# Laborpraktikum Teilchenphysik
# Paulsche Teilchenfalle

Knut Kiesel
Tobias Pook

September 1, 2012

# Contents

# 1 Ziel der Messung

Ziel des Versuches ist die Speicherung von elektrisch geladenen Teilchen und die Bestimmung des Ladungs-Massen Verhältnisses. Um die Teilchen in einem räumlich begrenzten Feld zu halten, ist ein statisches elektrisches Feld nicht ausreichend, da man damit keine Potentialminima schaffen kann. Eine Möglichkeit dennoch Teilchen zu fangen ist das Anlegen von phasenverschobenen Wechselspannungen und Gleichspannungen, wobei bei richtiger Einstellungen der Spannungen und Frequenzen die Teilchen stabil in der Falle bleiben.

Für jede räumliche Komponente $i \in \{x, y, z\}$ lautet die Bewegungsgleichung

$$\frac{4}{m\Omega^2}|\vec{F_i}| + (a_i - 2q_i \cos(2\xi_i))\, i + 2k_L \frac{dx}{d\xi_i} + \frac{d^2x}{d\xi_i^2} = B\cos\left(\frac{2\omega_W}{\Omega}\xi_i\right)$$

mit dem gleichstromabhängigen Koeffizienten $a_i = \frac{16KqU_{G,i}}{3\Omega^2 m r_0^2}$, dem wechselstromabhängigen Koeffizienten $q_i = -\frac{4kqU_i}{\Omega^2 m r_0^2}$, dem Antribskoeffienzenten $B = \frac{2qU_W}{r_0 m\Omega^2}$, dem Luftreibungskoeffizient $k_L = \frac{6\pi\eta R}{m\Omega}$, der Winkelfrequenz der Dreiphasenspannung $\Omega$, der Winkelfrequenz der zusätzlich an einem Plattenpaar angelegten Wechselspannung $\omega_W$ und der normalisierten Zeit $\xi = \frac{\Omega t}{2}$. Die Kraft $\vec{F}$ ist die Gewichtskraft (die nur auf die z-Komponente Auswirkungen hat). Die Grundschwingung der Lösung wird durch $\beta_i = \sqrt{a_i + \frac{q_i^2}{2}}$ beschrieben. Durch Anlegen geeigneter Frequenzen und Spannungen und das Beobachten der Entstehenden Teilchenbewegungen kann mit unterschiedlichen Methoden das Verhältnis von Ladung zur Masse bestimmt werden.

# 2 Aufbau und Durchführung

Die z-Achse verläuft vertikal, die y-Achse ist die Blickrichtung, und die x-Achse liegt senkrecht zu den beiden übrigen.

Die Falle wird aus sechs Kupferringen und 12 Verbindungsstücken zu einem Würfel geklebt. Nach dem Anlöten und Isolieren der Anschlusskabel wird die Falle mit schwarzem Lack angemalt, um Steulicht in der Kammer zu verringern. Die Falle wird mittig über der Öffnung für die Spritze an den Anschlusskabeln befestigt, und die Plattform von unten an die Spannungsversorgung angeschlossen (siehe Bild 1), welche je nach Hebelstellung die Gleichspannungen oder die zusätzliche Wechselspannung zur Dreiphasenspannung hinzufügt.

Im Spannungsgenerator gibt es mehrere Möglichkeiten die Gleichspannung anzulegen: Man kann sie auf den beiden gegenüber liegenden Seiten oder zwischen zwei gegenüberliegenden Seiten anbringen. Die Verschaltung kann man Bild 2 entnehmen.

Aus Sicherheitsgründen wird die Falle durch eine durchsichtige Acrylhaube abgedeckt. Die Haube wurde zusätzlich mit schwarzem Klebeband verkleidet, mit zwei Öffnungen eine für die seitliche Beobachtung der Falle und eine für die von oben angebrachte Lampe. Der Versuch wird mit Aluminum Pulver durchgeführt, dieses wird mittels einer Spritze durch eine Öffnung unterhalb der Falle eingebracht. Da zwischen Öffnung und dem stabilen Bereich der Teilchenfalle ein Abstand von ca. $(2.5)cm$ besteht wurden die Teilchen durch anschnippsen der Spritze in die Falle geschleudert.

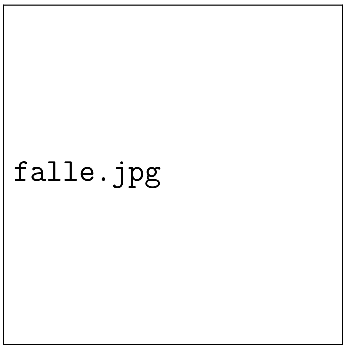


Figure 1: Versuchsaufbau der Paulschen Teilchenfalle

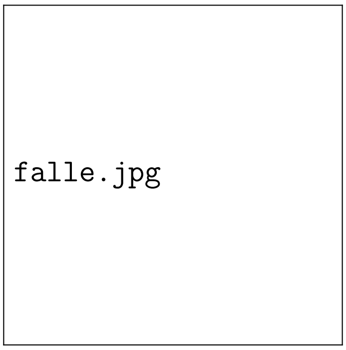


Figure 2: Verschaltung im Generator

# 3 Ergebnisse

Mit einem Messschieber wird der Plattenabstand der Teilchenfalle auf $(3.05 \pm 0.02)\,\mathrm{cm}$ abgeschätzt.

## 3.1 Bahnbeschreibung

Lissajous Figuren Lissajous Figuren entstehen bei der Überlagerung harmonischer Schwingungen wenn das Verhältnis der Frequenzen rational ist, sich also durch einen ganzzahligen Bruch darstellen lässt. In diesem Fall bildet die Teilchenbahn eine geschlossene Figur. Die möglichen Formen der Figuren sind sehr vielfältig und hängen vom Frequenzverhältnis und dem Phasenunterschied der Schwingungen ab.

, Kristallstrukturen, Elipsen: Spannungen nicht gleich…

## 3.2 Kompensation der Gewichtskraft

In Gleichung (**??**) wird der Einfluss der Luftreibung vernachlässigt und ein Näherungsansatz der Form $z(\xi_z) = Z(\xi_z) + d(\xi_z)$ durchgeführt. Die z-Komponente wird nun durch

$$Z(\xi) = Z_0 \sin(\beta_z \xi) - \frac{4|\vec{F}_z|}{m\beta_z \Omega^2}$$


Figure 3: Beispiel für das auftreten einer Lissajous Figur

beschrieben. Man sieht, dass die Schwingung um einen konstanten Term verschoben ist, der von $a_z$ und $q_z$ abhängt. Diese Abhängigkeit besteht nicht mehr, wenn gilt:

$$|\vec{F_z}| = |\vec{F_G} + \vec{F_{qE}}| = 0$$

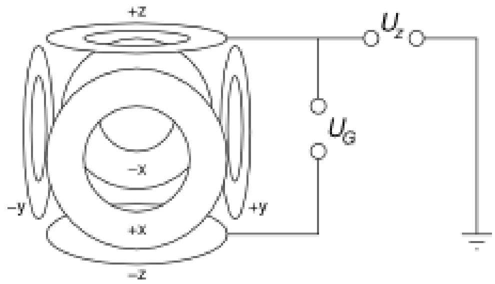


Figure 4: Schaltbild Z-Kompensation

Zu der Dreiphasenspannung wird nun ein zusätzlicher Potentialunterschied zwischen den beiden z-Komponenten angeschlossen (siehe 4), dieser wird solange erhöht bis die Gravitationskraft kompensiert wird. Dies kann dadurch überprüft werden, dass sich der Mittelpunkt der Teilchenschwingung bei Änderung der Amplitude der Z-Komponente der 3-Phasenspannung nicht mehr ändert. Aus **??** lässt sich direkt eine Formel für die spezifische Ladung des untersuchten Teilchen herleiten. Es gilt dann

$$\frac{q}{m} = \frac{g \cdot d}{U_G}$$

## 3.3 Resonanz

## 3.4 Stabilitätsdiagramm

# 4 Vergleich der Messungen