schreiten des langwelligsten Absorptionsgebietes erreicht wird. Von besonderem Interesse sind in dieser Richtung auch noch die Rubensschen Arbeiten seiner letzten Jahre, zum Teil gemeinsam mit *Th. Liebisch*, in welchen der Verlauf des Brechungsindex im Ultraroten auch für kompliziertere Kristalle für die verschiedenen Schwingungsrichtungen verfolgt wird. Hier waren zum Teil die zum Vergleich mit der Theorie nötigen elektrischen Konstanten noch nicht bekannt und mußten daher erst bestimmt werden. Das Gesamtergebnis war auch hier, daß das optische Verhalten mit zunehmender Wellenlänge kontinuierlich in das der elektrischen Wellen übergeht.

Etwas anders liegen die Verhältnisse bei den isolierenden Flüssigkeiten. Hier zeigen nämlich die meisten auch für die längsten Rubensschen Wärmestrahlen noch nicht den Wert des Brechungsindex, wie er sich nach *Maxwell* aus der statisch gemessenen Dielektrizitätskonstante berechnet. Sie zeigen vielmehr auch hier noch Dispersion. Diese Dispersion, welche sich bis in das Gebiet kurzer elektrischer Wellen fortsetzt, ist durch die Theorie von *Debye* erklärt als Folge des Dipolcharakters der Moleküle dieser Flüssigkeiten.

Das Gebiet der Gitterpolarisation unterscheidet sich von den bisher besprochenen Erscheinungen dadurch, daß hier die Theorie des untersuchten Phänomens noch nicht vollkommen durchgeführt ist. Hier bestand die Diskrepanz daher nicht zwischen der Folgerung aus der Theorie und dem experimentellen Befund, sondern in dem Gegensatz zwischen dem, was das Experiment mit elektrischen und mit optischen Wellen ergeben hatte. Für elektrische Wellen hatte *Hertz* gefunden, daß sie beim Durchgang durch Gitter vollkommen polarisiert werden, und zwar derart, daß ein solches Gitter undurchlässig ist für elektrische Wellen, deren elektrischer Vektor den Gitterstäben parallel liegt. Im optischen Spektrum hatte *du Bois* genau das Gegenteil gefunden.

Daß dieser Widerspruch nur scheinbar ist, ist durch *Rubens* gemeinsam mit *du Bois* in einer Reihe von Arbeiten nachgewiesen worden, welche zeigen, daß auch hier ein kontinuierlicher Übergang von den optischen zu den elektrischen Wellen besteht. Solange die Wellenlänge klein ist oder von der Größenordnung der Gitterkonstante, tritt der von *du Bois* beobachtete Effekt auf; ist sie groß gegen die Gitterkonstante, so zeigen die Wellen das von *Hertz* gefundene Verhalten. Die langwelligsten Wärmestrahlen von *Rubens* werden durch feine Drahtgitter bereits vollständig polarisiert.

Zusammenfassend kann man sagen, daß, wenn auch nach den Rubensschen Arbeiten noch ein kleines Wellenlängengebiet zwischen den längsten bekannten Wärmestrahlen und den kürzesten bisher erzeugten elektrischen Wellen übrig bleibt, das Ziel der Rubensschen Untersuchung doch in vollem Maße erreicht ist. Die Grenze des der Messung zugänglichen Gebietes der Wärmestrahlen ist durch ihn nämlich bis zu so großen Wellenlängen hinausgeschoben worden, daß diese längsten Wellen bereits in jeder Beziehung die Eigenschaften der elektrischen Wellen zeigen, so daß an ihrer Identität kein Zweifel mehr möglich ist. Dadurch, daß gleichzeitig der kontinuierliche Übergang von den optischen Lichtwellen bis zu den längsten Wärmewellen in bezug auf alle wesentlichen Eigenschaften festgestellt ist, ist der elektromagnetischen Lichttheorie die höchste Sicherheit gegeben worden, die für eine Theorie überhaupt möglich ist. Es verdient darauf hingewiesen zu werden, daß die theoretischen Stützen der elektromagnetischen Lichttheorie, wie die Theorie der Dispersion und der elektro- und magnetooptischen Erscheinungen, ihren Wert als Stützen gerade der Maxwellschen Theorie infolge der neueren Entwicklung der Quantentheorie zum großen Teil verloren haben. Ohne die Rubensschen Arbeiten wäre die elektromagnetische Lichttheorie auch heute noch eine Hypothese.

Die Entdeckung der langwelligen Strahlung des Quecksilberdampfes durch Rubens.

Von O. v. Baeyer, Berlin.

Heinrich Rubens hat einen großen Teil seiner wissenschaftlichen Arbeit einem Ziel gewidmet, nämlich der Bestätigung der elektromagnetischen Lichttheorie. Wie er, fußend auf den grundlegenden Arbeiten von *Heinrich Hertz*, Schritt für Schritt neue Beweisstücke für diese Theorie geliefert hat, das schildert er selbst in meisterhaft klarer Weise in einem Festvortrag, den er am 25. Juni 1917 in der preußischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin gehalten hat.

Die Maxwellsche elektromagnetische Licht-

theorie geht von der Annahme aus, daß elektrisch hergestellte Wellen, wie wir sie heutzutage in der drahtlosen Telegraphie verwenden, Wärme- und Lichtwellen ein und derselbe Vorgang sind, der sich nur durch die Schnelligkeit der Schwingungen oder, was dasselbe bedeutet, die Größe der Wellenlänge unterscheidet und deshalb zusammenfassend als elektromagnetische Welle bezeichnet wird. Es müßten danach auch die optischen Eigenschaften der Körper, also z. B. der Brechungsindex, das Absorptions-, Re-

flexions- und Emissionsvermögen der Körper für Wärmestrahlen und für elektrische Wellen gleicher Wellenlänge identisch sein. Experimentell läßt sich diese Forderung aber nicht prüfen, da es nicht möglich ist, Wärmestrahlen und elektrische Strahlen gleicher Wellenlänge herzustellen. Aber auch für elektromagnetische Wellen verschiedener Wellenlänge ergibt die Theorie einfache Beziehungen zwischen den optischen und den elektrischen Konstanten der Körper. Diese Beziehungen hat *Rubens* geprüft, zuerst mit Wärmestrahlen von $1,25 \mu$ Wellenlänge später in den berühmten mit *E. Hagen* ausgeführten Versuchen mit Wärmestrahlen von $25,5 \mu$ Wellenlänge. Das Ergebnis war, daß sich das Emissionsvermögen aller Metalle mit einer einzigen Ausnahme (Wismut) für diese Strahlen berechnen läßt aus der elektrischen Leitfähigkeit. Bei vielen anderen festen und flüssigen Körpern versagen aber die einfachsten Maxwellschen Beziehungen. Es liegt dies daran, daß die betr. Körper in dem Wellenlängengebiet zwischen $25,5 \mu$ und den elektrischen Wellen Absorptionserscheinungen zeigen, die durch den molekularen Bau der Materie bedingt sind. Die Maxwellsche Theorie betrachtet die Materie als Kontinuum und kann deshalb diese Einflüsse nicht berücksichtigen. Ein Beispiel für das merkwürdige Verhalten mancher Körper ist z. B. das Wasser, dessen Berechnungsexponent im optischen Gebiet 1,33, im elektrischen Gebiet 9 ist, ohne daß man bis jetzt mit Sicherheit hat feststellen können, wo sich der Übergang vollzieht.

Auf Grund dieser Betrachtungen ist es verständlich, daß *Rubens* sich immer mit der Aufgabe beschäftigt hat, die Kluft zwischen elektrischer und Wärme der ultraroten Wellen zu überbrücken. Naturgemäß sind zwei Wege möglich, man kann versuchen einerseits die Wellenlänge elektrisch erzeugter Schwingungen zu verkleinern oder andererseits Wärmestrahlen größerer Wellenlänge zu isolieren. Beide Wege hat *Rubens* zu beschreiben versucht. In der Zeit, als er noch an der technischen Hochschule Charlottenburg wirkte, hat er, wie ich aus seinen Gesprächen entnahm, Versuche mit elektrischen Wellen angestellt. Er wollte eine elektrische Entladung durch Metallstücke aller möglichen Größen hindurch gehen lassen und hoffte auf diese Weise kurze elektrische Wellen zu bekommen. Später hat der Verfasser dieses Berichtes auf seine Veranlassung hin sich längere Zeit mit der Herstellung kurzer elektrischer Wellen beschäftigt. Es gelang auch, den damaligen „Weltrekord“ zu schlagen, indem elektrische Wellen von 2 mm. Wellenlänge nachgewiesen werden konnten. Leider war es unmöglich wegen der Inkonstanz und Launenhaftigkeit der Erscheinung quantitative Messungen auszuführen. *Rubens* interessierte sich lebhaft für diese Arbeiten, die wegen der erwähnten Schwierigkeiten nicht zu dem erwünschten Abschluß ge-

bracht werden konnten. Noch in den letzten Jahren hat er des öfteren die Absicht geäußert, die Versuche fortzuführen. Er erhoffte Erfolge von der Anwendung hohen Gasdruckes, in dem der die Schwingung erzeugende Funke überspringen sollte.

In derselben Zeit, in der ich an den erwähnten Versuchen arbeitete, begann *Rubens* selbst, wie er sagte, „den Tunnel an der anderen Seite anzubohren“, und zwar mit sehr viel größerem Erfolg. Es gelang ihm in Gemeinschaft mit *Wood* 1910 bis zu Wellenlängen von etwa 100μ vorzudringen. Diese Arbeiten waren die Grundlage und die Voraussetzung für das Gelingen der späteren Versuche. Denn hier wurden die experimentellen Methoden zur Isolierung, dem Nachweis und der Messung der Wellenlänge solcher äußerst langwelliger Wärmestrahlen ausgebildet. Zur Absonderung des langwelligen Teiles aus der Gesamtstrahlung eines Auerbrenners wurde die sogenannte Quarzlinsenmethode verwendet, die gegenüber den sonst üblichen Prismen oder Gittermethoden den Vorteil bietet, mit sehr geringem Energieverlust zu arbeiten. Sie beruht darauf, daß Quarz für Wärmestrahlen oberhalb 80μ Wellenlänge denselben Brechungsexponent wie für elektrische Wellen besitzt, nämlich 2,14, während für kürzere Wellen der Brechungsexponent dem optischen Wert 1,5 nahe liegt. Außerdem unterstützt die starke Absorption des Quarzes für die kurzwellige Wärmestrahlung die Absonderung der langwelligen.

Zum Nachweis und zur Messung der Energie hatte *Rubens* das sogenannte Radiomikrometer zu großer Vollkommenheit ausgebaut. Die Empfindlichkeit dieses Instrumentes wurde unter Mitarbeit des vortrefflichen Institutsmechanikers Herrn *Muselius* wesentlich gesteigert, und vor allem die Ruhelage verbessert. Interessant war die Tatsache, daß die geringen, durch Druckänderung der Atmosphäre bedingten Temperaturschwankungen diese Instrumente stark beeinflussen. Luftdichter Abschluß bewirkt sofort den Fortfall dieser Störung. Zur Wellenlängenmessung wurde ein Interferometer gebaut, zwei Platten aus Quarz, deren Abstand durch eine feine Schraube, genau meßbar, verändert werden konnte.

Dieses Instrumentarium stand im Winter 1910/11 zur Verfügung, als *Rubens* mir den Vorschlag machte, gemeinsam mit ihm nach Strahlungsquellen zu suchen, die möglichst langwellige Wärmestrahlen aussenden. Theoretische Gesichtspunkte konnten hierbei kaum Fingerzeige geben, in welcher Richtung zu suchen sei. Sollte ein Temperaturstrahler in Frage kommen, so mußte man jedenfalls Quellen von sehr hoher Temperatur verwenden, da der absolute Wert der Wärmestrahlungsenergie mit der Temperatur steigt. Sollte die Strahlung eine Lumineszenzstrahlung sein, so war nach den damaligen

Kenntnissen überhaupt nichts vorauszusagen. Es mußten also auf gut Glück alle möglichen Strahlungsquellen probiert werden. Begonnen wurde mit sehr kräftigen Funken, die von einem Resonanztransformator mit einer *Leidener* Flaschenbatterie geliefert wurden. Der Lärm, den diese Funkenstrecke erzeugte, war im wahren Sinne des Wortes ohrenbetäubend. Man mußte Watte in die Ohren stopfen, um überhaupt arbeiten zu können. Die ersten Versuche sahen vielversprechend aus. Man bekam einen mächtigen Ausschlag im Radiomikrometer, als die Strahlung der Funkenstrecke durch einen Hohlspiegel in das Radiomikrometer gesandt wurde. Aber leider zeigte es sich sofort, daß die Richtung des Ausschlages nicht eine Temperaturerhöhung, sondern einer Temperaturverminderung entsprach. Wir hatten, wie *Rubens* lachend meinte, eine „Kältestrahlung“ vor uns. Sehr schnell wurde die wahre Natur dieser Erscheinung geklärt, es waren sehr schnelle Schallschwingungen, die sich ebenso in Lichtwellen durch Hohlspiegel konzentrieren lassen und dann durch ganz enge Öffnungen hindurchtreten können. Die Wirkung auf das Meßinstrument war die Folge des Schalldruckes, der bei der zufälligen Form der Strahlung ausgesetzten Teils glücklicherweise eine Drehung nach der „Kälte-seite“ bewirkt, andernfalls wäre wohl die Klärung des Effektes nicht so schnell erfolgt. Einschalten einer genügenden Quarz- oder Papierschicht ließ den Kälteausschlag verschwinden. Es war aber auch keine Wärmestrahlung da. Alle möglichen Materialien wurden als Elektroden der Funkenstrecke verwendet: nichts. Noch eine ganze Reihe von anderen Strahlungsquellen wurden untersucht, Lichtbogen mit salzgetränkten Kohlen, Lichtbogen zwischen Metallelektroden, Röntgenröhren, Kanalstrahlenröhren. Aber alles umsonst! Nie mehr als höchstens einige Zehntel Skalenteilausschlag. Es erschien hoffnungslos. Da tauchte die Idee auf, die Quarzquecksilberlampe zu probieren. Solche Lampen waren in mehreren Exemplaren im Institut vorhanden, da in dieser Zeit eine Reihe von lichtelektrischen Arbeiten im Gange waren. *Rubens* hatte kein rechtes Vertrauen mehr auf einen Glückstreffer. Er ließ mich den Versuch selbst ausführen und verschwand in das Schreibzimmer. Ein schneller Blick ins Fernrohr und ich gehe in das andere Zimmer, wo mich *Rubens* mit freundlichem, aber spöttischem Lächeln fragt: Nun, sinds 100 Skalenteile? Worauf ich in gewohnter Ruhe antworte: Nein, aber zwanzig!

Sofort unterbricht *Rubens* seine schriftlichen Arbeiten, und es dauert nur wenige Stunden, bis die neue Strahlung auf ihre Eigenschaften wenigstens im großen und ganzen untersucht ist. Sie wird beim Durchgang durch schwarzes Papier weniger geschwächt wie die Strahlung von 100 μ Wellenlänge, dasselbe ergibt sich beim Durch-

gang durch amorphen Quarz. Ein Verhalten, das jedenfalls auf das Vorhandensein längerer Wellenlängen hindeutet. Die nächsten Wochen werden nun in intensiver Arbeit der genauen Untersuchung der neuen Strahlung gewidmet. Der Interferometer wird eingeschaltet und damit die Wellenlänge der Strahlung ermittelt.

Es ergab sich, daß die Quarzquecksilberlampe einen ganzen Komplex von Wärmestrahlen verschiedener Wellenlänge aussendet. Durch geeignete Filterung mit Quarz oder schwarzem Karton ließen sich die kürzeren Wellenlängen, die offenbar von der Strahlung der heißen Quarzwände der Lampe herrühren, aussieben und es blieb eine äußerst langwellige Strahlung übrig, die wesentliche Intensität bei den Wellenlängen 218 μ und 343 μ aufwies. Damit war mit einem Schlag das Wärmespektrum um mehr wie 1½ Oktaven erweitert.

Ich übergehe hier die Einzelheiten der weiteren Untersuchungen, die zuerst in zwei Abhandlungen in den Berichten der preußischen Akademie der Wissenschaften 1911 niedergelegt sind. Es sei nur erwähnt, daß von der durch 0,4 mm dicken schwarzen Karton gefilterten Strahlung 37 % der Intensität noch durch einen weiteren solchen Karton hindurch gehen, nach Filterung durch 5 cm Quarz sogar 60 %, während die Strahlung von 100 μ nur zu 2 % von ebendemselben Karton hindurchgelassen wird.

Von prinzipieller Bedeutung war noch der Nachweis, daß die Strahlung tatsächlich von dem leuchtenden Quecksilberdampf herrührt. Es wurde dies dadurch festgestellt, daß die langwellige Strahlung nach dem Verlöschen der Lampe sofort verschwindet. Späterhin (1913) durfte ich noch an einer Untersuchung teilnehmen, bei der nachgewiesen wurde, daß die Strahlung von 218 μ Wellenlänge von Wasserdampf nur wenig absorbiert wird, die Strahlung von 343 μ Wellenlänge fast gar nicht, ganz im Gegensatz zu den kurzwelligeren Strahlen, die zum Teil in sehr intensiver Weise von Wasserdampf verschluckt werden.

Bei all diesen Untersuchungen hatte ich Gelegenheit, die Arbeitsweise von *Heinrich Rubens* aus nächster Nähe kennen zu lernen. Bewundernswert war es, wie er als vielgeplagter Ordinarius der großen Berliner Universität Zeit und Kraft fand, nachmittags bis in die späte Nacht die Messungsreihen durchzuführen. Dabei erforderten diese Messungen ein ungewöhnliches Maß von Geduld und Ausdauer. Man muß nur bedenken, daß für eine einzige der zahlreichen Interferometerkurven manchmal 100 und mehr Punkte gemessen wurden. Jeder Punkt war wieder das Resultat mindest zweier Einzelmessungen. Dabei waren die Ausschläge der Größe nach in günstigen Fällen 50 Skalenteile, manchmal aber nur fünf bis zehn Skalenteile, so daß es auf die zehntel Skalenteile ankam.

Da das Radiomikrometer nie ganz ruhig steht, sondern, abgesehen von kleinen unregelmäßigen Störungen, fast immer einen gleichmäßigen Gang zeigt, wurde der sogenannte ballistische Ausschlag beim Zutritt der Strahlung beobachtet, dann aber noch nach dem Abblenden der Strahlung der Rückgang des Ausschlages im Fernrohr verfolgt und aus den so gewonnenen Werten das Mittel genommen. Erst durch diese Ablesungsart ließ sich die erstaunliche Präzision der Messungen erzielen.

Die Isolierung der Wärmestrahlen von 0,34 mm Wellenlänge gestattete nun, die Maxwellsche Theorie in viel weitgehender Weise zu bestätigen, als es früher möglich war. In dem erwähnten Festvortrag von *Rubens* sind die Ergebnisse seiner Arbeiten in dieser Hinsicht bis 1917 zusammengestellt. Bei 35 festen Körpern, darunter 20 Kristallen, konnte er den Anschluß an

die elektrischen Messungen herstellen, ebenso bei einigen Flüssigkeiten, während bei einer ganzen Reihe von anderen Flüssigkeiten, wie Wasser, Alkohol, Glyzerin, die Brücke noch nicht geschlagen werden konnte. Hier sind eben noch Absorptionsgebiete bei noch größeren Wellenlängen vorhanden, wie dies auch schon aus elektrischen Messungen bekannt war:

Jedenfalls erkennt man aus solchen Betrachtungen so recht, welchen Verlust die Physik durch den Tod von *Heinrich Rubens* erlitten hat. Denn wie kaum ein anderer hat er es verstanden, um ein Gleichnis von *Heinrich Hertz* zu gebrauchen, Pfeiler auf Pfeiler zu erbauen für das Gewölbe, das sich von den optischen nach den elektrischen Wellen erstrecken sollte, und sicherlich hätte er den Schlußstein in diesem Bau eingefügt, hätte nicht ein bitteres Schicksal den Baumeister vorzeitig abberufen.

Rubens und die Quantentheorie.

Von J. Franck und R. Pohl, Göttingen.

Wenn ein bedeutender Gelehrter aus dem Leben scheidet und seine Schüler und Freunde daran gehen, einen Überblick über sein Lebenswerk zu geben, so ergibt sich oft eine sehr starke Verschiedenheit in der Bewertung der Wichtigkeit der verschiedenen Teilgebiete seiner Forschungstätigkeit. Jeder ist eben geneigt, das als das Wichtigste anzusehen, was seinem eigenen Ideenkreis am nächsten steht. Das geht, wie es das Beispiel von *Helmholtz* lehrt, manchmal so weit, daß selbst die Disziplin, zu der man den Forscher vor allem zu rechnen wünscht, je nach dem Standpunkt des Berichterstatters verschieden ist. Einen solchen Zweifel kann es bei der Besprechung des Lebenswerkes von *Heinrich Rubens* nicht geben, er war Experimentalphysiker, und zwar ein reiner Experimentalphysiker von höchstem Range. Da mag es denn bei der Durchsicht der Titel der Aufsätze, die in diesem Hefte der „Naturwissenschaften“ zu seinem Andenken vereinigt sind, verwunderlich erscheinen, daß die meisten den Namen einer physikalischen Theorie als Überschrift enthalten. In der Tat gibt es zwei verschiedene Arten, Experimentalphysik als Forschungsgebiet zu betreiben, die gerade durch ihr Verhältnis zur theoretischen Physik am besten bezeichnet werden. Die eine von ihnen nimmt die Vorstellungsweise der theoretischen Physik insoweit zur Kenntnis, als sie naturgemäß bemüht sein muß, nicht mit ihr in Konflikt zu geraten, sucht aber im übrigen neue Tatsachen auf rein experimentelle Weise aufzufinden, ohne die Absicht, das Einzelexperiment einem größeren theoretischen Gesamtkomplex anzugliedern. Dieser Art der Forschungsrichtung verdanken wir viele unerwartete Entdeckungen, aber sie

liefert andererseits auch viel Leerlaufarbeit. Die zweite Art von Experimentaluntersuchungen wird unternommen, um sich mit einer theoretisch begründeten Vorstellungswelt auseinanderzusetzen, sie an Hand der Erfahrung zu prüfen, zu bestätigen oder zu widerlegen. Es könnte scheinen, als ob sie so nur eine Dienerin der theoretischen Physik, eine Wissenschaft geringeren Grades sei, das ist jedoch ein Fehlschluß. Diese Art des experimentellen Forschens folgt nicht blind der Fragestellung der Theorie, sondern sie zieht Folgerungen aus ihr, und sie eilt daher meistens der mathematisch-theoretischen Durcharbeitung des Gebietes weit voraus. Diese letztere Art der Experimentalphysik ist es, in der *Rubens* Meister war, und aus dieser Einstellung entspringt die Verknüpfung seiner Leistungen mit der modernen Vorstellungswelt der theoretischen Physik, sowohl der Zusammenhang mit der Maxwellschen Theorie, der in einem anderen Artikel geschildert wird, wie auch derjenige mit der Quantentheorie, die zum Teil in *Hettners* Aufsatz, zum Teil in diesen Zeilen dargestellt werden soll.

Man kann das Zusammenarbeiten von experimenteller Forschung mit der theoretischen Anschauung in der Quantentheorie geradezu als ein klassisches Beispiel dafür betrachten, wie sehr diese beiden Zweige unserer Wissenschaft aufeinander angewiesen sind und sich gegenseitig bei harmonischem Zusammenwirken ergänzen. Da ist zuerst an die Patenschaft der Experimentatoren, von denen *Rubens* einer war, bei der Aufstellung der Strahlungsgleichung des schwarzen Körpers zu denken (siehe *Hettner* und das Planckheft¹⁾). Es genügt daher hier, den Zu-

¹⁾ Diese Zeitschrift S. 1033.