

J. J. Thomson: Nobelpreisträger in Physik 1906**

John Meurig Thomas*

Stichwörter:

Elektrische Entladung · Kathodenstrahlen ·
Magnetismus · Wissenschaftsgeschichte

Im Rahmen seiner Faraday-Vorlesung 1881 an der Royal Institution of Great Britain äußerte der deutsche Physiker und vormalige Physiologe Hermann von Helmholtz die Vermutung, dass – gründend auf Überlegungen zur Bedeutung der Faradayschen Gesetze der Elektrolyse – die Elektrizität auf einer einheitlichen Struktur beruhen müsse, wobei der maximale Wert der Einheit eine Größe habe, die für eine Reaktion mit einem einwertigen Atom ausreiche. 16 Jahre später, an gleicher Stätte, gab Joseph John Thomson, Cavendish-Professor für Experimentalphysik an der Universität Cambridge, bei einer Vorlesung über Kathodenstrahlen^[1] seine Entdeckung des Elektrons bekannt, das er damals als „Korpuskel“ bezeichnete. J. J. Thomson sollte 1906 der zweite britische Physiker werden (der erste war Rayleigh), der den Nobelpreis erhielt, „für seine theoretischen und experimentellen Forschungen zur elektrischen Leitfähigkeit von Gasen“ (Abbildung 1).

Wie kam es, dass diesem brillanten Mathematiker und scharfsinnigen Chemietheoretiker, dabei aber ungeschickten Experimentator – einem Mann, der,



Abbildung 1. J. J. Thomson (1856–1940). Quelle: Trinity College, Cambridge.

[*] Prof. Sir J. M. Thomas
Department of Materials Science and
Metallurgy
University of Cambridge
Pembroke Street, Cambridge, CB2 3QZ
(Großbritannien)
Fax: (+44) 1223-334-567
E-Mail: jmt2@cam.ac.uk
und
Davy–Faraday Research Laboratory
Royal Institution of Great Britain
21 Albemarle Street, London, W1S 4BS
(Großbritannien)

[**] Ich danke Professor E. A. Davis für nützliche Hinweise sowie Rebecca Pritchard für ihre Hilfe bei der Anfertigung des Manuskripts.

als er 1918 zum Master am Trinity College in Cambridge berufen wurde, vom damaligen britischen Premierminister David Lloyd George als ein „Physiker von überragender Bedeutung“ beschrieben wurde – ein solch wichtiger Durchbruch wie die Entdeckung des ersten subatomaren Teilchens gelang? Und wie geschah es, dass Ernest Rutherford (der später sein unmittelbarer Nachfolger am Cavendish-Lehrstuhl wurde und der allgemein als meister-

hafter Experimentator galt) sein Student wurde? Diese und damit zusammenhängende Fragen sind das Thema vorliegenden Essays, der außerdem einige allgemein-kulturelle Aspekte der Naturwissenschaften betrachtet. Diese knappe Zusammenfassung^[2] des wissenschaftlichen Wirkens von „J. J.“ – als der er noch über Cambridge hinaus bekannt war – soll uns vor Augen führen, welche Rolle Eigenschaften wie Begeisterungsfähigkeit, Disziplin und die

unvorhersehbaren Folgen dessen, was der niederländische Physiker Casimir „willkürliche Realität“ nannte, für den Fortschritt in den Naturwissenschaften spielen.

Die prägenden Jahre

J. J. Thomson wurde am 18. Dezember 1856 in einem Vorort von Manchester als Sohn eines Buchhändlers geboren. Während seiner frühen Schulausbildung an kleinen Privatschulen wurden ihm die Regeln der lateinischen Grammatik, Passagen aus der englischen Literatur und die Behauptungen des Euklid gelehrt. Mit 14 kam er an das Owen's College (die heutige Universität Manchester), wo ihn vor allem der brillante, leicht exzentrische Unterricht bei Osborne Reynolds^[3] und John H. Poynting^[4] in den Bann zog. Er erhielt bald ein Stipendium in Mathematik am Trinity College in Cambridge, wo er 1876 sein Studium aufnahm und wo er von nun an bis zu seinem Tod 1940 einen Großteil jedes Semesters verbringen sollte.

In Cambridge vertiefte sich Thomson gänzlich in die Vorbereitungen zu den mathematischen Tripos-Prüfungen. Ein gutes Prüfungsergebnis hatte ein gewaltiges Renommee zur Folge. Die Prüfung selbst, die nach dreijähriger Studienzeit absolviert wurde, bestand aus 15 bis 20 dreistündigen Einzel-examen, die binnen drei Wochen zu absolvieren waren. Sortiert nach Prüfungsergebnissen wurden die Studenten dann in Wrangler (erste Klasse), Senior Optimes (zweite Klasse) und Junior Optimes (dritte Klasse) eingeteilt. Der Senior Wrangler, der Prüfungsbeste, wurde von seiner Schule und in seinem Heimatort stolz gefeiert. *„Ehrgeizige Wrangler gingen ihrer Ausbildung mit großer Ernsthaftigkeit nach, arbeiteten acht Stunden am Tag, mit zwei Stunden körperlicher Betätigung, meist in Form langer, zügiger Spaziergänge zu zweit, entspannten sich an den Abenden und lebten auch sonst enthalten.“*^[5]

Thomson wurde von dem berühmten Repetitor Edward J. Routh (Fakultätsmitglied am Peterhouse und selbst Senior Wrangler zu der Zeit, als James Clerk Maxwell Second Wrangler war) durch die mathematische Tripos-Prü-

fung begleitet. In der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts unterrichtete Routh all die kommenden Mathematikgenies in Cambridge, einschließlich Joseph Larmor (bekannt durch die Larmor-Frequenz). J. J. Thomson schrieb in seiner Autobiographie über Routh:^[6] *„Vielleicht hat kein anderer Mann so viel Einfluss auf die Lehre der Mathematik genommen; fast ein halbes Jahrhundert lang waren unzählige Mathematikprofessoren in englischen, schottischen, walisischen und kolonialen Universitäten seine Schüler gewesen.“* Zwischen 1855 und 1888 führte Routh 27 seiner Studenten zum Senior Wrangler. Interessanterweise war J. J. Thomson in dem Jahr Second Wrangler, in dem sein irischer Freund Joseph Larmor Senior Wrangler war.

Tutor am Trinity College

Nach Abschluss seines Studiums begann Thomson unverzüglich mit Forschungsarbeiten; schon vorher hatte er eine oder zwei kurze Arbeiten zu rein mathematischen Themen veröffentlicht. In den ersten vier Jahren beschäftigte er sich vor allem mit analytischer Dynamik und der Maxwellschen Elektrodynamik. Da er sich hohe Ziele gesetzt hatte – wie Zeit seines Lebens immer –, bemühte er sich um ein Stipendium am Trinity College – und erhielt es zur Überraschung vieler! Am Trinity wandte er seine Forschungen der mathematischen und experimentellen Physik zu. Zu seinen experimentellen Arbeiten, die er unter der Anleitung von Lord Rayleigh ausführte (der damals die Cavendish-Professur innehatte), zählte unter anderem die Bestimmung des Verhältnisses zwischen der elektromagnetischen und der elektrostatischen Einheit.^[7]

Nach Lord Rayleighs Emeritierung 1884 wurde Thomson als Kandidat für dessen Nachfolge gehandelt – erneut zur Überraschung vieler. Seine schließliche Ernennung im Alter von 27 Jahren war in der Tat bemerkenswert, zumal er – ganz anders als Rayleigh – den Ruf eines ungeschickten Experimentators hatte. Indes erwies sich Thomson in seiner neuen Position rasch als sehr erfolgreich, sodass etwaige Zweifel an seiner Ernennung bald ausgeräumt waren.

Cavendish-Professor für Experimentelle Physik

Thomson war, als er die prestigeträchtige Cavendish-Professur einnahm (ihr erster Inhaber war Clerk Maxwell gewesen), kein geschickter Drahtzieher, und er sollte es nie werden. Dank seiner intellektuellen Fähigkeiten und seiner angeborenen Erfindungsgabe wurde ihm dies aber nie zum Problem, zumal ihm stets andere zur Seite standen, deren Begabungen die seinen ergänzten. Vor allem gelang es Thomson, seine ihm eigene Beharrlichkeit und Begeisterung an der Wissenschaft auf seine Mitarbeiter zu übertragen.

Von 1885 an, über einen Zeitraum von etwa zwei Jahren, vertiefte er sich in Versuche, die Atomwertigkeit und die periodischen Eigenschaften der chemischen Elemente zu erklären. Sein Wirbelatommodell – womöglich Produkt eines latenten Einflusses von Osborne Reynolds – schien eine Lösung zu bieten, und in der Tat veröffentlichte er eine Arbeit mit dem Titel: *„The Vortex Ring Theory of Gases: On the Law of Distribution of Energy among the Molecules“*.^[8]

Schon bald aber verlagerte sich seine Aufmerksamkeit auf die elektrische Entladung durch Gase – dasjenige Thema, mit dem er seine größten Errungenschaften feiern sollte. Der vierte Baron Rayleigh – der Sohn von Thomsons direktem Vorgänger am Cavendish-Lehrstuhl – bemerkte hierzu in seinem Nachruf auf Thomson: *„Seine frühen Forschungen zur elektrischen Entladung durch Gase dienten größtenteils dem Zwecke der Erkundung. Er suchte sozusagen nach einem Faden, der ihm den Weg durch das Labyrinth seines Fachesgebietes weisen würde, das so reich an experimentellen Details war, aber nur so wenige Anhaltspunkte für den Aufbau eines theoretischen Grundgerüsts bot.“*

Thomson verbrachte außerdem viel Zeit mit Studien zur Elektrolyse von Dampf^[9] und mit der Bestimmung der Scheingeschwindigkeit, mit der sich die Leuchtkraft entlang einer Vakuumröhre ausbreitet. Der entscheidende Wendepunkt in seinen Forschungen zur elektrischen Entladung kam allerdings erst mit Wilhelm Conrad Röntgens folgen-

reicher Entdeckung der Röntgenstrahlen 1896.

Es gab zu dieser Zeit aber noch andere Entwicklungen, die die Wissenschaft in Cambridge enorm voranbrachten. Die wissenschaftlichen Fortschritte waren so bedeutend, dass Clerk Maxwells monumentales Werk „*Treatise on Electricity and Magnetism*“, das 1873 veröffentlicht worden war, 1893 mit einem Anhang Thomsons nochmals aufgelegt wurde („*Recent Researches in Electricity and Magnetism*“). Die ergänzte Fassung dieser klassischen Monographie wurde von Naturwissenschaftlern weltweit gelesen, und viele Studenten aus allen Teilen Großbritanniens und aus dem Ausland wollten unbedingt bei Thomson studieren. Glücklicherweise erließ die Universität von Cambridge in den frühen 1890er Jahren einen Beschluss, der es graduierenden Studenten anderer Universitäten erlaubte, ihr Studium in Cambridge fortzusetzen („to come into residence“ in der englischen Formulierung – ein wunderlicher Ausdruck, der noch heute in Gebrauch ist) und einen akademischen Abschluss entweder in einem Hauptstudium oder durch zweijährige Forschungen zu erlangen. Zur selben Zeit ermöglichte es eine Statutenänderung der zur Weltausstellung 1851 gegründeten Exhibition-Kommission, dass diese einflussreiche Körperschaft nun Studenten aus Übersee unterstützen konnte. Damit war die Möglichkeit geschaffen, dass sich Wissenschaftler von außergewöhnlicher Begabung in Cambridge zusammenfanden. Darunter waren Ernest Rutherford vom Canterbury College in Christchurch (Neuseeland), P. Langevin aus Paris, J. S. E. Townsend vom Trinity College in Dublin und J. C. McLennan aus Toronto. (Rutherford z. B. sollte schon bald der erste Exhibition-Stipendiat werden, der den Nobelpreis gewann.)

Thomson fand recht bald, dass Gase, die dem Einfluss von Röntgenstrahlen ausgesetzt wurden, bei Anlegen einer kleinen Spannung elektrisch leitend wurden. Thomson lud Rutherford ein, ihm bei seinen Arbeiten zu assistieren. Aus diesen Forschungen resultierte eine bedeutende gemeinsame Veröffentlichung,^[10] in der gezeigt wurde, dass die Wirkung der Röntgenstrahlen darin bestand, geladene Ionen im Gas freizu-

setzen. Thomson vertiefte sich daraufhin verstärkt in Experimente, um das Wesen der Kathodenstrahlen zu entschlüsseln. Er war überzeugt, dass eine von Sir William Crookes geäußerte Theorie,^[11] wonach diese Strahlen aus negativ aufgeladenen Teilchen bestanden, die aus der Kathode herausgeschossen wurden, richtig war. Dies widersprach den Anschauungen angesehener Physiker wie Heinrich Hertz und Philipp Lenard, die die Meinung vertraten, es handele sich um Wellen. Der entscheidende Befund, der Thomson an Crookes' Theorie glauben ließ, war, dass die Strahlen durch eine magnetische Kraft, die quer zu ihrer Flugbahn einwirkte, abgelenkt wurden. Aufgrund von Messungen, in denen er den Betrag der magnetischen Ablenkung bestimmte, kamen Thomson starke Zweifel, ob es sich bei den elektrisch aufgeladenen Teilchen tatsächlich um Atome oder Moleküle handeln konnte. Mithilfe von Experimenten, die er beim höchsten damals erreichbaren Vakuum ausführte, und durch kombinierte Messungen der elektrostatischen und magnetischen Ablenkung konnte er genügend Daten sammeln, um die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Strahlen und das Verhältnis zwischen Ladung und Masse (e/m) zu berechnen. Dieser Wert war über 1000-mal größer als das Verhältnis für elektrolytisch ionisierten Wasserstoff. Daraus schloss Thomson unmittelbar, dass seine Teilchen eine sehr kleine Masse haben mussten und ein universeller Bestandteil jeglicher Materie waren, da er immer den gleichen Wert erhielt, gleich welches Gas er untersuchte und aus welchem Material die Elektrode beschaffen war, durch die es in die Röhre ein- und aus ihr austrat.

Positiv geladene Teilchen und der Ursprung der Massenspektrometrie

Thomsons zweite große Schaffensphase (von etwa 1906 bis 1914) war von seinen Experimenten mit positiv geladenen Strahlen geprägt, die der deutsche Physiker Eugen Goldstein entdeckt hatte („Kanalstrahlen“). Positiv geladene Strahlen treten in Niederdruckentladungsröhren mit Lochkathode auf, wobei sich die Strahlen in den kräfte-

Raum hinter der Kathode ausbreiten. Zwar hatte Wien^[12] bereits gezeigt, dass diese Strahlen korpuskulärer Natur waren und aus Teilchen mit atomaren Abmessungen bestanden, bisher war es aber niemandem gelungen, die unterschiedlichen Arten von Atomen, die in solchen Strahlen vorliegen sollten, auseinander zu halten. Durch Messung ihres e/m -Verhältnisses erbrachte Thomson den Beweis, dass sämtliche Teilchen atomare Massen hatten und dass zudem viele unterschiedliche Arten von Teilchen auftraten. Dies war der Schlüssel zur Entwicklung der Massenspektrometrie, die man seinerzeit noch als Spektrographie bezeichnete, weil die Signale auf photographischen Platten aufgenommen wurden. In gemeinsamen Arbeiten mit F. W. Aston^[13] fand Thomson klare Hinweise, dass das Edelgas Neon aus Atomen mit mindestens zwei unterschiedlichen Massen besteht. Aston konnte später nachweisen, dass Neon aus drei Isotopen besteht.

Thomsons öffentliches und privates Leben

Während seiner Amtszeit als Cavendish-Professor begründete Thomson ein naturwissenschaftliches Institut, wie es seinesgleichen suchte. Bis zu 40 Forschungsstudenten arbeiteten unter seiner Anleitung. (Dies ist heute nichts Außergewöhnliches mehr in Cambridge, war vor der Ära Thomson jedoch kaum denkbar.) Der große Erfolg seines Instituts war in erster Linie Thomsons Persönlichkeit geschuldet, seinen konstruktiven Vorschlägen, seinem ehrlichen Interesse an der Arbeit seiner Studenten und seiner Begeisterung über ihre Erfolge. Dennoch gab es einige Spannungen. J. S. E. Townsend z. B. (der spätere Sir John), der irische Physiker, der Mitte der 1890er Jahre etwa zur selben Zeit wie Rutherford an das Cavendish gekommen war, verließ im Jahr 1900 das Institut, um die erste Wykeham-Professur für Experimentelle Physik in Oxford zu übernehmen, weil seiner Meinung nach Thomson seinen Anteil an einigen Forschungsprojekten nicht in ausreichendem Maße gewürdigt hatte.^[14]

Viel später, als Thomson Master am Trinity College war, schien es, dass sich

Rutherford, der Thomson als Cavendish-Professor nachgefolgt war, über die Art und Weise gekränkt fühlte, wie seine Schüler von Thomson behandelt wurden, als sie sich vergeblich um ein Stipendium am Trinity bewarben.

In seiner Position als Master am Trinity College, die er vom Alter von 62 bis zu seinem Tode mit 84 innehatte, erwies sich Thomson als außerordentlich erfolgreich. Rayleigh junior^[15] beschrieb Thomsons Auftreten als Vorsitzender des College Councils: „*Nie sah man ihn seinen Gleichmut verlieren, selbst dann nicht, wenn Ratsmitglieder, die einen anderen Standpunkt als den seinen einnahmen, es vorübergehend an der gebührenden Höflichkeit mangeln ließen.*“ Nach Thomsons Ansicht war es am besten, derartige Verfehlungen schlicht zu ignorieren, da sie so am einfachsten vergessen zu machen waren.^[15]

Thomson konnte zufrieden sein, weil er viel für ein Forschungsklima getan hatte, in dem geniale Männer – Frauen waren in den Naturwissenschaften damals eine Seltenheit – ihre Fähigkeiten zur Entfaltung bringen konnten. Zudem wurde auch sein Sohn, George Paget Thomson (später Sir George), zu einem erstklassigen Physiker. Er erhielt 1937 zusammen mit C. J. Davidson den Nobelpreis für die Entdeckung der Elektronenbeugung durch Kristalle. G. P. Thomsons Arbeiten schienen denen seines Vaters fast zu widersprechen. Im Nachruf Max Borns auf J. J. Thomson^[16] findet sich die Bemerkung: „*Es ist eine faszinierende Tatsache, dass Vater und Sohn die überzeugendsten Nachweise für die scheinbar widersprüchlichen Eigenschaften des Elektrons geliefert haben: der Vater seine Beschaffenheit als ein*

Teilchen beweisend, der Sohn seine Beschaffenheit als eine Welle.“

Übersetzt von Dr. Frank Maaß, Weinheim

- [1] Der Begriff Kathodenstrahlen wurde in Deutschland begründet. Namhafte Forscher waren Plucker, von Helmholtz, Heinrich Hertz, Wiedemann, Goldstein, Lenard, Kaufmann, Wiechert und – in Frankreich – Perrin.
- [2] Es gibt viele ausgezeichnete Bücher über J. J. Thomson, besonders empfehlenswert ist E. A. Davis, I. J. Falconer, *J. J. Thomson and the Discovery of the Electron*, Taylor and Francis, London, **1997**.
- [3] Osborne Reynolds (1842–1912) wurde vor allem durch seine bahnbrechenden Studien zur turbulenten Bewegung und seine theoretischen Arbeiten im Bereich der Ingenieurwissenschaften bekannt. In einer Arbeit zur Hydrodynamik bewies er 1877 die Bildung von Wirbeln durch Bewegung ebener Platten oder fester Körper durch Wasser. Zuvor hatte er die dimensionslose Reynolds-Zahl eingeführt, die von der Viskosität, der Dichte und den linearen Abmessungen einer Strömung abhängt. Die Reynolds-Zahl spielte eine zentrale Rolle bei nachfolgenden Studien über viskose Fluide.
- [4] John Henry Poynting (1852–1914) wurde durch seine Arbeiten zur Transmission von Energie im elektromagnetischen Feld und die Bestimmung der Gravitationskonstante bekannt.
- [5] E. A. Davis, I. J. Falconer, *J. J. Thomson and the Discovery of the Electron*, Taylor and Francis, London, **1997**, S. 8.
- [6] J. J. Thomson, *Recollections and Reflections*, G. Bell, London, **1936**, S. 35.
- [7] „Argon und das nichtinerte Paar: Rayleigh und Ramsay“: J. M. Thomas, *Angew. Chem.* **2004**, *116*, 6578; *Angew. Chem. Int. Ed.* **2004**, *43*, 6418.
- [8] J. J. Thomson, *Proc. R. Soc. London* **1885**, *39*, 23.
- [9] J. J. Thomson, *Proc. R. Soc. London* **1893**, *53*, 90.
- [10] „On the Passage of Electricity through Gases Exposed to Röntgen-rays“: E. Rutherford, J. J. Thomson, *Philos. Mag.* **1896**, *42*, 392.
- [11] Sir William Crookes (1832–1919) war der Erfinder des Radiometers und der nach ihm benannten Vakuumröhren und außerdem der Entdecker des Elements Thallium. Er war zu verschiedenen Zeiten Präsident der Chemical Society, der Institution of Electrical Engineers, der Society of the Chemical Industry, der British Association und der Royal Society.
- [12] Wilhelm Wien (1864–1928) war deutscher Physiker von herausragenden theoretischen und experimentellen Fertigkeiten. Er wurde bekannt durch seine Forschungen zur Schwarzkörperstrahlung, die Max Planck beeinflussten, und erhielt 1911 den Physik-Nobelpreis für seine Arbeiten zur Wärmestrahlung und die Formulierung des nach ihm benannten Verschiebungsgesetzes.
- [13] Francis William Aston (1877–1945) ist der anerkannte Erfinder des Massenspektrographen (um 1919). Sein erster Spektrograph konnte nur Gase analysieren, 1927 fand er aber einen Weg, auch Feststoffe zu untersuchen. Seine präzisen Messungen von Atomgewichten und die Beobachtung, dass diese häufig von ganzzahligen Größen abweichen, führten ihn zum Begriff des Verpackungskoeffizienten („packing fraction“), einem Maß für die Stabilität des Atoms.
- [14] A. L. Hodgkin, Nobelpreisträger in Physiologie oder Medizin, war Student, Fakultätsmitglied und Master am Trinity College. In seiner Autobiographie schildert er, wie J. S. E. Townsend über J. J. Thomson zunehmend in Verdruss geriet: A. L. Hodgkin, *Chance and Design*, Cambridge University Press, **1992**, S. 73.
- [15] Lord Rayleigh, *Obituary Notices of Fellows of the Royal Society*, **1941**, *3*, 586.
- [16] M. Born, Nachruf; zitiert in Lit. [15].