materiellen Teilchen mit wohldefinierten Bahnen als Träger der Lichtenergie bedeutet. Bei allen Lichtphänomenen, für deren Beschreibung das Wellenbild eine entscheidende Rolle spielt, gilt nämlich, daß jeder Versuch, die einzelnen Bahnen der Lichtquanten zu verfolgen, das Phänomen selbst, um dessen Analyse es sich handelt, zerstört; in ganz ähnlicher Weise, wie eine Interferenzfigur verschwinden würde, wenn wir, um sicherzustellen, daß die Lichtenergie sich nur auf einem der beiden Wege von der Lichtquelle zum Schirm fortpflanzt, eins der Lichtbündel mit einem undurchsichtigen Körper abschneiden würden. Die Kontinuität der Lichtfortpflanzung in Zeit und Raum einerseits und der atomare Charakter der Lichtwirkungen andererseits müssen daher als komplementäre Seiten ein und derselben Sache aufgefaßt werden, in dem Sinn, daß jede für sich wichtige Züge der Lichtphänomene zum Ausdruck bringt, die, selbst wenn sie vom Standpunkt der Mechanik aus unvereinbar sind, niemals in direkten Gegensatz kommen können, da eine eingehendere Analyse des einen oder anderen Zuges auf Grund mechanischer Vorstellungen verschiedene sich gegenseitig ausschließende Versuchsanordnungen erfordert. Gleichzeitig zwingt uns eben diese Situation, auf die Durchführung einer Kausalbeschreibung der Lichtphänomene zu verzichten und uns mit Wahrscheinlichkeitsberechnungen zu begnügen, die auf der Tatsache beruhen, daß die

elektromagnetische Beschreibung der Energieübertragung durch Licht im statistischen Sinn gültig bleibt. Bei solchen Berechnungen haben wir es mit einer typischen Anwendung des sog. Korrespondenzargumentes zu tun, das ein Ausdruck für unsere Bestrebungen ist, bei passend eingeschränkter Benutzung mechanischer und elektromagnetischer Vorstellungen eine statistische Beschreibung der atomaren Phänomene zu erhalten, die sich als eine rationale Verallgemeinerung der klassischen physikalischen Theorien darstellt, obwohl das Wirkungsquantum vom Standpunkt dieser Theorien aus als eine Irrationalität betrachtet werden muß.

Im ersten Augenblick mag die hier geschilderte Situation vielleicht sehr unbefriedigend erscheinen; aber es ist hier, wie es so oft in der Geschichte der Wissenschaft gewesen ist, wenn neue Entdeckungen eine fundamentale Begrenzung von Gesichtspunkten offenbart haben, deren allgemeine Gültigkeit bislang für unumstößlich gehalten wurde: wir gewinnen einen weiteren Ausblick und die Fähigkeit, in erhöhtem Maße Beziehungen selbst zwischen solchen Phänomenen nachzuspüren, die vorher sogar als unvereinbar erscheinen konnten. Gerade die durch das Wirkungsquantum symbolisierte eigenartige Begrenzung der klassischen Mechanik hat uns auf diese Weise einen Schlüssel zum Verständnis der den Atomen eigentümlichen Stabilität gegeben, die als wesentliche Voraussetzung in die mechanische Beschreibung jedes Naturphänomens eingeht. Wohl ist die Erkenntnis, daß die Unteilbarkeit der Atome nicht mit mechanischen Begriffen erklärt werden kann, immer ein Kennzeichen der Atomtheorie gewesen; und dieser Sachverhalt ist nicht wesentlich verändert, wenn auch die Entwicklung der Physik die unteilbaren Atome durch die elektrischen Elementarteilchen, die Elektronen und Atomkerne, ersetzt hat, aus denen nach der augenblicklichen Anschauung sowohl die Atome der Elemente als auch die Moleküle der chemischen Verbindungen bestehen. Was ich im Sinne hatte, war jedoch nicht das Problem der Stabilität dieser Elementarteilchen selbst, sondern die Frage nach der geforderten Stabilität der aus diesen Partikeln aufgebauten Systeme. Die Möglichkeit einer kontinuierlichen Energieübertragung, die sowohl die klassische Mechanik wie die elektromagnetische Theorie kennzeichnet, ist nämlich ihrem Wesen nach unvereinbar mit einer Erklärung der den Elementen und Verbindungen charakteristischen Eigenschaften; ja die klassischen Theorien erlauben uns nicht einmal, die Existenz von festen Körpern zu erklären, auf der letzten Endes alle Messungen beruhen, die die Einordnung der Phänomene in Raum und Zeit bezwecken. Im Anschluß an die Entdeckung des Wirkungsquantums hat man indessen erkannt, daß jede Energieveränderung eines Atoms oder Moleküls als ein Elementarprozeß betrachtet werden muß, bei dem das Atom bzw. das Molekül von einem der für das betref-

fende System charakteristischen sog. stationären Zustände zu einem anderen übergeht. Da bei einem Übergangsprozeß, durch welchen Licht vom Atom emittiert oder absorbiert wird, gerade ein einzelnes Lichtquant entsteht oder verschwindet, sind wir ferner mit Hilfe spektroskopischer Beobachtungen in der Lage, direkt die Energie jedes dieser stationären Zustände zu messen. Die Aufschlüsse, die wir auf diese Weise erhalten, sind in sehr lehrreicher Weise durch die Untersuchung der Energieübertragung bei Atomzusammenstößen und bei chemischen Reaktionen gestützt worden.

In den letzten Jahren hat eine außerordentliche Entwicklung der Atomtheorie stattgefunden, und wir besitzen jetzt so vollkommene Methoden zur Berechnung sowohl der Energiewerte der stationären Zustände der Atome wie der Wahrscheinlichkeiten der Übergangsprozesse, daß die Erklärung der Atomeigenschaften im Sinne des Korrespondenzargumentes, was Umfang und inneren Zusammenhang betrifft, kaum hinter der Erklärung der astronomischen Erfahrungen durch die NEWTONSche Mechanik zurücksteht. Wenn auch die rationale Behandlung der Probleme der Atommechanik nur durch die Einführung neuer symbolischer Hilfsmittel möglich gewesen ist, so ist doch die allgemeine Belehrung, die wir durch die Analyse der Lichterscheinungen erhalten haben, immer bestimmend für unsere Stellung zu dieser Entwicklung. So besteht ein Komplementaritätsverhältnis zwischen jedem eindeutigen Gebrauch des Begriffes des stationären Zustandes und einer mechanischen Analyse der Bewegungen der Teilchen innerhalb der Atome, das ganz dem beschriebenen Verhalten zwischen Lichtquanten und elektromagnetischer Strahlungstheorie entspricht. Jeder Versuch, den Verlauf eines Übergangsprozesses im einzelnen zu verfolgen, würde nämlich einen unkontrollierbaren Energieaustausch zwischen Atom und Meßinstrument mit sich bringen, der gerade die Energieübertragung, die wir untersuchen wollten, vollständig zerstören würde. Eine Kausalbeschreibung im klassischen Sinne kann nur in solchen Fällen durchgeführt werden, wo die in Frage kommende Wirkung groß ist im Verhältnis zum Wirkungsquantum und wo daher die Phänomene unterteilt werden können, ohne wesentlich gestört zu werden. Wenn diese Bedingung nicht erfüllt ist, können wir von der Wechselwirkung zwischen Meßinstrument und Untersuchungsobjekt nicht absehen und müssen vor allem berücksichtigen, daß die verschiedenen Messungen, die für eine mechanische Beschreibung der Phänomene erforderlich wären, nur durch sich gegenseitig ausschließende Versuchsanordnungen zu gewinnen sind. Um diese prinzipielle Begrenzung der mechanischen Analyse ganz zu verstehen, muß man sich auch klar machen, daß es bei einer physikalischen Messung niemals möglich ist, die Wechselwirkung zwischen dem Objekt und den Meßinstrumenten direkt in Betracht zu ziehen; in

ihrer Eigenschaft als Beobachtungsmittel können nämlich die Instrumente selbst nicht gleichzeitig mit in die Untersuchung einbezogen werden. Ebenso wie der Begriff der Relativität auf die grundsätzliche Abhängigkeit der physikalischen Phänomene von dem Bezugssystem, das für ihre Einordnung in Raum und Zeit benutzt wird, hinweist, so dient der Begriff der Komplementarität als Symbol für die in der Atomphysik auftretende fundamentale Begrenzung unserer gewohnten Vorstellung einer von den Beobachtungsmitteln unabhängigen Existenz der Phänomene.

Diese Revision der Grundlagen der Mechanik, die sogar die Frage einbezieht, was wir überhaupt unter einer physikalischen Erklärung verstehen können, ist jedoch nicht nur für die Klärung der Situation innerhalb der Atomtheorie entscheidend gewesen, sondern hat auch einen neuen Rahmen für die Diskussion über die Stellung der Physik zu den Problemen der Biologie geschaffen. Das bedeutet jedoch keineswegs, daß wir bei den eigentlichen Atomphänomenen ein Verhalten finden, das den Eigenschaften der lebenden Organismen ähnlicher ist als die gewöhnlichen physikalischen Erscheinungen. Im ersten Augenblick könnte es sogar so scheinen, als ob der prinzipiell statistische Charakter der Atommechanik schwer in Einklang zu bringen wäre mit der wunderbar feinen Organisation, die wir bei jedem Lebewesen antreffen und wo in einem winzigen Keim schon alle typischen Eigenschaften des Geschlechts festgelegt sind. Wir dürfen jedoch nicht vergessen, daß die eigentümlichen Gesetzmäßigkeiten der Atomprozesse, die sich einer mechanischen Kausalbeschreibung entziehen und nur mit der komplementären Beschreibungsweise erfaßt werden können, für ein Verständnis des Mechanismus der lebenden Wesen mindestens ebenso wichtig sind wie für eine Erklärung der spezifischen Eigenschaften der unorganischen Stoffe. So haben wir es bei der Kohlenstoffassimilation der Pflanzen, von der auch die Ernährung der Tiere weitgehend abhängt, mit einem Phänomen zu tun, zu dessen Verständnis die Individualität der photochemischen Prozesse ganz offenkundig notwendig ist. Ferner tritt die unmechanische Stabilität der Atomstrukturen unverkennbar bei den charakteristischen Eigenschaften so komplizierter chemischer Verbindungen wie Chlorophyll oder Hämoglobin zutage, die eine wichtige Rolle bei der Assimilation der Pflanzen und der Respiration der Tiere spielen. Ebenso wie der alte Vergleich des Lebens mit dem Feuer, können jedoch Analogien aus dem Erfahrungsbereich der Chemie zu keinem befriedigenderen Verständnis der lebenden Organismen führen als etwa die oft gezogenen Vergleiche mit rein mechanischen Modellen wie einem Uhrwerk. Die Erklärung der Eigentümlichkeiten der Lebewesen kann sicher nur in ihrer besonderen Organisation gesucht werden, in der typisch atomistische Züge mit mechanisch beschreibbaren Zügen in einem Grade miteinander

verwoben sind, der kein Seitenstück in der unorganischen Welt hat.

Eine interessante Belehrung darüber, wie fein diese Organisation beschaffen ist, haben wir durch die Erforschung des Aufbaues und der Funktion des Auges erhalten, wofür wiederum die Einfachheit der Lichtphänomene sehr fördernd gewesen ist. Ich brauche in dieser Versammlung nicht auf Einzelheiten einzugehen; ich möchte nur daran erinnern, wie uns die Ophthalmologie über die idealen Eigenschaften des menschlichen Auges als optisches Instrument unterrichtet hat. Die Größe der Interferenzfiguren, die als Folge des Wellencharakters des Lichtes der Bildentstehung im Auge Grenzen setzen, fällt ja annähernd mit der Größe der Netzhautteilchen, die getrennte Nervenbahnen zum Gehirn haben, zusammen. Da ferner die Absorption von ganz wenigen Lichtquanten, vielleicht sogar von einem einzigen Lichtquant, durch ein solches Netzhautelement hinreicht, um einen Gesichtseindruck hervorzubringen, so muß man überdies sagen, daß die Empfindlichkeit des Auges die absolute Grenze erreicht, die durch den atomistischen Charakter der Lichtphänomene gesetzt ist. Hinsichtlich dieser beiden Eigenschaften erreicht das Auge dieselbe Leistungsfähigkeit wie ein gutes Teleskop oder Mikroskop, das mit einer passenden Verstärkeranordnung zur Registrierung von individuellen Photoprozessen verbunden ist. Zwar kann man mit solchen instrumentellen Hilfsmitteln die Beobachtungsmöglichkeiten wesentlich steigern; infolge der Grenzen aber, die die Beschaffenheit der Lichtphänomene setzt, ist kein optisches Instrument denkbar, das für seinen Zweck leistungsfähiger wäre als das Auge. Diese sozusagen ideale Verfeinerung des Auges, die erst in der jüngsten Entwicklung der Physik voll erkannt worden ist, läßt uns vermuten, daß auch andere Organe, die zur Aufnahme eines Sinnesindrucks oder zur Reaktion des Organismus auf einen solchen Eindruck dienen, eine ähnliche Anpassung an ihren Zweck aufweisen, und daß der durch das Wirkungsquantum symbolisierte atomistische Zug in Verbindung mit einem geeigneten Verstärkermechanismus überall von entscheidender Bedeutung sein wird. Daß es bisher nicht möglich war, diese Grenze bei einem anderen Organ aufzufinden, hängt wohl, wie schon mehrfach betont wurde, mit der im Vergleich zu anderen physikalischen Phänomenen größeren Einfachheit der Lichterscheinungen zusammen.

Die Erkenntnis der wesentlichen Bedeutung prinzipiell atomistischer Züge für die Funktionen der lebenden Organismen ist jedoch keineswegs hinreichend für eine eigentliche Erklärung biologischer Phänomene. Der entscheidende Punkt liegt daher in der Frage, ob nicht in unserer Analyse der Naturphänomene noch wesentliche Gesichtspunkte fehlen, um ein Verständnis des Lebens auf Grund physikalischer Erfahrungen erreichen zu können. Ganz abgesehen von der prak-

tisch unerschöpflichen Reichhaltigkeit der biologischen Phänomene kann hierauf eine Antwort wohl kaum gegeben werden, ohne die Frage nach dem Wesen einer physikalischen Erklärung noch weiter zu verfolgen, als es schon unter dem Zwange der Entdeckung des Wirkungsquantums geschehen ist. Einerseits haben die wunderbaren Tatsachen, die die physiologischen Untersuchungen ständig an den Tag bringen, und die so unverkennbar andersartig sind als das, was wir von der leblosen Natur wissen, viele Biologen dazu geführt, an der Möglichkeit zu zweifeln, zu einem wirklichen Verständnis vom eigentlichen Wesen des Lebens auf rein physikalischer Grundlage zu gelangen. Andererseits findet diese (oft als Vitalismus bezeichnete) Einstellung kaum ihren adäquaten Ausdruck in der alten Vermutung, daß eine besondere, der Physik ganz unbekanntes Lebenskraft alles organische Leben beherrscht. Denn wir sind wohl alle mit NEWTON darin einig, daß die eigentliche Grundlage der Wissenschaft in der Überzeugung besteht, daß die Natur unter denselben Bedingungen immer dieselben Gesetzmäßigkeiten aufweist. Wenn wir also imstande wären, die Analyse des Mechanismus der lebenden Organismen ebensoweit zu treiben wie die Analyse der Atomphänomene, so könnten wir kaum erwarten, ein Verhalten zu finden, das irgendwie von dem der unorganischen Stoffe abweicht. In diesem Dilemma müssen wir jedoch daran denken, daß das Verhalten bei biologischen und physikalischen Untersuchungen nicht unmittelbar miteinander verglichen werden kann, da die Notwendigkeit, das Untersuchungsobjekt am Leben zu halten, für jene eine Einschränkung bedeutet, die bei diesen kein Gegenstück aufzuweisen hat. So würden wir zweifellos ein Tier töten, wenn wir versuchten, eine Untersuchung seiner Organe so weit durchzuführen, daß wir den Anteil der einzelnen Atome an den Lebensfunktionen angeben könnten. In jedem Versuch an lebenden Organismen muß daher eine gewisse Unsicherheit in bezug auf die physikalischen Bedingungen, denen sie unterworfen sind, bestehen bleiben; und es drängt sich der Gedanke auf, daß die geringste Freiheit, die wir in dieser Hinsicht den Organismen zugestehen müssen, gerade groß genug ist, um ihnen zu ermöglichen, ihre letzten Geheimnisse gewissermaßen vor uns zu verbergen. Von diesem Gesichtspunkt aus muß die Existenz des Lebens als eine Elementartatsache aufgefaßt werden, für die keine nähere Begründung gegeben werden kann und die als Ausgangspunkt für die Biologie genommen werden muß, in ähnlicher Weise, wie das Wirkungsquantum, das vom Standpunkt der klassischen mechanischen Physik aus als ein irrationales Element erscheint, zusammen mit der Existenz der Elementarteilchen die Grundlage der Atomphysik ausmacht. Die behauptete Unmöglichkeit einer physikalischen oder chemischen Erklärung eigentlicher Lebensfunktionen dürfte in diesem Sinne analog zu der Unzulänglichkeit der mechanischen

Analyse für das Verständnis der Stabilität der Atome sein.

Wenn wir diese Analogie weiter verfolgen, müssen wir jedoch im Auge behalten, daß die Probleme in der Physik und in der Biologie wesentlich verschiedene Seiten zeigen. Während wir uns in der Atomphysik vor allen Dingen für die Eigenschaften der Materie in ihren einfachsten Formen interessieren, ist gerade die komplizierte Beschaffenheit der materiellen Systeme, mit denen wir es in der Biologie zu tun haben, von wesentlicher Bedeutung, da ja schon die primitivsten Organismen eine große Anzahl von Atomen enthalten. Zwar beruht der große Anwendungsbereich der klassischen Mechanik, der sich auch auf die in der Atomphysik benutzten Meßinstrumente erstreckt, gerade auf der Möglichkeit, bei der Beschreibung der Körper, die viele Atome enthalten, in weitem Umfange von der durch das Wirkungsquantum bedingten Komplementarität abzusehen. Für biologische Untersuchungen ist es jedoch typisch, daß die äußeren Bedingungen, denen ein einzelnes Atom unterworfen ist, niemals in derselben Weise kontrolliert werden können wie in den grundlegenden Experimenten der Atomphysik. Wir können faktisch nicht einmal entscheiden, welche Atome streng genommen mit zu einem lebenden Organismus gehören, da ja jede Lebensfunktion von einem Stoffwechsel begleitet ist, bei welchem ständig Atome vom Organismus aufgenommen und ausgeschieden werden. Dieser fundamentale Unterschied zwischen physikalischen und biologischen Untersuchungen bringt es mit sich, daß für die Anwendung der physikalischen Vorstellungen auf die Lebensphänomene keine wohldefinierte Grenze gezogen werden kann, die der in der Atommechanik durchgeführten Trennung zwischen dem Bereich der mechanischen Kausalbeschreibungen und den eigentlichen Quantenprozessen entspricht. Doch hängt die Begrenzung der erwähnten Analogie, die in diesem Sachverhalt zu liegen scheint, wesentlich von der Übereinkunft ab, in welchem Sinne wir ein Wort wie Physik bzw. Mechanik gebrauchen wollen. Auf der einen Seite würde die Frage nach der Begrenzung der Physik innerhalb der Biologie ja jede Bedeutung verlieren, wenn wir unter Physik in Übereinstimmung mit der ursprünglichen Bedeutung des Wortes jegliche Beschreibung der Naturphänomene verstehen wollten. Auf der anderen Seite würde ein Ausdruck wie Atommechanik irreführend sein, wenn wir, wie im täglichen Sprachgebrauch, das Wort Mechanik nur dazu benutzen wollten, um eine eindeutige Kausalbeschreibung der Phänomene zu bezeichnen. Ich will hier nicht näher auf diese rein dialektischen Fragen eingehen, sondern nur noch hervorheben, daß der Kern der erwähnten Analogie das typische Komplementaritätsverhältnis ist, das zwischen der für jede physikalische Analyse erforderlichen Unterteilung einerseits und so charakteristischen biologischen Phänomenen wie der Selbsterhaltung

und der Fortpflanzung der Individuen andererseits besteht. Dieser Sachverhalt bringt es ja auch mit sich, daß der Begriff der Zweckmäßigkeit, der in der mechanischen Analyse keinen Platz hat, einen gewissen Anwendungsbereich bei Problemen findet, wo Rücksicht auf das Wesen des Lebens genommen werden muß. In dieser Hinsicht erinnert die Rolle der teleologischen Argumente in der Biologie an die in dem Korrespondenzargument formulierten Bestrebungen, das Wirkungsquantum in der Atomphysik auf rationale Weise in Betracht zu ziehen.

In unserer Behandlung der Frage nach der Anwendbarkeit mechanischer Begriffe bei lebenden Organismen haben wir diese ganz wie andere materielle Objekte betrachtet. Ich brauche jedoch kaum zu betonen, daß diese Einstellung, die für physiologische Untersuchungen charakteristisch ist, in keiner Weise die an das Leben geknüpften psychologischen Vorgänge außer acht läßt. Weit eher scheint die Erkenntnis von der Begrenzung der mechanischen Vorstellungen in der Atomphysik geeignet zu sein, die scheinbar widerstreitenden Gesichtspunkte, die Physiologie und Psychologie kennzeichnen, zu versöhnen. Die Notwendigkeit, in der Atommechanik auf die Wechselwirkung zwischen Meßinstrumenten und Untersuchungsobjekt Rücksicht zu nehmen, erinnert nämlich an die eigentümlichen Schwierigkeiten, denen wir in psychologischen Analysen begegnen und die von der Tatsache herrühren, daß der Inhalt des Bewußtseins sich ändert, sobald man die Aufmerksamkeit auf eins seiner Elemente zu richten versucht. Es würde uns zu sehr von unserem Gegenstand wegführen, noch weiter auf diese letzte Analogie einzugehen, die unter der nötigen Rücksichtnahme auf den besonderen Charakter der biologischen Probleme einen neuen Ausgangspunkt für die Klärung des sog. psychophysischen Parallelismus bietet. In diesem Zusammenhang möchte ich jedoch ausdrücklich betonen, daß Betrachtungen der erwähnten Art sich auf das bestimmteste von allen Versuchen unterscheiden, in der Begrenzung der Anwendung der Kausalbeschreibung auf die Analyse der Atomphänomene neue Möglichkeiten für eine direkte psychische Einwirkung auf materielle Vorgänge zu sehen. Wenn man z. B. gemeint hat, daß der Wille sein Wirkungsfeld bei der Regulierung der atomaren Prozesse in den Organismen finden sollte, für welche auf Grund der Atomtheorie nur Wahrscheinlichkeitsberechnungen aufgestellt werden können, so handelt es sich um eine Auffassung, die mit der hier angedeuteten Auslegung des psychophysischen Parallelismus unvereinbar ist. Von unserem Standpunkt aus ist das Gefühl der Willensfreiheit als ein dem bewußten Leben eigentümlicher Zug zu betrachten, dessen materielle Parallele in organischen Funktionen gesucht werden muß, die weder einer mechanischen Kausalbeschreibung zugänglich sind, noch irgendeine für die wohldefinierte Anwendung der statistischen

Gesetze der Atommechanik hinreichend weit getriebene physikalische Untersuchung zulassen. Ohne in metaphysische Spekulationen zu verfallen, darf ich hier vielleicht noch sagen, daß jede Analyse des Begriffes „Erklärung“ ihrem Wesen nach wohl immer mit einer Resignation hinsichtlich des Verständnisses unserer eigenen bewußten Gedankentätigkeit anfangen und aufhören muß.

Zum Schluß möchte ich gern hervorheben, daß ich mit keiner meiner Bemerkungen irgendeine Skepsis in bezug auf die künftigen Entwicklungsmöglichkeiten der physikalischen und biologischen Wissenschaften äußern wollte. Eine solche Skepsis dürfte ja auch einem Physiker zu einer Zeit fern liegen, wo gerade die Erkenntnis der Grenzen unserer fundamentalsten Begriffe eine so vielseitige und durchgreifende Entwicklung un-

serer Wissenschaft mit sich gebracht hat. Ebenso wenig ist der notwendige Verzicht auf eine Erklärung des Lebens selbst ein Hindernis für die wunderbaren Fortschritte gewesen, die in unserer Zeit in allen Zweigen der Biologie stattgefunden haben und nicht zuletzt für die Heilkunst so fruchtbar gewesen sind. Selbst wenn wir auf physikalischer Grundlage keine scharfe Trennung zwischen Gesundheit und Krankheit ziehen können, ist für die Lösung der bedeutungsvollen Aufgaben dieses Kongresses kaum ein Grund zur Skepsis gegeben, solange man sich an die von FINSEN gegebenen Richtlinien hält, die seitdem mit soviel Glück verfolgt worden sind und deren Kennzeichen die engste Verbindung zwischen der Untersuchung der medizinischen Wirkungen der Lichtbehandlung und der Erforschung ihrer physikalischen Grundlagen ist.

Kurze Originalmitteilungen.

Unter Mitwirkung von MAX HARTMANN, MAX V. LAUE, CARL NEUBERG, ARTHUR ROSENHEIM und MAX VOLMER.

Für die kurzen Originalmitteilungen ist ausschließlich der Verfasser verantwortlich.

Der Herausgeber bittet, 1. im Manuskript der *kurzen Originalmitteilungen* oder in einem Begleitschreiben die Notwendigkeit einer baldigen Veröffentlichung an dieser Stelle zu begründen, 2. die Mitteilungen auf einen Umfang von höchstens einer Druckspalte zu beschränken.

Die Beugung sehr schneller Elektronen.

Beugungsversuche mit sehr schnellen Elektronen sind von RUPP¹ ausgeführt worden, welcher mit Elektronengeschwindigkeiten bis 220 kV arbeitete. Uns gelang es, Beugungserscheinungen an viel schnelleren Elektronen — bis etwa 520 kV — zu beobachten. Die zur Erzeugung von Elektronen so hoher Geschwindigkeit notwendigen Spannungen wurden von einem Hochspannungsschema nach MARX erhalten. 20 Kondensatoren von 3000 cm Kapazität wurden über große Widerstände parallel geschaltet und mittels eines Transformators mit GRAETZschen Gleichrichterschema aufgeladen. Im Augenblick, wo die Aufladung vollendet war, wurden die Kondensatoren über Funkenstrecken in Serie umgeschaltet. Die sich bildende Hochspannung wurde, ebenfalls über eine kurze Funkenstrecke, der Entladungsröhre zugeführt. Ist die Zahl der Kondensatoren gleich n , die vom Transformator gelieferte Spannung V , so ist die nach dem Umschalten zu erwartende Spannung gleich nV . In unserem Falle ist $n = 20$, $V \approx 35$ kV und nV also ≈ 700 kV. Wegen der unvermeidlichen Verluste ist die Spannungsdifferenz an der Entladungsröhre geringer als die berechnete. Die gesamte Energie einer Entladung war in unserem Falle etwa 100 Joule. Die ganze Anordnung war in einem metalli-

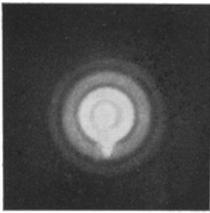


Fig. 1. Beugungsbild an Silberfolie für Elektronen von 520 kV Geschwindigkeit.

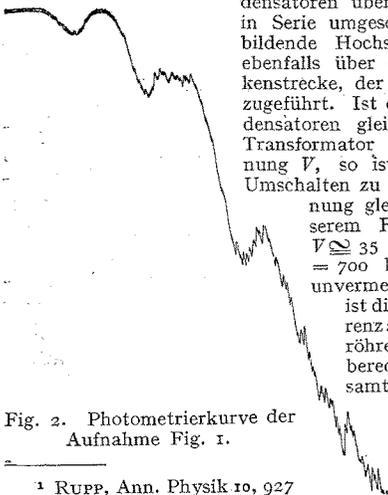


Fig. 2. Photometrierkurve der Aufnahme Fig. 1.

¹ RUPP, Ann. Physik 10, 927 (1931).

schon Gehäuse aufgestellt, weil sonst im Leitungsnetz bei jeder Entladung störende Induktionsströme auftraten. Die Entladungsröhre war aus Glas, 12 cm im Durchmesser und 140 cm lang, mit kalter Kathode. Es ist wichtig, eine möglichst weite Entladungsröhre mit relativ geringem Elektrodenabstand zu verwenden. Die Röhre wurde fortwährend mit einer Diffusionspumpe hoher Leistungsfähigkeit ausgepumpt. Eine solche Röhre dient sehr lange, ohne durchzuschlagen. Durch ein Loch in der Anode gelangen die Elektronen in ein anderes Vakuengefäß, wo mittels einer Reihe von Diaphragmen ein dünnes Elektronenbündel ausgeblendet wird. Dieses passiert eine dünne Silberfolie und fällt dann auf einen Leuchtschirm, auf welchen die Beugungsringe beobachtet werden. Statt des Leuchtschirmes kann auch ein in schwarzes Papier gewickelter Photofilm eingesetzt werden (so schnelle Elektronen gehen durch Papier hindurch). Zur Erzielung guter Beugungsringe muß das Elektronenbündel möglichst dünn und der Abstand Folie—Schirm möglichst groß sein. In unserem Falle war dieser Abstand 45 cm. Eine der von uns erhaltenen Aufnahmen und ihre Photometrierkurve sind hier abgebildet. Die Dicke der streuenden Silberfolie war einige 10^{-7} cm. Die aus den Ringdurchmessern berechnete DE BROGLIESche Wellenlänge beträgt 0,0136 Å, was einer Elektronengeschwindigkeit von etwa 520 kV entspricht. Aus der Breite beobachteter Ringe folgt, daß das Elektronenbündel zwar nicht ganz homogen ist, daß aber die Geschwindigkeitsdifferenzen genügend gering sind, um ein Arbeiten ohne vorherige Monochromatisierung zu ermöglichen. Herrn Prof. Dr. P. J. LUKIRSKY danken wir bestens für die ständige Leitung während der Durchführung dieser Arbeit.

Leningrad, Physikalisches Institut der Universität, den 6. Januar 1933. M. KOSMAN. A. ALICHAJIAN.

Nebelkammeraufnahmen der Atomzertrümmerung durch schnelle Protonen.

Eine größere Zahl von Nebelkammeraufnahmen der Atomzertrümmerung von Bor durch schnelle Protonen hat den Nachweis geliefert, daß außer der schon von COCKROFT und WALTON¹ festgestellten Gruppe mit einer Reichweite von 3 cm noch eine beträchtliche Anzahl von Kerntrümmern mit größeren und kleineren Reichweiten (1,5—6 cm) auftritt (vgl. Fig. 1). Die Energie der Hauptgruppe von 3 cm ist

¹ J. D. COCKROFT u. E. T. S. WALTON, Nature 131, 23 (1933) (Jan.).