

Begleitheft

Kinderuni Saar

Vorlesungsreihe zum Thema „Quanten“

Thema: „Aus was besteht Licht, wenn man ganz genau hinschaut?“

Referentin: Jun.-Prof. Dr. Elke Neu-Ruffing

Kinderuni – dieses Semester mal ganz anders!

Normalerweise finden die Vorlesungen der Kinderuni immer im Audimax der Universität des Saarlandes statt. Aufgrund der Corona-Pandemie sind weder Besucher auf dem Campus zugelassen, noch dürfen Veranstaltungen stattfinden. Daher haben wir uns überlegt, wie wir dennoch eine Kinderuni anbieten können. Wenn die Kinder schon nicht zu uns kommen können, dann kommen wir zu ihnen! Dies tun wir über den Weg der Schulen, was dem Ganzen ein besonderes Flair verleiht.

Worum geht es in diesem Semester?

Hast du Lust, mit uns in eine Welt einzutauchen, in der alles ein wenig anders zu sein scheint? Dann bist du bei unserer Kinderuni im Sommersemester 2021 genau richtig! Denn dort befassen wir uns mit den sogenannten *Quanten*. Das sind kleinste Teilchen, die so winzig sind, dass du sie mit dem bloßen Auge gar nicht sehen kannst. Und auf der Ebene – also der „Welt“ dieser *Quanten* – ist alles ein wenig anders!

- Kannst du dir vorstellen, dass Teilchen sich scheinbar anders bewegen, wenn sie beobachtet werden?
- Und dass Teilchen gleichzeitig an verschiedenen Orten sein können?
- Oder dass diese Teilchen gar keine Teilchen, sondern Wellen sind?

Mit solchen Fragen beschäftigt sich die sogenannte *Quantenphysik*, also ein Teilgebiet der Naturwissenschaft *Physik*, das speziell Quanten untersucht.

Für dich haben wir Wissenschaftler zur Kinderuni eingeladen, die dir diese Fragen beantworten können. Also, wenn du Antworten auf diese Fragen haben möchtest, schau dir die Videos der Kinderuni zum Thema *Quanten* an.

Wir freuen uns auf dich!

Worum geht es in der Vorlesung?

Jun.-Prof. Dr. Elke Neu-Ruffing, Physikerin an der Technischen Universität Kaiserslautern, hält im Rahmen der Kinderuni-Vorlesungsreihe „Quantenwelten“ im Sommersemester 2021 eine Vorlesung zur Frage „Aus was besteht Licht, wenn man ganz genau hinschaut?“.

Wiederholung – Was sind Quanten?

Der Begriff „Quanten“ kommt vom lateinischen Wort *Quantum*; übersetzt bedeutet das „wie viel“ oder „wie groß“. Damit lässt sich eine der Hauptfragen der Quantenphysik schon grob zusammenfassen: Man stellt sich die Frage, wie groß oder besser wie klein z. B. die kleinste mögliche Energieportion in einem System ist. Besonders deutlich wird das bei Licht: Licht ist eine sogenannte *elektromagnetische Welle* – genau wie Funkwellen, Radiowellen oder auch UV- und Röntgenstrahlen. Jede solche elektromagnetische Welle transportiert Energie. Die Quantenphysik beantwortet nun unter anderem die Frage, wie die Energie in einem Lichtstrahl „verteilt“ ist, wenn man genau hinsieht. Diese Frage dient als Leitmotiv des Vortrags.

Quantenphysik und Licht:

Aus unserem Alltag ist uns bekannt, dass Licht verschiedene Farben haben kann. Es gibt einfarbiges Licht (z. B. ein grüner Laserpointer) oder weißes Licht (z. B. von einer Glühbirne). Was zunächst nicht ersichtlich ist: Weißes Licht enthält alle anderen Lichtfarben, das lässt sich z. B. sichtbar machen durch ein sogenanntes *Prisma*, welches das Licht in die verschiedenen Farben zerlegt, oder wenn Wassertropfen das Sonnenlicht in die Farben des Regenbogens aufspalten. Tatsächlich ist die Farbe des Lichts eine sehr relevante Eigenschaft für die Quantenphysik: Die Farbe des Lichts bestimmt, in welche Portionen (= Quanten) die Energie des Lichts unterteilt ist. Für sichtbares Licht kann man sagen: Blaues Licht enthält größere Energieportionen als grünes, grünes Licht wiederum größere Energieportionen als rotes Licht.

Entdecker der Quantenphysik des Lichts:

Woher aber weiß man überhaupt, dass die Energie in solchen Portionen vorliegt? Vorgeschlagen wurde diese sogenannte *Quantisierung der Energie* von Max Planck (1858-1947) Anfang des 20. Jahrhunderts. Die einzelnen Energieportionen kann man sich auch als Lichtteilchen vorstellen, die Photonen. Im Experiment wird die unterschiedliche Energieportionierung beim Photoeffekt im sogenannten *Hallwachs-Experiment* sichtbar, welches im Fachvortrag gezeigt wird: Eine metallische Platte wird elektrisch aufgeladen. Wird diese z. B. mit rotem Licht beleuchtet, bleibt die Aufladung bestehen. Wird die Platte aber mit blauem bzw. ultraviolettem Licht beleuchtet, dann wird die Platte entladen. Egal wie intensiv, also wie hell man das rote Licht macht und wie lange man beleuchtet: Es kommt nicht zur Entladung. Das liegt daran, dass nur die Energie der Photonen im blauen Licht hoch genug ist, um die negativen Ladungsträger, das sind die Elektronen, aus dem Metall zu befreien und so die Platte zu entladen. Man kann sich das so vorstellen, dass ein einzelnes Photon einem Elektron seine gesamte Energie überträgt und es aus dem Metall löst. Beim roten Licht müssten dazu mehrere Photonen zusammenwirken, das ist aber nicht möglich.

Quantenphysik des Lichts:

Nun stellt sich die Frage, warum uns im Alltag nicht viel öfter auffällt, dass Licht eine Energie-Quantisierung zeigt. Die Antwort liegt darin, dass die Energieportionen ausgesprochen klein sind und deshalb entsprechend viele in „normalem“ Licht enthalten sind. Im Fachvortrag wird dafür das Bild eines Wasserstrahls verwendet: Wird ein Wasserhahn komplett aufgedreht, so sind in dem Wasserstrahl keine einzelnen Wassertropfen mehr erkennbar. Erst wenn ein Wasserstrahl sehr schwach wird, beginnt man, einzelne Tropfen zu erkennen. Um ein Gefühl für die Anzahl der Photonen zu bekommen, kann man z. B. berechnen, wie viele Lichtteilchen pro Sekunde aus einem (schwachen) Laserpointer herauskommen. Man erhält hier Zahlen von 10^{14} Lichtteilchen pro Sekunde, also eine 1 mit 14 Nullen dahinter.

Verglichen mit der Anzahl der Menschen auf der Erde sind das schon 30000 mal so viele. Daher scheint die Energie des Lichts in unserem Alltag kontinuierlich aufzutreten, die Unterteilung in Portionen wird aber nicht sichtbar.

Man kann sich also merken: Licht enthält eine Vielzahl an kleinen Energieportionen, die für das bloße Auge nicht sichtbar sind.

Sichtbarmachen von Photonen:

Heute machen Forschende die einzelnen Photonen sogar viel direkter sichtbar: Hochempfindliche Messgeräte, sogenannte *Einzelphotonendetektoren*, erzeugen für jedes auftreffende Lichtteilchen ein kurzes elektrisches Signal, sozusagen ein „Klicken“, das gemessen wird. Allerdings können diese Detektoren nicht beliebig schnell hintereinander „klicken“, deshalb kann man sie nur auf sehr schwache Lichtstrahlen anwenden, die nur ungefähr eine Million Lichtteilchen pro Sekunde enthalten. Solch schwaches Licht nehmen menschliche Augen praktisch nicht mehr wahr. Damit ist auch direkt klar, dass solche Experimente sehr sorgfältig gegen Licht aus der Umgebung abgeschirmt werden müssen.

Lichtstrahlen und Zufall:

Am Beispiel sehr schwacher Lichtstrahlen kann man sich auch klar machen, dass Zufall und statistische Prozesse in der Quantenmechanik, wie schon im vorangegangenen Vortrag von Prof. Dr. Christoph Becher gezeigt, sehr wichtig sind: Trifft ein Lichtstrahl auf einen sogenannten *Strahlteiler*, so wird der Strahl in zwei gleich helle Lichtstrahlen aufgespalten. Was aber geschieht nun mit einem einzelnen Photon an einem Strahlteiler? Wenn man an die beiden Ausgänge des Strahlteilers Einzelphotonendetektoren stellt, merkt man schnell: Das einzelne Lichtteilchen „muss sich entscheiden“, welchen Weg es nimmt; es landet ganz zufällig mit einer Wahrscheinlichkeit von 50% auf einem der beiden Detektoren. Für ein einzelnes Lichtteilchen kann man nicht voraussagen, welchen Weg es nimmt.

Diesen Effekt nutzen Forschende, um zu untersuchen, ob Lichtstrahlen wirklich aus aufeinanderfolgenden einzelnen Photonen bestehen: Stellt man an beide Ausgänge des Strahlteilers einen Einzelphotonendetektor, so werden diese beiden niemals gleichzeitig „klicken“, wenn es sich um einen Strahl einzelner Photonen handelt.

Lichtstrahlen aus einzelnen Photonen:

Doch wie erzeugt man solche Strahlen, die aus einzelnen Photonen bestehen, in denen also nie mehrere Photonen gleichzeitig enthalten sind?

Aufgrund der statistischen Verteilung der Photonen in einem Lichtstrahl, z. B. einem Laserstrahl, funktioniert das nicht einfach dadurch, dass man den Lichtstrahl immer weiter abschwächt, z. B. indem man ihn immer wieder durch *Graufilter* schickt. (Einen Graufilter kann man sich ganz ähnlich zum getönten Glas einer Sonnenbrille vorstellen.) Man muss mit Systemen arbeiten, die bei jedem „Leuchtvorgang“ nur ein einzelnes Photon erzeugen.

Das funktioniert z. B. mit einem einzelnen Atom: Wenn ein einzelnes Atom Energie aufnimmt, dann sendet es diese im Anschluss als einzelnes Photon aus. Da aber eine gewisse Zeit vergeht, bis das Atom wieder Licht aussendet, bekommt man nie mehrere Photonen auf einmal, wenn man nur ein Atom betrachtet. Die kleinste mögliche Zustandsänderung des Atoms nennt man auch einen *Quantensprung*. Interessanterweise wird der Begriff in der Politik oft fälschlicherweise für eine sehr große, tiefgreifende Veränderung verwendet, dabei ist ein Quantensprung in der Physik gerade die kleinstmögliche Änderung.

Da es technisch aufwendig ist, einzelne Atome an einem Ort festzuhalten (zu fangen), werden heute oft auch Systeme in Festkörpern verwendet, die einzelne Photonen aussenden, dazu gehören z. B. einzelne Verunreinigungsatome in Kristallen *Farbzentren* oder auch nur wenige Nanometer große Strukturen aus Halbleitern, sogenannte *Quantenpunkte*.

Relevanz und Anwendung:

Warum erforscht man solche Systeme? Einzelne Photonen eröffnen neuartige Wege zur sicheren Übertragung von Informationen. Jedes versendete Photon überträgt dabei eine 0 oder eine 1. Informationsformate aus 0 und 1 werden z. B. auch im Computer verwendet, um daraus beliebige Informationen (z. B. einen Text) aufzubauen. Die Sicherheit der Übertragung entsteht durch die Tatsache, dass einzelne Photonen zerstört werden, wenn man diese mit einem Einzelphotonendetektor misst. Gleichzeitig kann man ein einzelnes Photon aber nicht teilen, wie oben beschrieben. Versucht nun also jemand Informationen, die mit einzelnen Photonen gesendet werden, abzuhören, wird er*sie dabei zwangsläufig die Photonen zerstören.

Das würde sofort auffallen, da die Übertragung abbricht. Der*die Lauschende kann nun versuchen, Kopien der Photonen, die er*sie zerstört hat, zum*zur eigentlichen Empfänger*in zu senden. Da gibt es aber einen Haken: Die Gesetze der Quantenmechanik besagen, dass bei diesem „Clonen“ der Photonen zwangsläufig Fehler passieren. Das wiederum fällt auf, wenn Teile der empfangenen und der im Original gesendeten Nachricht verglichen werden, und das Abhören wird entdeckt.

Den einzelnen Photonen kommen in den neu aufkommenden Quantentechnologien noch weitere Aufgaben zu: In *Quantennetzwerken* verteilen sie mit Lichtgeschwindigkeit die Informationen; es gibt Ansätze, dass Quantencomputer mit Photonen rechnen werden. Es steckt also viel mehr in Licht als wir täglich sehen!

Wie kann das Thema mit Kindern behandelt werden?

Das Thema *Quanten* ist komplex – vor allem für Kinder! Zugleich ist es aber sehr spannend, interessant und bietet eine Vielzahl an Lernchancen und -gelegenheiten. Aus diesem Grund soll der folgende Link einen Impuls darstellen, wie das Thema mit Kindern (auch im Grundschulunterricht) behandelt werden kann.

Versuch für zu Hause:

Wie bereits erwähnt, kann Licht verschiedene Farben haben. Weißes Licht kann mithilfe eines Prismas in seine *Spektralfarben* zerlegt werden. (Unter Spektralfarben versteht man die Farben Rot, Orange, Gelb, Grün, Blau, Indigo und Violett, also reine Farben, die nicht weiter in andere Farben zerlegt werden können.) Weitere Infos und einen Versuch zum Nachmachen finden sich unter folgendem Link:

<https://www.leifiphysik.de/optik/farben/grundwissen/spektralfarben>