

VHS 42 02142

14 min

**Atom- und Orbitalmodelle
Arbeitsvideo / 4 Kurzfilme**

Im Laufe der Jahrhunderte konnten die Menschen ein immer genaueres Bild vom Bau der Materie gewinnen. Die neuesten Theorien gehen hauptsächlich auf die Arbeiten der Quantenphysiker Schrödinger und Heisenberg zurück. Mit Hilfe von vier Kurzfilmen werden im Arbeitsvideo die wichtigsten Grundlagen des Orbitalmodells abgeleitet. Modellhafte Realexperimente und Computeranimationen verdeutlichen die Eigenschaften der Elektronen und verhelfen zu einem besseren Verständnis der komplexe Zusammenhänge in Atomen. Die im Film verwendeten Realaufnahmen entstammen den Klett-Videos „Auf der Suche nach den Atomen“ und „Experimente zum Aufbau der Atomhülle“.

1. Atommodelle
2. Der Welle-Teilchen-Dualismus
 - 2.1 Das Elektron als Teilchen
 - 2.2 Das Elektron als Welle
3. Stehende Wellen
4. Quantenmechanik und Orbitalmodelle

Lernziele

Die historische Entwicklung von Atommodellen erfahren und die moderne Vorstellung vom Aufbau des Atoms kennen lernen; den Welle-Teilchen-Dualismus am Beispiel des Elektrons verstehen; das Prinzip der Orbitaltheorie begreifen

Kurzbeschreibung

In den vier Kurzfilmen wird dargestellt, wie sich das Bild vom Aufbau des Atoms von ersten Vorstellungen in der Antike über das Planetenmodell bis zum Orbitalmodell entwickelt hat. Dabei wird insbesondere auf den Welle-Teilchen-Dualismus am Beispiel des Elektrons eingegangen: Elektronen werden als stehende Wellen beschrieben, die ähnliche Eigenschaften wie Wasser- oder Schallwellen aufweisen und beispielsweise Interferenzmuster bilden können, andererseits aber als Teilchen eine Masse besitzen. Schließlich wird ausgehend von der Schrödinger-Gleichung das Orbitalmodell entwickelt.

Zum InhaltZu den Filmen

Atommodelle und ihre theoretischen Hintergründe sind vielen Schülern schwer begreiflich zu machen: Die Inhalte bleiben abstrakt, da sie nicht direkt veranschaulicht werden können und Experimente z.B. zur Orbitaltheorie im Unterricht kaum durchführbar sind. Besonders problematisch zu vermitteln ist die von der „klassischen“ Logik abweichende Vorstellungswelt, wie beispielsweise der Welle-Teilchen-Dualismus. Schüler sind gerade im naturwissenschaftlichen Unterricht eine gleichsam dichotome Denkweise gewohnt; eine bestimmte Eigenschaft, z.B. der

Metallcharakter schließt eine andere wie etwa den salzartigen Charakter aus. Dass ein Elektron nun je nach den Versuchsbedingungen entweder als Teilchen oder als Welle charakterisiert werden kann, läuft diesem Denken zuwider; daher sollte im Unterricht besonders deutlich werden, dass ein Elektron beide Eigenschaften in sich vereint und je nach den Versuchsbedingungen nur jeweils die eine bzw. andere zutage tritt.

Eine weitere Schwierigkeit bei der quantenmechanischen Betrachtungsweise ist die prinzipielle Unmöglichkeit, über das Verhalten eines individuellen Teilchens, z.B. eines Elektrons im Atomorbital Voraussagen machen zu können; nur Wahrscheinlichkeiten lassen sich angeben. In diesem Zusammenhang sollte erläutert werden, dass schon durch die Messung allein das Ergebnis verfälscht werden kann und niemand weiß, wie sich ein Teilchen „unbeobachtet“ verhalten hätte. Daneben sollte – z.B. bei der Besprechung des Bohr'schen Atommodells – auch auf die Heisenberg'sche Unschärferelation eingegangen werden: Es ist prinzipiell unmöglich, den Impuls und den Ort eines Teilchens gleichzeitig zu bestimmen. Auch dieser Gedanke läuft den gewohnten Schemata zuwider. Macht man den Schülern klar, dass die Newton'sche Mechanik im Bereich des Mikrokosmos nicht mehr gilt und auch der „gesunde Menschenverstand“ nicht mehr allgemeingültige Richtschnur sein kann, dann werden sie eher die ungewohnten Denkmuster akzeptieren und verstehen, dass letztlich nur die Veranschaulichung und Deutung mathematischer Ausdrücke die Kollision von Realität und alltäglicher Vorstellungswelt bedingen. Auch ein Brückenschlag zu philosophischen und erkenntnistheoretischen Problemen bietet sich in diesem Zusammenhang an.

Aus historischer Sicht brach mit der Entwicklung der Quantenmechanik ein scheinbar fest gefügtes Gedankengebäude der Physik bei der Betrachtung von Sachverhalten im Bereich der Größenordnung von Atomen in sich zusammen. Als MAX PLANCK (1858 – 1947), einer der Väter der Quantenmechanik, sich 1875 an der Universität München einschrieb, um sein Physikstudium aufzunehmen, wurde er von dem Physikprofessor JOLLY aufgefordert, nicht Naturwissenschaften zu studieren, weil es dort nichts mehr zu entdecken gäbe. PLANCK entdeckte später im Zusammenhang mit der Energieverteilung der schwarzen Strahlung, dass nicht beliebige Energiemengen ausgetauscht werden, sondern eine Quantelung vorliegt, die in der Vorstellungswelt der klassischen Physik nicht vorkommt; dies war ein Startschuss für die „neue“ Physik, die Quantenmechanik, an deren Gedankenwelt die Schüler durch die vorliegende Filmreihe Stück für Stück herangeführt werden sollen.

1 Atommodelle

Im ersten Kurzfilm wird die historische Entwicklung der Atommodelle bis zum Planetenmodell von NIELS BOHR dargestellt. Antike Vorstellungen, wie z.B. die Ideen des DEMOKRIT von Abdera (470 bis 360 v.Chr.) fußen – auch wenn sie zum Teil sehr „modern“ anmuten – auf der Überzeugung, durch bloßes Nachdenken die Lösungen für naturwissenschaftlich Probleme finden zu können. DEMOKRIT ging wie sein Lehrer LEUKIPP davon aus, dass Atome unteilbar sind, alle aus dem gleichen „Stoff“ bestehen, aber verschiedene Größen aufweisen. Die Lehren der Atomisten erscheinen rückblickend als Höhepunkt der antiken Naturphilosophie schlechthin. Die Anerkennung durch seine Zeitgenossen blieb DEMOKRIT verwehrt. Dass die griechische Atomistik im 17. Jahrhundert wieder aufgegriffen, ja geradezu in Gänze wieder hergestellt wurde, verdanken wir dem Franzosen PIERRE GASSENDI

(1592 – 1655). GASSENDI bejahte, im Gegensatz zu ATISTOTELES, das Vorhandensein des leeren Raumes, einem unendlichen und unbewussten Raum außerhalb der Welt. Auch innerhalb der Welt gibt es leere Räume, beispielsweise die zahllosen unter der Wahrnehmungsgrenze liegenden Zwischenräume, die Poren und Gänge flüssiger und fester Körper. Die erste Materie nun, die vom leeren Raum eingeschlossen wird, ist die *materia prima* – es sind die Atome. *Ein Drittes außer Leere und Atome gibt es nicht.* Atome sind körperlich und mit einer bestimmten Form verbunden. Sie haben alle dieselbe Festigkeit, aber unterschiedliche Größe, Gestalt und Gewicht. Die Größe ist minimal; die Vielzahl an Gestalt und Form sind unermesslich groß, trotzdem begrenzt. Ihre Schwere besitzen die Atome seit ihrer Schöpfung durch Gott – also sie sind nicht ewig.

Eine quantitative Weiterentwicklung der antiken Atomistik hat durch GASSENDI nicht stattgefunden. Durch seine Annahme aber, Gott stets als erste Ursache anzuführen, konnte er die Atome den Heiden DEMOKRIT und EPIKUR entreißen und somit aus dem Verdammungsurteil der Kirche erlösen. Durch GASSENDI wurden die Atome zum „festen Besitz“ der Stofflehre. Die Einführung des Experiments zur Erforschung und Deutung der Natur im 17. Jahrhundert führte dann zur raschen Entwicklung der Naturwissenschaften auf einer fundierteren Grundlage. Doch stellt man sich noch um die Jahrhundertwende das Atom als hoch elastisches Klümpchen vor. In dem die positive Ladung gleichmäßig verteilt ist und in welches punktförmige Elektronen eingebettet sind. Erst die Streuversuche von RUTHERFORD, GEIGER und MARSDEN in den Jahren 1906 bis 1913 zerstörten dieses Bild. BOHR trug schließlich durch die Entwicklung seiner Atomtheorie wesentlich zur Entstehung der Quantentheorie bei, wenngleich das Rutherford-Bohr-Planetenmodell Probleme aufwarf, die erst durch die Annahme des Wellencharakters von Elektronen gelöst werden konnten.

Anmerkung zum Filmtrick „Bohr'sches Atommodell“: Die Elektronen umkreisen, wie von Bohr postuliert, den Kern auf konzentrischen Kreisen. Um einen räumlichen Eindruck zu vermitteln, wurden die Bahnen etwas gekippt.

2 Welle-Teilchen-Dualismus

Die Problematik des Welle-Teilchen-Dualismus, die letztlich zur modernen Vorstellung über den Atomaufbau führte, wird, ausgehend vom Bohr'schen Planetenmodell, im zweiten Film dargestellt. Den Schülern soll dabei deutlich werden, dass Elektronen sich – je nach dem gewählten experimentellen Ansatz – als Teilchen oder als Welle verhalten können. Aufgrund ihrer Masse sind sie in der Lage, ein Flügelrad in Bewegung zu versetzen, wenn sie mit genügend großer Geschwindigkeit aufprallen. Dieses Experiment kann mit Hilfe einer Sprühkathode in einer evakuierten Röhre durchgeführt werden. Gemäß den Gesetzen der Maxwell'schen Elektrodynamik wären aber gravierende Konsequenzen zu erwarten, wenn sich Elektronen im Atomverband als Teilchen im klassischen Sinne verhielten: Atome wären dann instabil: Die um den Atomkern kreisenden Elektronen würden als beschleunigte, geladene Teilchen elektromagnetische Strahlung emittieren. Dadurch würden sie ständig an Energie verlieren und schließlich in den Atomkern stürzen. Folglich können Elektronen nicht als „klassische“ Teilchen betrachtet werden. Die von DE BROGLIE 1924 postulierten Materiewellen lieferten einen weiteren wichtigen Hinweis auf die Eigenschaften von Elektronen. Vergleicht man sie mit den Eigenschaften von Wasserwellen, kann man Übereinstimmungen feststellen; beide können Interferenzmuster bilden. Durch Auslöschung bzw. Verstärkung von Wellen

entstehen charakteristische Muster, die bei der Überlagerung von zwei Wellen zustande kommen. Gerade im Überlappungsbereich entstehen Zonen, in denen keine Elektronen registriert werden können; dieses Ergebnis ist nicht zu verstehen, wenn vom Teilchencharakter der Elektronen ausgegangen wird.

3 Stehende Welle

Elektronen, die sich im Atomverband befinden, sind in ihrer freien Beweglichkeit eingeschränkt und als stehende Wellen aufzufassen und sie können nicht mehr beliebige Energiestufen aufweisen. Der Zusammenhang zwischen der Energie einer Welle, der Wellenlänge sowie der Frequenz lässt sich dadurch veranschaulichen, dass ein Motor, der ein am anderen Ende fixiertes Band in Schwingung versetzt, eine höhere Drehzahl aufweisen, also mehr Energie aufwenden muss, wenn das Band in die erste Oberschwingung versetzt werden soll. Je größer die Energie der Elektronenwellen, desto höher ist ihre Frequenz und umso mehr Knoten weisen sie auf. Ausgehend vom schwingenden Band kann am Beispiel einer schwingenden Membrane, dieses Prinzip nochmals verdeutlicht werden: Bestreut man eine Membrane dünn mit Sand und bringt sie durch einen Ton in Schwingung, so entstehen so genannte Chladni-Figuren. Der Sand verteilt sich in charakteristischer Weise auf der Membrane, indem er von den Stellen der stärksten Auslenkung in die nicht schwingenden Stellen, also die Knoten, wandert. Bei zunehmender Tonhöhe, zunehmender Energie, entstehen mehr Knotenlinien und die Wellenlänge sinkt, wobei die Frequenz der Welle sich erhöht. Elektronenwellen im Atomverband verhalten sich analog, sind jedoch dreidimensional und weisen Knotenebenen bzw. Knotenflächen auf. Der britische Physiker PAUL DIRAC konnte zeigen, dass die Matrizenmechanik WERNER HEISENBERGS und die Wellenmechanik ERWIN SCHRÖDINGERS äquivalente Beschreibungen ein und desselben Phänomens waren: die Beschreibung von Elektronen als dreidimensional stehende Wellen. Damit war 1925 die moderne Quantenmechanik geboren. Die Folge war, dass Teile der klassischen Mechanik aufgegeben werden mussten. Die neu gewonnenen Erkenntnisse gründen nicht mehr auf menschlich Verstellbarem, an dessen Stelle tritt reine Mathematik.

4 Quantenmechanik und Orbitalmodelle

Die Welleneigenschaften von Elektronen im Atomverband können bildlich als so genannte Orbitale dargestellt werden; dabei bezeichnen die Quadrate der Lösungen der Schrödinger-Gleichung die Dichte der Aufenthaltswahrscheinlichkeiten der Elektronen. Durch Einführung der Haupt- und Nebenquantenzahl kann auf Energiegehalt, Ausdehnung, Zahl der Knotenflächen beziehungsweise –ebenen und Form der Orbitale eingegangen werden; viele Abbildungen von Atomorbitalen in Büchern sind irreführend und vermitteln den Schülern den Eindruck, einen Teil der Realität darzustellen. Es sollte daher unbedingt bei der Besprechung des Kurzfilms 4 auf folgende Punkte verwiesen werden:

- Die Punkte, aus denen sich die Orbitaldarstellung im Film zusammensetzen, sind nicht mit Elektronen gleichzusetzen, ihre Dichte symbolisiert die Ladungsdichte der „Elektronenwolke“ um den Atomkern.
- Die im Film angedeutete äußere Begrenzung der Atomorbitale stellt keine unüberwindliche Barriere für die Elektronen dar und ist willkürlich gewählt; ca. 90% der negativen Ladung befindet sich innerhalb der angegebenen Grenzen. Es wäre also möglich, wenn auch mit größer werdender Entfernung vom

Atomkern zunehmend unwahrscheinlicher, außerhalb dieser Begrenzung negative Ladung bzw. ein Elektron anzutreffen.

- Die dargestellten Orbitalformen ergeben sich direkt aus der Schrödinger-Gleichung; insbesondere die p-Orbitale werden in Büchern oft als wesentlich zu schlanke „Hanteln“ dargestellt.
- Um die Form der Knotenfläche deutlich zu machen, wurde das animierte 2s-Orbital angeschnitten und erscheint dann halbkugelförmig; auf diese Weise lässt sich der innere Aufbau des Atomorbitals sehr gut sichtbar machen. Im Film wird auf die Magnetquantenzahl nicht eingegangen, weil ihre Zuordnung zu Orbitalen nicht ganz einfach darstellbar ist. So gibt es zur Nebenquantenzahl $l=1$ zwar drei Werte für die Magnetquantenzahl m (-1, 0, +1) und drei Orbitale (p_x , p_y , p_z), jedoch keine Zuordnung zwischen jeweils einer Magnetquantenzahl und einem dieser p-Orbitale. Vielmehr gehören die Werte $m=-1$ und $m=+1$ gemeinsam zu p_x und p_y . Außerdem wurde darauf verzichtet, Schemata zur Elektronenbesetzung filmisch an Beispielen darzustellen. Es empfiehlt sich, im Anschluss an den vierten Film die Kästchenschreibweise nach PAULING einzuführen und auf die Regel von PAULI und die Hund'sche Regel einzugehen.

Zur Verwendung

Die modellhaften Realexperimente und die Computeranimation führen den Betrachter auf anschauliche Weise von den einfachsten Atommodellen aus der Antike bis hin zur Quantenmechanik des 20. Jahrhunderts. Daneben stellt die Orbitaltheorie auch die Grundlage für die Erarbeitung bindungstheoretischer Zusammenhänge dar. So werden Aufbau und Eigenschaften von Einfach- beziehungsweise Doppelbindung insbesondere beim Kohlenstoffatom über die Orbitaltheorie verständlich, z.B.

- die Rotationssymmetrie von Sigma-Bindungen
- das Fehlen der freien Drehbarkeit von Pi-Bindungen
- den zunehmenden Atomdurchmesser und die steigende Bindungslänge homologer Verbindungen
- die Theorie zur Hybridisierung des C-Atoms.

Will man die Gestalt von Koordinationsverbindungen den Schülern begreiflich machen, muss man auf die Form der d-Orbitale zurückgreifen.

Weitere Medien

42 01105 Atom und Molekül: Arbeitsvideo/6 Kurzfilme. VHS 24 min, f

42 01200 Das Periodensystem der Elemente. VHS 14 min, f

Literatur

Störig: Kleine Weltgeschichte der Philosophie, Fischer Taschenbuch Verlag, Frankfurt am Main 1992

Weinberg: Der Traum von der Einheit des Universums, Bertelsmann Verlag GmbH, München 1993

Produktion

FWU Institut für Film und Bild, Grünwald
Ernst Klett Verlag GmbH, Stuttgart

Trick/ Grafik / Animation

Roland F. Coulon
Hannelore Schulze
Gerald Wick

Trick

Norbert Bündinger

Buch

Monika Leuteritz-Wick
Sonja Riedel
Hannelore Schulze

Begleitkarte

Monika Leuteritz-Wick

Fachberatung

Dr. Sven Krüger, TU München

Bildnachweis

FWU Institut für Film und Bild, Grünwald
Ernst Klett Verlag GmbH, Stuttgart

Pädagogische Referentin im FWU

Sonja Riedel

Verleih durch Landes-, Kreis- und Stadtbildstellen/Medienzentren

Verkauf durch FWU Institut für Film und Bild, Grünwald

Nur Bildstellen/Medienzentren:
öV zulässig

© 1997

FWU Institut für Film und Bild
in Wissenschaft und Unterricht
gemeinnützige GmbH

Geiseltalsteig

Bavariafilmplatz 3

D-82031 Grünwald

Telefon (089) 6497-1

Telefax (089) 6497-240

E-Mail info@fwu.de

Internet <http://www.fwu.de>

Ernst Klett Verlag GmbH
Rotebühlstrasse 77
D-70178 Stuttgart
Telefon (0711) 6672-13 33
Telefax (0711) 6672-20 80
E-Mail klett-kundenservice@klett-mail.de
Internet <http://www.klett-verlag.de>