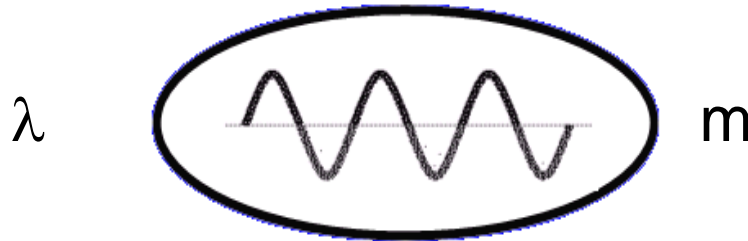


Quanten



... kleine (diskrete) Energieportion mit Wellen- und Teilcheneigenschaften ...

Photonen

Bewegung mit Lichtgeschwindigkeit
und keine Ruhemasse

Vollständige Energieabgabe bei
Wechselwirkung

*auch elektromagnetische Wellen
außerhalb des sichtbaren Bereichs
(Hertzsche Wellen, Röntgenstrahlung,
 γ -Strahlung)*

Elektronen

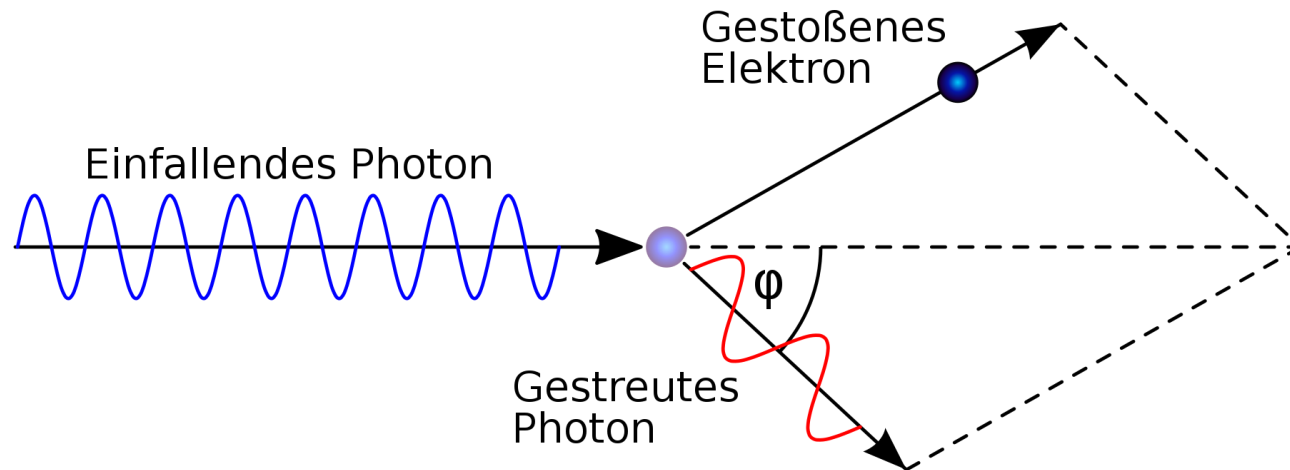
klassische Teilchen mit Ruhemasse
und Geschwindigkeiten $v < c$

Können bei Wechselwirkungen
auch Teile ihrer Energie abgeben

Gilt auch für andere Elementarteilchen
(Protonen, Neutronen α -Teilchen, ...)

* Compton Effekt

Wechselwirkung zwischen Photonen und gebundenen Elektronen



Bei der Wechselwirkung eines Photon mit einem gebundenen Elektron, kann ein Teil der Energie an das Elektron übertragen und die Restenergie als neues (gestreutes) Photon abgegeben werden.

Das gestreute Photon besitzt eine größere Wellenlänge.

Bedeutung der Quantenphysik ?



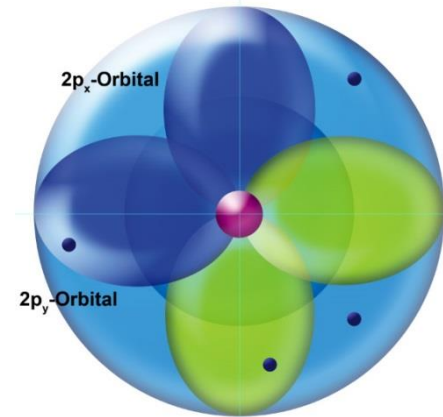
Klassische Physik
(Makrokosmos)



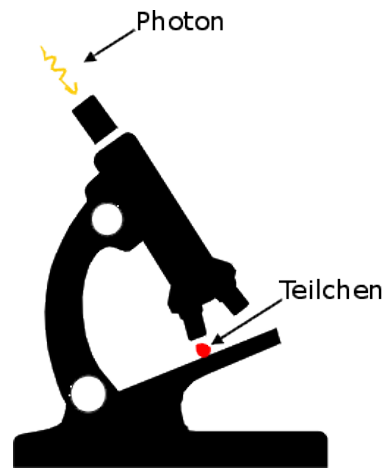
Quantenmechanik
(Mikrokosmos)



Quanten-
computer

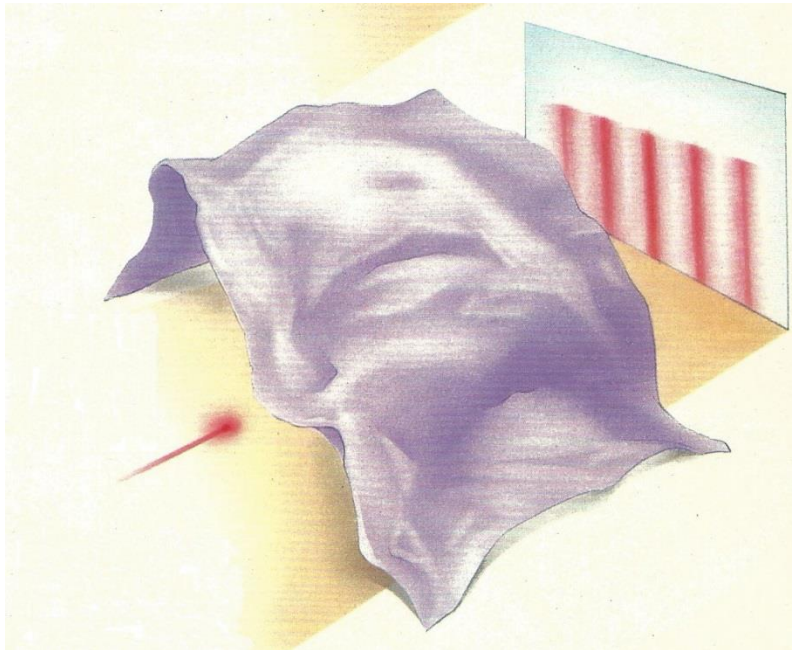
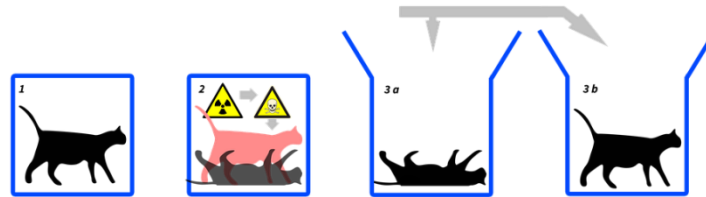


Beobachtung von Mikroobjekten

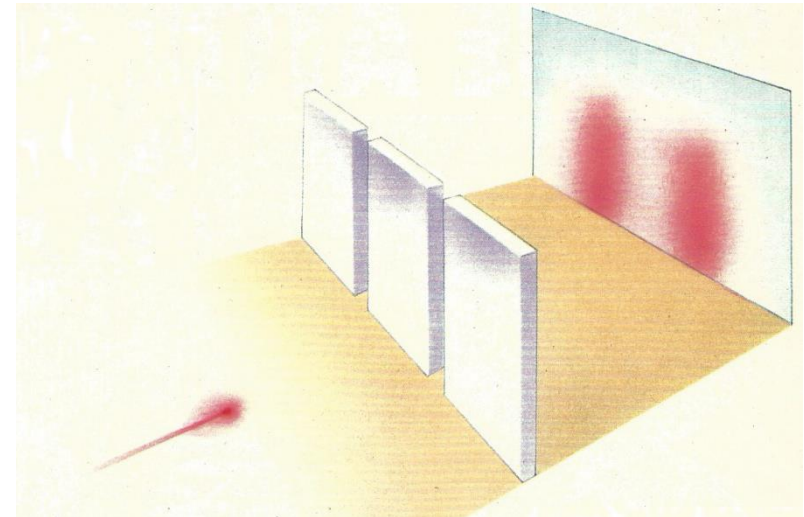


Will man konkrete Aussagen zu einzelnen Mikroobjekten (Quanten) gewinnen muss man diese beobachten.

→ *Schrödingers Katze*



► *Interferenz*



Beobachtet man Mikroobjekte verhalten sie sich wie Teilchen

► *klassische Auftrefforte*

Messung an Mikroobjekten:

Jede Messung bedeutet einen Eingriff in die Versuchsanordnung.

Die Mikroobjekte werden „beobachtet“.

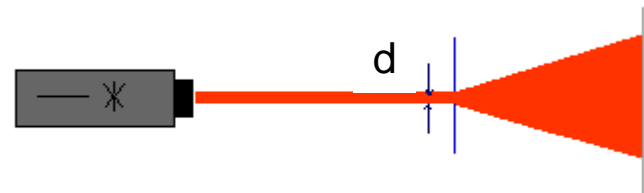
Die Messung beeinflusst (verfälscht) das Beobachtungsergebnis.

Untersuchungen an einem Einzelspalt:

*dünnere paralleler
Laserstrahl*



*Auftreffen auf eine
dünne Spaltöffnung*



→ Aufweitung des Lichtbündel

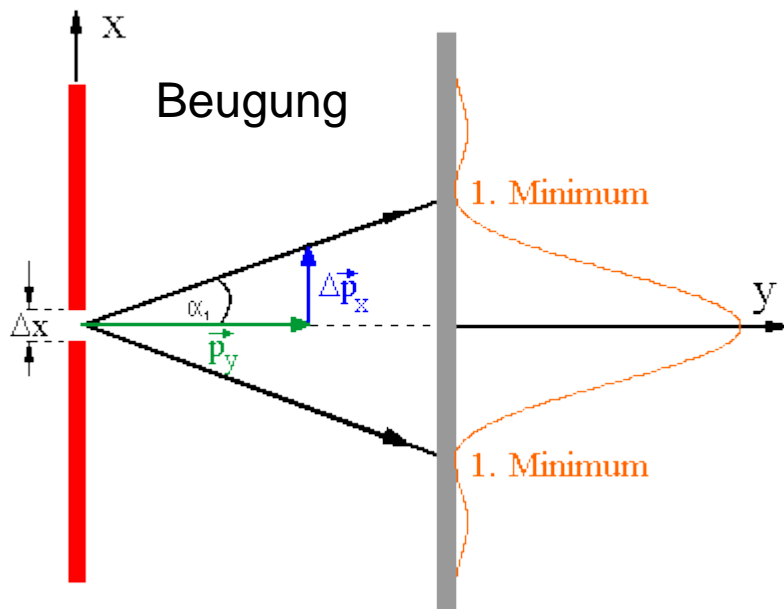
Messung an Mikroobjekten:

Jede Messung bedeutet einen Eingriff in die Versuchsanordnung.

Die Mikroobjekte werden „beobachtet“.

Die Messung beeinflusst (verfälscht) das Beobachtungsergebnis.

Untersuchungen an einem Einzelspalt:



Der **Ort x** des Quants wird durch die Spaltöffnung bestimmt.

Seine Ortsgenauigkeit entspricht der Breite **Δx** des Spaltes

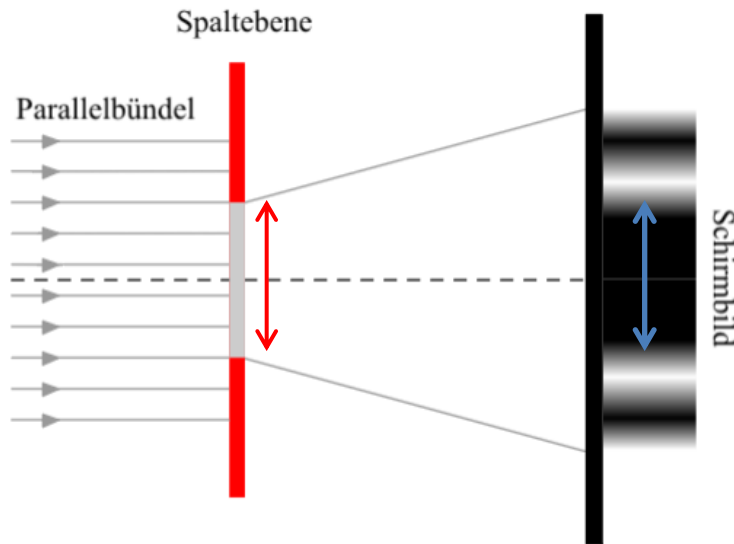
Die Bewegung des Quants wird durch den **Impuls** in Bewegungsrichtung **p_y** beschrieben

Die seitliche Ablenkung des Quants beschreibt die Impulsänderung **Δp_x** .

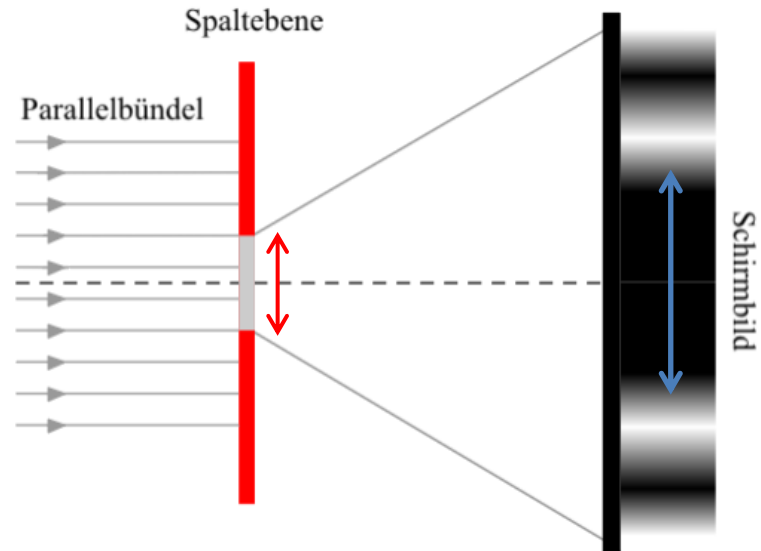
... um Ort und Impuls genauer zu bestimmen kann die Spaltbreite verringert werden...

Beobachtung:

breiter Spalt



schmaler Spalt



- ▶ Je schmaler der Spalt (genauerer der Ort x), desto ungenauer der Impuls p (seitliche Ablenkung).

Werner Heisenberg (Nobelpreis 1932)

Der Ort x und der Impuls p eines Mikroobjektes (Quants) können nicht gleichzeitig genau bestimmt werden.



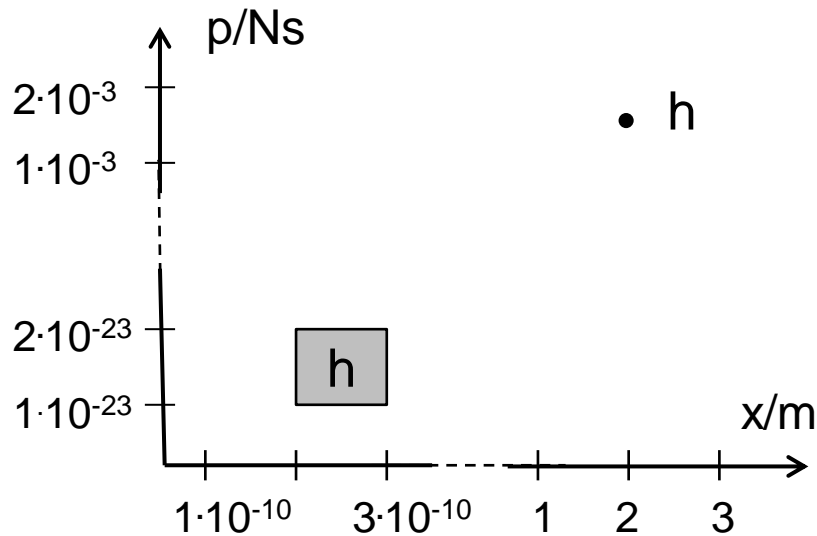
► Heisenbergsche Unschärferelation (Unbestimmtheitsrelation)

Für die Ortsabweichung Δx bzw. Impulsabweichung Δp gilt:

(Orts-Impuls-Unschärfe) $\Delta x \cdot \Delta p \geq \frac{h}{4 \cdot \pi} \approx h$

Im Mikrokosmos ist keine exakte Vorausberechenbarkeit möglich.
Für Einzelprozesse ist das klassische kausale Prinzip nicht anwendbar.
Es können nur Wahrscheinlichkeitsaussagen getroffen werden.

Unschärferelation im Mikro- und Makrokosmos:



Die Fläche $\Delta p \cdot \Delta x$
entspricht der Unschärfe

Die Unschärferelation hat
in der klassischen Physik
(Makrokosmos)
keine Bedeutung.

Mit der Gleichung $p = \frac{h \cdot f}{c}$
für Lichtquanten kann eine
Energie-Zeit-Unschärfe
abgeleitet werden:

$$\Delta t \cdot \Delta W \geq \frac{h}{4\pi} \approx h$$

Aus $W = h \cdot f$ ergibt sich:

Jeder Lichtquant besitzt durch die
Zeitmessung Δt bestimmte Energie-
und Frequenzunschärfe Δf .

Bedeutung / Nachteil der Unschärferelation:

Die Grenzen der Beobachtbarkeit wird durch die Wellenlängen des „beobachtenden Lichtes“ bestimmt.

Für Lichtmikroskope im sichtbarer Bereich ergibt sich in Folge von Beugungserscheinungen eine maximale Vergrößerung von ca. 1500.

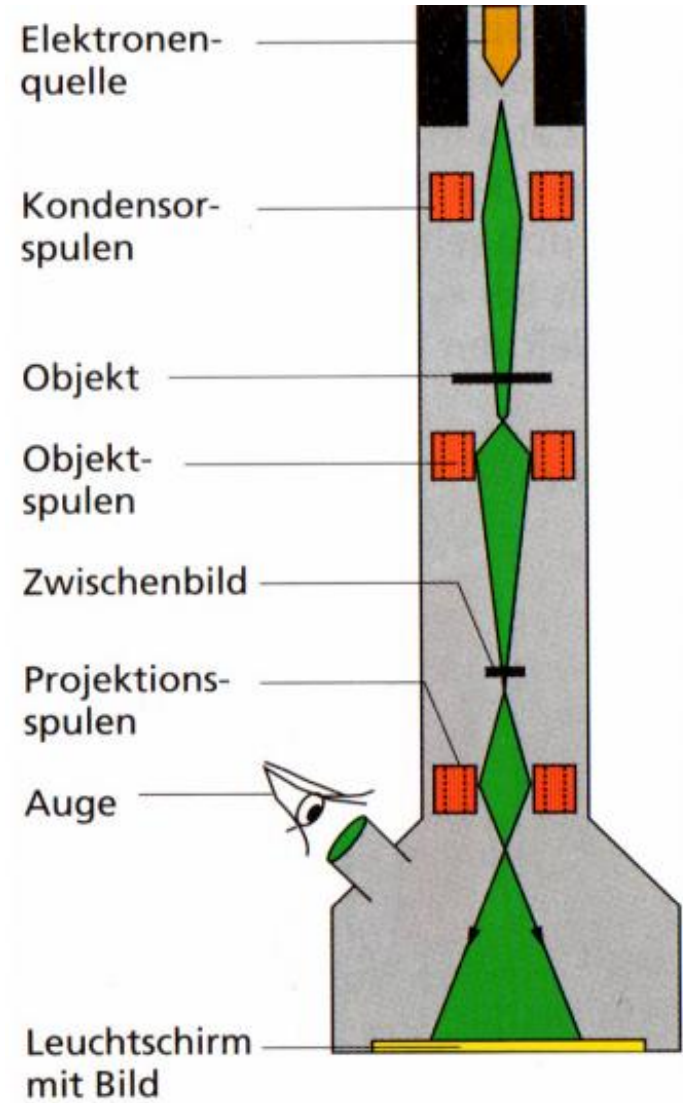
- *kleinste auflösbare Strukturen 50nm*
- *Zellen von Tieren und Pflanzen, Pilze, Bakterien, rote Blutkörperchen sind sichtbar*



Die Grenzen liegen im Bereich atomarer Strukturen.

Diese können mit kürzen Wellenlängen beobachtet werden.

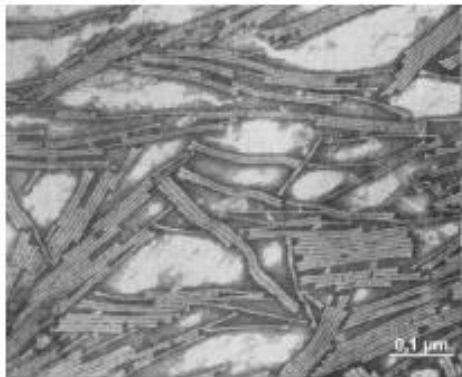
Elektronenmikroskop



Arten von Elektronenmikroskopen:

Transmissions- Elektronenmikroskop **TEM**

- Durchstrahlung der Proben
- Herstellung extrem dünner Proben
- Verwendung nur im Vakuum
- keine lebenden Strukturen untersuchbar
- Strahlenschäden an der Probe
- sehr gute Auflösung (0,1 nm)
- Vergrößerung in weiten Bereichen veränderbar
- hohe Tiefenschärfe



Tabakvirus

Raster- Elektronenmikroskop **REM**

- Elektronenstrahl tastet das Objekt ab
- Sekundärelektronen erzeugen Bild
- Bilddarstellung aus Helligkeitswerten
- geeignet zur Beobachtung massiver Proben
- Proben müssen elektrisch leitend gemacht werden (Metallüberzug)
- Auflösung bis 1 nm
- 3D-Darstellung möglich



Facettenauge einer Essigfliege (5000x)