

Das Standardmodell der Atomphysik

Es gibt in der Natur zwei Phänomene, die Impuls übertragen können:

- Massen (Teilchen)
- Wellen (masselose Deformation des Mediums: Auslenkung)

Massen

werden über ihre lokalisierte Impulswechselwirkung in einem Messgerät nachgewiesen.

Wellen

erfassen von einem Zentrum ausgehend das Medium und breiten sich mit einer für das Medium typischen Geschwindigkeit aus.

Betrachten wir den Spezialfall polarisierter Sinusförmiger Transversalwellen (→)

Periodische (Sinus-) Transversalwellen zeigen eine zeitliche und räumliche Struktur:

Eine Momentaufnahme des Raums zeigt eine Sinuswelle der Phase (Wellenlänge)

Eine Messung der Phase an einer Stelle ist zeitlich periodisch (Frequenz)

Wellen können etwas, was Massen naturgemäß nicht können: Interferieren

Überlagern sich Wellen gleicher Amplitude und Frequenz, so entsteht eine Stehende Welle
Mit Knoten und Bäuchen.

Beachte: Knotenabstand = halbe Wellenlänge.

„Eingesperrtes Wellenmedium“: Saiten eines Musikinstruments

Bei genauer Betrachtung: vom Anregungspunkt aus laufen ständig zwei Wellen (gleicher Amplitude und Frequenz) zwischen den Endpunkten hin und her und überlagern sich zur stehenden Welle.

Die Einschränkung „Enden fest“ erlaubt nur bestimmte Stehende Wellen:

Grundschwingung und Oberschwingungen mit $\frac{1}{2}$ Wellenlänge = Länge / n

Wichtig:

- Aufeinandertreffende Massen können keine stehenden Wellen produzieren.
- Und laufende Wellen haben keine Masse, sind keine Massen.
- Es sind Auslenkungen eines Wellenmediums.

Seilwellen sind Transversalauslenkungen des 1D-Seils in der 2. Dimension

Wasserwellen sind Transversalauslenkungen der 2D-Wasseroberfläche in der 3. Dimension

Schallwellen sind Longitudinalwellen: Auslenkungen des 3D-Gases in der 3. Dim

Wellen und Massen sind wesensfremd

Die beiden Zustände widersprechen sich im Sinne klassischer Physik

Atome (unsere Vorstellung nach 200 Jahren Forschung ...)

sind kleinste Teilchen der Materie, die noch diese Materieeigenschaft haben.

Es gibt 92 verschiedene: Elemente (Wasserstoff bis Uran)

Komposite von zweien bis zehntausenden: Moleküle

Zerlegt man Atome (CERN) in kleinstmögliche Teile, findet man nur

Elementare Elektronen in der Atomhülle mit Größenordnung 0,1 Nanometer

Protonen und Neutronen im Atomkern mit Größenordnung 1 Femtometer

In einer völlig falschen Vorstellung „kreisen“ diese Elektronen um den Kern.

Leider kann man kein korrektes einfaches Bild entwerfen, die Sache ist zu verrückt.

Ein Element mit Nr. $Z = 1, \dots, 92$ hat Z Elektronen und Z Protonen

Die Neutronen und Protonen wieder aus zwei Teilchen: Elementaren Quarks (up , down)

p = uud , n = udd

- Alle diese Teilchen gibt es in mehreren Varianten.
- Alle anderen Teilchen sind mehr oder weniger kurzlebige Komposite dieser
- Bei Wechselwirkungen tritt noch ein weiteres Teilchen auf: Neutrino
- Alle diese Teilchen gibt es in mehreren Varianten.
- Zu allen diesen Teilchen gibt es Antiteilchen: z.B. Elektron \leftrightarrow Positron
Bei einem Zusammentreffen vernichten sie sich: $E = mc^2$

Unglaublich aber experimentell gesichert:

Diese sog. Quantenobjekte zeigen je nach Experiment Masse und Welleneigenschaften.

Ein einziges einsames Elektron zeigt sich bei geeigneter Anordnung als stehende Welle!

Was bedeutet das ??? Das kann man nicht verstehen, aber in perfekter Übereinstimmung mit den Experimenten mathematisch beschreiben.

Die große Frage (über 50 Jahre) war und ist: „**was wellt denn da**“ ?

Und die Antwort (in unanschaulicher Mathematik):

Sinnlos, aber zur Gaudi:

die Lösungen dieser Gleichung beschreiben die möglichen Energiezustände eines einsamen Elektrons

$$\frac{1}{2} \left[\mu \left(\frac{\partial \phi}{\partial t} \right)^2 - E \left(\frac{\partial \phi}{\partial x} \right)^2 \right] = -\frac{1}{4} F_{\mu\nu} F^{\mu\nu} + \sum_n \bar{\psi}_n (i\gamma_\mu D^\mu - m_n) \psi_n.$$

Zunächst noch:

**Jede stehende Welle hat eine genau definierte quantisierte Energie
Damit ist die Energie der Elektronen im Atom quantisiert**

Alles in der Natur ist quantisiert: d.h., es gibt kleinste Einheiten:

- Absolute Elementarladung e
- Absoluter Elementardrehimpuls h

Alle anderen Größen können sich nicht „gleitend“, sondern nur sprunghaft ändern, insbesondere die Energie!

Wir wissen zwar nicht, was Elektronen und Quarks sind ...

Aber wir haben Messgeräte, die sie lokalisieren können:
Elektron an diesem Raumpunkt zu diesem Zeitpunkt ... ja / nein ?

Stell dir ein Wasserstoffatom vor: 1 Elektron

Das Elektron hat die möglichen (berechenbaren) Energiezustände $E_n = 2,176 \cdot 10^{-18} \text{ J} : n^2$

Wir messen nun bei sehr vielen Wasserstoffatomen, wo in der Umgebung des Kerns das Elektron bei einem bestimmten Energiezustand ist, und notieren nach sehr sehr vielen Messungen die prozentuale Häufigkeit, das Elektron an einer bestimmten Stelle anzutreffen.

Stell dir also an jedem Raumpunkt eine Zahl vor, die angibt, wieviele Elektronen an dieser Stelle waren.

Wenn die Zahl 0 ist, färben wir den Punkt weiß, wenn 1 schwarz (kommt nie vor).

Dazwischen treten dann alle Graustufen auf.

Das Ganze gibt dann ein kaum zeichenbares dreidimensionales Graustufenbild ...

Man nennt diese dreidimensionalen Wahrscheinlichkeitsverteilungen **Orbitale**

Noch nicht klatschen ... die Pointe kommt erst:

Wenn man unzählige Male bei einem Atom misst, wo das Elektron ist, erhält man dasselbe Bild !

Was man also misst, ist die Wahrscheinlichkeit, das Elektron zu einem bestimmten Zeitpunkt an einer bestimmten Stelle anzutreffen.

Diese Wahrscheinlichkeiten kann man berechnen: QED

Die QED beschreibt das Elektron mit Hilfe einer Wahrscheinlichkeitswelle

Elektronen zeigen sich also unter gewissen Randbedingungen als stehende Wellen!

Das ψ ist eine solche Wahrscheinlichkeitswelle:

$$\frac{1}{2} \left[\mu \left(\frac{\partial \phi}{\partial t} \right)^2 - E \left(\frac{\partial \phi}{\partial x} \right)^2 \right] = -\frac{1}{4} F_{\mu\nu} F^{\mu\nu} + \sum_n \bar{\psi}_n (i\gamma_\mu D^\mu - m_n) \psi_n.$$

... und nicht nur Elektronen, sondern große Moleküle (Fullerene)

Diese nur mit großem math. Aufwand berechenbaren Wahrscheinlichkeitsorbitale sind *keine Esoterik*, sondern *knallharte experimentelle Fakten*.

→ Erst vor wenigen Jahren ist es gelungen, diese stehenden Wellen zu „*fotografieren*“:

→ Vortrag Freitag 10. Februar 08:00 Uhr (Dr. rer nat Tobias Sonnleitner, Abi GU 1999)

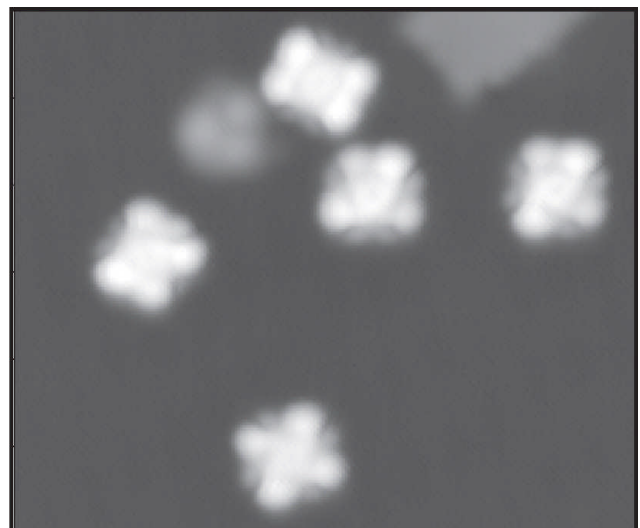
Die Auflösung des Rastertunnelmikroskops. 1 Femtometer

Hochvakuum wie zw. Erde und Mond

Temperatur – 269 °C

„Foto“ des Moleküls C₄-4NCUPC

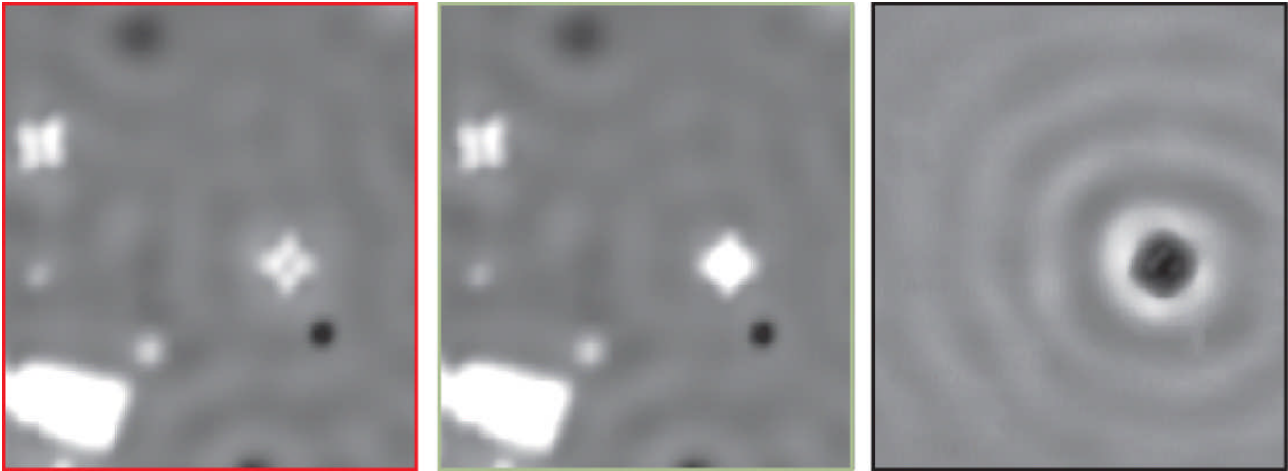
Orbitale der Elektronen



... auf einer monoatomaren NaCl - Schicht

Wahrscheinlichkeitswellen mehrerer Elektronen

und eines Elektrons



Man kann mit diesem Mikroskop nicht nur einzelnen Atome „anschauen“ und ihre Orbitale betrachten, sondern sogar einzelne Atome und Moleküle gezielt platzieren und auf einer monoatomaren Schicht wandern lassen:

Logo der Uni Regensburg, von Herrn Sonnleitner mit einzelnen Atomen auf einer NaCl Schicht realisiert.

