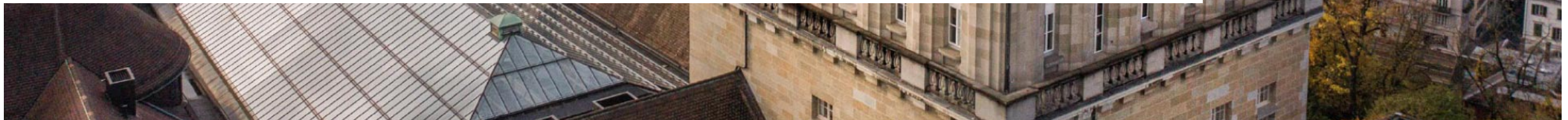




Im Reich der Quanten

Von physikalischer Theorie zu praktischer Technologie

Titus Neupert
2.12.2025, “Lunch und Lecture” Paulus-Akademie



Physik in der Schule: **80% klassische Physik**

Physik in der Uni: **80% Quantenphysik**

Grund: Grenzen unseres Wissens und die spannendsten Anwendungen liegen in der Quantenwelt



INTERNATIONAL YEAR OF Quantum Science and Technology

Vor 100 Jahren ...

Werner Heisenberg, Max Born und Pasqual Jordan
begründen theoretische Quantenmechanik

Physikalische Theorien gründen sich auf **Axiomen**
(unbeweisbaren Annahmen) und müssen
überprüfbare Vorhersagen machen

Vor 100 Jahren ... in Zürich

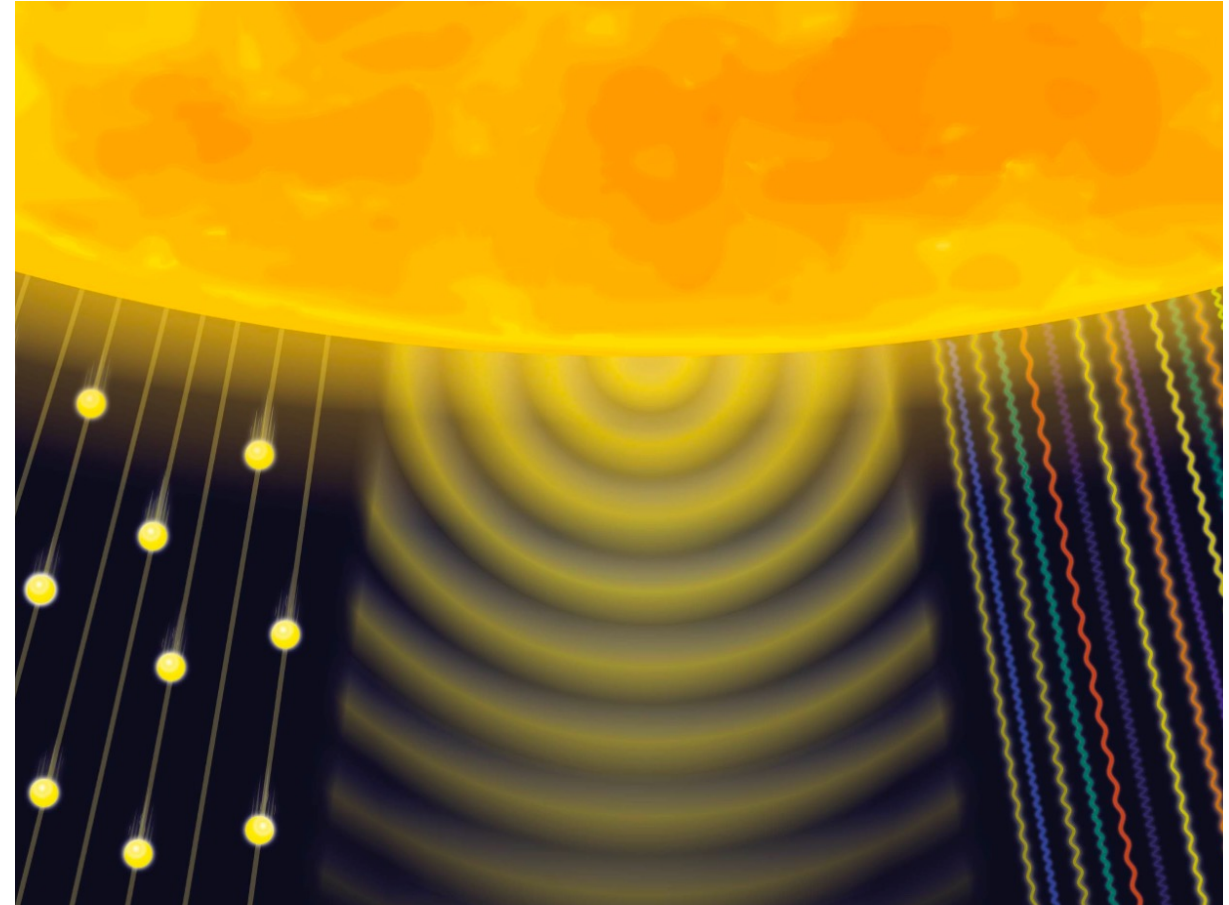
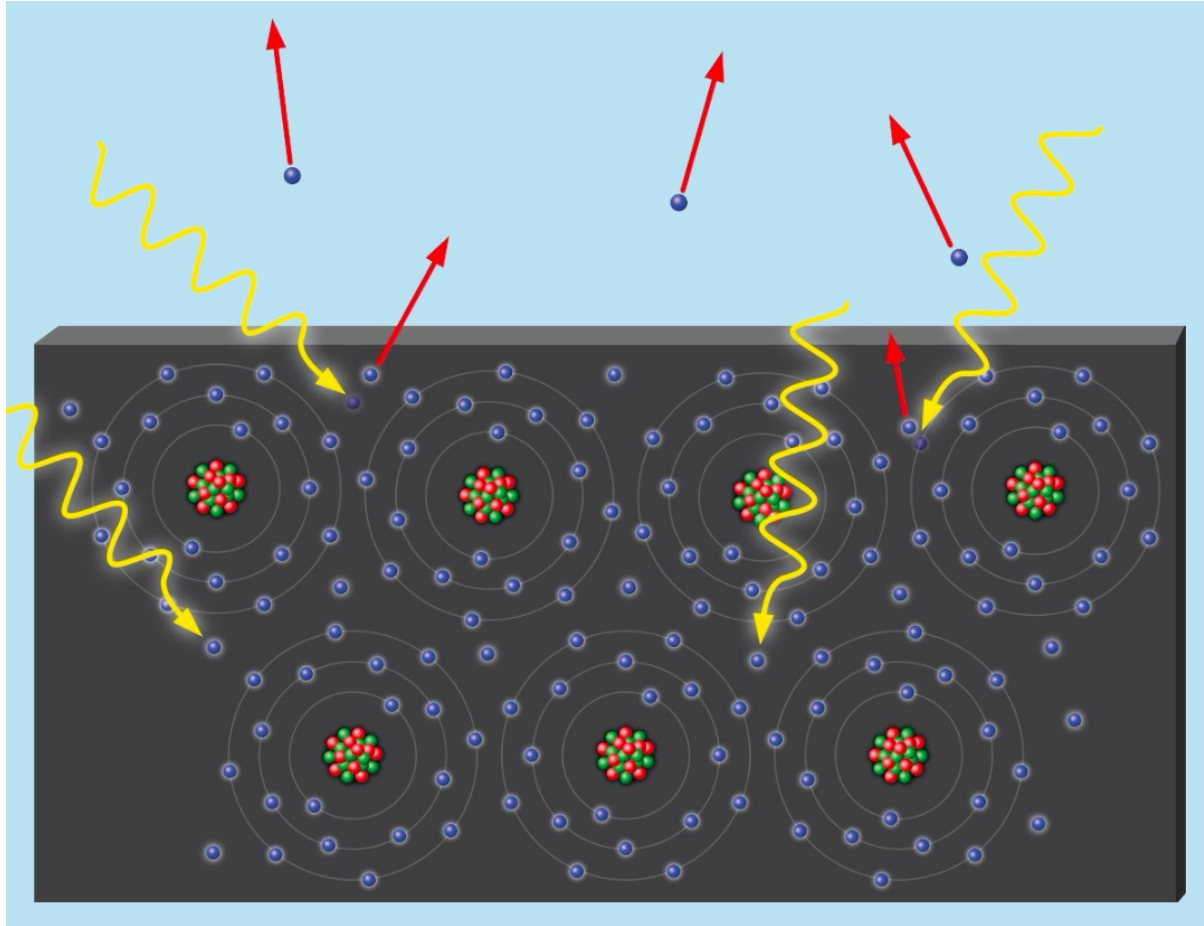
$$i\hbar \frac{\partial \psi}{\partial t} = -\frac{\hbar^2}{2m} \Delta \psi + V \psi$$

Erwin Schrödinger
Universität Zürich, 1926

Eine mathematische Formulierung der Quantenmechanik, die weithin genutzt werden wird

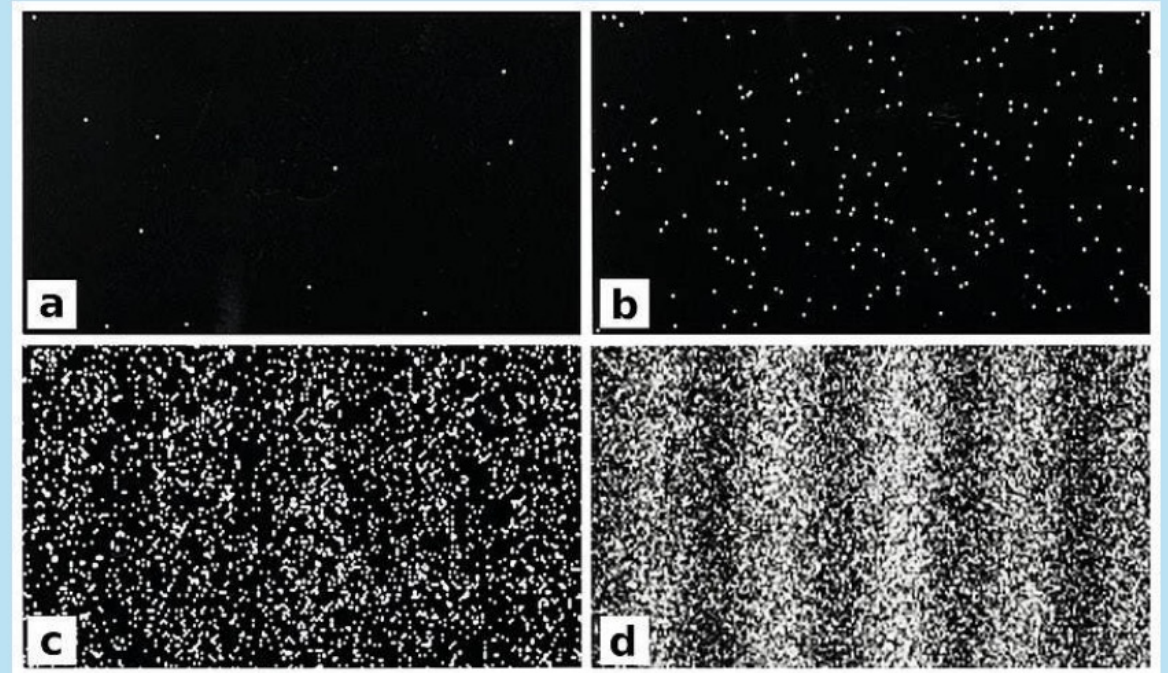
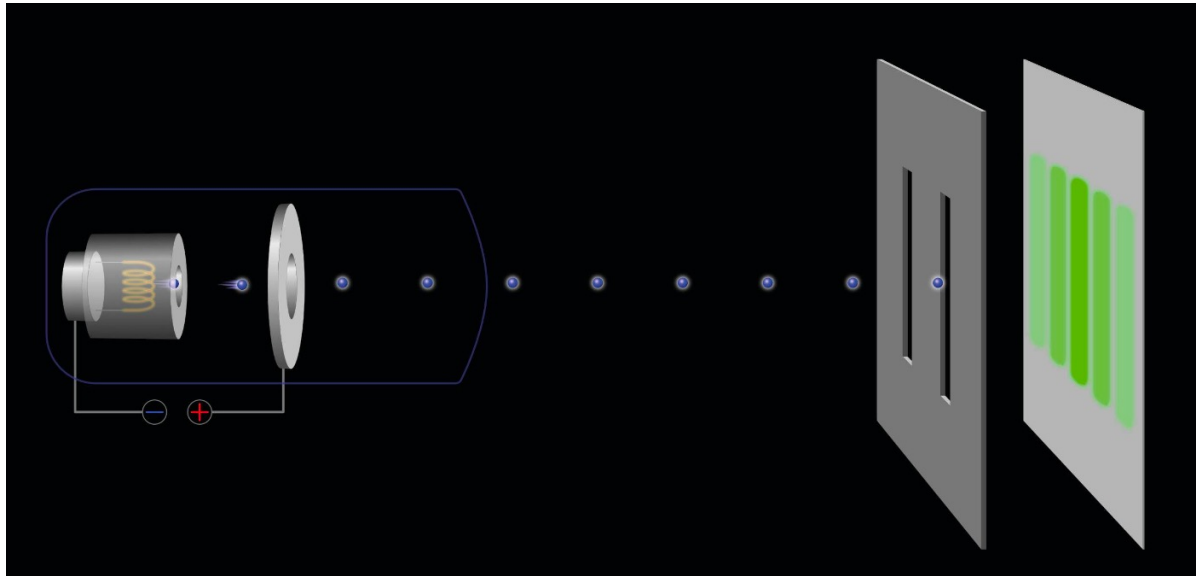
Welle oder Teilchen?

Photoeffekt: Herauslösen von Elektronen aus einer Metall- oder Halbleiteroberfläche durch Bestrahlung. Erklärt von Albert Einstein



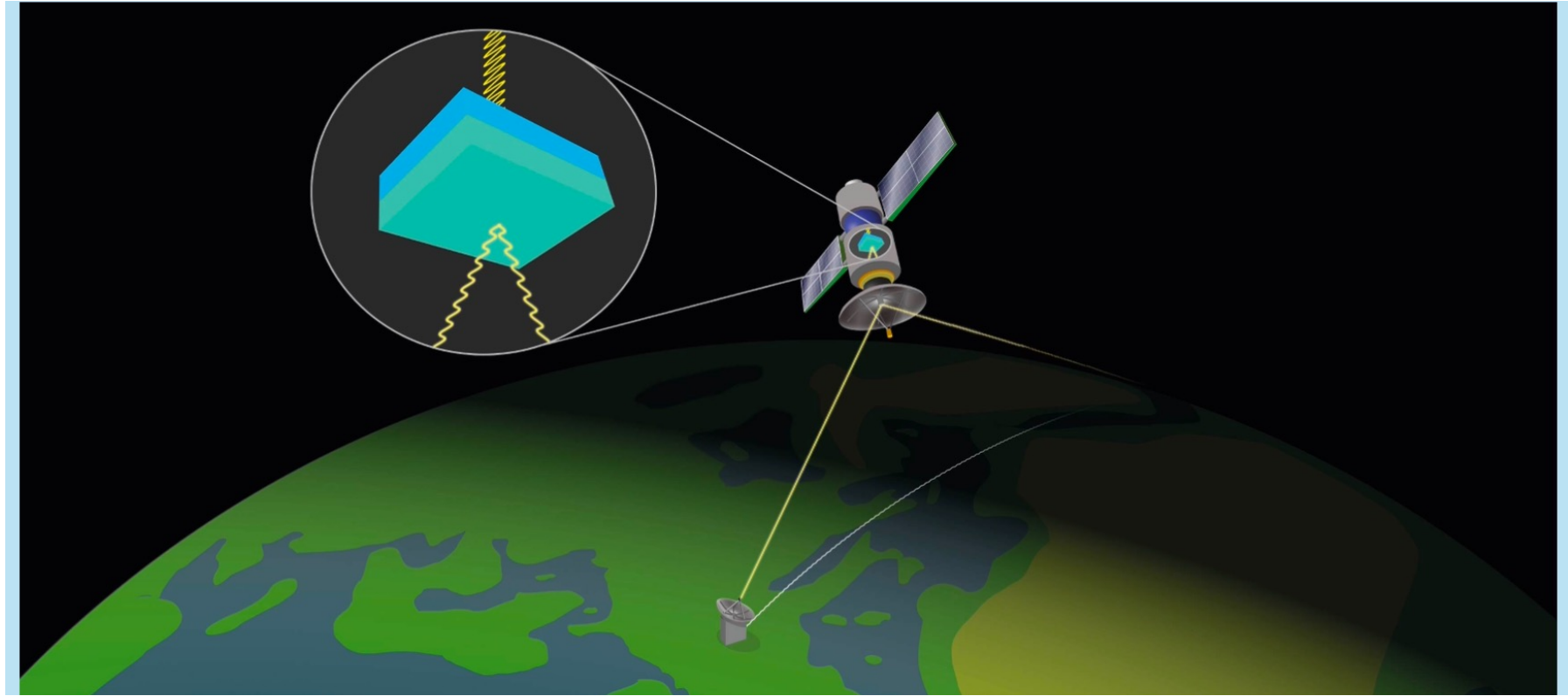
Interferenz mit sich selbst

Doppelspaltexperiment als Beweis des Welle-Teilchen-Dualismus



Beobachtung von Interferenzeffekten
Bild: Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. 102(42),
2005. doi:10.1073/pnas.0504720102

Verschränkt!



Quantenmechanische Verschränkung: zwei oder mehr Teilchen (z.B. Elektronen, Photonen oder Atome) in einem Zustand sein können, der ihre Eigenschaften miteinander verknüpft, **unabhängig von der Entfernung** zwischen ihnen.

keine Entsprechung in der klassischen Physik

Quanten-Bits: ermöglicht Quantencomputer

Anwendung: Verschlüsselte Kommunikation

2016 gelang es mit einem Satelliten, verschränkte Photonen über eine Distanz von mehr als 1200 km zu übertragen

2017 wurde ein abhörsicheres Quantentelefonat zwischen Wien und Peking geführt

Superposition: alles gleichzeitig!

Schrödinger's Katze als bekanntestes Gedankenexperiment

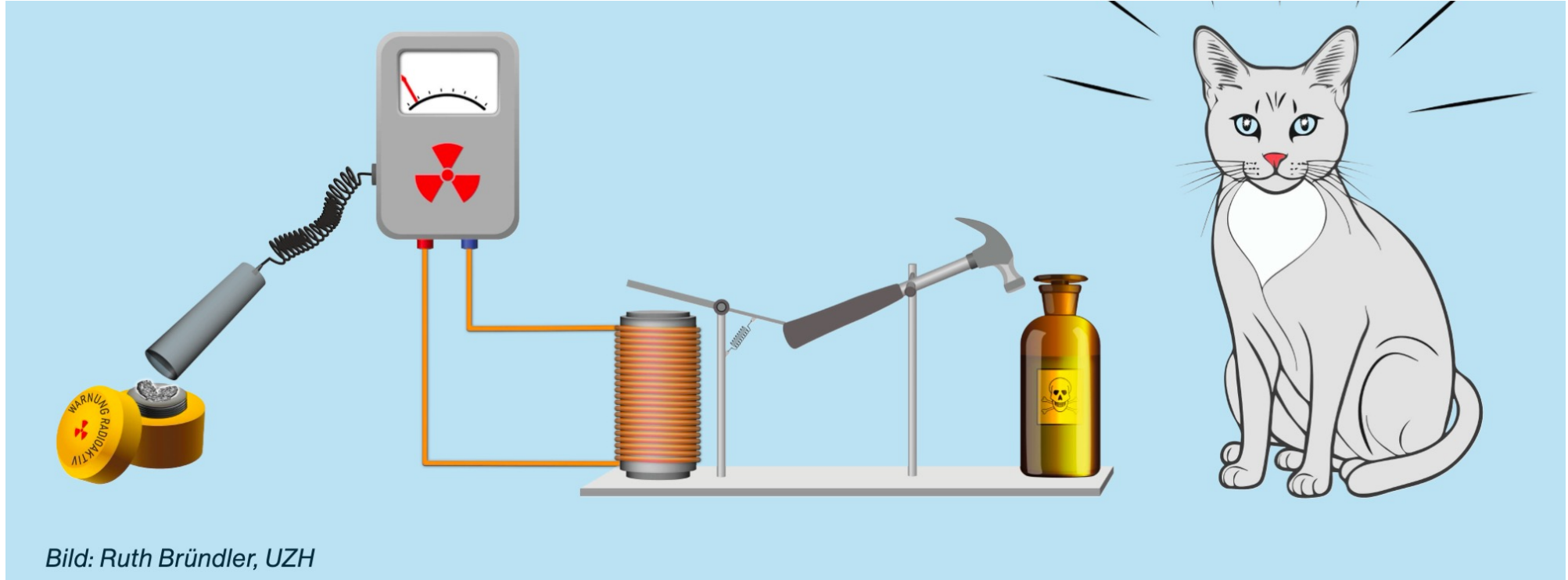


Bild: Ruth Bründler, UZH

Superpositionsprinzip : Objekt gleichzeitig in mehreren möglichen Zuständen

Messung:

- «wählt» das System einen dieser Zustände aus
- Wellenfunktion «kollabiert», System sofort einen bestimmten Zustand
- Interpretationsfragen offen

Verschränkte Systeme:

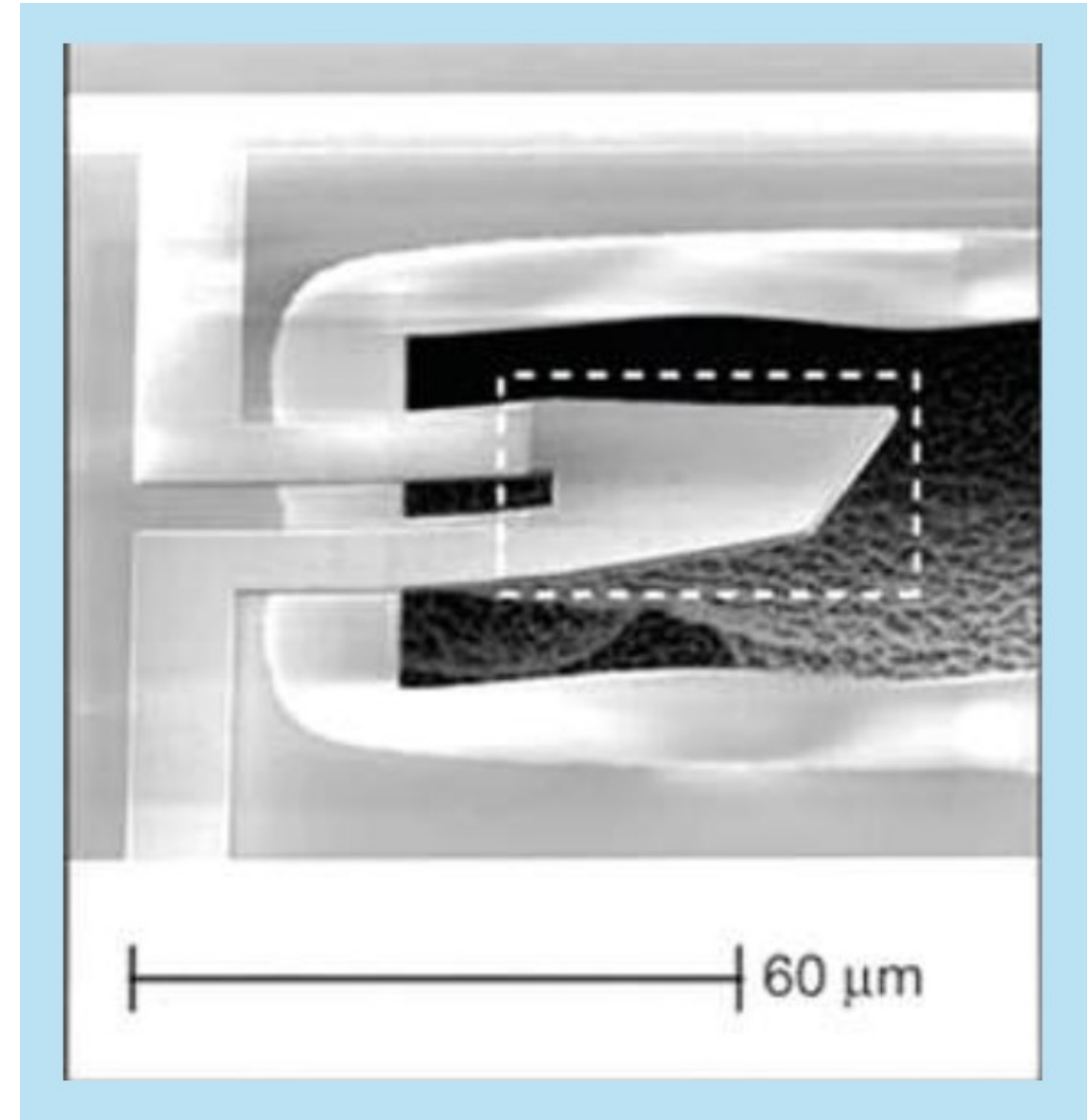
- Messung verändert auch Zustand des anderen Teilchens instantan, selbst wenn sie weit voneinander entfernt sind.
- Einstein: als «Spooky Action at a Distance» (spukhafte Fernwirkung)
- kann keine echte Information transportieren

Wie kommen die Quanten in die Mechanik?

klassischen Physik: Energie in kontinuierlichen Werte

quantenmechanischen Systeme: Energien sind quantisiert, aber so fein, dass wir sie normal nicht erkennen

Rechts: **Schwingendes Blättchen** (Cantilever) mit einer Grösse von wenigen Mikrometern [Nature 464, 697 (2010)]

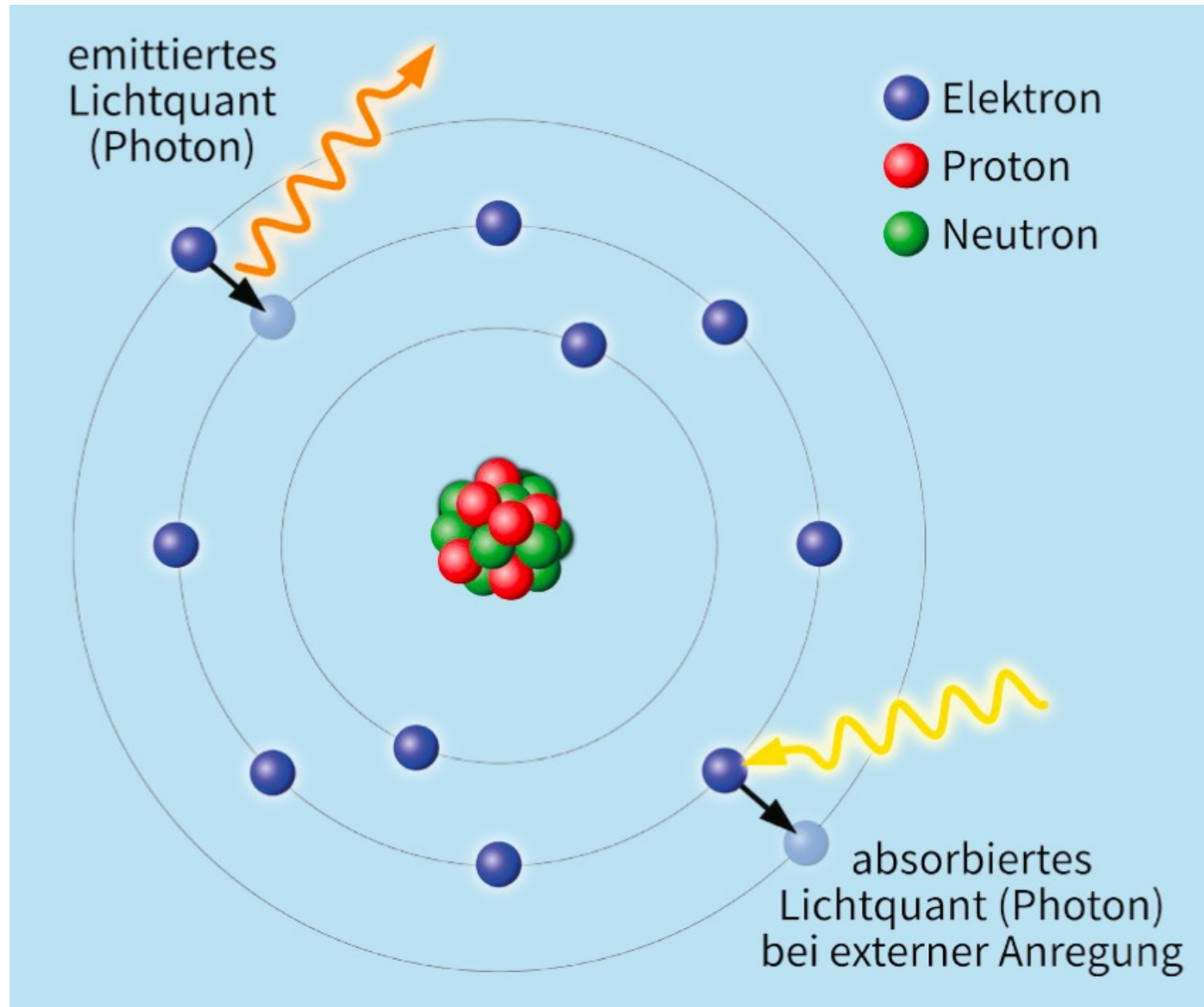


Der Quantensprung

Einen qualitative, sofortige Veränderung

In der Physik auf kleinen Skalen

Hat es in die Alltagssprache geschafft



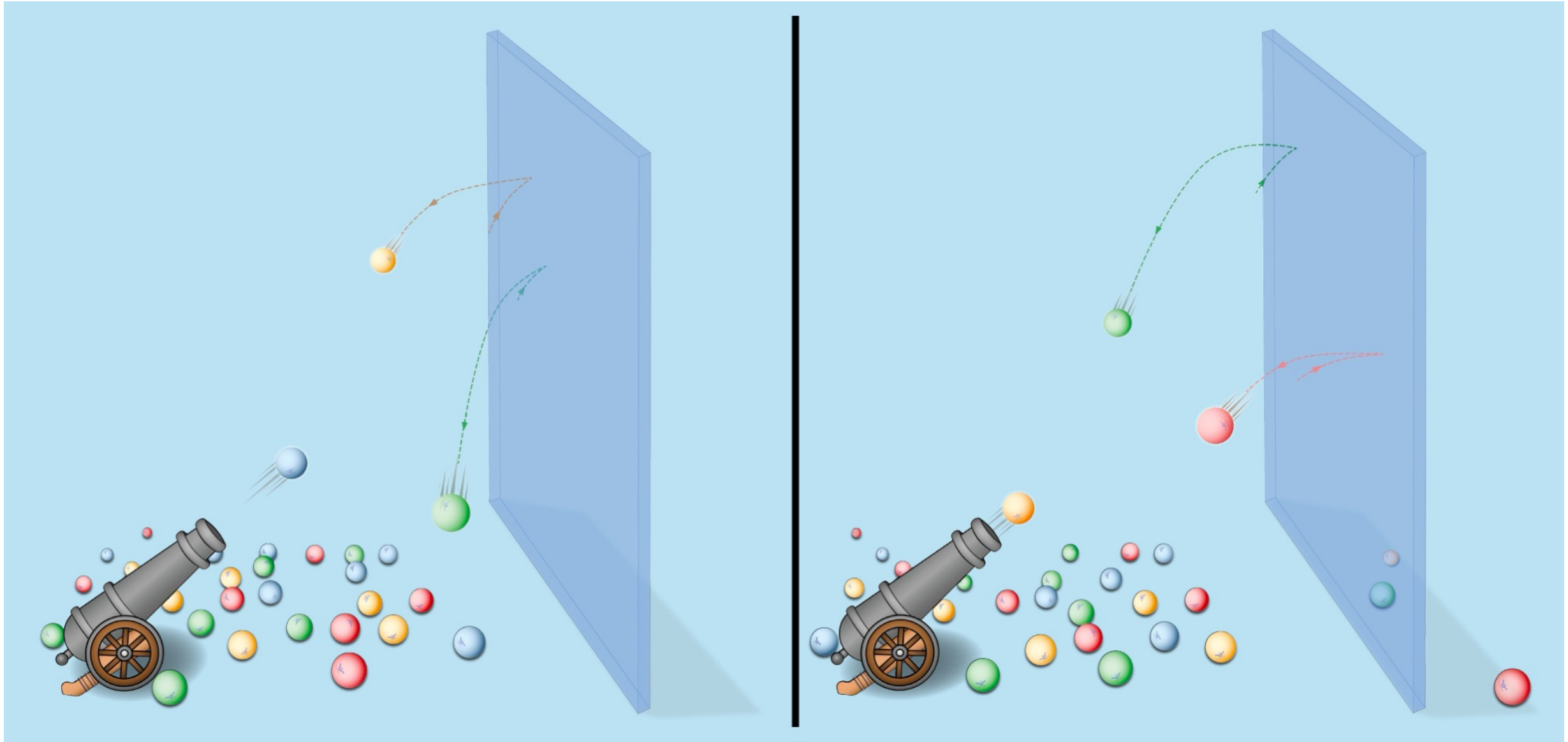
Alles unscharf?

$$\Delta x \cdot \Delta p \geq \hbar / 2$$



Je genauer die Geschwindigkeit eines Teilchens bestimmt wird, desto stärker verschwimmt sein Aufenthaltsort. Beides gleichzeitig präzise zu messen, verbietet die Heisenberg'sche Unschärferelation. Bild: Ruth Bründler UZH

Der Tunneleffekt



Wir sind mitten in der zweiten Quantenrevolution!

Erste Quantenrevolution:

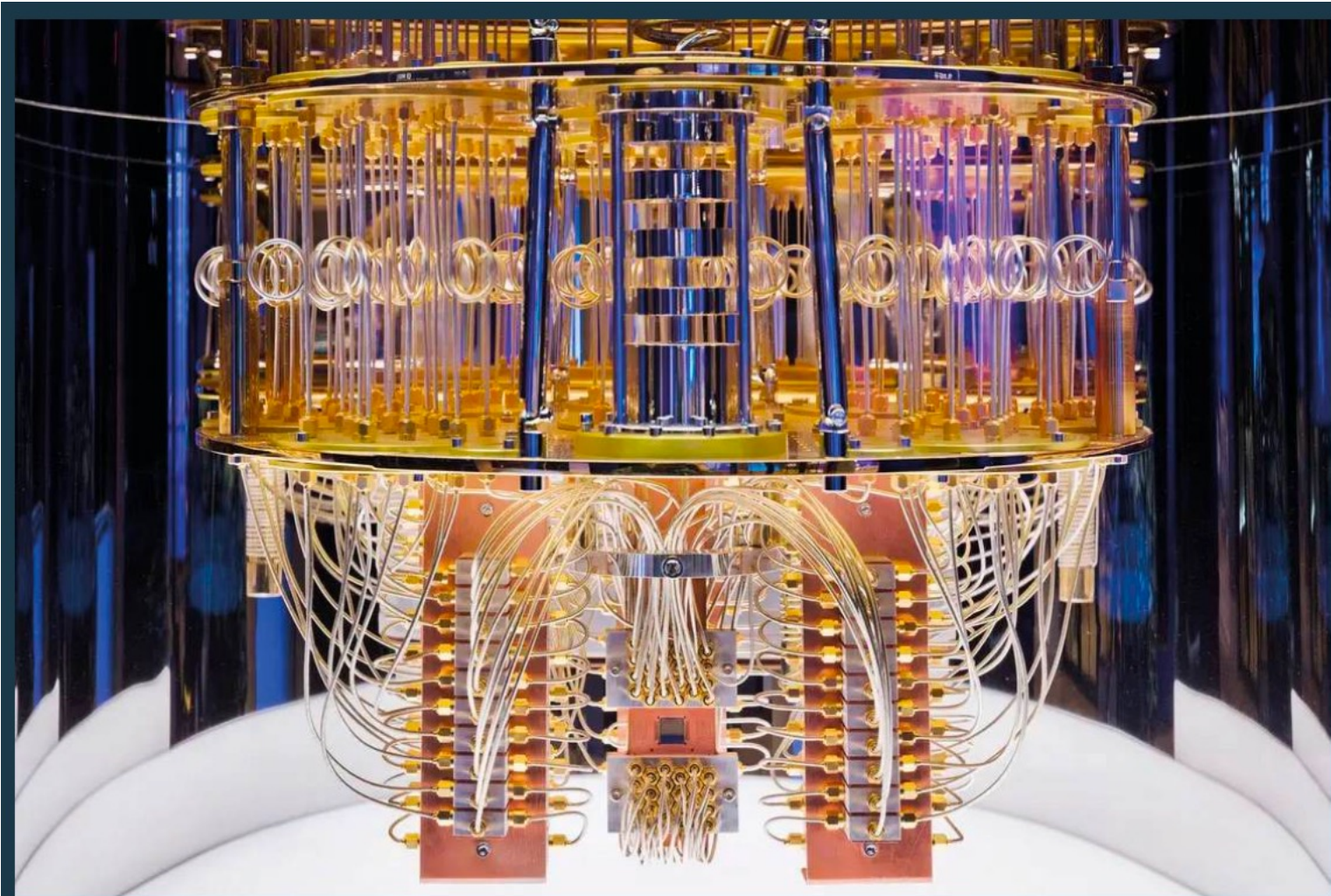
Theorie zur Beschreibung von Quantenphänomenen, erste Hälfte
20. Jahrhundert

Zweite Quantenrevolution:

Quantensysteme werden gezielt manipuliert und ausgelesen, um
Verschränkung und Superposition technisch zu nutzen. Jetzt!

- **Quantensensing**
- **Quantenkommunikation**
- **Quantencomputing**

Technische Anwendungen für Quantenphänomene: Quantencomputer



Quantencomputer von IBM. Bild: IBM

Technische Anwendungen für Quantenphänomene: Quantencomputer



2019

nature

Explore content ▾

About the journal ▾

Publish with us ▾

Subscribe

[nature](#) > [news](#) > article

NEWS | 22 October 2025

Google claims ‘quantum advantage’ again – but researchers are sceptical

The firm says it has solved a problem on a quantum processor faster than a classical computer, and is optimistic about future scientific applications.

Gegenwärtig wird debattiert, ob bereits eine Rechnung gelungen ist, die mit klassischen Computern "unmöglich" wäre+

Nützliche Anwendungen werden noch einige Jahre brauchen

Technische Anwendungen für Quantenphänomene: Supraleitung



Ausblick

Zweite Quantenrevolution wird in den kommenden Jahren unglaubliche Fortschritte bringen. Quantenphysik wird in die Ingenieurwissenschaften Einzug halten

Offene Fragen verlangen nach Anstrengungen in der Grundlagenforschung

- Zusammenführung von Gravitation und Quantenmechanik
- «Komplettierung» der Teilchenphysik mit Erklärung dunkler Materie und dunkler Energie
- Interpretation der Quantenmechanik/Messproblem

Ab Januar im Science Pavilion UZH

„Quantum Century Escape“ ist ein immersiver Escape Room, in dem Physik, wissenschaftliche Methode und bahnbrechende historische Entdeckungen in einem Wettlauf gegen die Zeit zum Leben erweckt werden. Löst gemeinsam Rätsel und führt Experimente durch, während ihr das Geheimnis einer mysteriösen Wissenschaftlerin aus dem Jahr 1925 – dem Beginn der Quantenmechanik – aufdeckt.

