

Versuch 400

Mikrowellen

1. Aufgaben

- 1.1 Es sind die horizontale $I(\varphi)$ und vertikale $I(\vartheta)$ Strahlungscharakteristik sowie die Entfernungskarakteristik $I(r)$ des Mikrowellensenders zu messen, graphisch darzustellen und zu diskutieren.
- 1.2 Qualitativ sind das Reflexionsgesetz (Metallspiegel) und das Brechungsgesetz (Kunststoffprisma, 60°) zu prüfen.
- 1.3 Es ist der Polarisationszustand des Mikrowellenfeldes zu charakterisieren.
- 1.4 Es ist die Totalreflexion an zwei, durch einen Luftspalt variabler Dicke voneinander getrennten Prismen zu untersuchen.
- 1.5 Die Wellenlänge der verwendeten Strahlung ist mit einem Michelson-Interferometer zu messen.
- 1.6 Bestimmen Sie die Brechzahl von Paraffin.
- 1.7 (Zusatzaufgaben): vgl. Abschnitt 3.7

2. Grundlagen

Stichworte:

Elektromagnetisches Spektrum, Eigenschaften elektromagnetischer Wellen, Brechung, Totalreflexion, Interferenz, Mikrowellenerzeugung mit Klystron

2.1 Das elektromagnetische Spektrum

Das Spektrum der elektromagnetischen Wellen umfaßt einen Frequenzbereich von ca. 20 Größenordnungen (vgl. Tab.1). Entsprechend verschieden sind Wirkung, Anwendung und Erzeugung für die unterschiedlichen Spektralbereiche. Im vorliegenden Versuch sollen am Beispiel der Mikrowellen die allgemeinen physikalischen Eigenschaften elektromagnetischer Wellen untersucht werden. Dabei besteht der Vorteil beim Arbeiten mit Mikrowellen darin, daß die zu benutzenden Experimentieranordnungen (deren relevante Abmessungen in der Größenordnung der Wellenlänge liegen) gut zu handhaben sind und daß die physikalischen Vorgänge dabei sehr anschaulich verfolgt werden können.

Spektralbereich	Frequenzbereich	Wellenlänge in Luft	Strahlungsquellen
Radiowellen	$10^5 \dots 10^9$ Hz	km (LW), m (UKW)	elektr. Schwingkreis + Hertzscher Dipol
Mikrowellen	$10^{10} \dots 10^{12}$ Hz	cm, mm	Magnetron, Klystron
Licht	$10^{13} \dots 10^{16}$ Hz	μm (IR), nm (VIS, UV)	atomare Dipolschwingungen
Röntgenstrahlen	$10^{17} \dots 10^{21}$ Hz	pm	hochenergetische Elektronen
Gammastrahlen	$10^{20} \dots 10^{24}$ Hz	fm	radioaktiver Zerfall

Tab.1: charakteristische Spektralbereiche des elektromagnetischen Spektrums

2.2 Mikrowellensender und -empfänger

Zur Erzeugung der cm-Wellen dient hier ein Reflexklystron (Bild 1)

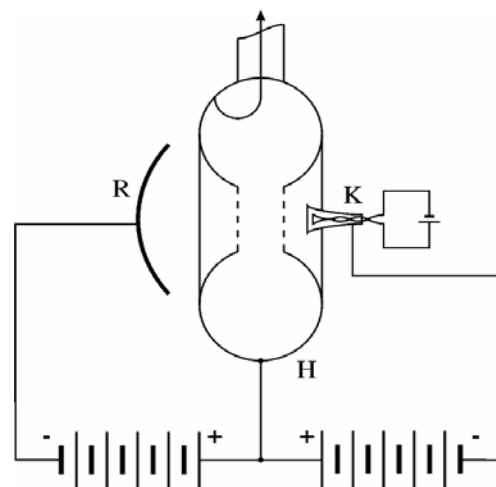


Bild 1: Aufbau eines Mikrowellensenders

Die aus der Kathode K austretenden Elektronen werden durch ein zwischen der Katode und dem toroidförmigen Hohlraumresonator H liegendes elektrisches Feld beschleunigt. An den Gittern des Resonators H denken wir uns eine hochfrequente Spannung, die von einem sich bereits im Resonator befindlichen elektrischen Feld herrührt. Dieses Feld beschleunigt oder verzögert die ankommenden Elektronen zusätzlich. Die Elektronen fliegen dann auf einen gegenüber der Katode negativen Reflektor R zu, so daß sie gebremst und zur Umkehr gezwungen werden. Die durch das Hochfrequenzfeld des Resonators H zusätzlich beschleunigten Elektronen laufen tiefer in das Reflektorfeld hinein, legen also einen längeren Weg zurück als die durch das Hochfrequenzfeld

verzögerten. Die verlangsamten Elektronen können auf diese Weise gleichzeitig mit den beschleunigten in den Hohlraumresonator zurückkehren, so daß gewissermaßen stoßweise Elektronenpakete zurückkommen. Ist die Laufzeit der Elektronen durch geeignete Einstellung der Reflektorspannung so abgestimmt, daß die Elektronenpakete dann am Hohlraumresonator H antreffen, wenn sie durch das dort vorhandene elektrische Wechselfeld abgebremst werden, geben sie ihre Energie an das Feld ab. Die Verstärkung des Feldes in H wird bis zur Selbsterregung getrieben (vgl. Selbsterregung durch rückgekoppelte Verstärker).

Durch Überlagerung der Reflektorspannung mit einer Wechselspannung kann der Hochfrequenzschwingung eine Tonfrequenz als Signal aufmoduliert werden.

Die im Resonator erzeugte Hochfrequenzenergie wird über eine Schleife ausgekoppelt und über einen Hohlleiter einem Hornstrahler als Antenne zugeführt. Die vom Empfangshorn aufgenommene Strahlung wird über einen Hohlleiter einer Kristalldiode als Empfänger zugeführt. Die durch die Hochfrequenzgleichrichtung erhaltene tonfrequente Signalspannung wird verstärkt und kann sowohl durch ein Anzeigeeinstrument als auch akustisch über einen Lautsprecher nachgewiesen werden. Das Blockschaltbild der Sende- und Empfangseinrichtung ist in Bild 2 dargestellt.

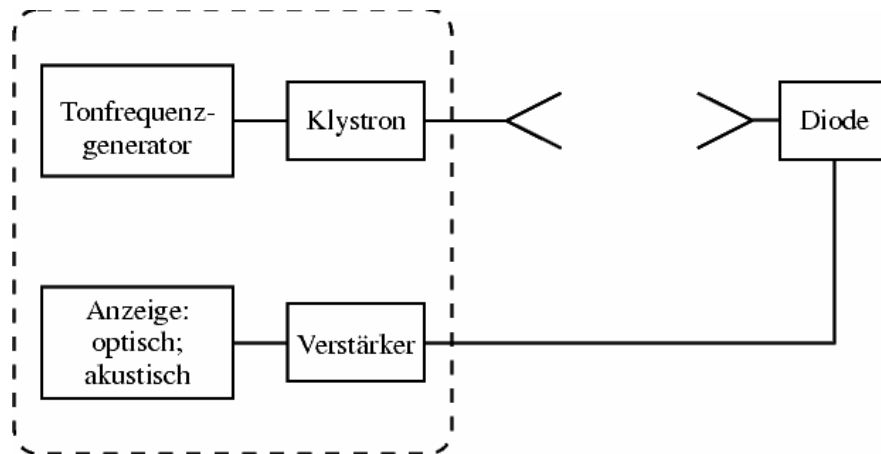


Bild 2: Schaltung der Apparatur

Im Mikrowellenherd werden die Mikrowellen in einer Magnetfeldröhre (Magnetron) erzeugt (siehe: <http://www.hcrs.at/MIKRO.HTM>).

3. Versuchsdurchführung

- 3.1 Für die winkelabhängige Messung der Strahlungsintensität wird das Empfangshorn auf einer schwenkbaren Schiene mit Gradeinteilung befestigt. Durch jeweils 90°-Drehung beider Hörner kann man von horizontal auf vertikal wechseln und umgekehrt. Warum beobachtet man kein Signal bei gekreuzten Hörnern? Zur grafischen Darstellung nutzt man vorteilhaft Polarkoordinatenpapier. Für die entfernungsabhängige Messung wird der Empfänger einfach mit der Hand in cm-Schritten verschoben (Entfernungsmessung mit Lineal).

Bei der Interpretation der Ergebnisse sollte auf Beugungserscheinungen (Vertikalcharakteristik) sowie auf das Auftreten stehender Wellen (Entfernungscharakteristik) geachtet werden.

- 3.2 Reflexion und Brechung werden überprüft und in Form einfacher Skizzen protokolliert.
- 3.3 Zur Untersuchung des Polarisationszustandes verwenden Sie einen Drahtpolarisator. Diskutieren Sie die Ergebnisse auf Grundlage der Theorie des Hertzschen Dipols.
- 3.4 Totalreflexion und optischer Tunneleffekt

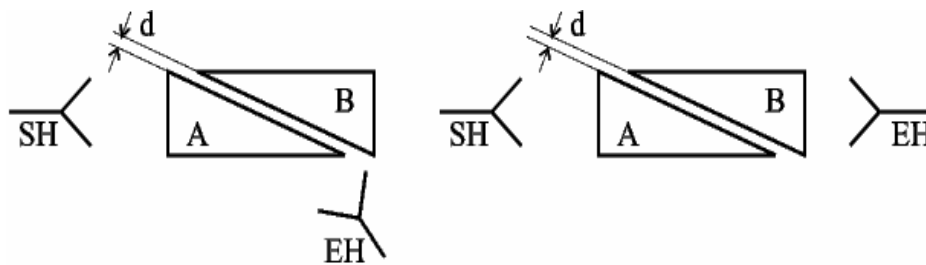


Bild 3: Versuchsanordnung zur Totalreflexion

SH Senderhorn; EH Empfangshorn; A, B Kunststoffprismen

Vor Beginn der Messung ist eine saubere Justierung erforderlich, so daß (insbesondere bei Totalreflexion) möglichst die gesamte Strahlungsintensität auch tatsächlich im Empfänger registriert wird. Es wird der Anteil der Durchgelassenen (EH hinter dem Prisma) sowie der totalreflektierten (EH seitlich) Strahlung für unterschiedliche Abstände d zwischen den beiden Prismen gemessen und bei der Auswertung gegenübergestellt. Ziel dieses Experimentes ist zu zeigen, daß ein Teil der Strahlung trotz Luftspalt von Prisma A nach Prisma B gelangt, wenn der Abstand deutlich kleiner ist als eine halbe Wellenlänge. Erklären Sie diesen Effekt!

- 3.5 Der Aufbau des Interferometers erfolgt nach Bild 4

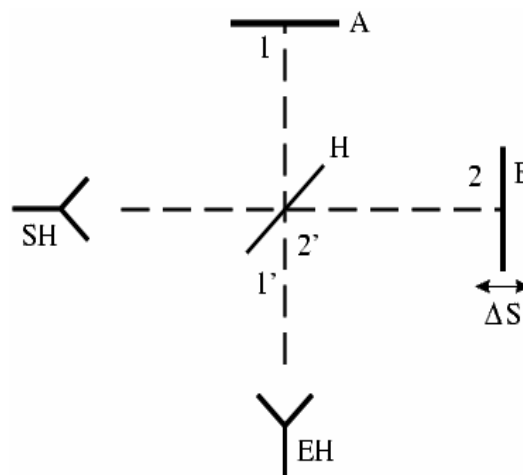


Bild 4: Michelson-Interferometer

A und B sind Metallspiegel (B auf Kreuzschlitten montiert), H ist eine Kunststoffplatte, die für Mikrowellen teildurchlässig ist. Die von SH ausgehende Energie wird zum Teil von H reflektiert (Bündel 1) und z.T. durch H hindurchgelassen (Bündel 2). Bündel 1 trifft auf den Spiegel A, wird wieder nach H reflektiert und dort teils reflektiert und teils als Bündel 1' nach EH weitergelassen. Bündel 2 trifft auf B, wird nach H reflektiert und dort teils durchgelassen und teils als Bündel 2' nach EH reflektiert. Mit dem verstellbaren Spiegel B läßt sich der Weg des Bündels 2' ändern. Bündel 1' und 2' kommen zur Interferenz, und man mißt (je nach Stellung von B) an EH Verstärkung bzw. Auslöschung. Da sowohl 1' als auch 2' je einmal an H reflektiert werden und einmal durch H hindurchgehen, fällt das Verhältnis von Reflexionsvermögen und Durchlässigkeit des Halbspiegels nicht ins Gewicht. Die ankommenden Amplituden von 1' und 2' sind bei sauberer Justierung ziemlich gleich, und das Interferometer liefert scharfe Minima von fast völliger Auslöschung. Der Abstand zweier benachbarter Minima ist gleich einer halben Wellenlänge. Messen Sie möglichst viele Minima aus, und mitteln Sie in geeigneter Weise.

- 3.6 Zur Bestimmung der Brechzahl mit Hilfe des Michelson-Interferometers (gleicher Aufbau; Bild 4) wird die planparallele Probe in den Strahlengang zwischen H und B gehalten, nachdem das Interferometer in Minimalstellung gebracht wurde. Infolge der um $2d(n-1)$ angewachsenen optischen Weglänge wird die Minimalstellung verstimmt, so daß für eine erneute Abstimmung der Bündel 1' und 2' auf den gleichen Gangunterschied der Abstand HB um Δs verkleinert werden muß. Ist die Probendicke d so gewählt, daß $2d(n-1) \leq \lambda$ so ergibt sich die Brechzahl aus

$$d(n-1) = \Delta s$$

Vergleichen Sie Ihr Ergebnis mit einem Tabellenwert!

Hinweis:

Nach Maxwell gilt $n = \sqrt{\epsilon_r}$. Diese Gleichung ist, wie Boltzmann gezeigt hat, vor allem für homöopolare Gase und Dämpfe gut erfüllt (für feste und flüssige Stoffe, insbesondere solche mit infraroten Eigenschwingungen, ist die Relation weniger gut erfüllt: z.B. H_2O ($n = 1,333$, aber $\sqrt{\epsilon_r} \approx 9$). Auch über die Frequenzabhängigkeit macht sie keine Aussage. (vgl. Lit.: Sommerfeld, Bd 4, Optik).

- 3.7 Für interessierte Studenten - und wenn es die Zeit erlaubt - sind mit dem vorhandenen Versuchsaufbau noch weitere Experimente möglich:
- Wellenlängenbestimmung durch Interferenz, durch Erzeugung stehender Wellen oder mit einem Fabry-Perot-Interferometer

- Beugung an Spalt und Doppelspalt
- Messung der Brennweite einer Zonenplatte

Wenden Sie sich dazu bitte an Ihren Praktikumsassistenten!