

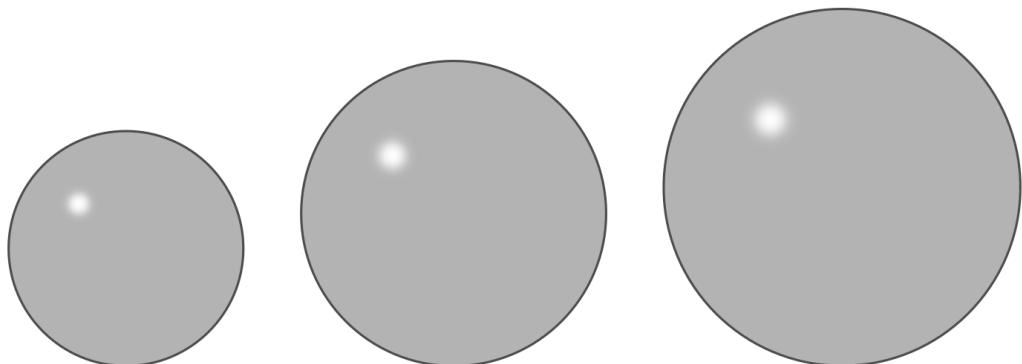
Atom- und Kernphysik

Atommodelle

Wohl schon immer faszinierten den Mensch die Frage, „was die Welt im Innersten zusammenhält“ (Goethe). Im Laufe der Geschichte haben einige Wissenschaftler und Philosophen hierzu einige Theorien entwickelt, um die Ergebnisse der stets neuen, technisch ausgefitterten Experimente erklären zu können.

Demokrits Vorstellung von unteilbaren Materiebausteinen wieder auf. Er entwickelte ein Atommodell mit folgenden Hypothesen:

- Jede Materie besteht aus Grundbausteinen, den unteilbaren Atomen.
- Die Atome eines Elements sind untereinander gleich, die Atome verschiedener Elemente unterscheiden sich stets in ihrer Masse und Größe.
- Jeweils eine ganze Zahl an Atomen verschiedener Elemente bildet Verbindungen.
-

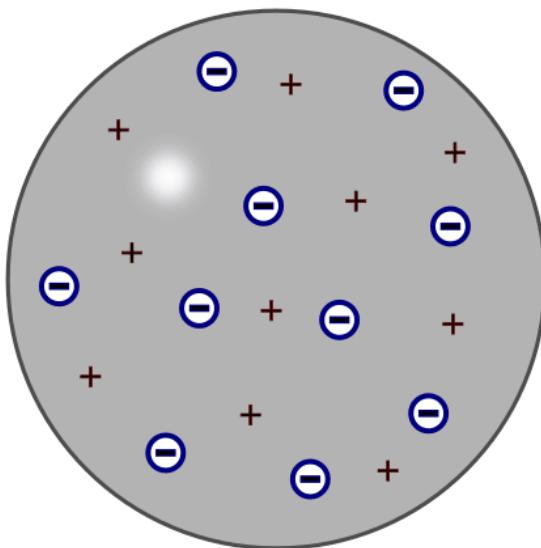


- Das Thomson-Modell

Im Jahr 1897 entdeckte Joseph John Thomson bei Untersuchungen

einer Glühkathode, dass es sich bei der austretenden Strahlung um einen Strom von Teilchen handeln müsse. Diese auf diese Weise entdeckten „Elektronen“ ließen sich durch ein Magnetfeld ablenken und besaßen eine fast 2000 mal kleinere Masse als das leichteste bekannte Atom (Wasserstoff).¹

- Da Thomson diesen „Elektronen“-Strahl aus jedem Metall durch Erhitzen gewinnen konnte, mussten diese Teilchen bereits im Metall enthalten sein; Atome konnten folglich nicht die kleinsten Bausteine der Materie bzw. unteilbar sein.
- Thomson schlug daher im Jahr 1904 folgendes Atommodell vor:
 - Die Atome sind nach außen hin neutral. Sie können jedoch Elektronen abgeben oder zusätzliche aufnehmen.
 - Bei der Abgabe von Elektronen entstehen aus den ursprünglich neutralen Atomen positiv geladene Ionen, bei der Aufnahme von Elektronen entstehen entsprechend negativ geladene Ionen.

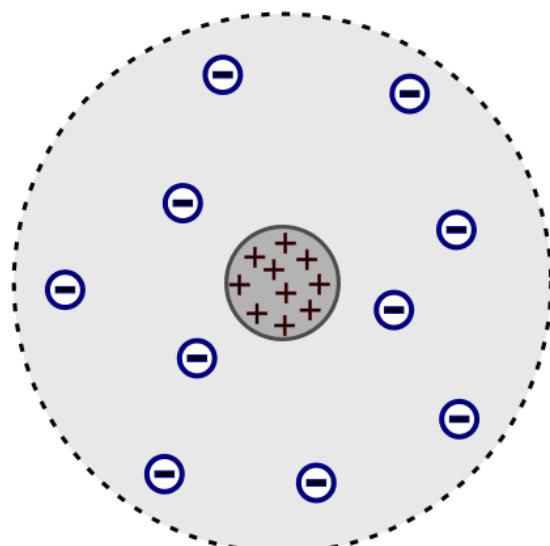


Das Rutherford-Modell

Rutherford fasste seine Erkenntnisse in folgendem Atommodell zusammen:

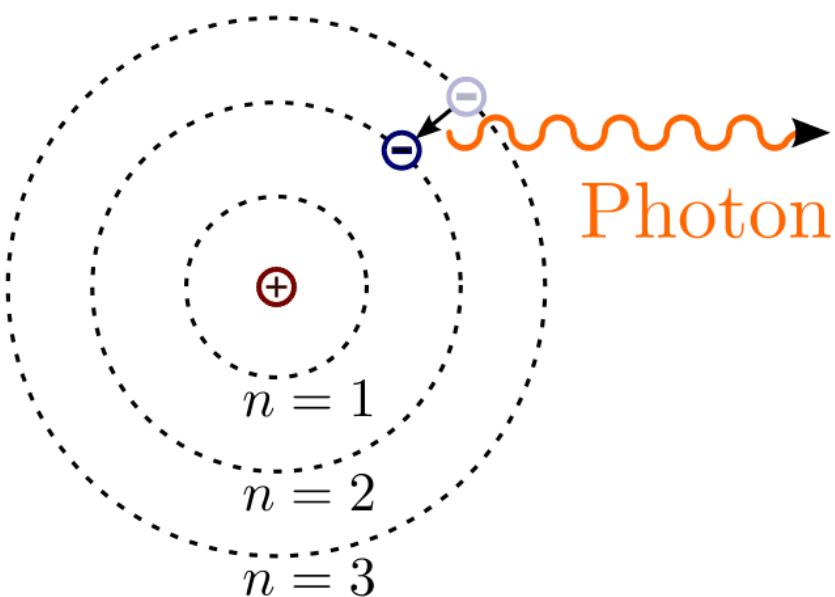
- **[?]** Das Atom besteht aus einem Atomkern und einer Atomhülle.
- **[?]** Der Atomkern ist elektrisch positiv geladen und befindet sich im Zentrum des Atoms.
- **[?]** Der Durchmesser des Atomkerns beträgt nur ein Zehntausendstel des gesamten Atomdurchmessers.
- **[?]** In der Atomhülle befinden sich negativ geladene Elektronen, die um den Atomkern kreisen. (Durch ihre schnelle Bewegung verhindern die Elektronen, dass sie in den entgegengesetzt geladenen Atomkern stürzen.)
- **[?]** Die Atomhülle ist ein fast „leerer“ Raum, da die

Elektronen noch viel kleiner sind als der Atomkern.



Das Bohr-Modell

Bohr war sich zudem bewusst, dass das Modell kreisförmiger Elektronenbahnen einen Widerspruch mit sich führte: Da jede Kreisbahn einer beschleunigten Bewegung entspricht und beschleunigte Ladungen elektromagnetische Wellen abstrahlen, müssten Elektronen ständig Energie abgeben und dadurch immer langsamer werden.



Das Atommodell für Wasserstoff nach Bohr: Jedes Elektron umkreist den Atom- kern auf einer Kreisbahn. Beim Übergang eines Elektrons von einer äußeren Elektronen- bahn in eine innere Elektronenbahn wird ein Lichtquant (Photon) ausgesendet.

Um sein Atommodell zu retten, das auch mit anderen experimentellen Ergebnissen bestens übereinstimmte, führte Bohr die beiden folgenden Postulate ein⁴:

1. Die Elektronen umkreisen den Atomkern strahlungsfrei, d.h. ohne Abgabe von Energie, in bestimmten Bahnen. Dabei nimmt die Energie der Elektronen nur ganz bestimmte, durch die jeweilige Bahn charakterisierte Werte an.
2. Der Übergang zwischen einer kernfernen zu einer kernnahen Bahn erfolgt sprunghaft unter Abgabe einer Strahlung (eines Photons) mit der Frequenz f ,

Die Sommerfeld-Erweiterung

Im Jahr 1916 formulierte Arnold Sommerfeld eine Erweiterung des

Bohrschein Atommodells. Es ging anstelle von Kreisbahnen allgemeiner von elliptischen Bahnen der Elektronen um den Atomkern aus

Ein Postulat ist ein Ansatz, der zu einem sinnvollen Ergebnis führt, auch wenn er theoretisch nicht begründet werden kann bzw. sogar widersprüchlich erscheint.

Auch das Atommodell nach Sommerfeld kommt nicht ohne das Bohrschen Postulat aus, wonach Elektronen den Atomkern strahlungsfrei umkreisen. Die beiden Atommodelle von Bohr und Sommerfeld liefern für das Wasserstoff-Atom sehr genaue Ergebnisse, sind jedoch für Atome mit mehreren Elektronen unzureichend. Die Einführung einer Hauptquantenzahl durch Bohr und einer Nebenquantenzahl durch Sommerfeld hat sich dennoch, wie sich später herausstellte, als sinnvoll erwiesen.

„Unschärferelation“, die Werner Heisenberg formulierte, der Ort und die Geschwindigkeit eines Teilchens niemals gleichzeitig mit beliebiger Genauigkeit bestimmt werden.

Das Orbitalmodell

Die konkrete Form eines Orbitals hängt dabei von vier Quantenzahlen ab:

- Die Hauptquantenzahl n gibt – wie in den Atommodellen nach Bohr und Sommerfeld – das Energieniveau eines Elektrons an.
 - Die Nebenquantenzahl l legt die räumliche Form eines Orbitals und die kleinen Energieunterschiede innerhalb eines Energieniveaus fest.
 - Die Magnetquantenzahl m berücksichtigt das unterschiedliche Verhalten der Elektronen in einem von außen angelegten Magnetfeld.
 - Die Spinquantenzahl s berücksichtigt die unterschiedlichen Eigenrotationen der Elektronen, den so genannten Spin.
- Jedes Elektron wird durch die obigen Quantenzahlen genau charakterisiert.

Der Welle-Teilchen-Dualismus wurde im Jahr 1924 von Louis de

Broglie entdeckt.

Für die Nebenquantenzahl l gilt:

$$l = 0, 1, \dots, n - 1$$

Die Werte der Nebenquantenzahl l entsprechen formal den Abweichungen von einer exakten Kreisbahn im Sommerfeldschen Atommodell. Bei einem bestimmten Energieniveau n treten entsprechend auch n verschiedene Formen an Orbitalen auf.

- Bei einer bestimmten Nebenquantenzahl l sind somit $(2l+1)$ verschiedene Werte für die Magnetquantenzahl möglich. Diese Werte haben eine unterschiedliche räumliche Ausrichtung der jeweiligen Orbitale zur Folge

Nach dem im Jahr 1925 von Wolfgang Pauli formulierten und nach ihm benannten „Pauli- Prinzip“ müssen sich alle Elektronen eines Atoms in mindestens einer Quantenzahl unterscheiden.

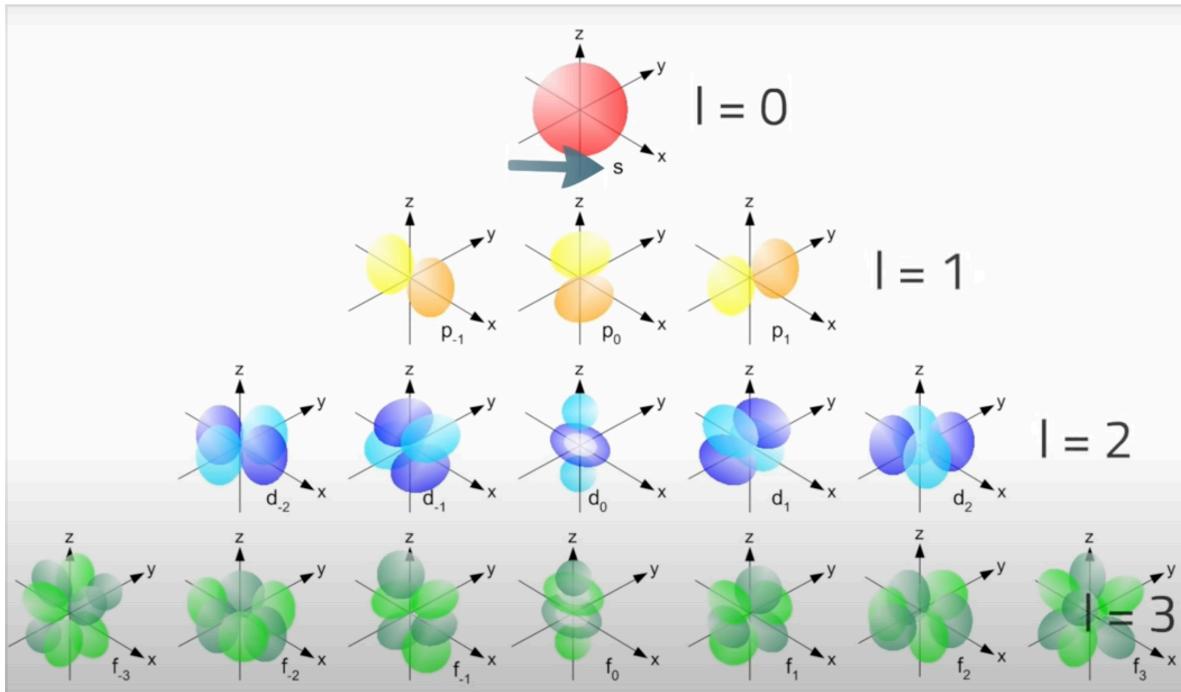
Orbitalformen

Das Aussehen der Orbitale hängt von der Nebenquantenzahl l sowie von der Magnetquantenzahl m ab:

- Aufbau der Materie
Atome sind die kleinsten Bausteine eines jeden chemischen Stoffes. Sie können nicht weiter zerteilt werden, ohne die charakteristischen Eigenschaften des jeweiligen Stoffes zu verlieren. Ein Atom hat einen Durchmesser in der Größenordnung von $1 \cdot 10^{-10} \text{ m} = 1 \text{ \AA}$ (ein „Angström“, benannt nach Anders Angström).

Alle Atome enthalten einen Atomkern, der fast die gesamte Masse eines Atoms beinhaltet. Er besteht aus Kernbauteilchen („Nukleonen“), also aus positiv geladenen Protonen und gleich sch

weren, jedoch ungeladenen Neutronen. Umgeben wird der Atomkern von einer nahezu masselosen Hülle aus Elektronen.



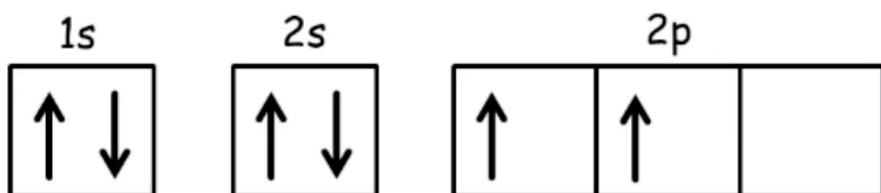
Das Orbitalmodell

Beispiel Arsen

| | | |
|------|------|------|
| $1s$ | $2s$ | $2p$ |
| | | |
| $3s$ | $3p$ | $4s$ |
| | | |
| $3d$ | | $4p$ |
| | | |

Das Orbitalmodell

Beispiel Kohlenstoff



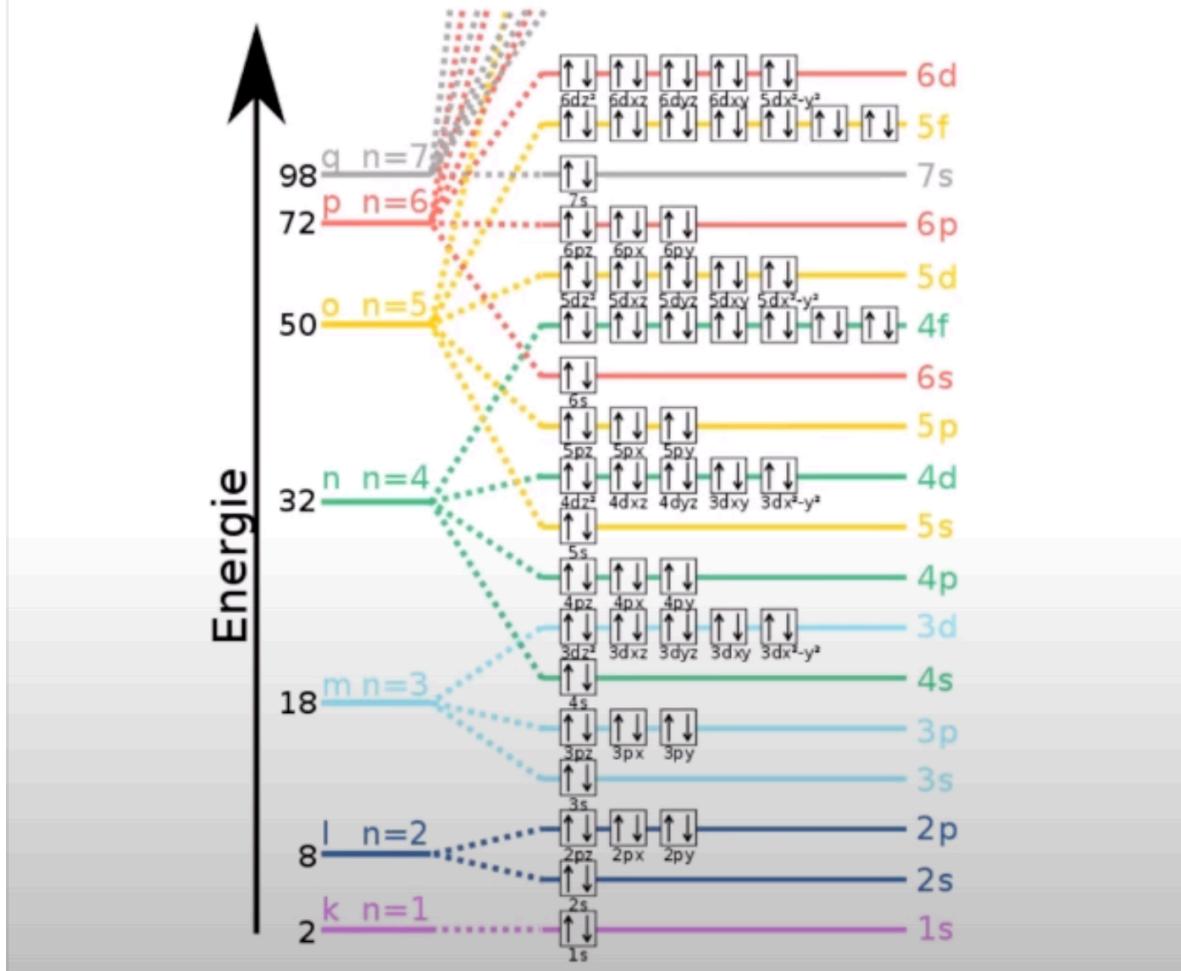
Das Orbitalmodell

Im Orbitalmodell gibt es 4 Quantenzahlen:

| | | | |
|-------------------|-----|------------------------------|--------------------|
| Hauptquantenzahl | n | $n \in \mathbb{N}$ | Energieniveau |
| Nebenquantenzahl | l | $l = 0, \dots, n - 1$ | räuml. Form |
| Magnetquantenzahl | m | $m = -l, \dots, 0, \dots, l$ | räuml. Ausrichtung |
| Spinquantenzahl | s | $s = \pm \frac{1}{2}$ | Eigenrotation |

Pauli-Prinzip (1925): Jedes Elektron in einem Atom lässt sich individuell bestimmen, d. h. in mind. einer Quantenzahl müssen sich zwei Elektronen voneinander unterscheiden.

Das Orbitalmodell

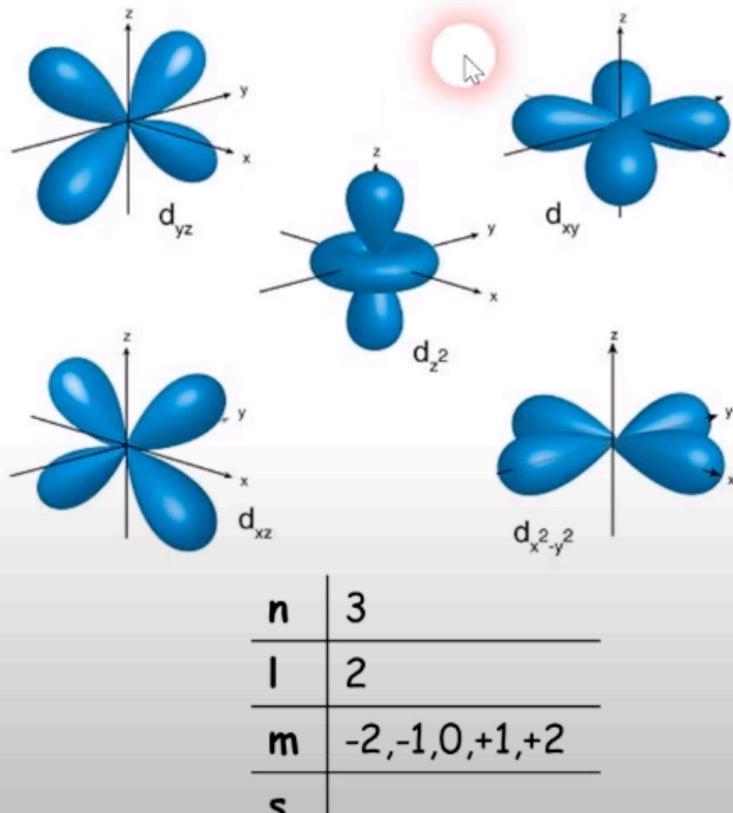


Das Orbitalmodell

The diagram illustrates the orbital model for the first three atomic shells. The top row shows the shells as translucent spheres with electron density clouds. The bottom row shows five tables for 1s, 2s, 2p_x, 2p_y, and 2p_z orbitals, detailing quantum numbers n, l, m, and s.

| 1s | | 2s | | 2p _x | | 2p _y | | 2p _z | |
|----|---|----|---|-----------------|----|-----------------|---|-----------------|---|
| n | 1 | n | 2 | n | 2 | n | 2 | n | 2 |
| l | 0 | l | 0 | l | 1 | l | 1 | l | 1 |
| m | 0 | m | 0 | m | -1 | m | 0 | m | 1 |
| s | | s | | s | | s | | s | |

Das Orbitalmodell



Atomkern

Atomkerne („Nuklide“) setzen sich aus elektrisch positiv geladenen Protonen und elektrisch neutralen Neutronen zusammen;

Die Nukleonen (Neutronen und Protonen) werden durch die sogenannte starke Wechselwirkung zusammengehalten

Diese anziehende Kraft ist im Bereich der kurzen Distanzen des Atomkerns sehr viel stärker als die abstoßende elektrostatische Kraft, die zwischen den positiv geladenen Protonen wirkt

Die Anzahl der Protonen eines Atomkerns wird als Ordnungszahl Z bezeichnet, da sie für jedes chemische Element charakteristisch ist .

Die Anzahl der Neutronen im Atomkern hingegen kann bei verschiedenen Atomen des gleichen Elements variieren.

Die Summe der Protonen- und Neutronenanzahl wird als Massenzahl A bezeichnet, da sie die Masse eines Atomes bestimmt.

Zur Kennzeichnung des Kernaufbaus wird die Massenzahl oben links, die Kernladungszahl Z (Anzahl der Protonen) unten links neben das chemische Symbol geschrieben:

Die Summe der Protonen- und Neutronenanzahl wird als Massenzahl A bezeichnet, da sie die Masse eines Atomes bestimmt. Zur Kennzeichnung des Kernaufbaus wird die Massenzahl oben links, die Kernladungszahl Z (Anzahl der Protonen) unten links neben das chemische Symbol geschrieben:

Beispiel:

Für ein Helium-Atom mit zwei Protonen und zwei Neutronen schreibt man 42He , denn die Kernladungszahl (Anzahl an Protonen) beträgt $Z = 2$, und die Massenzahl (Anzahl an Protonen plus Neutronen) beträgt $A = 4$.

Für ein Kohlenstoff-Atom mit sechs Protonen und sechs Neutronen schreibt man entsprechend 12C .

Für ein Uran-Atom mit 92 Protonen und 143 Neutronen schreibt man entsprechend 235U .

92

Isotope

Chemische Elemente werden durch die Anzahl an Protonen im Atomkern charakterisiert; die Anzahl an Neutronen hingegen kann bei verschiedenen Atomen des gleichen Elements unterschiedlich sein. Atome, die aufgrund der unterschiedlichen Anzahl an Neutronen im Atomkern eine unterschiedliche Massenzahl besitzen, werden als Isotope bezeichnet.

Bei „normalem“ Wasserstoff besteht der Atomkern aus einem einzelnen

Proton:

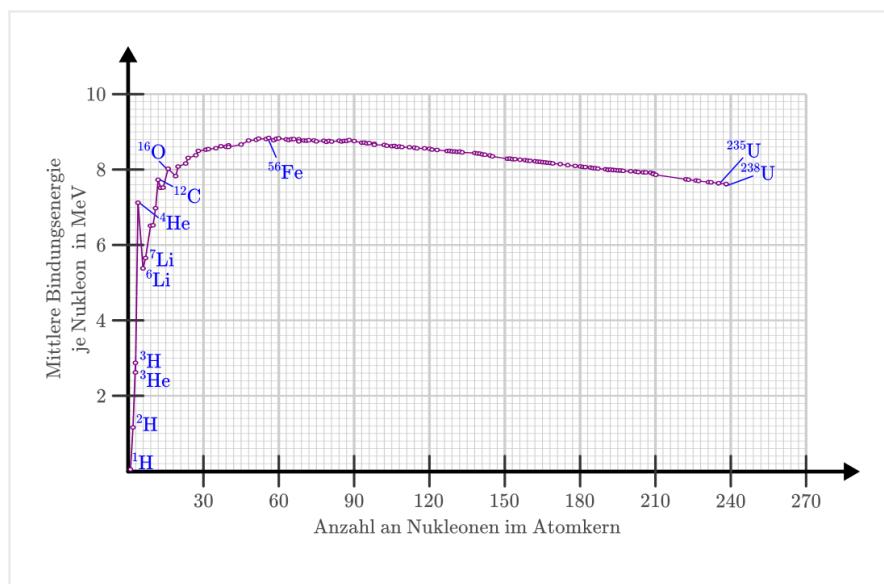
Bei „schwerem“ Wasserstoff (Deuterium, Kurzform D) besteht der Atomkern aus einem Proton und einem Neutron:

Bei „sehr schwerem“ Wasserstoff (Tritium, Kurzform T) besteht der Atomkern aus einem Proton und zwei Neutronen:

Radioaktivität

Als Radioaktivität bezeichnet man die Eigenschaft von bestimmten Nukliden, sich ohne äußere Einwirkung in ein neues Nuklid (oder mehrere neue Nuklide) umzuwandeln; dabei wird Strahlung freigesetzt.

Stabilität von Atomkernen



Haben bei einer Kernfusion zweier leichter Atomkerne die ursprünglichen Kerne in Summe eine höhere Bindungsenergie als der entstehende Kern, so wird bei der Fusion – ähnlich wie bei einer chemischen Reaktion – die Differenz beider Energiemengen frei; die Freisetzung der Energie bewirkt gemäß der Einsteinschen Formel $E = m \cdot c^2$ einen Massendefekt, so dass der bei einer Fusion entstehende Kern etwas weniger Masse besitzt als die beiden ursprünglichen Atomkerne zusammen.

Arten radioaktiver Strahlung

Alpha-Strahlung

Bei einem so genannten Alpha-Zerfall emittiert der ursprüngliche Atomkern ein so genanntes „Alpha-Teilchen“, welches dem Kern eines Helium-Atoms (${}^{42}\text{He}$) entspricht. Ein Alpha-Zerfall lässt sich somit allgemein folgendermaßen beschreiben

Beta-Minus-Strahlung

Bei einem Beta-Minus-Zerfall erhöht sich also die Kernladungszahl um 1, die Massenzahl bleibt unverändert.

Beta-Plus-Strahlung

Bei einem Beta-Plus-Zerfall wird im Kern des ursprünglichen Atoms ein Proton in ein Neutron und ein Positron umgewandelt

Gamma-Strahlung

Gammastrahlung entsteht, wenn Atomkerne energiereiche Lichtquanten (so genannte „Gamma-Quanten“) aussenden; dabei ändert sich weder die Massenzahl A noch die Kernladungszahl Z des Atomkerns.

Gammastrahlen entstehen vielmehr durch einen Übergang eines Atomkerns von einem energetisch angeregten Zustand in einen energetisch niedrigeren Zustand. So entsteht bei Alpha- und Beta-Zerfällen häufig zusätzlich Gamma-Strahlung.

Nachweis radioaktiver Strahlung

Radioaktive Strahlen können auf mehrere Arten nachgewiesen werden:

Entladungsdosimeter

Radioaktive Strahlen können Luft ionisieren, indem sie Elektronen aus den Luftpolekülen herausschlagen. Wird die Luft zwischen zwei geladenen Kondensator-Platten ionisiert, so kann sich der Kondensator langsam entladen. Je stärker die Strahlung ist, desto stärker ist auch die Ionisation und somit die Entladung des Kondensators. Entladungsdosimeter reagieren alle oben genannten Strahlungsarten.

Geigerzähler

Im Jahr 1928 entwickelten Hans Geiger und Walther Müller eine Apparatur, welche die ionisierende Wirkung von Gammastrahlen als akustische Geräusche hörbar machte. Ein solches Geiger-Müller-Zählrohr („Geigerzähler“) besteht aus einem Metallrohr, in dem ein dünner Metallfaden gespannt ist. Der Metallfaden ist elektrisch vom Metallrohr isoliert; zwischen dem Draht und der Rohrwand liegt eine Spannung von rund 500V an. Das Rohr ist mit einem sehr dünnen Fenster aus Glimmer verschlossen, durch das Strahlung ins Innere des Rohres gelangen kann. Trifft ein Gamma-Quant im Inneren des Rohres auf ein Luftteilchen, so wird dieses durch das Herausschlagen eines Elektrons zu einem positiven Ion. Durch das elektrische Feld wird das entstehende positive Ion derart stark beschleunigt, dass es durch Stöße mit anderen Luftteilchen weitere freie Ladungsträger erzeugt („Stoßionisation“). Die Luft wird also dadurch leitend, und es fließt kurzzeitig ein Strom über den Widerstand R . Der kurzzeitige Stromfluss kann bei Verwendung eines geeigneten Verstärkers mittels eines Lautsprechers als „Knacken“ hörbar gemacht werden.

Die Einheit der Aktivität ist nach Henry Becquerel benannt. Nach der obigen Gleichung ergibt sich für 1 Becquerel (1 Bq) folgender Zusammenhang