

Laborpraktikum Teilchenphysik

Paulsche Teilchenfalle

Knut Kiesel
Tobias Pook

September 1, 2012

Contents

1	Ziel der Messung	2
2	Aufbau und Durchführung	2
3	Ergebnisse	3
3.1	Bahnbeschreibung	3
3.2	Kompensation der Gewichtskraft	4
3.3	Resonanz	5
3.4	Stabilitätsdiagramm	5
4	Vergleich der Messungen	7
5	Fazit	7

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. Konkret wurden beim durchgeführten Experiment der meta-stabile Bereich eines rotierenden Sattelpotential genutzt um Teilchen zu speichern. 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 $a_i = \frac{16KqU_{G,i}}{3\Omega^2mr_0^2}$, dem wechselstromabhängigen Koeffizienten $q_i = -\frac{4kqU_i}{\Omega^2mr_0^2}$, dem Antriebskoeffizienten $B = \frac{2qU_W}{r_0m\Omega^2}$, dem Luftreibungskoeffizient $k_L = \frac{6\pi\eta R}{m\Omega}$, der Winkelfrequenz der Dreiphasenspannung Ω , der Winkelfrequenz der zusätzlich an einem Plattenpaar angelegten Wechselspannung ω_W und der normalisierten Zeit $\xi = \frac{\Omega t}{2}$. \vec{F} ist eine konstante äußere Kraft, zum Beispiel bei der z-Komponente die Gewichtskraft. Die Grundschiwingung 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 Streulicht 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. Die Dreiphasenspannung, im folgenden auch Fokussierspannung genannt, besteht aus drei Wechselspannungsquellen die mit einem konstanten Phasenunterschied von 120 betrieben werden. Die Amplitude kann dabei für jedes Flächenpaar individuell eingestellt werden.

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



Figure 1: Versuchsaufbau der Paulschen Teilchenfalle

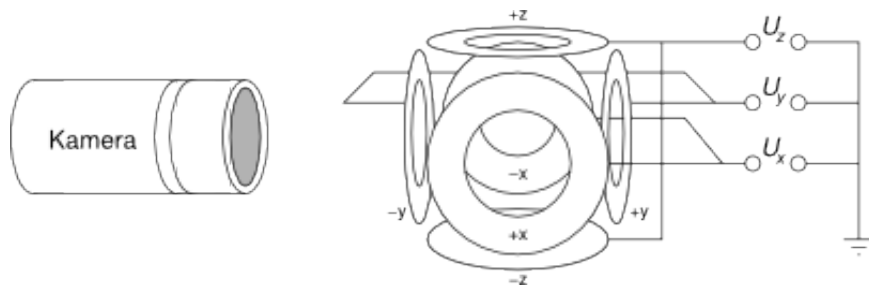


Figure 2: Verschaltung im Generator

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.

3 Ergebnisse

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

3.1 Bahnbeschreibung

Ellipsen In den meisten Fällen beschreiben die eingefangenen Teilchen eine elliptische Teilchenbahn, dabei lässt sich der Radius und die Exzentrizität durch das Verhältnis der angelegten Potenziale in der Fokussierspannung

Lissajous Figures Lissajous Figures 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 Figures sind sehr vielfältig und hängen vom Frequenzverhältnis und dem Phasenunterschied der Schwingungen ab.

, Kristallstrukturen, Ellipsen: Spannungen nicht gleich...



Figure 3: Beispiel für das auftreten einer Lissajous Figur

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

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

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:

$$|\vec{F}_z| = |\vec{F}_G + \vec{F}_{qE}| = 0$$

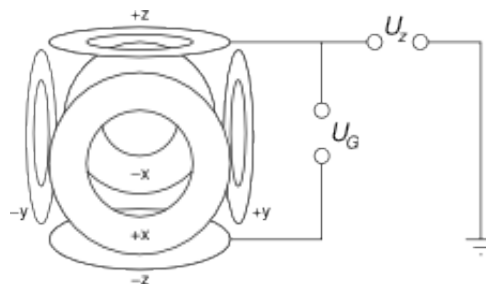


Figure 4: Schaltbild Z-Kompensation

Die Fokussierspannung U_z 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:

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

$U_G[V]$	$\frac{\sigma_{U_G}}{U_G}$	$\frac{q}{m}[\frac{C}{kg}]$	$\frac{\sigma_{\frac{q}{m}}}{\frac{q}{m}}$
4	5	6	
7	8	9	

Table 1: Ergebnisse der spezifischen Masse Messung mit der Z-Kompensation Methode

Beim berechnen der Ergebnisse wurde die Erdbeschleunigung als Fehlerfrei angenommen, der Plattenabstand wurde zu (3.05 ± 0.02) cm abgeschätzt. Die Gleichspannung hat während des Versuchs teilweise stark geschwankt. Die effektive Spannung wurde durch notieren der angezeigten Werte in einem Zeitraum von ca. (20) s und anschliessendem Mitteln bestimmt und die Varianz dieser Stichprobe wird zur abschätzung des Fehlers genutzt.

3.3 Resonanz

3.4 Stabilitätsdiagramm

Wie Gleichung (??) zu entnehmen, ist die Grundschiwingung der Teilchen gegeben durch β . Wenn β imaginär ist ($\Leftrightarrow a + \frac{1}{2}q^2 > 0$), werden die Winkelfunktionen zu Exponentialfunktionen, was zum Austritt der Teilchen aus der Falle führt. Dafür wird bei verschiedenen, konstanten $U_x = U_y = U_z$ die Spannung U_G gesucht, bei der das Teilchen entkommt. Weil das Teilchen nicht entkommen darf (es muss bei mehreren U_i vermessen werden), ist die Abschätzung nur schwer zu bewerkstelligen, da die Gleichspannungsquelle stark schwankt und es somit leicht entkommen kann. Für jedes Teilchen wird U_g gegen U_i^2 aufgetragen und eine lineare Regression durchgeführt. Die systematischen Fehler für das grobe Abschätzen der Gleichspannung resultieren sich in einer Verschiebung der Geraden nach unten, sodass die Steigung nicht stark beeinflusst wird. Aus der Steigung kann man dann die Werte für $\frac{q}{m}$ bestimmen. Am χ^2/ndf sieht man, dass die Spannungen tendenziell zu vorsichtig abgeschätzt wurden

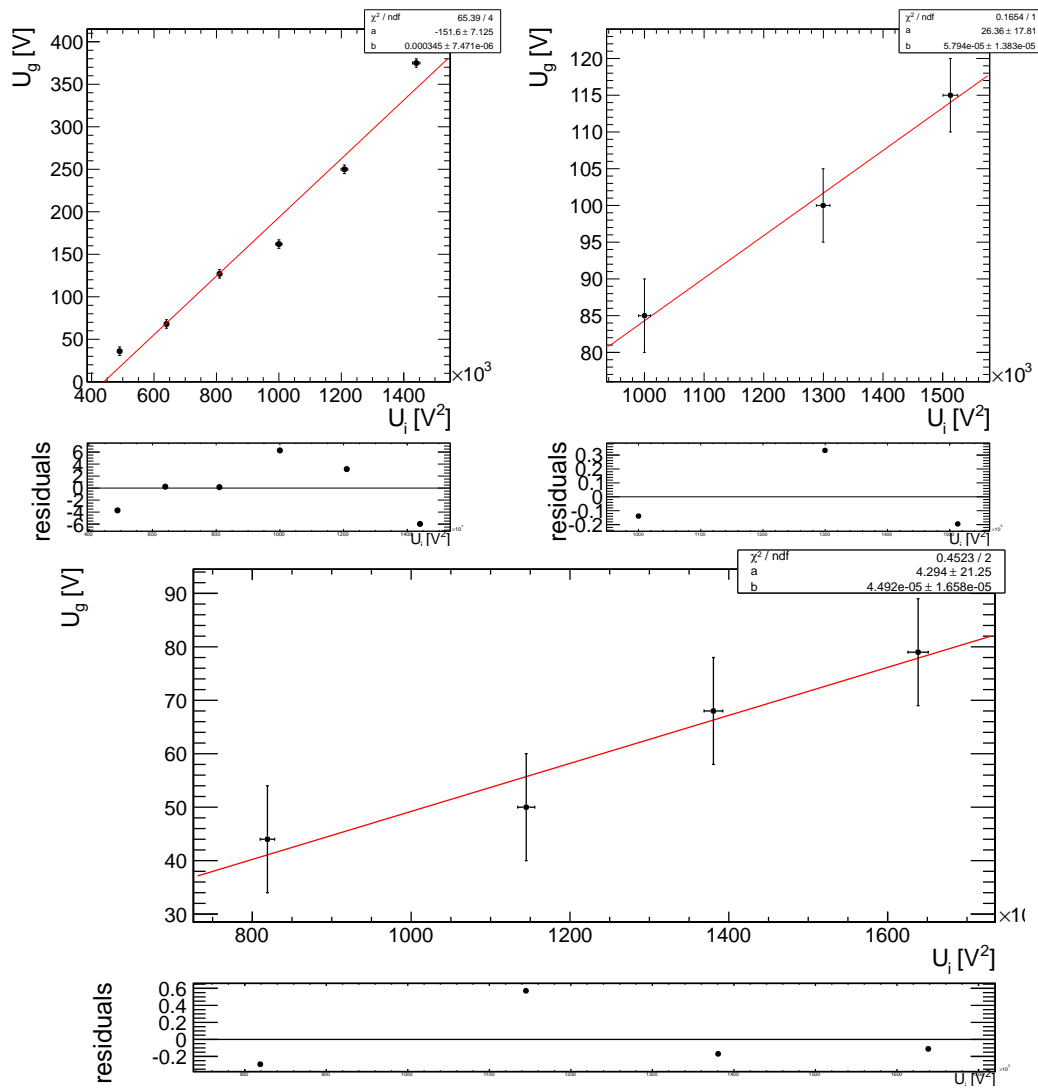


Figure 5: Lineare Regressionen zur Stabilitätsuntersuchung. Bei der oberen Messung ist der letzte Punkt nicht für den Fit verwendet worden, da bei dieser Spannung das Teilchen entkommen ist. Stattdessen kann man die Spannungsdifferenz zwischen eigentlichen Fluchtspannung und abgeschätzten Spannung ablesen.

4 Vergleich der Messungen

5 Fazit

Die Versuchsdurchführung war dadurch geprägt, dass die Spannungsquelle nur stark schwankende Ausgangsspannungen geliefert hat. Besonders ein regelmäßiges plötzliches Abfallen der Fokussierspannung für ein Flächenpaar hat zu regelmäßigem Verlust der Teilchen geführt. Insbesondere die Resonanzmessung und die Stabilitätsmessung waren oft nicht durchzuführen, weil ein langfristiges Einfangen der Teilchen nicht möglich war.