

Frankfurt a. Main den 28.09.2022

Goethe-Universität Frankfurt am Main
Fachbereich 08: Philosophie und Geschichtswissenschaften
Seminar: Wissenschaftliche Materievorstellungen im 19. und frühen 20. Jahrhundert
Modul: GPHW - BA-NF-VM1
Dozent: Prof. Dr. Moritz Epple Sommersemester / 2022

**Hausarbeit im Rahmen des Seminars zur
wissenschaftlichen Materievorstellung**

**Moderne Atomtheorien und Chalmers
Maßstab**

Name: Kumarmangalam Patravali
Email-Adr.: s6480257@stud.uni-frankfurt.de
Matrikelnummer: 7361168
Studiengang: Geschichte und Philosophie der Wissenschaften

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
2. William Thomson.....	3
2.1 Lukrez bei Kelvin.....	4
2.2 Einige Grundzüge des Vortexmodells	6
2.3 Die Rolle der Mathematik, Analogie und Ideologie in Kelvins Wirbeltheorie	9
2.4 Das Zwischenergebnis.....	14
3. Niels Bohr.....	15
3.1 Bohrs Atommodell für den Wasserstoff.....	16
3.2 Eine Analyse etlicher Entitäten in Bohrs Atommodell	18
3.3 Schlussbemerkung.....	24
Literaturverzeichnis	25

1. Einleitung

Im Rahmen des Seminars über die Materievorstellung vom 19. Jahrhundert bis zum Anfang des 20. Jahrhunderts bildeten etliche Wissenschaftler und ihre diesbezüglichen Theorien den Diskussionsgegenstand. Das Seminar nahm ihren Ausgang im Frankreich des beginnenden 19. Jahrhunderts, um die Materievorstellung des *physicien* und *mathématicien* **Pierre-Simon Laplace** zu studieren; nach einigen wichtigen Zwischenstationen bei etlichen englischsprachigen Wissenschaftlern — darunter **Dalton** und **William Thomson** — kam die Diskussion schließlich mit einem Referat und anschließendem Gespräch über das Atommodell des dänischen Philosophen **Niels Bohr** zu Ende.

Die vorliegende Arbeit greift nun zwei dieser Theorien heraus, und zwar das **Wirbelatom** Thomsons¹ und das **Atommodell** Bohrs. Nach einer Begründung dieser Wahl hier erfolgt in den nächsten Abschnitten ein Versuch zur Beantwortung folgender, erkenntnistheoretisch motivierter Fragen: Auf welche Begründungen bzw. Beweise stützten sich diese Wissenschaftler, als ein jeder der beiden sich zum Entwurf einer eigenen Theorie über die grundlegende Materie der Welt veranlasst sah? Mit anderen Worten, welche Entitäten ließen diese zwei in ihre jeweilige Theorie einfließen und wie wollten sie außerdem die Realität dieser Entitäten nachweisen, auf denen sie diese Theorien fußten?

Das Interesse an der Wirbeltheorie Kelvins leitet sich teils aus einer skeptischen Haltung gegenüber einer These des australisch-britischen Wissenschaftshistorikers Alan Chalmers ab; und teils aus Forschungsinteresse am Ort und an der Zeit des Wirkens von Lord Kelvin. Chalmers 2006 veröffentlichte Arbeit mit dem seine Hauptthese vorwegnehmenden Titel *The Scientist's Atom and the Philosopher's Stone* zeigt generell die Tendenz, erstens eine strikte Trennlinie zwischen den Atomtheorien aus der griechisch-römischen Antike und jenen ab dem beginnenden 20. Jahrhundert zu ziehen (vgl. Chalmers, 2006, S. 263-5), um die Genese und Entwicklung der letztgenannten als frei von jeglichem Einfluss der erstgenannten hinzustellen; und zweitens — was in dieser Arbeit in Zweifel gezogen

¹ Um eine Verwechslung mit J. J. Thomson zu vermeiden, wird im weiteren Verlauf des Texts der bekannteren Name Thomsons, also Lord Kelvin bzw. Kelvin, gebraucht.

werden soll — die Atomvorstellung Demokrits und anderer antiker Philosophen nicht mal den Status eines impulsgebenden Faktors für die Frage über die grundlegende Materie der Welt einzuräumen und den philosophischen Atomismus sogar eine zu überwindende Hürde zu bezeichnen (vgl. Chalmers, 2006, ebd.). Am Beispiel der Wirbeltheorie Kelvins soll geprüft werden, ob moderne Atomtheorien selbst ganz frei von einem argumentativen Rückgriff auf antike Theorien sein konnten. Die Motivation für die Auseinandersetzung mit dem Atommodell Bohrs rührt von der Frage her, ob Chalmers These selbst für die Atomtheorien aus dem 20. Jahrhundert absolut gültig sein kann.

2. William Thomson

William Thomson alias Lord Kelvin gilt als einer der bedeutendsten *men of science* des 19. Jahrhunderts. Zu einigen der herausragendsten Leistungen des Wissenschaftlers gehören etwa die Formulierung des zweiten Gesetzes der Thermodynamik, der absoluten Temperaturskala und sein Beitrag zur Verlegung der Tiefseetelegraphenkabel im Atlantik (Sharlin, 2022). Schon zu Lebzeiten für sein aktives Wirken in etlichen Zweigen der exakten Wissenschaften verehrt, wurde dem gebürtigen Schotten nach seinem Ableben die so seltene, da nur den Ruhmreichsten seines Landes vorenthaltene Beisetzung im Westminster Abbey zuteil.

Kelvins aktives Interesse an Fragen der fundamentalen Materie, d. h. Atomen bzw. Molekülen ist erst für die Zeit ab dem Jahr 1861 bezeugt (Garber, 2008, S. 192). Dass sich dieses Interesse über eine große Zeitspanne seiner wissenschaftlichen Laufbahn hinweg hält, dafür spricht seine letzte Veröffentlichung in dieser Hinsicht im Jahr 1907 (Garber, 2008, S. 192). Das Jahr 1867 aber nimmt sich besonders für die Historie seiner Forschung über die Atome und Moleküle aus, weil ihm in dieser Zeit das von dem deutschen Wissenschaftler Hermann von Helmholtz mathematisch-physikalisch theoretisierte Wirbelphänomen als ein hoffnungsvoller Ansatz bei der Auseinandersetzung mit den Fragen über die grundlegende Materie erscheint (Garber, 2008, S. 195-6).

2.1 Lukrez bei Kelvin

Es ist nicht zuletzt für eine kritische Prüfung der These Chalmers relevant, wo Kelvin ansetzt, als er einen Fachartikel mit dem Titel *Vortex Atoms* im *Philosophical Magazine* des Jahres 1867 drücken lässt. Er setzt sich nämlich mit Lukrez auseinander, indem er die Annahmen dieses Philosophen aus der römischen Antike über das Atom aufgreift. Doch wozu dient Lord Kelvin dieser Rückgriff auf Ideen, die immerhin etwa 18 Jahrhunderte zurückliegen?

Verfolgt man für eine mögliche Antwort hierauf seine Beschäftigung mit der Atomtheorie Lukrez, so scheint Kelvin die Argumentation Lukrez auf eine Art und Weise in die Debatte einzubringen, dass es den Anschein hat, als wollte Kelvin dadurch seinem eigenen Vortexmodell eine Legitimation verschaffen. Das scheint Kelvin etwa dadurch zu erreichen, dass er zuerst die Theorie Lukrez in einer Hinsicht bemängelt: “Lucretius’s atom does not explain any of the properties of matter without attributing them to the atom itself.” (Thomson, 1867, S. 1-2) Alsdann erhebt Kelvin einen Einwand gegen „the greatest modern chemists“ (Thomson, 1867, S. 1), dass diese dennoch mit dieser Theorie von Lukrez etwa die Elastizität von Gasen, also eine Eigenschaft einer Materie, zu erklären versuchen würden.

Thus the “clash of atoms,” as it has been well called, has been invoked by his modern followers to account for the elasticity of gases. Every other property of matter has similarly required an assumption of specific forces pertaining to the atom. It is as easy (and as improbable—not more so) to assume whatever specific forces may be required in any portion of matter which possesses the “Wirbelbewegung,” as in a solid indivisible piece of matter; and hence the Lucretius atom has no *prima facie* advantage over the Helmholtz atom. (Thomson, 1867, S. 1-2)

Wenn also, so die Argumentationsweise Kelvins, die modernen Anhänger der Atomtheorie von Lukrez von bestimmten Kräften in den unteilbar und rigid geglaubten Atomen ausgehen, die dann für die Eigenschaften einer bestimmten Substanz ursächlich sein sollen, dann sollte man mit ebenso viel Recht und ohne weiteres einer Materie mit der Wirbelbewegung, die für Kelvin bereits im Jahr 1867 „the only true atoms“ (Thomson, 1867, S. 1) darstellen, bestimmte Kräfte („whatever specific forces“) zusprechen dürfen.

Und wohl nicht ohne Kenntnis des argumentativen Werts² spricht Kelvin einige Zeilen danach von einer „magnificent display of smoke-rings“ (Thomson, 1867, S. 2), zu deren Besichtigung Helmholtz selbst bei dem schottischen Physiker und Organisatoren dieses Wirbelringexperiments Peter Tait war (Thomson, 1867, ebd.). Denn für Kelvin stellen die mit den Augen beobachtbaren und experimentell reproduzierbaren Eigenschaften eines Wirbelrings einen genauso legitimen Ausgangspunkt zur Erklärung der Elastizität von Gasen wie jene „clash of atoms“ (Thomson, 1867, S. 2): „It [die perfekte Elastizität der beobachteten Wirbelringe; Ergänzung hinzugefügt] is at least as good a beginning as the , ‘clash of atoms’ to account for the elasticity of gases.“³ (Thomson, 1867, ebd.)

Erwägt man nun, wie gewichtig Kelvins Rückgriff auf die Atomtheorie Lukrez für seine eigene Argumentation war, auch wenn es Kelvin ja um eine Widerlegung derselben geht, so wäre hiermit der erste Grund für eine skeptische Rezeption der These Chalmers erbracht, wonach der Einfluss jener ersten, in Ansätzen gefassten Ideen zur Natur der grundlegenden Materie auf die modernen Atomtheorien eigentlich nicht in die Waagschale fallen sollte.

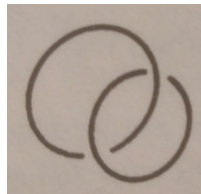
² Smith und Wise (1989) bedienen sich des Ausdrucks „explanatory power“ (Smith und Wise, 1989, S. 417); noch treffender wäre jedoch der Ausdruck „visual explanatory power“ gewesen, zumal Helmholtz das Phänomen nicht bloß liest, sondern *sieht*.

³ Kelvin scheint hier folgendermaßen zu argumentieren: Wenn man mit dem „clash of atoms“, den man nicht oder jedenfalls nicht so leicht wie die „smoke-rings“ sehen und experimentell reproduzieren kann, die Elastizität der Gasen erklärt, warum tut man dasselbe nicht mit dem sogar makroskopisch beobachtbaren und experimentell reproduzierbaren *vortex ring*, der außerdem auch noch die Eigenschaft der Elastizität und Vibration zu besitzen scheint?

2.2 Einige Grundzüge des Vortexmodells

Am deutlichsten formuliert Kelvin seine Vorstellung von Wirbelatomen in einem Brief an Helmholtz aus dem Jahr 1867:

If there is a perfect fluid all through the space, constituting the substance of all matter, a vortex ring would be as permanent as the solid hard atoms assumed by Lucretius . . . to account for the permanent properties of bodies (as gold, lead, etc.) and the differences of their characters. Thus if two vortex-rings were once



created in a perfect fluid, passing through one another like links of a chain, they never could come into collision, or break one another, they would form an indestructible atom; every variety of combinations might exist. Thus a long chain of vortex-rings, or three rings, each running through each of the others, would give each a very characteristic reactions upon other such kinetic atoms. (Smith und Wise, 1989, S. 418)

Für jene erkenntnistheoretisch motivierte Ausgangsfrage muss nun näher untersucht werden, was hier vorausgesetzt wird. Es wird erstens von einer Entität ausgegangen, deren Existenz zu dieser Zeit noch nicht nachgewiesen ist (vgl. den Beitrag *ether* bei Heilbron, 2003). Das also, womit Kelvin die Permanenz seiner Wirbelringe begründen will, um diese so zur Ebenbürtigkeit mit den Lukrezschen Atomen aufwerten zu können, ist zu dieser Zeit

allenfalls ein Gegenstand mannigfaltiger Spekulation und höchstens subtiler Hypothesen etlicher (Natur)-Philosophen und Wissenschaftler (vgl. Heilbronn, 2003, ebd.).⁴

Ferner weisen Smith & Wise 1989 auf eine Verwechslung Kelvins hin: Helmholtz hatte ihnen zufolge bloß die Permanenz der Wirbelbewegung, *nicht* aber die Stabilität eines Wirbelrings bzw. des Wirbels selbst nachweisen können (vgl. Smith und Wise, 1989, S. 418; Garber, 2008, S. 196).⁵ Hat Kelvin demnach etwa von der Stabilität der Wirbelbewegung auf die Stabilität bzw. Permanenz des Wirbelrings selbst schließen wollen? Das scheint der Fall zu sein, wenn man bedenkt, dass Smith und Wise (1989) gleich nach diesem Hinweis auf Kelvins Verwechslung folgendes in Bezug auf seine allzu große Zuversicht bemerken:

Sir William did not immediately see the difference. He broadcast in February, 1867, the news that vortex atoms would henceforth abolish ‘the monstrous assumption of infinitely strong and infinitely rigid pieces of matter’ as adopted by Lucretius, and ‘some of the greatest chemists in their rashly-worded introductory statements’.⁶ (Smith und Wise, 1989, S. 418-9)

Wenn man nun zur Kenntnis nimmt, dass Kelvin eine formale mathematische Analyse der Eigenschaften seiner *vortex-atoms* erst 1869 liefert (Garber, 2008, S. 196), wirft seine im vorigen Zitat enthaltene Mitteilung an Stockes über die Ersetzung der Lukrezschen Atome durch seine *vortex-atoms* einige wohl berechnete Fragen auf: Warum zeugt Kelvins Haltung zu diesem Zeitpunkt von einer augenscheinlich so großen Zuversicht über den möglichen Erfolg seiner Wirbeltheorie? Dank welcher Vorzüge seiner *vortex-atoms* kann bzw. darf er

⁴ Der Ton in dieser Synopsis Heilbrons zum Thema „Äther“ scheint nicht ganz frei von einer ironischen Resignation zu sein, sein Artikel beginnt doch mit einer Bilanz so nüchtern wie: „a possibly nonexistent entity invoked from time to time to fill otherwise empty spaces in the world and in natural philosophy.“ (Heilbronn, 2003)

⁵ Garber äußert diese Meinung zwar nicht explizit, sie spricht jedoch auf der zitierten Seite unzweideutig von „modes of motion“.

⁶ Der Ausdruck *broadcast* könnte zwar einfach als „mitteilen“ verstanden werden, in diesem Kontext drängt sich aber eher die Bedeutung „ausposaunen“ auf.

jene „monstrous assumption of infinitely strong and infinitely rigid pieces of matter“ bei den anderen diskreditieren?

Einen möglichen Aufschluss hierüber könnte wohl ein Vorteil der „vortex-atoms“ gegenüber den Lukrezschen Atomen geben: Derselbe liegt nämlich in der relativen Einfachheit, mit der die „vortex-atoms“ zu Kelvins Zeit produziert und nötigenfalls reproduziert werden konnten und die damit einhergehende relativ umstandslose Demonstration und Beobachtung.

2.3 Die Rolle der Mathematik, Analogie und Ideologie in Kelvins Wirbeltheorie

Vielleicht nicht ganz irrelevant für die Erklärung seines Optimismus ist auch das starke mathematische Interesse Kelvins, aber auch anderer Absolventen der mathematischen Tripos der Universität Cambridge (vgl. den Artikel *ether* bei Heilbron, 2003), wovon eine Aussage Taits ein redendes Zeugnis ablegt:⁷

This idea [die Idee der Wirbelatome; Ergänzung von mir hinzugefügt] promises to be very valuable from one point of view at least, viz., the extension and improvement of mathematical methods; for in its very elements it requires the most powerful of hitherto invented processes and, even with their aid, the mutual action of two ring-vortices (the simples possible space-form) has not yet been investigated except in the special cases of symmetrical disposition about an axis. (Tait & Balfour, 1876, S. 104-5)

Abgesehen von der Möglichkeit zur Erschließung neuer Wissensgebiete scheint die mathematische Beschäftigung mit dem Wirbelphänomen auch noch ein ästhetisches Appeal dargestellt zu haben. Daher kann sich Kelvin nur schwer seiner Faszination über mathematische Möglichkeiten durch das Wirbelphänomen erwehren:

I have changed my mind greatly since my freshman's year when I thought it so much more satisfactory to have to do with electricity, than with hydrodynamics, which only first seemed at all attractive when I learned how you had fulfilled such solutions as Fourier's by your boxes of water. Now I think hydrodynamics is to be

⁷ Auch Kragh zitiert dieses und das folgende Zitat Tait und Kelvins (s. Kragh, 2002, S. 35 und S. 46), beide Zitate basieren aber auf einer eigenständigen Recherche und Auseinandersetzung mit diesen Aussagen aus Smith und Wise (1989) und Tait und Balfour (1876).

the root of all physical science, and is at present second to none in the beauty of mathematics. (Smith und Wise, 1989, S. 396)

Ein etwas allzu exzessiver Fokus auf dem mathematischen Aspekt führt dann sogar zur „Mutation“ (Kragh, 2002b, S. 42) der ursprünglichen Wirbeltheorie, die kaum einen Bezug zur physischen Realität des Untersuchungsgegenstands hat:

The “discovery” of the vortex atom, itself a product of mathematical hydrodynamics, triggered a series of mathematical investigations directly or indirectly related to Thomson’s theory. Over the next three decades, the original vortex theory mutated into a large number of mathematical models that, in many cases, had only little connection to claims of physical reality. Although interest in vortex motion was not limited to Great Britain, it was only in this country that researchers sought to develop the theory into a vortex model of ether and matter, or both. (Kragh, 2002b, ebd.)

Zusätzlich zur Mathematik als einem Mittel zur Theorisierung des *vortex atoms* wäre eine weitere Herangehensweise zu nennen, die nach Garber (2008) vor allem bei Kelvin zu finden ist. Die Wissenschaftshistorikerin spricht von einer Gabe Kelvins und einer Tendenz bei ihm, gedanklich mechanische Bilder zu visualisieren (vgl. Garber, 2008, S. 193); auch hebt sie seine Überzeugung hervor, dass auf verschiedenen Ebenen dieselben physikalischen und mathematischen Gesetze gelten würden (vgl. Garber, 2008, ebd.).⁸ Inkonsistent ist diese Ansicht Garbers über die Methodik Kelvins nicht, wenn man an seine geäußerte Überzeugung denkt, dass die Wirbelringe „the only true atoms“ (Thomson, 1867, S. 1) seien.

⁸ Die Stelle sei hier aufgrund der Bedeutung dieser These zitiert: „Kelvin also shared with, other nineteenth-century physicists, the belief that the same physical laws and mathematical forms applied to all scales of phenomena. The behaviour of a model built to human scale, such as a gyrostet, were replicated in the structures and behaviour of molecules on a much smaller scale (Garber, 2008, ebd.).“

Denn so eine Überzeugung legt nahe, dass für Kelvin die makroskopisch beobachtbaren *vortex atoms* wesens- und formengleich mit jenen aus dem mikroskopischen Bereich gewesen sein müssten, und zwar nach dem Schema: Wenn es sich hinsichtlich eines Phänomens im makroskopischen Bereich so verhält, dann muss es sich im mikroskopischen Bereich genauso verhalten.

Im Zusammenhang mit dieser analogen Denkweise Kelvins erwähnt Garber eine weitere Situation, in der er die kausale Relation zwischen zwei Phänomenen aus dem einen Bereich analogisch auf ein anderes, nicht unbedingt mit dem ersteren verwandtes überträgt. Um nämlich seine Hypothese der Attraktion durch die Vibration der Wirbelringe experimentell zu illustrieren, bringt Kelvin ein Experiment des britischen Physikers Frederick Guthrie ins Spiel, bei dem ein vibrierender Stimmgabel in seiner Nähe befindliche leichtere Objekte anzieht (vgl. Garber, 2008, S. 196). Zwar stellt Garber klar, dass diese Analogie „[...] an illustration of the feasibility of a theory of matter without the concept of force [...] (Garber, 2008, ebd.)“ darstellen sollte; aber auch ein weiterer Gedanke Kelvins kommt bei jener Analogie zum Ausdruck: dass sich nämlich seine Wirbelringe genauso verhalten, d. h. dasselbe Phänomen bedingen würden wie jener vibrierende Stimmgabel, wenn mal die Voraussetzung der Vibration in den Wirbelringen gegeben ist.

Herauszustreichen wäre ferner die Bedeutung, die Kelvin bestimmten, als wesentlich für ein Atom angeforderten Eigenschaften wie z. B. „absolute unalterable“ (Thomson, 1867, S. 1) beimisst. Wenn man diese Eigenschaften nicht als per se vorhanden oder gar selbstverständlich voraussetzt, dann kann man nur schwer die Frage umgehen, warum Kelvin gerade diese Eigenschaften zum Ideal erhebt. Dass das – auch wenn nur indirekt – mit seiner Kosmogonie zusammenhängt, dafür spricht die Tatsache, dass er das Kriterium der „absolute unalterable quality“ (Thomson, 1867, ebd.) für ein Atom zwar zunächst auf Lukrez zurückführt, dann aber doch in Verbindung mit einem „act of creative power“ bringt (Thomson, 1867, ebd.).⁹ Von dem also, was die maßgeblichen Vertreter der

⁹ Auch Smith & Wise (1989) vertreten die Position, dass die genannte Eigenschaft zur Kosmologie passte und deshalb ihn ansprechen konnte (vgl. Smith und Wise, 1989, S. 437-8).

Wirbeltheorie — darunter vor allem Kelvin und Tait — an der Atomtheorie Lukrez und anderer Wissenschaftlern kritisierten,¹⁰ waren ihre Wirbeltheorien selbst nicht frei; ihre Theorien fußten doch auf zwei Entitäten, die nicht nachgewiesen werden konnten (Kragh, 2002b, S. 88):¹¹ erstens — um es nochmals ins Gedächtnis zu rufen — dem alles durchdringenden, kontinuierlichen Äther („perfect fluid“) und zweitens einem „Great First Cause“ (Tait & Balfour, 1876, S. 117)¹².

Es ist nun eher unwahrscheinlich, dass sich Kelvin und Tait dieser sehr unsicheren Fundamente ihrer Wirbeltheorie unbewusst waren. Um eine Antwort auf die Frage, aufgrund welcher inhärenten Vorzüge oder aus welchen pragmatischen Überlegungen heraus beide dann gerade diese Annahmen passender fanden, scheint sich Kragh (2002b) bemüht zu haben. Er pointiert nämlich jenen fruchtbaren Boden, auf den die Postulate Kelvins und Tait fielen:

The theory of vortex atoms was a scientific hypothesis, developed in mathematical details and devised to solve fundamental problems of physics. But there was another side to it, and perhaps not a less important one. The theory was also an important part of the world picture of late-Victorian Britain, and as such it served purposes that must be characterised as ideological. It resonated eminently with values dear to the Victorian mind, such as unity, continuity, and non-materialism.

¹⁰ Tait und Balfour (1876) sehen etwa „mere metaphysical speculations“, an einer anderen Stelle „altogether preposterous analogies“ (Tait & Balfour, 1876, S. 102) in der Materievorstellung anderer Wissenschaftler.

¹¹ Siehe insbesondere den bei Kragh erwähnten Einwand des englischen Mathematikers William Kingdon Clifford gegen die angenommene Entität des *perfect fluid* (Kragh, 2002b, S. 88). Auch wenn er bei seiner Kritik an Kelvin die Kelvinsche Äthervorstellung mit jener Descartes verwechselte, konnte der deutsche Wissenschaftshistoriker Kurd Lasswitz dennoch überzeugend auf nicht nachgewiesene Entitäten in der Wirbeltheorie Kelvins hinweisen, auf die Kragh mit den Worten „two miracles“ Bezug nimmt (Kragh, 2002b, S. 87).

¹² Tait gebraucht diesen Ausdruck, derselbe ist aber in seiner Bedeutung jenem „act of creative power“ bei Kelvin ähnlich. Zwar ändert später seine Theorie ab, sofern er nun im Unterschied zu früher einen „not-so-perfect fluid in the unseen world out of which vortices could develop without divine intervention“ annimmt (Kragh, 2002b, S. 87), dies ändert aber nicht viel am Umstand, dass man hierbei immer neue Annahmen anstellt, um die ursprüngliche Theorie für die eigene Vorstellung immer *passender* zu machen.

[...] It was through the ether that vortex atoms sometimes entered as a scientific background for spiritual thinking and a revived natural theology. Whether the

ether was vortical or not, it came increasingly to be seen as dematerialised – “suprasensual” as Larmor expressed it. To some physicists, most notably Lodge, the ether became of deep spiritual significance, a psychic realm scarcely distinguishable from the mind [...]. (Kragh, 2002b, S. 85-6)

Einiges an der Wirbeltheorie Kelvins war demnach ein Eingeständnis an die spätviktorianische Zeit, sofern man in den Wirbelringen die Ideale der Einheit, Beständigkeit und des Nicht-Materialismus zu finden meinte.

2.4 Das Zwischenergebnis

Als Ergebnis vorangegangener Analyse der Wirbeltheorie Kelvins kann festgehalten werden, dass Kelvin selbst als Wissenschaftler des 19. Jahrhunderts nicht ganz frei von der ursprünglich philosophischen Debatte über die Materie war, sofern er diese alte Debatte wieder aufgriff, d. h. in jenen Begriffen dachte, um überhaupt einen Ausgangspunkt zu haben, auch wenn ihm bei diesem Rückgriff eine Widerlegung der Atomtheorie Lukrez anlag. Beim Entwurf seines Wirbelatoms aber verwechselte er nicht nur die Stabilität der Wirbelbewegung mit jener des Wirbels, sondern er fußte seine Theorie auf dem Äther, einer **Entität**, dessen physikalische Existenz nicht nachgewiesen war. Bei der Beleuchtung einiger Aspekte seiner Methode war dann zu konstatieren, dass die Beschäftigung mit dem Wirbelphänomen nicht ohne ein mathematisches Interesse für Kelvin und manch andere Vertreter der Wirbelatome war, ihre Wirbelatomtheorien aber durch die exzessive Mathematisierung immer realitätsferner wurde; anstatt es nämlich bei einem instrumentellen Gebrauch von der Mathematik bewenden zu lassen, wurde für sie die Mathematisierung des Phänomens zu einem Endzweck.

Auch eine stark analogische Herangehensweise Kelvins wurde evident, als auf seine Übernahme eines Experiments von Frederick Guthrie eingegangen wurde. Hier konnte beleuchtet werden, dass Kelvin den Beweis für eine wechselseitige Anziehung zwischen seinen vibrierenden Wirbeln dadurch erbrachte, dass er sich in einer analogen Weise auf das Stimmgabelexperiment berief. Und zu einer hypothetischen Erklärung dessen, warum Kelvin und Tait die Voraussetzung so unsicherer **Entitäten** wie u. a. des Gottes, der absoluten Unveränderbarkeit und der Unzerstörbarkeit in Kauf nahmen, bezog sich die Arbeit auf eine Position aus der Forschung, nach der solche Annahmen vereinbar, ja sogar harmonisch mit dem Weltbild ihres viktorianischen Zeitalters waren.

3. Niels Bohr

Niels Bohr kommt am 7. Oktober 1885 in Kopenhagen auf die Welt. 1903, also als 18 Jähriger nimmt er an der Uni Kopenhagen das Studium der Physik auf. Seinen ersten Erfolg hat er schon 1905, als er den Preis der Königlich Dänischen Akademie der Wissenschaften gewinnt, und zwar für seine Theorie zur Messung der Oberflächenspannung von Flüssigkeiten (Aaserud, 2022).

1911, also kurz nach seiner Dissertation über die magnetischen Eigenschaften von Metallen macht er einen Forschungsaufenthalt in England, zuerst in Cambridge, wo auch J. J. Thomson aktiv ist, und anschließend in Manchester, wo Ernest Rutherford in seiner Forschung über die Atome begriffen ist (Aaserud, 2022). Diese Phase seiner wissenschaftlichen Laufbahn wird in der Forschung als entscheidend für Bohrs Interesse an der Atomtheorie betrachtet (vgl. Kragh, 2002a, S.54; Pais, 1991, S. 128-9).

Spätestens 1913 mit seinem Fachartikel *On the Constitution of Atoms and Molecules* liefert er einen konkreten Beitrag in dieser Hinsicht. 1922 erhält Bohr den Nobelpreis für die Physik, und zwar für seine Forschung über die Atomstruktur (Aaserud, 2022), ein Thema, das ihn gleichsam bis zu seinem Tod am 18. November 1962 beschäftigt (Pais, 1991, S. 529).

3.1 Bohrs Atommodell für den Wasserstoff

Eine Aussage bei Abraham Pais, dem Biographen Niels Bohrs, über Bohrs im Juni 1913 veröffentlichten Artikel mit dem Titel *On the Constitution of Atoms* wäre interessant genug, um bei derselben den Ausgang zur weiteren Beschäftigung mit Bohrs Modell zu nehmen:

On 6 March 1913 Bohr sent a letter to Rutherford in which he enclosed 'the first chapter on the constitution of atoms', asking him to forward that manuscript to Philosophical Magazine for publication. Up to that point Bohr had three published papers to his name: two resulting from his prize essay, his doctor's thesis and a short sequel thereto and his paper on α -particle absorption. These had earned him respect within a small group of physicists. *His new paper was to make him a world figure in science and, eventually, beyond* [Hervorhebung von mir]. (Pais, 1991, S. 146)

Mit diesem Artikel stellt Bohr nämlich erstmals der Fachwelt sein ausgearbeitetes Atommodell vor. Die Frage nun, was dasselbe trotz seiner paradigmatischen Ähnlichkeit mit manch anderen Atommodellen dieser Zeit¹³ den Grad seiner Bekanntheit auf einmal erweitert, geht ja mit jenen einher, aus welchen Entitäten das Modell zunächst einmal besteht und ob und wie er dann ihre Realität nachweist. Verbal lässt sich sein Atommodell wie folgt darstellen:

- (1) Ein Atom eines Elements, in diesem Fall des Wasserstoffs, hat einen Kern;
- (2) Außerhalb dieses Kerns existieren Entitäten namens Elektronen;

¹³ Siehe etwa das Vorhaben des japanischen Physikers Nagaoka Hantarō zum Entwurf eines Atommodells im Jahr 1904 (Pais, 1991, S. 137); vgl. auch die Position, dass die Idee, das Quantumpostulat in die Atomtheorie einzubringen, damals allgemein ist "in der Luft war" (Pais, 1991, S. 144). Einen größeren Einfluss auf Bohr wird dem englischen Physiker J. W. Nicholson zuerkannt (s. Pais, 1991, S.145).

(3) Der Raum, in dem alle Elektronen zu lokalisieren sind, ist unverhältnismäßig größer als jener des Atomkerns;

(4) Diese Elektronen sind auf mehreren diskreten Bahnen zu lokalisieren, welche sich ebenfalls außerhalb dieses Kerns befinden;

(5) (a) Diese Elektronen können sich bewegen;

(b) Ein Elektron kann sich nur zirkulär auf einer dieser diskreten Bahnen um den Rutherfordschen “central charge” bewegen, nicht aber irgendwo im Raum zwischen diesen.

(6) Es kommt beim Übergang eines Elektrons zwischen diesen diskreten Zuständen (also den Bahnen)¹⁴ zur Aufnahme bzw. Emission einer monochromatischen (einfarbigen) Radiation gemäß der Gleichung $(E_n - E_m = h\nu)$ [h : Plancksches Wirkungsquantum].

(7) Damit ist auch jene diskrete Eigenschaft zu erklären, die das Lichtspektrum des Wasserstoffs sowohl bei Lichtemission- wie bei -absorption aufweist.

Ein präziserer Ausdruck dieser Thesen schlägt sich in einer Skizze aus dem Jahr 1915 nieder:

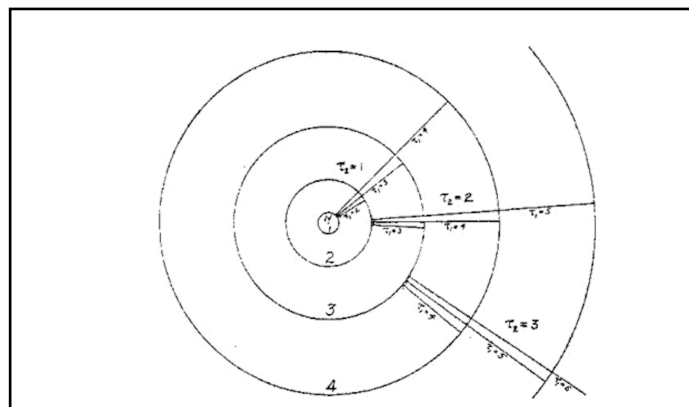


Abb. 1: Bohrs Atommodell für den Wasserstoff
Quelle: Kragh, 2012, S. 60. (das ursprüngliche Bild wurde von mir zugeschnitten)

¹⁴ Das sind für Bohr diskrete Energiestufen (z. B. $n = 1$, $n = 2$, $n = 3$). Ein Elektron kann sich demnach in einer dieser Energiestufen befinden, nicht aber irgendwo dazwischen.

3.2 Eine Analyse etlicher Entitäten in Bohrs Atommodell

Den Beweis für die erste Hypothese kann Bohr leicht erbringen. Das Atommodell Rutherfords, das er jenem Thomsons vorzieht,¹⁵ hat einen Atomkern, dessen Existenz die Ergebnisse der Rutherford-Streuung spätestens im Jahr nahelegten (Kragh, 2002a, S. 51-3). Ähnlich muss sich Bohr nicht viel um einen Beleg für die Existenz der Elektronen bemühen, zumal derselbe schon durch J. J. Thomson mit seiner Entdeckung der „Korpuskeln“, also der Elektronen, im Jahr 1897 erfolgt war (Trefil, 2022); und diese Elektronen bewegen sich im Atommodell Rutherfords im Unterschied zum sogenannten Plumpudding-Modell Thomsons um den Kern, nicht aber wie in einem planetaren System (Kragh, 2002a, S. 53). Eben diese Bewegung der Elektronen problematisiert Bohr, indem er ihre Unvereinbarkeit mit der Mechanik hinweist: „The quantum theory tends not only to the mechanics but the mechanics tend to the quantum theory (mechanics both for “transitions” and for “stationary states”).“ (Kragh, 2012, S. 52)

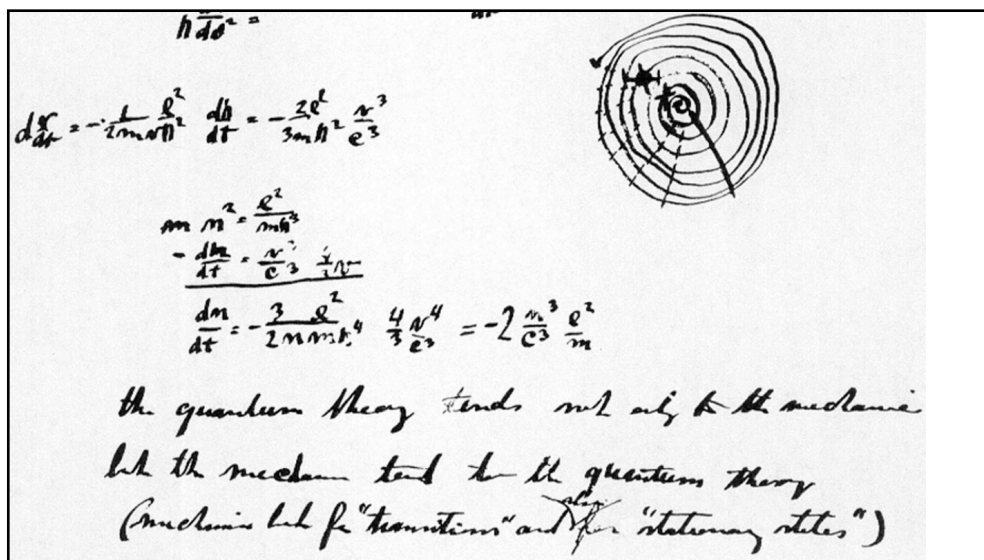


Abb. 2: Eine Skizze zur Instabilität eines Atommodells mit bewegenden Elektronen
Quelle: Kragh, 2012, S. 52 (das ursprüngliche Bild wurde von mir zugeschnitten).

¹⁵ Diese Angabe geht auf einen Hinweis von Prof. Dr. Eppler im Rahmen der Referatsbesprechung zurück.

In einer widersprüchlichen Weise kann er jedoch in seinem Modell selbst auf dieses Postulat aus dem Atommodell Rutherfords (vgl. die Hypothese 5(a)) nicht verzichten, als er den Elektronen diskrete Bahnen zuweist (siehe die Hypothese 5 (b)). Daher skandalisiert Abraham Pais, sein Biograf, die Hypothesen (4) und (5) wie folgt:

[...] All three treatments [also des Atommodells, Ergänzung von mir] have in common the postulate that an electron inside a hydrogen atom can move only on one or another of a discrete set of orbits (of which there are infinitely many), in violation of the tenets of classical physics, which allows a continuum of possible orbits. Bohr called his orbits 'stationary states'. [...] Now, for the first time, I believe, Bohr refers to radiative instability. As a result of the energy lost by radiation, 'the electron will no longer describe stationary orbits'. In particular, according to classical law, an electron in the ground state will not stay there but will spiral into the nucleus. *Bohr circumvented this disaster by introducing one of the most audacious postulates ever seen in physics. He simply declared that the ground state is stable, thereby contravening all knowledge about radiation available up till then!* [Hervorhebung von mir]. (Pais, 1991, S. 147)

Beide Hypothesen stehen demnach in einem Widerspruch mit der Mechanik, und denselben will Bohr dadurch lösen, dass er die Gültigkeit der Mechanik und die Elektrodynamik für den Grundzustand, also die dem Kern am nächsten liegende Bahn, aufhebt, indem er den Grundzustand schlichtweg für stabil erklärt. Zwei Argumente führt er hierfür an: erstens gelte die Mechanik in der atomaren Welt nicht; zweitens sei die Diskretheit des Wasserstoffspektrums bei der Lichtemission und -absorption nicht anders zu erklären als durch jene Eigenschaften, die sein Atommodell hat (Pais, S. 138-9).

Hiermit setzt Bohr die Eigenschaft seines Atommodells für den Wasserstoff in ein direktes kausales Verhältnis mit der Diskretheit des Lichtspektrums. Zu fragen wäre nun, ob diese Art und Weise des Rückschließens vom Phänomen auf eine Theorie bzw. des Schließens

von der Theorie auf ein Phänomen sich erkenntnistheoretisch problematisieren lässt. Die folgende Analogie, welche die Logik des Atommodells für den Wasserstoff erfassen soll, scheint das zu bejahen: Das Postulat, dass Grafit eine klebrige Materie sei, kann z. B. in einer plausiblen Weise das Phänomen erklären, dass Grafit ein Papier beschreibt. Diese postulierte Klebrigkeit des Grafits kann ich für bestimmte Anwendungszwecke instrumentalisieren (Schreiben mit Grafit aufs Holz, Karton, Fasern usw.) Zur Erklärung der Schreibbarkeit nehme ich also an, dass Grafit klebbar ist. Dies ist aber keine Garantie für die eigentliche Beschaffenheit des Grafits, d. h. es könnte ja sein, dass man mit dem Grafit auf dem Papier usw. schreiben kann, nicht weil es eine klebrige Eigenschaft hätte wie postuliert, sondern aufgrund einer ganz anderen Eigenschaft.

Überträgt man nun diese Analogie auf das Atommodell Bohrs, so ließen sich folgende Fragen stellen: ist allein schon die Diskretheit des Lichtspektrums eine Gewähr dafür, dass ein Atom jene diskreten Bahnen um seinen Kern hat und dass seine Elektronen sich perfekt zirkulär bewegen, wie in der 1. Abbildung postuliert?; und warum dürfen die Bahnen, die er skizziert hat, nur horizontal, und nicht vielmehr vertikal sein?

In noch stärkerem Maße ließe sich die nächste Hypothese (6) hinterfragen: Bohr übernimmt hier das Wirkungsquantum Planks, von dessen Realität Plank selbst zu diesem Zeitpunkt noch nicht überzeugt war und welches er bloß als eine mathematische Hypothese betrachtete,¹⁶ und will dieses Postulat in einen direkten kausalen Zusammenhang mit dem Phänomen des diskreten Lichtspektrums setzen; damit erklärt er das Wirkungsquantum praktisch zu einer real existierenden Entität. Zwar hat die Analogie (diskrete Spektrallinien, also diskrete Zustände der Elektronen) ihre Plausibilität, welche durch die erstaunliche Übereinstimmung Bohrscher Messwerte mit dem Wasserstoffspektrum weiter verstärkt wird (Pais, S. 149); offen bleibt dennoch, ob diese Art der Beweisführung legitim ist¹⁷ und ob nicht die vielen Annahmen in seiner Theorie einen eher zweckdienlichen Charakter haben.

¹⁶ Die Erkenntnis ist Herrn Prof. Dr. Epple zu verdanken, auf die bei derselben Referatsbesprechung hingewiesen wurde; aber vgl. auch Kragh, 2002a, S. 62.

¹⁷ Erstens macht er sehr viele Annahmen. Zweitens, die Beweisführung verrät doch die Tendenz, dass man dabei etwas noch nicht Gesichertes als Basis für die Erklärung eines realen Phänomens nimmt.

Und kann er nun, was ja zu einer exakten Beschreibung eines Atoms gehört, eine exakte Beschreibung der Position der Elektronen zu einem bestimmten Zeitpunkt und ihrer Bewegung zugleich liefern?¹⁸ Zur Erklärung der Unmöglichkeit dieser beiden Messungen zum gleichen Zeitpunkt führt Bohr dann, auch wenn erst viele Jahre nach 1913, das Konzept der Komplementarität ein (Pais, 1991, S. 315).

The very nature of the quantum theory... forces us to regard the space-time coordination [meaning: particle behavior, Ergänzung durch Pais] and the claim of causality [meaning: wave behavior, Ergänzung durch Pais], the union of which characterizes the classical theories, as complementary but exclusive features of the description... complementary pictures of the phenomena... only together offer a natural generalization of the classical mode of description. (Pais, 1991, S. 315)

Noch deutlicher formuliert Bohr seine Vorstellung der Komplementarität mit der Beschreibung eines psychologischen Phänomens:

Vor allem wird aber dieses Gebiet [Psychologie, Hinzufügung von mir], wie schon berührt, durch Reziprozitätsverhältnisse gekennzeichnet, die mit dem einheitlichen Charakter des Bewusstseins zusammenhängen und eine auffallende Ähnlichkeit zeigen mit den physikalischen Konsequenzen des Wirkungsquantums. Es handelt sich hier um allbekannte Eigentümlichkeiten des Gefühls- und Willenlebens, die sich gänzlich der Darstellung durch anschauliche Bilder entziehen. Insbesondere findet der scheinbare Gegensatz zwischen dem kontinuierlichen Fortschreiten des assoziativen Denkens und der Bewahrung der Einheit der Persönlichkeit eine eindrucksvolle Analogie in dem Verhältnis der von dem Superpositionsprinzip beherrschten Wellenbeschreibung des Verhaltens materieller Teilchen zu deren unzerstörbarer Individualität. Die unvermeidbare Beeinflussung der atomaren Erscheinungen durch deren Beobachtung entspricht hier der wohlbekannten

¹⁸ Auch dieses Problem im Atommodell Bohrs wurde ich dank eines Hinweises von Prof. Dr. Eppler aufmerksam.

Änderung der Färbung des psychischen Geschehens, welche jede Lenkung der Aufmerksamkeit auf ihre verschiedenen Elemente begleitet. (Bohr, 1929, S. 485)

Keine Frage wäre an dieser Stelle dringender zu stellen als jene, ob Bohr mit seinem Begriff der Komplementarität nicht ein eher philosophisches Deutungsmuster anwendet.¹⁹ Philosophisch ist dieses Deutungsmuster insofern, als es auf vielen Analogien beruht und damit einem der Ideale der Physik, also der quantitativen Exaktheit, nicht gerecht wird. Mit diesem Einwand soll etwa nicht streng gefordert werden, dass man als Physiker nie und nimmer philosophisch verfahren darf; es soll aber zur Sprache kommen, dass man mit der Einführung der Komplementarität bestimmte Metafragen bezüglich der Paradoxien doch eben spekulativ- philosophisch beantwortet. Dafür sprechen auch manche Titel seiner Vorträge, die nicht ohne Grund „The philosophical foundations of the quantum theory“ oder „The philosophical lesson of atomic physics“ (Pais, 1991, S.420) lauten. Dass Bohr sich später mit dem Prinzip der Komplementarität auch in anderen, nicht zwangsläufig mit der Physik verwandten Wissenschaften versucht (vgl. Pais, 1991, S. 438-447.), spricht für seine Bereitschaft, sein spekulatives Deutungsmuster zur Beantwortung mancher nur schwer entscheidbarer Fragen in diesen Wissenschaften bereitzustellen.

Ein weiteres Beispiel, das die wissenschaftliche Debatte über die Atome anlangt und daher für das hier entwickelte Argument wie kein anderes Relevanz beansprucht, stammt aus dem Jahr 1967, obwohl mit der Erwähnung desselben nicht die These der Grundunterschiede zwischen den Atomtheorien ab dem 19. Jahrhundert und jenen aus der griechisch-römischen Antike, wie sie Chalmers herausgearbeitet hat, in ihrem Wert gemindert werden soll: Bloß der Umstand, dass in seinem Vortrag aus dem genannten Jahr mit dem Titel „Die Verknüpfung philosophischer und physikalischer Probleme“ Heisenberg als praktizierender Physiker sein Urteil über den Streit zwischen Platon und Demokrit

¹⁹ Pais (1991) vertritt zwar die Position, dass das Prinzip der Komplementarität bei Bohr auf keinen Philosophen zurückzuführen ist (vgl. Pais, 1991, S. 424); das Prinzip hat aber nicht den Charakter, den physikalische Gesetze kraft ihrer quantitativen Dimension generell haben.

anhand neuester Erkenntnisse aus der Teilchenphysik fällt (vgl. QuantenPhysik, 2014), gebietet eine skeptische Haltung gegenüber der These der philosophischen Unfruchtbarkeit in der modernen Atomtheorie, wie sie Chalmers generell in seinem *The Scientist's Atom and the Philosopher's Stone* vertritt. Wieder soll hiermit nicht die steile Aussage getroffen werden, dass die antike Theorie die moderne irgendwie beeinflusst habe; es soll lediglich das Faktum zur Kenntnis genommen werden, dass die Begriffe, in denen man in der Antike dachte, selbst im Jahr 1967 nicht ganz verschwunden sind, bzw. zu denen man sogar anhand neuester Einsichten aus der Quantenphysik Stellung nimmt und damit sie gewissermaßen *verwertet*.

3.3 Schlussbemerkung

Bei der Untersuchung Bohrschen Atommodells auf ihre Bestandteile hin kam heraus, dass (1) die Realität der einen Entitäten, also der Elektronen und des Atomkerns, nachgewiesen war; (2) bei der Beschreibung des Verhaltens der Elektronen übernahm Bohr jedoch das Wirkungsquantum Plancks, das ursprünglich bloß eine mathematische Hypothese ohne einen Anspruch auf ihre physikalische Wirklichkeit darstellen sollte. Mit eben dieser ungesicherten Entität in seinem Atommodell (3) erklärte er dann die Diskretheit des Lichtspektrums für den Wasserstoff; ferner annullierte er sogar mechanische Gesetze, um den offensichtlichen Widerspruch seiner bewegenden Elektronen in dem Grundzustand mit diesen Gesetzen zu umgehen. Als es klar wurde, dass er nicht simultan den Impuls der Elektronen einerseits und ihre Position andererseits messen kann, behalf sich Bohr mit einer philosophisch-spekulativen Erklärung, nach der zwei Eigenschaften sich nicht unbedingt gegenseitig ausschließen müssen, sondern vielmehr als einander ergänzend betrachtet werden können.

Zur weiteren Auseinandersetzung mit diesem Aspekt Bohrschen Modells wäre die Frage an die Wissenschaftshistorikerinnen zu delegieren, ob dieses Konzept Bohr nicht etwa zum Sicherheitsnetz gedient hat, in das man fiel, als ein Phänomen zwei einander ausschließende Eigenschaften zeigte und damit ein Entweder-Oder unmöglich machte.

Literaturverzeichnis

Bohr, N. (1913). On the constitution of atoms and molecules. *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, 26 (151), 1-25, DOI: 10.1080/14786441308634955

Bohr, N. (1929). Wirkungsquantum und Naturbeschreibung. *Die Naturwissenschaften* 17(26) 483-6. https://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN34557155X_0017

Chalmers, A. (2011). *The scientist's atom and the philosopher's stone: how science succeeded and philosophy failed to gain knowledge of atoms*. Springer.

Garber, E. (2008). Kelvin on Atoms and Molecules. Flood et al. (Hrsg.), *Kelvin, Life, Labours and Legacy* (S. 192-211). Oxford University Press.

Heilbron, J. L. (2003, 14. Februar). *ether*. <https://www-oxfordreference-com.proxy.ub.uni-frankfurt.de/view/10.1093/acref/9780195112290.001.0001/acref-9780195112290-e-0240?rskey=qtuFIh&result=240>

Kragh, H. (2012). *Niels Bohr and the Quantum Atom: The Bohr Model of Atomic Structure 1913–1925*. Oxford University Press.

Kragh, H. (2002a). *Quantum Generations: A History of Physics in the Twentieth Century*. Princeton University Press.

Kragh, H. (2002b). The Vortex Atom: A Victorian Theory of Everything. *Centaurus*, 44 (1-2): 32-114. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0498.2002.440102.x>

Pais, A. *Niels Bohr's Times: In Physics, Philosophy, and Polity*. Oxford University Press.

Sharlin, Harold. (2022, 22. Juni). *William Thomson, Baron Kelvin*. <https://www.britannica.com/biography/William-Thomson-Baron-Kelvin>

Smith, C., Wise, M.N. (1989). *Energy and Empire: A Biographical Study of Lord Kelvin*. Cambridge University Press.

Tait, P., Balfour, S. (1876). *The Unseen Universe*. (2. Auflage). Macmillan, 1876.

Thomson, W. (2011). Hydrodynamics. *Mathematical and Physical Papers 4*, 1-12. 10.1017/CBO9780511996047.003

Trefil, J. (2022, 2.September). *Discovery of electrons*. <https://www.britannica.com/science/atom/Discovery-of-electrons>

QuantenPhysik. (2014, 20. August). Werner Heisenberg - Physik & Philosophie (Originalaufnahme) [Video]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=xhNS3cJX5EU&t=11s&ab_channel=QuantenPhysik

Eigenständigkeitserklärung

Hiermit bestätige ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe. Die Stellen der Arbeit, die dem Wortlaut oder dem Sinn nach anderen Werken (dazu zählen auch Internetquellen) entnommen sind, wurden unter Angabe der Quelle kenntlich gemacht.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Kunze' followed by a stylized monogram or initials.

(Datum, Unterschrift)