

Physik: Quantenmechanik

Description

Gehört zu: [Physik](#)

Siehe auch: [Kosmologie](#), [Teilchenphysik](#), [Von Pythagoras bis Einstein](#), [Lineare Algebra](#), [Plancksches Strahlungsgesetz](#)

Benötigt: [WordPress Latex-Plugin](#), [Fotos von Wikipedia](#)

Stand: 22.08.2024 (Doppelspalt-Experiment, Compton-Streuung, Observable)

Der Weg der Quantenmechanik

Im Jahr 1900 formulierte **Max Planck** (1858-1947) sein **Strahlungsgesetz** und seine Quantenhypothese. Erst um 1925 entwickelte sich daraus eine Quantentheorie/Quantenmechanik, die die physikalischen Systeme im Kleinen (z.B. Elementarteilchen, Atome, ...). gut beschreibt. Wesentliche Etappen sind:

- Thomas Young: Doppelspalt-Experiment mit Licht 1802
- [Planck](#): Strahlungsgesetz, Quantenhypothese 1900
- [Einstein](#): Lichtquanten, Photoelektrischer Effekt 1905
- Das Bohrsche Atommodell 1913
- Compton-Streuung 1922
- Welle-Teilchen-Dualismus / [Materiewellen](#) / Luis de Broglie 1924
- Heisenberg: Matrizenmechanik 1925
- Die [Schrödinger Gleichung 1926](#) / [Wellenfunktion](#) / Wellenmechanik
- [Kopenhagener Deutung 1927](#) / Observable und Operatoren
- Die [Heisenbergsche Unschärferelation 1927](#)
- ...

Klassische Mechanik

Youtube-Video von Sean Carroll: <https://youtu.be/dCrbOmBsTRk?feature=shared>

Vor der Quantenmechanik hatten wir so bis 1890 eine schöne heile Welt. Die klassische Mechanik mit wenigen kleineren ungelösten Fragen. Dachte man.

Wir hatten Materie und Kräfte. Die Materie bestand aus Teilchen, die Kräfte waren Felder. Man musste also alle Teilchenarten finden und dann die Kraftfelder, die auf sie wirken, um das Verhalten der Teilchen mit Ort und Geschwindigkeit zu beschreiben. Dachte man.

Dann kam aber die Quantenmechanik und wollte statt mit Ort und Geschwindigkeit alles mit [Wellenfunktionen](#) beschreiben. so eine Welle hätte aber keinen Ort.

Verständnis der Quantenmechanik

Die Formalismen der Quantenmechanik dienen lediglich als Mittel zur *Vorhersage* der relativen Häufigkeit von Messergebnissen; diese werden als die einzigen Elemente der Realität angesehen.

Eine wirkliches â??inneresâ?• Verständnis der Quantenmechanik ist heute noch nicht vorhanden. Man kann zwar damit â??rechnenâ?•, weiss aber eigentlich nicht, was da â??im Innerenâ?• passiert.
Link: https://en.wikipedia.org/wiki/Interpretations_of_quantum_mechanics

Zitat **Richard Feynman**: â??*I think I can safely say that nobody understands quantum mechanics.*â?•

Link:

https://www.researchgate.net/post/I_think_I_can_safely_say_that_nobody_understands_quantum_mechanics

Das Doppelspalt-Experiment mit Licht

Thomas Young (1773-1829) hat im Jahre 1802, das berühmte Doppelspalt-Experiment mit Licht unternommen. Es zeigt Interferenzmuster, was klar auf den **Wellencharakter des Lichts** hinweist. Damals war die gängige Lehre noch, dass Licht aus Teilchen besteht.

Das Experiment gehört zu den Schl sselexperimenten der Physik.

Später hat man dieses Experiment auch mit **Materiewellen**, z.B. 1957 Claus Jönsson mit Elektronen, durchgeführt.

Das Plancksche Strahlungsgesetz

Max Planck (1858-1947) beschäftigte sich mit die Strahlung eines sog. â??Schwarzen Strahlersâ?•. Speziell ging es ihm darum, wie sich in Abhängigkeit von der Temperatur die abgestrahlte Energie über die Wellenlängen hin verteilt. Früheren Formeln zur Verteilung der Energie über die Wellenlängen z.B. von Wilhelm Wien und später von Rayleigh-Jeans waren nur Teilerfolge, da sie nur Näherungen für kleine Wellenlängen bzw. größere Wellenlängen waren.

 ber das Plancksche Strahlungsgesetz habe ich eine [separaten Blog-Beitrag](#) geschrieben.

Quelle: http://www.quantenwelt.de/quantenmechanik/historisch/schwarze_korper.html

Plancks Quantenhypothese

Häufig hört man, dass aus **Plancks Formel** angeblich die Aussendung der Energie in sog. **Quanten** (ganzzahlige Vielfache von h mal ν) folgt. Das kann man aber aus der Formel selbst überhaupt nicht ableiten.

Vielmehr ist es so, dass Planck, nachdem er die Formel formuliert hatte, versuchte sie **herzuleiten**. Dabei modellierte er (angeblich) die elektromagnetische Strahlung (das Licht) als **Teilchen**, die sich wie

ein Gas verhalten sollten. Die unterschiedlichen Geschwindigkeiten solcher Teilchen modelliert Planck als unterschiedliche Wellenlängen der Strahlung?

Ein solches **Teilchen** sollte eine von der Frequenz seiner Strahlung abhängige Energie haben. **Das ist die zentrale Formel (Quantenhypothese) von Planck:** $(E = h \cdot \nu)$

Der Photoelektrische Effekt

Einfacher für mich ist die Erklärung mit dem photoelektrischen Effekt. Nach **Einstein** (1879-1955) besteht das Licht aus Teilchen mit der Energie $(E = h \cdot \nu)$, um den **photoelektrischen Effekt** zu erklären. Diese Lichtteilchen nennt Einstein **Photonen**. Allerdings haben die Photonen die **Ruhemasse** Null und bewegen sich in Vacuum immer mit der konstanten Geschwindigkeit der Lichtgeschwindigkeit c .

Nach Einstein nimmt die Intensität von Licht dadurch zu, dass mehr Photonen mit der gleichen Energie pro Teilchen abgestrahlt werden. Der photoelektrische Effekt wirkt aber erst dann, wenn das einzelne Photon die erforderliche Energie hat, um Elektronen aus dem Basismaterial herauszulösen. Es ist also nicht eine bestimmte hohe Intensität des Lichts erforderlich, sondern eine bestimmte hohe Frequenz, um die Auslösarbeit zu leisten?

Dieses Experiment zeigt den **Teilchencharakter des Lichts** mit Teilchen der Energie $(E = h \cdot \nu)$.

Das Bohrsche Atommodell

Der Erfolg dieser Theorien brachte **Niels Bohr** (1885-1962) dazu, so eine Quantelung auch für die Energieniveaus der Elektronen-Orbitale in seinem [Atommodell](#) anzunehmen.

Man stellt sich dabei so ein Orbital als eine stehende Welle (s. [Wellenfunktion](#)) vor.

Compton-Streuung

Der US-amerikanische Physiker **Arthur Compton** (1892-1962) machte 1922 das berühmte Experiment zur Streuung von Photonen an Elektronen. Dabei war die Frequenz des gestreuten Lichts kleiner als die Frequenz des eingestrahnten Lichts. Diese Differenz in der Frequenz erklärte er durch die an das Elektron übertragene Energie: $(\Delta E = h \cdot \nu_1 - h \cdot \nu_2)$

Dieses Experiment zeigt erneut den **Teilchencharakter des Lichts** mit Teilchen der Energie $(E = h \cdot \nu)$.

Dieser Effekt der Frequenzveränderung ist bei sichtbarem Licht so klein, dass man ihn damals nicht messen konnte. Bei kurzwelligerem Licht (Röntgenstrahlen) ist der Effekt deutlich größer, aber man braucht ein genaues Verfahren zum Messen der Wellenlänge von Röntgenlicht. Letzteres machte Compton mit einem Bragg-Kristall.

Materiewellen

Nun ist aber nicht nur so, dass Wellen Teilchencharakter haben, sondern auch Teilchen können Wellencharakter haben.

Zu diesem sog. Welle-Teilchen-Dualismus habe ich einen [separaten Blog-Beitrag](#) geschrieben.

Quantelung

Welche physikalischen Größen sollen den nun „gequantelt“ sein; d.h. nur in ganzzahligen Vielfachen einer (kleinen) Elementargegröße (=Quanten) vorkommen? Kommt jede physikalische Größe in „Quanten“ oder nur bestimmte?

Ich habe in Heidelberg gehört, dass die Quantelung nur für physikalische Größen zutrifft, die **konjugiert** zu einer periodischen Größe sind. Was immer das heissen mag!

Die Wellenfunktion

Zur Beschreibung quantenmechanischer Systeme (z.B. Photonen, Elektronen, ...) verwendet die Quantenmechanik sog. [Wellenfunktionen](#). Das sind komplexwertigen Funktionen, die vom Ortsvektor $\mathbf{r}$ und von der Zeit t abhängen können:

$$\Psi(\mathbf{r}, t): \mathbb{R}^3 \times \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{C}$$

Dabei, so sagt man, beinhaltet eine Wellenfunktion alle Informationen, um das betreffende quantenmechanische System zu beschreiben. Die Wellenfunktion selbst ist keine beobachtbare Größe, aber aus der Wellenfunktion lassen sich Wahrscheinlichkeitsdichten für alle denkbaren physikalischen Größen berechnen (mit Hilfe sog. Operatoren).

Wie man zu einem quantenmechanischen System die zugehörige Wellenfunktion findet, ist eine besondere Geschichte, die zur [Schrödinger Gleichung](#) führt!

Meine Hauptpunkte dazu:

1. Wenn man eine Wellenfunktion hat, wie kommt man dann zu den Observablen? Stichworte: Operatoren, Korrespondenzprinzip,
2. Wie bekommt man überhaupt die Wellenfunktion zu einem quantenmechanischen System? Stichwort: Schrödinger,

Die Schrödinger-Gleichung

Die Schrödinger-Gleichung ist eine partielle Differentialgleichung deren Lösungen die Wellenfunktionen des betrachteten quantenmechanischen Systems sind.

Näheres dazu habe ich in einem [separaten Blog-Artikel](#) geschrieben.

Die Kopenhagener Deutung

Es war die Frage, was die Schrödingersche Wellenfunktion eigentlich bedeuten sollte?

CATEGORY

1. LaTeX Plugin
2. Physik

POST TAG

1. Quantenphysik

Category

1. LaTeX Plugin
2. Physik

Tags

1. Quantenphysik