

Versuchsprotokolle

Versuch 400

Mikrowellen

Aufgaben:

1. Bestimmen der Abstrahlungscharakteristik des Mikrowellensenders
2. Bestätigen der Eigenschaften: Reflektion, Beugung, Brechung und Polarisation
3. Untersuchen der Totalreflektion mit variablen Spalt
4. Bestimmung der Wellenlänge der Mikrowellen sowie der optischen Dichte von Paraffin mittels Michelson-Interferometer

Grundlagen

Spektrum elektromagnetischer Wellen (EMW)

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

ABB I.1: Übersicht über das Gesamtspektrum elektromagnetischer Wellen (aus: „Physikal. Praktikum“)

Eigenschaften einer EMW

Elektromagnetische Wellen erfüllen natürlich alle elementaren Eigenschaften von Wellen: Brechung, Reflektion, Interferenz und Beugung. Aus der Lösung der Maxwellgleichungen folgt, dass es sich bei EMW um Wellen transversalen Charakters handelt. Das heißt, dass zusätzlich zu den allgemeinen Welleneigenschaften die Polarisation als signifikante Eigenschaft auftritt.

Aufbau eines Mikrowellensenders

Wie oben bereits aufgeführt, sind Mikrowellen elektromagnetische Wellen, d.h. ihr Ursprung liegt in einer zeitlichen Potentialänderung einhergehend mit einem ebenso schwingenden Magnetfeld. Da die Frequenz deutlich über der mittels Schwingkreis zu realisierenden Frequenzen liegt, greift man auf die Möglichkeit, mittels eines geometrischen Resonators und sich frei bewegender Elektronen ein sich selbst verstärkendes Feld zu schaffen, zurück. Dabei nutzt man ein Reflexklystron, bei dem mittels einer negativen Kathode die im Resonanzfeld beschleunigten oder gebremsten Elektronen mit einem Wegunterschied reflektiert werden. Ist die Anordnung wohlproportioniert aufgebaut, so gelangen die gebremsten also auch die beschleunigten Elektronen zu gleicher Zeit in den Resonator, wo sie wiederum gebremst werden und ihre kinetische Energie phasengleich an das schwingende Feld geben. Die dadurch erzeugte Selbsterregung wird noch durch einen Verstärker verstärkt. Ferner kann dadurch den Schwingungen eine Frequenz oder ein Signal aufmoduliert werden. Die elektromagnetischen Schwingungen werden über ein Sendehorn an die Umgebung ausgestrahlt.

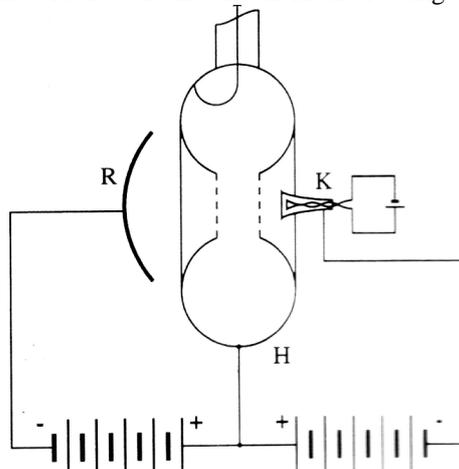


ABB I.2: Schematischer Aufbau eines Reflexklystrons (aus: „Physikal. Praktikum“)

Versuchsprotokolle

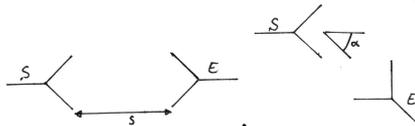
Durchführung

Versuchsobjekt:

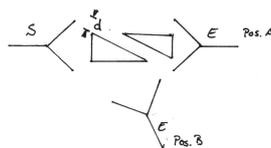
Mikrowellensender und –empfänger, Metallspiegel, Kunststoffhalbspiegel, 1 Plastikprisma (60° Innenwinkel), zwei Plastikprismen (rechtwinklig) und Paraffinblock

Versuchsaufbau:

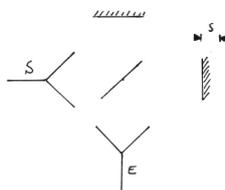
Aufbau zur Messung der Strahlungscharakteristik



Aufbau zur Untersuchung des optischen Tunneleffekts



Aufbau des Michelson- Interferometers



mögliche systematische Fehler:

1. seitliche Abstrahlcharakteristik wird vernachlässigt
2. innerhalb des Sendehorns treten bei seitlichem Einfall evtl. Interferenzen auf
3. Reflektionen im umliegenden Raum nicht beachtet
4. Messgeräte nicht genau kalibriert

erwartetes Ergebnis:

Eigenschaften der elektromagnetischen Welle werden nachgewiesen: Brechung, Reflektion, Polarisierung, Totalreflektion, optischer Tunneleffekt, Interferenz.

Versuchsablauf:

- Aufnahme der Messreihen

Fehlerquellen:

$$\Delta d, \Delta d, \Delta \alpha$$

Messwerte

Strahlungscharakteristik

Entfernungscharakteristik:

s [cm]	0	5	10	15	20	25
I [mA]	0,390	0,380	0,355	0,320	0,295	0,255
I_{relativ}	1,000	0,974	0,910	0,821	0,756	0,654

Winkelcharakteristik:

(Entfernung: 10 cm)

Winkel [°]	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
quer I [mA]	0,355	0,355	0,350	0,325	0,290	0,205	0,190	0,160	0,060	0,023
I_{relativ}	1,000	1,000	0,986	0,915	0,817	0,577	0,535	0,451	0,169	0,065
hoch I [mA]	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16
I_{relativ}	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Versuchsprotokolle

Winkel [°]	50	55	60	65	70	75	80	85	90
quer I [mA]	0,015	0,015	0,013	0,010	0,007	0,005	0,005	0,005	0,005
I _{relativ}	0,042	0,042	0,037	0,028	0,020	0,014	0,014	0,014	0,014
hoch I [mA]	0,16	0,16	0,155	0,155	0,155	0,155	0,13	0,075	0,11
I _{relativ}	1,000	1,000	0,969	0,969	0,969	0,969	0,813	0,469	0,688

Reflektion und Brechung

Intensitätsmaximum bei $\alpha = 60 \pm 5^\circ$ Intensitätsmaximum bei $\alpha = 55 \pm 2^\circ$ Intensitätsmaximum bei $\alpha = 40 \pm 2^\circ$

Polarisation

Es ergibt sich ein Intensitätsminimum bei senkrechter Gitterausrichtung und ein –maximum bei horizontaler Anordnung des Gitters (siehe signierte Messwerte).

Totalreflektion und optischer Tunneleffekt

d [cm]	∞	5	3	1,5	1,3	1	0,7	0,5	0,3	0
Position A I [mA]	0,005	0,000	0,000	0,000	0,020	0,040	1,450	1,600	1,650	1,700
I _{relativ}	0,003	0,000	0,000	0,000	0,013	0,025	0,906	1,000	1,031	1,063
Position B I [mA]	1,600	1,600	1,600	1,600	1,600	1,600	1,600	1,500	0,070	0,000
I _{relativ}	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,938	0,044	0,000

Wellenlängenbestimmung und optische Dichte

Minima existieren bei:

$21,5 \pm 1,5 \text{ mm} \quad 7,0 \pm 1,5 \text{ mm} \quad -8,0 \pm 1,5 \text{ mm} \quad -23,0 \pm 1,5 \text{ mm}$

Die Maximas verschieben sich bei Einbringen des Paraffins:

$d = 17 \pm 1 \text{ mm}, \Delta s = 7 \pm 0,5 \text{ mm}$

Auswertung

Wellenlänge:

$\lambda = n \cdot 2s = 30 \pm 3 \text{ mm}$

optische Dichte:

$2d(n-1) = \Delta s$

$n = \frac{\Delta s + 2d}{2d} = 1,20$

$\Delta n = (n-1) \left(\frac{\Delta(\Delta s)}{\Delta s} + \frac{\Delta d}{d} \right) = 0,03$

Ergebnisse

Beugung, Reflektion, Brechung, Polarisation Totalreflektion und optischer Tunneleffekt konnten nachgewiesen werden.

Die Wellenlänge konnte zu $\lambda = 30 \pm 3 \text{ mm}$ und die optische Dichte (Paraffin) zu $n = 1,20 \pm 0,03$ bestimmt werden.

Versuchsprotokolle

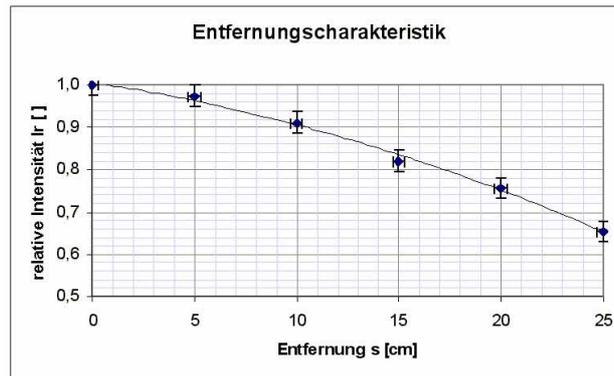


ABB II.1: Charakteristikum der Abstrahlung entlang der optischen Achse

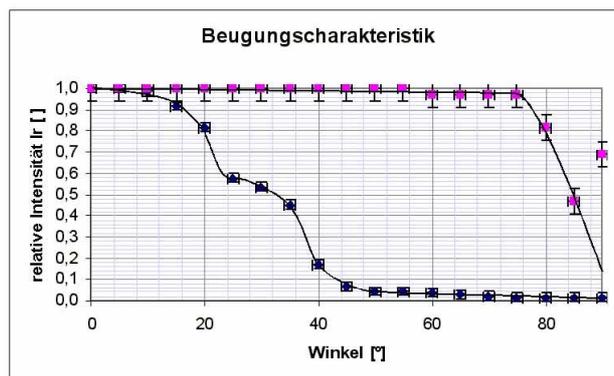


ABB II.2: Charakteristikum der Winkelabstrahlung. Die obere Kurve bei vertikalen und die untere Kurve bei horizontaler Hornausrichtung.

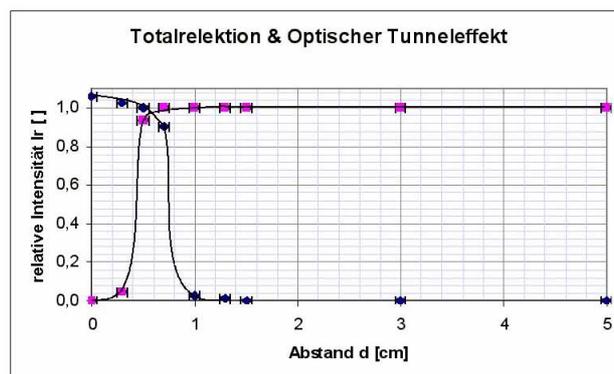


ABB II.3: Charakteristikum der Totalreflektion und dem optischen Tunneleffekt..

Diskussion

Es konnte direkt gezeigt werden, dass Reflexion, Brechung, Polarisation, Totalreflektion, Interferenz und optischer Tunneleffekt bei Mikrowellen existiert.

Zu diskutieren wäre die treppenförmige Kurve der Winkelabhängigkeit bei horizontaler Hornausrichtung. Erklärbar ist dies, indem man konstruktive und destruktive Interferenzen im angewinkelten Empfängerhorn annimmt. Anders erklärt sich die über weite Winkel konstante Kurve bei vertikal angeordneten Hörnern: Da das Huygens-Fresnelsche Prinzip gilt, kann man davon ausgehen, dass an der (wellenlängenmäßig gesehen) schmalen Öffnung nur reine Kugelwellen ausgehen und die Beugung an der scharfen Kante erst bei hohen Winkeln zu schlägt. D.h. konnte auch die Beugung nachgewiesen werden.

Weiterhin konnte leider in der linearen Abstrahlungscharakteristik die erwartete Abhängigkeit von $1/r^2$ nicht gezeigt werden. Das mag möglicherweise an der weiten Entfernung zur eigentlichen Erregerquelle (freie Elektronen) liegen. Was ebenso auffällt, ist dass bei der Kurve des optischen Tunneleffekts Übertragungen von **über** 100% stattfinden. Dies lässt sich vermutlich auf Fokussierungen durch die Kunststoffprismen zurückführen.

Damit konnte nachgewiesen werden, dass Mikrowellen Transversalwellen sind und die Merkmale dieser aufweisen.

Die abgezeichneten Messwerte sind im Anhang zu finden.

Jena, 03.06.2002