Werk

Titel: Rubens und die Quantentheorie

Autor: Pohl, R.; Franck, J.

Ort: Berlin

Jahr: 1922

PURL: https://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?34557155X_0010|log700

Kontakt/Contact

Digizeitschriften e.V.
SUB Göttingen
Platz der Göttinger Sieben 1
37073 Göttingen

info@digizeitschriften.de

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 weitgehenderer 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 Planckheft[1])). Es genügt daher hier, den Zu-

[1]) Diese Zeitschrift S. 1033.

sammenhang kurz mit einigen Worten zu rekapitulieren, soweit er für das Verständnis des Folgenden wichtig ist. Für die sogenannte Temperaturstrahlung eines schwarzen Körpers war von *W. Wien* (später auch von *Rayleigh* und *Jeans*) eine Gleichung aufgestellt, die die Intensitätsverteilung der Strahlung über das Spektrum in Abhängigkeit von der Temperatur wiedergeben sollte. Genaue Messungen vor allem von *Lummer* und *Pringsheim* ergaben zuerst im Gebiet der langwelligen ultraroten Strahlung kleine Abweichungen von der Wienschen Formel, die um so größer wurden, je weiter man ins Ultrarote vordrang. *Rubens*, der gerade damals durch Messungen mit langwelligem ultraroten Licht (siehe *Rubens* und die Maxwellsche Theorie) neue wesentliche Stützen für die elektromagnetische Natur des Lichtes erbracht hatte, war in dieser kritischen Periode im Zusammenhang mit *Kurlbaum* ebenfalls mit *Strahlungsmessungen* in diesem Spektralbereich beschäftigt, die auch einen Widerspruch gegen die Wiensche Formel zu ergeben schienen. Unterdes war *Planck* in einer Theorie der Strahlungsvorgänge, die in strenger Weise auf den klassischen Gesetzen des Elektromagnetismus aufbaute und gewisse nicht ganz einwandfreie Berechnungen von *W. Wien* vermied, wiederum zur Wienschen Gleichung gelangt. Um so wichtiger war es ihm, die Resultate der werdenden Arbeit von *Rubens* und *Kurlbaum* durch persönliche Fühlungnahme zu verfolgen. Noch während diese Arbeit im Gange war, entschloß sich *Planck* dazu, die klassischen Vorstellungen fallen zu lassen und durch die Annahme der Quantenhypothese die Strahlungsformel zu modifizieren. So erhielt er eine Strahlungsgleichung, die im gleichen Jahre 1900 durch die Arbeit von *Rubens* und *Kurlbaum* im langwelligen Gebiet aufs beste bestätigt wurde. Es ist nicht unsere Aufgabe, die weiteren glänzenden Bestätigungen dieser Gleichung durch *Paschen, Warburg* und schließlich wieder durch *Rubens* hier zu schildern, sondern wir müssen uns darauf beschränken, zu zeigen, wie die weitere Entwicklung der Quantentheorie immer wieder mit den Ergebnissen von *Rubens'* Arbeiten sich berührt. Bringen wir uns dazu die Grundhypothese der Quantentheorie in Erinnerung. Sie lautet:

Die Energie eines schwingungsfähigen Systems von der Eigenschwingungszahl ν kann nicht beliebige Beträge annehmen, sondern nur ausgezeichnete Werte, die ein ganzzahliges Vielfaches des Energieelementes $\varepsilon = h\nu$ bilden.

Wendet man diesen Satz auf den Spezialfall der Lichtemission und Absorption an, so lautet er: ein elektrischer Oszillator, im einfachsten Falle ein um eine Ruhelage pendelndes, quasielastisch gebundenes Elektron kann nur ganze Vielfache von ε absorbieren oder emittieren. Daß dieses Resultat den Folgerungen aus der klassischen *Elektrodynamik* vollkommen widerspricht, kann bei den Lesern dieser Zeitschrift als bekannt vorausgesetzt werden (siehe Planckheft), es widerspricht aber auch in gleicher Weise den Gesetzen der klassischen *Statistik*. Um das einzusehen, brauchen wir nur den idealisierten Oszillator mit einem in der Natur vorkommenden materiellen zu vertauschen. Als solchen können wir ein beliebiges heteropolares Molekül nehmen, das aus einem positiv und einem negativ geladenen Bestandteil besteht, die gegeneinander schwingen können.

Ein solches kann dann nicht mehr, wie es die statistische Mechanik fordert, alle möglichen Werte der Energie annehmen, die sich nach genau angebbaren Gesetzen *statistisch* um einen Mittelwert herumgruppieren, sondern nur *quantenmäßig* ausgebildete Werte. Betrachten wir nun einfache, in der Natur vorkommende Körper, die aus solchen heteropolaren Molekülen bestehen, wie z. B. die binären Salze NaCl, KCl, NaBr, KJ usw., in Kristallform, so haben wir ein Gebilde vor uns, das aus Oszillatoren besteht, denn die positiven Metallionen und die negativen Halogenionen können im festen Zustand keine anderen Bewegungen als Schwingungen um ihre Ruhelage ausführen. Hier macht also die Quantentheorie eine völlig andere Aussage über die Abhängigkeit der Schwingungsenergie des Gesamtkristalls von der Temperatur als die statistische Mechanik. Die Abhängigkeit der Schwingungsenergie von der Temperatur ist aber in diesem Falle nichts anderes als der Gang der *spezifischen Wärme* mit der Temperatur. Die Energie, die verbraucht wird, um die Masseneinheit des Kristalls um 1 Grad zu erwärmen, wird nur dazu verwandt, um die Schwingungsenergie zu vergrößern. Durch Untersuchung der spezifischen Wärme bei verschiedenen Temperaturen hat man eine weitere Möglichkeit gewonnen, die Grundhypothese der Quantentheorie zu prüfen, und zwar muß die Abweichung von den klassischen Gesetzen um so stärker sein, je mehr der Wert eines Energiequants $h\nu$ vergleichbar wird der mittleren gesamten Schwingungsenergie eines der Oszillatoren oder größer als diese, d. h. bei tiefen Temperaturen resp. hohen Eigenfrequenzen. Wie aber kann man den Wert der *Eigenfrequenz* feststellen, der als wesentliche Unbekannte in die quantentheoretische Formel für die spezifische Wärme eingeht? Hier ist der Punkt, wo auf eine direkte Weise wiederum Resultate von *Rubens'* Arbeiten weiter helfen konnten. Die gesuchten Frequenzen ergeben sich nämlich als identisch mit den sogenannten Rubensschen Reststrahlfrequenzen. Was dieses Wort bedeutet und wie *Rubens*, unterstützt von seinem Schüler *Nichols*, die große Entdeckung der Reststrahlmethode machte, die schon ins Jahr 1897 fiel, ist in dem Aufsatz über den Zusammenhang von *Rubens'* Arbeiten mit der Maxwellschen Theorie in diesem Hefte geschildert. Rufen wir uns daher nur in die Erinnerung zurück, daß

Reststrahlfrequenzen im ultraroten Spektralbereiche liegende Gebiete hoher, praktisch metallischer Absorption und Reflexion sind, so daß man durch mehrfache Spiegelung an Kristallflächen aus einem kontinuierlichen Spektrum weitgehend monochromatische Strahlen, eben die Reststrahlen des betreffenden Kristalls, aussieben kann. Nach der klassischen Elektrodynamik ist an dieser Stelle die einfallende Strahlung in Resonanz mit einer Eigenschwingung der Oszillatoren im Kristalle, die wir wiederum mit *Madelung* als Eigenschwingung der das Kristallgitter aufbauenden positiven und negativen *Ionen* anzusehen haben. Auf den genauen Ausbau dieses Teils der Quantentheorie, an dem wesentlich *Einstein, Nernst* und *Lindemann, Born* und *v. Kármán* und *Debye* teilgenommen haben, einzugehen, führt zu weit, die schließlich erhaltene Übereinstimmung mag aus einer Gegenüberstellung einiger aus thermischen Daten von *Born* und *Kármán* sich ergebenden Eigenfrequenzen, mit denen, die sich aus den Rubensschen Reststrahlmessungen berechnen lassen, hervorgehen:

	thermisch	optisch
Steinsalz	64,5	66,7
Sylvin	77,0	78,0
Flußspat	51.0	53,1

(Die Tabelle ist einer Arbeit von *K. Försterling*, Ann. d. Phys. 1920, S. 582, entnommen.)

Die Übereinstimmung darf in Anbetracht der großen rechnerischen Schwierigkeiten der Theorie gewiß als äußerst gut bezeichnet werden. Den Rubensschen Messungen über die Temperaturstrahlung des schwarzen Körpers reihen sich somit die Reststrahlmessungen in ihrer Bedeutung für den Ausbau der Quantentheorie fast ebenbürtig an. Aber noch ein drittes großes Gebiet, das *Rubens* bearbeitet hat, hat wesentliche Früchte für die Vertiefung der quantentheoretischen Vorstellungen gezeitigt. Es handelt sich um eine Reihe eigener und von seinen Schülern ausgeführter Messungen über die ultrarote Absorption heteropolarer Gase.

Der historische Hergang war der folgende: *Rubens* hatte gemeinsam mit *Hollnagel* gefunden, daß die Reststrahlen von Steinsalz, Sylvin und Bromkalium aus je *zwei* benachbarten Spektralstreifen bestanden, deren mittlere Wellenlänge zu 51,7, 63,4 und 82,3 angegeben wurden. Es schien eine Zeitlang, als ob diese Struktur der Reststrahlen, also zwei benachbarte statt nur einer Eigenschwingung einen besseren Anschluß an die Beobachtungen ergab, wenn man den Gang der spezifischen Wärme mit der Temperatur für die genannten Kristalle quantentheoretisch darstellen wollte. *Rubens* ließ sich jedoch auch hier, ebenso wenig wie sonst, nicht durch scheinbare Übereinstimmung mit der Theorie zu minder scharfer Kritik seiner eigenen Messungen verführen. Vielmehr hegte er Zweifel, ob seine und *Hollnagels* Beobachtungen wirklich im Sinne zweier verschiedener Frequenzen im Kristallgitter zu deuten seien. Er fürchtete, daß es sich in Wirklichkeit um ein einheitliches Spektralgebiet handele, das durch äußere experimentelle Umstände in zwei Spektralstreifen zerlegt erscheine. Er dachte vor allem an eine Absorption im Wasserdampf der Zimmerluft, dessen kompliziertes Absorptionsspektrum er für Wellen unterhalb von 9 μ aus *Paschens*, unterhalb 20 μ aus eigenen mit *Aschkinaß* angestellten Messungen kannte. Erneute Beobachtungen in scharf getrockneter Luft gaben seiner Vermutung Recht. Auch die Reststrahlen der genannten Kristalle bestehen nur aus einem einzigen breiten Spektralgebiet, der Aufbau aus zwei benachbarten getrennten Streifen war vorgetäuscht, weil in die Mitte der genannten Reststrahlgebiete ausgerechnet je eine Absorptionslinie des Wasserdampfes hineinfiel. *Rubens* mußte auf diese Weise eine auf die Quantentheorie gesetzte Hoffnung enttäuschen. Aber gleichzeitig sollte er gerade hierdurch zu Untersuchungen angeregt werden, die zu neuen glänzenden Bestätigungen der Quantenlehre führten; *Rubens* beschloß nämlich, den komplizierten Aufbau des Wasserdampfabsorptionsspektrums nunmehr im ganzen ihm zugänglichen Ultrarot von 1 bis 334 μ mit seinen neuen experimentellen Methoden einheitlich zu durchforschen und seine Beobachtungen auch auf andere heteropolare Gase auszudehnen. *Burmeister, Hettner* und besonders *Eva von Bahr* beteiligten sich an diesen Untersuchungen. Ihre Bedeutung für die Quantentheorie wollen wir uns folgendermaßen klar machen:

In den heteropolaren Kristallen hatten wir oben die Schwingungen der positiven und negativen Ionen gegeneinander kennen gelernt. Durch analoge Schwingungen wird auch das ultrarote Spektrum der heteropolaren Moleküle in Dampfform hervorgerufen. Im Dampf können aber die heteropolaren Moleküle außer Schwingungen ihrer Atome gegeneinander noch Rotationsbewegungen um ihre Hauptträgheitsachsen ausführen. Nach der Rechenweise der klassischen Statistik sollten auch diese Rotationen alle möglichen Werte der Energie besitzen dürfen, die sich um einen von der Temperatur abhängigen Mittelwert herumgruppieren. Dieser Maxwellschen kontinuierlichen Verteilung der Rotationsenergien sollte nach den Grundgesetzen der Elektrodynamik ein *kontinuierliches* Absorptions- bzw. Emissionsspektrum entsprechen, dessen Lage sich aus dem Trägheitsmoment der Moleküle und der Temperatur eindeutig berechnen läßt. Nach den Grundsätzen der Quantentheorie müssen diese Rotationsspektren jedoch, worauf zuerst *Bjerrum* hingewiesen hat, im Gegensatz zur klassischen Theorie aus einer Reihe *diskreter Linien* bestehen.

Die Rotationsspektren sind in der Tat von *Rubens* beobachtet worden, sie liegen jedoch bei zu langen Wellen (beim HCl z. B. bei 150 μ).