© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Die Theorie von den Elementarquanten der Strahlungsenergie.

Von

Dr. W. Hillers.

Vortrag,
gehalten in der Phys. Gruppe des Naturw. Vereins zu Hamburg am 15. November 1909.

Meine Herren!

Ich hatte vor Jahresfrist Gelegenheit, Ihnen zu referieren über die Theorie der Wärmestrahlung nach M. Planck. Diesem Forscher ist es gelungen, eine Ableitung zu finden der sogenannten Strahlungsformel. Das von ihm erhaltene Ergebnis stellt die genauesten Messungen so vollendet dar, daß es Planck zweifellos geglückt ist, den wirklichen mathematischen Ausdruck anzugeben für die komplizierte Verteilung der Energie in dem Spektrum der Strahlung eines »schwarzen« Körpers und ihre Änderung mit der Temperatur. Es ist nach ihm

$$E_\lambda = \frac{c^2 h}{\lambda^5}\left(e^{\frac{hc}{k\lambda T}} - 1\right)^{-1}.$$

Hierin ist $E_\lambda\, d\lambda$ der Energiebetrag einer Strahlung zwischen den Wellenlängen λ und $\lambda + d\lambda$, den die Flächeneinheit in normaler Richtung in die Einheit des Raumwinkels während der Zeiteinheit abgibt. T ist die absolute Temperatur, c die Lichtgeschwindigkeit, während h und k universelle Konstanten von weitreichender physikalischer Bedeutung sind. $\frac{3}{2}k$ stellt nämlich dar die fortschreitende Energie eines einatomigen Moleküls bei der absoluten Temperatur 1. Durch die mit äußerster Präzision ausgeführten

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Strahlungsmessungen in ihrer Abhängigkeit von λ und T lassen sich diese beiden Konstanten nun absolut scharf festlegen. So konnte PLANCK aus seiner Größe k nach einfachen Beziehungen der kinetischen Gastheorie eine Neubestimmung der sogenannten LOSCHMIDT'schen Zahl und der Ladung eines Elektrons vornehmen mit einer bisher nie dagewesenen Sicherheit. Bemerkenswert ist, daß in der Zwischenzeit die PLANCK'sche Bestimmung dieser Zahlen durch die bedeutungsvollen RUTHERFORD'schen Zählungen der α-Teilchen überraschend genau bestätigt wurde. Fand jener $N = 27{,}6 \cdot 10^{18}$ pro cm^3 und für das elektrische Elementarquantum $e = 4{,}69 \cdot 10^{-10}$ E · S · E, so dieser $27{,}7 \cdot 10^{18}$ und $4{,}65 \cdot 10^{-10}$. Ebenso folgt aus den Bestimmungen der Zahl von J. PERRIN durch die sogenannte BROWN'sche Molekularbewegung im Mittel $N = 27{,}9 \cdot 10^{18}$, aus den Messungen von EHRENHAFT des Elementarquantums $N = 27{,}7 \cdot 10^{18}$.

Diese Bestätigungen verleihen den Gedankengängen PLANCK's zur Ableitung seiner Strahlungsgleichung eine große Stütze. Denn die von ihm zuerst aufgestellte Zahl weicht über 30 % von den Werten ab, die zuletzt nach den schönen THOMSON'schen Bestimmungen für am sichersten galten, während noch vor 10 Jahren als wahrscheinlichster Wert ein doppelt so großer angegeben wurde.

Ist somit an der Deutung der Konstanten k in der PLANCK'schen Gleichung kaum zu zweifeln, so stellt die Größe h an unser physikalisches Empfinden eine recht große Zumutung.

Die Strahlungsgleichung ist von PLANCK zunächst empirisch gefunden worden. Als er sich nun bemühte, sie physikalisch abzuleiten, unterteilte er die in einem Strahlungsraum enthaltene Energie in Elementarquanten ε, die er auf einzelne elektromagnetische Resonatoren der Periode ν gemäß thermodynamischen Erwägungen verteilte. Er kam zu dem Schlusse, daß bei möglicht großer Unordnung in der Verteilung, wie sie das Maximum der Entropie für das thermodynamische Gleichgewicht fordert, jeder Strahlen-

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

gattung wegen der elektromagnetischen Natur der Strahlung ein anderes Elementarquantum zuerteilt werden muß. Es muß nämlich sein $\varepsilon = h \cdot \nu$, wobei h die universelle Konstante unserer Gleichung ist.

Überraschenderweise verschwindet nämlich aus der Endgleichung das rechnerische Element ε nicht, wie bei anderen ähnlichen Problemen. Aus den Messungsergebnissen wird h bestimmt zu

$$h = 6{,}548 \cdot 10^{-27} \text{ erg. sec.}$$

Die Dimension ist die einer »Wirkung«, da ν eine reziproke Zeit darstellt, und h wird daher von PLANCK »Wirkungselement« genannt. Es ist, wie wir sehen, außerordentlich klein. Sowie man h in der Formel aber verschwindend klein annimmt, bekommt diese eine Gestalt, die den meßbaren Erscheinungen für kleine Wellenlängen sicherlich nicht Rechnung trägt. Diese spezielle Gestalt der Strahlungsgleichung nun wird von anderen Forschern erhalten auf gänzlich verschiedenen Wegen bei einer stetigen Energieverteilung. Da sie sicher unrichtig ist, erhält der zunächst nur rechnerische Kunstgriff der unstetigen Verteilung gewiß eine recht große Stütze. Die Wahrscheinlichkeit, daß in der Natur wirklich unstetige Energieverteilung vorliegt, hat dadurch eine gewisse Berechtigung. Physikalisch ausgedrückt bedeutet somit nach PLANCK das Vorkommen von h in der Endgleichung, daß die Energie der strahlenden und absorbierenden Resonatoren nicht stetig verteilt ist. Sie können nur Quanten der Größe $h\nu$ aufnehmen und abgeben. Die notwendige Schlußfolgerung scheint aber dann, daß auch in der Energieverteilung der Strahlung selbst Unstetigkeiten vorliegen, daß überhaupt Strahlungsenergie nur in Quanten des Betrages $h\nu$ auftreten kann. Jede Strahlung der Frequenz ν enthält Energieatome der Größe

$$\varepsilon = h\nu = \frac{h \cdot c}{\lambda}.$$

Besteht diese Auffassung zu Recht, so lassen sich daran überraschende Folgerungen anknüpfen. Sie besagt ja nichts

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

anderes, als daß Energieumsetzungen von Strahlung in andere Energiearten oder umgekehrt, wie z. B. bei der Absorption und Emission, unstetig, sprungartig erfolgen müssen, und zwar betragen alle Änderungen ein ganzes Vielfaches von $\frac{h \cdot c}{\lambda}$. Dabei treten immer größere Energieatome in Tätigkeit, je kleiner die in Frage kommende Wellenlänge ist. Im Gebiet der kleinsten Wellenlängen sind also die größten Sprünge der Energieumsetzung zu erwarten.

Der erste, der diesen Schluß zog und zeigte, daß man auch außerhalb des PLANCK'schen Gedankenganges die Vorstellung diskontinuierlicher Verteilung der Strahlungsenergie mit Nutzen verwenden kann, war A. EINSTEIN (Ann. 1905). Man nennt daher wohl auch diese Theorie die PLANCK - EINSTEIN'sche. Sieben Gesetze leitet EINSTEIN ab.

Wird Licht absorbiert und liefert die Energie einer Fluoreszenzstrahlung, so muß bei so geringer Strahlendichte, daß nicht mehrere Elementarquanten gleichzeitig wirken, das Quant des Fluoreszenzlichtes kleiner oder höchstens gleich dem des erzeugenden sein. Also

$$\nu_2 h \leqq \nu_1 h \text{ oder } \nu_2 \leqq \nu_1 .$$

Das aber ist der Satz von STOKES, daß Fluoreszenzlicht eine kleinere Frequenz hat als das anregende.

Fast gedrängt wird man zu unserer behandelten Vorstellung durch die lichtelektrischen Erscheinungen, die in bahnbrechenden Arbeiten von LENARD behandelt sind. Es erregt auffallendes Licht, besonders solches sehr kleiner Wellenlänge, Kathodenstrahlung. Nun ist recht schwierig einzusehen, auf welche Weise den einzelnen Elektronen Energie von der auffallenden Strahlung zugewiesen wird, wenn wir uns auf den Boden der kontinuierlichen Energieverteilung in der Strahlung stellen. Verhältnismäßig einfach aber läßt sich der Vorgang nach unserer neuen Lehre darstellen. Ein Lichtquant trete ein. Es veranlaßt durch einen Prozeß, dessen Mechanismus unbekannt ist, eins oder mehrere Elektronen auszutreten. Ist Π das Grenzpotential, bei dem die auftretenden Elektronen eben zurückgehalten werden,

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

zu dem die bestrahlte Metallplatte sich also auflädt, so muß deren Energie sein

$e\,\Pi = \frac{m v^2}{2}$. Erzeugt ein Lichtquant $\varkappa$ solcher Elektronen, so gilt

$\varkappa \frac{m v^2}{2} = \varkappa e\,\Pi = \frac{h \cdot c}{\lambda} - P$, wenn P der Teil der Arbeit ist, die von den Elektronen aufgewandt werden muß, Widerstände beim Verlassen der Metalloberfläche zu überwinden. Für ein einziges Elektron muß also gelten

$$\left(\frac{m v^2}{2} = e\,\Pi\right) \leq \frac{h \cdot c}{\lambda}.$$

Aus h, c, e und für $\lambda = 3 \cdot 10^{-5}$ cm, also Licht im äußersten sichtbaren Violett, berechnet sich danach

$\Pi \leq 4{,}1$ Volt oder $v \leq 1{,}2 \cdot 10^8$, Zahlen, die der Größenordnung nach wirklich beobachtet werden.

Es muß also das Grenzpotenzial Π proportional ν sein, oder die Kathodenstrahlteilchengeschwindigkeit v umgekehrt proportional $\sqrt{\lambda}$. Weiter ergibt sich die Anfangsgeschwindigkeit oder die Qualität der Kathodenstrahlen als unabhängig von der Intensität der auslösenden Strahlung, aber nicht unabhängig vom Metall, da ja die Grenzarbeit P mit diesem verschieden sein kann.

Umgekehrt muß bei der Kathodenlumineszenz die Energie eines aufprallenden Elektrons größer oder höchstens gleich sein der eines erzeugten Lichtquants, oder $\Pi\,e \geq \frac{h \cdot c}{\lambda}$. In der Tat waren nach LENARD Hunderte und Tausende von Volt nötig, um eben sichtbares Licht zu erzeugen. Bei Gleichheit hätten nach obiger Rechnung 4,1 Volt genügen müssen.

Schließlich kann man die Theorie noch auf Gasjonisierung anwenden. Ist die zur Abspaltung eines Elektrons vom Atom gebrauchte Arbeit J, und wird diese vom Licht geliefert, so muß sein

$$h\nu \geq J \text{ oder } \frac{h \cdot c}{\lambda} \geq J.$$

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

J ist Konstante. Somit muß eine obere Grenze für jonisierend wirksames Licht existieren. Diese ist nach LENARD $1{,}9 \cdot 10^{-5}$ cm. Danach erhält man für die Jonisierungsarbeit

$J \leqq 6{,}4 \cdot 10^{12}$ Erg für das Grammolekül. STARK hat als kleinste Jonisierungsspannung 12 Volt gemessen. Daraus ergibt sich für

$J \leqq 10{,}6 \cdot 10^{12}$ Erg, eine gewiß überraschende Bestätigung. Ruft jedes einfallende Lichtquant Jonisierung hervor, so muß ferner die Gesamtjonisation der einfallenden Lichtintensität proportional sein.

In ihrer Lichtempfindlichkeit ordnen sich die Metalle nach der Spannungsreihe. Die elektropositivsten K, Rb sind die empfindlichsten. Das Verhalten bei der Berührung zweier Metalle kann man durch Doppelschichten erklären, die durch gewisse innere Kräfte (Elektronentension) an der Berührungsstelle von »Metall-Gas« liegen. Für zwei Metalle entsprechen diesen Doppelschichten die Potentialunterschiede V_1 und V_2. Bei Berührung nehmen sie dasselbe Potential an. In dem Gase superponiert sich damit eine Schicht, so daß ein Feld zwischen den Metallen entsteht. Die zugehörige Potentialdifferenz ist dann $V_2 - V_1$. Schafft nun der lichtelektrische Effekt die Ladung e aus dem Metall in den Gasraum, so sind die geleisteten Arbeiten eV_1 und eV_2. Die Frequenzen der für beide Metalle gültigen »Grenzstrahlen« seien ν_1 und ν_2. Dann muß sein

$$e V_1 \leqq h \nu_1 \text{ und } e V_2 \leqq h \nu_2.$$

Im Grenzfalle gilt damit

$$e (V_1 - V_2) = h (\nu_1 - \nu_2) \text{ oder}$$

$$V_1 - V_2 = 4{,}2 (\nu_1 - \nu_2) \cdot 10^{-15} \text{ Volt.}$$

Es müssen im Grenzfalle somit die Differenzen der Grenzfrequenzen zweier Metalle ihrer Kontaktpotentialdifferenz proportional sein. Je elektropositiver ein Metall ist, desto kleiner ist die unterste

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

wirksame Lichtfrequenz. Diese letzte theoretische Forderung bestätigt sich auffallend für die Alkalien.

Schließlich wandte EINSTEIN die Theorie in gewisser Erweiterung mit einigem Glück an auf die Abhängigkeit der spezifischen Wärme von der Temperatur (Ann. 1907).

Eine teilweise höchst interessante Bestätigung erhielt nun EINSTEIN bald darauf durch lichtelektrische Messungen, die der verstorbene E. LADENBURG (P. Z. 1907) anstellte. Er untersuchte die Abhängigkeit des Effekts, den Strom und das Endpotential von der Intensität und der Wellenlänge im Bereiche $\lambda = 274—301\ \mu\mu$. Die Theorie wurde insofern vollauf bestätigt, als die Anfangsgeschwindigkeit sich von der Intensität des Lichtes als völlig unabhängig erwies. Für verschiedene Metalle schwankte sie in engen Grenzen, wie wegen P zugelassen wird. Ferner wird sie mit abnehmender Wellenlänge größer im Sinne der Theorie. Allerdings glaubt LADENBURG seine Messung am besten durch die Beziehung $v \cdot \lambda = \text{const}$ darstellen zu können, hingegen konnte bald JOFFÉ zeigen, daß die Darstellung $v^2\lambda = \text{const}$ oder $H \cdot \lambda = \text{const}$ die Ergebnisse ebensogut wiedergibt. Dieser bestimmte aus den vorliegenden Zahlenwerten $h \geqq 2{,}2 \cdot 10^{-27}$ bis $3{,}5 \cdot 10^{-27}$ je nach dem Metall. Neuerdings hat HULL (P. Z. 1909) die Untersuchung für ein Bereich $171—123\ \mu\mu$ ausgeführt. Er schließt sich der Darstellung von LADENBURG $\lambda v = \text{const}$ an. Eine Entscheidung gegen die Theorie kann aber hierin nicht erblickt werden. Es ist dazu offenbar das untersuchte Intervall sowohl bei LADENBURG als HULL zu klein um sicher Schlüsse bezüglich der Funktion v von λ zu ziehen; umfaßte eine Untersuchung gleichzeitig beide, so wären wir eher dazu imstande.

Ein Teil der EINSTEIN'schen Schlüsse wird später unabhängig von J. STARK von W. WIEN (Gött. Nachr. 1907. LAUE Ann. 1908) aufgestellt. Besonders sind es die lichtelektrischen Erscheinungen, die beide Forscher in Beziehung zur Quantenlehre setzen, und zwar dehnen sie diese aus auch auf die Röntgenstrahlen, die EINSTEIN nicht erwähnt. In der Tat rufen Röntgen-

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

strahlen und die verwandten γ-Strahlen auch sekundäre Kathodenstrahlung auf den von ihnen getroffenen Metallen hervor. Die hierbei beobachteten Geschwindigkeiten sind allerdings bedeutend höher als bei violettem und ultraviolettem Licht. Ist bei diesem die Größenordnung 10^7 cm/sec, so bei den R. S. 10^9 cm/sec, und bei den γ-Str. 10^{10} cm/sec. Im Sinne der Theorie würde das für eine äußerst kleine Wellenlänge dieser Strahlengattung sprechen. Durch Beobachtungen von WIEN und anderen war nun zunächst zu Gunsten ihrer Anschauung gezeigt worden, daß diese Anfangsgeschwindigkeit bei R. S. unabhängig zu sein scheint von der Intensität und hier auch vom Metall. Von weicherer zu härterer Strahlung nimmt sie zu von $7{,}3 \cdot 10^9 - 8{,}3 \cdot 10^9$ cm/sec nach INNES. Härtere Strahlung wäre also solche von kleinerer Wellenlänge. Betrachten wir die Röntgenstrahlung als eine Art von Kathodenlumineszenz, so muß die für diese gültige Beziehung von EINSTEIN anwendbar sein. Es muß gelten

$$\Pi e \geqq \frac{h \cdot c}{\lambda} \quad \text{und daraus} \quad \lambda \geqq \frac{h \cdot c}{\Pi e}. \quad \text{Es folgt}$$

$$\text{für } V = 30000 \text{ Volt } \lambda \geqq 4{,}3 \cdot 10^{-9} \text{ cm}$$

$$\text{für } V = 60000 \text{ Volt } \lambda \geqq 2{,}1 \cdot 10^{-9} \text{ cm.}$$

Da ferner die maximalen Anfangsgeschwindigkeiten für die von den weichsten R. S. erzeugten sekundären K. S. zu etwa $5 \cdot 10^9$ cm/sec gemessen sind, so muß gelten

$$\lambda < \frac{h \cdot c \cdot 2}{m v^2}. \quad \text{Das ergibt für die weichsten}$$

Strahlen

$$\lambda \leqq 1{,}7 \cdot 10^{-8}.$$ Wir hätten also für die Wellenlänge der Röntgenstrahlung die Bedingung

$$4{,}3 \cdot 10^{-9} \leqq \lambda \leqq 1{,}7 \cdot 10^{-8}.$$

Das wäre nun in ausgezeichneter Übereinstimmung mit den

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

früheren Messungen von HAGA und WIND, die aus Beugungserscheinungen schließen zu dürfen glaubten, daß

$$5 \cdot 10^{-9} < \lambda < 1{,}6 \cdot 10^{-8} \text{ ist.}$$

Diese Gleichheit unserer Rechnung mit diesen Messungen wäre außerordentlich frappant; sie ist so bestechend, daß J. STARK gerade hierin eine Hauptstütze in der Anwendbarkeit der Quantenlehre zu finden glaubt. Aber es scheinen jetzt nach den sorgsamen Bestimmungen von Herrn Prof. WALTER die HAGA' und WIND'schen Messungen zweifelhaft. Dieser schließt, wie er uns im Frühjahr mitteilte, aus seinen Bestimmungen, daß λ bedeutend kleiner sein muß, vielleicht noch kleiner als 10^{-9}. Immerhin würden unsere Ungleichungen an der Grenze der Genauigkeit auch dieser Messung bleiben.

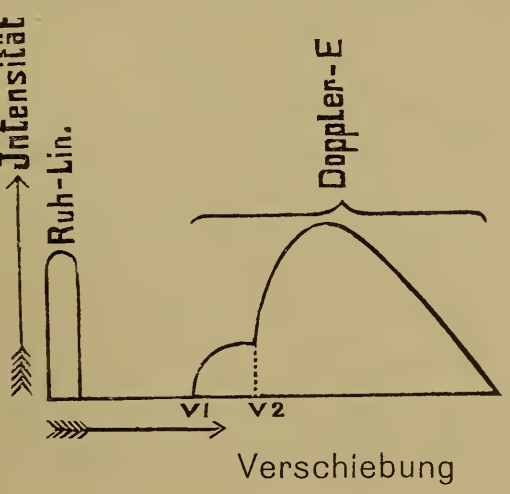
Haben J. STARK und WIEN durch Ausdehnung der Betrachtung auf R. S. kein eigentlich wesentlich neues Moment gegenüber EINSTEIN beigebracht, als daß sie, wie man auch sonst tat, Röntgenstrahlung und Lichtstrahlung als wesensgleich ansahen, so trat bald STARK mit merkwürdigen neuen Spekulationen auf den Plan, die er so glücklich war, experimentell belegen zu können (P. Z. 1908).

Das Linienspektrum wird von Elektronen ausgesandt, wie das ZEEMAN-Phänomen zeigt. Diese Elektronen werden getragen von positiv geladenen Jonen, denn STARK konnte beobachten, daß die Linien im Kanalstrahlenlicht eine Verschiebung nach dem DOPPLER'schen Prinzip aufweisen, wenn man sie in ihrer Bewegungsrichtung betrachtet. Die Anregung dieser Elektronen, die fest zum positiven Jon gehören, zum Schwingen und die nötige Energie erhalten sie durch einen »Resonanzstoß«, das ist der Zusammenstoß mit einem anderen Jon während einer Zeitdauer entsprechend der Schwingungsperiode des Elektrons. Ist die kinetische Energie des Jons vor dem Stoß E, so gibt es beim Stoß den Bruchteil α E ab, der in Strahlung verwandelt wird.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Diese tritt in $\varkappa$-Quanten auf. Also muß sein $\alpha E = \frac{\varkappa \cdot c \cdot h}{\lambda}$. Im Extremfalle ist $\varkappa = 1$, also

$\alpha E \geq \frac{h \cdot c}{\lambda}$. Hierin ist $\frac{h \cdot c}{\lambda}$ bestimmt angebbar. Nicht alle Jonen können somit eine Schwingung anregen. Der Schwellenwert ihrer kinetischen Energie muß $\frac{c \cdot h}{\lambda}$ sein. Steigert man daher allmählich den Kathodenfall und damit die Geschwindigkeit, so wird zunächst bei kleiner Geschwindigkeit kein Serienlicht entstehen. Sowie der Schwellenwert erreicht ist, werden einzelne Jonen 1 Lichtquant abgeben können und damit plötzlich Strahlung einsetzen. Bei vergrößerter Geschwindigkeit werden die Zusammenstöße häufiger, demnach die Intensität wachsen. Die zunächst gebremsten Jonen werden dann den Schwellenwert noch einmal erreichen, gleichzeitig aber werden die ungebremsten soviel Energie erworben haben, daß sie den doppelten Schwellenwert haben, also mit einem Male 2 Quanten abgeben können. Es muß die Intensität des verschobenen Serienlichtes plötzlich steigen. Sind die Grenzgeschwindigkeiten v_1 und v_2, so muß also neben der unverschobenen ruhenden Intensität in einem Abstande, der v_1 entspricht, die verschobene Intensität einsetzen, allmählich in größerem Abstande wachsen und bei einem solchen, der v_2 entspricht, plötzlich stark ansteigen.



© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Es muß gelten
$$\left.\begin{aligned}\frac{m v_1^2}{2} &= \frac{h \cdot c}{\lambda}\\ \frac{m v_2^2}{2} &= \frac{2 h c}{\lambda}\end{aligned}\right\} \text{ oder } \left(\frac{v_2}{v_1}\right)^2 = 2.$$

Die Grenzgeschwindigkeiten für verschiedene Farben müssen den Gleichungen genügen
$$\left.\begin{aligned}\frac{m v_1^2}{2} &= \frac{h \cdot c}{\lambda}\\ \frac{m v_1'^2}{2} &= \frac{h \cdot c}{\lambda'}\end{aligned}\right\} \text{ oder } \left(\frac{v_1}{v_1'}\right)^2 = \frac{\lambda'}{\lambda} \text{ oder}$$
$$v_1 \sqrt{\lambda} = \text{const.}$$

Würden Jonen, ohne gebremst zu werden, den dreifachen Schwellenwert der Energie erreichen können, so müßte in einem Abstande, der der Geschwindigkeit dieser Energie entspricht, eine nochmalige Intensitätsänderung eintreten.

Werden die Jonen so häufig zusammenstoßen, daß die meisten ihr Quant schon abgegeben haben, bevor sie 2 Quanten abgeben können, so muß an Stelle des unstetigen Ansteigens ein wiederholtes Intensitätsmaximum eintreten.

Zunächst konnte STARK keine Beobachtungen machen, die seine Überlegungen unterstützt hätten. Nur das ausgesprochene Intensitätsminimum zwischen »ruhender« und »verschobener« Intensität deutete er zu seinen Gunsten. In der Tat, wenn alle Geschwindigkeiten von Null bis zur maximalen in dem Visionsradius stetig verteilt vorkommen, ist nicht einzusehen, warum der Effekt nicht in der Übereinanderlagerung stetig verschobener Linien, also in einer einfachen Verbreiterung besteht. Hingegen konnte er eine Beobachtung von PASCHEN (Ann. 1907) anführen, der die Verdoppelung der verschobenen Intensität an einer Wasserstofflinie beobachtete. Er hatte einen Spektrographen bedeutend größerer Dispersion als STARK. Als dieser nun nach Jahresfrist sich in den Besitz eines sehr guten Spektrographen

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

gesetzt hatte, konnte er die überraschende Mitteilung machen, daß seine Überlegungen sich vollauf bestätigten. Er findet bei kleinem Kathodenfall die Intensität verteilt im Sinne der Figur bei den ersten 4 Wasserstofflinien (Ann. 1909). Die Unstetigkeitsstelle ist allerdings nicht so ausgesprochen, die Messung der zweiten Grenzgeschwindigkeit schwierig. Die Ergebnisse zeigt die Tabelle:

H	$\lambda \cdot 10^6$	$v_1 \cdot 10^{-7}$	$\left(\frac{v_2}{v_1}\right)^2$	$v_1 \sqrt{\lambda}$
α	66	1,07		87
β	49	1,25	2,46	88
γ	43	1,28	1,93	84
δ	41	1,39	1,88	89

Somit bestätigen sich auch die zahlenmäßigen Beziehungen befriedigend.

Bei höherem Kathodenfall erhält er ein doppeltes Maximum der verschobenen Intensität, bei einem solchen von über 3600 Volt bei der Linie Hδ sicher ein dreifaches Maximum.

Gewiß ist dieses experimentelle Resultat in Bezug auf die Überlegung sehr beachtenswert, wenn es auch von ihr ganz unabhängig ist. Der Quantenlehre aber wird eine weitere gewichtige Stütze geliefert, wenn STARK's Beobachtungen sich bestätigen sollten.

Während diese flüchtig skizzierten Überlegungen in STARK ausreiften, und er Gelegenheit fand, diese neuen experimentellen Tatsachen beizubringen, versuchte er auch mit einigem Glück, die Quantenlehre auf die Erscheinung des Bandenspektrums anzuwenden. Von dem Linienspektrum ist es dadurch unterschieden, daß es nicht den Seriengesetzen gehorcht. Es zeigt weder ZEEMAN-Effekt, noch Linienverschiebung im Kanalstrahl. Ferner ändert es sich bei chemischer Bindung eines Elements, während das Linienspektrum auch dann erhalten bleibt. Wird dieses von Elektronen

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

ausgesandt, die fest zum Jon gehören, es vielleicht aufbauen, die daher auf Grund spezieller Vorstellung J. STARK Ringelelektronen nennt, die man aber vielleicht allgemeiner als konstituive Elektronen bezeichnen könnte, so vermitteln die Bandenspektrumelektronen den chemischen Prozeß, werden daher von STARK Valenzelektronen genannt. Durch Absorption eines Lichtquants wird ein solches Valenzelektron entweder vom zugehörigen Jon getrennt vermöge der erhaltenen kinetischen Energie, oder von seiner Gleichgewichtslage verschoben. Im ersten Falle tritt eine Jonisierung der Materie ein mit lichtelektrischem Effekt und Leitfähigkeit, in beiden Fällen strahlt das Valenzelektron die absorbierte Energie bei Wiedereinnahme seiner Ruhelage als Bandenspektrum aus. Natürlich werden nur Perioden in Resonanz absorbiert. Deshalb muß nach J. STARK Bandenabsorption, Bandenfluoreszenz und lichtelektrischer Effekt oder Leitfähigkeit bei kleiner absorbierter Wellenlänge miteinander vergesellschaftet sein. Durch eine Reihe sehr schöner experimenteller Untersuchungen bis in die neueste Zeit konnte nun STARK diese Folgerung belegen. Dabei liefert nun wieder, ähnlich wie früher, das Quantengesetz Grenzwerte für die Erscheinung. Die Trennungsarbeit, um ein Valenzelektron vom Jon zu trennen, kann man aus der minimalsten Jonisierungsspannung im Kathodenvakuum erschließen oder aus der geringsten noch notwendigen kinetischen Energie eines Kathodenstrahlenteils, die noch Fluoreszenz herrvorruft. Ist dabei ein chemischer Zerfall gebundener Jonen vorhanden, so ist diese Arbeit gleich der elektrischen Dissoziationsarbeit. Nennen wir diese Größe J, so muß also $J = e\,\Pi_{min} = \frac{m\,v^2_{min}}{2}$ sein. Damit nun das Elektron getrennt wird, muß sein, wie schon EINSTEIN ansetzt,

$$J \leqq \frac{h \cdot c}{\lambda}, \quad \text{oder} \quad \lambda \leqq \frac{h \cdot c}{J}.$$

Es ist lichtelektrischer Effekt nur bei kleinsten Wellenlängen zu erwarten. Die vom Elektron aufgenommene Energie wird wieder im Bandenspektrum abgegeben. Da die Energie beschränkt ist,

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

kann danach nur ein größtes Quant abgegeben werden. Also muß das Bandenspektrum in Ultraviolett eine Grenze haben. Für die verschiedenen Bindungsverhältnisse und damit verschiedenen Jonisierungsarbeiten berechnet STARK derartige Grenzen und erhält Ergebnisse, die meist außerhalb der Beobachtung liegen, aber den meßbaren Erscheinungen nicht widersprechen.

Wir sehen, daß es J. STARK glückt, die Bandenspektren mit dem lichtelektrischen Effekt und auftretender Leitfähigkeit zu verknüpfen. Die absorbierenden Substanzen werden zum Teil jonisiert und erhalten dadurch einen Zustand, in dem sie befähigt sind, neue chemische Verbindungen einzugehen. Damit sind wir in das Gebiet der Photochemie gelangt. Es gelingt STARK, auf Grund der Quantenlehre mehrere wichtige photochemische Gesetze auszusprechen. Dabei zieht er eine weitere Vorstellung zu Hilfe. Durch Absorption eines Lichtquants wird im Grenzfalle einem Elektron eine sehr hohe Geschwindigkeit erteilt. Diese kann es durch Stoß entsprechend an ein Jon abgeben. Im Grenzfalle kann also ein Atom selbst die gesamte Energie eines Lichtquants als kinetische Energie aufnehmen. Für sichtbares Licht mittlerer Wellenlänge ist die Energie des Quants aber bedeutend höher als die mittlere kinetische Energie eines Atoms. Wird einem solchen das ganze Quant mitgeteilt, so muß es eine Geschwindigkeit annehmen, die im Sinne der kinetischen Gastheorie einer Temperatur von 30000° entspricht. Wir hätten also gewissermaßen ein Atom, das gegenüber seinen Nachbaratomen außerordentlich viel heißer ist. Ehe es seine Geschwindigkeit an die anderen Atome abgibt und dadurch die Gesamttemperatur erhöht, muß es wegen dieser enormen Geschwindigkeit Stoßjonisation ausüben und dadurch chemische Prozesse in seiner Umgebung einleiten. Somit kann man schließen, daß wegen dem enormen Übergewicht dieser Temperatur über praktisch herstellbare rein photochemische Prozesse von der Temperatur nahe unabhängig sind, ein merkwürdiges Gesetz, das tatsächlich vorliegt. Absorbierende Substanzen müssen photochemische Prozesse beschleunigen, wir erhalten eine Erklärung des Sensibilisatoren. Ferner kann natürlich

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

nur absorbierte Strahlung photochemisch wirksam sein; die Wirkung muß mit abnehmender Wellenlänge wachsen. Schließlich muß der photochemische Prozeß der Gesamtzahl der absorbierten Quanten proportional sein, das ist dem Zeitintegral der Lichtintensität.

Wegen der enormen Geschwindigkeit, die im Grenzfalle einem Atome zukommen muß, das die Energie eines Lichtquants durch Stoß aufnimmt, kann es möglich sein, daß es die Anziehung der Nachbaratome überwindet und die Oberfläche eines festen Körpers verläßt. Wir haben den Effekt der Zerstäubung durch Lichtbestrahlung. J. STARK konnte durch intensive Ultraviolettbestrahlung einen solchen Effekt an Gold einwandfrei nachweisen.

Aus dieser gedrängten Übersicht ersehen wir, auf welche Vorgänge man bisher mit mehr oder weniger Erfolg die Lehre von den Elementarquanten angewandt hat. Die ganze Art und Weise der Verwendung ist eine mehr heuristische, eine Art Probieren. Und so muß es naturgemäß sein, denn eigentliche physikalische Vorstellungen des Wesens der Quantenlehre fehlen völlig. Es ist bisher nicht gezeigt worden, wie wir uns die diskrete Verteilung elektromagnetischer Energie in einer Wellenfläche denken sollen, noch wie eine Umwandlung eines Elementarquants solcher Energie in kinetische Energie erfolgt oder gar bei Absorption und Emission die eines Elementarquants $h\nu_1$ in mehrere Elementarquanten $\varkappa h \nu_2$. Vor allem ist ja an der Wellenlehre der Strahlung wohl nicht zu rütteln, sonst könnte man leicht als das Energiequant des Lichtes interpretieren die kinetische Energie eines NEWTON'schen Lichtteilchens. In diesem Sinne wäre außerordentlich leicht verständlich, warum für verschiedene Strahlengattungen die Elementarquanten das Bildungsgesetz $\varepsilon = h\nu$ befolgen. Wir hätten für die Lichtteilchen verschiedener Farbe das einfache Gesetz, daß die Ablenkbarkeit im Gitterspektrum umgekehrt proportional der Energie der Teilchen ist. Halten wir daran fest, daß allen Farben dieselbe Geschwindigkeit zukommt, so läßt sich die verschiedene Energie kaum anders als durch verschiedene Massen der Teilchen erklären. Danach wäre also einfach das Licht größerer Teilchenmasse das brechbarere.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Damit erhielten wir sogleich eine schöne Deutung des Wesens der Farbe, die sonst der Theorie NEWTON's solche Schwierigkeit bereitete. Bei der Betrachtung der vorgeführten Anwendungen dürfen wir also nicht vergessen, daß es sich hier weit mehr um ein vorsichtiges Tasten, denn ein sicheres Zufassen handelt. Auch die Vertreter der mitgeteilten Überlegungen sind sich dessen wohl bewußt. So sagt EINSTEIN, daß die Quantenlehre weit entfernt ist, eine ausgebaute Theorie darzustellen; er hält aber die experimentelle Erforschung der Konsequenzen für eine der wichtigsten Aufgaben der Gegenwart. STARK berichtet von seinen merkwürdigen Beobachtungen an den Kanalstrahlen mit der Bemerkung, daß er die Überlegungen, die ihn zu den Untersuchungen anregten, mitteilen wolle auf die Gefahr hin, seine Beobachtungen zu diskreditieren. Zuzugeben ist aber unbedingt, daß neben dem PLANCK'schen Gesetz die Anwendungen auf den lichtelektrischen Effekt mit ihren Ergebnissen in die Augen fallen. Und wären die Messungen von HAGA und WIND unbestritten, so könnten wir von einer sehr guten Bestätigung sprechen auch in Bezug auf die Röntgenstrahlen.

Noch ist ja keineswegs der Charakter gerade dieser Strahlung festgestellt. Nachdem die Bestimmung ihrer Geschwindigkeit zu $3 \cdot 10^{10}$ cm/sec von E. MARX zweifelhaft geworden ist, ebenso wie die Beugungserscheinungen von HAGA und WIND, bleibt eigentlich nur noch die teilweise Polarisation unter gewissen speziellen Versuchsbedingungen übrig, die für ihre Natur als transversale Ätherschwingungen sprechen. Wegen ihrer angenommenen äußerst kleinen Wellenlänge muß nun ihr Elementarquant der Energie gerade recht groß sein. Damit stimmt eigentlich herzlichst schlecht, daß der gemessene Gesamtenergieeffekt an R. S. recht klein ist.

Diese Fragen sind es nun zweifellos, die J. STARK in einer Arbeit vor einigen Wochen angeregt haben, sich gerade mit dan R. S. in ihrer Beziehung zur Quantenlehre eingehender zu beschäftigen. (P. Z. 1909.)

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Die Erscheinung der sekundären R. S., die von einem mit R. S. bestrahlten Metall ausgehen, ihre Abhängigkeit bezüglich der Qualität vom Material bestimmen ihn, in den R. S. eine Art Bandenemission zu sehen Er glaubt damit die bisherige Anschauung verlassen zu müssen, nach der R. S. aperiodische Ätherpulse sein sollten, entstanden durch Bremsung der Kathodenstrahlelektronen. Allerdings muß er im Gegensatz zu seinen früheren Vorstellungen die emittierenden Elektronen zu den Ringelelektronen rechnen. Sodann wendet er sich der Berechnung der Quantenverteilung in der Röntgenstrahlung zu. Legt er für die R. S. $\lambda = 10^{-8}$ zu Grunde, oder $\nu = 3 \cdot 10^{18}$, so kann er leicht zeigen, daß bei einer stark beanspruchten Röntgenröhre etwa erst in der 10^5fachen Schwingungszeit der Strahlung ein einziges Quant die Antikathode verläßt. Dabei ist die Strahlung nach allen Seiten gerichtet. Wären die Quanten punktförmig und ordneten wir sie alle in einer Geraden an, so wäre ihr gegenseitiger Abstand doch 10^5 mal so groß als die Wellenlänge. Die Quanten sind somit räumlich außerordentlich weit von einander getrennt. Die Emission der R. S. kann daher keineswegs auch nur angenähert gleichmäßig erfolgen, sondern in Schwankungen vergleichsweise sehr langer Dauer. Das Neuartige der Auffassung besteht demnach darin, daß nicht wie im Sinne der Äthertheorie schlechthin, die R. S. aus der Aufeinanderfolge stark gedämpfter kugelförmiger Wellenzüge bestehen, sondern daß im R. S. Raum sich verhältnismäßig recht wenige durch weite Abstände getrennte Quanten befinden, die nicht mehr auf Kugelflächen angeordnet sind. Relativ wenige solcher Quanten können wir mit unseren Instrumenten schon fassen wegen ihres sehr hohen Energieinhaltes. Bei der sichtbaren Lichtstrahlung mit ihren außerordentlich viel kleineren Quanten ist es ausgeschlossen, so geringe Mengen von Quanten zu bemerken. Hier liegen stets unvergleichlich viel dichtere Schwärme vor. Die Strahlung der Antikathode entspricht nach STARK daher wohl der einer anderen Lichtquelle, während aber hier gleichzeitig sehr eng nebeneinanderliegende Elektronen, und

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

zwar noch sehr viele im Bereich einer Wellenlänge, gleichzeitig Wellen aussenden, beeinflussen die emittierten Quanten sich in gewisser Weise. Sie nehmen geordnete Eigenschaften an, ordnen sich etwa auf einer Kugelfläche, der Wellenfläche, an. Bei der R. S. hingegen treten nur einzelne Quanten gänzlich unabhängig von einander in Funktion. STARK macht ferner wahrscheinlich, daß die Größenordnung des von einem Lichtquant erfüllten Raumes die von λ^3 ist für alle Strahlungen überhaupt. Bis $\lambda = 10^{-6}$ umfaßt danach der Raum eines Quants noch sehr viele Moleküle der Dimension 10^{-7} und weniger. Unterhalb $\lambda = 10^{-6}$ kann aber ein materieller Körper gegenüber den Strahlenquanten nicht mehr als Kontinuum gelten. Daher müssen für kleinste Wellenlängen die Beeinflussungen der Strahlung durch ein Kontinuum, also regelmäßige Reflexion, Brechung und teilweise auch Beugung fehlen. Jedes eintretende Quant erhält für sich von den Elektronen der einzelnen Atome unregelmäßige Ablenkungen. In der Tat fehlen bei R. S. Reflexion und Brechung. Wegen der fälschlichen Annahme, daß die benutzten Spalte bei den Versuchen von HAGA und WIND einerseits, bei Prof. WALTER andererseits prinzipiell verschieden gebaut gewesen seien, indem nur letzterer die R. S. durch einen langen schmalen Kanal hätte passieren lassen, glaubt er die Ablenkungsergebnisse dieser Forscher mit einander vereinbar. An scharfen Kanten hält er Beugung durch Wirkung ablenkender Elektronen in der Kante für möglich, während einen langen Kanal nur die Quanten passieren könnten, deren Bewegungsrichtung kaum von der Kanalrichtung abweicht. Die anderen müßten an den Wänden absorbiert werden.

Wir sehen gerade in den letzten Betrachtungen deutlich die Vorstellungen der weit von einander abstehenden sich unabhängig und ungeordnet bewegenden Energiequanten der R. S. sich außerordentlich nähern der Vorstellung einer materiellen diskreten Emission. Eine solche vertritt aber Herr Prof. WALTER schon seit über 10 Jahren bezüglich der R. S. Gewissermaßen stellt also das Resultat der STARK'schen Überlegung eine Ver-

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

schmelzung dar der Emissionstheorie und der Äthertheorie. Wir haben Ätherschwingungen, aber unabhängig von einander sich bewegende diskrete Energiezentren. Ein Experiment also, das uns in der R. S. Diskontinuitäten der strahlenden Energie aufdecken würde, wäre eine Stütze der Quantenlehre; ebensogut könnte es aber aufgefaßt werden als eine Bestätigung der Emissionstheorie. STARK bemerkt noch, daß wegen eines so großen Energieinhaltes eines einzelnen Quantes es vielleicht möglich sein würde, einzelne diskrete Quanten nachzuweisen. Nachdem es RUTHERFORD geglückt ist, die einzelnen α-Teilchen sowohl durch ihre jonisierende Wirkung als auch durch die Szintillationen zu zählen, nachdem neuerdings sogar auf der photographischen Platte die Wirkung der einzelnen α-Teilchen hat getrennt unterschieden werden können, und REGENER auch für die β-Teilchen Szintillation gefunden hat, liegt nahe, auch für die R. S. nach einem ähnlichen Effekte zu suchen. Allerdings zeigt eine einfache Rechnung, daß in jedem Lichtblitz, den ein α-Teilchen auf dem Schirm hervorruft, gegen eine Million Quanten sichtbaren Lichtes ausgestrahlt werden, und es erscheint doch fraglich, ob das Auge oder sonst ein Hilfsmittel fähig ist, noch auf eine beträchtlich kleinere Anzahl zu reagieren. Eine Entscheidung zwischen materieller Emissionstheorie und Quantenlehre könnte meines Erachtens übrigens nur eine exakte Geschwindigkeitsmessung hervorbringen. Die wohl sicher bestehende Polarisation der R. S. spricht ja für die Äthertheorie.

Die meisten Gedanken STARK's, die dazu dienen sollen, Emissions- und Äthertheorie mit einander zu verschmelzen, sind im übrigen so unbestimmt und vage angedeutet, daß es mir unmöglich war, ein völliges Bild seiner Vorstellungen zu erlangen, wenn diese überhaupt sich schon zur Klarheit entwickelt haben. Nach ihm hat jede beobachtbare Lichtstrahlung z. B. eine unendlich viel größere Quantenkonzentration als die R. S. Rechnet man aber bei einer parallelen Strahlung von der praktisch höchsten zulässigen Intensität der Sonnenstrahlung für die mittlere Wellenlänge $\lambda = 4 \cdot 10^{-5}$ die Zahl der Quanten aus, die in 1 sec 1 cm^2 passieren, so

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

erhält man $4 \cdot 10^{17}$; während der Dauer einer Periode aber nur $5{,}3 \cdot 10^{2}$, also verhältnismäßig recht wenige. Geht man gar in der durchstrahlten Fläche zu Dimensionen der Wellenlänge über, so findet man bei dieser äußerst intensiven Strahlung die Zahl $8{,}5 \cdot 10^{-7}$, d. h. bei dieser so engen Strahlenröhre folgt durchschnittlich erst nach $1{,}2 \cdot 10^{6}$ Perioden ein einziges Strahlenquant. Für diese Strahlenröhre liegen also die Verhältnisse keineswegs prinzipiell anders als bei den R. S. der Antikathode. Allerdings verteilt sich ja hier die Strahlung auf den ganzen Raum, während dort die räumliche Dichte bedeutend größer bleibt. Es muß unbedingt die Vorstellung der wechselseitigen Einwirkung der Quanten auf einander zu Hilfe genommen werden, um zu zeigen, daß die Strahlungen sich verschieden verhalten. Eine solche Vorstellung ist aber weder vorläufig begründet noch überhaupt irgendwie klar formuliert. Auch wenn STARK schließlich ausspricht, daß an Stelle der materialistischen Vorstellung vom Äther in vereinfachender Weise die in gewisse Quanten unterteilte Energie als Träger des elektromagnetischen Feldes treten könne und müsse, so erweitert er damit einen schon oft geäußerten Gedanken in atomistischer Weise, ohne aber der inneren konkreten Anschauung zu Hilfe zu kommen. Diese ist es ja schließlich aber doch nun einmal, die uns bei allen physikalischen Problemen und Erwägungen leitet. Eine Förderung der Quantenlehre vermag ich in seinen Auseinandersetzungen ebensowenig zu sehen, als eine Klärung der Frage über die Natur der R. S. Seine zahlreichen unkontrollierbaren Annahmen bei Betrachtung der Verhältnisse sind nicht überzeugungskräftig genug. So will es mir überhaupt scheinen, als ob nach den äußerst nüchternen und klaren Gedanken EINSTEIN's die Quantenlehre eine Erweiterung nur durch die von STARK vermuteten und bestätigten merkwürdigen Intensitätsfolgen der verschobenen Intensität am Kanalstrahleneffekt erhalten hat. Eine gewisse Bestätigung erhält die Quantenlehre zweifellos durch die lichtelektrischen Erscheinungen.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Der Erfolg hingegen auf das R. S. Problem überhaupt ist höchst zweifelhaft. Die Grundlage dieser letzten Anwendung ist und bleibt die Voraussetzung einer Wellenlänge von 10^{-8}—10^{-9}. Kann man solche nicht aus den Beugungserscheinungen erschließen, so fällt diese Grundlage fort. Daher hat STARK die Neigung, die Versuche von HAGA und WIND neben denen von Prof. WALTER als möglich zu zeigen. Das aber erscheint ausgeschlossen, da die verwandten Spalte sich nur dadurch unterscheiden, daß derjenigen von Prof. WALTER auf das sorgsamste gearbeitet war und die Spaltbreite sicherer bestimmt werden konnte als bei jenen. Auch macht der STARK'sche Erklärungsversuch einen höchst gezwungenen Eindruck, indem er im Grunde für die eine Anordnung die Äthertheorie, für die andere die Emissionstheorie in Anspruch nimmt.

Solange das Wirkungselement h noch keine eingehende physikalische Deutung mit einer konkreten Vorstellung hat erhalten können, ist ein sicheres Vertrauen erweckendes Arbeiten damit ausgeschlossen bei physikalischen Problemen zweifelhafter Art. Die Möglichkeit hingegen der realen Existenz kleinster Energiequanten in der Natur überhaupt muß unbedingt zugelassen werden. Denn zwischen der Lehre energetischer oder materieller Atome besteht gegenüber der scheinbar kontinuierlichen Umwelt erkenntniskritisch kein Unterschied. Somit kann auch die Erkenntnis des kleinsten Energiequants an sich dort von großem Nutzen sein, wo man hinreichend bekannte energetische Umsetzungen, wie die lichtelektrischen Erscheinungen, quantitativ verfolgt. Ebenso konnte ja NEUMANN mit dem eben aufgestellten Satz der Erhaltung der Energie die elektrischen Induktionsgesetze quantitativ festlegen, ohne daß dadurch übrigens die Erkenntnis der Induktionsvorgänge gefördert worden wäre. Diese kam erst, nachdem MAXWELL die konkreten Vorstellungen FARADAY's rechnerisch verfolgte.

Vielleicht darf ich noch eine Bemerkung machen. Vor mehr als 10 Jahren äußerte Prof. ABBÉ im Kolleg, auch noch

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

heute könne eine Emissionstheorie materieller Lichtteilchen die Äthertheorie völlig ersetzen, wenn man diesen nicht geradlinige Bahnen zuwiese. Es sei möglich die Wege der Energiewanderung so anzusetzen, daß die Erscheinungen der Beugung und Polarisation bestehen bleiben. Damit würden wir aber jetzt eine konkrete Deutung der Energiequanten und des Wesens der Farbe erhalten. Vielleicht stehen wir also am Vorabend einer modifizierten Emissionstheorie, die der Polarisation, Beugung und Interferenz Rechnung trägt.

Neuestens macht E. Müller (Verh. d. phys. Ges. 11. S. 72—86. 1909) Mitteilung, daß er den lichtelektrischen Effekt an Rb und K—Na für ultrarote Strahlen festgestellt habe. Die von ihm gefundenen Anfangsgeschwindigkeiten bis zu 10 Volt würden unserer obigen Darstellung widersprechen.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Verhandlungen des Naturwissenschaftlichen Vereins in Hamburg

Jahr/Year: 1910

Band/Volume: 17

Autor(en)/Author(s): Hillers W.

Artikel/Article: Die Theorie von den Elementarquanten der Strahlungsenergie 52-73