

Referentin: Laura Klaus
Dozent: Dr. Thomas Wilhelm
Datum: 02.Dezember 2009

Staatsexamen Physikdidaktik (Unterrichtsfach)

Frühjahr 2003 (Thema 2)

Teilchenmodelle

- 1. Beschreiben Sie ein Teilchenmodell, das Sie im Physikunterricht Ihrer Schulart zur Erklärung der verschiedenen Aggregatzustände verwenden können!**

Voraussetzungen zur Erklärung des Teilchenmodells

Beim Teilchenmodell handelt es sich um das einfachste Modell, um den Aufbau der Materie zu erklären. Mit ihm wird deutlich gemacht, dass jeder Stoff aus unvorstellbar vielen kleinsten Teilchen (Atome oder aus Atomen aufgebaute Moleküle) besteht, die einzeln nicht sichtbar sind. Beim Einstieg in das Teilchenmodell muss deutlich gemacht werden, dass sich zwischen den Teilchen nichts befindet, d.h. Vakuum. Hier gibt es bei vielen Schülern oft Fehlvorstellungen, da die Schüler davon ausgehen, dass sich zwischen den Teilchen eines Stoffes entweder derselbe Stoff in kontinuierlicher Form oder Luft befindet.

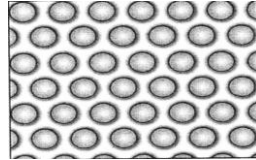
Die Teilchen bestehen aus reinen Stoffen und sind somit untereinander alle vollkommen gleich. Sie können jedoch durch ihre Masse oder ihr Volumen von anderen Teilchen abgegrenzt werden. Über die genaue Form der Teilchen kann jedoch nichts gesagt werden. Für die Modellvorstellung werden die Teilchen meist als Kugeln dargestellt.

Weiterhin ist zu sagen, dass sich die Teilchen stets in einer mehr oder weniger starken unregelmäßigen Eigenbewegung (thermische Bewegung) befinden. Diese Bewegung ist temperaturabhängig. Je höher die Temperatur eines Stoffes ist, desto schneller bewegen sich die Teilchen. Mit fallender Temperatur nimmt die Bewegung ab, bei gleichbleibender Temperatur bleibt die durchschnittliche Geschwindigkeit der Teilchen erhalten.

Mit diesen Grundlagen des Teilchenmodells können nun die drei Aggregatzustände fest, flüssig und gasförmig erklärt werden. Die Teilchen sind hier die Bausteine von Festkörpern, Flüssigkeiten und Gasen, wobei diese Stoffe immer aus denselben Teilchen bestehen (Eis, Wasser und Wasserdampf bestehen aus Wasserteilchen). Die

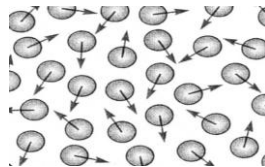
drei Zustände sind nur durch die Bindung der Teilchen untereinander unterscheidbar, wobei die Art der Bindung wiederum von der Temperatur abhängt. Zwischen den Teilchen herrschen bestimmte Kräfte, sowohl Anziehungs- als auch Abstoßungskräfte, welche stark vom Abstand der Teilchen abhängen. Je näher sich die Teilchen zueinander befinden, umso stärker sind die Anziehungskräfte.

Festkörper



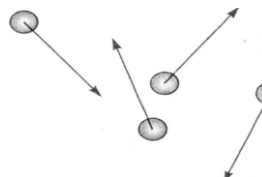
Bei Festkörpern sind die Teilchen so dicht aneinander, dass keine Bewegung möglich ist. Außerdem haben die Teilchen nur sehr geringe Abstände zueinander und sind regelmäßig angeordnet. Durch den minimalen Abstand ziehen sich die Teilchen gegenseitig stark an. Es wirken also große Kohäsionskräfte, durch die die Teilchen an einen festen Ort gebunden sind, d.h. sie besitzen feste Plätze und lassen sich nur schwer voneinander trennen. Die Teilchen sind also ortsfest und gitterförmig angeordnet und schwingen nur um ihren festen Ort, den sie nicht verlassen können. Dabei nehmen sie eine Gleichgewichtslage ein, d.h. die anziehenden und abstoßenden Kräfte befinden sich im Gleichgewicht. Je höher die Temperatur ist, desto heftiger schwingen die Teilchen an ihrem Ort.

Flüssigkeiten



Bei Flüssigkeiten haben die Teilchen einen etwas größeren Abstand als bei Festkörpern. Dadurch verringern sich die Anziehungskräfte zwischen den Teilchen, d.h. sie sind leichter voneinander zu trennen. Außerdem befinden sich die Teilchen in Flüssigkeiten nicht an ortsfesten Plätzen und sie sind gegeneinander verschiebbar, da sie mit anderen Teilchen zusammenstoßen. Sie besitzen also eine variierende Gleichgewichtslage, d.h. sie haben die Möglichkeit ihren Platz zu wechseln. Je höher die Temperatur ist, umso stärker bewegen sich die Teilchen.

Gase



Bei Gasen sind die Teilchen weit voneinander entfernt. Sie können sich frei und regellos hin und her bewegen, denn sie besitzen nur sehr geringe Anziehungskräfte. Die Kräfte treten nämlich bei Gasen nur beim Zusammenstoßen der Teilchen

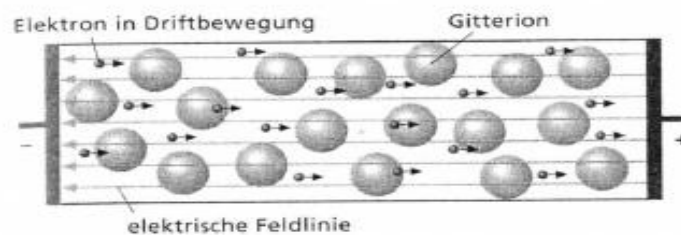
miteinander oder mit der Gefäßwand auf. Je höher die Temperatur dabei ist, umso schneller bewegen sich die Teilchen.

2. In der Physik werden Modelle immer wieder erweitert oder neue Modelle entwickelt, um Phänomene erklären zu können.

Beschreiben Sie jeweils ein möglichst einfaches Teilchenmodell, das die Erklärung folgender Phänomene erlaubt:

- elektrische Leitung in Metallen
- Entstehung von Spektrallinien
- radioaktiver Zerfall

Modell für die elektrische Leitung in Metallen (Modell des Elektronengases)



Metalle gehören zu den leitenden Materialien, in denen Strom fließen kann. Sie setzen sich aus Atomen zusammen, die in einer regelmäßigen Struktur, dem sogenannten **Metallgitter** angeordnet sind. Metallatome können ein, zwei oder drei Außenelektronen besitzen, welche lose an den Atomkern gebunden sind. Sobald die Metallatome ihre Außenelektronen abgeben, bilden die positiv geladenen **Atomrümpfe** (Gitterionen) ein Metallgitter. Dabei stoßen sich die Gitterionen trotz gleicher Ladung nicht ab, da sich zwischen ihnen die abgegebenen negativ geladenen Elektronen befinden. Diese Elektronen bewegen sich frei und ungeordnet (thermische Bewegung) zwischen den positiv geladenen Gitterionen (Atomrümpfen) und bilden in Metallen das sogenannte **Elektronengas**. Durch die thermische Bewegung schwingen die Gitterionen um ihre Gitterplätze.

Wird ein metallischer Leiter nun zwischen den Minuspol und den Pluspol einer Elektrizitätsquelle geschaltet, so wird die ungeordnete thermische Bewegung der freien Elektronen im Metallgitter aufgrund des elektrischen Feldes in eine gerichtete Bewegung gezwungen. Die **Leitungselektronen** wandern dann vom Minuspol der Elektrizitätsquelle zum Pluspol (**Elektronenstromrichtung**). Dabei werden sie jedoch stets von den positiven Gitterionen in ihrer Bewegung beeinflusst, d.h. sie bewegen sich in einem Zick-Zack-Kurs durch den metallischen Leiter. Diese Bewegung nennt man **Driftbewegung** der Leitungselektronen.

Bei dieser Driftbewegung kommt es zu einer Wechselwirkung der Leitungselektronen mit den um ihre Gitterplätze schwingenden Atomrümpfen. Dadurch wird ein Teil der kinetischen Energie, welche die Elektronen im elektrischen Feld erhalten haben, auf die Atomrümpfe übertragen. Dabei werden die Elektronen bei jedem Stoß abgebremst und anschließend im elektrischen Feld wieder beschleunigt. Dadurch wird die

Driftbewegung der Elektronen behindert, d.h. der Stromfluss wird behindert, wodurch sich der elektrische Widerstand ergibt.

Es gilt dabei stets: Je wärmer das Metall ist, desto mehr schwingen die Atomrümpfe, desto mehr Stöße gibt es und desto größer wird der Widerstand.

Modell für die Entstehung von Spektrallinien

Die Entstehung von Spektrallinien lässt sich mit dem Bohrschen Atommodell erklären. Demnach kreist ein Elektron auf bestimmten, stabilen Bahnen (Quantenbahnen) um den Atomkern, ohne dabei Energie zu verlieren (Planetenmodell). Dabei sind nur bestimmte Drehimpulse erlaubt. Durch die Zentripetalkraft wird das Elektron auf die Kreisbahn gezwungen. Auf den jeweiligen Quantenbahnen befindet sich das Elektron jeweils in einem anderen Energiezustand. Auf der 1. Quantenbahn ($n=1$) hat es den niedrigsten, aber stabilsten Energiezustand. Je größer die Quantenzahl n ist, desto höher ist der Energiezustand des Elektrons. Die Energie des Elektrons setzt sich dabei aus der Summe aus kinetischer und potentieller Energie ($E=E_{\text{kin}}+E_{\text{pot}}$) zusammen.

Auf die Quantenbahnen höherer Energie kommt das Elektron, wenn dem Atom in geeigneter Weise Energie zugeführt wird (Anregungsenergie). Dabei wird ein Photon (Licht) absorbiert. Fällt das Elektron, das sich auf einer Quantenbahn höherer Energie befindet, spontan auf eine niedrigere Quantenbahn zurück, so wird das Photon wieder emittiert. Die Flugbahnen sind für jedes Element anders, deshalb unterscheiden sich absorbierte und emittierte Lichtlinien für jedes Element.

Alternativlösung

Jedem Elektron in der Atomhülle wird eine bestimmte Energie ($E_{\text{kin}}+E_{\text{pot}}$) ($E_0, E_1, \dots$) zugeordnet. $E_0, E_1, \dots$ werden auch Energieniveaus genannt. In jedem Atom gibt es mehrere Energieniveaus. Dabei sind die Energieniveaus für alle Atome eines Elements gleich. Sie unterscheiden sich aber für die Atome verschiedener Elemente.

Springt ein Elektron von einem höheren auf ein niedrigeres Energieniveau, so verringert sich seine Energie um den Betrag ΔE . Erhält ein Elektron dagegen durch Energiezufuhr von außen ein höheres Energieniveau, so vergrößert sich seine Energie um den Betrag ΔE .

Dabei nennt man diese Energieportionen, die in der Atomhülle beim Übergang eines Elektrons von einem Energieniveau zu einem anderen abgegeben oder aufgenommen werden, Lichtquanten oder **Photonen**. Wir nehmen diese Photonen beim Auftreffen auf die Netzhaut als Licht wahr. Jeder Energie ΔE eines Photons entspricht einer bestimmten Farbe.

Modell des radioaktiven Zerfalls

Man unterscheidet in der Atomphysik zwischen Elementen mit einem stabilen Kern (Protonen und Neutronen halten den Atomkerne fest zusammen) und einem instabilen Kern. Elemente die einen instabilen Kern haben, besitzen in der Regel sehr viele

positive Ladungsträger. Durch die Instabilität des Kerns wird der radioaktive Zerfall vollzogen. Dabei wandelt sich der Atomkern eines Elements unter Emission von Teilchen (z.B. Photonen, Elektronen oder Neutronen) in den Kern eines anderen Elements um. Man unterscheidet zwischen dem α -Zerfall, dem β -Zerfall und der γ -Strahlung.

Beim α -Zerfall wird ein α -Teilchen aus je zwei Protonen und Neutronen vom Atomkern abgestrahlt. Dabei nimmt die Massenzahl des Kerns um vier ab, seine Kernladungszahl um zwei. Das beim Zerfall neu entstandene Folgenuklid hat zunächst zwei Hüllenelektronen zu viel, da im Kern die zwei positiven Ladungen des emittierten α -Teilchens fehlen. Das Aussenden des α -Teilchens führt zu einem Rückstoß, wobei einige Hüllenelektronen durch Wechselwirkung mit Nachbaratomen aus der Atomhülle herausgelöst werden. Aus der Umgebung werden dann so viele Elektronen aufgenommen, dass die Gesamtzahl der Hüllenelektronen wieder der Kernladungszahl entspricht und ein neutrales Atom vorliegt.

Beim β -Zerfall wird vom Atomkern ein β -Teilchen abgestrahlt, das zuvor im Atomkern entstanden ist. Dabei hat sich ein Neutron in ein Proton und ein Elektron umgewandelt. Das neue Elektron verlässt das Atom, das Proton bleibt im Kern. Die Massenzahl des Atoms ändert sich also nicht, jedoch nimmt die Kernladungszahl um eins zu. Da das Folgenuklid beim β -Zerfall eine positive Ladung im Kern mehr besitzt, muss aus der Umgebung ein Elektron in der Hülle eingebaut werden, um den neutralen Zustand des Atoms zu erreichen.

Bei der γ -Strahlung findet keine Kernumwandlung statt. Sie entsteht im Kern radioaktiver Atome und ist meist nur eine Begleiterscheinung der Aussendung von α -Teilchen oder β -Teilchen.

3. Skizzieren Sie eine Unterrichtseinheit zum Thema „Kernspaltung“! Berücksichtigen Sie dabei insbesondere Lernvoraussetzungen, Lernziele und eingesetzte Medien! Formulieren Sie schülergerecht wesentliche Lernergebnisse!

Lernvoraussetzungen

- Die Schüler wissen, wie ein Atom (Kern-Hülle-Modell) aufgebaut ist. Insbesondere müssen sie dabei wissen, dass ein Atomkern aus positiv geladenen Protonen und ungeladenen Neutronen besteht.
- Die Schüler wissen, dass sich gleichnamig geladene Teilchen abstoßen.
- Die Schüler können anhand der Massenzahl und der Ordnungszahl die Anzahl der Protonen und Neutronen im Kern bestimmen.
- Den Schüler ist bekannt, dass es verschiedene Isotope von ein und demselben Element gibt (gleiche Kernladungszahl, verschiedene Neutronenzahl).
- Die Schüler kennen den radioaktiven Zerfall und die damit verbundene Kernumwandlung.

Lernziele

Grobziel

Die Schüler sollen lernen, wie ein Atomkern gespalten werden kann.

Feinziele

- Die Schüler lernen die zwischen den Nukleonen wirkenden Kräfte kennen.
- Die Schüler sollen die spontane und die induzierte Kernspaltung kennenlernen.
- Die Schüler sollen lernen, dass die Kernladungszahl und die Massenzahl bei der Kernspaltung erhalten bleiben.
- Die Schüler sollen erkennen, dass bei der Kernspaltung gewaltige Energien frei werden.
- Die Schüler sollen zwischen einer kontrollierten und einer unkontrollierten Kettenreaktion unterscheiden können.
- Die Schüler sollen Nutzen (Kernkraftwerk) und Gefahren (Atombombe) der Kernspaltung erfahren.

Unterrichtsverlauf

1. Einstieg

Zum Einstieg in dieses Thema kann z.B. ein Foto oder Zeitungsartikel von den Ereignissen in Hiroshima und Nagasaki gezeigt werden. Die Schüler kennen diese Vorfälle meist schon aus dem Geschichtsunterricht. So kann das bereits vorhandene Wissen in einer Art Brainstorming gesammelt werden und die Überleitung auf die Kernspaltung erfolgen.

Alternativ könnte man auch ein Foto von einer Großstadt zeigen, die nachts hell beleuchtet ist. Nun kann die Frage an die Schüler gestellt werden, wie es möglich ist soviel Energie zu erzeugen.

2. Erarbeitung

Die Schüler erarbeiten sich zunächst in Partnerarbeit anhand der Entdeckung der Kernspaltung durch Otto Hahn und Fritz Straßmann erste Grundlagen der Kernspaltung (Beschuss des Kerns mit Neutron, usw.). Dazu erhält jede Gruppe einen Auszug aus der Geschichte der Kernspaltung. Im nachfolgenden Lehrer-Schüler-Gespräch werden die Erkenntnisse der Schüler aus dem Text zusammengetragen.

Kräfte zwischen den Nukleonen

Die Schüler sollen im Lehrer-Schüler-Gespräch erkennen, dass sich in den meisten Atomkernen zwei oder mehr Protonen befinden. Dazu kann eine Folie mit Atomkernen verschiedener Elemente aufgelegt werden, woran die Schüler die Protonenzahl jedes Kerns ablesen können.

Danach wird wiederholt, dass Protonen positiv geladen sind und sich gleichnamig geladene Ladungen abstoßen. Anhand dieser Tatsache sollen die Schüler folgern, dass der Kern auseinander fallen würde, wenn nur abstoßende Kräfte zwischen den Protonen wirken würden. Da sich im Kern jedoch nicht nur Protonen, sondern auch Neutronen befinden, werden die Kernbausteine zusammengehalten. Somit wirken zwischen allen Nukleonen anziehende Kernkräfte, d.h. zwischen zwei Protonen oder zwei Neutronen sowie zwischen einem Proton und einem Neutron.

Arten der Kernspaltung

Als nächstes lernen die Schüler den genauen Hergang bei der Kernspaltung kennen. Anhand eines Modellversuchs werden die Vorgänge bei der Kernspaltung durch den Lehrer deutlich gemacht. Die Schüler sollen danach ihre Beobachtungen beschreiben.

Versuch:

Zwei Magneten dienen als Teile eines Atomkerns. Werden die Magneten nah aneinander gebracht, so stoßen sich die Magneten gegenseitig ab. Diese abstoßenden Kräfte werden mit Hilfe eines Klebebands zwischen den Magneten überwunden. In der Anordnung der Magneten ist Energie gespeichert. Schneidet man nun das Klebeband auseinander, so bewegen sich die Magneten voneinander weg. Dabei wird die gespeicherte Energie in Bewegungsenergie umgewandelt.

Nun erfolgt die Überleitung zur Kernspaltung durch den Lehrer. In einem Atomkern wirken zwischen den Kernbausteinen anziehende Kräfte (s.o.). Außerdem ist Energie im Kern gespeichert, die sogenannte Kernenergie. Nun wird auf den Kern ein langsames Neutron geschossen, das in den Kern eindringt (Durchschneiden der Magnete). Der Kern wird also instabil und zerbricht in zwei Teile. Dabei werden zwei oder drei Neutronen freigesetzt. Es wirken also nur noch die abstoßenden Kräfte zwischen den beiden Kernbruchstücken, so dass sie sich mit hoher Geschwindigkeit auseinander bewegen. Der Atomkern zerfällt in zwei etwa gleich große Teile. Die Kernenergie wird in kinetische Energie der Bruchstücke umgewandelt.

Ein Atomkern kann auch ohne den Beschuss von Neutronen spontan zerfallen. Bei der Kernspaltung bleiben die Kernladungszahl und die Massenzahl trotz des Zerfalls erhalten.

Nun wird erläutert, dass bei der Kernspaltung große Energiemengen frei werden. Die Kerntümer stoßen bei der Kernspaltung mit ihren Nachbaratomen zusammen. Dadurch führen diese heftige thermische Bewegungen aus und stoßen andere Atome an, die wiederum andere anstoßen,... Schließlich verteilt sich die Bewegungsenergie auf alle Atome eines Körpers, wodurch sich der Körper erwärmt.

Arten der Kettenreaktionen

Die Schüler lernen nun die Arten der Kettenreaktionen kennen. Zur Motivation kann ein Video des Experiments mit den Mausefallen und den Tischtennisbällen gezeigt werden. Die Schüler sollen ihre Beobachtungen beschreiben und überlegen, wie dieser Versuch mit der Kernspaltung zusammenhängt. Danach erklärt der Lehrer die Vorgänge bei einer solchen Kettenreaktion.

Durch die Freisetzung von zwei oder mehreren Neutronen bei der Kernspaltung, können unter Umständen weitere Kerne gespalten werden. Dabei werden wieder neue Neutronen frei, usw. Es vollzieht sich also eine Kettenreaktion.

Bei der **unkontrollierten Kettenreaktion** findet ein lawinenartiger Anstieg der Anzahl der Kernspaltungen pro Sekunde statt. Dabei werden explosionsartig gewaltige Energien frei. Solch eine Kettenreaktion wurde beim Bau der Atombombe ausgenutzt. Hier kann auf den Einstieg zurückgegriffen werden.

Bei der **kontrollierten Kettenreaktion** bleibt die Anzahl der Kernspaltungen, die pro Sekunde stattfinden, über einen längeren Zeitraum konstant. Für diese Art der Kettenreaktion soll nur eines der freigesetzten Neutronen eine Kernspaltung auslösen. Dies kann durch zwei Maßnahmen erreicht werden: **Absorbieren** der überzähligen Neutronen und **Abbremsen** der Neutronen durch einen Moderator (z.B. Wasser). Eine solche Kettenreaktion wird in einem Kernkraftwerk ausgenutzt.

Auch hier kann zur Veranschaulichung ein Experiment gezeigt werden. Dazu werden mehrere Dominosteine aufrecht hintereinander gestellt und der erste Stein angestoßen, so dass die Steine nacheinander umfallen.

3. Sicherung

Als letztes werden alle Erkenntnisse über die Kernspaltung schülergerecht durch ein Arbeitsblatt in Form eines Lückentextes festgehalten.

- Ein Atomkern kann durch den eines langsamen in zwei Teile gespalten werden. Dabei werden zwei oder drei Neutronen freigesetzt.
- Durch die Kernspaltung werden große freigesetzt.
- Kernspaltungen können sich selbstständig fortsetzen, d.h. sie vollziehen eine Man unterscheidet zwischen und Kettenreaktionen.
- Unkontrollierte Kettenreaktionen wurden zum Bau der verwendet, kontrollierte Kettenreaktionen werden in genutzt.

In einer weiteren Unterrichtseinheit kann die Kernspaltung anhand des Aufbaus eines Kernkraftwerks vertieft werden.