

Produktive Fehlinterpretationen

“James Franck und Gustav Hertz” Beide Wissenschaftler erhoben sich und schritten gemessenen Schrittes auf den König zu – dies war die Krönung ihrer wissenschaftlichen Laufbahn, und das, obwohl sie beide noch sehr jung waren. Der 44 jähriger Franck lächelte seinem fünf Jahre jüngeren Kollegen zu, der dieses Lächeln erwiderte, und beide wussten, was es bedeutete: sie hatten sehr viel Glück gehabt, mehr, als alle in dem Saal anwesenden ahnten, denn das Ergebnis ihres Experiments hatte sich eigentlich als falsch herausgestellt, und dennoch erhielten sie jetzt den Nobelpreis für Physik. Langsam gingen sie nach vorne, um den Preis entgegenzunehmen, während ihre Gedanken mehr als zehn Jahre zurückgingen...

1911 war James Franck bereits Privatdozent und es war absehbar, dass er bald eine Professur erhalten würde – er war frisch verheiratet und genoss es, im Labor der Berliner Universität zu arbeiten, insbesondere, seit der Physiker Gustav Hertz zu der Gruppe gekommen war. Hertz, ein Neffe des großen und viel zu früh verstorbenen Heinrich Hertz, hatte sich schnell einen Ruf als hervorragender Experimentator erarbeitet. Er war aber auch ein sehr umgänglicher Mensch im Labor, und so hatte Franck sich sehr schnell mit ihm angefreundet.

Es war also nicht nur Zufall, dass beide begannen, gemeinsame Experimente durchzuführen. Sie wollten das elektrische Verhalten in Gasentladungsröhren weiter untersuchen. Derartige Geräte waren im Prinzip bereits seit einigen Jahrzehnten in sehr vielen Experimenten verwendet worden, und es gab eine Reihe von wirklich bemerkenswerten Erfolgen, insbesondere die Arbeit Röntgens, die zur Entdeckung der nach ihm benannten Strahlen geführt hatte und der 1901 mit dem ersten Nobelpreis ausgezeichnet worden war. Franck selbst hatte in seiner Dissertation mit entsprechenden Röhren gearbeitet, und war jetzt wieder zu dem Thema zurück gekehrt, denn es gab einige sehr irritierende Ergebnisse: Er hatte in seiner Arbeit bestimmt, mit welcher Geschwindigkeit sich Ionen in Gasen bewegten, und hatte dabei Ergebnisse erhalten, die mit denen aus Experimenten englischer Forscher übereinstimmten.

In neuen Experimenten, bei denen er das Edelgas Argon verwendete, hatte Franck aber sehr irritierende Ergebnisse erhalten – die positiven Ladungsträger hatten eine Geschwindigkeit von etwas mehr als 1 m/s - das passte gut zu allem bisher bekannten. Die negativen Ladungsträger aber schienen sich mit einer Geschwindigkeit von etwa 200 m/s zu bewegen – das war verrückt, und Franck schien es, als würde dieses irritierende Ergebnis noch

schlimmer, denn im Laufe der nächsten Tage nahm die gemessene Geschwindigkeit der negativen Teilchen immer weiter ab – konnte das sein?

Q1: Hast du eine Idee, was Franck machen kann, um dieses unerwartete Ergebnis näher zu untersuchen, oder wie die Abnahme der Geschwindigkeit zu erklären sein könnte?

Franck kam eine Idee – konnte es sein, dass die Röhren nicht ganz dicht waren und im Laufe der Zeit das Argon mit anderen Gasen aus der Luft verschmutzt wurde? Er benutzte einen Hahn an der Röhre, um gezielt etwas Sauerstoff hinzuzugeben und maß die Geschwindigkeit der negativen Ladungsträger - jetzt lag deren Geschwindigkeit wieder zwischen 1 m/s und 2 m/s - das entsprach seinen Erwartungswerten. Konnte es sein, dass die negativen Ladungsträger eigentlich viel höhere Geschwindigkeiten hatten und durch Verschmutzungen des Gases entsprechend verlangsamt wurden?

Q2: Was könnte Franck tun, um diesen Sachverhalt weiter zu untersuchen?

Franck führte vergleichbare Experimente mit Stickstoff durch – auch hier gab es entsprechende Ergebnisse – er schien auf etwas gestoßen zu sein und veröffentlichte seine Ergebnisse. Aber wie konnte das sein – damit die negativen Ionen sich so schnell bewegen konnten mussten sie sehr kleine Massen haben – es konnten gar keine Ionen sein, sondern es musste sich um freie Elektronen handeln. Und diese durften sich nicht mit allen Gasen gleich gut zu Ionen verbinden, sondern bei einigen wie Argon oder Stickstoff allenfalls langsam, bei anderen wie Sauerstoff sehr schnell. Dieser Effekt lohnte auf jeden Fall weitere Untersuchungen, und hier kam jetzt auch Gustav Hertz ins Spiel.

Die beiden Physiker diskutierten die Versuchsergebnisse und überlegten, ob dieses Verhalten sich über Ionisierungsenergien würde erklären lassen – dabei würden Prozesse ablaufen, die ähnlich derer beim photoelektrischen Effekt waren, bei dem Metalle Elektronen abgaben, wenn Sie mit Licht sehr charakteristischer Frequenzen bestrahlt wurden. Somit wäre auch der von Franck beobachtete Effekt als ein quantenmechanischer zu begreifen – also mit der Theorie verbunden, die gerade für viele junge Physiker ein vielversprechender Ansatz zu sein schien.

Sie versuchten, vergleichbare Experimente mit verschiedenen Gasen durchzuführen, wobei sie auf Arbeiten von einer Reihe Kollegen zurückgriffen – insbesondere die Reinigung der Glasröhren und der verwendeten Gase gestalteten sie extrem aufwendig – aber der Erfolg gab ihnen sehr schnell recht: sie konnten die Ionisierungspotentiale für Wasserstoff, Helium, Neon, Argon, Sauerstoff und Stickstoff bestimmen. Damit hatten sie experimentell gezeigt, dass diese Energien charakteristisch waren für die einzelnen Gase. – bereits 1913 konnten sie mehrere Artikel zu diesen Arbeiten veröffentlichen. Daneben begannen sie, mögliche Energieverluste von Elektronen in Stößen mit Gas-molekülen zu untersuchen. Dabei war für sie insbesondere interessant, ob Elektronen bereits Energie abgaben, bevor ihre Bewegungsenergie der jeweiligen Ionisationsenergie der Gase entsprach – dies war zumindest bei den Edelgasen nicht der Fall. Bei molekular vorkommenden Gasen schien dies etwas anders zu sein, insofern planten Franck und Hertz, entsprechende Experimente mit anderen atomaren Gasen durchzuführen – gasförmigen Metallen.

Dies war aber leichter gedacht als getan, denn es stellte sich als extrem schwierig heraus, eine entsprechende, nur mit Quecksilberdampf gefüllte Röhre herzustellen. Schließlich gelang es ihnen, einen Glasbläser zu finden, der ihnen entsprechende Röhren herstellen konnte – kaum war die erste in das Labor geliefert worden begannen Franck und Hertz, den experimentellen Aufbau zu realisieren.

Diesmal nahmen sie noch eine Änderung vor, sie ließen im Gegensatz zu den früheren Experimenten die Beschleunigungsspannung der Elektronen konstant ansteigen und maßen den

resultierenden Strom – das Ergebnis entsprach einerseits ihren Erwartungen – es gab einer bestimmten Spannung einen Abfall des Stroms, der durch die Energieübertragung der Elektronen bei der Ionisation des Quecksilbers zu erklären war, aber andererseits stellte Franck sehr schnell fest:

„Weißt du, Hertz, diese Energie – 4,9eV, das entspricht einer Wellenlänge, die Wood bereits in seinen spektroskopischen Untersuchungen an Quecksilber festgestellt hat.“ „Was meinst du?“ „Nun, Wood – er war hier in Berlin und ich habe mit ihm gearbeitet, kurz bevor du gekommen bist – hat gezeigt, dass eine UV-Linie von 253.6 Nanometern typisch ist für Quecksilber.“ Hertz fragte aufgeregt nach „Und diese Wellenlänge...“ „... entspricht gerade einer Energie von 4,84 eV“ vollendete Franck den Satz. „Das kann kein Zufall sein!“ Sie blickten sich beide an: „ Wenn wir diesen Zusammenhang zeigen könnten...“

Q3: Was müssen Franck und Hertz tun, um ihr Ergebnis mit dem von Wood zu verbinden?

Bereits wenige Monate, nachdem sie ihr erstes Ergebnis zur Untersuchung des Zusammenstoßes von Elektronen mit Quecksilberatomen veröffentlicht hatten erschien eine zweite Abhandlung, in der sie demonstrierten, dass genau diese spektrale Linie auch in ihrer Röhre nachgewiesen werden konnte.

Und dann – dann begann der erste Weltkrieg, und beide, Franck und Hertz wurden eingezogen, beide arbeiteten unter dem Chemiker Fritz Haber an der Gaskriegsführung, beide wurden verwundet, und beide waren am Ende wohl heilfroh, diesen Krieg überstanden zu haben. Bereits während des Krieges waren sie darauf aufmerksam geworden, dass ihre Interpretation der Ergebnisse ihrer erfolgreichen Zusammenarbeit in Frage gestellt worden waren – bereits 1913 hatte der dänische Physiker Niels Bohr einen Entwurf für ein quantenmechanisches Atommodell veröffentlicht – ein Modell, das gerade auch zur Erklärung der Spektrallinien diente. Bohr hatte bereits 1915 behauptet – sicherlich auch, um sein Modell zu stärken - , dass es bei den Experimenten von Franck und Hertz nicht zu einer Ionisation gekommen sei, sondern lediglich zu einer Anregung . das angeregte Atom würde dann wieder in den Grundzustand zurückfallen und dabei die aufgenom-

mene Energie als Strahlung abgeben. Diese Interpretation wiesen sie in einem Artikel 1916 zurück.

Während des 1. Weltkrieges waren in England, vor allem aber auch in Nordamerika eine Reihe von Experimenten durchgeführt worden, die einerseits die Ergebnisse von Franck und Hertz stützten, andererseits aber auch Bohrs Interpretation dieser Ergebnisse.

1918, nach dem Ende des Krieges, organisierte Max Born ein Kolloquium, in dem die Ergebnisse der physikalischen Forschung der letzten vier Jahre vorgestellt wurden. Am Ende dieser Diskussion stellte sich Franck und Hertz eine ganz zentrale Frage, die Franck dann schließlich aussprach:

„Gustav, wir müssen unsere experimentellen Interpretationen noch einmal überdenken. Ich glaube, dass diese Idee von Bohr sehr viel fruchtbarer ist, als wir es vor zwei Jahren selbst gedacht haben.“ „Und was sollen wir deiner Meinung nach tun?“ „Einen Artikel schreiben, in dem wir unsere Experimente mit der neuen Interpretation diskutieren, und deutlich machen, dass diese vieles von den aktuellen Arbeiten bereits gezeigt haben. Wir könnten es sogar als Bestätigung der Bohrschen Atomtheorie veröffentlichen.“ „Hm, ich gebe zu, ich verstehe diese Theorie mittlerweile viel besser und glaube, dass sie wirklich sehr fruchtbar und sinnvoll ist, aber als Bestätigung?“ „Natürlich, Gustav, das ist möglicherweise eine der wichtigsten Arbeiten der ganzen Atomphysik, die Bohr da vorgelegt hat, und wenn wir mit unseren Experimenten eine Bestätigung geliefert haben ...“ Franck machte einen Moment Pause, dann fuhr er fort „Wir behaupten ja nicht, dass wir die Experimente als Untersuchung der Bohrschen Arbeit gestartet haben, aber letztlich stützen unsere experimentellen Befunde doch diese Theorie in möglicherweise ganz entscheidender Weise ...“

Q4: Sollten (und dürfen) Franck und Hertz ihre Interpretation der experimentellen Ergebnisse so umdeuten, dass sie zu einer ursprünglich eher abgelehnten Theorie passen?

1919 erschien in der Physikalischen Zeitschrift ein Artikel von James Franck und Gustav Hertz unter dem Titel „Die Bestätigung der Bohrschen Atomtheorie im optischen Spektrum durch Untersuchungen der unelastischen Zusammenstöße langsamer Elektronen mit Gas-molekülen“. Drei Jahre später erhielt Niels Bohr den Nobelpreis für Physik „für seine Verdienste um die Erforschung der Struktur der Atome und der von ihnen ausgehenden Strahlung“ – vier Jahre später erhielten James Franck und Gustav Hertz den Nobelpreis für Physik „für ihre Entdeckung der Gesetze, die den Zusammenstoß eines Elektrons mit einem Atom beschreiben“.

Q5: Ist es gerechtfertigt, dass Franck und Hertz den Nobelpreis erhalten, wenn sie doch eigentlich die Ergebnisse als Ionisation und nicht als Anregung interpretierten?

Quellen:

- Ebner, F. (2013). *James Franck - Robert Wichard Pohl: Briefwechsel 1906 - 1964*. München: Dt. Museum.
- Gearhart, C. A. (2014). The Franck-Hertz experiments, 1911-1914: experimentalists in search of a theory. With an appendix, "On the history of our experiments on the energy exchange between slow electrons and atoms" by Gustav Hertz. *Physics in perspective*, 16(3), 293-343.
- Robson, R. E., Hildebrandt, M., & White, R. D. (2014). Ein Grundstein der Atomphysik. *Physik Journal*, 13(3), 43-49.

Produktive Fehlerinterpretation wurde von Peter Heering im Rahmen des Projekts StoryTelling an der Europa-Universität Flensburg verfasst.
