

Die Paul-Falle

Die Paul-Falle

Mit einer Paul-Falle, auch bekannt als *Paul Ion Trap*, kann man einzelne Ionen einfangen und isolieren, um sie genauer zu untersuchen. Benannt ist sie nach dem deutschen Physiker Wolfgang Paul, der 1989 den Nobelpreis in Physik für die Entwicklung dieser Technologie erhielt. Paul-Fallen spielen eine entscheidende Rolle in der Erforschung der Quantenphysik.

Funktionsweise

In einer Paul-Falle werden geladene Teilchen, wie z.B. Ionen, mit einem elektromagnetischen Feld in Position gebracht und festgehalten. Die Maxwell-Gleichungen, die Grundgleichungen für elektromagnetische Felder, erlauben es nicht, dass ein elektrisches Feld im leeren Raum aus allen Richtungen auf einen Punkt zeigt und somit eine Ladung dort fixiert. Wenn das Feld aus einer Richtung auf einen Punkt ausgerichtet ist und eine Ladung in diese Richtung treibt, muss es in der dazu senkrechten Richtung nach außen zeigen (siehe Abbildung) und eine Ladung somit in dieser Richtung aus dem Punkt wegtreiben. Die Paul-Falle umgeht dieses Problem, indem sie das Feld sehr rasch abwechselnd in die eine und dann in die andere Richtung auf den Punkt zeigen lässt.

Anwendungen der Paul-Falle

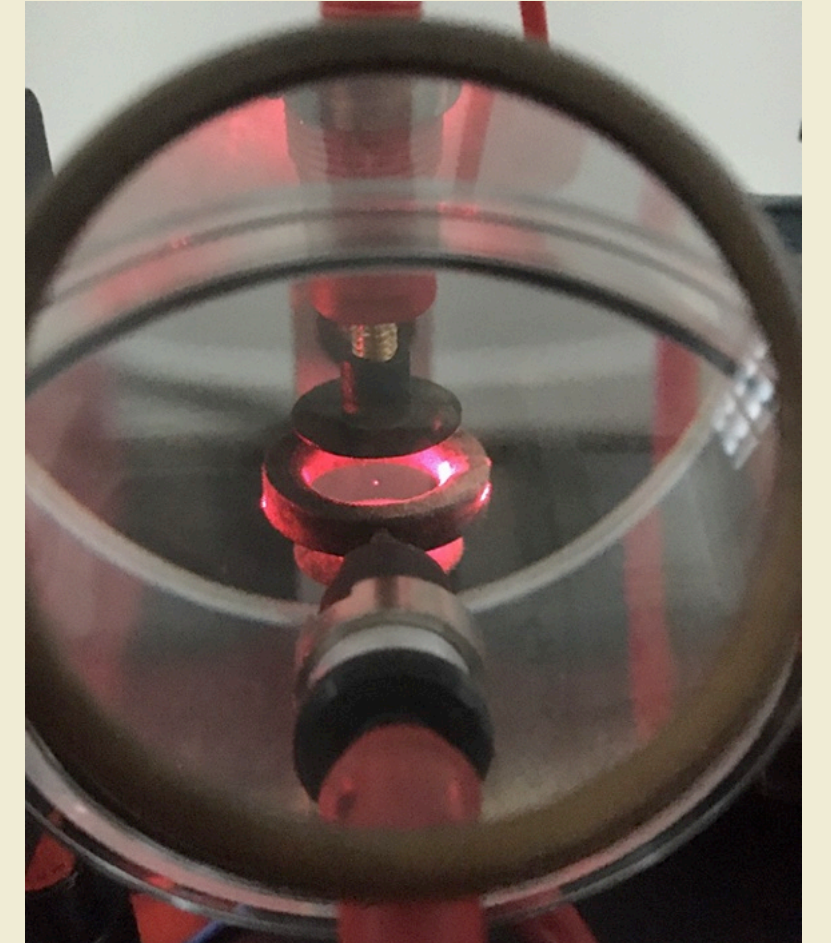
Die Paul-Falle wird häufig in Experimenten eingesetzt, in denen Ionen als Quantenbits (Qubits) dienen. Die Möglichkeit, einzelne Ionen präzise zu kontrollieren und über Laser anzuregen, macht sie zu einem geeigneten Werkzeug für die Realisierung von Quantencomputern und für Protokolle der Quantenkommunikation.

Mit Hilfe von Ionenfallen lassen sich Experimente zur Erzeugung und Manipulation von Verschränkung sowie zur Umsetzung logischer Quantenoperationen durchführen. Solche Ergebnisse vertiefen nicht nur unser Verständnis der Quantenwelt, sondern bilden auch die Grundlage für neue Technologien, die in Zukunft neue Formen der Informationsverarbeitung und die sichere Übertragung von Daten ermöglichen könnten.

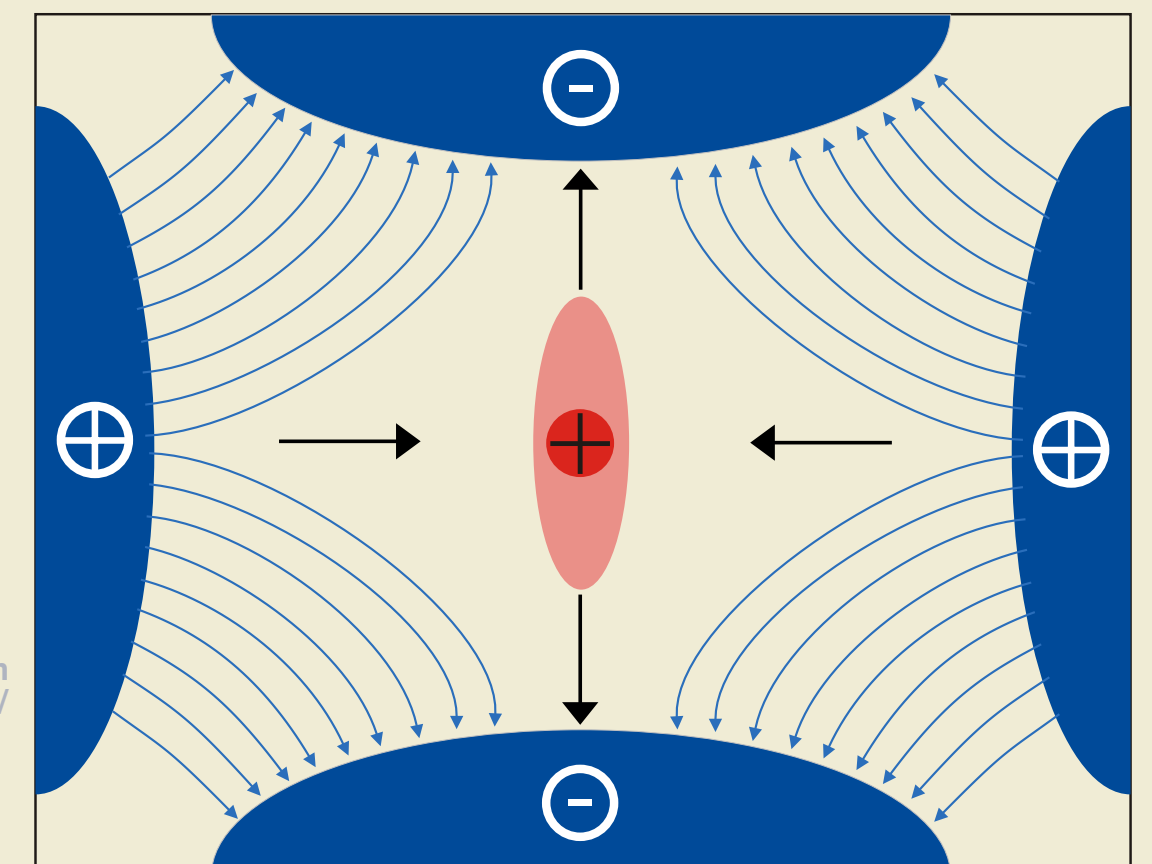
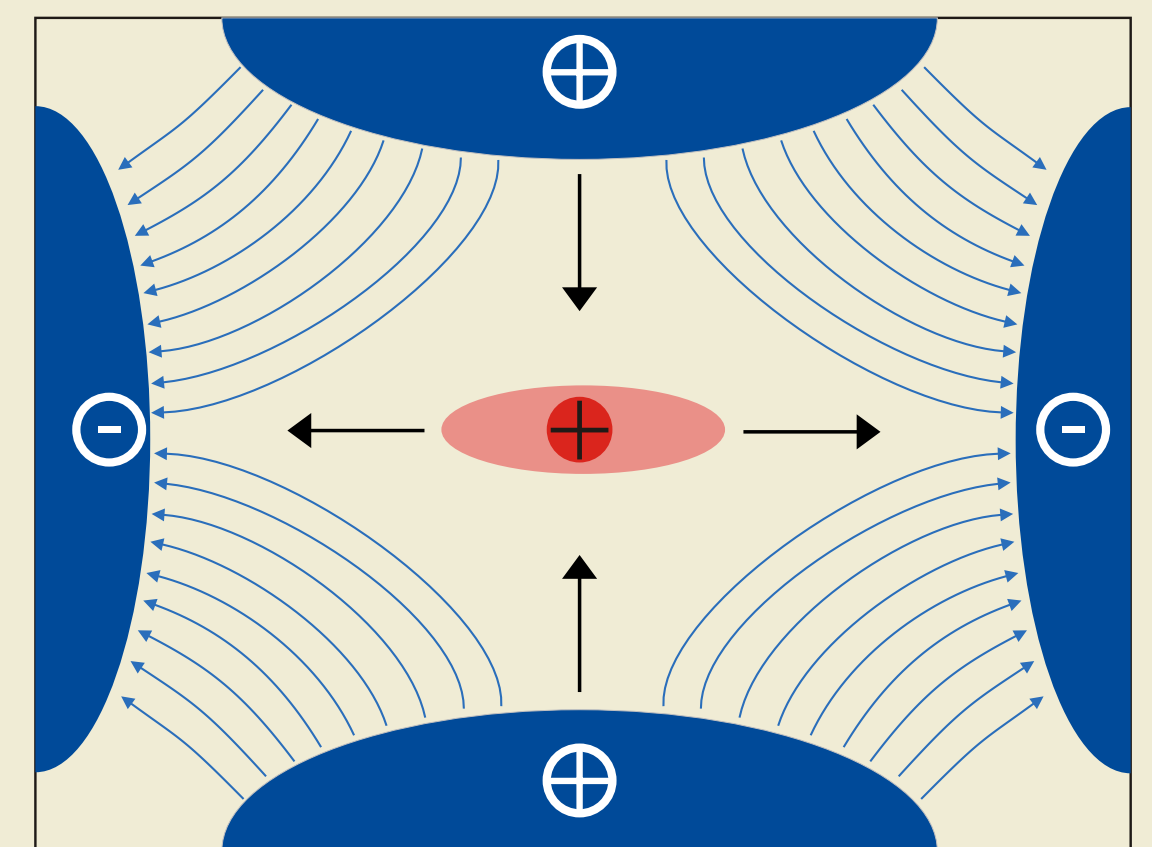


Foto: Axel Hindemith, <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/legalcode>

Paul-Falle von 1955, Nachbau von 1965



www.experimente.physik.uni-freiburg.de
Demonstration mit Bärlappsporen



Arian Kriesch Akriesch, „Paul-Trap“, Farben, Anordnung, Beschriftung von Q-Bus, <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/legalcode>
Schema des elektrischen Feldes in einer Paul-Falle (Querschnitt)

Das Analogieexperiment



Das Analogieexperiment zur Paul-Falle nutzt eine sattelförmige Holzscheibe, die über eine Kurbel gedreht werden kann. Entlang einer Richtung rollt eine Kugel in die Mitte, entlang der dazu senkrechten Richtung wird die Kugel aus der Mitte herausgetrieben. Auf diese Weise ahmt das Analogieexperiment das Potenzial einer echten Paul-Falle nach. Wird die Scheibe schnell genug gedreht, wird die Kugel durch den Sattel schneller wieder in die Mitte getrieben, als dass die Schwerkraft die Kugel aus der Mitte herausschleudert. Dreht man die Scheibe jedoch zu schnell, wird die Kugel aufgrund der Reibung und der Trägheit herausgeschleudert.

