

Physik III Atom- und Quantenphysik

Kapitel 5: Postulate der QM

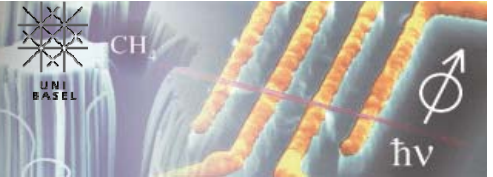


Prof. Dr. Christian Schönenberger
www.nanoelectronics.ch

basierend auf der Vorlesung von
Prof. Dr. Philipp Treutlein
<http://atom.physik.unibas.ch>

Kopenhager Interpretation

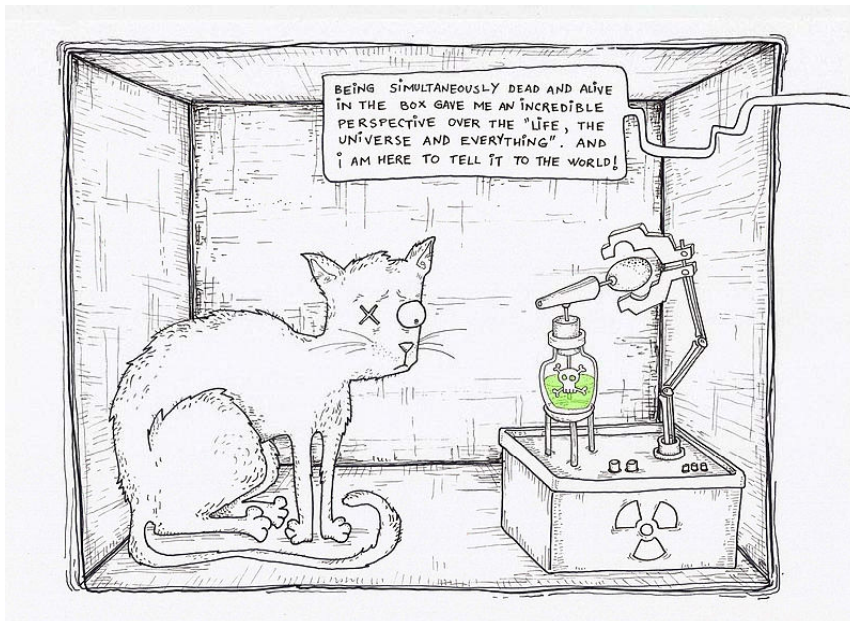
Schönenberger group www.nanoelectronics.ch



Kopenhager Interpretation des Messprozesses: Bei der (vollständigen) Messung findet ein Kollaps der Wellenfunktion auf einen Eigenzustand des Messoperators statt.

Dies lässt viele Fragen offen: wann ist die Messung “vollständig”? Braucht es dazu überhaupt einen realen “Observer”, kann man auch nur “schwach” messen, welche Information gewinnt man dann und was hat das für einen Einfluss auf das Quantensystem...? Findet bei einer „Nichtmessung“ ein „negativer“ Kollaps statt?

Die Kopenhager Interpretation führt zu den bekannten Widersprüchen, wenn man Superpositionszustände in die makroskopische Welt überträgt.



in QM before the “measurement” cat is in a superposition state of being dead and alive at the same time

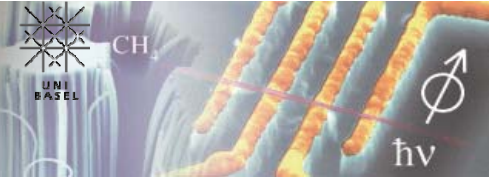
$$\Psi = \psi_{dead} + \psi_{alive}$$



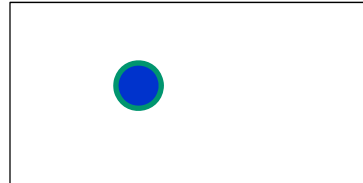
“measurement” projects to either “cat alive” or “cat dead”

Particle in a box

Schönenberger group www.nanoelectronics.ch



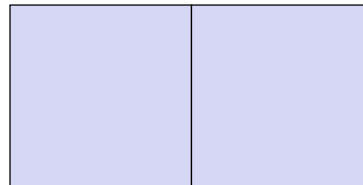
1. place particle in a box ...



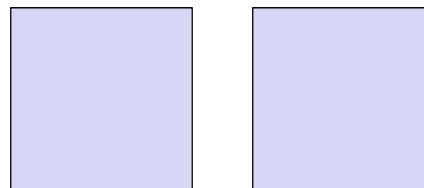
2. actually into a delocalized state:



3. split box in two without disturbing wavefunction (possible ?)...



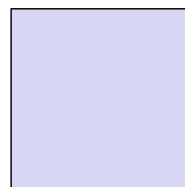
4. and separate boxes



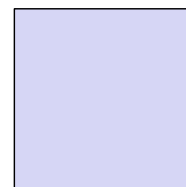
... separate more

QM →

$\psi =$



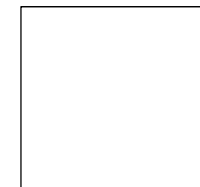
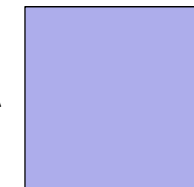
+



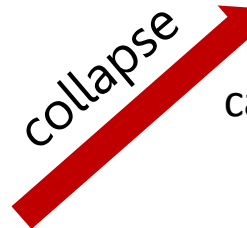
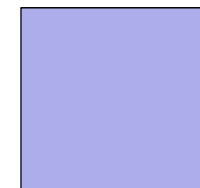
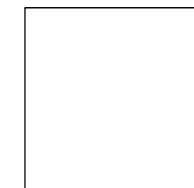
classical interpretation

either A or B

case A

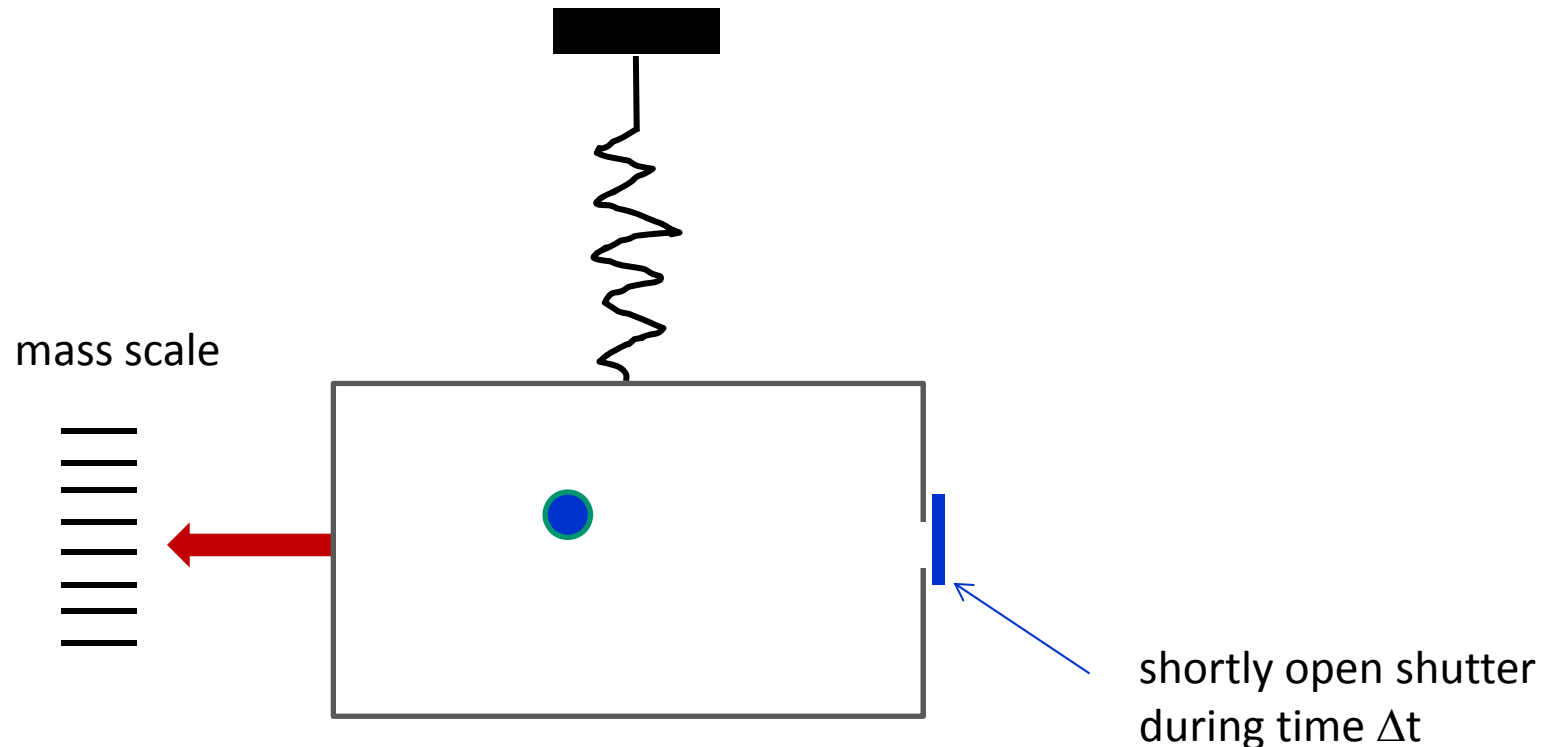
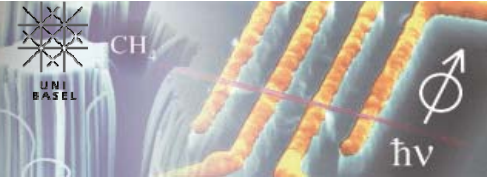


case B



“non-detection” of a particle

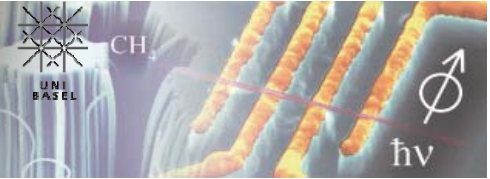
Schönenberger group www.nanoelectronics.ch



1. place particle in the box, e.g. in a certain wavefunction ψ
2. open slit during time Δt , then measure weight of box to arbitrarily precision. This constitutes the measurement process.
3. If box gets lighter, particle must have left through slit, hence, the projection (collapse) has taken place. If, on the other hand, we do not see a mass change, nothing has happened. That is to say, that we could not gain any information from the measurement, so that the wavefunction does not have changed at all (at least if Δt is short)

Postulate der QM

Schönenberger group www.nanoelectronics.ch



1. Der Zustand eines physikalischen Systems zur Zeit t wird durch einen normierten Vektor $\Psi \in \mathcal{H}$ im Hilbertraum \mathcal{H} beschrieben.
2. Jeder beobachtbaren physikalischen Grösse (Observable) ist ein hermitischer (selbst-adjungierter) Operator $\hat{A}: \mathcal{H} \rightarrow \mathcal{H}$ zugeordnet.
3. Das Ergebnis einer Messung der Observablen ist **ein** Eigenwert des zugeordneten Operators \hat{A} . Dieser ist reell (da Messoperator hermitisch).
4. Die Wahrscheinlichkeit, im Zustand Ψ den Eigenwert a von \hat{A} zu messen ist

$$w_a = |c_a|^2 = \left| \langle \Phi_a | \Psi \rangle \right|^2$$

wobei Φ_a der zu a gehörende Eigenzustand ist, $\hat{A} \Phi_a = a \Phi_a$.

5. Erhält man bei der Messung das Resultat a , so befindet sich das System *nach der Messung* im zu a gehörenden Eigenzustand, $\Psi = \Phi_a$.
6. Zwischen den Messungen wird die Zeitentwicklung des Zustands Ψ durch die Schrödingergleichung bestimmt:

$$i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \Psi = \hat{H} \Psi, \quad \hat{H} \equiv \text{Hamiltonoperator}$$