

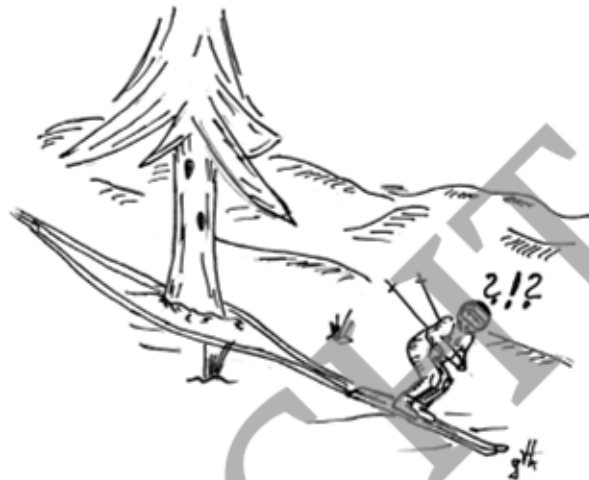
Welle, Teilchen und Wahrscheinlichkeit – ein Quantenzirkel

Dr. Johannes Günther, Karlstadt

Die Welt des Mikrokosmos ist geheimnisvoll. Die Gesetzmäßigkeiten, die wir aus unserer alltäglichen Erfahrung ableiten, verlieren hier ihre Gültigkeit und müssen durch die entsprechenden Gleichungen der Quantenphysik ersetzt werden. Dies birgt so manche Überraschung!

In Zusammenhang mit Interferenzphänomenen wird Licht als Welle betrachtet. Aber diese Theorie hat ihre Grenzen. So lassen sich die Phänomene beim Fotoeffekt nur mit dem Teilchencharakter der Lichtquanten erklären. Verdeutlichen Sie den Lernenden dieses Dilemma.

Führen Sie Ihre Schüler dann schrittweise an das anspruchsvolle Thema Quantenphysik heran. Bringen Sie Ihren Schülern den Begriff der Aufenthaltswahrscheinlichkeit so weit nahe, dass sie ihn beim Quantenfußball spielerisch auf die Position des Balls anwenden können.



II/E

**Eigenverantwortlich
und mit Freude
an Stationen lernen!**

Der Beitrag im Überblick	
Klasse: 12 (G8) Dauer: circa 6 Stunden Ihr Plus ✓ Quantenfußball – eine spielerische Auseinandersetzung mit den Grundlagen des quantenmechanischen Messprozesses ✓ Schülerexperimente	Inhalt • Beugung und Interferenz am Einfach- und Doppelspalt und an einem Haar • Fotoeffekt • Abhängigkeit des Fotoeffekts von der Farbe des Lichts • Fluoreszenz des Chlorophylls • Quantenradierer

Gott würfelt nicht – oder doch?

Besprechen Sie mit Ihren Schülern, dass in der Quantenphysik die Zufälligkeit von Einzelprozessen nichts mit der Unvollkommenheit unserer Beobachtungswerkzeuge zu tun hat. Die Quantentheorie ist als statistische Theorie formuliert. Die von ihr postulierten Aufenthalts- und Übergangswahrscheinlichkeiten sind von fundamentaler Natur. Dies hat philosophische Konsequenzen, widerspricht es doch dem Kausalitätsprinzip der klassischen Physik. Für den Zerfall eines Atomkerns oder die Position des einzelnen Messpunktes beim Doppelspaltexperiment mit einzelnen Photonen gibt es scheinbar keine Ursache.

Lassen Sie Ihre Schüler miteinander diskutieren!

Quantenphysik kann man nicht lernen, man muss sie anwenden und ausprobieren, um sie zu verstehen. Lassen Sie die Schüler ihre Gedanken formulieren. Die Quantenphysik erfordert viele Konzeptwechsel. Dazu ist es wichtig, sich zunächst der eigenen Gedanken und Vorstellungen bewusst zu werden. Keinesfalls geben Sie Patentrezepte vor. Diverse Materialien (wie Fotos oder Videos aus dem Internet) sind eine gute Anregung für Klassengespräche oder Diskussionsrunden.

Ziel

Ziel der Unterrichtseinheit ist es,

- den Schülern die Andersartigkeit der mikrophysikalischen Vorgänge näherzubringen,
- sie in Experimenten, die sie selbst durchführen, das seltsame Verhalten der Quanten erleben zu lassen,
- sie dadurch zu einer intensiven Auseinandersetzung mit den Modellvorstellungen für das Licht zu bewegen und auch dazu, über den Modellbegriff selbst nachzudenken,
- ihnen einen Zugang zu den abstrakten Begrifflichkeiten der Quantenphysik zu ermöglichen.

Wenn das zunächst schwerfällt, so trösten Sie Ihre Schüler. Alle, die sich mit Quantenphysik beschäftigen, empfinden sie – wie Feynman es formuliert – als schwer verständlich, da es nicht möglich ist, sich *anschauliche* Vorstellungen der ablaufenden Prozesse zu machen.

Weiterhin sollen die Schüler begreifen, dass die Quantenphysik eine Revolution in der Physik bedeutete und viele philosophische Fragen aufwirft.

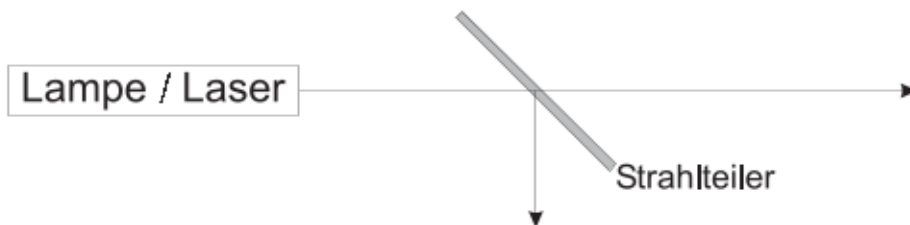
Vorschläge für eine Weiterführung des Themas

Folgendermaßen können Sie das Thema weiterführen:

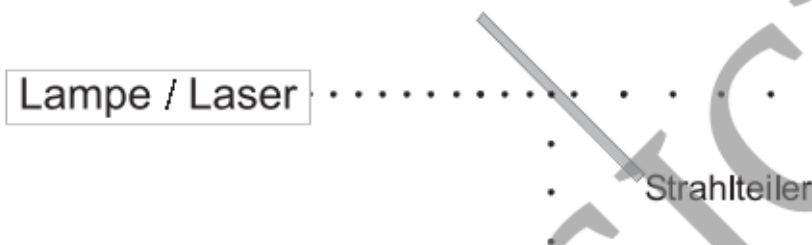
- Führen Sie auch für das Elektron die Materiewelle (De-Broglie-Welle) und die Schrödinger-Gleichung ein.
- Diskutieren Sie das Modell des Potenzialtopfes.
- Besprechen Sie die Vorgänge in den Atomorbitalen.
- Behandeln Sie Absorptionsspektren.

M 1 Die verschiedenen Modellvorstellungen für das Licht

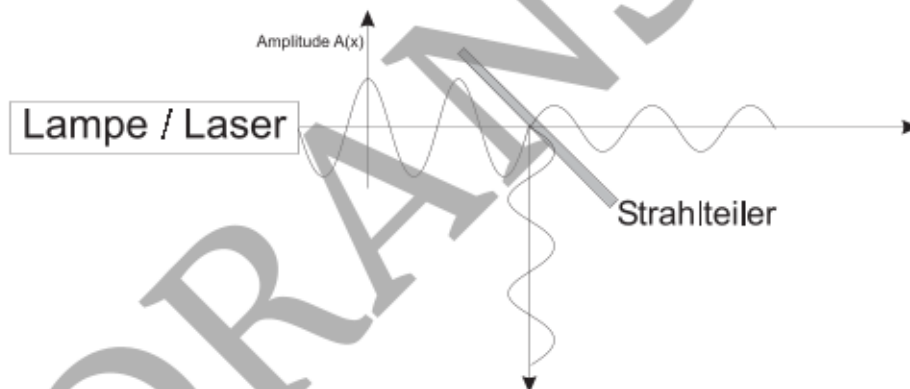
Modell Lichtstrahl



Teilchenmodell



Wellenmodell



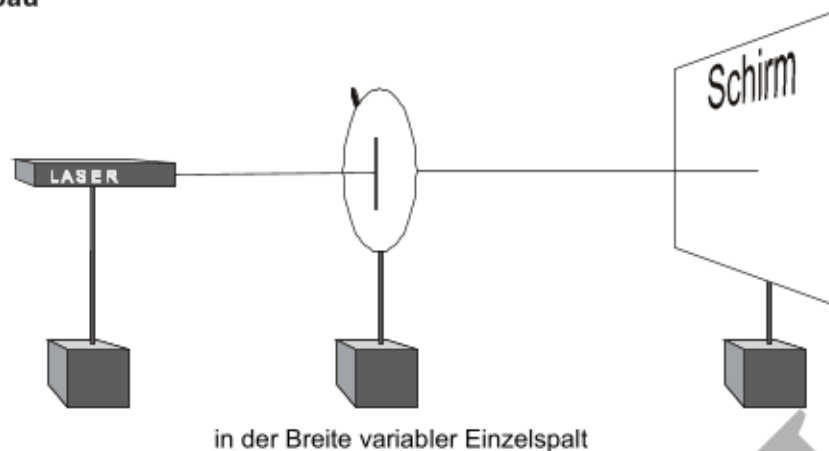
Wahrscheinlichkeitsinterpretation der Quantenmechanik



II/E

Station 2 Beugung am Einzelspalt

Versuchsaufbau



Versuchsdurchführung

Leuchten Sie mit dem Laser durch den Spalt und schließen Sie dann den Spalt langsam. Beobachten Sie das entstehende Interferenzmuster auf dem dahinterliegenden Schirm.

Aufgabe

- Zeichnen und beschreiben Sie Ihre Beobachtungen abhängig von der Spaltbreite möglichst genau. Was erwarten Sie? Was überrascht Sie?
- Welche Modellvorstellung des Lichts kann diesen Versuch erklären, welche nicht?
- Beschreiben Sie Gemeinsamkeiten und Unterschiede zum Doppelspalt.
Überlegen Sie, wie sich mit diesem Erklärungsansatz Maxima und Minima höherer Ordnung erklären lassen. Folgender Text hilft Ihnen dabei.



Tipp

Jeder Punkt im Spalt sendet nach Huygens eine Elementarwelle aus. Wir betrachten insgesamt $2n$ Elementarwellen.

Der Gangunterschied zwischen der ersten und der letzten, $2n$ -ten Elementarwelle sei eine Wellenlänge. Dann ist der Gangunterschied zur mittleren n -ten Elementarwelle eine halbe Wellenlänge. So kann also die erste mit der n -ten, die zweite mit der $(n+1)$ -ten usw. destruktiv interferieren. Dies geht so weit, dass die $(n-1)$ -te Elementarwelle mit der $2n$ -ten destruktiv interferiert, sodass sich alle Elementarwellen jeweils paarweise aufheben und insgesamt ein Minimum entsteht.

Dies gilt wieder, wenn der Gangunterschied zwischen der ersten und der letzten zwei Wellenlängen beträgt. Dann wird das Licht, das durch den Spalt fällt, eben in vier Teilbündel zerlegt.

Das Entstehen von Maxima höherer Ordnung lässt sich dadurch erklären, dass man das gesamte Lichtbündel in insgesamt $3, 4, \dots, n$ Teilbündel zerlegen kann, die jeweils miteinander interferieren. Der gesamte Gangunterschied ist dann jeweils n halbe Wellenlängen. Bei ungeraden Teilbündelzahlen findet nicht jede Elementarwelle einen Partner zum Auslöschen, sodass insgesamt konstruktive Interferenz auftritt.

