

Versuche mit Mikrowellen -

Kristallinterferenzen mit Mikrowellen

1 Vorbereitung

- 1.1 Spektrum elektromagnetische Wellen
Lit.: FREUENFELDER-HUBER Bd. II, 19.4.2 (S.194)
- 1.2 Der lineare Oszillator
Strahlung eines linearen Oszillators (Dipols)
Lit.: GERTHSEN
- 1.3 Hohlraumoszillator
Koaxial- und Hohlleiter
Maxwell-Relation
Lit.: GERTHSEN
- 1.4 Experimente mit cm-Wellen
Lit.: FREUENFELDER-HUBER Bd. II, 19.4.3 (S. 194 – 196)
- 1.5 Grundkenntnisse der geometrischen Optik:
Brechung, Totalreflexion (Stoff der Versuche KLP- 20 mit 22)
- 1.6 Totalreflexion, Tunneleffekt
Lit.: Anhang
- 1.7 Polarisation elektromagnetischer Wellen
Lit.: GERTHSEN
BERGMANN-SCHAEFER (7.Auflage) Bd. II, Kap. 7.6, (S.485–502)
- 1.8 Die fundamentalen Gitterarten, Bravaisgitter
Lit.: KITTEL, (9. verb. Auflage) S. 23
GERTHSEN
- 1.9 Ort und Lage von Kristallebenen
Lit.: KITTEL
- 1.10 Einfache Kristallstrukturen: Natriumchloridstruktur und hexagonal dichteste Kugelpackung, Röntgen-, Elektronen- und Neutronenstrahlung
Lit.: KITTEL
- 1.11 Röntgenoptik, Bremsstrahlung, charakteristische Strahlung, reziprokes Gitter
Lit.: GERTHSEN
- 1.12 Röntgenbeugung, Verfahren zur Kristallstrukturanalyse
Braggsche Reflexionsbedingung, Lauegleichung
Lit.: GERTHSEN
- 1.13 Gerätebeschreibung: Knick Millivoltmeter

2 Aufgaben

2.1 Inbetriebnahme der Apparatur

Der Mikrowellensender besteht aus einem Gunnoszillator¹. Der Sender wird durch Einstecken des Netzsteckers in die Steckdose in Betrieb genommen. Man stellt zunächst den Sender auf die optische Bank und in etwa 1.50 m Entfernung den Empfänger mit Horn. Die Anzeige des Instruments schwankt u.U. stark, weil Mikrowellen am Körper des Beobachters reflektiert werden und in den Empfänger gelangen. Die Intensität dieser Wellen hängt stark von der Stellung des Beobachters ab. Man achte bei allen Versuchen darauf, dass keine zusätzlichen reflektierten Wellen den Empfänger treffen.

2.2 Winkelverteilung der Strahlung

Der Sender wird nun so auf den Drehtisch der Goniometeranordnung gestellt, dass das Horn etwa im Drehpunkt liegt. Zur Messung der Senderfeldstärke wird die Hochfrequenzdiode mit Halterung auf das Ende des Schwenkarms gestellt. Man achte darauf, dass die Diode an die Buchse des Millivoltmeters angeschlossen ist. Dann stelle man das Millivoltmeter auf seinen unempfindlichsten Bereich und schalte es ein. Nun wird die Winkelverteilung der Strahlung gemessen (beide Seiten, $\pm 90^\circ$). Die Messwerte sind auf Polarkoordinatenpapier aufzutragen und der Halbwertswinkel zu bestimmen.

2.3 Messung der Brennweite einer Wachslinse

Auf der optischen Bank wird die Wachslinse zwischen Sender und Empfänger mit Horn gestellt. Der Abstand Sender-Linse sei ca. 80 cm. Nun wird die Intensität auf dem Hauptstrahl, mit der größten Entfernung Linse-Empfänger beginnend, in sinnvollen Abständen gemessen. Die Messergebnisse werden graphisch aufgetragen und aus der *mittleren Kurve* durch die Messpunkte das Maximum dieser Kurve bestimmt. Die Brennweite der Linse wird dann mit Hilfe der Abbildungsgleichung berechnet (Fehler der Methode angeben). Hier wird die Intensität mit dem Hornempfänger (42-3) gemessen.

2.4 Bestimmung der Wellenlänge λ mit stehenden Wellen

Man setze den Sender auf die optische Bank und in etwa 1 m Entfernung den Metallspiegel. Mit der Diode wird nun die Lage der Knoten der stehenden Welle ausgemessen. Aus dem Abstand von etwa 30-40 Knoten wird die Wellenlänge mit Fehler bestimmt.

2.5 Bestimmung der Wellenlänge von Mikrowellen mit dem Michelson-Interferometer

Das Interferometer für Mikrowellen besitzt als *halbdurchlässigen Spiegel* eine Hartfaserplatte. Die Beobachtung der Interferenzen geschieht mit einem Mikrowellendetektor, der analog zu dem Auseinanderquellen von Interferenzringen im Bereich des sichtbaren Lichts beim Verschieben eines der Spiegel Minima und Maxima misst.

Man mache sich die Entstehung der periodischen Schwankungen im Fall der Mikrowellen klar.

¹ GUNN ist der Name des Physikers, der den sogenannten *Gunn-Effekt* gefunden hat. Die *Gunn-Diode* ist ein modernes Halbleiterbauelement, dessen Funktionsweise mit einfachen Mitteln nicht zu erklären ist.

Man verschiebe den einen Spiegel so weit, dass 10 bis 20 Maxima durchlaufen werden und bestimme mit Hilfe der Verschiebungstrecke die Wellenlänge. Vergleichen Sie Ihr Ergebnis aus 2.4. mit Ihren Ergebnissen aus 2.5. sowie der Herstellerangabe auf der Diode.

2.6 Totalreflexion und Tunneleffekt

Sender, Diode und eine Linse werden auf die optische Bank gesetzt (der Sender etwa in den Brennpunkt der Linse). Zwischen Linse und Empfänger (Stellung A) wird ein verschiebbarer Tisch gestellt, auf den man zwei 90° Paraffinprismen setzt. In der Ausgangsstellung sollen die Prismen einander berühren ($d = 0$). Nun misst man in Stellung A die Intensität der das Doppelpisma durchsetzenden Strahlung als Funktion des Abstandes d und in Stellung B die Intensität der reflektierten Strahlung, ebenfalls in Abhängigkeit von d . Die Ergebnisse trage man graphisch auf (Stellung A halblogarithmisch).

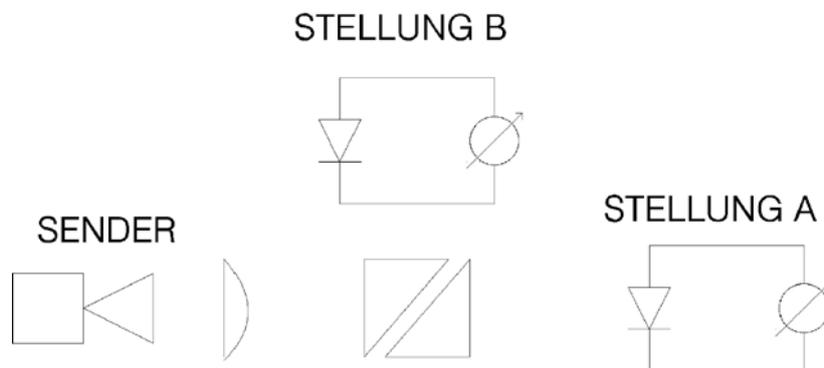


Abb. 1 Messung des Tunneleffektes

2.7 Polarisierung von Mikrowellen

Man setze den Sender und den auf einer Drehvorrichtung montierten Empfänger auf die optische Bank. Man überzeuge sich, dass die Strahlung polarisiert ist, indem man den Empfänger in Normallage und senkrecht dazu stellt. Ein zusätzlicher Beweis wird durch Verwendung eines Gitters erbracht. Stehen Sender und Empfänger aufrecht und wird dazwischen das Gitter mit seinen Stäben ebenfalls senkrecht angeordnet, so wird fast die gesamte Intensität reflektiert. Steht das Gitter jedoch im rechten Winkel zum elektrischen Feld, dann werden die Wellen fast nicht reflektiert und können durch das Gitter durchtreten. Stehen Sender und Empfänger senkrecht zueinander, dann registriert der Empfänger maximale Intensität, wenn das Gitter unter 45° steht (wie ist dies zu erklären?). Man messe auch die Reflexion am Gitter in Abhängigkeit vom Winkel und überzeuge sich so von der Funktionsweise des Gitters. Erstellen Sie hierzu eine 180° Serie und passen Sie die Daten an.

2.8 Bestimmung der Gitterkonstanten eines kubischen Kristalls mit Mikrowellen

Der Kristall, bestehend aus einem mit Styropor verkleideten Gitter, wird so auf den Goniometertisch gelegt, dass für $\Theta = 0^\circ$ die beschriftete Seite des Kristalls parallel zum Strahlengang steht. Von den 3 wählbaren Ebenen (100), (110), (111) nehme man die (100)-Ebene und eine weitere und messe die Intensität des reflektierten Strahls in Abhängigkeit vom Einfallswinkel Θ (Achten Sie auf die Definition von Θ). Der Kristall wird jeweils um den Winkel Θ , der Detektor um den Winkel 2Θ geschwenkt.

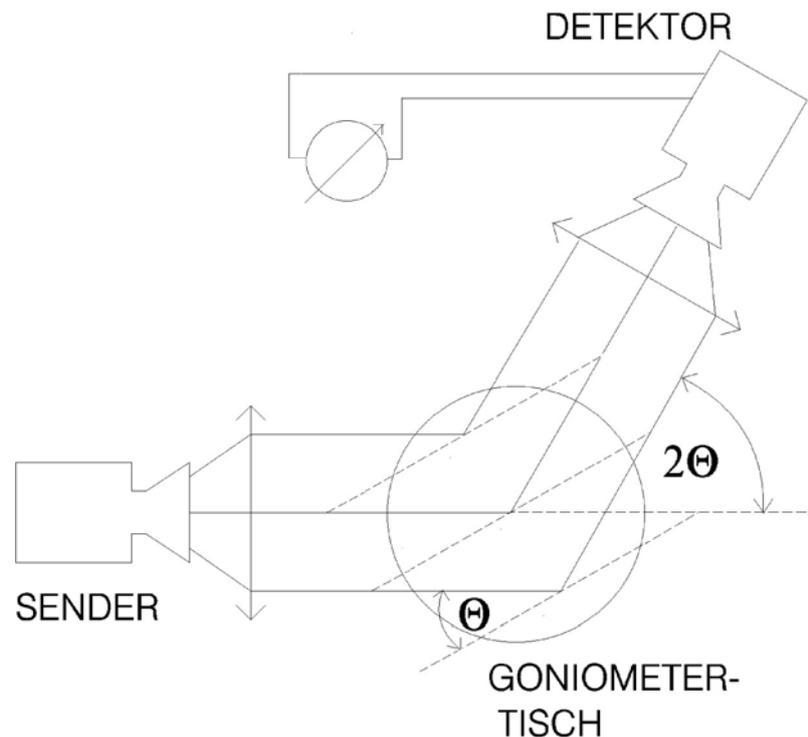


Abb. 2 Messung der Gitterkonstanten

Für die (100)-Ebene wird der Einfallswinkel von 0° bis 60° , für die (110) und (111)-Ebene von 0° bis 50° jeweils in Schritten von 2° gemessen. In der Nähe der Maxima nehme man weitere Messpunkte auf. Die Messwerte für die Intensität sind über Θ graphisch aufzutragen. Aus der Lage der Hauptmaxima berechne man mittels der Braggschen Beziehung die Gitterkonstante d_0 . Dabei benutze man die Beziehung

$$d_0 = d\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}$$

(d : Abstand benachbarter Netzebenen mit Index $(h k l)$).

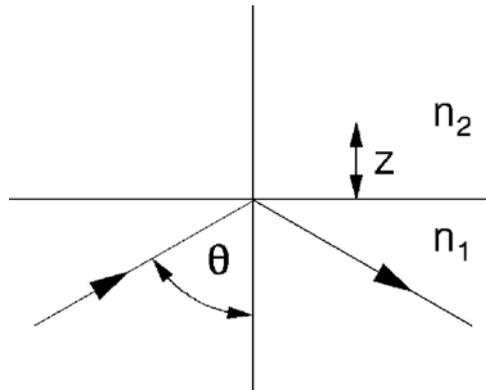
2.9 Wellenleiter

Man setze den Sender auf den Labortisch vor den Hohlleiter (metallischer Welschlauch) und den Empfänger an das andere Ende des Welschlauches. Überzeugen Sie sich, dass trotz der mangelhaften Oberflächenbeschaffenheit und der Länge des Hohlleiters die Mikrowellen geführt werden. Prüfen Sie mittels Verschlusskappe des Welschlauches nach, dass die Wellen innerhalb und nicht auf der Oberfläche des Welschlauches geführt werden. Ist die durch den Schlauch geführte Strahlung polarisiert?

3 Anhang

Ergänzendes zur Totalreflexion

In der geometrischen Optik lernt man: Überschreitet der Einfallswinkel den Grenzwinkel der Totalreflexion, dann wird das Licht total reflektiert und kein Licht in das angrenzende Medium gebrochen. Eine exakte Rechnung zeigt jedoch, dass im Fall der Totalreflexion im angrenzenden Medium eine Oberflächenwelle an der Grenzfläche zu finden ist, deren Feldstärke sehr stark mit dem Abstand z zur Grenzfläche abnimmt.



Die Intensität im zweiten Medium ist proportional zu

$$e^{-\frac{2z}{s}}$$

$$\text{mit } s = \frac{\lambda_0 \cdot \cos \Theta}{2\pi \sqrt{n_1^2 \sin^2 \Theta - n_2^2}}$$

λ_0 = Vakuumwellenlänge der Strahlung

Abbildung 3

Dies kann man im Versuchsteil 2.6 sehen. Nähert man die beiden Prismen so zueinander, dass ihr Abstand vergleichbar mit der Wellenlänge der Mikrowellen wird, dann gelangt das zweite Prisma in den Bereich der Oberflächenwelle und koppelt die Strahlung aus. Die Messung der Intensität in Abhängigkeit vom Abstand d (zwischen den beiden Prismen) liefert allerdings keine reine e-Funktion, da der Effekt von Reflexionen überlagert wird.

Das Phänomen, dass die Strahlung durch den Luftspalt gelangt, ist analog dem quantenmechanischen Phänomen, dass eine Welle durch einen Potentialwall tunnelt (α -Zerfall).