

Das Atom

Gliederung:

1. Einleitung
2. Die Bedeutung des Atoms
 - 2.1. in der Antike
 - 2.2. im Mittelalter
 - 2.3. in der Neuzeit
3. Die Aggregatzustände
 - 3.1. Feststoffe
 - 3.2. Flüssigkeiten
 - 3.3. Gase
 - 3.3.1 Die kinetische Gastheorie
 - 3.4. Plasma
4. Was ist Materie?
5. Atombausteine
 - 5.1. Elektronen
 - 5.1.1. Welle-Teilchen-Dualismus am Beispiel des Elektrons (Lorentz'sche Elektronentheorie)
 - 5.2. Protonen
 - 5.3. Neutronen
 - 5.4. Quarks
 - 5.5. Quanten
6. Die Atommodelle und ihre Entdecker
 - 6.1. Das Thomson'sche Atommodell
 - 6.1.1. zu der Person Thomsons
 - 6.1.2. Das Atommodell
 - 6.2. Das Rutherford'sche Atommodell
 - 6.2.1. zu der Person Rutherfords
 - 6.2.2. Das Atommodell
 - 6.3. Das Bohr'sche Atommodell
 - 6.3.1. zu der Person Bohrs
 - 6.3.2. Das Atommodell
 - 6.4. Das Wellenmechanische Atommodell
7. Zusammenfassung
8. Anhang

1. Einleitung

„Ich weiß jetzt, wie ein Atom aussieht!“ Dies sagte Ernest Rutherford 1911 nach einem langwierigen Arbeits- und Denkprozess, um den strukturellen Aufbau eines Atoms zu klären. Noch viele andere Wissenschaftler und auch Philosophen setzten sich mit diesem Problem auseinander. Dies passierte nicht etwa nur im 20. Jahrhundert, nein, die Geschichte der Idee des Atoms reicht bis in das antike Griechenland, wo erstmals im fünften Jahrhundert v. Chr. dieser Aufbau der Materie angenommen wurde.

Doch hauptsächlich war es das 19. und 20. Jahrhundert, wo herausragende Wissenschaftler wie Max Planck, Ernest Rutherford, Niels Bohr oder Werner Heisenberg die Grundsteine für diese weltverändernde Idee legten und auch bewiesen.

Die Atomistik ist auch stets zweigleisig gefahren, zu einem die Physik, die die gesamten Abläufe im Atom, wie Elektronenbewegung, und das Atom an sich erklärt, zum Beispiel die Teilchenbewegung im Gas. Und zum anderen gibt es noch die Chemie, die versucht Atome den Stoffen zuzuordnen und diese Stoffe einzuordnen. Deshalb war es nicht immer leicht zwischen Chemie und Physik zu differenzieren, da sich beide Wissenschaften in dieser Hinsicht stark überlagern.

Atome bestehen auch noch aus kleineren Teilchen. Diese Bestandteile, Elektron, Proton und Neutron, bestimmen die wesentlichen Merkmale des jeweiligen Atoms und werden deswegen hier auch näher betrachtet.

Um zu klären, was Materie eigentlich ist, gehe ich weiter auf die kleinsten Teilchen, die Quarks, ein und versuche im Weiteren eine Antwort darauf zu geben.

Da man Atome auch im Verbund betrachten muss, entschied ich mich die Aggregatzustände mit als Gliederungspunkte zu wählen, da ein Verbund von Atomen, auch als Moleküle, eben diesen Zustand erklären.

Ich versuche in dieser Arbeit zu klären, was ein Atom an sich eigentlich ist, wie seine innere Struktur ist und was es für eine Stellung in bestimmten Zeitabschnitten gehabt hat. Außerdem gehe ich auf die Menschen ein, die wirklich große Arbeit in diesem Feld geleistet haben und beleuchte kurz ihre Hintergründe.

Ich habe dieses Thema gewählt, weil es mich fasziniert, aus welchen kleinen Bausteinen Materie besteht und ich herausfinden wollte, wie Atome genau aufgebaut und die Abläufe in ihnen sind. Diese Forscher am Anfang des 20. Jahrhunderts haben die grundlegendsten Entdeckungen gemacht, die heute Basis unseres Wirtschaftsystems und der weiteren Forschung sind und ich somit großen Respekt vor diesen Wissenschaftlern habe...

2. Die Bedeutung des Atoms

2.1. in der Antike

In der Antike, genauer im 5. Jahrhundert v.Chr., gab es eigentlich nur zwei wichtige Personen, die die Meinung vertraten, dass Materie aus kleinsten unteilbaren Teilchen besteht, die sich im leeren Raum bewegen. Diese Beiden waren Leukipp und sein Schüler Demokrit. Sie leiteten den Begriff Atom aus dem griechischen Wort atomos, unteilbar, ab.

Im 3. Jahrhundert sagte Aristoteles noch, dass alles, was uns umgibt, aus vier Elementen besteht: Feuer, Wasser, Erde, Luft.

2.2. im Mittelalter

Während des Mittelalters hatte das Atom eine nicht so große Bedeutung, was nicht zuletzt durch die Kirche verursacht wurde. Diese war der Ansicht, dass der atomare Aufbau der Materie gottlos und heidnisch war, weil die Atomisten ein gottloses, mechanisches Universum lehrten, wenn sie behaupteten: „...dass sich die Atome im leeren Raum so bewegen, wie es der Zufall gerade will, und von selber infolge eines jeder Ordnung baren Antriebes miteinander zusammenstoßen.“(2.)

Erst im 17. Jahrhundert wurde die Idee der Atome neu aufgegriffen, aber erst mussten die Atome in den „göttlichen Plan“ aufgenommen werden. Pierre Gassendi argumentierte so: „Im folgenden müssen wir die Ansicht aufgeben, Atome würden von Ewigkeit her ziellos umherirren, und es immer noch tun. Wir können zwar zugeben, dass Atome in Bewegung sind: Sie werden bewegt durch eine treibende Kraft, die ihnen Gott bei der Schöpfung mitgegeben hat und durch die er mitwirkt, indem er bei allen Dingen so handelt, dass sie erhalten bleiben. Mit einem Schlag korrigiert das eine Fehlauffassung. Die Bewegung der Materie ist vom Schöpfer festgelegt worden.“(2.) Nun war die Lehre der Atome auch von der Kirche angenommen worden.

2.3. in der Neuzeit

Das Atom und seine Lehre fand dann erst wieder in der Neuzeit großen Anklang und viele Forscher setzten sich mit diesen kleinsten unteilbaren Teilchen auseinander um deren Geheimnis zu lüften.

Die Idee vom atomaren Aufbau der Materie wurde dann wieder erst 1808 von John Dalton aufgenommen, der grundlegende chemische und physikalische Gesetze formulierte (Gewichtsverhältnisse von Verbindungen, Druck von Gasgemischen). Louis-Victor Duc de Broglie begründete die Wellentheorie der Materie. 1897 wurde das Elektron entdeckt. Das Neutron wurde 1932 von James Chadwick entdeckt. Arnold Sommerfeld stellte eigene Theorien zu Atommodellen und zum Wasserstoffspektrum, was Bohr später weiterverwendete, auf. Die nächsten beiden waren Rutherford und Bohr, Erster von beiden entdeckte auch 1911 den Atomkern und die in ihm enthaltene positive Ladung. Beide setzten sich intensiv mit Atommodellen auseinander. Bohr erstellte schließlich aus einer Kombination des Rutherfordschen Atommodells und der Quantentheorie das heutige Schalenmodell für Atome. Aus diesem Modell entstand dann das Wellenmechanische Atommodell,

was auf dem Modell von Bohr basierte und Einarbeitungen von Heisenbergs Unschärferelation und durch die Schrödinger-Gleichung erfuhr. Max Planck war Begründer der Quantentheorie der modernen Physik und er entdeckte eine Naturkonstante, das Plancksche Wirkungsquantum.

3. Aggregatzustände

Die Anordnung der Atome und ihre Zusammenschlüsse sind dafür verantwortlich, welchen Aggregatzustand ein Stoff hat.

3.1. Feststoffe

Feststoffe sind Körper im festen Aggregatzustand. Sie besitzen ein bestimmtes Volumen und eine bestimmte Form. Die Form oder das Volumen zu ändern bedarf es großen Aufwandes, da die einzelnen Bausteine, die Atome, aber auch Moleküle oder Ionen, im festen Verbund fixiert sind und diese Anordnung auch zu halten versuchen. In der Mechanik spielt der starre Körper eine große Rolle.

Man unterscheidet kristalline und amorphe (nichtkristalline) Körper. Bei den kristallinen Festkörpern sind die Atome in einer regelmäßigen Gitterstruktur (Kristall) angeordnet. Viele physikalische Eigenschaften kristalliner Festkörper, v.a. die unterschiedliche elektrische Leitfähigkeit von Metallen, Halbleitern und Isolatoren, lassen sich nur quantentheoretisch erklären (Energiebändermodell). Amorphe Festkörper hingegen weisen eine eher statistisch regellose Anordnung der Atome bzw. Moleküle auf. Sie könnten auch als besonders zähe Flüssigkeiten aufgefasst werden.

In den amorphen Feststoffen sind die Bindungen der Atome nicht so stark und können deswegen nicht so leicht verformt werden.

Zu den besonderen physikalischen Phänomenen von Festkörpern gehören der Ferromagnetismus und die Supraleitung.

3.2. Flüssigkeiten

Materie im flüssigen Zustand wird als Flüssigkeiten bezeichnet. In diesen Stoffen liegen die Atome bzw. Moleküle zwar immer noch eng beieinander, lassen sich aber leicht voneinander trennen und gegeneinander verschieben.

Flüssigkeiten besitzen sowohl Eigenschaften von Feststoffen als auch Gasen, so passen sie sich der Form des Gefäßes an (wie Gase), verändern dabei aber unter Druck nicht ihr Volumen (wie Feststoffe). Ein charakteristisches Merkmal von Flüssigkeiten ist ihre Fähigkeit, Gefäßwände zu benetzen. Im Unterschied zu Gasen können Flüssigkeiten stabile Oberflächen annehmen. In Gefäßen bilden sie unter der

Einwirkung der Schwerkraft eine ebene Oberfläche aus, während kleine Flüssigkeitstropfen infolge der Oberflächenspannung eine Kugelform annehmen.

Man unterscheidet aufgrund ihres Fließverhaltens newtonsche und nichtnewtonsche Flüssigkeiten.

3.3.Gase

Gase sind Materie im gasförmigen Zustand, das heißt, dass die Kräfte zwischen den Molekülen so klein sind, dass sie weder eine bestimmte Form noch ein bestimmtes Volumen besitzen. Wenn die äußeren Kräfte um einen Raum konstant sind, verteilen sich alle Luftteilchen im gesamten Raum und Volumen und Dichte sind nur durch diese bestimmt. Ein in einem Raum eingeschlossenes Gas übt auf jedes im Raum vorhandene Flächenelement denselben Druck p aus. Bei gegebener Gasmenge ist der Druck umso größer, je kleiner das Volumen V und je höher die Temperatur T des Gases ist. Der thermodynamische Zustand eines Gases wird durch diese drei Zustandsgrößen festgelegt, die in den Gasgesetzen, insbesondere den Zustandsgleichungen, miteinander verknüpft sind.

Man nimmt für das ideale Gas an, dass die Gasmoleküle kugelförmig sind und zwischen ihnen keine Kräfte wirken, ausgenommen bei Zusammenstößen. Bei beliebigen Drücken und Temperaturen gilt die thermische Zustandsgleichung $pV=nRT$. In dieser allgemeinen Gleichung für Gase sind das Boyle-Marroitte-Gesetz und das Gay-Lussac-Gesetz beinhaltet.

Die meisten Gase verhalten sich auch so wie ideale Gase, es sei denn, sie besitzen eine genügend hohe Temperatur und eine genügend geringe Dichte.

3.3.1.Die kinetische Gastheorie

Die kinetische Gastheorie beschreibt das Verhalten von Gasen mit Hilfe von statistischen Methoden aus der Mechanik sowie unter Berücksichtigung quantenmechanischer Erkenntnisse.

Einzelne Gasteilchen bewegen sich laut den Gesetzmäßigkeiten, denen sie unterliegen (Boltzmann-Statistik, bei Auftreten von Quanteneffekten Fermi-Dirac-Statistik oder Bose-Einstein-Statistik) völlig ungeordnet auf geradlinigen Bahnen, die nur dadurch geändert werden können, wenn die Teilchen aneinander oder an die Gefäß- oder Raumwand stoßen. Der Gasdruck entspricht dem durch Stöße auf die Gefäßwand übertragenen Impuls, die Temperatur der kinetischen Energie der bewegten Moleküle. Berücksichtigt man den Raumbedarf der Moleküle und intermolekulare Kräfte, so lassen sich auch die Abweichungen realer Gase vom idealen Verhalten bei tieferen Temperaturen und größeren Dichten, insbesondere auch die Erscheinungen der Verflüssigung bei Temperaturen unterhalb der für jedes Gas charakteristischen kritischen Temperatur verstehen. Das Gas kondensiert, wenn die gegenseitige Anziehung der Moleküle größer wird als die Wirkung der Bewegung.

3.4. Plasma

Plasma ist ein Gemisch aus freien Elektronen, positiven Ionen und Neutralteilchen in einem Gas, die sich in ständiger Wechselwirkung mit sich selbst und Photonen befinden und daher in verschiedenen Anregungszuständen befinden. Der Plasmazustand wird auch als 4. Aggregatzustand angesehen. Ein Plasma enthält immer zu gleichen Teilen positive und negative Ladungen, diesen Zustand nennt man quasineutral. Plasmen werden durch Stoßionisation mit Elektronen oder durch Gasentladungen erzeugt und sind elektrisch gut leitfähig und diamagnetisch. Die wichtigsten Größen für ein Plasma sind Dichte, Druck, Temperatur und die mittlere freie Weglänge zwischen zwei Stößen.

4. Was ist Materie?

Schon seit über 2000 Jahren machte man sich Gedanken über die Beschaffenheit von Materie. Seit dem man weiß, dass Materie aus kleinsten unteilbaren Bausteinen, den Atomen, besteht, ist die Atomtheorie die Grundlage der modernen Physik und Chemie.

Der griechische Philosoph Aristoteles gab als einer der ersten eine Theorie dazu ab: „Alles, was uns umgibt, besteht nur aus vier Elementen: Feuer, Wasser, Erde und Luft.“ (3.) Später kam noch ein fünftes Element dazu: Äther. Es gab trotzdem weitere Überlegungen im antiken Griechenland, wo man sich überlegte, was passieren würde, wenn man Materie immer weiter teilen würde. Um 500 v. Chr. gaben Leukipp und Demokrit eine einfache Antwort auf diese doch so komplizierte Frage: „Kein Stoff ist beliebig oft teilbar - Materie setzt sich aus Bausteinen zusammen, die extrem klein und unteilbar sind! Der griechische Begriff für unteilbar lautet **atomos**. Dies blieb aber nur eine Behauptung, da es zu dieser Zeit experimentell nicht nachgewiesen werden konnte. Dennoch blieb diese Auffassung bestehen und wurde von den meisten Physikern, darunter auch Newton, angenommen.

Diese Theorie wurde erst 1808 wieder aufgegriffen und Dalton schuf eine neuzeitliche Atomtheorie, die er auf seine Beobachtungen stützte. Diese bezieht sich aber mehr auf die chemischen Eigenschaften der Atome, weshalb ich nur kurz darauf eingehen werde.

Die drei Postulate Daltons:

- Chemische Elemente bestehen aus kleinen Teilchen, deren Name Atom ist. Innerhalb eines Stoffes sind alle Atome gleich, in unterschiedlichen Stoffen gibt es unterschiedliche Atome.
- Ein Atom kann bei einer chemischen Reaktion nie zerstört oder neu gebildet werden und es kann auch nicht das Atom eines anderen Stoffes umgewandelt werden.

- Atome können sich verbinden, dadurch entstehen chemische Verbindungen(wenn es zwei oder mehr Stoffe sind), deren Atomsorten immer gleich sind und die in einem festen Mengenverhältnis miteinander verknüpft sind.

Daltons Atomtheorie gilt bis heute in der Chemie: „Atome sind die kleinsten Teile eines chemischen Elements, die noch all seine Eigenschaften tragen. Auf chemischem Wege lassen sich Atome nicht weiter teilen.“(3.) Somit belegt Dalton, dass Materie aus kleinsten unteilbaren Bausteinen besteht und diese ihre wesentlichen chemischen sowie physikalischen Eigenschaften bestimmen.

5.Atombausteine

Atome sind nicht nur leere Hüllen, die in einem Stoff entweder fest verankert oder in diesem frei herumschwirren. Nein, sie besitzen einen Kern und kleinere Bausteine. Diese Bausteine sind Elektronen, Protonen und Neutronen. Diese bestimmen wesentlich die physikalischen und chemischen Eigenschaften eines Stoffes und da man deshalb diese nicht einfach weglassen kann, will ich in den nächsten Abschnitten näher auf diese Grundbausteine der Materie eingehen.

5.1.Elektronen

Der Begriff Elektron ist aus dem Griechischen und bedeutet „Bernstein“. Es ist ein leichtes, elektrisch negatives, stabiles Elementarteilchen, was sich in Kreisbahnen in der Atomhülle um den Atomkern bewegt und das physikalische Symbol e^- hat. Sein Antiteilchen ist das positiv geladene Positron e^+ . Es ist der wichtigste Vertreter der Leptonen (Familie »leichter« Elementarteilchen mit halbzahligen Spin), da es, neben Proton und Neutron, einer der Bausteine der Materie ist. Es besitzt aber eine etwa 1837-mal kleinere Masse als ein Proton und ist Träger der negativen Elementarladung. Jedes elektrisch neutrale Atom hat so viele Elektronen in der Hülle, wie die Ordnungszahl angibt.

In Festkörpern und Molekülen werden auch Elektronen ausgetauscht, was bedeutet, dass Elektronen nicht einem bestimmten Atom zugeordnet werden können. Dieser Austausch ist auch Ursache vieler chemischer Verbindungen. Und das bedeutet auch, dass beim radioaktiven Zerfall Elektronen aus der Hülle geschleudert werden können, wodurch Betastrahlung entsteht. Speziell in Feststoffen, wie Metallen, können sich die Elektronen besonders gut in den Zwischenräumen des Kristallgitters bewegen, weshalb viele Metalle eine gute elektrische Leitfähigkeit und Wärmeleitfähigkeit besitzen. Nach der Elektronengasttheorie kann man die Leitungselektronen wie ein im Metall eingeschlossenes Elektronengas behandeln. Man kann diese Elektronen auch befreien, indem man dem Stoff Energie zuführt, die die Ionisierungsenergie (bei Atomen und Molekülen) bzw. die Austrittsarbeit (bei Metallen) übertrifft. Diese Energie kann in Form von Wärme (Glühemission), Licht- oder Röntgenstrahlen (Photoemission), Beschuss mit Elektronen (Sekundäremission) oder durch Anlegen starker Spannung (Feldemission) zugeführt werden.

Eine besondere Rolle spielen freie Elektronen in Elektronen- und Röntgenröhren, im Elektronenmikroskop und in Teilchenbeschleunigern.

5.1.1.Welle-Teilchen-Dualismus am Beispiel des Elektrons (Lorentz'sche Elektronentheorie)

Das Elektron besitzt wie alle anderen atomaren Bausteine einen Wellen-Teilchen-Dualismus, oder bloß Dualismus genannt.

Die Lorentz'sche Elektronentheorie von 1895 stellte Elektronen als kleine geladene Massepunkte dar, deren Bewegung in elektromagnetischen Feldern aus den Gesetzen der klassischen Physik abgeleitet wurde. Dieses Teilchenbild reichte für die Beschreibung vieler makroskopischer Effekte, wie zum Beispiel der der Elektronenröhre, völlig aus, versagte aber im atomaren Bereich. Bei der Wechselwirkung mit atomaren Systemen zeigen Elektronen ausgeprägte Welleneigenschaften wie Beugungs-, Brechungs- und Interferenzerscheinungen. Daher kann diesen Teilchen keine Bahn im klassischen Sinne zugeordnet werden. Man kann dieses Verhalten aber mit der Quantentheorie besser beschreiben.

5.2.Protonen

Der Begriff Proton kommt aus dem Griechischen. Das physikalische Symbol ist p und das Antiteilchen ist das Antiproton, ebenfalls mit dem Symbol p , was 1955 bei dem Beschuss von Kupfer mit hochenergetischen Protonen entdeckt wurde. Es ist ein positiv geladenes Elementarteilchen, was zusammen mit den Neutronen die Bausteine des Atomkerns bildet. Die Protonen gehören zu der Gruppe der Nukleonen, die den Baryonen (Familie schwerer Elementarteilchen mit halbzahliger Spinquantenzahl und die aus drei Quarks bestehen) zuzuordnen sind. Proton und Neutron sind zwei Zustände des Nukleons. Das Proton ist Träger der positiven Elementarladung ($e, 1,602 \cdot 10^{-19} \text{C}$). Es besitzt eine Ruhemasse von $m_p, 1,673 \cdot 10^{-27} \text{kg}$ und sein Spin ist $\frac{1}{2}$.

Ein Proton bildet den Kern des leichtesten Wasserstoffisotops mit der Massenzahl 1 und kann leicht durch Ionisation des Wasserstoffs gewonnen werden. Außerdem können freie Protonen auch durch Betazerfall und zahlreiche Kernprozesse entstehen.

Protonen bilden den wesentlichen Teil der kosmischen Strahlung.

In der Elementarteilchenphysik dienen in Beschleunigern erzeugte, nahezu auf Lichtgeschwindigkeit gebrachte (und damit sehr energiereiche) Protonenstrahlen zur Untersuchung der Eigenschaften der Kernkräfte, zur Erzeugung anderer Elementarteilchen oder für Kernreaktionen zur Herstellung künstlicher Isotope.

Man weiß durch Streuexperimente, dass Protonen eine innere Struktur besitzen. Es soll nach heute gültigen Modellen aus zwei Up- und einem Down-Quark bestehen.

Es ist auch noch unklar, ob Protonen stabil sind, nach einer großen vereinheitlichten Theorie soll es nach 10^{31} Jahren zerfallen (Protonenzerfall).

5.3. Neutronen

Der Begriff Neutron stammt ebenfalls aus dem Griechischen. Das physikalische Symbol ist n und das Antiteilchen ist das Antineutron. Sie wurden 1932 von J. Chadwick entdeckt. Neutronen gehören wie die Protonen zu der Gruppe der Baryonen und besitzen deshalb auch einen Spin von $\frac{1}{2}$. Die Ruhemasse eines Neutrons beträgt $m_n 1,675 \cdot 10^{-24} \text{g}$. Es bildet mit dem Proton zusammen die Bausteine des Atomkerns.

Neutronen sind im Atomkern stabil, als freies Teilchen radioaktiv (Betastrahler) und zerfallen mit einer Halbwertszeit von circa 10 Minuten in ein Proton, ein Elektron und ein Antineutrino ($n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e$). Ein Neutron besitzt eine unterschiedliche positive und negative Ladungsverteilung, obwohl es nach außen neutral erscheint, was man durch Streuversuche mit Elektronen und durch das magnetische Dipolmoment nachgewiesen hat.

Neutronen entstehen vor allem bei Kernspaltungen und haben bei der Umwandlung und Spaltung von Atomkernen, wie der Kettenreaktion im Kernreaktor, eine große Bedeutung.

Es wird grob zwischen schnellen und langsamen Neutronen unterschieden. Das kommt daher, dass man sie nach der kinetischen Energie, mit der Neutronen mit Materie in Wechselwirkung treten, unterscheiden kann. Bei feinerer Unterscheidung spricht man von relativistischen, schnellen, mittelschnellen und langsamen Neutronen, zu denen epithermische, thermische, kalte und ultrakalte Neutronen gehören. Von besonderer Bedeutung sind die hochenergetischen schnellen Neutronen, die bei der Kernspaltung erzeugt werden, die auch Spaltelektronen genannt werden. Neutronen sind auch die bevorzugten Geschosse bei Untersuchungen von Materiestrukturen, da sie Ladungsfreiheit aufweisen, wobei die Neutronenbeugung besonders ausgenutzt wird. Durch Bestrahlung stabiler Nuklide mit Neutronen lassen sich radioaktive Nuklide erzeugen (Neutronenaktivierung).

5.4. Quarks

Der Begriff stammt aus dem Roman „Finnegans Wake“ von J. Joyce und beschreibt den Namen schemenhafter Wesen. Der Physiker Murray Gell-Mann übernahm diesen Begriff, als er 1964 die Theorie über diese kleinsten Teilchen herausbrachte.

Sie sind die fundamentalen Bausteine der Materie, da alle Hadronen (Sammelbezeichnung für die stark wechselwirkenden Elementarteilchen, also Baryonen, Mesonen und ihre Resonanzen; zu den Hadronen zählen, auch das Proton und das Neutron) aus ihnen bestehen.

Baryonen bestehen aus je drei Quarks, Antibaryonen aus jeweils drei Antiquarks und Mesonen aus einem Quark und einem Antiquark.

Das erste Quarkmodell ging von drei Quarkarten aus (Up, Down, Strange). Heute weiß man, dass man sechs Quarks und ihre Antiquarks benötigt: Up (u), Down (d), Strange (s), Charm (c), Bottom oder Beauty (b), Top oder Truth (t).

Quarks haben den Spin $\frac{1}{2}$ und die Baryonenzahl $\frac{1}{3}$. Sie weisen drittelzahlige Elementarladungen e auf (Up, Charm und Top $+\frac{2}{3}e$, Down, Strange und Bottom $\frac{1}{3}e$), bei den entsprechenden Antiquarks ändert sich das Vorzeichen.

Die verschiedenen Quarks unterscheiden sich in ihrer Flavourquantenzahl, die für die schwache Wechselwirkung verantwortlich sind. Laut dem Quarkmodell ist „gewöhnliche“ Materie nur aus Up- und Down-Quarks aufgebaut, da nur diese in Protonen und Neutronen in den Atomkernen vorkommen. Das Proton besteht zum Beispiel aus zwei Up's und einem Down (Formel $\bar{u}ud$), beim Neutron ist ein Down mehr und ein Up weniger (Formel $\bar{u}dd$).

5.5. Quanten

Quanten sind kleinste Mengen einer physikalischen Größe. Wichtig für die Atomphysik ist die Elementarladung $e = 1,602 \cdot 10^{-19}$, die positiv in Protonen und negativ in Elektronen vorhanden ist, als kleinste übertragbare Ladungsmenge und als allgemeine Bezeichnung für Elementarteilchen, wenn ihr Verhalten als Körper und nicht als Welle im Vordergrund steht, so wie es beim Welle-Teilchen-Dualismus am Beispiel des Elektrons erklärt wurde.

Den Zugang zur Quantentheorie lieferte die 1900 von M. Planck formulierte Quantenhypothese, nach der Materie elektromagnetische Strahlungsenergie nur in endlichen Beträgen, den Quanten, emittieren und absorbieren kann.

6. 6.Die Atommodelle und ihre Entdecker

In der Geschichte gab es immer wieder Menschen, die die Dinge der Natur hinterfragten, so auch diese folgenden drei Wissenschaftler, die wesentlich zur heutigen Vorstellung des Baus eines Atoms beigetragen haben...

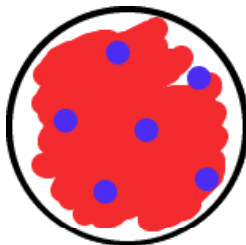
6.1.Das Thomson'sche Atommodell

6.1.1.zur Person Thomsons



Joseph John Thomson wurde am 18.12. 1856 in Cheetham Hill, was in der Nähe von Manchester liegt, geboren und starb am 30.8.1940 in Cambridge. Thomson wies nach, dass die Kathodenstrahlen Ströme freier Elektronen sind. Er entwickelte eine atomistische Struktur der Elektrizität, bestimmte die Elementarladung und das Verhältnis von Ladung und Masse für Elektronen und erhielt 1906 den Nobelpreis für Physik.

6.1.2.Das Atommodell



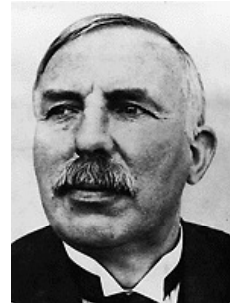
Er führte 1897 Versuche mit Kathodenstrahlen durch um deren Natur zu untersuchen und schoss deshalb diese Strahlen auf Metallplatten, da Heinrich Hertz behauptete, es handle sich dabei um Wellenstrahlung, da sie die Metallplatten durchdrangen und in einem elektrischen Feld nicht abgelenkt wurden. In seinen Versuchen konnte er den Fehler des ungenügenden Vakuums der Hertzschen Versuche feststellen. Thomson verbesserte das Vakuum und konnte dann Ablenkungen feststellen, die den Zusammenhang von Ladung und Energie ermitteln ließen. In seiner Autobiographie schrieb er dazu: "Nach langen Erwägungen schien es mir, dass aus den Versuchen die folgenden Schlussfolgerungen zu ziehen sind: Erstens, dass Atome nicht unteilbar sind, denn negativ elektrische Partikel können von ihnen weggerissen werden durch die Wirkung elektrischer Kräfte... Zweitens, dass die Partikel alle von derselben Masse sind und die gleiche Ladung negativer Elektrizität tragen, aus welcher Art von Atomen sie auch stammen, und dass sie Bestandteile aller Atome sind... Drittens, dass die Masse dieser Teilchen geringer ist, als der tausendste Teil eines Wasserstoffatoms. Ich nannte diese Teilchen zuerst Korpuskeln, aber man nennt sie jetzt mit dem besser passenden Namen Elektronen."(1.)

So kam er auf ein neues Atommodell der Neuzeit, das aus einer Hülle, Elektronen und „verschmierten“ positiven Ladungen bestand. Man nannte dieses Modell auch „Rosinenkuchenmodell“, da es so aussah.

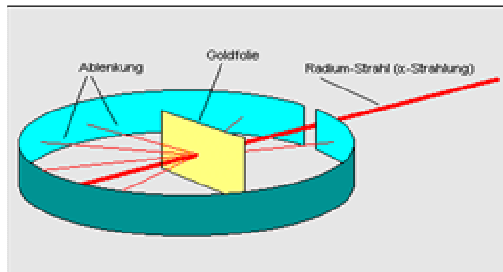
6.2. Das Rutherford'sche Atommodell

6.2.1. zur Person Rutherfords

Ernest Rutherford wurde am 30.8.1871 in Brightwater bei Nelson, Neuseeland, geboren und starb am 19.10.1937 in Cambridge. Er war Professor in Montreal und Manchester. Ab 1919 war er dies auch in Cambridge und dort Direktor des Cavendish Laboratorys. Er unterschied die beim radioaktiven Zerfall entstehende Alpha-, Beta- und Gammastrahlung, stellte mit F. Soddy 1903 eine Theorie des radioaktiven Zerfalls auf und entwickelte das nach ihm benannte Atommodell, was die Grundlage der heutigen Atomphysik ist. 1919 gelang ihm die erste künstliche Kernreaktion durch Alphateilchen-Beschuss von Stickstoff, der dabei in Sauerstoff umgewandelt wurde. 1908 erhielt er den Nobelpreis für Chemie.



6.2.2. Das Atommodell

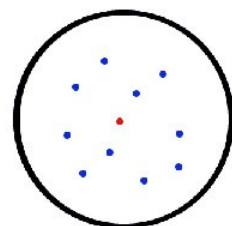


Es ist das Jahr 1911. Ernest Rutherford veröffentlicht seine Ergebnisse zu seinen Untersuchungen von Alpha-Strahlen, die ihm tiefere Einblicke in den Bau von Atomen geben sollten.

Seine Versuchsanordnung bestand aus einem Gerät, das Alpha-Strahlen schoss, 0,004 mm dicken Gold-, Silber- oder Kupferfolien, die beschossen wurden und einem Leuchtschirm um die Folie herum, der auf Alpha-Strahlen reagierte. Sein Ergebnis war, dass der Strahl die Folien fast ungehindert passieren konnte. Einige Alpha-Teilchen wurden jedoch abgelenkt, was man auf dem Leuchtschirm beobachten konnte.

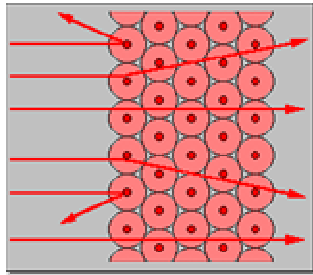
Die Interpretation dieses Sachverhalts war folgendermaßen:

- Im Mittelpunkt der Atome befindet sich ein Atomkern, dieser beherbergt 99,9% der Masse und die gesamte positive Ladung des Atoms. Der Kern besteht aus Protonen und Neutronen, die die Masse des Kerns ausmachen. Der Kern hält trotz gleicher Ladung der Protonen zusammen. Dieser Zusammenhalt wird durch die starke „Kernkraft“ vermittelt. Diese Kraft ist eine der stärksten in der Natur, noch stärker als die



elektrostatische Abstoßung der Protonen. Sie hat aber nur eine kleine Reichweite, wie zum Beispiel in einem Atomkern.

- Die Elektronen hingegen nehmen fast das gesamte Volumen des Atoms ein. Elektronen befinden sich in der Atomhülle und nicht im Kern und umkreisen diesen in schneller Bewegung. Damit das Atom insgesamt elektrisch neutral ist, muss die Zahl der negativ geladenen Elektronen mit der Zahl der positiv geladenen Protonen im Kern übereinstimmen.



Daraus lässt schließen, dass der Atomkern sehr klein sein muss. Und tatsächlich beträgt sein Durchmesser bloß 10^{-15} m. Der Durchmesser der Atomhülle beträgt hingegen 100-400 pm (10^{-12} m) und ist somit 100000mal größer als der Atomkern. Der größte Teil des Atoms ist demzufolge leerer Raum und deshalb konnten die meisten Alpha-Teilchen die Folie passieren.

6.3. Das Bohr'sche Atommodell

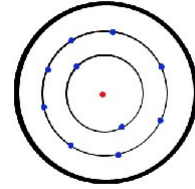
6.3.1. zur Person Bohrs



Niels Henrik David Bohr wurde am 7.10.1885 in Kopenhagen geboren und verstarb am 18.11.1962 ebenfalls in der dänischen Hauptstadt. Seit 1916 war er Professor, seit 1920 Direktor des Instituts für theoretische Physik in Kopenhagen. 1943 emigrierte er in die USA und blieb dort bis 1945. Er war einer der großen Forscher und Wegbereiter auf dem Gebiet der Atom- und Kernphysik. 1913 entwickelte Bohr, aufbauend auf den Vorstellungen von E. Rutherford über den Atombau und durch Anwendung der Quantenhypothese (die durch M. Planck 1900 und A. Einstein 1905 begründet wurde) das nach ihm benannte Atommodell, mit dem er das Wasserstoffspektrum erklären konnte. Er entwickelte 1921 das Sommerfeld-Atommodell weiter und konnte dadurch eine theoretische Erklärung zum Aufbau des Periodensystems abgeben. Nach der Aufstellung der Quantenmechanik durch W. Heisenberg 1925 und E. Schrödinger 1926 gelang es Bohr 1927 in Zusammenarbeit mit Heisenberg, die Entwicklung der Quantentheorie mit der „Kopenhagener Deutung“ vorläufig abzuschließen, wobei er zu der Überzeugung kam, dass zu einer vollständigen Beschreibung der atomaren Erscheinungen sowohl das Teilchen als auch das Wellenbild notwendig seien. Bohr führte den Begriff des Compoundkerns ein, um die Kettenreaktion durch Teilchenbeschuss zu erklären. Er entwickelte das Sandsackmodell und das Tröpfchenmodell des Atomkerns und 1939 zusammen mit J. A. Wheeler eine Theorie über die Kernspaltung des Urans. Für seine Forschungen über die Atomstruktur erhielt Bohr 1922 den Nobelpreis für Physik.

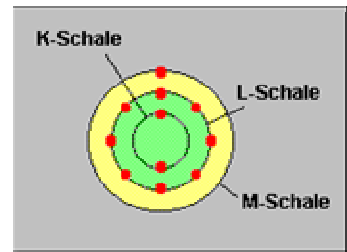
6.3.2. Das Atommodell

Zwei Jahre, nachdem Ernest Rutherford seine Theorie zum Atombau herausbrachte, also 1913, postulierte Bohr seine Theorie über den Atomaufbau, die auf der von Rutherford und Sommerfeld basierte. Niels Bohr übernahm von beiden Theorien etwas und verbesserte sie. Er setzte den Aufbau des Atoms in Analogie zum Aufbau unseres Sonnensystems, das heißt, dass sich die Elektronen in kreisförmigen Bahnen um den Kern bewegen. Er berücksichtigte in seinem Modell erstmals verschiedene Energiezustände der Elektronenbahnen (entspricht Elektronenhüllen).



Das Material für seine Theorie entstammt aus seinen Untersuchungen des Wasserstoffatoms. Daraus entstanden die Grundpfeiler dieser Theorie:

- Ein Elektron bewegt sich nur auf bestimmten diskreten Bahnen, die konzentrisch zum Kern angeordnet sind. Jede Bahn hat einen Buchstaben (K, L, M,...)
- Auf jeder Bahn hat ein Elektron, auf der es den Kern umkreist, eine bestimmte Energie. Auf der K-Schale (s. Bild) hat das Elektron die geringste Energie. Um ein Elektron von seiner Bahn auf eine andere Bahn springen zu lassen, muss man ihm Energie zuführen oder es muss welche abgeben (genauer in den nächsten beiden Anstrichen). UND: „Die Energie eines Elektrons darf keine Werte annehmen, die es auf einen Ort zwischen den erlaubten Bahnen bringen würde.“ (3.)
- Wenn sich das Elektron auf der innersten Schale befindet und die geringste Energie hat, nennt man das den Grundzustand eines Atoms. Wenn man jetzt dem Elektron Energie zuführt und es somit auf eine größere Bahn springt, nennt man dies „angeregter“ Zustand.
- Wenn das Elektron nun aber vom angeregten Zustand auf eine innere Bahn springt, wird ein definierter Energiebetrag abgegeben und in Form eines Lichtquants ausgestrahlt. Der Energiebetrag entspricht dabei der Differenz des höheren Energiezustands zum niederen.



Bohr berechnete die Energieniveaus so, indem er annahm, dass die Bahn des Elektrons kreisförmig ist und dass das Drehmoment ein ganzzahliges Vielfaches von $h/2\pi$ ist und benutzte die Formel:

$$m_e v r = n h / 2 \pi$$

Diese Theorie gilt aber nur wesentlich für Wasserstoffatome und deren Verhalten bei Energiezufuhr. Um diese Theorie zu vereinheitlichen wurde das Wellenmechanische Atommodell entwickelt.

6.4. Das Wellenmechanische Atommodell

Das Bohr'sche Atommodell und seine Erweiterungen ist, wie oben bereits erwähnt, im wesentlichen nur auf den Zustand des Wasserstoffatoms zu übertragen und ist somit für komplizierter gebaute Atome nur bedingt tauglich. Deshalb ließ man die Größen Elektronenbahn, Elektronenort und Bahngeschwindigkeit einfach weg.

Dies entdeckte der Physiker Werner von Heisenberg 1927, dass man unmöglich gleichzeitig Ort und Impuls eines Quants, also auch eines Elektrons bestimmen kann. Diese Theorie nennt man Unschärferelation, da der Zustand eines Quants immer unscharf ist, da nur eine Größe genau bekannt sein kann. Die auf dieser Unschärferelation basierende Quantenmechanik ermöglicht es, die Verhältnisse in der Elektronenhülle im Prinzip exakt zu berechnen. Dabei entstehen aber Resultate, die nicht anschaulich sind und nur noch in abstrakten Vektorenräumen vorkommen und somit erst wieder interpretiert werden müssen.

Diese Atommodelle der Quantenmechanik werden erst mit den Methoden der Wellenmechanik berechnet (Welle-Teilchen-Dualismus). Im sogenannten Schrödinger-Atommodell, oder auch wellenmechanischen Atommodell geht man davon aus, dass einem Elektron mit dem Impuls $p=m \cdot v$ eine Materiewelle mit der Wellenlänge $\lambda=h/p$ zugeordnet ist. Im Feld eines Atomkerns sind solche stehenden Elektronenwellen nur ganz bestimmte Schwingungszustände möglich, die bestimmten diskreten Energiestufen entsprechen. Folglich kann ein Elektron bzw. eine Elektronenhülle je nach Energiegehalt verschiedene geometrische Formen annehmen.

Das Verhalten von dreidimensionalen stehenden Elektronenwellen kann durch eine Gleichung, die von Schrödinger 1926 entwickelt wurde, beschrieben werden. Diese Differentialgleichung verbindet die sogenannte Wellenfunktion des Elektrons mit seiner Energie und den Raumkoordinaten. Es können laut dieser Funktion jetzt Wahrscheinlichkeitsaussagen über bestimmte Größen des Elektrons gemacht werden. Wenn man die Schrödinger-Gleichung auf das Elektron des Wasserstoffatoms anwendet, ergibt sich für dieses ein kugelförmiges Gebilde, dessen Dichte von innen nach außen abnimmt und keine Knotenflächen besitzt. Nach dieser Gleichung umschließt also das Elektron den Kern als kugelförmiges Gebilde. Diese Elektronenkugel ist aber nicht gleichmäßig mit Masse und Ladung gefüllt, sie ist eher eine Wolke, deren Dichte von innen nach außen abnimmt, bis sie schließlich nicht mehr zu bemerken ist. Man spricht deshalb auch von einer Elektronen- oder Ladungswolke.

7. Zusammenfassung

Ich wählte dieses Thema, da ich mich sehr für Physik interessiere und ich das Buch „Sternstunden der Physik“ gelesen habe. Die Kurzbiografien zu Ernest Rutherford und Niels Bohr faszinierten mich so sehr, dass ich mehr über dieses spannende Thema „Atom“ in Erfahrung bringen wollte. Um dies zu verwirklichen, habe ich mich entschlossen, diese Arbeit zu schreiben.

Es war bloß etwas schwer, zwischen Chemie und Physik zu differenzieren, da beide Wissenschaften so nah beieinander liegen, dass es manchmal nicht gelingt, diese zu trennen.

8. Anhang

Quellen:

1. http://ac16.uni-paderborn.de/lehveranstaltungen/_aac/vorles/skript/kap_2/kap2_4/thomson.html
2. <http://www.paul-natorp-oberschule.de/faecher/physik/physiker/atom2.html>
3. <http://www.uniterra.de/rutherford/kap000.htm>
4. <http://www.roro-seiten.de/physik/atome/>
5. http://www.tf.uni-kiel.de/matwis/amat/mw1_ge/kap_2/backbone/r2_1_2.html
6. <http://home.t-online.de/home/martin.bradtke/atom.htm>
7. <http://chimge.unil.ch/de/lc/iLC8.htm>
8. Sternstunden der Physik (von Galilei bis Heisenberg)
– Thomas Bürke – beck'sche Reihe – limitierte Sonderausgabe 2003
9. Brockhaus 2001
10. Bertelsmann Universal Lexikon 2003

Bilder:

- Zu den Personen Thomson, Rutherford und Bohr: Brockhaus 2001
- Atommodelle: Selbst erstellt
- Sonstige: <http://www.uniterra.de/rutherford/kap000.htm>