

4) Quantenphysik

Die Quantenphysik hat den Namen von dem Planck'schen Wirkungsquantum $h=6,63 \cdot 10^{-34}$ Js, das aus den Gesetzen des schwarzen Strahlers gewonnen wurde. Energie kann nicht beliebig abgegeben oder aufgenommen werden, sondern nur in Vielfachen von $E=h \cdot f$. Diese kleinste Menge an Energie heißt Quant(um).

| | |
|---|---|
| <p>Photonenhypothese</p> | <p>Der Photoeffekt behandelt das Freisetzen elektrisch geladener Teilchen aus einem Material, wenn dieses von elektromagnetischer Strahlung (etwa Licht oder Ultraviolettstrahlung) getroffen wird. Dieser Effekt wurde 1886 von Heinrich Hertz erstmals .Unoxidierte Metalle geben im negativ aufgeladenen Zustand Elektronen ab, wenn ihre Oberfläche durch Licht bestrahlt wird. Die von den Elektronen aufgenommene kinetische Energie hängt von der Frequenz (und damit von der Farbe) des bestrahlenden Lichtes ab und nicht von dessen Intensität. Dies stand im Gegensatz zur klassischen Physik, die dies nicht erklären konnte, da nach allem, was man damals wusste, die Energie einer Welle von deren Amplitude und nicht von der Frequenz abhängig ist.</p> |
| <p>Scheitern der klassischen Physik</p> | <p>tät. Dies stand im Gegensatz zur klassischen Physik, die dies nicht erklären konnte, da nach allem, was man damals wusste, die Energie einer Welle von deren Amplitude und nicht von der Frequenz abhängig ist.</p> |
| <p>Photonenkonzept</p> | <p>Albert Einstein zeigte 1905, dass eine Beschreibung des Lichts durch Lichtquanten, heute Photonen genannt, den Effekt gut erklären kann. Insofern gilt der fotoelektrische Effekt als eines der Schlüsselexperimente zur Begründung der Quantenphysik, da er den Versuch aufgrund der Lichtquantenhypothese erklärte. Einstein wurde 1921 für diese Arbeit mit dem Nobelpreis für Physik ausgezeichnet.</p> |
| <p>Plancksche Gleichung</p> | <p>Die Energie E elektromagnetischer Strahlung einer gegebenen Frequenz f kann nur in bestimmten Portionen absorbiert und emittiert werden. Die Energie einer Strahlung kann sich also nur um den folgenden Betrag ändern (= Energie eines Photons)</p> |
| <p>Energie und Impuls der Photonen</p> | <p>$E = h \cdot f$ Der Impuls p eines Photons beträgt damit</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;"> $p = \frac{h}{\lambda} \text{ mit } h=6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$ </div> |
| <p>Comptoneffekt Streuung von Röntgenstrahlen an Kristallen</p> | <p>Damit kann man auch den Strahlungsdruck in Sternen erklären.</p> <p>Als Compton-Effekt bezeichnet man die Verminderung der Frequenz von Photonen bei der Streuung an (quasi-) freien Elektronen um einen Wert Δf (die Energie $E=h \cdot f$ sinkt um $\Delta E=h \cdot \Delta f$). Bei der Streuung von Röntgenstrahlen an einem Graphitblock entdeckte man, dass die Frequenz der gestreuten Röntgenstrahlen niedriger wurde. Daher vermutete man, dass die Energie an die nahezu freien Elektronen im Körper abgegeben wurde, die dann schneller dahinzischen konnten.</p> |
| <p>Berechnung der Comptonwellenlänge aus dem Teilchenkonzept der Strahlung</p> | <p>Die Comptonwellenlänge der gestreuten Strahlung lässt sich berechnen, wenn man annimmt, dass das Licht aus Photonen-Teilchen besteht, die Energie und Impuls haben und in ein Billardspiel mit den Elektronen eintreten. Energie- und Impulserhaltungssatz genügen, um dann die neue Wellenlänge zu berechnen.</p> |

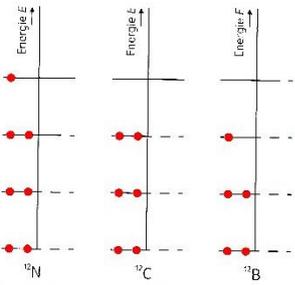
| | |
|---|--|
| <p>Lichtteilchen und Lichtwellen</p> | <p>Licht verhält sich in einem Experiment wie eine Welle (Reflexion, Brechung, Beugung, Dispersion) und in einem anderen Experiment wie ein Teilchen (eine Fotografie mit wenig Licht wird pixelig). Das ist der sogenannte Welle-Teilchen-Dualismus. Das hat die Physiker am Anfang so geärgert, dass einer gesagt hat: „<i>Am Montag, Mittwoch Freitag ist das Licht ein Teilchen. Am Dienstag, Donnerstag und Samstag eine Welle und am Sonntag ruht es</i>“ Heute hat sich die Sichtweise geändert auf: Es ist weder Teilchen noch Welle, sondern ein Quantenobjekt, das mit einer Theorie der Quantenelektrodynamik beschrieben werden kann. Das ist für den Alltag der Menschen jedoch nicht direkt zugänglich. Bei der Beugung der Lichtwelle am Spalt entsteht ein Streifenmuster. Die Streifen bestehen aus kleinen Pünktchen der Photonen, die dort dichter werden, wo das Quadrat der Amplitude der zugeordneten Welle am größten ist. → Born'sche Deutung I: Das Quadrat der Amplitude einer Lichtwelle ist der Wahrscheinlichkeit proportional, Photonen in einem bestimmten Raumbereich anzutreffen.</p> |
| <p>Materiewellen: de Broglie Beziehung</p> | <p>Im Jahre 1923 stellte der französische Physiker Louis de Broglie die Hypothese auf, dass Elektronen auch Welleneigenschaften zeigen mit einer Wellenlänge von</p> $\lambda = \frac{h}{\sqrt{2m_0E}}$ <p>mit $m_0 = 9,1 \cdot 10^{-31}$ kg Elektronenmasse ($h = 6,6 \cdot 10^{-34}$ Js) und einer kinetischen Energie E. Teilchenbeugung entsteht wenn ein Elektronenstrahl durch einen engen Spalt von Atomen in einem Nickelkristall geschickt werden . Die Ablenkung ist dann $\sin \varphi = n\lambda/d$ → $\lambda = 0,165$ nm für $n = 1$ und $d = 0,2$ nm und $\varphi = 50^\circ$ wenn eine Spannung von 54 Volt angelegt wird</p> |
| <p>Doppelspaltversuch mit klassischen Teilchen und mit Wellen</p> <p>Konsequenzen für die Natur der Elektronen</p> | <p>Beim Doppelspaltexperiment lässt man kohärentes Licht auf eine Blende mit zwei schmalen Schlitzen fallen. Auf einem Beobachtungsschirm hinter der Blende zeigt sich dann ein Interferenzmuster aus hellen und dunklen Streifen. Dieses Muster entsteht durch Interferenz der Lichtwellen von den beiden Blendenöffnungen. Das Experiment kann nicht nur mit Licht, sondern auch mit 'Teilchen' (Elektronen, Neutronen, Atomen usw.) durchgeführt werden. Es zeigt sich auch in diesen Fällen ein Interferenzmuster wie bei Durchführung mit Licht. Das bedeutet, dass auch klassische Teilchen unter bestimmten Bedingungen Welleneigenschaften zeigen. (Man spricht dann von 'Materiewellen'). Mit dem Doppelspaltexperiment kann man also sehr schön den Welle-Teilchen-Dualismus demonstrieren, der nur im Rahmen der Quantenmechanik erklärt werden kann. Born'sche Deutung II: Das Verhalten der Elektronen beim Durchgang durch einen engen Spalt wird durch eine Wellenfunktion Ψ beschrieben. Die Wahrscheinlichkeit W des Auftreffens eines Elektrons an einer bestimmten Stelle des Schirmes wird durch das Quadrat der Amplitude dieser Wellenfunktion Ψ bestimmt. Betrachtet man ein einzelnes Elektron, so kann man nicht entscheiden, durch welchen Spalt es gegangen ist. Wenn man nicht entscheiden kann, durch welchen Spalt das Elektron gegangen ist, kann man</p> |

| | |
|---|--|
| | <p>nicht von einer „Bahn“ des Elektrons sprechen. Misst man gleich hinter dem Spalt die Elektronen, so verschwindet das Interferenzbild. Wenn man also weiß, durch welchen Spalt das Elektron geht, dann interferieren die Teilchenwellen nicht zum Streifenmuster.</p> |
| <p>Heisenbergsche Unschärferelation</p> <p>Gedankenexperiment mit Elektronenkanone,</p> <p>Energie-Zeit-Unschärfe</p> <p>Einschränkung der Berechenbarkeit</p> | <p>In der Quantenphysik besagt die Heisenbergsche Unschärferelation oder Unbestimmtheitsrelation, dass der Ort x und der Impuls p eines Teilchens nicht gleichzeitig beliebig genau bestimmt werden können. Sie wurde 1927 von Werner Heisenberg entdeckt. Danach gilt für die Ortsunschärfe Δx und die Impulsunschärfe Δp stets</p> $\Delta x \Delta p \geq \frac{h}{4\pi} = \frac{\hbar}{2}$ <p>wobei $h = 6,6261 \cdot 10^{-34}$ Js das Planck'sche Wirkungsquantum ist.</p> <p>Ein Elektronenstrahl aus einer Elektronenkanone (TV-Röhre) soll durch einen Einzelspalt gebeugt werden. Der Spalt hat die Breite d, der Beugungswinkel des ersten Beugungsminimums ist α, dann gilt:</p> $\sin \alpha = \frac{\lambda}{d}$ <p>Da die Impulse der Elektronen nicht Null sind, sondern um einen Mittelwert $\Delta p = p \cdot \sin \alpha$ streuen, so gilt: $\Delta p \cdot \Delta x = p \cdot \frac{\lambda}{d} \cdot \Delta x = h$</p> <p>und weil der Elektronenimpuls $p = \frac{h}{\lambda}$ ist und $d = \Delta x$ gilt $\rightarrow \Delta x \cdot \Delta p \approx h$</p> <p><u>Zweite Unschärfe-Formulierung: $\Delta E \cdot \Delta t \approx h$</u> für eine kurze Energieschwankung. Brauchbar für die Erklärung des <u>Tunneleffekts</u>.</p> <p>Laplace träumte davon, dass ein Geist (Dämon), der alle Anfangsbedingungen der Weltraummechanik kennen würde, auch alle zukünftigen Bewegungen vorhersehen könnte. Durch die quantenmechanische Unschärfe der Anfangsbedingungen lässt sich keine Voraussage über längere Zeiträume mehr machen. Das ist wie beim Billard, wenn eine Kugel 10 weitere treffen soll. Durch kleinste Ungenauigkeiten lässt sich die Bahn nicht mehr vorhersehen (Chaos-effekt)</p> |
| <p>Tunneleffekt</p> <p>Rastertunnelmikroskop</p> | <p>a) Einsperrung bedeutet Bewegung: Durch Einsperren eines Teilchens auf einen engen Raum (Elektron auf 10^{-10} m Atomdurchmesser, Proton auf 10^{-15} m Atomkerndurchmesser) ergibt sich durch die Unschärferelation, dass der Impuls eine Mindestgröße bekommt, das Teilchen also mit immer größerer Geschwindigkeit und Energie herumflitzt, je kleiner der Raum wird, wo es sein kann.</p> <p>b) Der Tunneleffekt entsteht, wenn eine Energiebarriere, die für klassische Teilchen nicht überwindbar wäre (Alphateilchen im Kerninneren, das durch die Kernkraft eigentlich drinnen bleiben soll) durch kurzfristigen Energieüberschuss diese Barriere überwindet. Da das nur sehr kurzzeitig möglich ist, ist es nur für sehr schnelle Teilchen möglich die Energiebarriere zu überwinden. Laut Statistik kann das aber nur sehr wenige Teilchen betreffen, die so hohe Impulse haben, daher geschieht der α-Zerfall sehr selten.</p> <p>Von außen schaut es so aus, als würde ein Tunnel in die Energiebarriere gegraben worden sein, daher der Name Tunneleffekt.</p> |

| | |
|--|--|
| | <p>Das Rastertunnelmikroskop ist ein Mikroskop, das in der Oberflächenphysik eingesetzt wird, und ein Objekt durch "Abtasten" abbildet. Es wird eine elektrisch leitende Spitze systematisch (in einem <i>Raster</i>) über das Untersuchungsobjekt gefahren. Sowohl Nadel als auch Objekt sind von Elektronenwolken umgeben. Der Abstand zwischen dem Objekt und der Spitze wird nun so gering gehalten, dass die Elektronen zwischen der Spitze und dem Objekt ausgetauscht werden (Quantenmechanischer Tunneleffekt). Dies geschieht üblicherweise bei einer Entfernung von unter 1 nm.</p> <p>Wird nun eine elektrische Spannung zwischen dem Untersuchungsobjekt und der Spitze angelegt, so kann ein Strom, der so genannte Tunnelstrom fließen. Die Stärke dieses Stroms hängt sehr stark (exponentiell) vom Abstand der Nadel zum Objekt ab. Die Höhe der Spitze wird fortlaufend so verändert, dass der Strom konstant bleibt. Somit lässt nun über die Position der Spitze das dreidimensionale Bild der Oberfläche rekonstruieren. Die Auflösung ist bei diesem Verfahren so hoch, dass die atomare Struktur der Oberfläche sichtbar wird.</p> |
| <p>Elektronenmikroskop</p> <p>Bedeutung für die Forschung</p> <p>Prinzip der Bildentstehung</p> | <p>Ein Elektronenmikroskop ist ein Mikroskop, welches das Innere oder die Oberfläche einer Probe mittels Elektronenstrahlen abbilden kann. Da schnelle Elektronen eine sehr viel kleinere Wellenlänge als sichtbares Licht haben und die Auflösung eines Mikroskops durch die Wellenlänge begrenzt ist, kann mit einem Elektronenmikroskop eine deutlich höhere Auflösung (derzeit etwa 0,1 nm) erreicht werden als mit einem Lichtmikroskop (etwa 200 nm).</p> <p>Neben dem offensichtlichsten Vorteil des Elektronenmikroskops, der enormen Vergrößerung, bietet das Elektronenmikroskop auch eine wesentlich bessere plastische Abbildung. Die Objekte müssen jedoch sehr aufwendig präpariert werden. So darf das Objekt bei der Betrachtung in einem Elektronenmikroskop nur wenige Atomschichten dick sein. Außerdem herrscht in Elektronenmikroskopen ein Hochvakuum. All diese Voraussetzungen machen es unmöglich, lebende Organismen zu beobachten.</p> <p>In der Biologie kam es zu bahnbrechenden Entdeckungen: So wurden beispielsweise die Ribosomen entdeckt, die eine wichtige Rolle bei der Proteinsynthese spielen.</p> <p>Die Hauptbestandteile eines Elektronenmikroskops sind:</p> <ul style="list-style-type: none"> ❖ Die Elektronenkanone, die die freien Elektronen in einer Kathode (als Elektronenquelle dient ein Wolframdraht) erzeugt und in Richtung einer ringförmig um die Strahlachse liegenden Anode beschleunigt. Zwischen Anode und Kathode liegt eine Hochspannung von wenigen kV bis zu 3 MV. ❖ Elektronen-magnetlinsen, die die Flugbahnen der Elektronen ablenken können. Meistens werden magnetische Linsen verwendet, welche die gleiche Funktion wie Glaslinsen im Lichtmikroskop haben. ❖ Das Vakuum, das dafür sorgt, dass die Elektronenquelle arbeiten kann und die Elektronen auf ihrem Weg nicht durch Kollision mit Luftmolekülen behindert werden. ❖ Detektoren, die die Elektronen selbst oder sekundäre Signale registrieren. |

Thema: MIKRO- und MAKROKOSMOS**1) Kernphysik**

| | |
|---------------------------------------|--|
| <p>Die Masse der Atomkerne</p> | <p>Die Struktur der Atome: Atomdurchmesser ca. 10^{-10} m, Kern 10^{-15} m Der Kern besteht aus positiv geladenen Protonen und neutralen Neutronen. Die <u>Kernladungszahl</u> gibt die Anzahl der Protonen an. Die <u>Nukleonenzahl</u> die Anzahl von Protonen und Neutronen – das entspricht auch etwa der <u>Massenzahl</u>, da die Elektronen fast nichts zur Masse des Atoms beitragen. Die <u>Massenzahl</u> ist eine Durchschnittszahl über real vorkommende Isotopengemische. Bei Kohlenstoff kommt C12 mit 98,9% vor, der Rest sind C13 und C14 (radioaktiv). In der <u>Nuklidkarte</u> werden die Atomarten aufgezeichnet. Speziell <u>Isotope</u> – das sind Atome mit gleicher Protonenzahl, aber unterschiedlicher Neutronenzahl → http://de.wikipedia.org/wiki/Liste_der_Isotope $r \approx r_0 \sqrt[3]{A}$ mit $r_0 \approx 1,42 \cdot 10^{-15} m$ (Radius eines Wasserstoffkerns oder eines Protons) [A = Massenzahl] Die Masse eines Protons = $1,6726 \cdot 10^{-27}$ Die Masse eines Neutrons = $1,6749 \cdot 10^{-27}$ Beim „Zusammensetzen“ von Protonen und Neutronen zu einem Atom gibt es einen Massendefekt, da heißt, die Gesamtmasse ist in einem Atom kleiner als die Summe der Protonen- und Neutronenmassen. Das bedeutet, dass hier die Bindungsenergie (=fehlende Masse mal Lichtgeschwindigkeit zum Quadrat laut Einstein) den Massendefekt verursacht. Das nutzt die Sonne zur Kernfusion von Wasserstoffen zu Helium und gibt diese Energie als Strahlung ab.</p> |
| <p>Radien von Atomkernen</p> | <p>Um den Radius eines Atomkerns zu bestimmen, schießt man Elektronen mit Energien von einigen hundert MeV (Mega-Elektronenvolt) auf Atome. Die hochenergetischen Teilchen durchqueren die Elektronenhülle fast ohne Ablenkung und werden nur am Atomkern selbst gestreut. Aus der Winkelverteilung der gestreuten Elektronen lässt sich auf den Radius des Atomkerns schließen. Es gilt: $r \approx r_0 \sqrt[3]{A}$ mit $r_0 \approx 1,2 \cdot 10^{-15} m$ (= Radius eines Wasserstoffkerns oder eines Protons) [A = Massenzahl]</p> |
| <p>Die Kernkraft</p> | <p>In Atomkernen mit mehreren Protonen wirkt die Coulombkraft wegen der gleichartigen positiven Ladung als Abstoßungskraft. Dennoch halten die Atomkerne zusammen. Es müssen innerhalb des Atomkerns Kräfte wirksam sein, die die Nukleonen im Kern zusammenhalten. Man bezeichnet diese Kräfte als Kernkräfte:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Kernkräfte besitzen eine sehr kleine Reichweite. Diese liegt in der Größenordnung von $3 \cdot 10^{-15} m$. 2. Kernkräfte besitzen sehr große Beträge. 3. Die Kernkräfte sind ladungsunabhängig. 4. Bei den Kernkräften handelt es sich um Austauschkräfte. Dabei spielen bestimmte Elementarteilchen eine Rolle, die man als π-Mesonen oder Pionen bezeichnet. <p>Es gibt positive Pionen (π^+), negative Pionen (π^-) und neutrale Pionen (π^0). Durch den Austausch dieser Pionen zwischen den beteiligten Nukleonen wandeln sich Protonen in Neutronen und Neutronen in</p> |

| | |
|---|---|
|  <p>83.1 Protonen (rot) und Neutronen (blau) verteilen sich im Atomkern auf verschiedene Orbitale, deren Energien sich jeweils um einige MeV unterscheiden. Jedes Orbital kann jeweils zwei Protonen und zwei Neutronen aufnehmen. Von den dargestellten Kernen ist nur C-12 stabil. B-12 wandelt eines seiner Neutronen durch Elektronenemission (β-Zerfall, S. 85) in ein Proton und wird zu C-12. Bei N-12 wird ein Proton durch Emission eines Positrons in ein Neutron verwandelt. Es entsteht C-12.</p> | <p>Protonen um. Die Kernkräfte können als das Ergebnis eines zwischen den Nukleonen der Atomkerne erfolgenden dauernden Austausches von Pionen betrachtet werden:</p> $p^+ + \pi^0 \rightarrow n + \pi^+$ $n + \pi^+ \rightarrow p^+ + \pi^0$ $n + \pi^0 \rightarrow p^+ + \pi^-$ $p^+ + \pi^- \rightarrow n + \pi^0$ <p>mit: p = Proton und n = Neutron.</p> <p>Der japanische Physiker H. Yukawa entwickelte im Jahr 1935 die Theorie, dass dieser dauernde Austausch das Auftreten der Bindungskräfte in den Atomkernen bewirkt. Seine Theorie besagt außerdem, dass die Pionen virtuell sind. Die Zeit, in der sie existieren, ist zu kurz, als dass sie reell erkennbar werden.</p> <p>In der Quantenmechanik wurde später der Zusammenhalt der Kerne, aber auch der Zusammenhalt der Quarks in Protonen und Neutronen mit der starken Wechselwirkung beschrieben. Die starke Wechselwirkung soll durch masselose Teilchen, sog. Gluonen getragen werden. Die Gluonen bilden „Bänder“, die die Nukleonen und Atomkerne zusammenhalten.</p> <p>–siehe: http://www.quantenwelt.de/kernphysik/kernkraft/starke.html</p> <p>Quanteneffekt im Atomkern: Durch die Einsperrung der Protonen und Neutronen auf den engen Raum des Atomkerns erhalten sie auf Grund der Heisenbergschen Unschärferelation eine hohe Geschwindigkeit ($\Delta p \cdot \Delta x > h \rightarrow m \cdot \Delta v \cdot \Delta x > h \rightarrow \Delta v > \frac{h}{m \cdot \Delta x} \sim 6,5 \cdot 10^7 \text{ m/s}$ = ein Fünftel der Lichtgeschwindigkeit) – es geht also sehr dynamisch zu im Kern!</p> <p>Auch werden die Protonen und Neutronen im Kern auf ähnlich gebauten Orbitalen = Energiestufen rasen, wie es die Elöelektronen in der Hülle machen. Auf jeder Energiestufe habe 2 Protonen und 2 Neutronen Platz– siehe nebenstehendes Diagramm.</p> |
| <p>Der Kernspin</p> | <p>Wie die Elektronen der Atomhülle haben auch die einzelnen Kernbausteine einen Eigendrehimpuls (SPIN) und verhalten sich wie winzige Magnete. Bei Kernen mit gerader Nukleonenzahl können sich die magnetischen Momente der Kernbausteine gegenseitig aufheben. Beim Wasserstoffatom jedoch nicht, da es nur ein Proton hat. Bringt man ein Wasserstoffatom in ein Magnetfeld (z.B. im Kernspintomografen), so kann man den Spin parallel oder antiparallel zum Feld einstellen. Mit einem kurzen Radiowellenimpuls kippt das Wasserstoffproton von einem in den anderen Zustand und sendet ein ähnliches Radiosignal aus, wie es empfangen hat. Das kann man analysieren und die Struktur der Wasserstoffatomverteilung im menschlichen Gewebe bestimmen. Das ergibt die Schichtbilder, die zur Diagnose in der Medizin genutzt werden (oder in der Chemie in der NMR-Spektroskopie: <i>nuclear magnetic resonance spectroscopy</i>)</p> |
| <p>Radioaktivität, Strahlungsarten</p> | <p>Radioaktive Stoffe senden ohne äußeren Einfluss ionisierende Strahlen aus:</p> <p>α - Strahlung: Sie besteht aus zweifach positiv geladenen Heliumkernen. Ihre Reichweite beträgt in der Luft 5-7 cm. Bei der Wechselwirkung mit anderen Atomen spalten sie von diesen Elektronen ab</p> |

und es entstehen positive Ionen. Abschirmung erfolgt z.B. schon durch ein Blatt Papier.

β - Strahlung: Besteht aus Elektronen, die bei der Umwandlung von Neutronen in Protonen und Elektronen und weitere Elementarteilchen im Kern entstehen. Die Reichweite in der Luft beträgt einige Meter.

γ - Strahlung: Kurzwellige, elektromagnetische Strahlung, die durch elektrische oder magnetische Felder nicht abgelenkt wird. Sie entsteht, wenn ein Atomkern von einem angeregten in einen niedrigeren Energie-Zustand übergeht. Abschirmung durch dicke Bleiplatten.

Neutronenstrahlen: Es handelt sich um Neutronen, die aus dem Atomkern emittiert werden. Sie können durch die Elektronenhülle in den Atomkern eindringen und so das Element radioaktiv machen. Dabei wird der Kern zu einem Isotop (= ein Atom, das sich nur durch die Zahl seiner Neutronen von einem Atom desselben Elements unterscheidet); die Atommasse wird um eins erhöht.

Im **Magnetfeld** werden die Strahlen aufgeteilt, α -Strahlen nach der einen Seite, β -Strahlen nach der anderen Seite, Gammastrahlen gehen gerade durch. Das ist die Reaktion der verschiedenen Ladung ($\alpha = +$, $\beta = -$, $\gamma = 0$) auf das Magnetfeld (Coulombkraft!)

Der **experimentelle Nachweis** erfolgt durch den **Geigerzähler** o.ä. Geräte mit einem Zählrohr, in dem ein Gas durch die ionisierende Strahlung ionisiert wird und dadurch einen Strom von Ladungen verursacht, der ein Knacken im Kopfhörer erzeugt.

Für die ionisierende Strahlung sind **Zerfallsprozesse** von Atomen verantwortlich:

Beim Zerfall gehen instabile Atomkerne in eine stabilere Struktur (d.h. einen tieferen Energiezustand) eines anderen Kerns über. Dabei tritt ein Masseverlust auf, der in Energie umgesetzt wird. Es wird Strahlung ausgesandt. Alle massereichen Atome mit einer Kernladungszahl größer als 83 (Bismut) und neutronenreiche Isotope sind radioaktiv. Dabei gibt es analog wieder mehrere Arten des Zerfalls:

α -Zerfall: Beim diesem Zerfall werden Heliumkerne, die aus 2 Protonen und 2 Neutronen bestehen, ausgesandt. Das bisherige Element hat dann 2 Protonen weniger und insgesamt 4 Kernbestandteile weniger. (${}_{92}^{238}\text{U} \rightarrow {}_2^4\text{He} + {}_{90}^{234}\text{Th}$)

β -Zerfall: Dabei werden Elektronen aus dem Kern herausgeschleudert. Der daraus entstehende Kern hat ein Proton mehr als der ursprüngliche, denn ein Neutron des Kernes hat sich in ein Proton und ein Elektron umgewandelt. (${}_{90}^{234}\text{Th} \rightarrow e^- + {}_{91}^{234}\text{Pa}$)

(C-14-Zerfall in Elektron und Antineutrino: ${}_{6}^{14}\text{C} \rightarrow {}_{7}^{14}\text{N} + e^- + \bar{\nu}$)

Dieser Zerfall lässt sich durch den **Zerfall des Neutrons in ein Proton und ein Elektron** erklären!

γ -Zerfall: Dabei fallen einzelne Nukleonen (Protonen oder Neutronen) von einem höheren auf ein niederes Energieniveau. Dabei wird ein γ -Quant in Form eines Photons abgegeben. Abschirmung ist nicht möglich, nur Abschwächung mit Blei und Beton.

Neutronenzerfall: freie Neutronen sind instabil und können in ein Proton, ein Elektron und einige andere Elementarteilchen zerfallen.

| | | | | | | | | | |
|--|---|-------------------------------|------------------------------|-----------------------------|------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--|-----------------------------|
| <p>Das Zerfallsgesetz des radioaktiven Zerfalls</p> | <p>Der radioaktive Zerfall verläuft bei verschiedenen Atomen unterschiedlich schnell. Ein Maß dafür ist die Halbwertszeit: das ist jene Zeit, nach der jeweils die Hälfte der radioaktiven Atome zerfallen ist. Die Zerfallsprodukte sind meist selbst wieder radioaktiv. Diese "Tochternuklide" zerfallen mit anderen Halbwertszeiten zu neuen Nukliden. Mögliche Formel: $N(t) = N_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T}}$ mit Halbwertszeit T, Anfangsmenge N_0 und $N(t)$ = momentane Menge an Atomen, die zum Zeitpunkt t noch nicht zerfallen sind.</p> <p>Die Aktivität der radioaktiven Elemente gibt an, wie viele Zerfälle pro Sekunde stattfinden. Einheit Becquerel: 1Bq = 1Zerfall pro Sekunde Früher gab es noch die Einheit Curie = 37.000.000.000 Bq, die von 1Gramm Radium ausgehen, das Marie Curie 1889 untersucht hat.</p> <p>Grenzwerte für Lebensmittel nach Tschernobyls Reaktorunfall: Milch: 5 nCi (= 200 Becquerel) pro Liter Cäsium 137 bzw. Jod 131</p> <p>Halbwertszeit von radioaktiven Strahlern: Zeit, in der die Aktivität auf die Hälfte gefallen ist:</p> <table border="1" data-bbox="539 909 1444 1003"> <tr> <td>Radon ²²⁰ – 25 sec</td> <td>Jod ¹³¹ – 8 Tage</td> <td>Sr ⁹⁰ – 28 Jahre</td> <td>Cs ¹³⁷ – 30 Jahre</td> </tr> <tr> <td>Uran ²³⁵ – 4,5 Mrd.Jahre</td> <td>Plutonium ²³⁹ – 66 Jahre</td> <td></td> <td>Cs ¹³⁴ – 2 Jahre</td> </tr> </table> | Radon ²²⁰ – 25 sec | Jod ¹³¹ – 8 Tage | Sr ⁹⁰ – 28 Jahre | Cs ¹³⁷ – 30 Jahre | Uran ²³⁵ – 4,5 Mrd.Jahre | Plutonium ²³⁹ – 66 Jahre | | Cs ¹³⁴ – 2 Jahre |
| Radon ²²⁰ – 25 sec | Jod ¹³¹ – 8 Tage | Sr ⁹⁰ – 28 Jahre | Cs ¹³⁷ – 30 Jahre | | | | | | |
| Uran ²³⁵ – 4,5 Mrd.Jahre | Plutonium ²³⁹ – 66 Jahre | | Cs ¹³⁴ – 2 Jahre | | | | | | |
| <p>Radioaktive Altersbestimmung</p> | <p>Mit radioaktiven Stoffen kann man Altersbestimmung betreiben, wenn man die Ausgangsmenge N_0 eines Stoffes kennt (aus den Zerfallsprodukten wird rückgerechnet) und die momentane Meng. Die C14-Radiokarbonmethode funktioniert so: C14 hat eine Halbwertszeit von ca. 5730 Jahren. In lebenden Bäumen ist immer ein gleichbleibender Anteil von C14 neben C12 vorhanden. Beim toten Baum wird C14 abgebaut. Aus dem verbliebenen Anteil von C14 kann man das Alter schätzen.</p> <p>Für längere Zeiträume kann man Kalium-40 mit einer Halbwertszeit von $1,3 \cdot 10^9$ Jahren oder Uran-238 mit einer Halbwertszeit von $4,5 \cdot 10^9$ Jahren verwenden. Uran zerfällt in mehreren Schritten bis hin zum Blei-206. Daraus kann man z.B. auf das Alter der Erdgesteine schließen: 2,5–3,9 Mrd. Jahre.</p> | | | | | | | | |
| <p>Strahlenschutz</p> | <p>Die Ionendosis gibt an, wie viele Ionen pro kg Luft entstehen [Einheit: Coulomb/kg alt: 1 Röntgen $\approx \frac{1}{4}$ milliCoulomb/kg]</p> <p>Die Energiedosis gibt die absorbierte Strahlungsenergie pro kg (Menschen)masse an [Joule/kg = Gray (Gy) = 100 rad]</p> <p>Die für den Menschen wichtige Maßeinheit ist die Äquivalentdosis, wo die Wirkung der verschiedenen Strahlenarten berücksichtigt wird (α-Strahlung mit Zusatzfaktor 20) [1J/kg = 1 Sievert (Sv) = 100 rem = Beginn der <i>siechenden</i> Todesgrenze]</p> <p><u>äußere Strahlenbelastung</u> des Menschen durch Sonne und Erdstrahlen: ca. 1 mSv pro Jahr</p> <p><u>innere Eigenstrahlung</u> des Körpers (K40, C14, Ra226, Rn222 durch Nahrungsaufnahme, Baustoffe und Organeinbau) – ca. 1 mSv pro Jahr</p> <p><u>Röntgenbestrahlung und sonstige Zusatzbelastungen</u>: ca. 0,5 mSv pro Jahr</p> | | | | | | | | |

| | |
|--------------------------|--|
| | <p><u>Leute in strahlengefährdeten Anlagen (AKW) – maximal 50 mSv pro Jahr</u> <u>akute Gefahrengrenze: 0,5–1 Sv</u> : Blutbildveränderungen,... 5 Sv – 50% Todesfälle <u>Todesgrenze: 8 Sv → 100% Tote</u> Wichtig: 1 Mikro-Sievert pro Stunde ist 8,8 Milli-Sievert pro Jahr bei dauernder Bestrahlung – 8 mal mehr als in der Natur! (Bei Berichten über Tschernobyl und Fukushima wurde immer der Stundenwert angegeben!)</p> <p>Schutzmaßnahmen gegen Strahlung: Abstand von radioaktiven Materialien halten: Je größer der Abstand, desto geringer ist die Stärke der radioaktiven Strahlung und damit desto geringer die Wahrscheinlichkeit einer bleibenden Veränderung im Körper des Menschen (quadratisches Abstandsgesetz!) Strahler mit möglichst geringer Aktivität verwenden: Je geringer die Strahlendosis ist, die auf den Menschen wirkt, desto geringer die eintretenden Veränderungen durch die radioaktive Strahlung. Strahlung so gut wie möglich abschirmen: Je besser die Abschirmung, desto weniger Strahlungsenergie wirkt auf den Menschen ein, desto geringer also auch die Gefahr einer radioaktiven Schädigung. Strahlung nicht länger als nötig einwirken lassen: Je geringer die Strahlendosis, desto geringer auch eventuelle Veränderungen im Körper des Menschen.</p> |
| <p>Kernfusion</p> | <p>Bei der Fusion von leichten Kernen wird Bindungsenergie in Form von Strahlung freigesetzt. In Sternen erfolgt eine stufenweise Fusion von Wasserstoffkernen zu Heliumkernen. Solche Reaktionen erfolgen bei einem Druck von Milliarden bar und Millionen Grad Kelvin. Auf der Erde versuchen Physiker diesen Prozess nachzubilden und verwenden dazu Wasserstoffisotope mit 1 oder 2 Neutronen (Deuterium und Tritium). ${}^2_1\text{H} + {}^3_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^1_0\text{n} + \gamma$ Dabei entsteht bei 1g Helium eine Energie von ca. 120 000 kWh. Das entspricht 12 Tonnen Steinkohle. Das Problem dabei ist, dass man enorme Kräfte braucht um die Protonen einander zu nähern, das kann durch enorme Hitze (einer Wasserstoffbombe) oder durch kurzzeitiges Erhitzen mit Laserstrahlen erfolgen. Weiteres Problem ist die Fassung des Plasmas, das dabei entsteht in einem Gefäß. Das ist derzeit nur durch ein kompliziert gestaltetes Magnetfeld in einem TOMAHAK möglich. Weiters nutzt man den Pinch-Effekt, das ist das Zusammenziehen eines von genügend großem elektrischen Strom durchflossenen Plasmas zu einem dünnen, komprimierten Plasmaschlauch oder -faden infolge der Wechselwirkung des Plasmastroms mit dem von ihm erzeugten Magnetfeld. Es ist derzeit nicht abzusehen, ob es wirklich möglich ist, Kernfusion in großem Stil für Energieerzeugung zu nutzen. Es wird experimentiert mit Magnetfeldern, die durch Superkühlung auf tiefen Temperaturen mit einem supraleitenden „ewigen“ Strom betrieben werden. Also – Außen Superkalt und Innen Superheiß – was für ein</p> |

Kernspaltung

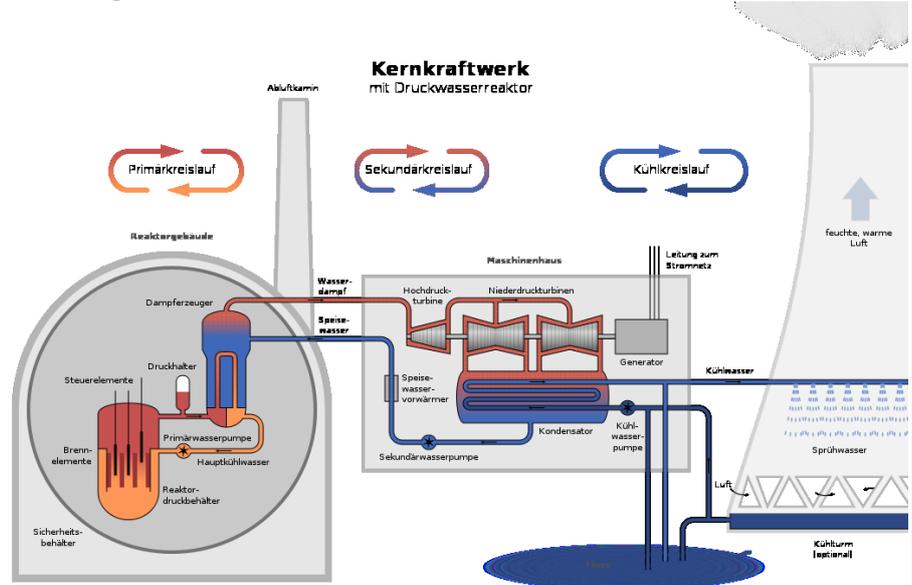
Im Jahre 1938 (Kriegsbeginn) entdeckten Otto Hahn und Fritz Strassmann in Berlin die **KERNSPALTUNG**. Sie konnten sich nicht erklären, warum Uran unter Beschuss mit Neutronen zu den Elementen Barium und Krypton zerfällt:

$${}^{235}_{92}\text{U} + {}^1_0\text{n} \rightarrow {}^{144}_{56}\text{Ba} + {}^{89}_{36}\text{Kr} + 3 {}^1_0\text{n} + 179 \text{ MeV}$$

 Die Erklärung gaben Lise Meitner und Otto Frisch im Jahre 1939 in der Zeitschrift Nature bekannt – die Kernspaltung war erfunden! Dabei entstehen weitere Neutronen, die andere Kerne spalten können. Dabei entsteht eine Kettenreaktion, die bei einer kritischen Masse von 50 kg zur Atombombe wird. Ist die Dichte geringer, kann thermische Energie im Atomreaktor gewonnen werden.

Kernreaktor

Kernreaktoren bestehen aus dem Containment mit **Brennstäben** mit dem spaltbaren Material (Uran) und dazwischen **Regelstäben**, die herausgezogen und hineingestoßen werden können. Diese bestehen aus Cadmium, das die Neutronen leicht absorbiert. Das Ganze ist in einer **Kühlflüssigkeit** (Wasser, flüssiges Natrium), die zirkuliert und die entstehende Wärme in einem **Wärmetauscher** (beim Druckwasserreaktor oder direkt – beim Leichtwasserreaktor) abgibt, worauf Wasser auf Dampftemperatur erhitzt wird und eine Turbine antreibt. Das Wasser muss durch einen großen Turm gekühlt und in einen Fluss eingeleitet werden, der dadurch um 1–5°C erwärmt wird!



Reaktortypen

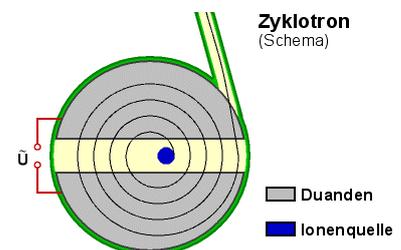
Reaktoren werden nach der Art der Kühlung, der Moderation und der Bauweise unterteilt. Mit normalem, leichtem Wasser moderierte Reaktionen finden im Leichtwasserreaktor statt, der als **Siedewasserreaktor** oder **Druckwasserreaktor** ausgelegt sein kann.. Leichtwasserreaktoren benötigen angereichertes Uran, Plutonium oder Mischoxide als Brennstoff. Mit **schwerem Wasser** moderierte **Schwerwasserreaktoren** erfordern eine große Menge des teuren schweren Wassers (**Deuterium**), können aber mit natürlichem, nicht angereichertem Uran betrieben werden. Die sowjetischen Reaktoren nutzen **Graphit** als Moderator. Hier liegt das Graphit in riesigen Blöcken vor, durch die hunderte Kanäle ge-

| | |
|--|--|
| | <p>bohrt sind, in denen sich die Druckröhren mit den Brennelementen und der Wasserkühlung befinden. Dieser Reaktortyp ist einerseits träge (was viel Zeit zum Regeln lässt), andererseits aber unsicherer als andere Typen, da ein Kühlmittelverlust hier nicht Moderatorverlust bedeutet, also nicht die Reaktivität verringert. Die Reaktorblöcke in Tschernobyl waren von diesem Typ.</p> <p>Tschernobyl, UdSSR In dem graphitmoderierten Druckröhren-Siedewasserreaktor (1000 MWe) kam es im April 1986 nach schweren Bedienungsfehlern und massiven Verstößen gegen Betriebsvorschriften zu einem Leistungsanstieg auf mehr als das 100fache der normalen Reaktorleistung. Dies führte zur Zerstörung der Brennelemente und des Reaktorgebäudes. Der Graphitblock des Reaktorkerns geriet in Brand und konnte erst nach mehreren Tagen gelöscht werden. Das Fehlen von Sicherheitsbarrieren führte zu massiven Freisetzung von radioaktiven Stoffen. Über 30 Arbeiter in Tschernobyl waren sofort tot oder starben kurz danach an akuten Strahlenschäden. Die Umgebung musste evakuiert werden und ist bis heute im weiteren Umkreis nicht bewohnbar.</p> <p><u>Tschernobyl-Wolke in Österreich</u> Durch den Wind wurden erhebliche Mengen radioaktiver Spaltprodukte in große Höhen getragen und dann über weite Entfernungen verteilt. Dadurch kam es bei uns zu einer zusätzlichen Strahlenbelastung, die etwa der mittleren natürlichen Belastung eines Jahres entspricht. Gemüse und Milch musste entsorgt werden, Kinderspielflächen mussten neuen Sand bekommen. Keiner wusste genau, was er tun konnte, da die Belastung ja unsichtbar ist und erst verspätet von den Behörden bekannt gegeben wurde (1. Maiaufmarsch im Regen von Tschernobyl)</p> <p>Als Nuklearkatastrophe von Fukushima werden eine Reihe katastrophaler Unfälle und schwerer Störfälle im japanischen Kernkraftwerk Fukushima Daiichi (Fukushima I) in Ökuma und deren Auswirkungen bezeichnet. Die Unfallserie begann am 11. März 2011 um 14:47 Uhr (Ortszeit) mit dem Tōhoku-Erdbeben und lief gleichzeitig in vier von sechs Reaktorblöcken ab. In Block 1 bis 3 kam es zu Kernschmelzen. Große Mengen an radioaktivem Material – unter anderem etwa 15 EBq Xe-133, also etwas mehr als das Doppelte von Tschernobyl, und ca. 36 PBq Cs-137,^[1] also ca. 42 % der Cs-137 Emission von Tschernobyl^[2] – wurden freigesetzt und kontaminierten Luft, Böden, Wasser und Nahrungsmittel in der land- und meerseitigen Umgebung. Ungefähr 170.000 Einwohner wurden aus den betroffenen Gebieten evakuiert, darunter etwa 20.000 auf freiwilliger Basis. Untersuchungen ergaben, dass unter den Umgesiedelten die psychischen Störungen um etwa den Faktor 5 höher lagen als im japanischen Durchschnitt. Unter evakuierten Senioren stieg die Mortalitätsrate in den ersten 3 Monaten nach dem Unfall um den Faktor 3 an und stagnierte schließlich beim 1,5-fachen des Wertes vor der Katastrophe.^[3] Hunderttausende in landwirtschaftlichen Betrieben zurückgelassene Tiere verendeten.^[4] Die Zahl der Toten durch die Evakuierung bzw. ihre Folgen sowie im Kraftwerk selbst wird auf ca. 610 geschätzt. Insgesamt wird mit bis zu 10.000 Toten durch die Nuklearkatastrophe gerechnet.</p> |
| <p>Wiederaufbereitung, Endlagerung</p> | <p>Die ausgebrannten Brennstäbe enthalten viele radioaktive Spaltelemente und sind hochradioaktiv (im Gegensatz zu den neuen Brennstäben, die praktisch ungefährlich sind!). Sie müssen in Abklingbecken mit Wasser abkühlen und werden dann in Wiederaufbereitungsanlagen in die einzelnen Elemente zerlegt und 10% wird wiederverwertet. Der Rest ist hochradioaktiver Sondermüll.</p> |

| | |
|-------------------------|---|
| | <p>Dann sollte eine Endlagerung in stabilen Bergwerken erfolgen, aber dagegen gab es immer Widerstand der Bevölkerung, daher gibt es noch keine Endlager. „<i>Wir überwachen bis in alle Ewigkeit die abgebrannten Brennstäbe</i>“</p> |
| <p>Atombombe</p> | <p>Die Entwicklung der Kernwaffen erfolgte im 2. Weltkrieg. Albert Einstein schrieb einen Brief an den Präsidenten der USA, Theodor Roosevelt, in dem er auf die Gefahr der Entwicklung einer deutschen Atombombe hinwies. Daraufhin wurde die Atombombe entwickelt und in Hiroshima und Nagasaki zu Kriegsende ausprobiert (200 000 Tote und viele strahlenverseuchte Menschen). http://www.safog.com/home/atombombe.html</p> <p>Die Atombombe besteht aus 2 unterkritischen Massen aus 50 kg Uran oder 16 kg Plutonium, die mit einem Sprengsatz zusammengeschoßen werden. Dann zündet die Kettenreaktion und die Bombe explodiert.</p> <p>Die Wasserstoffbombe beruht auf dem Fusionsprinzip – Wasserstoff wird zu Helium fusioniert wie in der Sonne. Dazu muss der Druck und die Temperatur sehr hoch sein. Das wird durch die Explosion einer Atombombe im Inneren der Wasserstoffbombe erzeugt. Zum Betrieb braucht man Deuterium und Tritium, da normaler Wasserstoff keine Neutronen hat.</p> <p>Nach dem Weltkrieg und dem Einsatz der Atombombe in Hiroshima und Nagasaki wurde zuerst von den Großmächten USA und UdSSR mit Kernwaffen aufgerüstet. Nach unzähligen Demonstrationen der Friedensbewegung kam es in den 1970er Jahren in einer <u>Entspannungsphase</u> des <u>Kalten Krieges</u> mit den <u>SALT-Verträgen</u> und dem <u>ABM-Vertrag</u> zu einer ersten Begrenzung der <u>strategischen Nuklearrüstung</u>.</p> <p>Am 18. November 1981 unterbreitete <u>US-Präsident Ronald Reagan</u> der Sowjetunion den Vorschlag einer beiderseitigen Nulllösung für landgestützte Mittelstreckenraketen, der den weltweiten Verzicht der USA auf Stationierung von Pershing-II-Raketen und landgestützten Marschflugkörpern vorsah und im Gegenzug von der Sowjetunion die Verschrottung aller SS-20-Raketen und Außerdienststellung der älteren SS-4 und SS-5 forderte.</p> |

2) Teilchenphysik

| | |
|---|---|
| <p>Linear- und Zirkularbeschleuniger</p> | <p>Ein Linearbeschleuniger, LINAC oder Linac (von <u>englisch</u> <i>linear accelerator</i>) ist ein <u>Teilchenbeschleuniger</u>, der <u>geladene</u> Teilchen wie <u>Elektronen</u>, <u>Positronen</u> oder <u>Ionen</u> in gerader Linie beschleunigt.</p> <p>Das Zyklotron ist ein <u>Teilchenbeschleuniger</u>. Es besteht aus einem großen <u>Elektromagneten</u>, zwischen dessen Polen sich eine flache runde Vakuumkammer befindet. Im Inneren der Kammer sind der Beschleuni-</p> |
|---|---|



| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|------------------|---|---|---|---|---|---|--|--|
| | <p>gungsspalt und die <u>Ionenquelle</u>. Ein Synchrotron ist ein <u>Teilchenbeschleuniger</u>, in dem geladene <u>Elementarteilchen</u>, <u>Elektronen</u>, <u>Protonen</u> oder ionisierte <u>Atome</u> (<u>Ionen</u>) auf sehr hohe (<u>relativistische</u>) <u>Geschwindigkeiten</u> beschleunigt werden, wodurch die Teilchen sehr hohe <u>kinetische Energien</u> erhalten. Zur Beschleunigung wird ein passend <u>synchronisiertes hochfrequentes elektrisches Wechselfeld</u> (<u>Mikrowellen</u>) verwendet. Das Ganze findet im Vakuum statt. Damit erforscht man die Struktur der kleinsten Teilchen – Elementarteilchen (Elektron, Proton, Neutron, Mesonen,...)</p> | | | | | | | | | | |
| <p>Teilchen–Antiteilchen</p> | <p>Durch die Beschleunigungsanlagen konnten die Physiker neben Proton, Elektron und Neutron weitere Elementarteilchen entdecken. So entdeckten sie zu jedem Teilchen auch das Anti–Teilchen, das die gleiche Masse und den gleichen Spin wie das Teilchen hat, jedoch die andere Ladung. 1932 wurde das Positron e^+ in der kosmischen Strahlung entdeckt. Das Photon ist, da es keine Ladung hat, sein eigenes Antiteilchen. Trifft ein Positron auf ein Elektron, so vernichten sich beide in einem Energieblitz, der 2 Photonen gleicher Energie erzeugt ($E=mc^2$). $e^+ + e^- \rightarrow \gamma + \gamma$ (energiereiche Röntgenstrahlung). β^+ – Strahler, z.B. Kohlenstoff C–11, emittieren Positronen e^+, die in der Medizin verwendet werden, um Tumore zu entdecken, da dort die entsprechenden chemischen Substanzen gespeichert werden, die Positronen emittieren. Die γ–Quanten werden registriert und damit kann der Ort des Tumors entdeckt werden (Positronen–Emissions–Tomografie PET)</p> | | | | | | | | | | |
| <p>Zerfall von Teilchen</p> | <p>Die meisten der künstlich (oder in der kosmischen Strahlung) erzeugten Teilchen zerfallen sehr rasch wieder in andere Teilchen. Zum Beispiel kann eine negatives Pion (π^-) mit einem Proton reagieren und erzeugen Λ^0 und K^0 die erzeugten Teilchen zerfallen nach 10 cm Laufstrecke (bei fast Lichtgeschwindigkeit). Das ergibt ca. $3 \cdot 10^{-10}$ Sekunden Lebensdauer. Die Lebensdauer ist eine Angabe der Halbwertszeit der Teilchen. Fermionen sind die bekannten Teilchen Elektron, Proton und Neutron. Es gibt aber auch andere Teilchen (Neutrino, Myon, Tauon, sowie Delta, Lamda, Omega). Sie haben den Spin $\frac{1}{2}$ oder $\frac{3}{2}$. Es gilt das Pauli–Prinzip: Zwei Teilchen müssen sich in mindestens einer Quantenzahl unterscheiden. Bosonen sind Teilchen, die Spin 0, 1,2 haben. Hier gilt das Pauli–Prinzip nicht. Vertreter sind: Photon, Z,W–Boson, die Gluonen.</p> | | | | | | | | | | |
| | <table border="1"> <tr> <td data-bbox="370 1722 659 1783">Gruppe</td> <td data-bbox="663 1722 1072 1783">Leichte Teilchen</td> <td data-bbox="1072 1722 1455 1783">Hadronen (starke Kernkraft wirkt)</td> </tr> <tr> <td data-bbox="370 1783 659 1877">Fermionen–Gruppe Mit Spin ungerade–halbzahlig</td> <td data-bbox="663 1783 1072 1877">Leptonen: Elektron, Positron, Neutrino$^{\mu\tau}$, Myon$^-$ ($2 \cdot 10^{-6}$sec), Tauon$^+$</td> <td data-bbox="1072 1783 1455 1877">Baryonen: Proton, Neutron, Delta$^{++}$, Lamda0, Omega$^-$</td> </tr> <tr> <td data-bbox="370 1877 659 2058">Bosonen–Gruppe Mit ganzzahlige–geradem Spin</td> <td data-bbox="663 1877 1072 2058">Eichbosonen = Kraftüberträger: Photon (el–magn.Kraft), Z0, W$^+$–Boson (schwache Kernkraft), Gluon (starke Kernkraft), Graviton (hypothetisch: Grav.kraft)</td> <td data-bbox="1072 1877 1455 2058">Mesonen: Pion$^{+0}$, Psion, Kaon$^{+0}$</td> </tr> </table> | Gruppe | Leichte Teilchen | Hadronen (starke Kernkraft wirkt) | Fermionen–Gruppe Mit Spin ungerade–halbzahlig | Leptonen: Elektron, Positron, Neutrino $^{\mu\tau}$, Myon $^-$ ($2 \cdot 10^{-6}$ sec), Tauon $^+$ | Baryonen: Proton, Neutron, Delta $^{++}$, Lamda 0 , Omega $^-$ | Bosonen–Gruppe Mit ganzzahlige–geradem Spin | Eichbosonen = Kraftüberträger: Photon (el–magn.Kraft), Z 0 , W $^+$ –Boson (schwache Kernkraft), Gluon (starke Kernkraft), Graviton (hypothetisch: Grav.kraft) | Mesonen: Pion $^{+0}$, Psion, Kaon $^{+0}$ | |
| Gruppe | Leichte Teilchen | Hadronen (starke Kernkraft wirkt) | | | | | | | | | |
| Fermionen–Gruppe Mit Spin ungerade–halbzahlig | Leptonen: Elektron, Positron, Neutrino $^{\mu\tau}$, Myon $^-$ ($2 \cdot 10^{-6}$ sec), Tauon $^+$ | Baryonen: Proton, Neutron, Delta $^{++}$, Lamda 0 , Omega $^-$ | | | | | | | | | |
| Bosonen–Gruppe Mit ganzzahlige–geradem Spin | Eichbosonen = Kraftüberträger: Photon (el–magn.Kraft), Z 0 , W $^+$ –Boson (schwache Kernkraft), Gluon (starke Kernkraft), Graviton (hypothetisch: Grav.kraft) | Mesonen: Pion $^{+0}$, Psion, Kaon $^{+0}$ | | | | | | | | | |

Quarks

Quarks sind elementare Bausteine der Hadronen (= Baryonen und Mesonen): **up, down und strange**, die alle Spin $h/2$ haben
 Es gibt dazu die Antiquarks **uq, dq, sq**, die als Bausteine der Mesonen auftauchen.

Baryonen (schwer) haben 3 Quarks:

Proton $p = u u d$ (Ladung $2/3 + 2/3 - 1/3 = 1$)

Neutron $n = u d d$ (Ladung $2/3 - 1/3 - 1/3 = 0$)

Mesonen (mittelschwer) haben 2 Quarks:

$\pi^+ = u d\bar{q}$ (Ladung: $2/3 + 1/3 = 1$)

Leptonen

Leptonen (e, γ) haben keine Quarks (, sind also selber welche)

FARBE: Löst das Problem, dass drei u-Quarks in einem Ω^- - Teilchen sind. Eines mit Spin up, eines mit Spin down. Fürs dritte gäbe es keine weitere Unterscheidung (gemäß Pauli-Prinzip) mehr, also muss die Farbe her (rot, blau, grün) . Im Proton sind alle drei Farben (=weiß).

Kräfte zwischen Quarks sind starke Kernkräfte, die durch virtuelle Teilchen übertragen werden (Gluonen) mit der Reichweite 10^{-15} m. Auch die Farbe wird übertragen und ändert die Farbe der Kernteilchen.

<https://www.youtube.com/watch?v=oeCbYu6rCyQ>

<https://www.youtube.com/watch?v=ygWwiAixTHw>

<http://www.quantenwelt.de/elementar/quarks.html>

Der experimentelle Nachweis von Quarks ist dem Streuversuch von Rutherford ähnlich. Man hat die Streuung von Elektronen an Protonen und Neutronen studiert. Und zwar hat man die sogenannte tief-inelastische Streuung bei sehr hohen Elektronenenergien studiert. Diese Elektronen können tief ins Innere der Baryonen eindringen. Die genaue Auswertung der Energie- und Winkelverteilung ergab, dass es im Inneren der Baryonen drei Streuzentren ohne innere Struktur und mit einem Spin von $1/2$ gibt.

| Kraft | Auf Teilchen | Reichweite | Rel. Stärke | Träger- teilchen | Rolle im Universum |
|--------------------------|---------------------|--------------|-------------|---------------------|--|
| Starke Kraft | Quarks | 10^{-15} m | 1 | Gluonen | Bindet Quarks zu Protonen, Neutronen, usw. |
| elektromagnetische Kraft | Geladene Teilchen | ∞ | 10^{-2} | Photonen | Bestimmt die Struktur von Atomen, Molekülen, Flüssigkeiten und Festkörpern im Alltag |
| Schwache Kraft | Quarks und Leptonen | 10^{-18} m | 10^{-5} | W^+, W^-, Z^0 | Bestimmt die Stabilität von Atomkernen (Neutronzerfall), ermöglicht die Kernfusion in der Sonne |
| Schwerkraft | Alle | ∞ | 10^{-40} | Graviton (?) | Bindet die Materie zu Planeten, Sternen und Galaxien |