



Microones.

1 Objectiu

Estudiar les propietats de les microones.

2 Material

Emissor de microones, detectors de microones (2), suports, goniòmetre amb braços pels suports, suport giratori, plaques reflectores metàl·liques, esletxes polaritzadors, suports magnètics.

3 Fonament teòric

En aquest conjunt d'experiments s'estudien les propietats i el comportament de les ones electromagnètiques amb una longitud d'ona d'uns 3 cm. Aquesta longitud d'ona es troba dins d'una regió de l'espectre electromagnètic, corresponent a longituds d'ona d'entre 0.1 i 10 cm, denominada **microones**. Aquesta regió de l'espectre es troba limitada per la regió del FIR ("far infrared" o infraroig llunyà) i la de ràdio i televisió de UHF ("ultra high frequency") o freqüència molt elevada.

Molts dels fenòmens observats amb la llum visible es donen també amb les microones, encara que l'escala és diferent a causa de la diferència de longituds d'ona (l'espectre visible correspon a longituds d'entre 400 i 700 nm). Així, en el cas de les microones, alguns fenòmens són més fàcils d'observar que en el cas de la llum, tot i que ens cal però l'ajut d'un detector, ja que les microones no són visibles.

Les ones electromagnètiques són transversals, és a dir, els camps elèctric i magnètic oscil·len en un pla perpendicular a la direcció de propagació. En el buit (i en el nostre cas considerarem que a l'aire també) els dos camps oscil·len en fase a la mateixa freqüència, i les seves amplituds relatives E_0 i B_0 estan relacionades per l'equació $E_0 = vB_0$, on v és la velocitat de propagació. Les ones transporten energia, i en el cas de les ones electromagnètiques la **intensitat** de l'ona (potència per unitat d'àrea) té un valor mitjà que és proporcional al quadrat de l'amplitud del seu camp elèctric:

$$I = \frac{1}{2}\varepsilon_0 E_0^2 v \quad (1)$$

Aplicant el principi de conservació de l'energia es dedueix que la intensitat d'una ona és inversament proporcional al quadrat de la distància al focus, $I \propto r^{-2}$, i, per això, segons l'equació 1 el camp E_0 és proporcional a l'invers de la distància al focus, $E_0 \propto r^{-1}$.

3.1 Difracció

La propagació d'una ona és diferent de la propagació de un feix de partícules. Comparem l'efecte que provoca un obstacle a la propagació de partícules i d'ones que procedeixen d'un focus puntual. En la Figura 1 es comparen les transmissions d'un feix de partícules i el d'un tren d'ones a través d'un forat petit en una barrera. En el cas de les partícules, les línies indiquen les trajectòries que segueixen, rectilínies quan no hi actuen forces. Les partícules que es detecten més enllà de l'orifici són aquelles amb trajectòries que passen per ell, de manera que es troben confinades en un angle petit.

En el cas de les ones, segons el **principi de Huygens**, cada punt del front d'ona que arriba a l'obertura actua com un focus emissor puntual, així les ones (representades pels seus raigs) són transmeses en un angle més gran que el de les partícules. Aquest fenomen, que sempre té lloc quan es limita una part del front d'ona, rep el nom de **difracció**. La difracció és més evident si la dimensió de l'obertura es fa més petita.

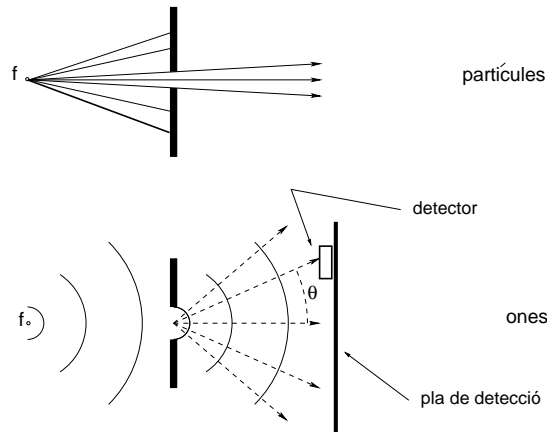


Figura 1: Difracció.

Si col·loquem un detector D sobre el pla de detecció, i aquest es troba a una distància L de l'esclatxa, molt més gran que la seva amplada, a , s'observa que la intensitat del senyal detectat depèn de la posició del detector sobre el pla, determinada per l'angle θ . La representació de la intensitat detectada en funció de l'angle θ constitueix la **figura de difracció** de l'esclatxa.

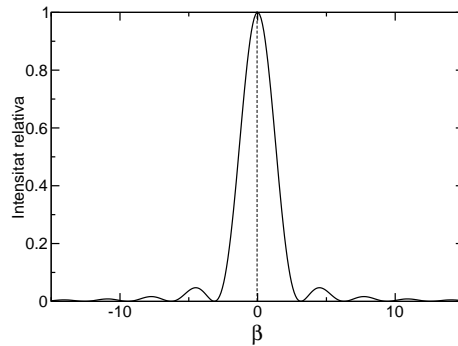


Figura 2: Figura de difracció d'una esclatxa.

En la figura de difracció de l'esclatxa es pot observar un màxim central, entre un conjunt de màxims secundaris, de manera que la intensitat d'aquests màxims secundaris disminueix amb la distància al centre del diagrama. Els angles θ_{max} en els que es troben els màxims secundaris estan donats per:

$$a \sin(\theta_{max}) = \pm(m + \frac{1}{2})\lambda \quad (m \approx 1, 2 \dots) \quad (2)$$

Els angles θ_{min} que determinen la posició dels mínims d'intensitat entre dos màxims d'intensitat consecutius venen donats per:

$$a \sin(\theta_{min}) = \pm m' \lambda \quad (m' = 1, 2 \dots) \quad (3)$$

on a és l'amplada de l'esclatxa i λ la longitud d'ona.

La Figura 2 mostra la figura de difracció d'una escletxa en funció del paràmetre β .

3.2 Interferències: ones estacionàries

Quan un tren d'ones incideix perpendicularment sobre un obstacle, l'ona reflectida interfereix amb l'ona incident. El diagrama d'interferència correspon al de dos trens d'ona d'amplitud, longitud d'ona, freqüència angular i direcció de propagació iguals, que avancen en sentits oposats en la mateixa regió de l'espai. Les ones que interfereixen responen doncs a les equacions:

$$\vec{E}_1 = \vec{E}_0 \sin(kx - \omega t) \quad (4)$$

$$\vec{E}_2 = \vec{E}_0 \sin(kx + \omega t) \quad (5)$$

La superposició de tots dos moviments ondulatoris dóna lloc a una **ona estacionària**

$$\vec{E}(x, t) = 2\vec{E}_0 \sin(kx) \cos(\omega t) \quad (6)$$

és a dir, tots els punts oscil·len amb la mateixa fase, però l'amplitud de l'oscil·lació depèn de la posició del punt. Els punts en els que l'amplitud es màxima reben el nom de **ventres** o antinodes (donats per $kx = (m + 1/2)\pi/2$; $m = 0, 1, 2, 3, \dots$) i els punts en els que l'amplitud es nul·la reben el nom de **nodes** (donats per $kx = m\pi$; $m = 0, 1, 2, 3, \dots$). Es pot comprovar que dos nodes (o dos ventres) consecutius estan separats per mitja longitud d'ona.

3.3 Polarització

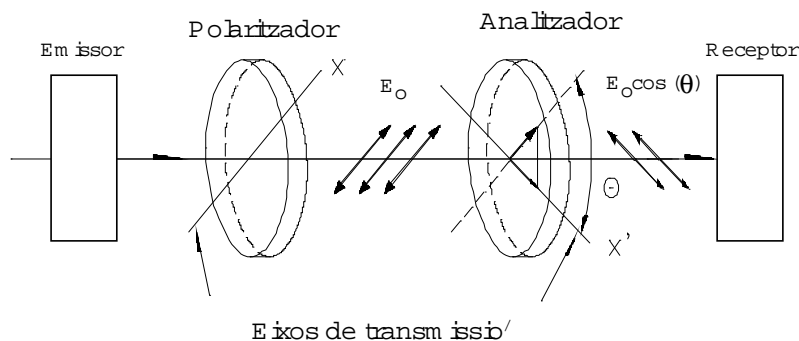


Figura 3: Sistema polaritzador-analitzador.

La **polarització** de les ones electromagnètiques es defineix segons la direcció del vector camp elèctric \vec{E} . La situació més senzilla que podem discutir és la **polarització lineal**. En aquest cas el vector que determina el camp elèctric oscil·la en una direcció fixa, i el pla que conté les direccions de propagació de l'ona i de oscil·lació del camp elèctric es denomina pla de polarització. Quan parlem d'ones polaritzades, ens referim normalment a ones polaritzades linealment, si bé hi ha altres tipus de polarització, com la circular i l'el·líptica. En aquests casos el vector del camp elèctric de l'ona rota amb velocitat angular constant de manera que el seu extrem descriu un cercle (polarització circular) o bé una el·lipse (polarització el·líptica).

La llum que emet una font ordinària, com el filament d'una bombeta, és no polaritzada, ja que resulta de l'emissió de diferents àtoms i molècules, la polarització dels quals no està correlacionada, és a dir, és una mescla de polaritzacions a l'atzar. Aquesta llum pot polaritzar-se si la fem passar per un **polaritzador**.

Un polaritzador és un instrument òptic que transmet selectivament ones que tenen el pla de polarització paral·lel al seu eix de transmissió, mentre que les ones que tenen el seu pla de polarització

perpendicular l'eix de transmissió són eliminades per reflexió o per absorció. Un exemple familiar són les làmines polaroid que es fan servir a les ulleres de sol.

Si situem dues làmines polaritzadores, una a continuació de l'altra, entre un emissor i un detector d'ones electromagnètiques, tenim un sistema polaritzador-analitzador. La làmina més propera a l'emissor es denomina **polaritzador** i la més propera al detector, **analitzador**. Com es pot veure a la Figura 3, l'angle θ mesura l'orientació relativa de l'eix de transmissió de l'analitzador amb referència al del polaritzador. Si I_0 és la intensitat de l'ona que surt del polaritzador, com que la intensitat és proporcional al quadrat del mòdul del camp elèctric, la intensitat que mesura el detector ve donada per l'expressió:

$$I = I_0 \cos^2(\theta) \quad (7)$$

coneguda com la **Llei de Malus**.

4 Mètode experimental

El transmissor que s'utilitza genera microones de longitud d'ona de 2.85 cm, polaritzades linealment i coherents, de 15 mW de potència, aproximadament. La unitat consisteix, essencialment, en un díode Gunn en una cavitat ressonant de 10.525 GHz i una botzina que fa que l'emissió sigui direccional.

ALERTA: La potència de la font de microones es troba dins dels nivells de seguretat, però no s'ha de mirar directament a l'interior de la botzina amb el transmissor en funcionament, ja que podria causar danys a la retina.

El detector de microones utilitza un principi semblant al dels receptors ordinaris de ràdio d'amplitud modulada. Una botzina, idèntica a la de l'emissor, condueix les microones cap a un díode Schottky situat en una cavitat ressonant de 10.525 GHz. El díode és sensible únicament a la component del camp elèctric en la direcció de l'eix del díode, de manera que el detector també pot utilitzar-se com a indicador de la direcció de polarització de l'ona.

L'emissor i el detector poden girar al voltant del seus eixos en el suport. El detector té un indicador d'intensitat que es pot utilitzar a diverses escales (mitjançant el commutador "intensity" es pot variar la sensibilitat de l'escala. La posició del commutador indica el nombre pel que s'ha de multiplicar la lectura per obtenir el valor de la intensitat). L'instrument disposa, a més a més, d'un ajust continu de la sensibilitat ("variable sensitivity"), que es pot ajustar a l'inici de cada experiència per aprofitar al màxim la sensibilitat de l'instrument.

És important no canviar aquest ajust continu entre les diferents mesures d'una mateixa experiència.

El detector també disposa d'una sortida analògica proporcional a la intensitat, i, a un costat, una entrada coaxial per a connectar un detector adicional.

És convenient fixar el transmissor en el braç llarg del suport i el receptor en el curt, ja que aquest pot girar i així es pot registrar la intensitat en funció de la direcció.

4.1 Experiència 1: Intensitat i obertura de l'ona generada

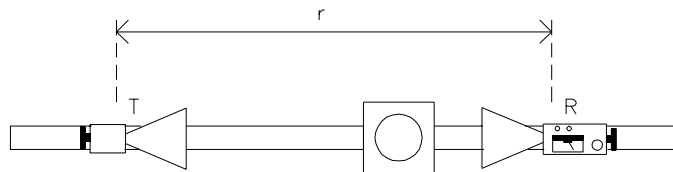


Figura 4: Experiència 1.

Situeu el transmissor i l'emissor com es mostra a la Figura 4 (amb una separació d'uns 40 cm entre el punt d'emissió i de recepció), tots dos orientats verticalment - l'indicador ha de marcar 0° -i cal procurar que l'emissor estigui el més a prop possible del goniòmetre. Quan fixeu la distància entre l'emissor i el receptor cal tenir en compte que les seves posicions es troben marcades a les bases dels suports amb "T" i "R" respectivament.

Connecteu tots dos dispositius, seleccionant l'escala de 30x en el detector. A continuació ajusteu el control "variable sensitivity" de manera que l'agulla se situï al fons d'escala (1.0).

Augmenteu la distància entre els punts d'emissió i recepció de 5 en 5 cm, fins que la separació final sigui d'uns 90 cm, i construïu una taula en la que aparegui la intensitat mesurada amb el detector en funció de la distància (no oblideu tenir en compte els canvis d'escala quan utilitzeu el commutador de sensibilitat del detector).

Una vegada hagueu acabat el procés anterior, torneu a fixar la distància de 40 cm entre els punts d'emissió i recepció. Ara estudeu la distribució angular del senyal. Per fer-ho, gireu el braç que suporta el detector de 10 en 10° , de manera que pugueu cobrir angles des de -40° fins a 40° , com es mostra a la Figura 5. Féu una taula amb la intensitat de la senyal en funció de l'angle que forma el braç amb la direcció inicial.

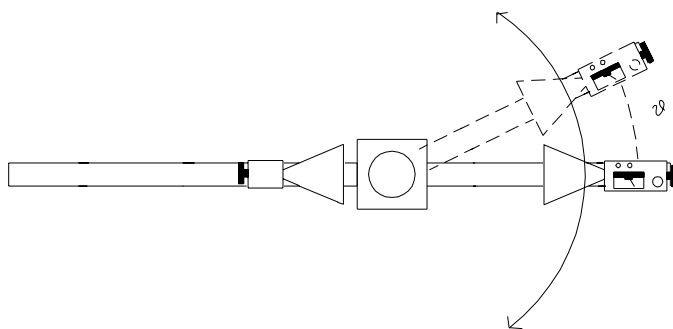


Figura 5: Experiència 1.

Finalment, torneu a alinear l'emissor i detector com a l'inici de la experiència. Afluïeu lleugerament els cargols del detector i gireu suaument el detector sobre el seu eix. Així varia la direcció de polarització del detector. Construïu una taula amb els valors de la intensitat mesurada en funció de l'angle girat θ .

4.2 Experiència 2: Ones estacionàries. Mesura de λ

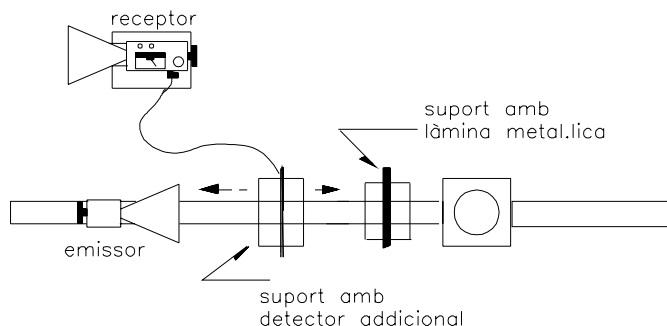


Figura 6: Experiència 2.

En aquesta experiència es determina la longitud d'ona de les microones que s'utilitzen, amb un mètode

basat en la formació d'ones estacionàries. Disposeu el dispositiu com es mostra a la Figura 6, de manera que l'ona emesa es reflecteixi a la làmina reflectora y formi una ona estacionària. Connecteu el detector addicional al connector coaxial lateral del receptor. Orienteu la botzina del detector de manera que les microones no hi entrin.

Ajusteu els controls de sensibilitat del detector per obtenir una desviació de l'agulla que sigui apreciable. Moveu el detector addicional al llarg del braç (uns dos o tres centímetres) fins que trobeu un màxim de lectura (en aquesta posició el detector es troba a un ventre de l'ona estacionària). Desplaçe'u novament el reflector (uns dos o tres centímetres), fins que la lectura sigui la més gran possible. Féu successivament ajustos lleus per aconseguir que la lectura sigui màxima.

A continuació, desplaçe'u el detector vers l'emissor de manera que trobeu un node (mínim de lectura) pròxim a la botzina de l'emissor. Allunyeu progressivament el detector de l'emissor i anoteu en una taula el nombre de ordre del node i la seva posició.

4.3 Experiència 3: Polarització de les microones

Situeu l'emissor i el receptor tal com heu fet a l'inici de la experiència 1. Intercaleu una reixa polaritzadora entre l'emissor i el detector i feu-la girar (Figura 7). Observeu i anoteu per quines direccions de les esclatxes de la reixa les intensitats detectades són màxima i mínima.

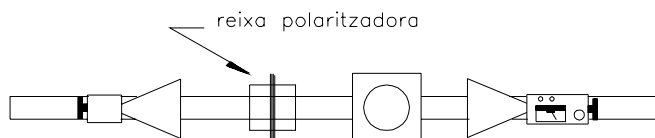


Figura 7: Experiència 3.

Intercaleu ara les dues reixes, amb els seus plans perpendiculars a l'eix del dispositiu, entre l'emissor i el detector. Gireu una de les reixes respecte a l'altra i anoteu per quins angles formen les esclatxes d'una reixa amb respecte a les de l'altra quan la intensitat detectada és màxima i mínima.

Com a experiència addicional podeu repetir aquesta experiència utilitzant una font de llum blanca i dos polaritzadors òptics. Cal demanar-ho al professor.

4.4 Experiència 4: Difracció per una esclatxa

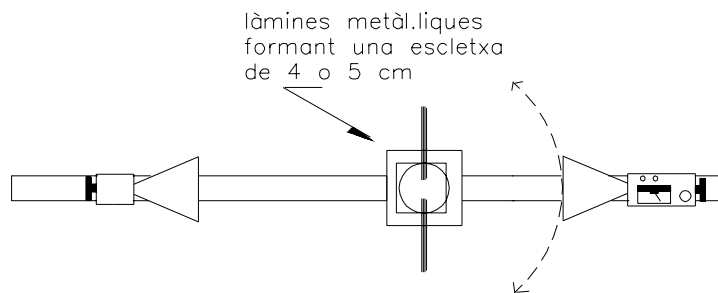


Figura 8: Experiència 4.

Construïu el dispositiu que es mostra en la Figura 8. Utilitzeu les dues làmines metàl·liques reflectores i el suport amb imants per formar una esclatxa d'uns 5 cm d'amplada. Procureu que la disposició dels elements sigui simètrica. Anoteu l'amplada de l'esclatxa i la seva distància al detector.

Ajusteu el transmissor i el receptor per obtenir polarització vertical (cal que els indicadors dels visos de subjecció marquin 0°). Situeu els controls del detector per obtenir la màxima desviació de l'agulla sobre l'escala amb la mínima amplificació possible, és a dir, amb la mínima sensibilitat.

Gireu el braç que suporta el detector de 5 en 5 graus entre -90 i 90° i construïu una taula de les lectures del detector en funció de l'angle θ . Amb aquestes dades es pot construir la figura de difracció de l'escletxa.

5 Resultats

5.1 Experiència 1

- Representeu gràficament el logaritme de la intensitat en funció del logaritme de la distància entre l'emissor i el receptor. Ajusteu una recta de regressió a les dades i representeu-la.
- El camp elèctric de l'ona decreix en proporció inversa a la distància a la font, mentre que la intensitat ho fa en proporció inversa al quadrat d'aquesta distància. A partir del pendent de la recta de regressió, decidiu si la lectura que proporciona el detector és proporcional al camp elèctric o a la intensitat de les microones incidents.
- Representeu gràficament la intensitat en funció de l'angle que forma la barra que suporta el receptor amb la direcció inicial. Què es pot dir sobre la direccionalitat de l'emissió ?
- Amb les dades obtingudes estudiant la polarització del senyal, féu una gràfica amb la intensitat en funció de l'angle girat. Si les lectures, L , són proporcionals al camp elèctric de les microones, aquestes segueixen la relació:

$$L = L_0 \cos(\theta) \quad (8)$$

Però si les lectures són proporcionals a la intensitat de les microones, segueixen la relació

$$L = L_0 \cos^2(\theta) \quad (9)$$

on L_0 és la lectura per a 0° y θ és l'angle girat. Calculeu i representeu gràficament els valors de les dues funcions sobre la mateixa gràfica anterior. Uniu el punts mitjançant corbes suaus de colors diferents. Comparant les tres corbes, quina a magnitud creieu és proporcional la lectura, el camp elèctric o la intensitat de les microones?

5.2 Experiència 2

- Representeu gràficament la posició de cada node en funció del seu nombre d'ordre. Ajusteu una recta de regressió i, sabent que el pendent de la recta és la distància entre dos nodes consecutius, i que aquesta distància és mitja longitud d'ona ($\frac{\lambda}{2}$), determineu la longitud d'ona de les microones generades pel nostre dispositiu.
- La freqüència de les microones és 10.525 GHz. A partir d'aquest valor i de la longitud d'ona calculada anteriorment, determineu la velocitat de propagació de les microones. Compareu aquest valor amb la velocitat de la llum.

5.3 Experiència 3

- Determineu de forma raonada quina és la direcció de l'eix de transmissió de la reixa polaritzadora.
- Compareu qualitativament els resultats obtinguts amb les dues reixes polaritzadores amb els que s'obtenen amb la llum i les làmines polaroid.

5.4 Experiència 4

- Representeu la intensitat en funció de l'angle girat pel braç que suporta el detector. Ajusteu una corba suau als punts experimentals. Compareu a figura de difracció obtinguda amb la Figura 2.
- Si heu detectat el primer màxim secundari, feu una estimació de longitud d'ona de les microones utilitzades a partir de l'expressió 2 per $m=1$.

6 Qüestions

1. Compareu els valor de la longitud d'ona obtingudes en les experiències 2 i 4.
2. Expliqueu de forma raonada com dissenyaríeu la porta d'un forn microones domèstic.