

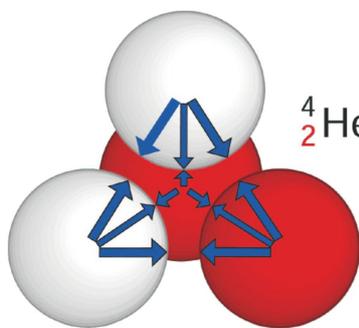
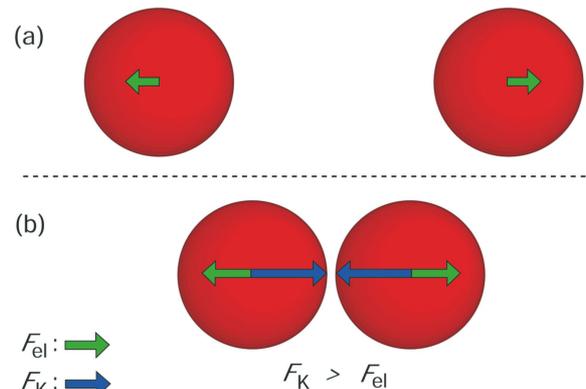
Kernkräfte

Wer wissen will, was die Welt im Innersten zusammenhält, der muss sich die vier Grundkräfte der Physik anschauen. Sie sind dafür verantwortlich, dass sich bestimmte Teilchen untereinander anziehen, abstoßen oder auf eine andere Weise wechselwirken können. Aus dem Alltag sind uns zwei dieser vier Kräfte wohl vertraut: Es ist die Gravitation und die elektromagnetische Wechselwirkung. Mit den anderen beiden Grundkräften haben wir im normalen Leben weniger zu tun, da sie sich praktisch nur im Innern von Atomkernen bzw. auf extrem kurzen Distanzen abspielen: Die starke Wechselwirkung sorgt unter anderem für den Zusammenhalt der Protonen im Atomkern. Die schwache Wechselwirkung ist für Teilchenzerfälle verantwortlich, was beispielsweise die Radioaktivität bestimmter Elemente zur Folge hat.

Starke Kernkraft vs. Coulombkraft

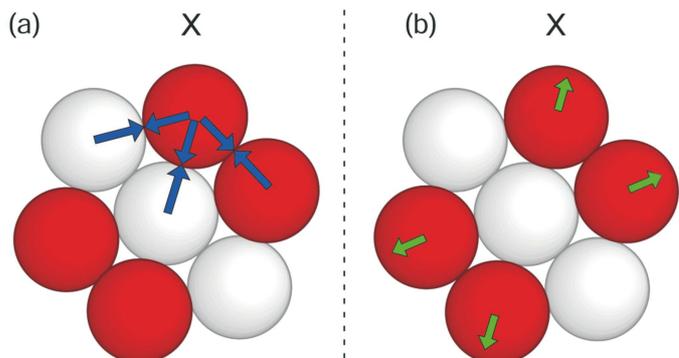
Eigentlich müssten sich die Protonen in Atomkernen voneinander abstoßen, da sie alle eine positive Ladung tragen. Im Grunde machen sie das auch, aber eine andere, sehr viel stärkere Kraft wirkt dieser Abstoßung entgegen: Es ist die starke Wechselwirkung (auch starke Kernkraft genannt), die dafür sorgt, dass Nukleonen (Protonen und Neutronen) sich gegenseitig anziehen und somit also die Atomkerne zusammengehalten werden.

Diese Kernkräfte F_K haben eine sehr geringe Reichweite. Erst wenn die Kernteilchen so dicht beieinander liegen, dass sie sich fast berühren, beginnen die Kräfte zu wirken. Die elektrischen Kräfte F_{el} , die zwischen den Protonen wirken, haben im Prinzip eine unendliche Reichweite. Ihre Stärke nimmt jedoch mit der Entfernung r gemäß $1/r^2$ ab.



Wegen der geringen Reichweite werden die Kernkräfte nur zwischen unmittelbar benachbarten Kernteilchen wirksam. Das ist immer nur zwischen einer begrenzten Anzahl von Teilchen der Fall. Besteht ein Atomkern aus nur einigen wenigen Teilchen, ist jedes Teilchen mit jedem anderen in Kontakt, so dass die Kernkräfte wirksam werden können.

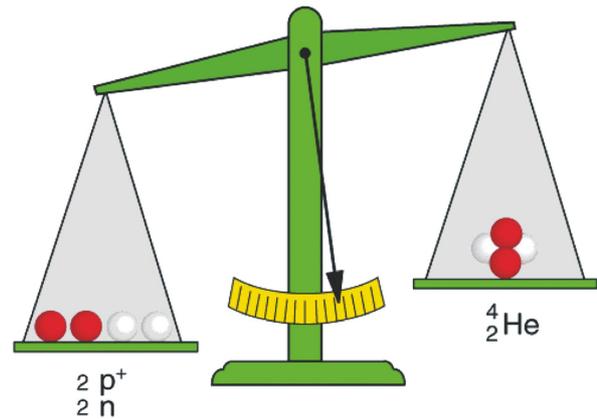
Ist die Teilchenzahl größer, kann nicht mehr jedes Kernteilchen über Kernkräfte mit jedem anderen in Wechselwirkung treten. Anders ist es bei den im Kern auftretenden elektrischen Kräften. Sie stoßen sich alle untereinander ab, auch über die Entfernung vieler Kernteilchen hinweg.



Eine weitere Eigenschaft der Kernkräfte ist, dass sie zwischen allen Teilchen wirken, unabhängig von ihrer Ladung. Die Kernkräfte haben also gleiche Größe zwischen den Teilchenpaaren Proton/Proton, Proton/Neutron und Neutron/Neutron.

Massendefekt und Bindungsenergie

Wie stark die Kernteilchen im Kern zusammengehalten werden, lässt sich berechnen. Das ist am einfachsten am Kern des Heliumatoms darzustellen. Er besteht aus zwei Protonen und zwei Neutronen. Die Masse des Kerns müsste sich eigentlich aus zwei Protonenmassen und zwei Neutronenmassen ergeben. Sehr genaue Massenbestimmungen des Heliumkerns haben aber ergeben, dass seine Masse um $0,050444 \cdot 10^{-27}$ kg geringer als die Summe der Massen der einzeln existierenden Teilchen. Dieser Verlust macht etwa 0,8 % aus.



Der Massenverlust (auch Massendefekt genannt) kommt dadurch zustande, dass beim Zusammenschluss von Protonen und Neutronen zu einem Kern ein kleiner Teil ihrer Massen in Energie umgewandelt wird. Diese Energie wird in Form einer unsichtbaren energiereichen Lichtart (Gammastrahlung) abgegeben und tritt auch z. T. als Bewegungsenergie des entstandenen Kerns auf. Würde der Heliumkern wieder in seine Bestandteile zerlegt werden, müsste genau die verloren gegangene Energie dem Kern wieder zugeführt werden. Der Massenverlust (und damit die abgegebene Energie) ist also für das Zusammenhalten der Kernteilchen verantwortlich.

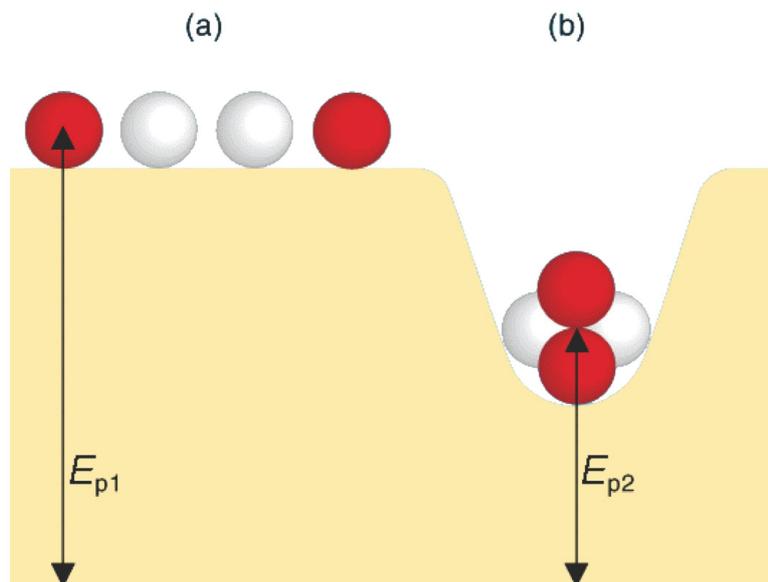
$$6,69510 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

$$6,6446 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

Dass durch Energieabgabe Teilchen zu einer stabilen Einheit zusammengefügt werden können, lässt sich anhand eines mechanischen Modells veranschaulichen.

(a) Vier Kugeln liegen getrennt voneinander auf einer Ebene. Sie haben gegenüber der unteren Ebene potenzielle Energie E_{p1} . Die vier Kugeln entsprechen den zwei Protonen und den zwei Neutronen.

(b) Fallen die vier Kugeln anschließend in die Vertiefung, liegen sie dicht beieinander im stabilen Gleichgewicht. Da sie nun gegenüber der ursprünglichen Position niedriger liegen, haben sie potenzielle Energie abgegeben. Das entspricht der Energieabgabe beim Auftreten der Kernkräfte.



Wie viel Energie aus einer bestimmten Masse entsteht, kann nach dem von Einstein formulierten Gesetz berechnet werden: $E = m \cdot c^2$.

Beim Heliumkern ergibt sich aus dem Massenverlust von $m = 0,050444 \cdot 10^{-27}$ kg eine Energie von $E = 0,4536 \cdot 10^{-11}$ J.

Je größer bei einer Kernentstehung der Massenverlust und damit die Energieabgabe ist, desto fester sind die Kernteilchen aneinander gebunden. Man nennt diese Energie deshalb auch Bindungsenergie.