

Quantentechnologie – ein Einstieg

Was sind Quanten?

Alles besteht aus Quanten! Sie sind die kleinsten bekannten Einheiten von Materie und Energie und somit nicht in kleinere Untereinheiten unterteilbar. Beispiele für Quanten sind Elektronen, Photonen und Quarks. Elektronen sind die negativ geladenen Elementarteilchen, Photonen sind die Quanten des elektromagnetischen Spektrums einschließlich des sichtbaren Lichts und aus Quarks sind die Elementarteilchen Protonen und Neutronen aufgebaut. Quanten haben meist sowohl Teilchen- als auch Welleneigenschaften.

Wie die unteilbaren „Teilchen-Quanten“ können „Energie-Quanten“ nur ganz bestimmte Mengen von Energie enthalten. Photonen entstehen u.a. durch „Quantensprünge“ von Elektronen zwischen verschiedenen Energiezuständen (z. B. verschiedenen Atomorbitalen). Durch Anregung wird ein Elektron in ein Orbital mit einem höheren Energieniveau befördert. Beim Rücksprung wird ein Photon mit einer ganz bestimmten Energie (= Wellenlänge) frei. Der Abstand der Energieniveaus zwischen Orbitalen in unterschiedlichen Atomen unterscheidet sich. So geben unterschiedliche Atome Photonen mit unterschiedlich viel aber klar definierter Energie (= Wellenlänge) ab. Sowohl die „Teilchen-Quanten“ als auch die „Energie-Quanten“ sind also **quantifiziert**.

Diese Quanteneigenschaften treten auch bei größeren Systemen wie Atomen und Molekülen auf. Dabei kommt es aber mit zunehmender Systemgröße, aufgrund von Wechselwirkungen miteinander, zur Unterdrückung von „Quanteneffekten“ und die Objekte verhalten sich wieder „klassisch“.

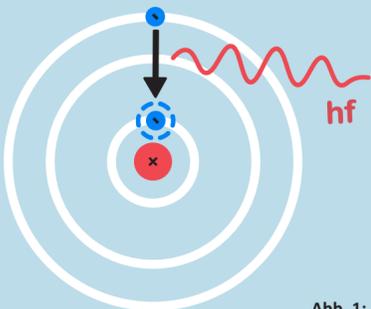


Abb. 1: Emission eines Photons

Was ist ein Zustand?

Ähnlich wie ein Lichtschalter können Quanten unterschiedliche Zustände haben. So hat ein Elektron bspw. den Zustand Spin-Up oder Spin-Down. Dabei beschränken sich die Zustände nicht nur auf den Spin, sondern charakterisieren z.B. ein Elektron durch verschiedene Größen (Quantenzahlen) in einem System. Dazu gehören im Beispiel des Elektrons, welches an einen Atomkern gebunden ist, neben dem Spin, noch der Bahndrehimpuls, seine Schale (Energieniveau) und seine räumliche Ausrichtung.

Was ist Superposition?

Superposition ist die Überlagerung zweier unterschiedlicher Zustände. Ein quantenmechanisches System kann sich somit gleichzeitig in unterschiedlichen Zuständen befinden. Ein bekanntes Gedankenspiel dazu ist Schrödingers Katze, die gleichzeitig tot und lebendig ist. Die Katze befindet sich also in einer Superposition. Natürlich ist dies im Beispiel einer klassischen Katze nicht möglich. In der Welt der Quanten gibt es solche Superpositionen jedoch, welche einen Einfluss auf die Quanten haben. Erst bei einer Messung eines Zustands „entscheidet“ sich das Teilchen für einen der Zustände mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit. Effekte, die aus solchen Superpositionen hervorgehen, sind bspw. das sich Auslöschen oder Verstärken zweier Lichtwellen (Interferenz).

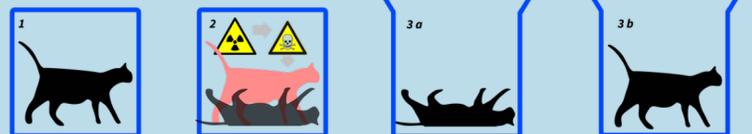


Abb. 5: Schrödingers Katze
geralt, <https://pixabay.com/de/illustrations/physik-schr%C3%B6dingers-katze-3864568/>

Was ist Verschränkung?

Quantenverschränkung ist ein Phänomen, bei dem der Zustand (z.B. Spin) zweier oder mehrerer Teilchen so miteinander verbunden ist, dass eine Messung des Zustands eines Teilchens sofort den Zustand des anderen Teilchens bestimmt, unabhängig von der Entfernung zwischen ihnen. Anwendungsgebiete der Verschränkung sind z.B. die Quanten-Verschlüsselung und Quantencomputer.

Worin liegen die Unterschiede zwischen der Quantenphysik und der klassischen Physik?

In der klassischen Physik ist es möglich die Bewegung eines Objekts bspw. eines Balles präzise vorherzusagen. Kennt man den Abwurfwinkel, die Startgeschwindigkeit und die Masse, so lässt sich die Position und Geschwindigkeit, sowie der Auftreffpunkt des Balles präzise vorhersagen.

In der Quantenmechanik hingegen ist es nicht möglich die Bewegung quantenmechanischer Objekte präzise vorherzusagen. Vielmehr ist es so, dass diese Objekte sich wie im Raum ausbreitende Wellen verhalten, deren Wellenberge und -täler die Wahrscheinlichkeit wiedergeben, dass sich dieses Objekt an einen bestimmten Ort befindet. Dabei treten die vom Licht bekannten Phänomene wie Überlagerung, Interferenzen (siehe unsere Interferometer-Exponate) und Beugung auf.

Und dennoch können diese Wellen wie Teilchen interagieren und dabei bspw. einen Impuls übertragen. Dieses Verhalten wird als **Welle-Teilchen-Dualismus** aufgefasst.

Es sei noch angemerkt, dass die Quantenmechanik für viele Phänomene unserer alltäglichen Welt verantwortlich ist. Darunter z.B. die Schwarzkörperstrahlung, die (Un-)Leitfähigkeit von Materialien und der Magnetismus.

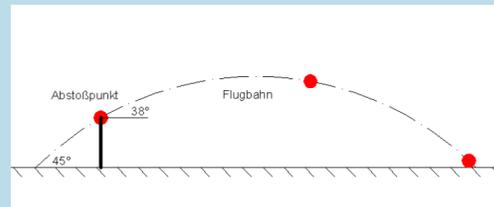


Abb. 2: Ballwurf
Robert Kropf (<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Kugelflug.png>), „Kugelflug“, <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/legalcode>

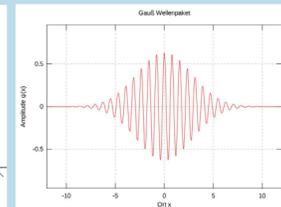


Abb. 3: Gaußsches Wellenpaket
Geek1337 00:36, 10. Sep. 2009 (CEST) (https://de.wikipedia.org/wiki/File:Wave_gauss.svg), „Wave gauss“, <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/de/legalcode>

Was ist ein Spin?

Der Spin wird im klassischen Analogon oft als Eigendrehung (Eigendrehimpuls) eines Quantenteilchens beschrieben. Dabei sieht die Realität etwas komplizierter aus, da Quanten nicht rotieren. Es ist eine Eigenschaft von Quantenobjekten neben der Masse oder der elektrischen Ladung, um diese zu beschreiben. Dieser Spin weist aber Parallelen zu einer Eigendrehung auf, wie die Induktion eines Magnetfeldes. Was der Spin genau ist, wird derzeit noch erforscht.



Abb. 4: Spin