

Dompteure der Quanten

Physik des Nobelpreises 2012

Serge Haroche, ENS

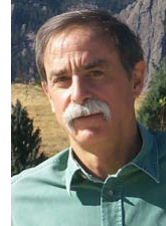


Front



Back

David Wineland, NIST

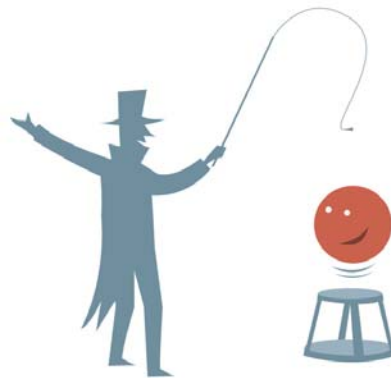


Jürgen Eschner, UdS, 06.12.2012



Widmung

Für "bahnbrechende experimentelle Methoden, die die Messung und die Manipulation individueller Quantensysteme ermöglichen".



kva.se

Motivation
Physikalische Systeme
Grundlagen
Beispielhafte Arbeiten
Technologie

Motivation

Für "bahnbrechende experimentelle Methoden, die die
Messung und die Manipulation individueller
Quantensysteme ermöglichen".

Was ist daran besonders?

... the direct observation of individual quantum systems without destroying them.

... the very first steps towards building a new type of super fast computer, based on quantum physics.

... construction of extremely precise clocks (...) with more than 100-fold greater precision than present-day Cs clocks.

kva.se

VOLUME III

AUGUST, 1952

No. 10



ARE THERE QUANTUM JUMPS? PART I*

E. SCHRÖDINGER Brit. J. Phil. Sci. 3, 109 (1952).

Secondly, this is the obvious way of registering the fact, that we *never* experiment with just *one* electron or atom or (small) molecule. In thought-experiments we sometimes assume that we do; this invariably entails ridiculous consequences

**... wir experimentieren niemals mit nur einem Elektron oder Atom
... In Gedankenexperimenten nehmen manchmal an wir täten das;
das hat unweigerlich lächerliche Konsequenzen ...**

Wofür ist das gut?

... the direct observation of individual quantum systems without destroying them.

... the very first steps towards building a new type of super fast computer, based on quantum physics.

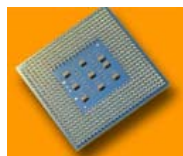
... construction of extremely precise clocks (...) with more than 100-fold greater precision than present-day Cs clocks.

kva.se

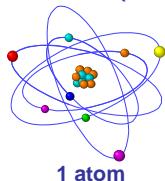
Quantentechnologie rückt näher



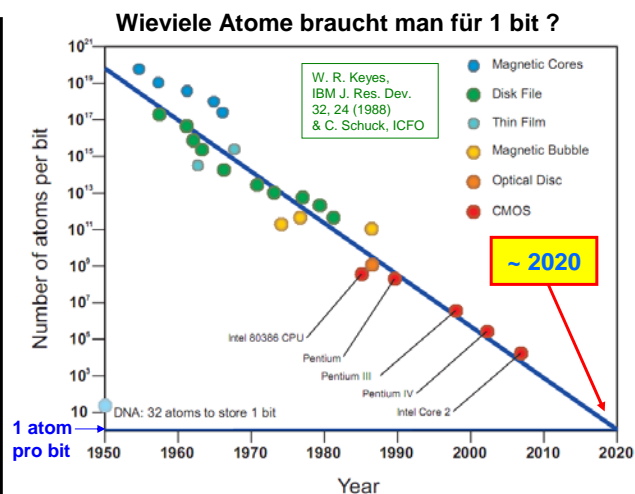
ENIAC (1947)



Pentium 4 (2002)



1 atom

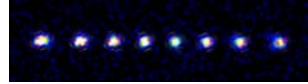


● Quanteneffekte spielen eine Rolle – und erlauben neue Anwendungen

Quanteninformationstechnologie

- **Quantencomputer mit einzelnen Atomen**

Vorteile bei der Lösung einiger "harter" Probleme, z.B. Faktorisierung grosser Zahlen, Datenbanksuche; Simulation von komplexen Materialien mit Quanteneigenschaften



- **Quantenkommunikation mit einzelnen Photonen**

Abhörsichere Verschlüsselung (Quantenkryptographie)



Kommerziell verfügbar!

Wofür ist das gut?

... the direct observation of individual quantum systems without destroying them.

... the very first steps towards building a new type of super fast computer, based on quantum physics.

... **construction of extremely precise clocks (...) with more than 100-fold greater precision than present-day Cs clocks.**

kva.se

Quantenmetrologie

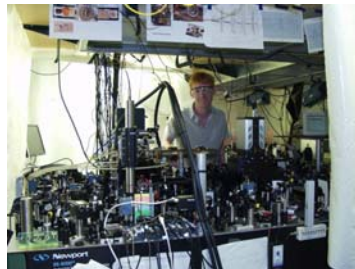
- **Optische Atomuhr**

Cs-Uhr : Schwingung bei ~ 10 GHz (10^{10} Hz)

Al⁺-Uhr : Schwingung bei 10^{15} Hz

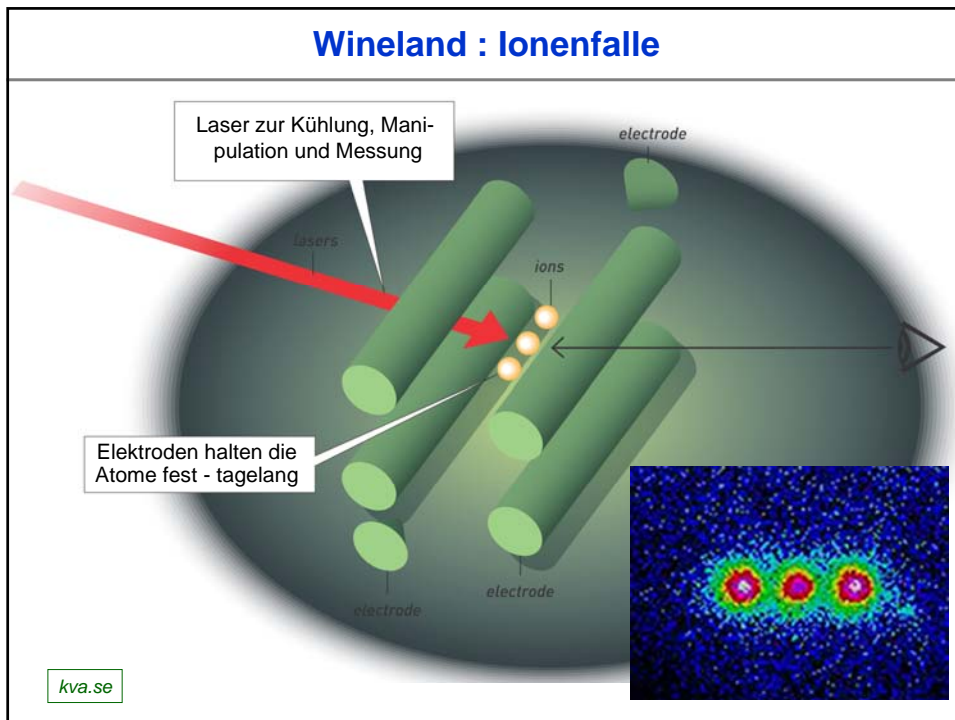
Sekunde kann 100.000 mal feiner unterteilt werden!

→ ultraempfindliche Messungen z.B. der lokalen Gravitation

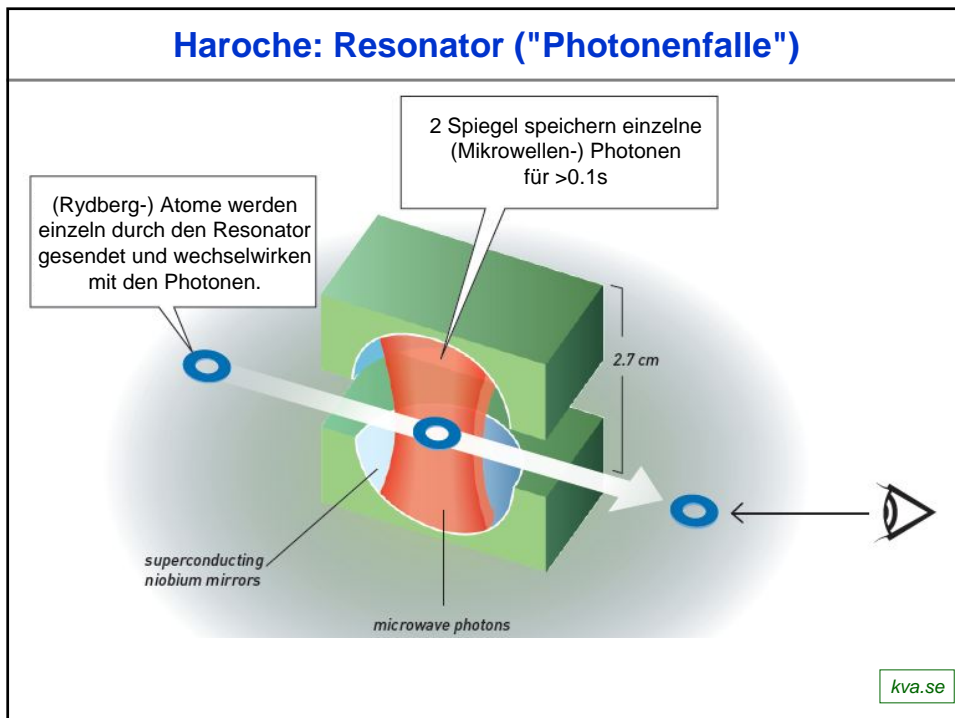


Physikalische Systeme

Wineland : Ionenfalle



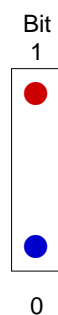
Haroche: Resonator ("Photonenfalle")



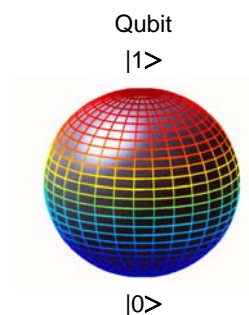
Grundlagen

Quantenbits

- Für ein Teilchen mit zwei Zuständen erlaubt die Quantenmechanik auch Überlagerungen dieser Zustände

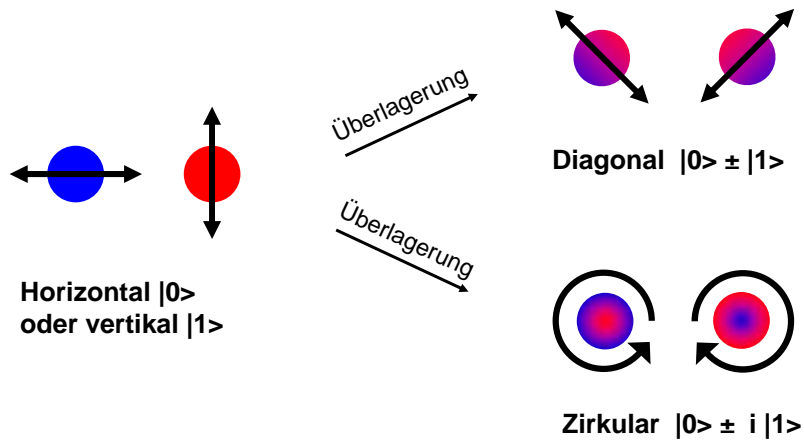


- Entweder 1 oder 0
- N Bits: 2^N Zustände



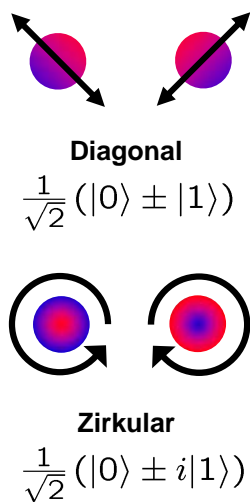
- Alle Überlagerungen $\alpha|0\rangle + \beta|1\rangle$
- N Qubits: 2^N Basiszustände

Beispiel : Polarisierung eines Photons



- Wichtige quantenphysikalische Eigenschaften :
Überlagerung, Verschränkung, projektive Messung

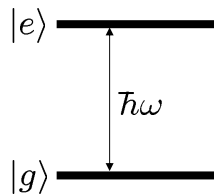
Quantenphase und Wahrscheinlichkeit



- In allen diesen Zuständen ist die Wahrscheinlichkeit für $|0\rangle$ und $|1\rangle$ jeweils $1/2$.
- $|0\rangle + |1\rangle$ und $|0\rangle - |1\rangle$ sind orthogonale Zustände!
- Die Quantenphase ist entscheidend! $|0\rangle + e^{i\phi}|1\rangle$

Atomares Quantenbit

2-Niveau-Atom

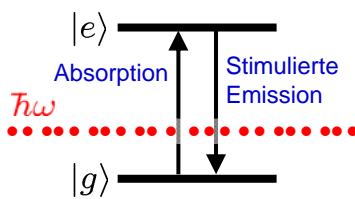


$$|\psi\rangle = \alpha|g\rangle + \beta e^{i\omega t}|e\rangle$$

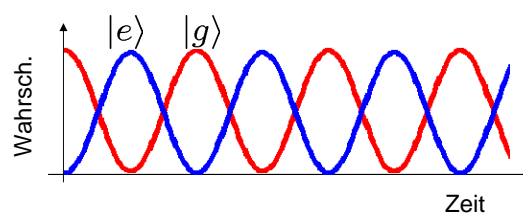
Mit Wahrscheinlichkeit $|\alpha|^2$, $|\beta|^2$
ist das Atom in $|g\rangle$, $|e\rangle$

Das zentrale Werkzeug: Rabi-Oszillationen

Resonant angeregtes 2-Niveau-Atom



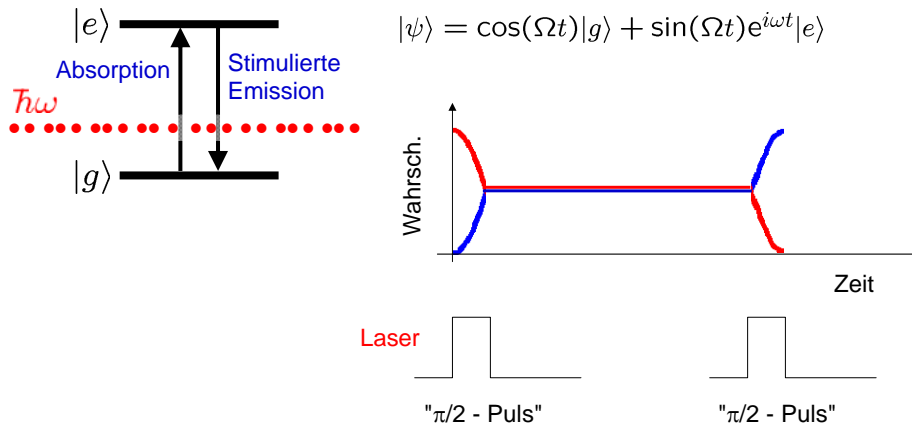
$$|\psi\rangle = \cos(\Omega t)|g\rangle + \sin(\Omega t)e^{i\omega t}|e\rangle$$



Laser

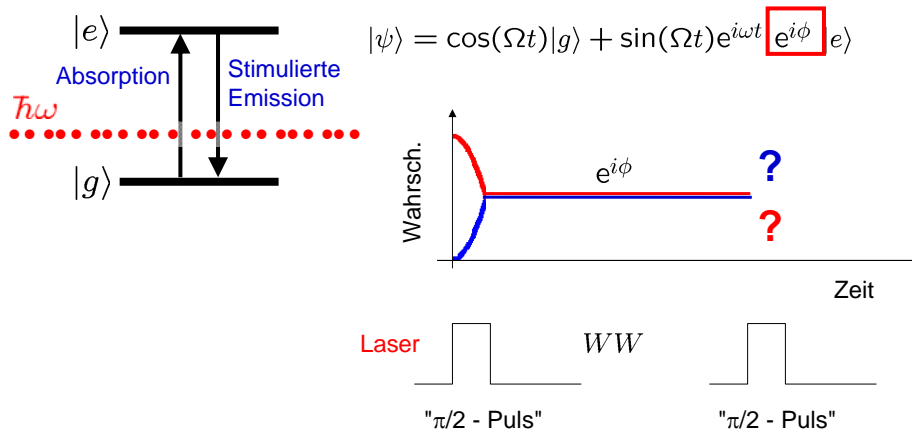
Ramsey - Methode

Resonant angeregtes 2-Niveau-Atom



Ramsey - Methode

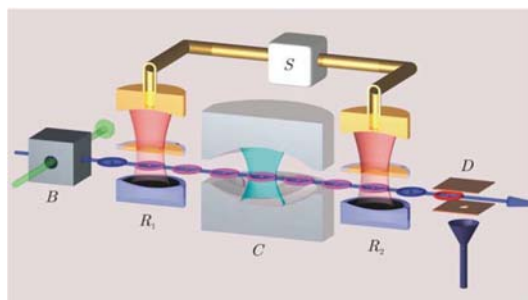
Resonant angeregtes 2-Niveau-Atom



Beispielhafte Arbeiten

Haroche

- Erzeugung, Messung und Stabilisierung von n-Photon Zuständen, ohne ein einziges zu absorbieren



Nature 448, 889 (2007)
Nature 477, 73 (2011)

B : $|\psi\rangle = |e\rangle$

R_1 : $\pi/2$ -Puls

C : Phasenverschiebung $e^{i\phi(n)}$

R_2 : $\pi/2$ -Puls

D : Projektion auf $|e\rangle$ oder $|g\rangle$

Atom im Zustand $|e\rangle$ präpariert

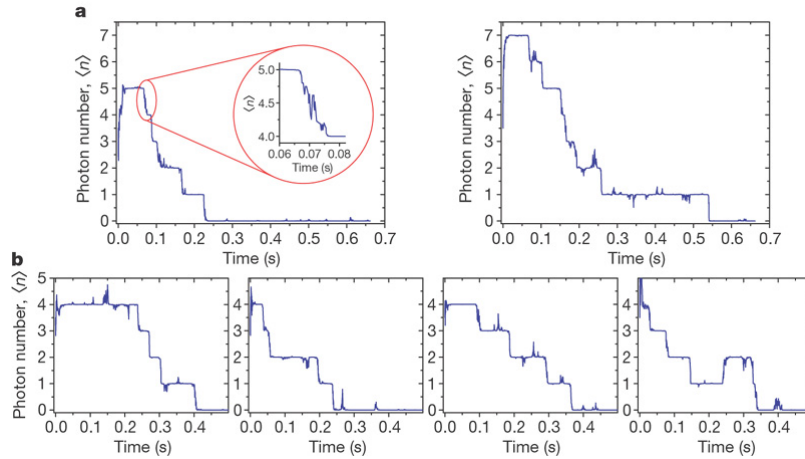
Atom im Überlagerungszustand

Phasenverschiebung prop. zu n

Auslesen des Überlagerungszustands

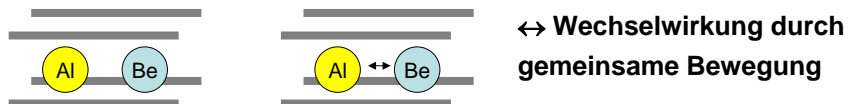
Zustandsmessung

Haroche



Wineland

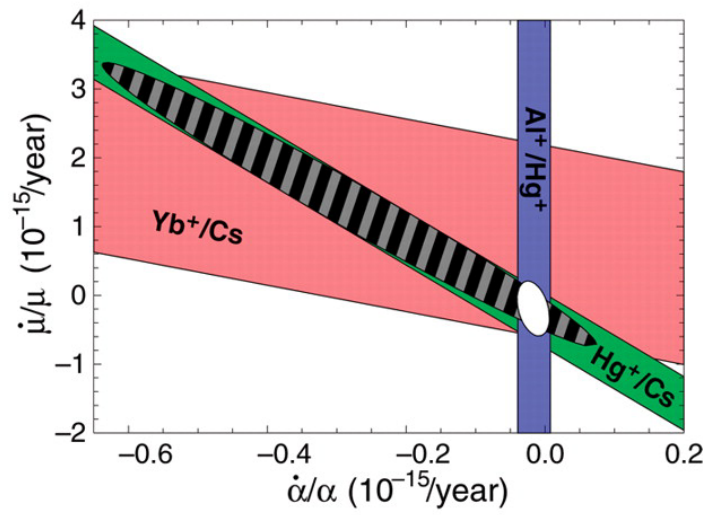
- Optische Uhr, die mit Quantenlogik abgelesen wird.
Präzision 10^{-17} erlaubt Messungen von
→ relativistische Zeitdilatation durch ~ 10 m/s Geschwindigkeit
oder 30 cm Höhenunterschied im Gravitationsfeld
→ Variation von Naturkonstanten



- Prinzip: Al^+ wird in Überlagerungszustand versetzt, Schwingung $e^{i\omega t}$ ist die atomare Uhr. Durch Laserpulse wird der Zustand auf Be^+ übertragen (Quantenlogik) und ausgelesen, ohne ihn zu zerstören. Eine Laserfrequenz wird durch das Ausleseergebnis stabilisiert (z.B. immer $|g\rangle$).

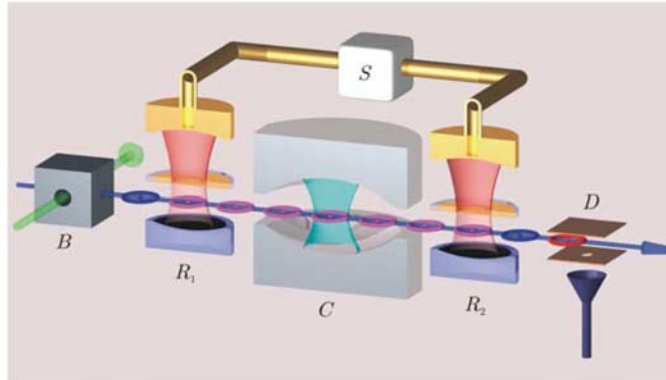
Science 309, 749 (2005),
Science 319, 1808 (2008)

Anwendung : Variation von α



Technologie

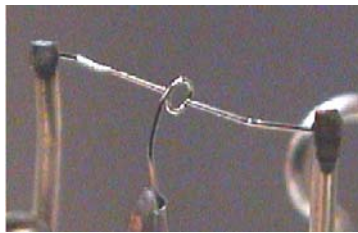
Haroche : Resonatoren



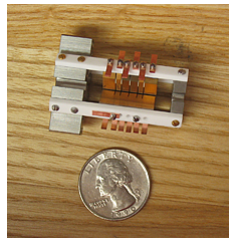
Supraleitende Nb-beschichtete Resonatorspiegel mit Zerfallszeit des Mikrowellenfeldes von 130 ms (2011).

Über >20 Jahre kontinuierlich verbessert von z.B. 220 μ s in 1995.

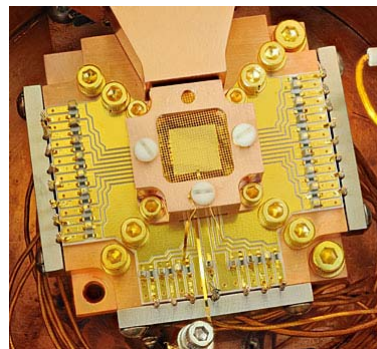
Wineland : Ionenfallen



Traditionelle Drahtfalle



Falle für Ionen-Logik-Uhr



Fallenprototyp fürs Quantenrechnen

Zusammenfassung

**Bahnbrechende experimentelle Methoden, die die
Messung und die Manipulation individueller
Quantensysteme ermöglichen!**



www.uni-saarland.de/lehrstuhl/eschner

kva.se