

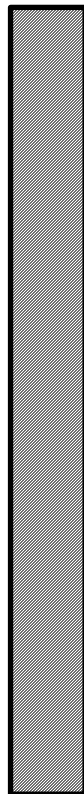
Experiment 1.1: (Farb-)Teilchen am Spalt

Material:

- Spraydose mit dunkler Farbe
- Zeitungen (als Unterlage)
- 1 Papier mit vorgedrucktem Spalt pro Schüler. Die Schüler werden das Papier selber mit Hilfe der aufgedruckten Anleitung präparieren (Vorlage).
- je Schüler 1 Experimentierpapier (vergl. Vorlage auf Seite 4)
- Leim, Scheren (auf dem Lehrerpult)
- Lupe (auf dem Lehrerpult)

Versuchsanleitung

1. Zeitungen und Farbspraydose liegen schon bereit. Die Zeitungen dienen als Unterlage beim Spraysen.
2. Holen Sie sich auf Lehrerpult eine Schere und präparieren Sie das Papier mit dem Spalt gemäss aufgedruckter Anleitung.
3. Nehmen Sie Ihr Experimentierpapier. Stellen Sie die Papierbrücke mit dem Spalt in die Umrahmung, welche auf Ihrem Experimentierpapier gezeichnet ist.
4. Besprayen Sie senkrecht ihr Experimentierpapier durch den Spalt. Bewegen Sie dabei die Spraydose **zügig** von einem Ende des Spaltes zum andern. Der Abstand Spalt-Spraydose soll **ca. 15cm** betragen.
5. Lassen Sie das Experimentierpapier gut trocknen.
6. Fahren Sie mit der Arbeit am Text weiter.
7. Werten Sie Ihre Spray-Arbeit aus, wenn Sie trocken ist.



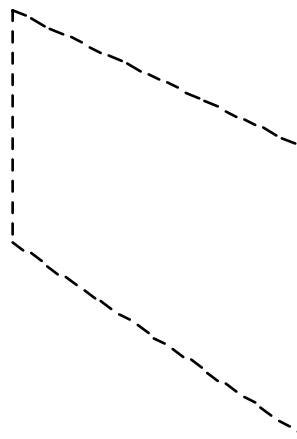
Anleitung:

1. Spalt ausschneiden.
2. Kopf- und Fussende im Abstand von 2,5 cm falzen und umklappen.
3. Seiten im Abstand von 3 cm falzen und im 90 Grad-Winkel abknicken.

Resultat: Eine Papierbrücke



Experimentierpapier



Experiment 1.2: Interferenz mit Wasserwellen

Material

- Wellenwanne mit Erreger für ebene Wellen
Die Begrenzung des Wasserbeckens ist so, dass möglichst keine Reflexionen entstehen
- Doppelspalt, Spaltbreite vergleichbar mit Wellenlänge, Spaltabstand ca 5mal Spaltbreite

Versuchsanleitung

1. Setzen Sie den Wellenerreger in Gang.
2. Sollten vom Rand her Reflexionen entstehen, ist die Amplitude zu gross.
3. Überprüfen Sie, ob eine geeignete Wellenlänge entsteht. Regeln Sie gegebenenfalls nach.
4. Beobachten Sie die Beugung der Wellen an den Spalten. Das Prinzip von Huygens wird hier sehr schön dargestellt.
5. Suchen Sie nach Bereichen (Linien) mit maximaler Intensität.
6. Suchen Sie nach Bereichen (Linien) mit minimaler Intensität. Das Wasser bleibt dort praktisch still, weil zu jedem Zeitpunkt ein Wellenberg vom einen Spalt auf ein Wellental vom anderen trifft.
7. *Fakultativ:* Wenn Sie schon die Hyperbeln im Mathematikunterricht besprochen haben, werden Sie erkennen, dass die gesuchten Linien Hyperbelstücke sind. Die beiden Spalten sind die beiden Brennpunkte der Hyperbelschar.
8. Nehmen Sie die Arbeit am Text wieder auf.

Experiment 2.1: Elektronen aus dem Atomkern

Material

- Quelle mit dem radioaktiven Strontium-90
- Geiger-Müller-Zähler mit Zählrohr, Registriergerät und Lautsprecheranzeige

!!!!!!!!!!!!!!! Warnung !!!!!!!!!!!!!!!!

Die radioaktive Quelle ist so schwach, dass sie für die Schulen zugelassen ist. Natürlich sollen Sie keine gefährliche Bestrahlung provozieren. Verschieben Sie also nur das Zählrohr, so wie unten angegeben ist. Bringen Sie die Quelle unter keinen Umständen in die Nähe von Menschen.

Versuchsanleitung

0. Ohne Ihr Zutun zerfallen nach den Gesetzen der Quantenphysik laufend Strontium-90-Atomkerne und senden dabei je ein Elektron in irgend eine Richtung aus.
1. Setzen Sie das Registriergerät in Gang.
2. Variieren Sie den Abstand von der Quelle zum Zählrohr solange, bis Sie die Knack-Geräusche einzeln hören, die je bei der Registrierung eines Elektrons erzeugt werden.
3. Vergleichen Sie mit dem Geräusch eines Blechdachs bei einsetzendem Regen: sind Elektronen Teilchen?
4. Stellen Sie das Zählrohr wieder in die Entfernung, in der es anfänglich war. Schalten Sie das Registriergerät aus.
5. Gehen Sie zum Experiment 2.2: Elektronen in der Vakuumröhre

Experiment 2.2: Elektronen in der Vakuumröhre

Material

- Braun'sche Röhre (Elektronenstrahlröhre mit der Möglichkeit elektrostatischer Ablenkung)
- Netzgerät für Heizspannung und Beschleunigungsspannung
- Netzgerät für Ablenkspannung
- Stabmagnet

Versuchsanleitung

1. Nehmen Sie die Röhre in Betrieb: Zuerst die Heizspannung, dann die Beschleunigungsspannung. Wenn die Ablenkspannungen auf Null ist und der Stabmagnet weit genug entfernt, können Sie beobachten, dass die Elektronen entsprechend dem Trägheitsgesetz geradeaus fliegen. Ihre Masse ist so klein, dass sich ihr Gewicht nicht bemerkbar macht.

2. Die Kraft eines elektrischen Feldes E auf ein mit q geladenes Teilchen beträgt:

$$F_{el} = q \cdot E$$

Die elektrischen Feldlinien führen bekanntlich vom positiven zum negativen Pol. Überlegen Sie sich, wie sich der Elektronenstrahl verhalten wird, wenn Sie die Ablenkspannung einschalten. (Der Pluspol ist mit dem roten Kabel gekennzeichnet). Anschliessend führen Sie dies aus und verifizieren (hoffentlich...) Ihre Erwartung.

3. Die Lorentzkraft eines Magnetfeldes B auf bewegte Ladungen beträgt:

$$F_L = q \cdot v \cdot B$$

Speziell ist hier aber die Richtung: Die Kraft steht senkrecht sowohl zur Richtung der Geschwindigkeit v als auch derjenigen des Magnetfeldes. Zur Vereinfachung dient folgende Eselsbrücke für die rechte Hand: v in Richtung des Daumens, B in Richtung des Zeigefingers, F_L in Richtung des Mittelfingers.

Wie wird sich der Elektronenstrahl verhalten, wenn Sie von der Seite den Nordpol des Magneten heranhalten?

Prüfen Sie wiederum Ihre Vorhersage. (Haben Sie an das Vorzeichen bei q gedacht?)

4. Obwohl Sie hier die Elektronen nicht einzeln registrieren, können Sie beim Teilchenbild bleiben. Mit einem elektrischen und einem magnetischen Feld zugleich in einer solchen Röhre hat 1897 J.J. Thomson erstmals das Verhältnis von Ladung und Masse des "Elektrizitätsatoms", also des Elektrons bestimmt.

5. Schalten Sie die Netzgeräte ab und nehmen Sie die Arbeit am Text wieder auf.

Experiment 2.3: Elektronenbeugung an Graphit

Material

- Elektronenbeugungsröhre:
Eine Elektronenstrahlröhre mit einer Graphitschicht im Anodenloch (vgl. Figur 2.2)
- Netzgerät mit Heizspannung und Beschleunigungsspannung

Versuchsanleitung

1. Nehmen Sie die Röhre in Betrieb: Zuerst die Heizspannung, dann die Beschleunigungsspannung mit dem Wert 2000 V. Sie können die angekündigten Ringe selber wahrnehmen.
2. Können Sie die regelmässigen, dunklen Kreise auf dem Leuchtschirm glaubhaft anders erklären als durch die Annahme, dass dort "Elektronenwellenberge" auf "Elektronenwellentäler" stossen und sich dabei auslöschen? Kaum.
3. Verdoppeln Sie nun die Spannung auf 4000 Volt! Beobachten Sie die Abnahme der Ringdurchmesser ungefähr um einen Drittel. Die "Elektronenwellenlänge" hängt anscheinend von der Geschwindigkeit der Elektronen ab.
4. Schalten Sie das Netzgerät ab und nehmen Sie die Arbeit am Text wieder auf.

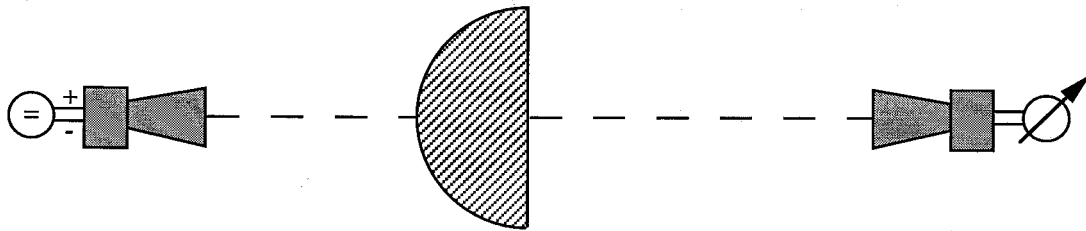
Experiment 3.1: Tunneleffekt mit Mikrowellen

Material

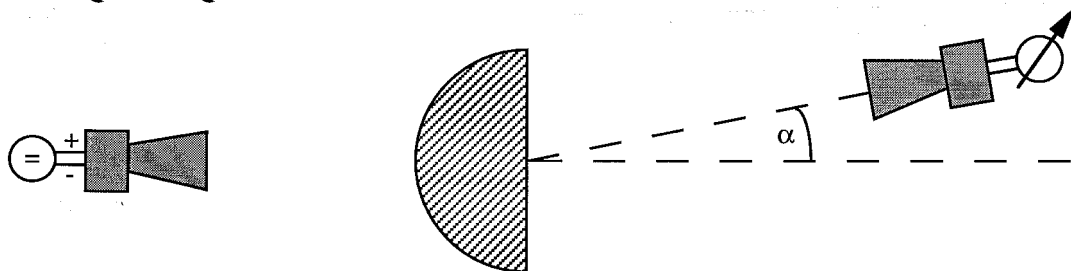
- 1 Mikrowellensender (Wellenlänge $\lambda \approx 3$ cm) mit zugehörigem Netzgerät
- 1 Empfänger mit Anzeigegerät für die Intensität der einfallenden Strahlung
- 2 Halb-Zylinder, mit Sand oder Paraffin gefüllt, evtl. Prisma mit 45° - 90° -Grundfläche

Versuchsanleitung

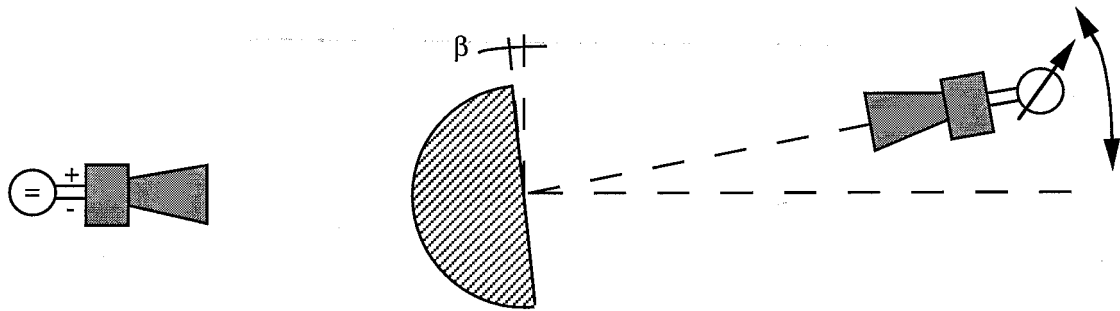
1. Ordnen Sie die Apparatur so an, wie es unten skizziert ist. Schalten Sie das Anzeigegerät auf den angegebenen groben Bereich. Schalten Sie anschliessend das Netzgerät ein; ändern Sie nichts an der Betriebsspannung. Stellen Sie nun eine sinnvolle Empfindlichkeit am Anzeigegerät ein.
Der Strahl wird nicht gebrochen; der Empfänger zeigt maximale Intensität. Offenbar ist Sand, resp. Paraffin "durchsichtig"! Halten Sie Ihre Hand vor den Empfänger: offenbar ist der (weitgehend aus Wasser bestehende) Körper "undurchsichtig" für Mikrowellen.



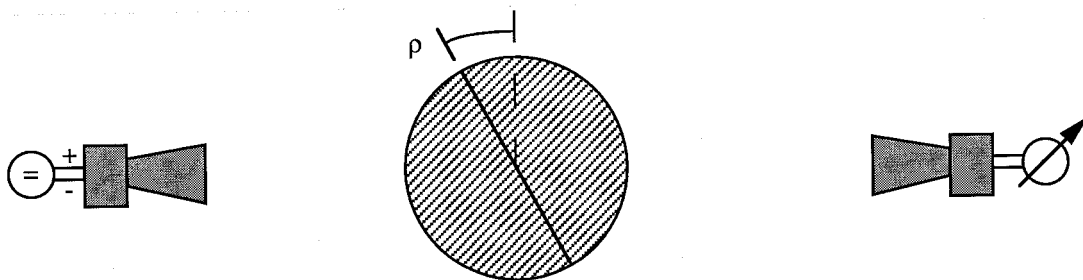
2. Testen Sie jetzt: Wenn Sie den Empfänger ein wenig in Richtung α abwinkeln, soll der Ausschlag zurückgehen.



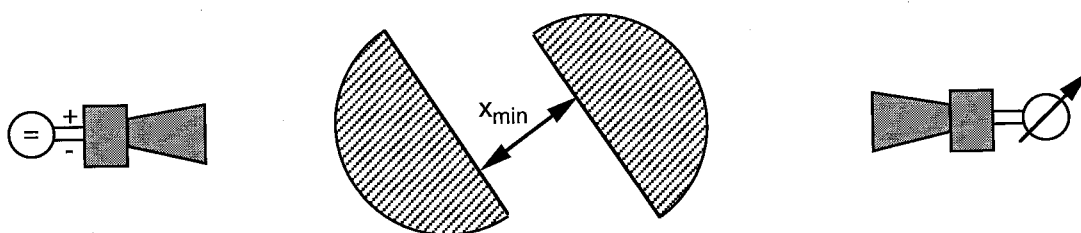
3. Nun drehen Sie den Halbzyylinder um β : die Strahlung wird gebrochen. Verifizieren Sie das, indem Sie den Empfänger abwinkeln und feststellen, dass das Empfangsmaximum nun bei $\alpha > 0^\circ$ liegt. Zudem wird ein Teil der Welle an der Trennfläche reflektiert: Das Empfangsmaximum erreicht nicht mehr den Anfangswert.



4. Jetzt könnten Sie das Brechungsgesetz für den Übertritt von Mikrowellen aus Sand in die Luft überprüfen. Das ist ein Übertritt vom optisch dichteren ins dünnere Medium. Dementsprechend ist der Winkel α grösser als der Winkel β . Wir benötigen aber nur den Grenzwinkel der Totalreflexion ρ : Vergrössern Sie schrittweise β und suchen Sie jeweils durch Abwinkeln des Empfängers das Empfangsmaximum. Wenn dieses nicht mehr vom Nullausschlag unterscheidbar ist, ist die gesamte Welle reflektiert worden.
5. Stellen Sie jetzt den Block 2 hinzu, so dass sich die ebenen Trennflächen berühren. Sie erhalten einen Vollzylinder. Lassen Sie von nun an den Empfänger unberührt ($\alpha = 0$). Stellen Sie durch Drehen der beiden Blöcke um mindestens den Winkel ρ die Bedingung für Totalreflexion am Block 1 wieder ein.



6. Entfernen Sie Block 2 um etwa 15 cm und nähern Sie ihn langsam wieder an Block 1. Achten Sie darauf, dass die Trennflächen immer parallel zueinander sind.



7. Finden Sie die kleinste Spaltbreite, bei der der Empfänger keine nennenswerte Intensität registriert (Spaltbreite x_{\min}). Jetzt ist noch kein Tunneleffekt!
8. Verkleinern Sie die Spaltbreite so weit, bis ein merklicher Zeigerausschlag beim Empfänger feststellbar ist. Jetzt tunneln Mikrowellen durch die "verbotene" Luft-Zone. Messen Sie nun diese Breite (Spaltbreite x_t) und lesen Sie den Wert am Anzeigegerät ab.
9. Gehen Sie zu kleineren Spaltbreiten und halten Sie die Messwerte in einer Tabelle fest. Achtung: Es besteht *kein linearer* Zusammenhang. Nehmen Sie die Tabelle später mit zum Kapiteltest.

10. Schalten Sie die Geräte ab. Bringen Sie den Arbeitsplatz in den Zustand, in dem die oder der Nächste beginnen möchte.