gewidmet hat. Kein Sport konnte auch besser seinen Anlagen und Neigungen entsprechen. Das aus schönem Material gebaute Boot mit seinen edlen Linien, dazu bestimmt, unter gleichartigen Genossen seinem Führer Gelegenheit zu geben, die Kräfte des Windes gegen den Widerstand von Wasser und Wellen möglichst vorteilhaft in Geschwindigkeit des Bootes umzusetzen, gab ihm zugleich eine physikalische und eine persönliche Aufgabe. Er hat auch hierbei vollen Erfolg gehabt. Von den Regatten, bei denen Boot und Führer auf die Probe gestellt werden, hat er eine große Zahl von Preisen, etwa 80, heimgebracht. Seinem Boote widmete er ungewöhnliche Sorgfalt. Sein Bootsmann hatte bei ihm einen harten Stand. Alles auf dem Boote mußte tadellos sauber sein, kein Fehler in der Lackierung, keine Schramme auf Deck durfte das schöne Bild stören. War das jeweilige Boot in seinen Eigenschaften neueren Konkurrenten nicht mehr ebenbürtig, so sann er auf einen Neubau, für dessen Linienriß er selbst die Angaben machte. Sechs größere Boote entstanden so im Laufe der Zeit. In seinem Arbeitszimmer gab es einen Tisch, auf dem er immer die Risse seiner Boote liegen hatte, und sehr gerne ließ er sich in Erörterungen über den jeweiligen geplanten Neubau ein. Die Regatten waren immer für ihn ein Ereignis, das er sehr ernst nahm. Alles bis aufs kleinste mußte sorgfältig vorbereitet sein. Während der Wettfahrt ging er ganz in der Führung des Bootes auf und ließ sich durch nichts ablenken. Selbst als ich ihn einmal auf einer Wettfahrt auf eine selten schöne Halo-Erscheinung an der Sonne auf-

merksam machte, wollte er davon nichts wissen. Auch photographieren durfte man während der Regatta nicht. Die genannten Erfolge seiner Regattatätigkeit zeigen, daß er auch in der Führung seines Bootes ein Meister war. Die ihm aus dem Laboratorium her geläufige Fähigkeit der Abschätzung der Kräfte, der Beurteilung des Materials, der übersichtlichen Disposition verhalfen ihm auch hier zum Siege.

Werfen wir noch einen Blick auf das Bild seiner Persönlichkeit, wie sie sich im Verkehr mit seinen Kollegen, seinen Assistenten und Mitarbeitern zeigte. Auch hier finden wir Eigenschaften, die ganz zu dem Bilde passen, welches wir uns von *Rubens* als Physiker machen konnten. Der hervorstechendste Zug seiner Persönlichkeit war seine Objektivität und sein Gerechtigkeitsgefühl, welches er jeder Persönlichkeit, die an ihn herantrat, jeder Arbeit, die er zu beurteilen hatte, entgegenbrachte. Hand in Hand damit ging eine Bescheidenheit, die ihm oft Zurückhaltung auferlegte. Aus solchen Charaktereigenschaften heraus kann man auch die Art und Weise, wie er sein Institut leitete, verstehen. Er vermied es, seinen Assistenten zu seinem Arbeitsgebiete herüberzuziehen; wer dagegen den Wunsch erkennen ließ oder einen Vorschlag brachte, den nahm er gerne auf. Sonst ließ er jeden arbeiten, was er wollte, unterstützte ihn aber dabei in jeder Weise.

So fügt sich alles zu dem Bilde der harmonischen Persönlichkeit zusammen, die allen unvergessen bleiben wird, die mit *Rubens* in Berührung gekommen sind und deren Einfluß noch lange fortwirken wird.

Rubens und die Maxwellsche Theorie.

Von G. Hertz, Eindhoven.

Die Maxwellsche elektromagnetische Lichttheorie erklärt bekanntlich die Lichtwellen als elektromagnetische Wellen. Sie liefert ferner Beziehungen, durch welche das Verhalten materieller Körper elektrischen Wellen gegenüber aus den elektrischen und magnetischen Eigenschaften der Körper berechnet werden kann. Als wichtigste ergibt sie für Nichtleiter die Maxwellsche Beziehung zwischen Brechungsindex n und Dielektrizitätskonstante ϵ , nämlich $n^2 = \epsilon$, das Quadrat des Brechungsindex ist gleich der Dielektrizitätskonstante. Für Leiter ergibt sie eine analoge Beziehung für das Reflexionsvermögen r , nämlich $1 - r = \frac{2}{\sqrt{\sigma\tau}}$, wobei σ die elektrische Leitfähigkeit und τ die Schwingungsdauer der elektrischen Welle bedeutet.

In der Zeit, in welcher *Rubens* mit seinen experimentellen Arbeiten begann, hatte die Maxwellsche Theorie durch die Hertzschen Versuche mit elektrischen Wellen eine starke experimen-

telles Stütze erhalten. Andererseits aber zeigte sich sofort, daß von einem quantitativen Zusammenhang zwischen den optischen und elektrischen Eigenschaften der materiellen Körper im Sinne der obigen Beziehungen keine Rede sein konnte. Es bedurfte daher einerseits einer Erweiterung der Theorie, welche auch das Verhalten materieller Körper gegenüber elektrischen Wellen von der Wellenlänge der Lichtwellen umfaßte, und andererseits experimenteller Untersuchung, welche die kontinuierliche Änderung der dafür charakteristischen Konstanten mit der Wellenlänge in dem Gebiet zwischen elektrischen und optischen Wellen erforschte. Die erste ist durch die Dispersionstheorie geleistet worden, wahrscheinlich indessen noch nicht in endgültiger Weise, da die klassische Dispersionstheorie mit den heutigen Quantenvorstellungen nicht zu vereinigen scheint; die zweite bildete den wesentlichen Teil der Lebensarbeit von *Rubens* und ist von ihm in einer Exaktheit und Vollständigkeit

durchgeführt worden, daß durch sie die Wesensgleichheit von Lichtwellen und elektrischen Wellen unabhängig von jeder Theorie sichergestellt worden ist.

Schon *Rubens'* erste Arbeiten zeigen die Richtung, in welcher sich später sein in seltenem Maße geschlossenes und bis zur Vollendung durchgeführtes Lebenswerk entwickelte. Seine Dissertation über die selektive Reflexion der Metalle zeigte durch Messungen mit dem Bolometer, daß das Reflexionsvermögen der Metalle im allgemeinen nach dem Ultraroten zu zunimmt und daß hier gute Leiter im allgemeinen ein höheres Reflexionsvermögen zeigen als schlechte, daß sich also mit wachsender Wellenlänge die Reflexion der Metalle im Sinne einer Annäherung an das von der Maxwellschen Theorie geforderte Verhalten ändert. Seine zweite Arbeit behandelt die quantitative Untersuchung elektrischer Drahtwellen mit Hilfe des Bolometers, und diese Methode benutzt er kurz darauf gemeinsam mit *L. Arons* zur Messung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit, also auch des Brechungsindex von elektrischen Wellen in einigen Isolatoren, wobei die Maxwellsche Beziehung zwischen Dielektrizitätskonstante und Brechungsindex sich bei den meisten Stoffen als richtig erweist. Seine weiteren Untersuchungen mit dem Ziel der Überbrückung des damals noch unbekannten Gebietes zwischen kurzwelliger Wärmestrahlung und elektrischen Wellen bewegen sich fast ausschließlich in der Richtung der Isolierung und Untersuchung von Wärmestrahlen immer größerer Wellenlänge. Diesem Zwecke diente zu Anfang eine Reihe von Arbeiten über die Dispersion von Flußpat, Steinsalz und Sylvin. Diese Substanzen wurden dann später als Prismen in Spektrometern benutzt. Durch Verwendung eines empfindlichen Linienbolometers gelingt es, diese Messungen, bei denen die primäre Strahlung zunächst durch ein feines Drahtgitter spektral zerlegt wird, bis beinahe 25μ auszudehnen. Hier ist Flußpat bereits in dünnen Schichten vollkommen, Steinsalz beinahe vollkommen undurchlässig, und auch bei Sylvin ist die Absorption so stark, daß selbst mit spitzwinkligen Sylvinprismen die Untersuchung von Strahlung größerer Wellenlänge nicht möglich ist. Da auch mit Gittern ein Fortschritt in der Richtung größerer Wellenlänge wegen zu geringer Intensität nicht möglich war, so war die Grenze der gewöhnlichen spektrometrischen Methode damit erreicht. Es war daher ein großer Fortschritt, als 1897 durch die von *Rubens* gemeinsam mit *E. F. Nichols* ausgearbeitete Methode der Reststrahlen ein neuer Weg geöffnet wurde. Diese Methode beruht auf folgendem Gedanken: Die meisten durchsichtigen Kristalle zeigen im ultraroten Gebiete anomale Dispersion, deren ungefähre Lage sich aus ihrer Dispersion berechnen läßt. Solche Gebiete anomaler Dispersion sind gleichzeitig Gebiete außerordentlich starker selektiver Ab-

sorption und Reflexion. Das Reflexionsvermögen erreicht hier Werte wie die des Reflexionsvermögens der Metalle, man spricht daher auch von Gebieten metallischer Reflexion. Läßt man nun monochromatische Strahlung mehrere Male an Flächen einer solchen Substanz reflektieren, so wird sie bei dieser mehrfachen Reflexion im allgemeinen außerordentlich stark geschwächt, nur wenn ihre Wellenlänge innerhalb des Gebietes metallischer Reflexion der betreffenden Substanz liegt, wird sie ebenso reflektiert wie an Metallspiegeln und ihre Intensität daher nur in geringem Maße vermindert. Läßt man daher Strahlung aller Wellenlängen, also eine Strahlung, welche spektral zerlegt ein kontinuierliches Spektrum ergeben würde, auf diese Weise mehrfach an einer bestimmten Substanz reflektieren, so bleiben als Reststrahlen praktisch nur Strahlen derjenigen Wellenlänge zurück, welche dem Gebiet metallischer Reflexion der benutzten Substanz entspricht. Man erhält auf diese Weise annähernd monochromatische Strahlen von viel größerer Intensität, als es auf spektrometrischem Wege möglich wäre. Die ersten untersuchten Reststrahlen waren die von Quarz, Glimmer und Flußpat. Mit den Reststrahlen von Flußpat, deren Wellenlänge etwa 25μ beträgt, konnte bereits eine Reihe von Versuchen angestellt werden, welche zeigten, daß diese Strahlen sich bereits nahezu wie elektrische Wellen verhalten. Zum Beispiel konnte ihre selektive Reflexion an einem Resonatorengritter nachgewiesen werden. Kurz darauf wurden von *Rubens* gemeinsam mit *E. Aschkinä* die Reststrahlen von Steinsalz und von Sylvin untersucht und ihre Wellenlänge mit einem Drahtgitter zu $51,2$ bzw. $61,1\mu$ gemessen. Hierdurch war also wieder ein gewaltiger Fortschritt in der Richtung nach längeren Wellen hin erzielt. Bei diesem Fortschreiten nach längeren Wellen bot neben der Isolierung der langwelligen Strahlung auch die Frage der Lichtquelle eine Schwierigkeit, da in den meisten Lichtquellen die langwellige Wärmestrahlung nur einen so außerordentlich kleinen Bruchteil der Gesamtstrahlung ausmacht, daß es auch bei weitgehender Isolierung des langwelligen Anteils unmöglich ist, sich von der Störung durch die kurzwellige Strahlung freizumachen. Nur ein im langwelligen Gebiet ausgesprochen selektiver Strahler, wie er von *Rubens* im Auerbrenner gefunden wurde, konnte hier mit Erfolg benutzt werden.

Nach dem Verfahren der Reststrahlen sind einige Jahre später von *Rubens* gemeinsam mit *Hollnagel* Wärmestrahlen von noch erheblich größerer Wellenlänge isoliert worden. Bei Anwendung von Jodkalium als reflektierende Substanz ergab sich eine mittlere Wellenlänge der Reststrahlen von $96,7\mu$. Zur Wellenlängenmessung wurde hier an Stelle des nicht mehr genügende Intensität gebenden Gitters ein Quarzinterferometer benutzt. Später ist von *Rubens*,

zum Teil gemeinsam mit *v. Wartenberg*, noch eine große Anzahl von Substanzen nach der Reststrahlenmethode untersucht worden.

Die Benutzung des Quarzinterferometers zur Messung der Wellenlänge dieser sehr langen Wellen war dadurch möglich, daß die Frequenz dieser Wellen schon so klein gegenüber der kleinsten Dispersionsfrequenz des Quarzes ist, daß Quarz hier bereits wieder durchlässig ist. Gleichzeitig zeigt der Quarz in diesem Gebiet schon den sich aus der Maxwellschen Beziehung ergebenden sehr hohen Wert des Brechungsindex, und diese beiden Eigenschaften wurden von *Rubens* gemeinsam mit *R. W. Wood* zur Isolierung äußerst langwelliger Wärmestrahlen mit Hilfe von Quarzlinsen benutzt. Hierbei wurden die von einer Lichtquelle ausgehenden langwelligsten Wärmestrahlen auf dem Wege über ein Interferometer durch zwei Quarzlinsen unter Zwischenschaltung geeigneter Diaphragmen auf die Lötstelle des als Meßinstrument dienenden Mikroradiometers vereinigt. Infolge des großen Unterschiedes des Brechungsindex des Quarzes für Strahlen vor und hinter seinem langwelligsten Gebiet metallischer Reflexion werden hierbei alle Strahlen kleinerer Wellenlänge entweder durch den Quarz absorbiert oder durch die Diaphragmen aufgefangen. Aus der Strahlung eines Invert-Auer-Brenners wurde auf diese Weise ein langwelliger Anteil von einer Wellenlänge von etwa 110μ isoliert. Diese Methode zur Isolierung war nach langen Wellen zu unbegrenzt brauchbar, es fehlte nur eine geeignete Lichtquelle, welche Strahlen noch größerer Wellenlänge und genügender Intensität emittierte. Eine solche wurde von *Rubens* und *O. v. Baeyer* in der Quecksilberlampe gefunden, aus deren Strahlung eine aus zwei Gruppen von der Wellenlänge von 218 und 343μ bestehende, also außerordentlich langwellige Strahlung abgetrennt wurde. Durch Einschaltung geeigneter Filter konnte hiervon noch der langwelligere Anteil allein abgesondert werden. Diese Strahlung von $\frac{1}{3}$ mm Wellenlänge zeigt nun, wie weiter unten dargelegt werden soll, bereits alle Eigenschaften der elektrischen Wellen, so daß es *Rubens* auf diese Weise tatsächlich gelungen ist, die Verbindung zwischen der optischen und den elektrischen Wellen herzustellen.

Gleichzeitig mit dieser immer fortschreitenden Erweiterung des zugänglichen Wellenlängenbereichs ging nun die Untersuchung des Verhaltens materieller Körper der Strahlung gegenüber, und mit jedem Schritt in der Richtung größerer Wellenlänge zeigte sich die fortschreitende Annäherung des Verhaltens der optischen Strahlung an das der elektrischen Wellen. Es handelt sich hierbei um drei Gruppen von Untersuchungen, die nebeneinander hergehen, deren Resultate wir aber der Übersichtlichkeit wegen nacheinander besprechen wollen: das Reflexions- und Emissionsvermögen der Metalle, der Brechungsindex

der Isolatoren und die Polarisierung der durch Gitter ungebeugt hindurchgehenden Strahlung.

Die Untersuchung des Verhaltens der Metalle ist von *Rubens* gemeinsam mit *E. Hagen* in einer Reihe von Arbeiten durchgeführt worden, von denen die ersten das Reflexionsvermögen der Metalle betreffen. Während die ersten Messungen im kurzwelligen Ultrarot noch keine Übereinstimmung mit der Maxwellschen Theorie ergaben, finden sie, daß schon bei 8μ die Metalle sich ihrem Reflexionsvermögen nach in derselben Reihenfolge ordnen, wie nach ihrer Leitfähigkeit, und schon bei 12μ finden sie bereits zahlenmäßige Übereinstimmung zwischen den gemessenen und den nach *Maxwell* berechneten Werten des Reflexionsvermögens. Das Reflexionsvermögen der Metalle ist nun aber für alle Metalle, besonders bei größeren Wellen, eine von 1 wenig verschiedene Größe, die daher schwer mit großer Genauigkeit meßbar ist. Deshalb wurde in weiteren Arbeiten von *Hagen* und *Rubens* das mit dem Reflexionsvermögen eng zusammenhängende Emissionsvermögen untersucht. Nach dem Kirchhoffschen Satz ist die Summe des Reflexionsvermögens und des auf den schwarzen Körper bezogenen Emissionsvermögens gleich eins. Messungen des Emissionsvermögens verschiedener Metalle für Reststrahlen des Flußspats (25μ) ergaben in der Tat entsprechend der Maxwellschen Theorie das Emissionsvermögen umgekehrt proportional der Wurzel aus dem Leitvermögen. Außer reinen Metallen wurden auch Legierungen untersucht, und endlich wurde gezeigt, daß auch bei Änderung der Temperatur und der damit verbundenen, bei manchen Metallen starken Änderung des Leitvermögens diese Beziehung zwischen Emissionsvermögen und Leitfähigkeit erhalten bleibt.

Während somit bei den Metallen schon bei 25μ der Punkt erreicht ist, an welchem ihr Verhalten den Wärmestrahlen gegenüber quantitativ mit den Folgerungen der Maxwellschen Theorie übereinstimmt, tritt diese Übereinstimmung bei den meisten Isolatoren erst viel später ein. Der Grund liegt darin, daß die meisten Isolatoren noch im Bereich sehr großer Wellenlänge optisch wirksame Eigenschwingungen besitzen, also Gebiete anomaler Dispersion und metallischer Reflexion. Nach der Dispersionstheorie ist der Maxwellsche Wert des Brechungsindex erst jenseits des langwelligsten Absorptionsgebietes zu erwarten, und die Ergebnisse der Rubensschen Messungen haben diese Erwartung durchaus bestätigt. Auf Einzelheiten einzugehen, ist hier unmöglich, es mag daher nur als Gesamtergebnis der Rubensschen Arbeiten auf diesem Gebiete die Tatsache angegeben werden, daß sich in der Tat sämtliche untersuchte feste Körper gegenüber den längsten Wärmestrahlen genau so verhalten wie gegen elektrische Wellen, und daß in Übereinstimmung mit der Dispersionstheorie dieses Verhalten mit wachsender Wellenlänge nach Durch-

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 magneto-optischen 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 Brechungsexponent, das Absorptions-, Re-