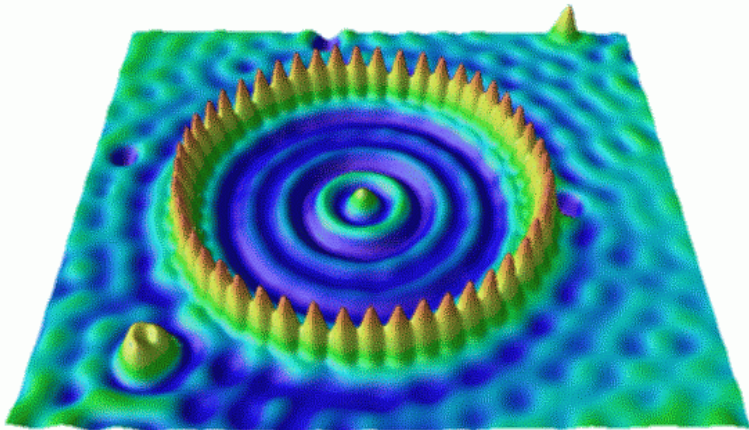


Klassische Physik - Quantenphysik



“Elektronenfälle” aus 40 Eisen-
Atomen auf einer Kupfer Oberfläche
www.almaden.ibm.com

- Klassische Physik um 1900
- Teilchen und Wellen
- Rastertunnelmikroskop
- Wechselwirkungsfreie Messung
Wie ist es möglich ein Objekt in absoluter Dunkelheit zu entdecken, ohne es auch nur einem einzigen Lichtquant auszusetzen?
- Quanten-Teleportation
- Quanten-Kryptographie
- Atome und Kerne

Klassische Physik

Wechselwirkungen

- Gravitation
- Elektromagnetische Wechselwirkung

Beobachtungsgrößen

Teilchen

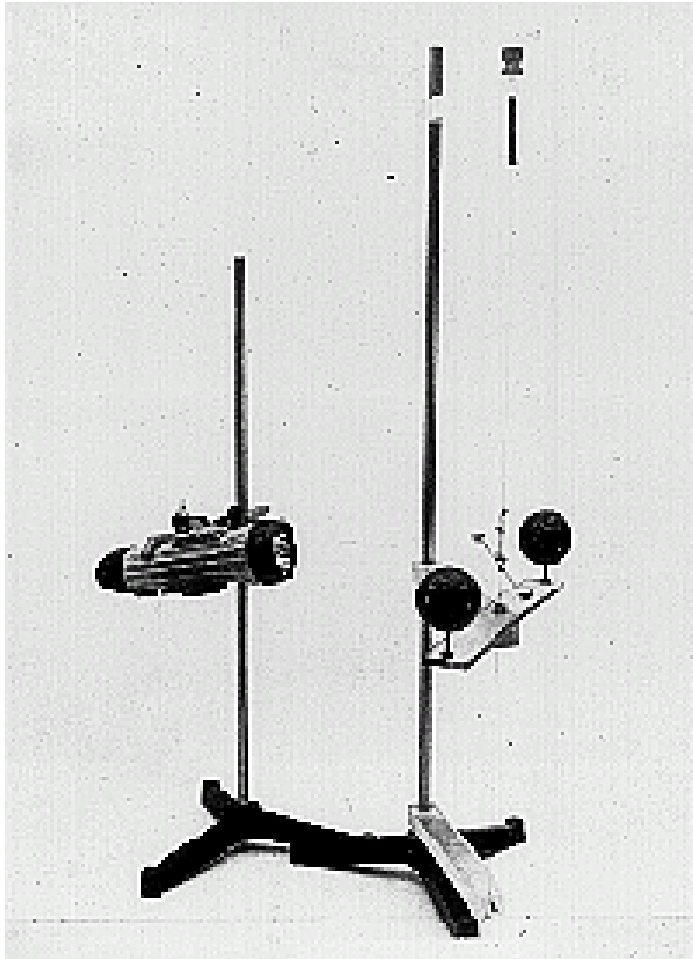
- Masse, Impuls, Ort, ...
- *erfüllen*
Newton'sche Gleichungen
- *Fragestellungen*
Teilchenbahnen,
Wie reagieren Teilchen auf
Zusammenstöße

Wellen

- Wellenlänge, Amplitude,
Phasengeschwindigkeit, ...
- *erfüllen*
Wellengleichungen
- *Fragestellungen*
Ausbreitung in Medien,
Beugung

Gravitation

- Experimentelle Bestimmung der Gravitationskonstante
Cavendish, 1798

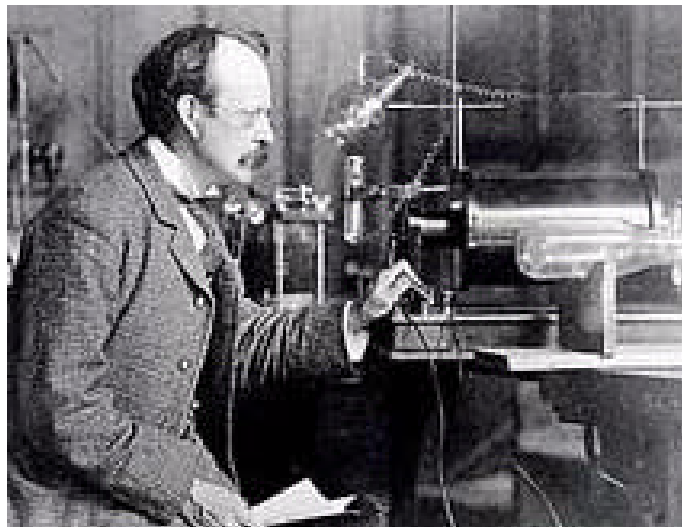
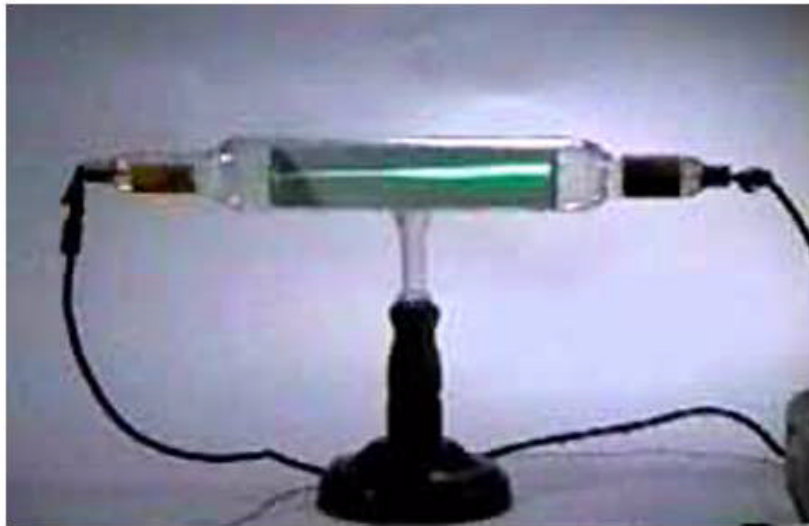


$$\mathbf{F} = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \frac{\mathbf{r}}{|\mathbf{r}|}$$



Entdeckung des Elektrons

Kathodenstrahlröhre



Thomson, 1897

Kraft auf ein Elektron

- im elektrischen Feld

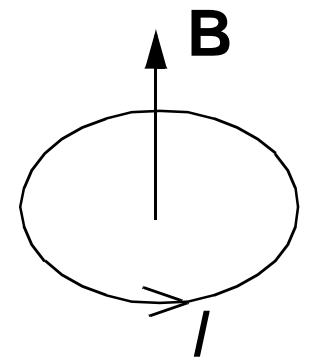
$$\mathbf{F} = q\mathbf{E}$$

- im Magnetfeld

$$\mathbf{F} = q(\mathbf{v} \times \mathbf{B})$$

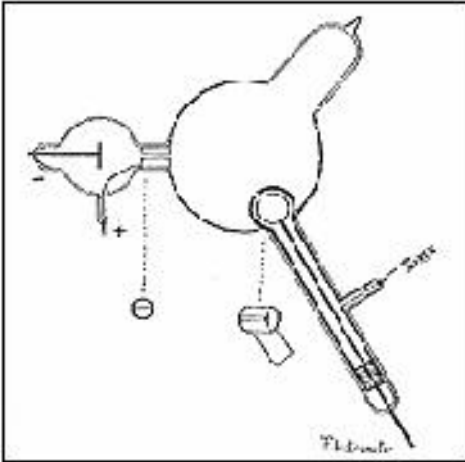
- Magnetisches Feld eines Kreisstromes

$$\mathbf{B} = \frac{\mu_0 I}{2r} \mathbf{n}$$



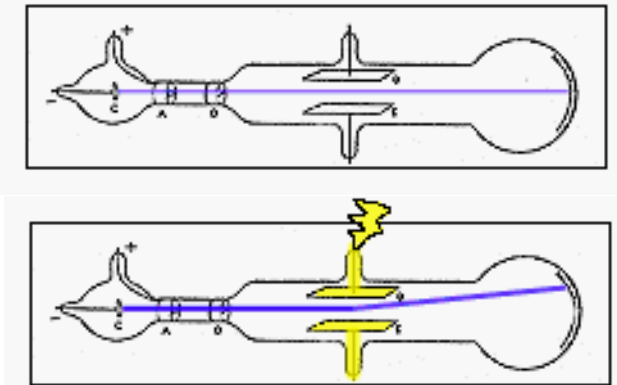
Was sind Kathodenstrahlen ?

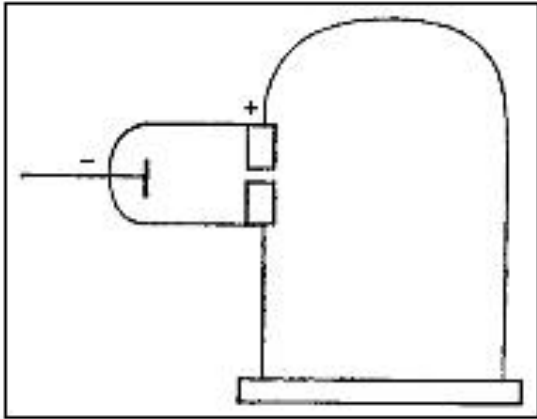
Die drei Experimente von Thomson



Kathodenstrahlen transportieren negative Ladung. Thomsons versuchte durch Ablenken der Ladung im Magnetfeld Ladungen und Strahl voneinander zu trennen. Der Versuch scheitert.

Hertz zeigte, dass der Kathodenstrahl im elektrischen Feld nicht abgelenkt wird. (Ionisation des Restgases reduzierte das E-Feld). Thomson wiederholt den Versuch mit besserem Vakuum.





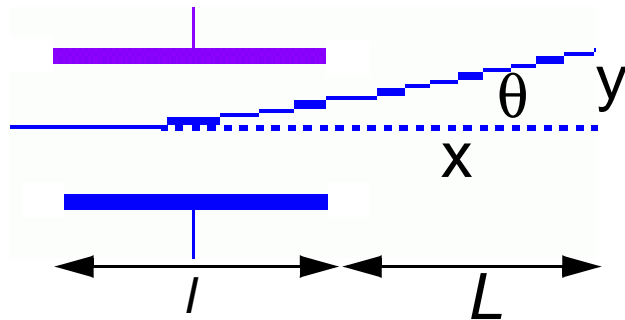
Im seinem 3. Experiment bestimmt Thomson das Verhältnis aus Ladung/Masse eines Elektrons:

1. Messung der Ablenkung des Kathodenstrahles in einem **elektrischen** Feld

ergibt eine Gleichung für e/m , die noch die Anfangsgeschwindigkeit der Elektronen enthält

2. Bestimmung der Anfangsgeschwindigkeit durch Kompensation der Ablenkung im elektrischen Feld mit einem **Magnetfeld**

Bestimmung des Verhältnisse von e/m



Ablenkung im E-Feld

$$\theta = \frac{\Delta p_y}{p_x}$$

- Definition der Kraft: $\Delta p_y = F_y \Delta t$

$$\Delta t = \frac{l}{v_x}, \quad \theta = \frac{eE\Delta t}{mv_x} = \frac{eEl}{mv_x^2}$$

- Ablenkung am Schirm

$$y = L\theta = \frac{eElL}{mv_x^2}$$

- Geschwindigkeit v_x ?

$$\text{mit: } \frac{1}{2}mv^2 = eV$$

Beschleunigungsspannung

fällt aus e/m heraus

bestimme v_x mit B-Feld

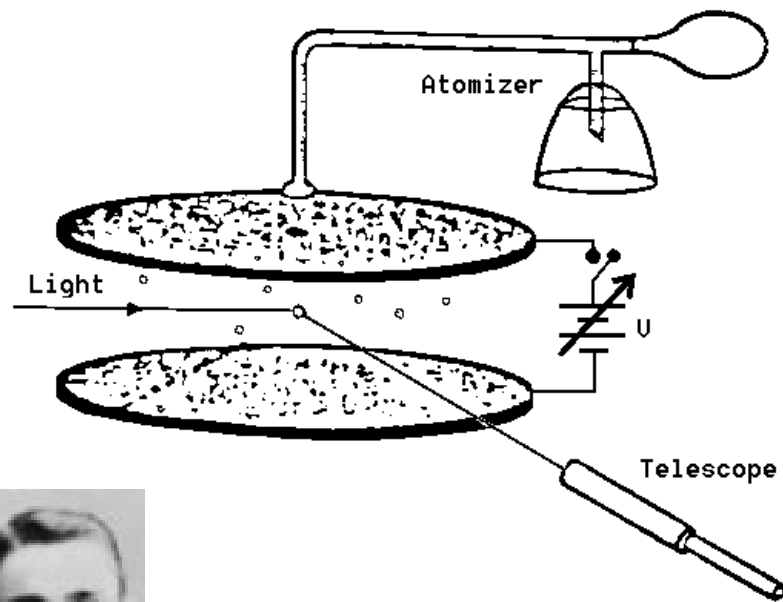
Gesamtablenkung ist null, wenn

$$eE = ev_x B, \quad v_x = E/B$$

$$\frac{e}{m} = \frac{Ey}{B^2 lL}$$

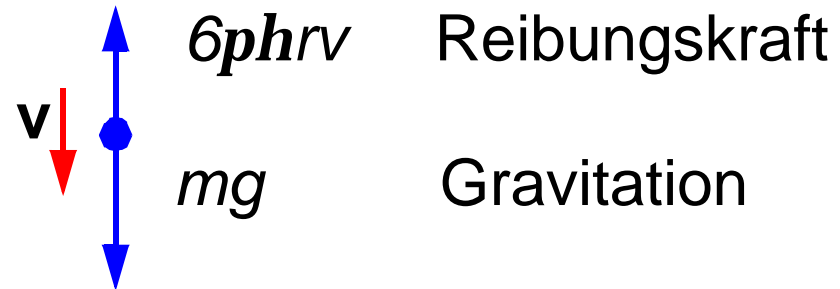
Bestimmung der Elektronenladung

- Geladener Öltropfen zwischen Kondensatorplatten



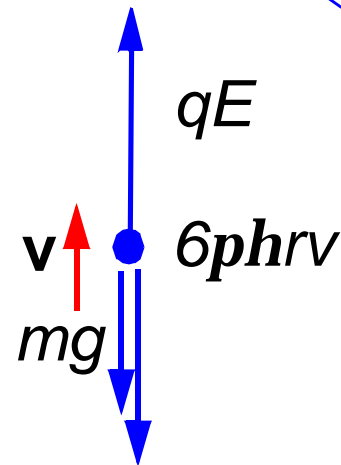
Millikan, 1909

Ohne E-Feld



⇒ Masse m aus Messung der Geschwindigkeit v

Mit E-Feld



⇒ Ladung q aus Messung von v

$$q = ne$$

$$n = 0, -1, -2, \dots$$

Elektron der klassischen Physik

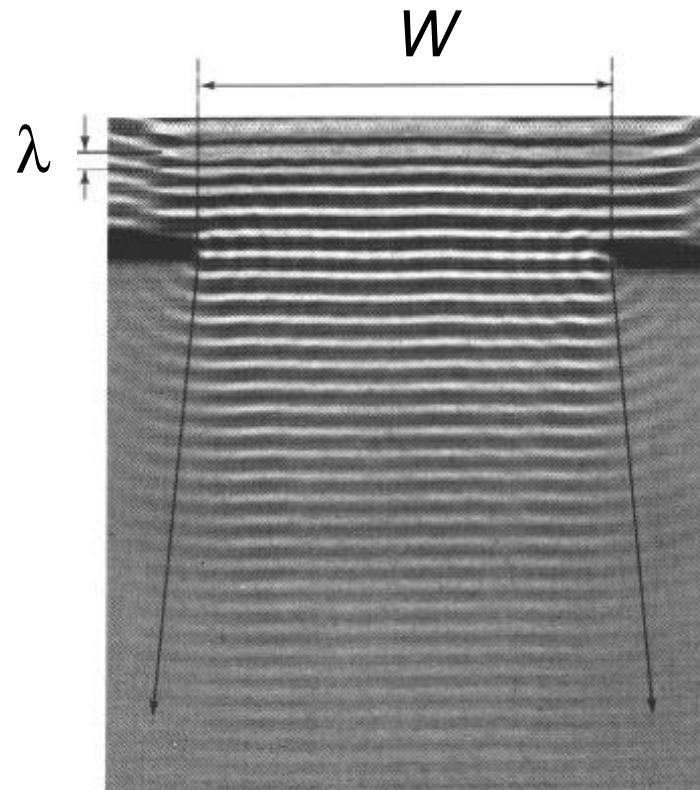
Teilchen mit

Masse $m = 9.109 \times 10^{-31} \text{ kg}$

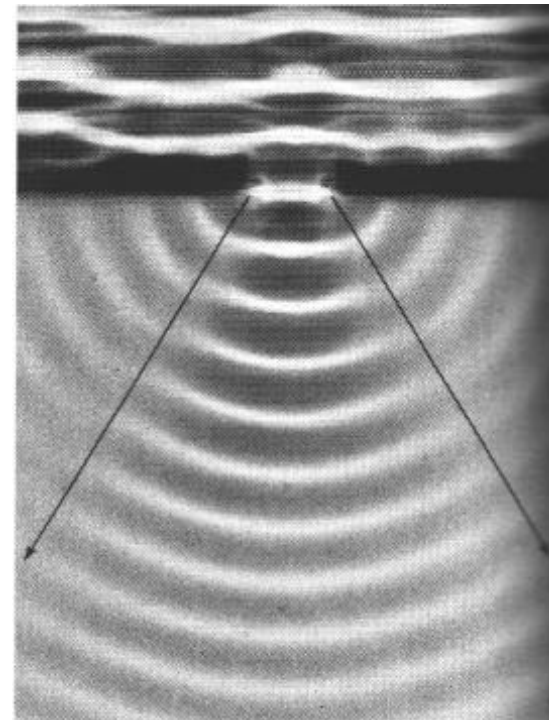
Ladung $q = -e = -1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$

Beispiele für klassische Wellenphänomene

- Beugung von Wasserwellen



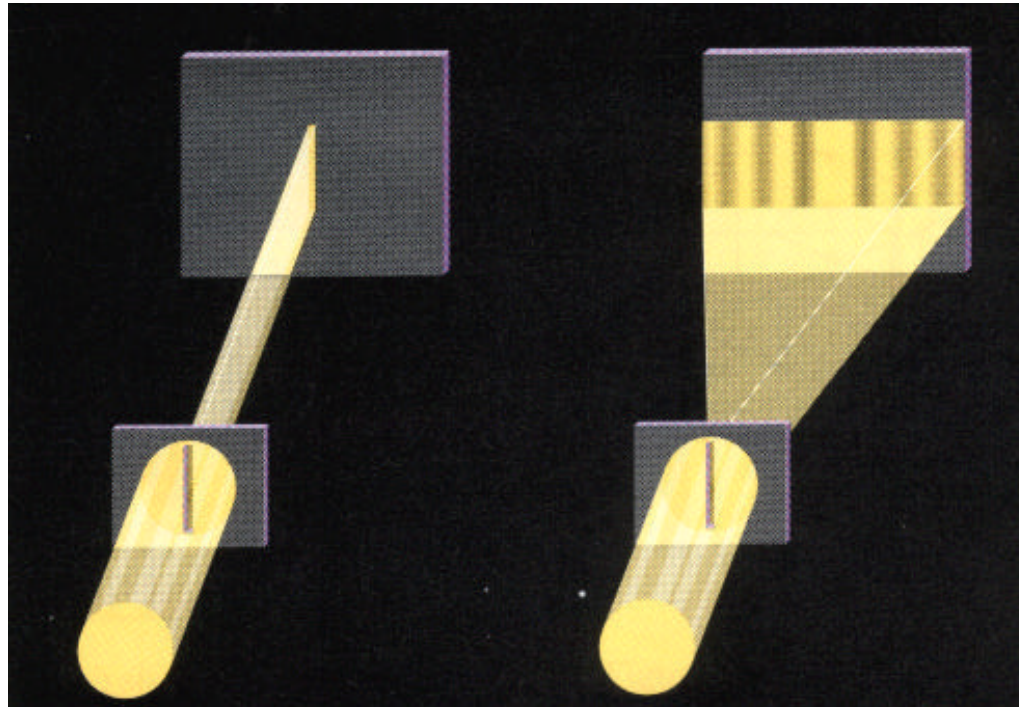
λ/W kleiner



λ/W größer

Beugung von Licht

Thomas Young, 1801

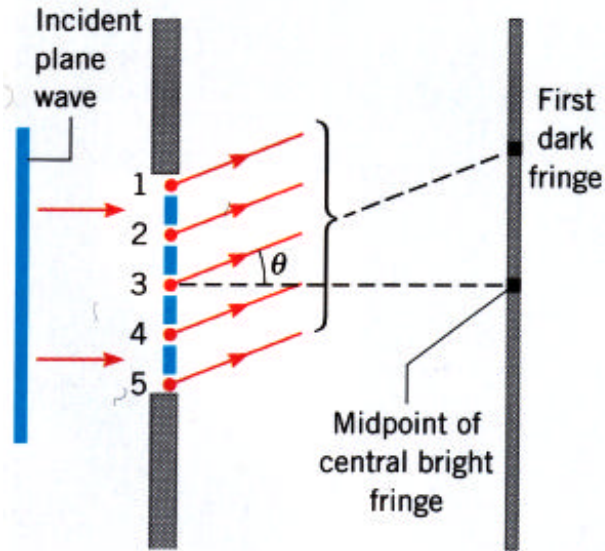


ohne
Beugung

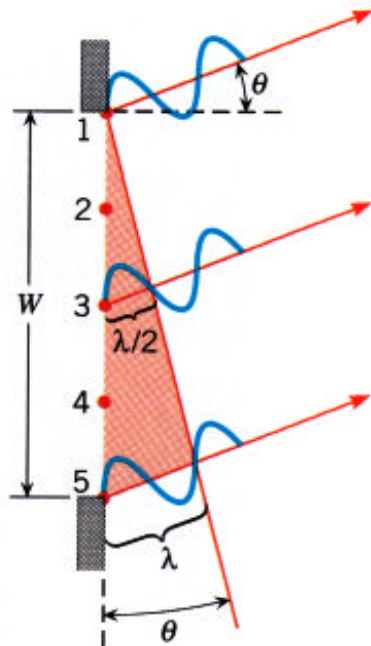
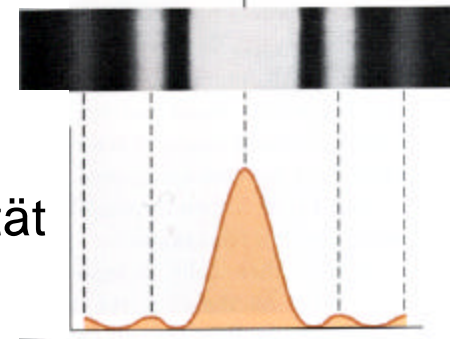
mit
Beugung

Licht wird gebeugt beim Durchgang durch einen Spalt
⇒ Licht ist eine Welle

Beugung am Einzelspalt



Mittelpunkt des ersten Maximums



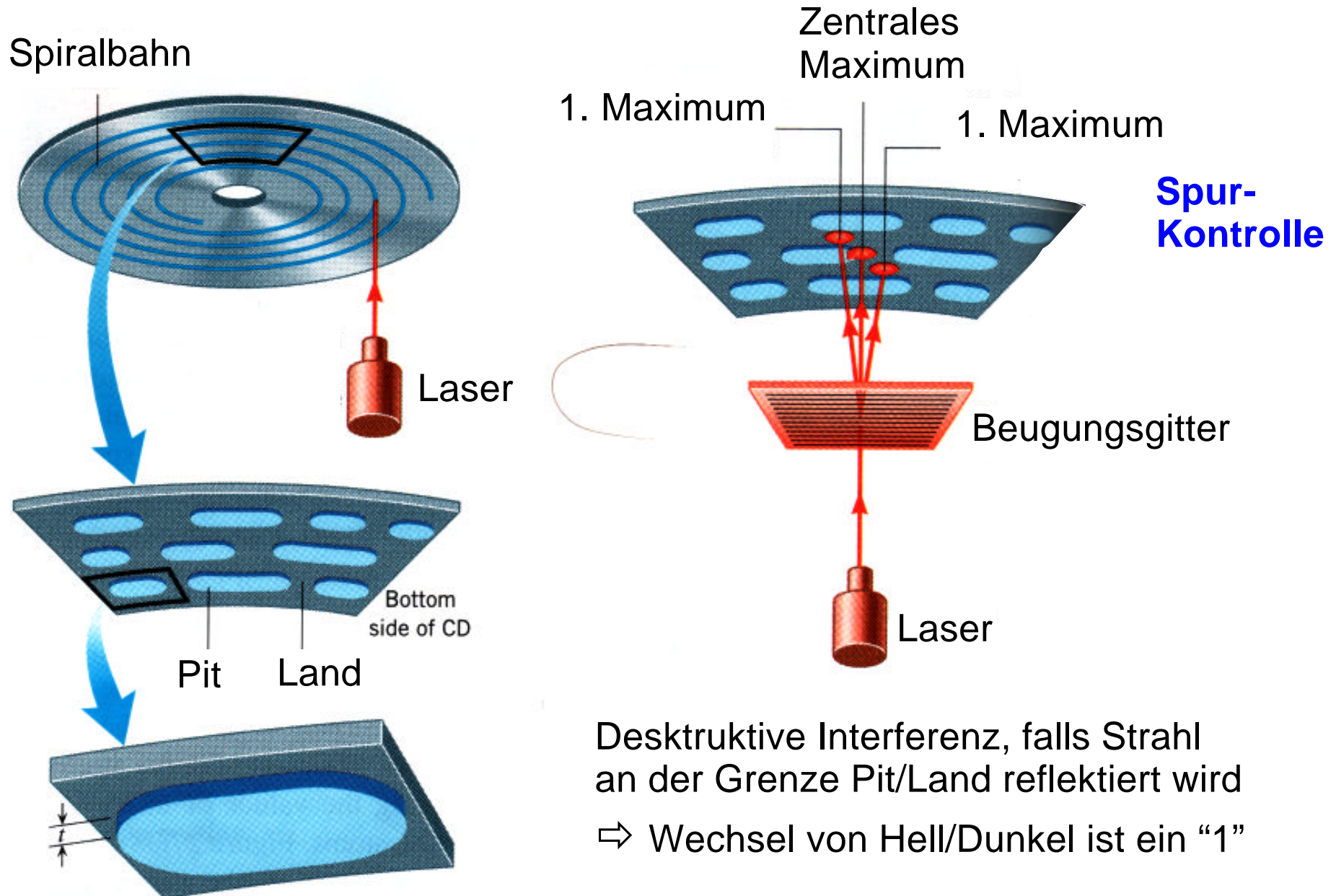
Destruktive **Interferenz** für einen Gangunterschied von $\lambda/2$:

z.B für die Strahlen: 1+3, 2+4
jeder Strahl aus der oberen Hälfte löscht genau einen Strahl aus der unteren Hälfte aus

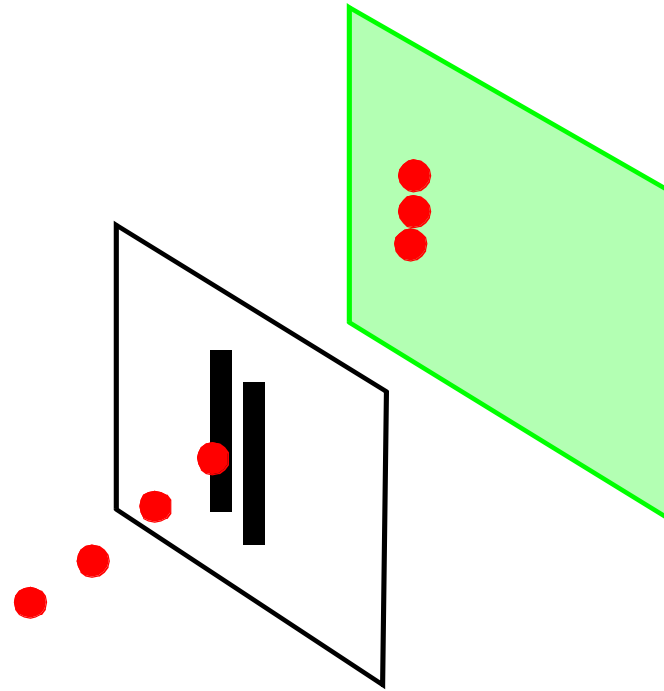
$$\text{Minima: } \sin \theta = n \frac{\lambda}{W}$$

Interferenz

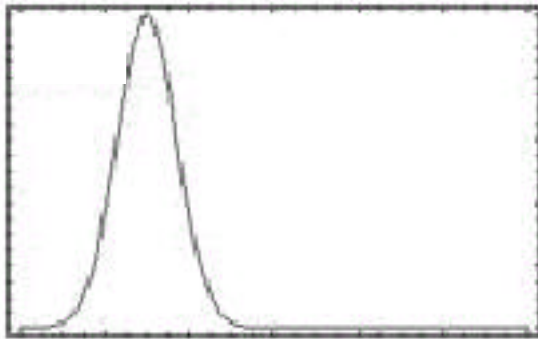
Anwendung: Datenspeicherung auf CD



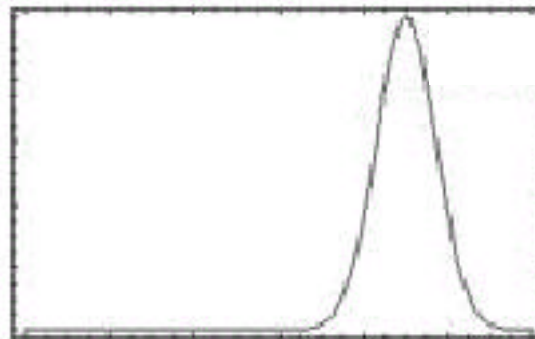
Doppelspaltexperiment mit Kugeln



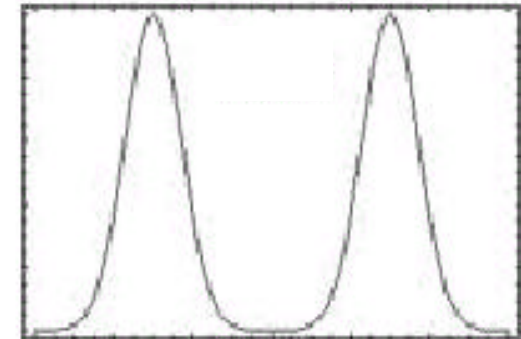
Häufigkeitsverteilung der Kugeln am Schirm



links offen

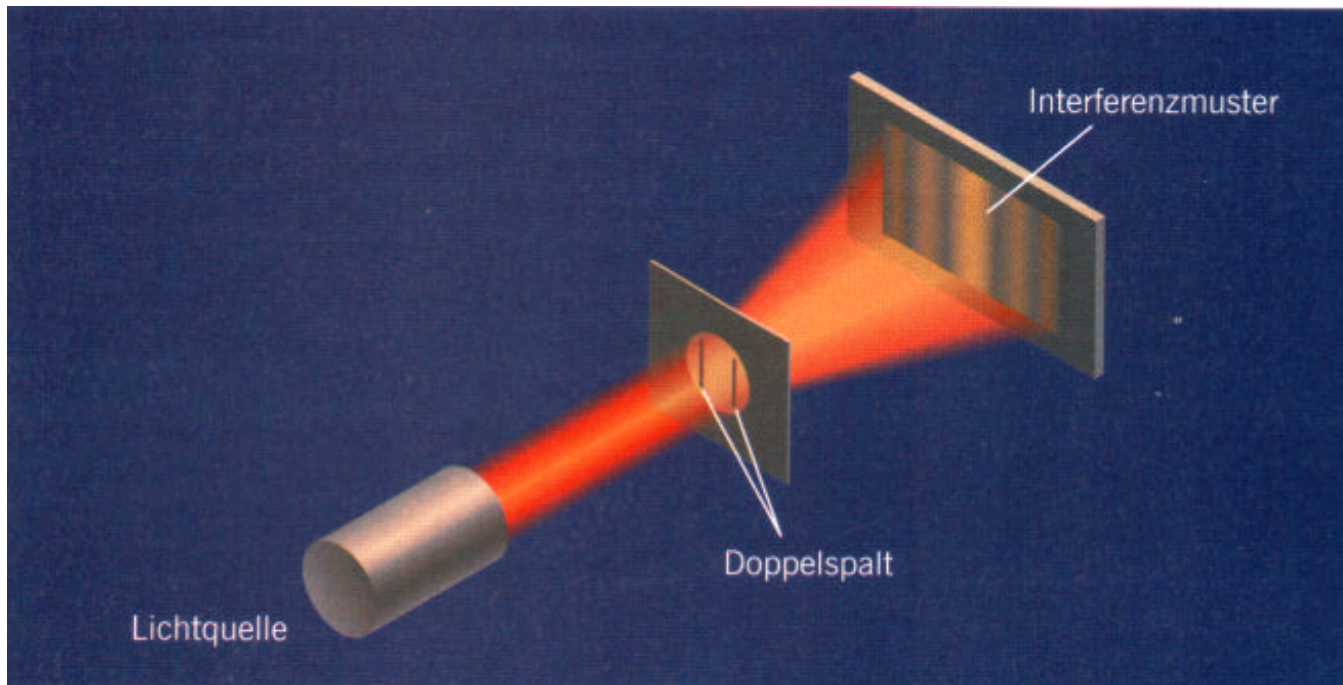


rechts offen

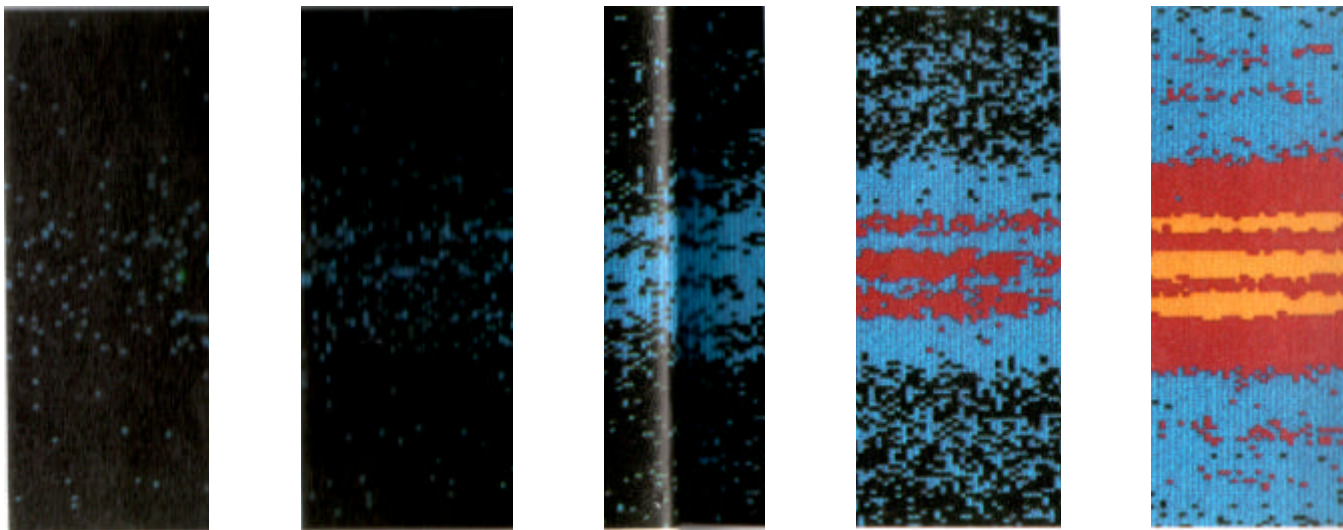


beide offen

Teilchen und Welle



schwache Lichtquelle
jeweils **nur ein** Photon im
Versuchsaufbau



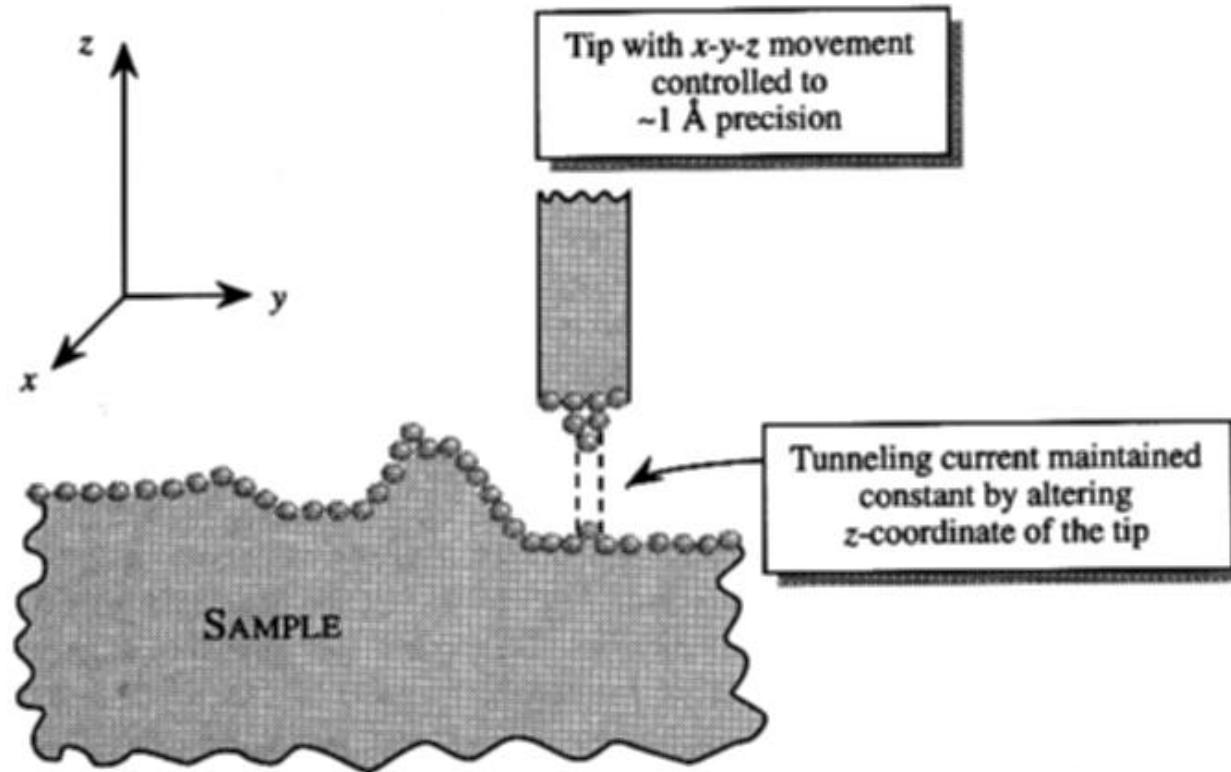
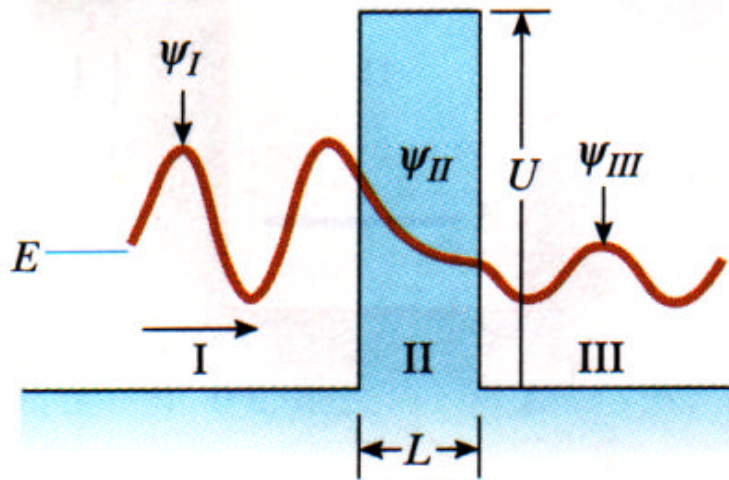
Das Interferenzmuster wird
von **einzeln** registrierten
Photonen aufgebaut

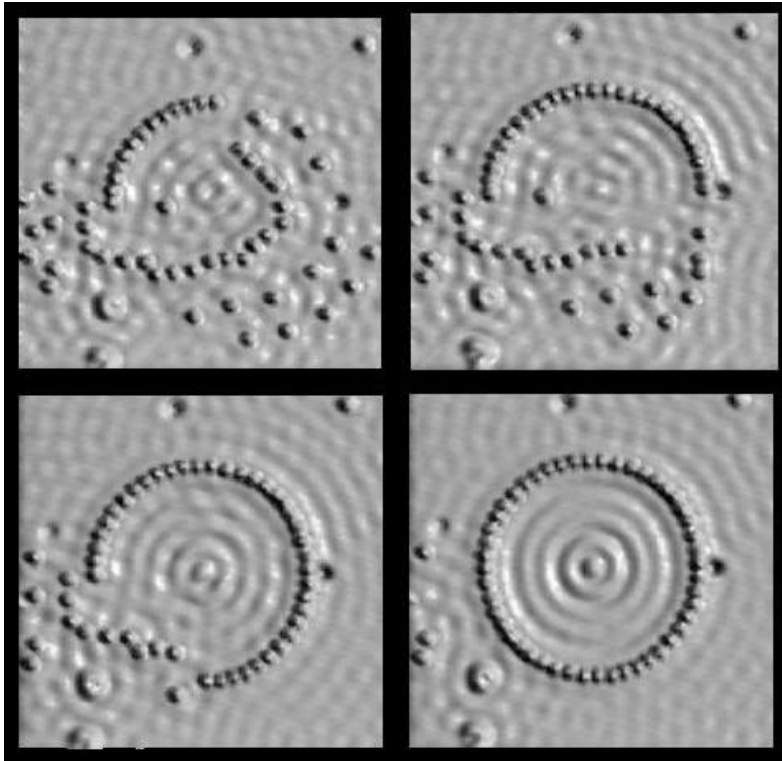
blau: 1- 9 Photontreffer
rot: 10-99
gelb: 100 und mehr

Tunneleffekt

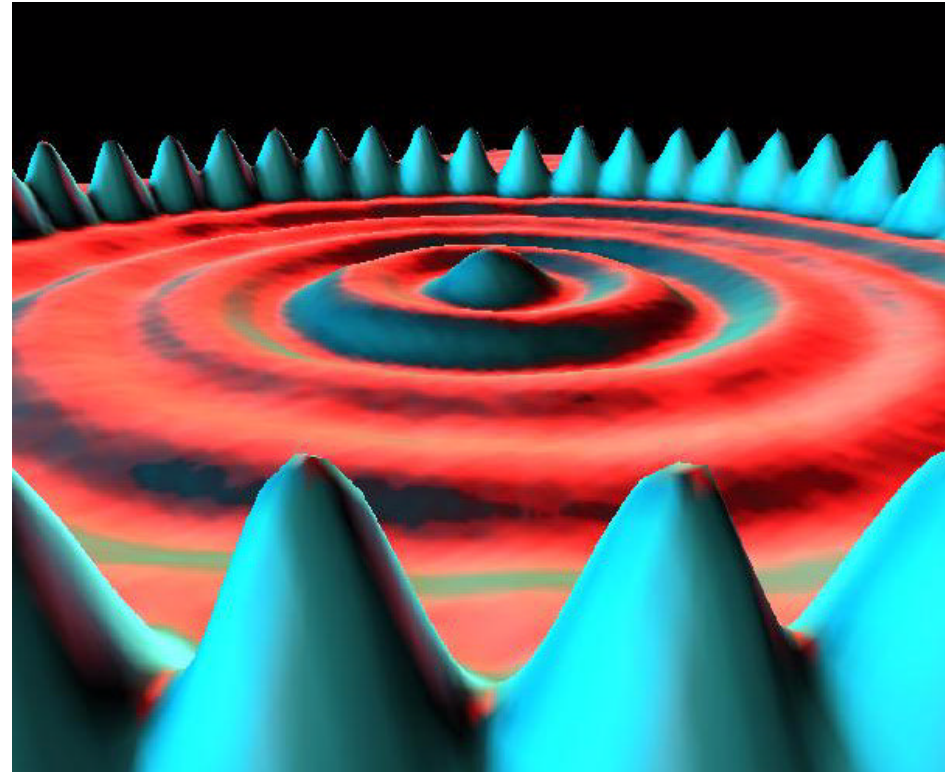
ein Teilchen kann mit endlicher Wahrscheinlichkeit eine Potentialbarriere überwinden

- Rastertunnelmikroskop





Manipulation von
einzelnen Atomen



Eisen auf Kupfer, zwischen den
Fe Atomen ist $|\psi|^2$ der Oberflächen-
elektronen sichtbar.

(vergleiche particle in box)