

# Argon und das nichtinerte Paar: Rayleigh und Ramsay

John Meurig Thomas\*

**Stichwörter:**

Edelgase · Ramsay, William · Rayleigh, John William,  
Lord · Wissenschaftsgeschichte

Im Jahr 1904 wurden zwei in London ansässige Wissenschaftler als erste Briten mit dem Nobelpreis ausgezeichnet. Lord Rayleigh (an den Davy Faraday Research Laboratories der Royal Institution) erhielt den Preis für Physik „für seine Untersuchungen über die Dichte der wichtigsten Gase und seine in Zusammenhang damit gemachte Entdeckung von Argon“ und Sir William Ramsay (am University College in London) den für Chemie „als Anerkennung des Verdienstes, das er sich durch die Entdeckung der indifferenten gasförmigen Grundstoffe in der Luft und die Bestimmung ihres Platzes im periodischen System erworben hat.“ Ihre Entdeckungen, und insbesondere ihre gemeinsam verfasste Abhandlung „Argon, a New Constituent of the Atmosphere“ (*Phil. Trans. R. Soc. London Ser. A* **1895**, 186, 187–241), gelten als überragende Meilensteine der Naturwissenschaften – heute vielleicht mehr noch als zu ihren Lebzeiten. Dabei steht fest, dass Rayleigh und Ramsay, anders als einige spätere Nobelpreisträger, nicht auf ein einziges großes Thema fixiert waren, sondern im Gegenteil über ein überaus breit angelegtes Interesse an den Naturwissenschaften verfügten. Ihre Begabung und Umtriebigkeit, ihr Scharfblick, aber auch ihre menschliche Größe sollen der heutigen Generation von

Chemikern zum Vorbild und zur Inspiration dienen (Abbildung 1).

## Rayleighs Werdegang

Lord Rayleigh (1842–1919), der letzte der großen klassischen britischen Physiker, trug zu allen Bereichen der Physik seiner Zeit Bedeutendes bei. Sein Scharfblick und seine ungeheure Begabung, Dingen bis ins letzte Detail auf den Grund zu gehen, ließen ihn Probleme lösen, die seine Vorgänger und Zeitgenossen noch als unlösbar abgetan hatten. Rayleigh stieß in völlig neue Forschungsgebiete vor und schuf

so die Grundlagen vieler Technik- und Wissenschaftszweige des 20. (und 21.) Jahrhunderts. Keine Name, der unter Physikern, Ingenieuren und Mathematikern eine höhere Wertschätzung genießt, als der von John William Strutt (dem 3. Baron Rayleigh), geboren auf einem Landgut in Essex, gut 60 Meilen außerhalb Londons. Kein Name, der im Zusammenhang mit all den Phänomenen, Gesetzmäßigkeiten und Effekten, die jedem Studenten der klassischen Physik vertraut sind, häufiger vorkommt als der von Rayleigh: Rayleigh-Streuung (elektromagnetischer Wellen und die Erklärung für den blauen Himmel und den roten Sonnenuntergang),



Prof. William Ramsay, Rayleigh.  
Sept. 1894

**Abbildung 1.** Sir William Ramsay und Lord Rayleigh; die Aufnahme entstand kurz nach der Isolierung des ersten der inerten Gase, Argon.

Rayleigh-Wellen, Rayleigh-Kriterium (das das Auflösungsvermögen von Mikroskopen und Teleskopen vorgibt), Rayleigh-Zahl (bei der konvektiven Strömung), Rayleigh-Scheibe (zur Messung der absoluten Schallstärke), Rayleigh-Fading und Rayleigh-Distanz (Begriffe, die die Ausbreitung elektromagnetischer Wellen beschreiben), Rayleigh-Dämpfung, das Rayleigh-Jeans-Gesetz (zur Schwarzkörperstrahlung) – die Liste wird dem wissenschaftlichen Einfluss Rayleighs nicht einmal annähernd gerecht und spiegelt nur einen Bruchteil seiner Arbeiten wider, jener, die besonders herausragten. Zum Beispiel veröffentlichte Rayleigh 1885 eine Studie über die Ausbreitung von akustischen Oberflächenwellen – eine bahnbrechende Veröffentlichung, die die Grundlage bildet für die Registrierung und Lokalisierung von Erdbeben in der modernen Seismologie sowie für die Anwendung von Verzögerungsleitungen in Schaltkreisen von Radaranlagen und Fernsehgeräten.

Rayleigh kam am 12. November 1842 als John William Strutt in Terling Place in der Grafschaft Essex zur Welt. Als Kind zeigte er keinerlei Anzeichen von Frühentwicklung, und er war fast drei Jahre alt, bis er sprechen lernte. Seine schulische Ausbildung verlief recht bruchstückhaft; Aufenthalte in Eton und Harrow (zwei der besten Privatschulen Großbritanniens) musste er wegen seiner dauerhaft schlechten Gesundheit abbrechen, sodass er im Herbst 1857 für vier Jahre unter die Obhut von Reverend George T. Warner in Torquay kam. Im Oktober 1861 begann er sein Studium am Trinity College in Cambridge und nahm schon bald an den überaus anspruchsvollen Mathematikseminaren von Edward J. Routh teil, eines legendär erfolgreichen Dozenten, der in 33 Jahren Lehrtätigkeit 27 Senior Wranglers hervorbrachte (dieser Titel gebührte demjenigen Studenten, der in den berüchtigten mathematischen Abschlussexamens, den „Tripos“, am besten abschnitt). J. W. Strutt wurde im Januar 1865 Senior Wrangler. Sir James Jeans schrieb etwa 60 Jahre später, „dass in Cambridge immer noch die Erinnerung an die Klarheit und den literarischen Feinschliff seiner Prüfungsantworten lebendig ist.“ Diesen feinsinnigen literarischen Stil, der Strutt selbst unter Prü-

fungsdruck auszeichnete, behielt er stets bei. Jede von ihm verfasste Veröffentlichung (immerhin etwa 450 in fünfzig Jahren), selbst solche zu schwierigsten Themen, ist ein Muster an Klarheit und vermittelt den Eindruck müheloser Leichtigkeit.

Nach seinem triumphalen Mathematikexamen belegte Strutt ein Seminar in chemischer Analyse bei George D. Liveing, einem damals neu ernannten Professor für Chemie. Grund für seine Wahl war zum einen seine Leidenschaft für das Experimentieren, hauptsächlich aber der Umstand, dass in Cambridge kein Kurs in Experimentalphysik angeboten wurde – ein haarsträubender Tatbestand für eine Universität, an der Newton studiert und gelehrt hatte!<sup>[1]</sup> 1866 wurde er am Trinity College zum Fellow gewählt, seine erste wissenschaftliche Veröffentlichung ließ indes bis 1869 auf sich warten („On Some Electro-Magnetic Phenomena Considered in Connection with the Dynamical Theory“).<sup>[2]</sup> Schon diese erste Abhandlung war ein brillantes Beispiel für Stil und Methodik des Autors, die er während seiner gesamten Laufbahn beibehalten sollte. Bei besagter „Dynamischer Theorie“ handelte es sich um James Clerk Maxwells monumentale Arbeiten über elektromagnetische Felder, die Maxwell in komplizierte und für viele seiner Zeitgenossen undurchsichtige mathematische Gleichungen gefasst hatte. Strutt vereinfachte Maxwells Theorien und machte sie so verständlich, dass man sie fast, wie Jeans es ausdrückte, einem Durchschnittsmenschen hätte erklären können. Strutt zeigte auf, dass das verwickelte Verhalten eines elektromagnetischen Feldes fast perfekt einem so leicht zu erfassenden Vorgang wie dem Zerplatzen einer Wasserleitung unter plötzlichem Druck entsprach. Und so begann Strutt, indem er sein überragendes mathematisches Können mit der Fähigkeit verband, „von allem ein klein wenig mehr zu verstehen als irgendjemand sonst und dies dann möglichst einfach darzustellen“<sup>[3]</sup> seine außerordentliche wissenschaftliche Laufbahn, die von seinen universellen Interessen und von der außergewöhnlichen Verbindung von mathematischer Begabung und (später) experimenteller Virtuosität geprägt war.

Sehr bald nach seiner glänzenden Interpretation der Maxwellschen Arbeiten zum Elektromagnetismus folgte ein nächster bedeutender Beitrag, der diesmal auf der Lektüre der Helmholtzschen Veröffentlichungen über den Schall beruhte. 1860 hatte Helmholtz den akustischen Resonator untersucht, den wir heute mit seinem Namen verbinden. Der 28jährige Strutt hatte das Gefühl, das mathematische Verfahren erheblich verbessern zu können. Dieser erste Exkurs in die Akustik resultierte in dem klassischen Paper „On the Theory of Resonance“<sup>[4]</sup> in dem er das Problem der Luftschnüffelungen in einer Resonatoröffnung aus energetischer Sicht behandelte und darüber hinaus das Konzept der akustischen Leitfähigkeit einer Mündung einführte. Er erweiterte in erheblichem Umfang Helmholtz’ Ergebnisse, eine Diskussion gekoppelter Resonatoren eingeschlossen. Bei der Lektüre von Helmholtz’ berühmter Abhandlung zur Tonempfindung<sup>[5]</sup> erkannte er, dass kein modernes Buch zur Lehre der Akustik existierte, in dem eine adäquate mathematische Behandlung der gut untersuchten experimentellen Phänomene zu finden war.<sup>[6]</sup> Niemand hatte sich die Mühe gemacht, die klassischen Arbeiten von Euler, Lagrange, D’Alembert, Bernoulli und anderen Theoretikern des achtzehnten Jahrhunderts zusammenfassend zu behandeln.

1871 heiratete Strutt Evelyn Balfour, die Schwester von Arthur J. Balfour, dem künftigen Premierminister und Verfasser der Balfour-Deklaration, in der er dem jüdischen Volk die Unterstützung Großbritanniens für die Errichtung einer „nationalen Heimstätte“ in Palästina zusicherte.<sup>[8]</sup> Kurz danach erlitt er einen schweren Anfall von rheumatischem Fieber, was dazu führte, dass er den kommenden Winter in Ägypten und Griechenland zubrachte. Ohne auf eine Bibliothek zurückgreifen zu können, verfasste er während seiner Nilreise einen Entwurf des ersten Bandes seines zweibändigen Werkes *The Theory of Sounds*, in dem er Aspekte der Schwingungen und der Resonanz elastischer Festkörper und Gase erörterte.<sup>[9]</sup> Schon vor seiner Reise hatte er binnen zwei Jahren ein Dutzend herausragender Abhandlungen veröffentlicht. Eine der berühmtesten darunter war

zweifellos „On the Light from the Sky: Its Polarization and Colour“,<sup>[10]</sup> die den Beginn seiner Forschungen zur Lichtstreuung markierte. In dieser Arbeit gelangte er durch Anwendung der Dimensionsanalyse zur Intensität und Polarisation von gestreutem Licht und gab die richtige Erklärung dafür, warum der Himmel blau und der Sonnenuntergang rot ist.<sup>[11]</sup> Die Amplitude des Rayleigh-Streulichts ist umgekehrt proportional zum Quadrat der Wellenlänge.

1873, in dem Jahr, in dem sein Vater starb und er dadurch den Titel eines Lords erbte (des 3. Barons Rayleigh), wurde er zum Fellow der Royal Society gewählt. Er ließ sich auf dem Familien-sitz in Terling Place nieder und errich-tete dort ein privates Laboratorium. Obwohl sein vorrangiges Interesse wei-ter der wissenschaftlichen Forschung galt (was auch zeitlebens so blieb), sah er sich nun gezwungen, einen Teil seiner Zeit der Verwaltung seiner Güter zu opfern. Er eignete sich beträchtliche Kenntnisse in der Agrikultur an, was zusammen mit seinem naturwissen-schaftlichen Scharfsinn dazu führte, dass er bald auch in punkto Güterverwaltung seiner Zeit voraus war.

In diese Zeit fiel auch der Beginn von Rayleighs lebenslangem Interesse an psychischer Forschung.<sup>[13]</sup> Nach Jeans<sup>[3]</sup> ging Rayleigh stets davon aus, dass ein avisiertes Forschungsprojekt sehr rasch ein definitives Ergebnis liefern würde, ob nun ein positives oder negatives. Offenbar erwartete er auch von der Erforschung psychischer Phä-nomene handfeste Resultate, sodass er sich mit großer Energie in die Projekte stürzte. Nachdem sich aber abzeichnete, dass keine klaren Resultate zu erlangen waren, kehrte Rayleigh zur orthodoxen naturwissenschaftlichen Arbeitsweise zurück.

## Professor in Cambridge und an der Royal Institution

1879 starb James Clerk Maxwell, der erste Inhaber des Cavendish-Lehrstuhls für Experimentalphysik in Cambridge, an Darmkrebs. Rayleigh stellte sich als zweiter Cavendish-Professor für den Zeitraum von 1879 bis 1884 zur Verfü-gung. Er nahm seine universitären Ver-pflichtungen sehr ernst, sowohl was die

Ausbildung der Studenten anbelangte als auch in Hinblick auf ein Forschungs-programm, das die Neubestimmung der elektrischen Standardwerte (Ohm, Volt und Ampere) zum Ziel hatte. Eine klassische Serie von Veröffentlichen resultierte aus diesem ambitionierten Projekt. Nach fünfjähriger Amtszeit kehrte er zunächst an sein Privatlaboratorium nach Terling Place zurück und wurde später Professor für Naturphilosophie an der Royal Institution in Lon-don (1887–1905).<sup>[14]</sup> In der Zwischenzeit hatte er außerdem das Amt des Secre-tary der Royal Society von seinem frü-heren Lehrer Sir George Gabriel Stokes übernommen. Die damit verbundenen Pflichten waren nicht allzu beschwerlich, sodass Rayleighs wissenschaftliche Forschungen in den elf Jahren seiner Amtszeit nicht zurückstehen mussten. Zudem bekam er die Gelegenheit (1891), die fast vergessene Abhandlung aufzufinden, in der John J. Waterston 1846 einige der wichtigsten Aspekte der kinetischen Gastheorie vorweggenom-men hatte.<sup>[15]</sup>

## Unterstützung für Miss Pockels

Im Januar 1891, nachdem er meh-re Abhandlungen über flüssige Oberflä-chen und Oberflächenspannung veröf-fentlicht hatte, erhielt Rayleigh einen langen Brief (auf Deutsch) von Agnes Pockels (1862–1935) aus Braunschweig (Abbildung 2). Sie hatte Rayleighs Ver öffentlichungen in der Fachliteratur ihres Bruders Friedrich<sup>[16]</sup> gelesen und berichtete Rayleigh von Experimenten



Abbildung 2. Agnes Pockels.

zur Erforschung von Oberflächenkräf-ten, die sie im Spülstein ihrer Küche durchgeführt hatte (Frauen waren zu dieser Zeit an deutschen Universitäten nicht ohne Weiteres zugelassen). 1880, noch als Jugendliche, begann sie, den Effekt von Ölfilmen auf die Oberflä-chenspannung von Wasser zu erfor-schen. Zur quantitativen Messung der Oberflächenkräfte ließ sie eine horizontale Scheibe an einem Balken einer Balkenwaage so weit nach unten hän-gen, bis die Scheibe die Oberfläche des reinen (oder verschmutzten) Wassers gerade berührte. Die Ergebnisse dieser Versuche schilderte sie in mehreren Briefen an deutsche Wissenschaftler, die aber nur geringes Interesse an ihrer Arbeit zeigten. Es war schließlich ihr Bruder, der sie dazu brachte, sich an Rayleigh zu wenden. Dieser erkannte sofort die grundlegende Bedeutung der Ergebnisse für die Oberflächenphysik von Flüssigkeiten und veröffentlichte 1891 ihren Brief in *Nature* mit einer von ihm selbst verfassten Einleitung, in der er die Tragweite der Experimente heraus hob.

Diese öffentliche Anerkennung durch einen angesehenen britischen Wissenschaftler machte Agnes Pockels augenblicklich berühmt, und ihre spä-te-ren Veröffentlichungen wurden mit gro-ßer Hochachtung behandelt.<sup>[12]</sup> Profes-sor Voight vom Physikalischen Institut in Braunschweig bot ihr die Benutzung seiner Laboreinrichtungen an, und sie traf mit vielen herausragenden Protago-nisten der Oberflächenwissenschaften wie Quincke, Ostwald und Weber zu-sammen. Irving Langmuir, ein späterer Nobelpreisträger (1932), übernahm im Wesentlichen ihre Methode zur Mes-sung von Oberflächenkräften.

## Die Entdeckung von Argon<sup>[17]</sup>

An der Royal Institution in London leistete Rayleigh den Großteil der Ar-beiten, die ihm letztlich den Nobelpreis für Physik einbrachten. Rayleigh war von Prouts Hypothese gefesselt, wonach die Atomgewichte ganzzahlig sein sollen. Wenn wir Wasserstoff die 1 zuwei-sen, müsste Sauerstoff die 16 bekommen – aber so war es durchaus nicht. Waren die Abweichungen real? Rayleigh be-stimmte die Dichten von Wasserstoff

und Sauerstoff und dann die von Stickstoff (1892). In einem Brief an *Nature* (eingereicht am 24. September des gleichen Jahres und veröffentlicht am 29. September) schrieb er:<sup>[18]</sup>

*„I am much puzzled by some results on the density of nitrogen, and I shall be obliged if any of your chemical readers can offer suggestions as to the cause. According to the methods of preparation, I obtain two quite distinct values. The relative difference, amounting to about one part in 1000, is small in itself, but it lies entirely outside the errors of experiment, and can only be attributed to a variation of the character of the gas.“*

Seine beiden Quellen für Stickstoff waren zum einen gewöhnliche Luft, der er den Sauerstoff mithilfe von erhitztem metallischem Kupfer entzog, zum anderen Ammoniak, der nach Zersetzung einen „leichteren“ Stickstoff lieferte. Kein Chemiker jener Zeit fand eine Erklärung für diesen Befund. Sir James Dewar, ebenfalls an der Royal Institution, äußerte die Vermutung, ein Teil des atmosphärischen N<sub>2</sub> läge in einem allotropen Zustand wie N<sub>3</sub> vor – entsprechend dem Ozon O<sub>3</sub>. Rayleigh blieb skeptisch und widmete sich in der Folge zwei Jahre lang unterschiedlichen Methoden zur Präparation von Stickstoff: Der chemisch erzeugte Stickstoff war stets leichter als der atmosphärische. In seinen Experimentalvorlesungen an der Royal Institution führte Rayleigh einen klassischen Versuch Cavendishs vor. In einer mit gewöhnlicher Luft befüllten Kugel wurden elektrische Funken entladen, sodass der Sauerstoff verschwand und zu einem Oxid des Stickstoffs umgesetzt wurde (dieses konnte mit Pottasche absorbiert werden). Auf diese Weise wurde der gesamte Stickstoff entfernt – bis auf einen kleinen Rückstand, so wie auch Cavendish es vermerkt hatte. Rayleigh bestätigte somit die Ergebnisse des zurückgezogen arbeitenden Cavendish, die mehr als 100 Jahre verborgen geblieben waren.

Rayleigh präsentierte seine rätselhaften Befunde in einem Vortrag an der Royal Society am 19. April 1894, was einen der anwesenden Hörer, William Ramsay, auf den Plan rief. Bis Ende Mai desselben Jahres hatte Ramsay aufgezeigt, dass Stickstoffgas durch wiederholtes Überleiten über erhitztes Magnesium (zur Bildung des festen Nitrids)

nach und nach eine höhere Dichte annahm. Ramsey setzte seine Experimente den gesamten Sommer hinweg fort und erhielt schließlich ein Gas, das bei weiterer Behandlung mit Magnesium anscheinend unverändert blieb (Abbildung 3). Sir William Crookes, den Ramsey in einem Briefwechsel über seine

*too much for us, and all that we can do now is apologize for ourselves and for the gas.“*

Im Zuge seiner Arbeiten zur Isolierung von Argon entwickelte Rayleigh das nach ihm benannte Refraktometer und modifizierte das Huygens'sche Manometer. Lord Kelvin bejubelte die Entdeckung des Argons als die größte wissenschaftliche Errungenschaft des Jahres:

*„If anything could add to the interest which we must all feel in this startling discovery, it is the consideration of the way by which it was found—arduous work—commenced in 1882, has been continued for 12 years by Rayleigh, with unremitting perseverance.“*

Rayleigh enthielt 1904 den Nobelpreis, dessen Geldwert sich auf die damals ungeheure Summe von etwa 7700 Englischen Pfund belief. Er stiftete das Geld der Universität Cambridge, die es für die Erweiterung der Cavendish-Laboratorien verwendete. Beim Bau dieses nach seinem Stifter benannten Rayleigh-Flügels wurden Holzzapfen anstelle von Metallnägeln verwendet, um das Gebäude für empfindliche elektrische Messungen tauglich zu machen (Wilsons Nebelkammerversuche wurden hier durchgeführt, und auch für meine eigenen elektronenmikroskopischen Experimente nutze ich den Rayleigh-Flügel). Fortan wurde Rayleigh mit Ehrungen und Ämtern überhäuft. Er war unter den ersten Trägern des Order of Merit (1902) und übernahm 1905 die Präsidentschaft der Royal Society (die er zuvor einmal abgelehnt hatte).

Sir James Jeans schrieb über Rayleigh:

*„His massive, precise and perfectly balanced mind was utterly removed from that of the erratic genius who typifies the great scientist in the popular imagination. ... The outstanding qualities of his writings were thoroughness and clearness; he made everything seem obvious. Rayleigh died in Essex on 30 June 1919, having been at work on a scientific paper only five days previously. The inscription on his memorial in Westminster Abbey, ‘An unerring leader in the advancement of natural knowledge’, does not overstate the case.“*

4th August, 1894

Dear Lord Rayleigh,

I have isolated the gas. Its density is 19.075, and it is not absorbed by magnesium....

6th August, 1894

Dear Prof Ramsay,—

I believe that I too have isolated the gas, though in miserably small quantities...

**Abbildung 3.** Eröffnungssatz der beiden Briefe, in denen sich Rayleigh und Ramsay gegenseitig über die Isolierung von Argon unterrichteten.

Entdeckung informiert hatte, untersuchte das Gas und kam zu dem Schluss, dass es sich bei dem Gas um etwas Neuartiges handelte und es sich deutlich von Stickstoff unterschied. Rayleigh, ebenfalls in Kenntnis gesetzt, teilte Ramsay mit, dass es sich bei dem Rückstand weder um Sauerstoff noch um Stickstoff handelte. In der Folge begann eine intensive Zusammenarbeit von Rayleigh und Ramsay. Am 31. Januar 1895 gaben sie der Royal Society die Entdeckung eines neuen, offenkundig reaktionstragenden Elements bekannt, das sie Argon nannten (für träge, untätig).

Rayleighs und Ramsays 54-seitige Abhandlung enthielt Angaben über Dichte, Brechungsindex, Wasserlöslichkeit, das Verhältnis der spezifischen Wärmekapazitäten ( $C_p/C_v$ ) und das Atomspektrum von Argon. Sie postulierten eine nullelle Gruppe für die Edelgase im Periodensystem. Einige Kollegen äußerten Zweifel daran, dass ein derart schweres Element ein Gas sein könne. Rayleigh nahm es mit Humor:

*„...the result is, no doubt, very awkward. Indeed, I have seen some indications that the anomalous properties of argon are brought as a kind of accusation against us. But we had the very best intentions in the matter. The facts were*

## Sir William Ramsay (1852–1916)

Rayleighs Mitstreiter bei der Entdeckung von Argon kam am 2. Oktober 1852 in Glasgow zur Welt. Seine naturwissenschaftliche Begabung hatte er von beiden Elternteilen geerbt: Sein Vater war ein nicht unbedeutender Bauingenieur und sein Großvater väterlicherseits ein bekannter Fabrikant von Färbechemikalien, seine Mutter entstammte einer schottischen Arztfamilie.

Als Kind entwickelte er bemerkenswerte sprachliche Fähigkeiten. Ihm wurde nachgesagt, er habe gleich dem Universalgelehrten Thomas Young (1773–1829) im Alter von vier Jahren die Bibel gelesen. Durch sein calvinistisch geprägtes Umfeld kam er mit der deutschen und französischen Bibelfassung in Berührung, wodurch er sich früh beide Sprachen aneignete. Als Jugendlicher erhielt er eine klassische Ausbildung (er war für eine Kirchenlaufbahn vorgesehen), die von einem Beinbruch und einer langen Heilungsphase, die er im Bett zubringen musste, unterbrochen wurde. Um ihm die Zeit zu vertreiben, gab ihm sein Vater Chemikalien zum Experimentieren. Später schrieb Ramsay:<sup>[19,20]</sup>

*„I had the misfortune to break my leg at football. During my convalescence I read Graham's chemistry, chiefly, I must admit because I wanted to know how to make fireworks. I remember that my father gave me small quantities of potassium chlorate, phosphorus, sulphuric acid, and some small flasks and beakers and a spirit lamp, and with these I amused myself during several weary months.“*

Der Gedanke, dass ein Kind in seinem Schlafzimmer mit explosiven Mischungen aus Kaliumchlorat und Phosphor herumhantiert, wirkt selbst im Rückblick noch alarmierend!

Der junge Ramsay besuchte eine staatliche Grundschule und wechselte dann an die Glasgow Academy, wo sich sehr rasch seine Sprachbegabung zeigte. Er konnte viele Bibelstellen auswendig rezitieren und lernte fließend Deutsch und Französisch (später kamen Italienisch, Norwegisch, Schwedisch und Niederländisch dazu, außerdem konnte er mehrere alte und moderne Sprachen lesen).

1866 begann er sein Studium an der Universität Glasgow in den Fächern klassische allgemeine Literatur, Logik und Mathematik, wechselte aber nach einem Jahr zur Chemie. 1869 arbeitete er kurzzeitig im Labor des Chemikalienfabrikanten Robert Tatlock. Nach Ende des Deutsch-Französischen Krieges ging er nach Heidelberg, um bei Robert Bunsen zu studieren, wechselte dann aber schon 1871 nach Tübingen zu Rudolf Fittig, wo er mit einer Arbeit über Toluylsäuren (Methylbenzoësäuren) und Nitrotoluylsäuren promovierte. 1874 wurde er Assistant an der Universität Glasgow und brachte es dann in knapp sechs Jahren zum Professor für Chemie (1880) und ein Jahr später (kurz nach seiner Heirat mit Margaret Buchanan) zum Rektor am University College in Bristol. 1887 wurde er Nachfolger von Alexander Williamson als Direktor der Abteilung für Allgemeine Chemie am University College in London. Während seiner Zeit in Bristol hatte sich Ramsay einen Namen als herausragender Physikochemiker gemacht. Er verfügte über profunde Kenntnisse kritischer Phänomene, unter denen sich Flüssigkeiten und Gase im Gleichgewicht befinden, und zeigte sich als geschickter Experimentator, insbesondere was die Verwendung seiner selbst entwickelten Apparaturen zur Handhabung winziger Gasvolumina anbelangte.

Das Zusammentreffen mit Rayleigh 1894 (nach dessen Vortrag an der Royal Society über die ungewöhnliche Dichte von Stickstoff) markierte einen wichtigen Wendepunkt in Ramsays Laufbahn. Ihrer gemeinsamen Entdeckung von Argon folgte bald ein weiterer, ähnlich bedeutender Befund. Auslöser dafür war ein Vorschlag von Sir Henry Miers (1858–1947), wonach Argon identisch sei mit jenem reaktionsträgen Gas (angeblich Stickstoff), das William Hillebrand (1853–1925) beim Erhitzen uranhaltiger Mineralien wie Cleveit (verunreinigtes  $\text{UO}_3$ ) gewonnen hatte. Ramsay erzeugte dieses Gas und fand, dass es sich nicht um Argon handelte, sondern um ein anderes reaktionsträges Gas. Sein Spektrum glich dem des Elements Helium, dessen Vorkommen in der Sonne Sir Norman Lockyer und Sir Edward Frankland während der Sonnenfinsternis von 1868 spektroskopisch nachgewiesen hatten.

Angesichts der außerordentlichen Reaktionsträgheit von Argon und Helium vermutete Ramsay, dass es eine ganze Klasse inerten Elementen geben musste. Sofort begann Ramsay (gemeinsam mit seinen Mitarbeitern, vor allem seinem Schüler Morris Travers) eine fieberhafte Suche nach weiteren inerten Gasen (Abbildung 4). Nach Monaten



**Abbildung 4.** Zeichnung des Londoner Karikaturisten Leslie Ward, genannt Spy (1851–1922); Ramsay zeigt auf die achte Gruppe des Periodensystems, die alle von ihm entdeckten und isolierten Elemente enthält.

harter Arbeit konnte er im Hochsommer 1898 durch fraktionierende Destillation drei neue inerte gasförmige Elemente isolieren und identifizieren: Neon (das Neue), Krypton (das Verborgene) und Xenon (das Fremde). Ramsay und Travers hatten diese Gase aus einhundertzwanzig Tonnen verflüssigter Luft isoliert!

Um die Wende zum 20. Jahrhundert entdeckten Ernest Rutherford und Fredrick Soddy<sup>[21]</sup> an der McGill University in Montreal, dass Thorium winzige Mengen eines radioaktiven und ebenfalls reaktionsträgen Gases mit sich führte, das sie als Thoriumemanation bezeichneten. Soddy schloss sich 1903 Ramsays Institut in London an und

begann die zuvor perfektionierten Analysetechniken anzuwenden. Die gasförmige Emanation zeigte kein Spektrum, nach einiger Zeit aber entwickelte sich das Helium-Spektrum. Dies war der unumstößliche Beweis für die Transmutation von Elementen, ein Konzept, das Rutherford und Soddy 1903 vorgeschlagen hatten. Ende 1910 gelang es Robert Whytlaw-Gray (einem Kollegen Ramsays), die Emanation – später Radon genannt – mit einer damals unübertroffenen Empfindlichkeit zu wiegen. Sie fanden, dass  $6.58 \times 10^{-5} \text{ cm}^3$  Radon  $6.55 \times 10^{-7} \text{ g}$  wog und kamen damit auf das Atomgewicht 222. Die Gruppe der Edelgase im Periodensystem war komplettiert.

### Ramsays Charakter und menschliche Seite

Abgesehen davon, dass er einer der größten Entdecker in der Chemie war – er und Humphry Davy entdeckten 14 der Elemente des Periodensystems –, verfügte Ramsay über einen außergewöhnlichen Scharfblick und war zudem äußerst ideenreich in der Entwicklung von ausgeklügelten Apparaturen für die schwierige Erforschung der Gase. Nach den Worten eines seiner prominentesten Protegés, Frederick George Donnan (1870–1956; Theorie der Membran-Gleichgewichte), war Ramsay:

*„... a man of sanguine and courageous temperament, of tireless energy, and power of instant action, he fearlessly attacked problems the experimental difficulties of which would have dismayed and deterred most men. ... Nothing was ever postponed. What an ordinary very active man would do on Monday morning, Ramsay did on Saturday afternoon. He was endowed with extraordinary personal charm, and a most kindly, generous and gentle disposition. ... An excellent linguist and musician, a witty and humorous speaker both in public and in private. The quickness and receptivity of his mind were remarkable, so that he was ever the enthusiastic friend and exponent of new advances in science. Thus he was one of the first chemists in England to teach and expound the work of Ostwald, Van't Hoff and Arrhenius with each of whom he could converse in their mother tongue.“*

Ramsay war wie Rayleigh in viele Richtungen aktiv: Er fand die Zeit, eine Reihe exzellenter Texte zur Chemie zu verfassen, war an vorderster Front daran beteiligt, die Londoner Universität in eine große Lehruniversität umzuwandeln, und er war Mitglied der Königlichen Kommission für Abwasserbereitung und vieler anderer öffentlicher Körperschaften. Wie viele andere große Naturwissenschaftler hatte er die Begabung, Talente zu erkennen; zwei herausragende Beispiele sind Fredrick Soddy (Nobelpreisträger 1921) und Sir Stafford Cripps (1889–1952; Fellow of the Royal Society, Vorsitzender des Britischen Unterhauses in Winston Churchills Kriegskabinett und Schatzkanzler der Nachkriegsregierung unter Clement Attlee).<sup>[22]</sup> Die Abhandlungen, durch die sich Cripps für ein Stipendium am New College in Oxford qualifizierte, waren derart bemerkenswert, dass Ramsay, den man um die Begutachtung gebeten hatte, Cripps dazu brachte, die besser ausgestatteten Laboratorien des University College in London vorzuziehen. Für Cripps bedeutete dies, dass er schon als Student an fortgeschrittenen Forschungsprojekten mitwirken konnte, und es führte auch dazu, dass Cripps im Alter von 22 Jahren Mitautor einer an der Royal Society vorgetragenen Abhandlung über die Eigenschaften von Xenon wurde.<sup>[23]</sup>

### Eine harmonische Partnerschaft

Schließen wir diesen Essay mit einer Referenz an Helmholtz, den Rayleigh wie auch Ramsay in höchstem Maße bewunderten. Rayleigh hörte Helmholtz' Faraday-Vorlesung 1881 an der Royal Institution, und es waren letztlich dessen bahnbrechende Arbeiten, auf denen Rayleighs Werk *The Theory of Sound* anknüpfte. Im Verlaufe eines denkwürdigen Freitagabend-Diskurses 1895 an der Royal Institution sagte Rayleigh:

*„In what I have to say from this point onwards, I must be understood as speaking on behalf of Professor Ramsay as for myself. At the first, the work which we did was to a certain extent independent. Afterwards we worked in concert, and all that we have published in our joint name, must be regarded as being equally the*

*work of both of us. But, of course, Professor Ramsay must not be held responsible for any chemical blunder into which I may stumble tonight.“*

Es sind dies genau jene Worte, ausgesprochen und niedergeschrieben durch Rayleigh in seinem fesselnden Bericht, den er an der Royal Institution gehalten hatte.<sup>[24]</sup> Rayleigh beendete seine Vorlesung mit den Worten:

*„It will be known to many that during the last few months of his life Helmholtz lay prostrate in a semi paralyzed condition, forgetful of many things, but still retaining a keen interest in science. Some little while after his death we had a letter from his widow, in which she described how interested he had been in our preliminary announcement (upon the subject of Argon), and how he desired the account to be read to him again. He added the remark, ‚I always thought that there must be something more in the atmosphere‘.“*

Für ihre wertvollen Hinweise danke ich den Professoren Alwyn Davies, E. A. Davis, Arthur Humphrey, R. J. H. Clark und C. R. Calladine sowie Dr. Andrea Sella und Dr. Aimee Morgan. Ebenfalls danke ich Joanna Corden (Royal Society), Erica McDonald (Peterhouse), Shazia Riaz (Davy Faraday Research Laboratory) und Dr. Robert Raja für ihre Unterstützung.

[1] Sir George Gabriel Stokes (Lucasian Professor für Mathematik und ebenfalls ein ehemaliger Senior Wrangler), den Strutt bewunderte, hielt hin und wieder Experimentalvorlesungen und führte auch ein eigenes Labor, wo er unter anderem das Phänomen der Fluoreszenz entdeckte. Dass experimentelle Kurse in Cambridge Mitte der 1860er Jahre lediglich in Chemie, Mineralogie und bestimmten biologischen Fächern angeboten wurden, ärgerte Strutt über die Maßen.

[2] J. W. Strutt, *Philos. Mag.* **1869**, 38, 1–15.

[3] Sir James H. Jeans, *Dictionary of National Biography*, **1912–1921**, S. 515.

[4] J. W. Strutt, *Philos. Trans. R. Soc. London* **1870**, 161, 77–118.

[5] H. von Helmholtz, *Lehre von den Tonempfindungen*, Berlin, **1863**.

[6] Helmholtz' Monographie behandelte in erster Linie<sup>[7]</sup> physiologische und psychologische Aspekte der Akustik und Musik.

- [7] R. B. Lindsay, *Lord Rayleigh: The Man and His Worth*, Pergamon, **1970**.
- [8] Evelyn Balfour war außerdem die Nichte eines weiteren britischen Premierministers, Lord Salisbury.
- [9] Der erste Band erschien 1877, der zweite 1878. Diese Abhandlung etablierte sich sehr schnell als das Standardwerk, als das es noch heute gilt. Es behandelt sämtliche Aspekte der Schallerzeugung und -propagation sowie der akustischen Dämpfung in allen Arten von elastischen Medien.
- [10] J. W. Strutt, *Philos. Mag.* **1871**, *41*, 107–120; 274–279.
- [11] Das mathematische Verfahren der Dimensionsanalyse, für das Strutt die Vorarbeiten leistete, wurde später vor allem durch den Nobelpreisträger Percy Bridgman weiterentwickelt.<sup>[12]</sup>
- [12] „The Scientific Research of John William Strutt, Third Baron Rayleigh“: J. N. Howard, *Proc. R. Inst. GB* **1988**, *60*, 73–86.
- [13] Man sollte ob dieser Tatsache nicht überrascht sein, da es unter Rayleighs Zeitgenossen noch andere große Wissenschaftler gab, die sich für psychische Phänomene interessierten (z. B. der spätere Präsident der Royal Society, William Crookes, Erfinder des Radiometers und Entdecker des Elements Thallium). Tatsächlich wurde noch 1920 in einem Leitartikel in der Zeitschrift *Scientific American* („The Future Based on an Analysis of the Last 70 Years“) prognostiziert, dass, ähnlich wie das 18. Jahrhundert das Jahrhundert der Elektrizität gewesen war, das 20. Jahrhundert gleichermaßen für seine Fortschritte im Bereich der psychischen Forschung in Erinnerung bleiben werde.
- [14] Die Verpflichtungen an der Royal Institution waren überschaubar: Der Lehrstuhlinhaber hatte jedes Jahr sechs Samstagnachmittagsvorlesungen in der Zeit vor Ostern zu halten und einen Freitagabend-Diskurs pro Jahr. Die Vorlesungen waren durch Experimente zu veranschaulichen, wofür dem Professor im Gegenzug ganzjährig drei Laborräume der Royal Institution zustanden. Der hauptsächliche Anreiz für Rayleigh bestand wohl vor allem darin, dass die Räumlichkeiten an der Royal Institution über ein Stromnetz verfügten (dank des Einsatzes des damaligen Direktors Sir James Dewar) – im Unterschied zu seinem Labor in Terling Place.
- [15] J. J. Waterston (1811–1883) nahm große Teile der kinetischen Gastheorie von R. J. E. Clausius vorweg.
- [16] Bekannt durch den Pockels-Effekt, der bei elektrooptischen Modulatoren eine Rolle spielt.
- [17] Dieser Abschnitt beruht in Teilen auf einem Freitagabend-Diskurs, den J. N. Howard während meiner Amtszeit als Direktor an der Royal Institution hielt (zu weiteren Details siehe Lit. [12]).
- [18] „Density of Nitrogen“: Lord Rayleigh, *Nature* **1892**, *46*, 512–513.
- [19] W. M. Travers, *A Life of Sir William Ramsay*, Arnold, London, **1956**; siehe auch den Nachruf in *Proc. R. Soc. London Ser. A* **1956**, *93*, 1916–1917.
- [20] Mein Dank an dieser Stelle geht an Professor Alwyn G. Davies, der mir das Skript eines am 19. März 2004 am University College in London gehaltenen Vortrages über Ramsay zur Verfügung stellte.
- [21] Ramsay hatte Soddy 1898 als aufgeweckten jungen Studenten an der Universität Oxford „entdeckt“. Ramsay fungierte als externer Prüfer, und Soddy führte die Bestenliste in Chemie an.
- [22] Weitere Mitglieder aus Ramsays Londoner Arbeitsgruppe waren M. W. Travers, E. C. C. Baly, N. Collie, F. Soddy, R. Whytlaw-Gray und E. Egerton; sie alle wurden, wie G. Donnan, Fellows der Royal Society.
- [23] H. S. Patterson, R. S. Cripps, R. Whytlaw-Gray, *Proc. R. Soc. London Ser. A* **1912**, *86*, 579–590.
- [24] Lord Rayleigh, *Proc. R. Inst. GB* **1895**, *14*, 524–538.