

Optique ondulatoire avec micro-ondes

DEMONSTRATION ET ETUDE DE L'INTERFERENCE, LA DIFFRACTION ET LA POLARISATION SUR DES MICRO-ONDES

- Mesure point par point de l'intensité en cas de diffraction de micro-ondes par une fente double
- Détermination des maxima pour différents ordres de diffraction
- Détermination de la longueur d'onde avec un écart de fente connu
- Étude et modification de la polarisation des micro-ondes rayonnées

UE3060300

03/18 UD



Fig. 1: Agencement de mesure pour la diffraction de micro-ondes sur la fente double

NOTIONS DE BASE GENERALES

L'optique ondulatoire considère la lumière observée comme une onde électromagnétique transversale et explique ainsi l'interférence, la diffraction et la polarisation de la lumière. Les micro-ondes sont également des ondes électromagnétiques et présentent les mêmes phénomènes, mais leurs longueurs d'onde sont nettement supérieures à celles de la lumière visible. Aussi utilise-t-on pour les expériences en optique ondulatoire avec des micro-ondes des objets de diffraction et des grilles de polarisation dont la structure interne est visible à l'œil nu.

Dans l'expérience, la diffraction de micro-ondes de longueur d'onde λ est étudiée sur une fente double dont l'écart d s'élève à plusieurs centimètres. Pour la diffraction par la fente double, on obtient une répartition type de l'intensité (voir fig. 5) avec des maxima dans les angles α_m , qui satisfont à la condition

$$(1) \quad \sin \alpha_m = m \cdot \frac{\lambda}{d}, \quad m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

Apparemment, l'intensité maximale est mesurée précisément au moment où le récepteur se trouve derrière la traverse centrale et ne peut pas être illuminé par l'émetteur par le chemin direct. Ce phénomène peut s'expliquer par l'interférence des ondes partielles issues des deux fentes et prouve ainsi la nature d'onde des micro-ondes.

La rotation du récepteur dans le sens du rayon permet de démontrer la polarisation linéaire des micro-ondes rayonnées. Dans le cas d'une orientation croisée de l'émetteur et du récepteur, l'intensité mesurée diminue jusqu'à zéro. Lorsqu'on place une grille de polarisation dans la marche des rayons dans un angle inférieur à 45° , le récepteur reçoit de nouveau une onde, certes de faible amplitude. La grille laisse passer la composante du vecteur E de la micro-onde qui oscille parallèlement à la grille de polarisation, ce qui permet de mesurer la composante qui oscille parallèlement au récepteur.

LISTE DES APPAREILS

1	Kit micro-ondes 9,4 GHz @230V	1009951 (U8493600-230)
ou		
1	Kit micro-ondes 10,5 GHz @115V	1009950 (U8493600-115)
1	Multimètre analogique Escola 30	1013526 (U8557330)
1	Paire de cordons de sécurité, 75 cm, rouge/bleu	1017718 (U13816)

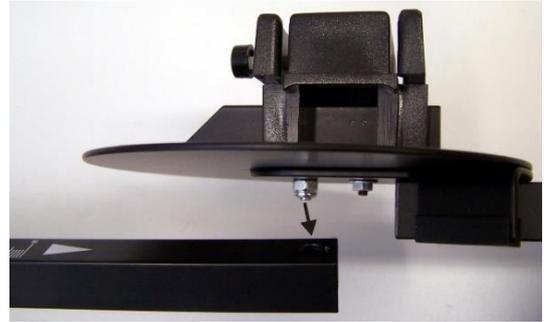


Fig. 2: Placer le rail court dans le rail long

MONTAGE

- Placer le rail court dans le rail long (Fig. 2).
- Régler le système de rails en position 0° (Fig. 3).
- Placer le porte-plaque sur le disque gradué comme le montre la Fig. 3 et le fixer avec la vis sans tête.
- Placer l'émetteur à 170 mm sur le rail court et le récepteur à 400 mm sur le rail long. Ajuster l'émetteur et le récepteur en position horizontale parallèle l'un par rapport à l'autre.
- Brancher l'émetteur à la prise « Sender » et le récepteur à la prise « Receiver » de l'unité de contrôle.
- Brancher le multimètre analogique aux prises 4 mm « Voltmeter » et sélectionner comme calibre la tension continue de 3 V.

Le multimètre analogique affiche le signal amplifié du récepteur comme tension continue proportionnelle (la modulation étant désactivée).

- Éteindre le haut-parleur et régler « Modulator » sur 0.
- Brancher l'unité de contrôle au secteur avec l'alimentation enfichable fournie ; elle est immédiatement prête au service.
- Ouvrir le régulateur « Amplification » pour le gain de signal du récepteur de sorte que le multimètre analogique affiche la valeur maximale 3 V.

REALISATION

Diffraction sur la fente double

- Déplacer l'émetteur en position 250 mm. Ajuster l'émetteur et le récepteur en position verticale parallèle l'un par rapport à l'autre.
- Centrer la plaque avec la fente double dans la fente du porte-plaque et la fixer avec la vis de fixation.

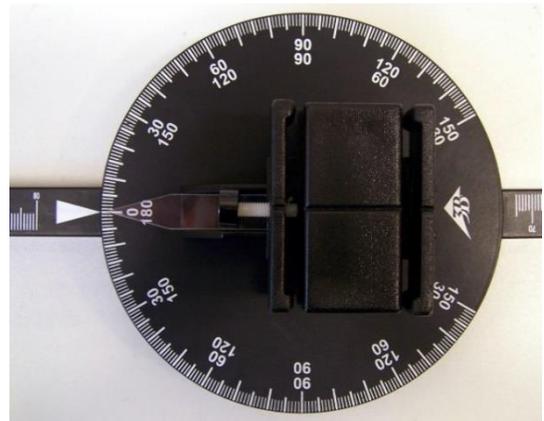


Fig. 3: Position 0° du système de rails

Note

Des ondes stationnaires se forment entre l'émetteur et la plaque avec la fente double.

- Déplacer l'émetteur légèrement à gauche ou à droite, de sorte que le multimètre analogique affiche une valeur maximale.
- Rajuster le gain de signal du récepteur, de sorte que le multimètre analogique affiche de nouveau 3 V.
- D'une main, tenir le rail long et le récepteur, de l'autre mains, tourner le rail court et l'émetteur dans le sens inverse des aiguilles d'une montre, de sorte que le repère de l'aiguille sur le rail long pointe sur le repère 65° du disque gradué. Tenir l'émetteur, de sorte que sa position sur le rail ne change plus. Noter la valeur de l'angle comme -65° dans le Tab. 1.
- Lire la tension sur le multimètre analogique et noter la valeur dans le Tab. 1.
- Répéter la mesure en pas de 2,5° jusqu'à 0°, puis jusqu'à +65° en tournant le rail court avec l'émetteur dans le sens des aiguilles d'une montre. Noter toutes les valeurs dans le tableau 1.

Polarisation

- Rétablir la configuration de départ (cf. « Montage »).
- Ajuster l'émetteur, le récepteur et la grille de polarisation comme le montrent les Fig. 4a – f, observer l'affichage du multimètre analogique et noter les observations.

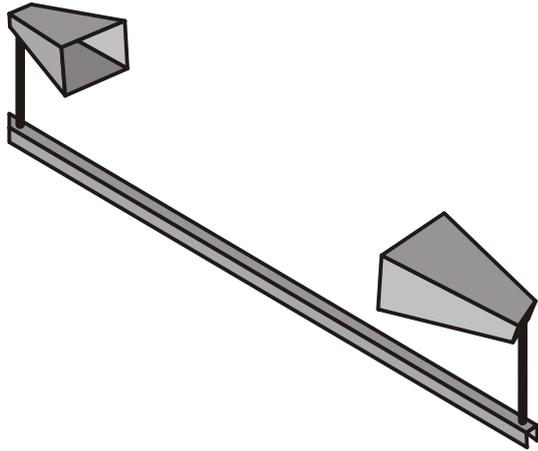


Fig. 4a : Ajustage parallèle de l'émetteur et du récepteur

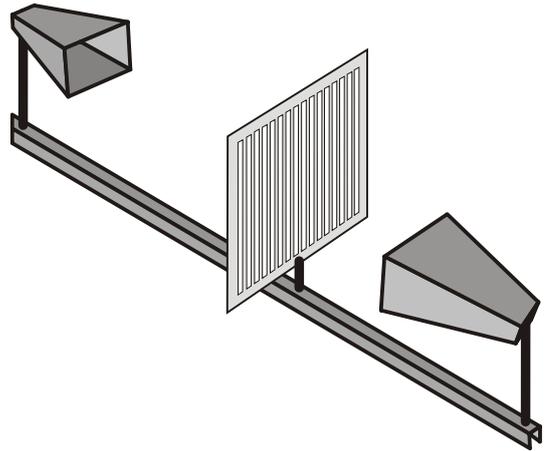


Fig. 4d : Grille de polarisation ajustée verticalement entre l'émetteur et le récepteur ajustés en position horizontale parallèle

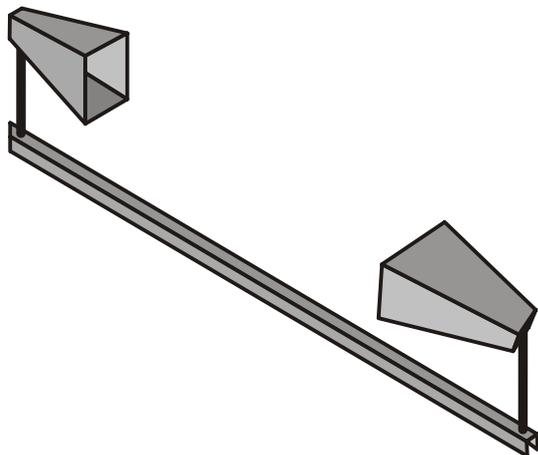


Fig. 4b : Ajustage croisé de l'émetteur et du récepteur

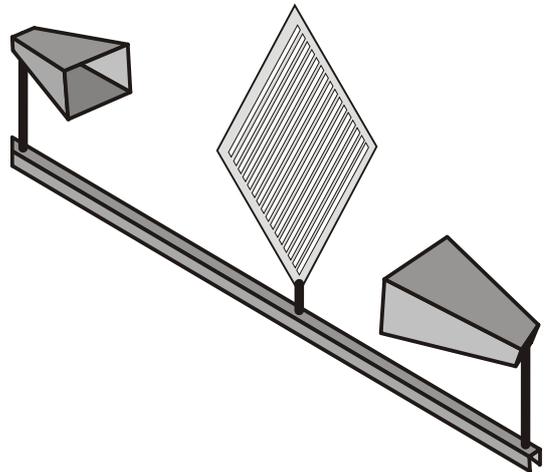


Fig. 4e : Grille de polarisation ajustée diagonalement entre l'émetteur et le récepteur ajustés en position horizontale parallèle

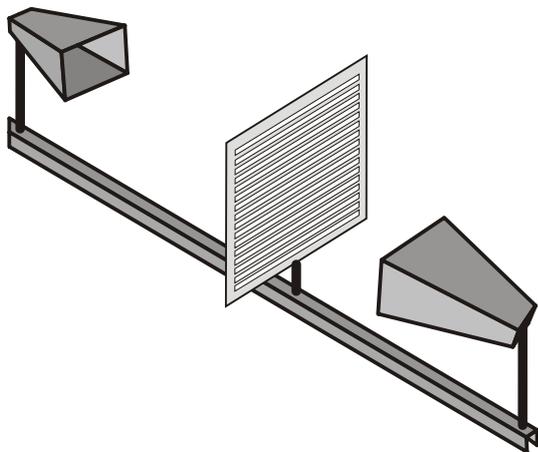


Fig. 4c : Grille de polarisation ajustée horizontalement entre l'émetteur et le récepteur ajustés en position horizontale parallèle

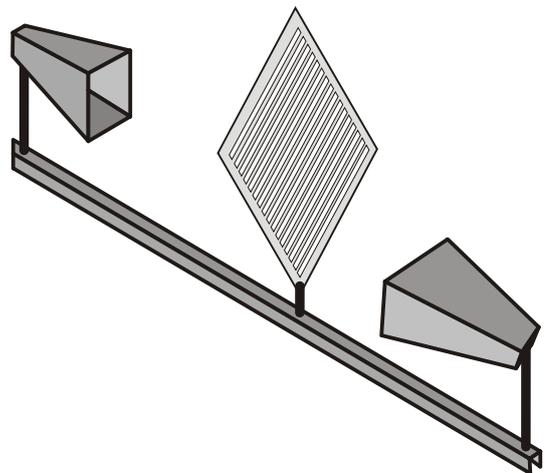


Fig. 4f : Grille de polarisation ajustée diagonalement entre l'émetteur et le récepteur ajustés en position croisée

EXEMPLE DE MESURE

Tab. 1: Diffraction de micro-ondes sur une fente double Tensions mesurées en fonction de l'angle de rotation

α	U/V	α	U/V	α	U/V
-65,0°	0,40	-20,0°	2,90	25,0°	1,00
-62,5°	0,65	-17,5°	2,85	27,5°	0,30
-60,0°	1,10	-15,0°	2,25	30,0°	0,45
-57,5°	0,90	-12,5°	1,65	32,5°	1,00
-55,0°	0,70	-10,0°	0,35	35,0°	1,40
-52,5°	0,60	-7,5°	0,55	37,5°	1,85
-50,0°	0,70	-5,0°	1,75	40,0°	2,10
-47,5°	1,00	-2,5°	2,75	42,5°	1,75
-45,0°	1,50	0,0°	2,95	45,0°	1,10
-42,5°	2,00	2,5°	2,55	47,5°	0,75
-40,0°	2,25	5,0°	1,65	50,0°	0,75
-37,5°	2,00	7,5°	0,35	52,5°	0,60
-35,0°	1,50	10,0°	0,50	55,0°	0,60
-32,5°	0,80	12,5°	1,80	57,5°	0,85
-30,0°	0,45	15,0°	2,40	60,0°	0,85
-27,5°	0,40	17,5°	2,85	62,5°	0,45
-25,0°	1,20	20,0°	2,90	65,0°	0,40
-22,5°	2,40	22,5°	2,35	-	-

Tab. 2: Position des maxima d'intensité comme fonction de l'ordre de diffraction m

m	α_m	$\sin \alpha_m$
-3	-60,0°	-0,87
-2	-40,0°	-0,64
-1	-20,0°	-0,34
0	0,0°	0,00
1	20,0°	0,34
2	40,0°	0,64
3	60,0°	0,87

- Représenter les angles α_m des maxima de diffraction dans un diagramme $\sin \alpha_m - m$ contre l'ordre de diffraction m (Fig. 6).

Les valeurs de mesure se situent sur une droite passant par l'origine dont la pente a correspond, selon l'équation (1), au quotient λ/d . Avec un écart de fente $d = 10,5 \text{ cm}$, on obtient pour la longueur d'onde λ et la fréquence f des micro-ondes :

$$a = \frac{\lambda}{d} \Leftrightarrow \lambda = a \cdot d = 0,302 \cdot 10,5 \text{ cm} = 3,17 \text{ cm} \Rightarrow$$

$$(4) \quad f = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{3,17 \text{ cm}} = 9,5 \cdot \text{GHz}$$

À 1 % près, la valeur correspond à la valeur nominale $f = 9,4 \text{ GHz}$.

EVALUATION

Diffraction sur la fente double

- Le cas échéant, soustraire l'offset (ici : 0,30 V) des tensions mesurées U (Tab. 1),
 $(2) \quad U' = U - U_{\text{off}} = U - 0,30 \text{ V}$,
 normaliser à la valeur pour $\alpha = 0^\circ$,
 $(3) \quad U'_{\text{max}} = U_{\text{max}} - U_{\text{off}} = 2,95 \text{ V} - 0,30 \text{ V} = 2,65 \text{ V}$,
 et représenter graphiquement les valeurs U' / U'_{max} qui en résulte en fonction de l'angle α (Fig. 5).
- Identifier les maxima avec l'ordre de diffraction m respectif et les noter avec les angles α_m dans le Tab. 2.
- Calculer à chaque fois le sinus de l'angle α_m et le noter dans le Tab. 2.

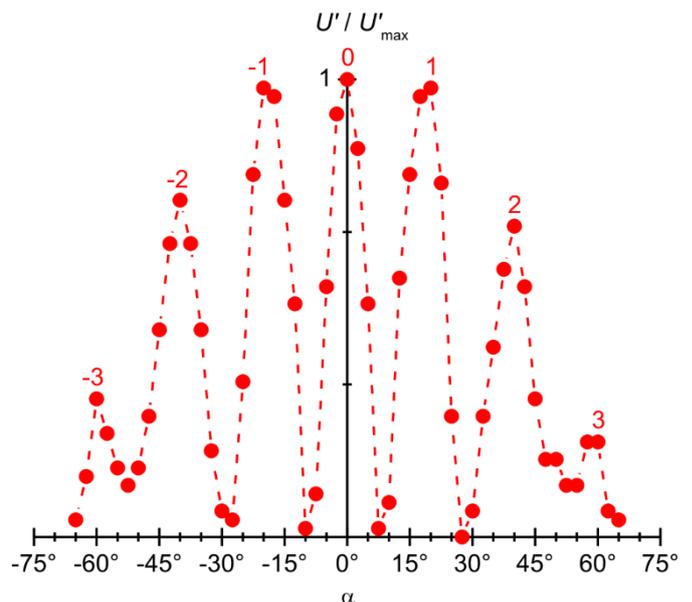


Fig. 5 : Répartition de l'intensité en cas de diffraction des micro-ondes par une fente double. La ligne hachurée sert à guider l'œil.

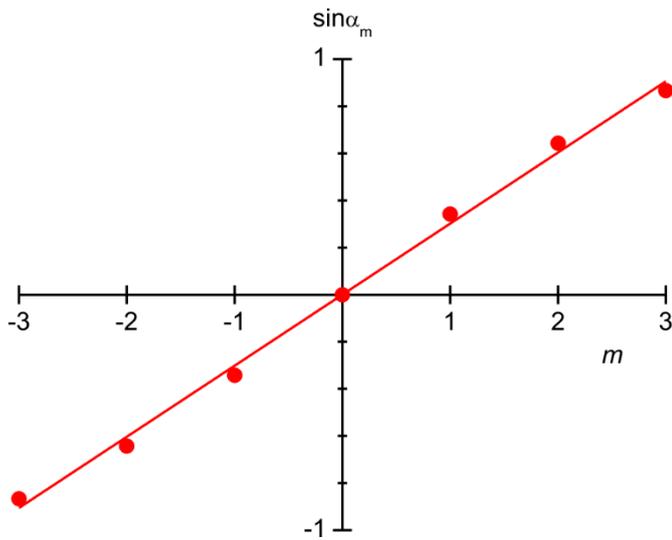


Fig. 6 : Position des maxima d'intensité comme fonction de l'ordre de diffraction m

Polarisation

En cas d'ajustage parallèle de l'émetteur et du récepteur (Fig. 4a), le multimètre analogique affiche une tension maximale, en cas d'ajustage croisé (Fig. 4b), il affiche zéro. Les micro-ondes envoyées sont des ondes transversales à polarisation linéaire.

En cas d'ajustage horizontal de la grille de polarisation entre l'émetteur et le récepteur à orientation horizontale parallèle (Fig. 4c), le multimètre analogique affiche une tension maximale, en cas d'ajustage vertical (Fig. 4d), il affiche zéro. La grille de polarisation agit comme un filtre de polarisation.

En cas d'ajustage diagonal de la grille de polarisation entre l'émetteur et le récepteur à orientation parallèle (Fig. 4e) ou croisée (Fig. 4f), le multimètre analogique affiche des tensions entre zéro et maximum. La grille laisse passer les composantes du vecteur E de la micro-onde arrivante, qui oscille parallèlement à la grille de polarisation. La mesure porte sur la composante oscillant parallèlement au récepteur.