

## Das Orbitalmodell (V)

1927 stellte WERNER HEISENBERG (1901-1976) die sog. **Unschärferelation** auf, die zum Verständnis der Quantentheorie und -mechanik von wesentlicher Bedeutung ist. Was bedeutet diese Aussage? Bestimmt man die Lage eines Gegenstandes in einem Raum, kann man ihn anfassen, wenn er groß genug ist. Kleinere Teilchen als z.B. die Größe eines Fingerpaares oder einer Pinzette benötigen feinfühligere Verfahren, z.B. die Bestrahlung mit Licht. Das am Teilchen gestreute Licht lässt sich beobachten und dadurch die Lage des Teilchens bestimmen. Licht ist jedoch- wie wir inzwischen wissen - ein Strom von Lichtteilchen, Photonen, der Energie  $E = h \cdot \nu$  mit  $\nu =$  Frequenz der Lichtwellen. Wird also ein Körper beleuchtet, wird ihm Energie zugeführt. Ist der Körper groß genug gegenüber der Frequenz, wird er sich erwärmen; ist er klein genug, wird er weggestoßen, sein **Impuls** wird also unbestimmt.

**Unschärferelation:** Es ist unmöglich, gleichzeitig sowohl den Ort als auch den Impuls irgendeines Teilchens mit absoluter Genauigkeit zu kennen.

$$c = \nu \cdot \lambda, \text{ also ist } \nu \sim 1/\lambda \text{ oder } \lambda \sim 1/\nu$$

Die geringste denkbare Beeinflussung ist der Zusammenstoß eines Photons mit dem Beobachtungsobjekt und die weitere Beobachtung des Photons.

Es gibt nun aber ein folgenschweres **Dilemma**: die Einzelheiten im Bild eines Gegenstandes hängen von der **Feinheit der Wellenlänge** des Lichts ab, das bei der Beobachtung verwendet wird. Für ein Photon mit so geringer **Energie**, dass beim Zusammenstoß der Impuls z.B. eines Atoms sich nicht ändert, müsste man eine so große **Wellenlänge** wählen, dass die Lage des Atoms unscharf bestimmt wird.

Versucht man umgekehrt, den **Ort** des Atoms genau zu bestimmen, müsste man also logischerweise ein kurzwelliges, also energiereiches Photon verwenden. Die Energie des Photons würde aber das Atom mit einem unbestimmten Impuls abprallen lassen.

**Fazit:** Entweder kann man den genauen Impuls des Atoms bestimmen, dann ist aber der Ort ungenau oder umgekehrt, beides gleichzeitig ist unmöglich. Bezeichnet man die Ortsungenauigkeit mit  $\Delta x$  und die Impulsungenauigkeit mit  $\Delta p$ , so gilt für das Elektron die **Unschärferelation**  $\Delta x \cdot \Delta p \geq h$ .

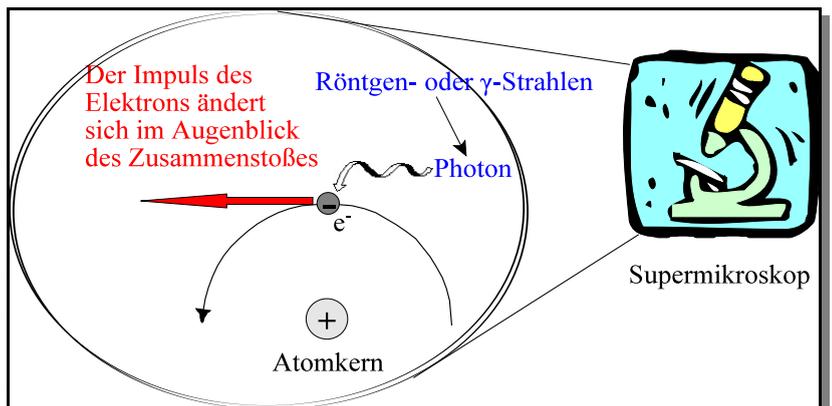
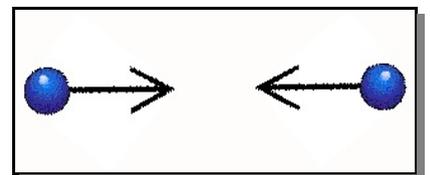


Abb. 13: Unschärferelation

Bestimmt man z.B. den Ort eines Elektrons, dessen Geschwindigkeit  $10^6$  m/s beträgt mit einem Strahl grünen Lichts ( $\nu = 0,6 \cdot 10^{15}$  Hz), dann ist die kinetische Energie des Elektrons mit  $4,55 \cdot 10^{-19}$  J vergleichbar der Energie des Photons mit  $3,97 \cdot 10^{-19}$  J. Das wäre in etwa so, wenn man den Ort einer Billardkugel mit einer gleich schnellen und schweren Billardkugel bestimmen wollte.



Es gibt aber noch eine 2. Schwierigkeit: grünes Licht ist ein viel zu großer Maßstab für Objekte mit atomaren Abmessungen: besitzt ein Atom einen **Radius von ca. 0,1 nm**, beträgt dagegen die **Wellenlänge** grünen Lichts **ca. 500 nm**. Mit einem Zollstock lässt sich die Größe von Staubteilchen auch nicht messen! Eine kürzere Wellenlänge würde jedoch wieder über die Energie-Impuls-Seite die Ortsungenauigkeit verschärfen.

### Arbeitsauftrag:

1. Wie kommt man zu den obigen Ergebnissen der kinetischen Energie der Elektronen und Photonen?