

MICROONDE

Laboratorio di Fisica II - CdL in Fisica dell'Università di Milano-Bicocca

March 6, 2021

Abstract

Le microonde sono onde elettromagnetiche con lunghezza d'onda dell'ordine del cm che si prestano molto bene allo studio dell'ottica in una regione di frequenze differente da quella dello spettro visibile. In questo caso all'occhio viene sostituito uno strumento che rivela l'onda elettromagnetica in una determinata posizione. In questa esperienza si studiano fenomeni tipici dell'ottica ondulatoria come l'interferenza usando fenditure ed effettuando spostamenti che sono sulla scala dei centimetri.

1 Scopo dell'esperienza

L'esperienza si realizza impiegando un'emettitore, un ricevitore e una serie di pannelli riflettenti o semiriflettenti. Lo scopo dell'esperienza è di studiare fenomeni di ottica geometrica e ottica ondulatoria effettuando - ove possibile - una verifica quantitativa delle leggi che descrivono tali fenomeni (p.es. la legge della riflessione, la legge che descrive la posizione dei massimi di interferenza ...). In molti dei fenomeni studiati un parametro che può essere determinato è la lunghezza d'onda, si chiede di confrontare i risultati ottenuti con tecniche differenti e commentarli.

2 Strumentazione e procedura sperimentale

L'apparecchiatura consiste in un emettitore di microonde coerenti, polarizzate linearmente, in un ricevitore con misuratore analogico a sensibilità regolabile, in un metro e un goniometro.

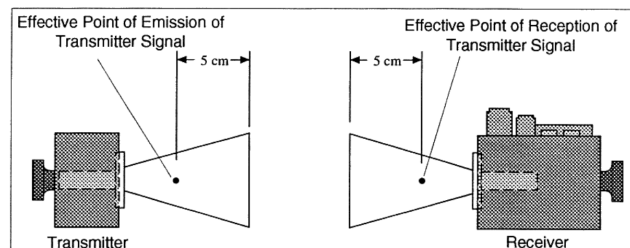


Figure 1: Emettitore e Ricevitore

L'emettitore è una cavità risonante realizzata con un diodo Gunn che emette onde elettromagnetiche polarizzate linearmente nella direzione del diodo, comportandosi all'incirca come una sorgente puntiforme. Il ricevitore utilizza un diodo dello stesso tipo che, ricevendo onde della sua frequenza caratteristica, entra in risonanza. Il diodo risponde solo ad onde polarizzate nella direzione del suo asse.

La lettura fatta dal ricevitore può essere amplificata agendo sul selettore di scala (le scale disponibili sono indicate come 30, 10, 3 e 1 essendo la prima quella da amplificazione minore). E' preferibile non modificare il guadagno durante una stessa raccolta dati, nel caso questo sia invece necessario controllare il fattore di amplificazione confrontando una stessa lettura effettuata su scale differenti. Oltre al lettore analogico è possibile collegare al ricevitore un multimetro digitale (in questo caso la lettura deve essere effettuata in tensione e non in corrente).

I punti di emissione e ricezione dell'onda sono 5 cm all'interno del corno. In molte delle misure proposte la conoscenza esatta della loro posizione non è rilevante.

Una serie di accessori consente di realizzare ostacoli riflettenti, semiriflettenti, rifrangenti ...

2.1 Preparazione

Il manuale PASCO riporta una descrizione dettagliata della strumentazione e del suo funzionamento. Alcuni punti essenziali sono riportati qui sotto:

- emettitore e ricevitore devono essere alimentati con una tensione CC di 9V che deve avere la corretta polarità: il diodo è irrimediabilmente danneggiato se la tensione di alimentazione ha la polarità sbagliata. Alcuni ricevitori sono alimentati a batteria. Si verifichi che le batterie del ricevitore siano cariche, in caso contrario va aperto il pannello posteriore e vanno sostituite. **Si utilizzano batterie ricaricabili da 9 V, a fine giornata estraete le batterie, verificate che siano di tipo ricaricabile, e ponetele in carica (ci vogliono almeno 5 ore per ricaricarle).**
- la sensibilità del ricevitore va regolata all'inizio di ogni misura in modo da essere il più vicino possibile a metà della scala di misura, scegliendo opportunamente l'amplificazione e regolando l'offset.
- il banco deve essere libero da ostacoli su cui il fascio di microonde (che è abbastanza largo) possa riflettersi disturbando le misure.

2.2 Onde stazionarie

Si osservi come il segnale rilevato dal ricevitore si modifica in intensità al variare della sua distanza dall'emettitore: si campioni per esempio a un passo di 0.5 cm o inferiore da una distanza minima di 30 cm fino a 70-100 cm. Quale è la spiegazione del fenomeno osservato? Si riportino in grafico le posizioni relative ai massimi e ai minimi di intensità e si ricavi la lunghezza d'onda.

Suggerimenti, note e domande:

- a ricevitore fermo osservate se il segnale sia fermo o oscillante, cosa concludete circa l'errore sulla lettura del segnale ? (avete un effetto statistico o un'incertezza che deriva dalla sensibilità dello strumento ?)
- verificate la riproducibilità della vostra misura: spostate il ricevitore e riportatelo nella posizione precedente confrontando le letture effettuate. Cosa ne concludete ?
- in tutte le misure successive a questa dovrete tenere conto che l'effetto dell'instaurarsi di un'onda stazionaria rimane, questo vi dà indicazioni su una possibile ottimizzazione della misura ?

2.3 Riflessione e Rifrazione

Si verifichi la legge di Cartesio (legge della riflessione) facendo riflettere le onde elettromagnetiche sulla lastra metallica quadrata. Si misuri l'angolo di riflessione per differenti valori dell'angolo di incidenza. Si valuti l'adattamento dei risultati sperimentali alla legge di Cartesio.

Si studi il fenomeno della rifrazione utilizzando il prisma di polistirolo, la prima volta vuoto e successivamente riempito con i pellets di styrene. Si posizioni il prisma sulla pedana di supporto che sarà stata centrata sul goniometro. Si consiglia di fare in modo che il raggio sia rifratto una sola volta passando attraverso il prisma (come?). Si misuri l'angolo al vertice del prisma con un goniometro o con la trigonometria (si disegna la sagoma del prisma su un foglio ...). Assumendo che l'indice di rifrazione dell'aria sia $n=1$ si ricavi l'indice di rifrazione dello styrene (per farlo andrà verificato che l'indice di rifrazione del polistirolo è 1).

3 Polarizzazione

La legge di Malus prevede che l'intensità di un'onda polarizzata linearmente che attraversa un filtro polarizzatore, orientato secondo un angolo θ rispetto alla direzione di polarizzazione dell'onda, sia:

$$I = I_0 \cdot \cos^2 \theta \quad (1)$$

dove θ è l'angolo formato tra la direzione del campo elettrico e l'asse di trasmissione del filtro. Si posizionino emettitore e ricevitore uno di fronte all'altro a distanza fissata, ruotando il ricevitore su se stesso e leggendo il valore dell'angolo sul goniometro posto dietro al ricevitore stesso. Si misuri la diminuzione di intensità relativa al variare dell'angolo rispetto all'orizzontale, di emettitore-ricevitore. Si raccolgano e confrontino le misure effettuate per differenti distanze emettitore-ricevitore. Si utilizzino i dati raccolti per discutere le due ipotesi: il ricevitore è sensibile all'ampiezza dell'onda o alla sua intensità. Cosa deve cambiare ?

Si studi come la griglia funzioni come un filtro polarizzatore. Si cerchi di trovare una spiegazione per l'effetto che ha la griglia (si pensi a come si comporta un metallo in presenza di un campo elettrico), cosa si può concludere circa la direzione di polarizzazione delle onde prodotte dall'emettitore ?

4 Angolo di Brewster

Quando un'onda incide sulla superficie di separazione tra due mezzi di indice di rifrazione differente si hanno un raggio riflesso e un raggio rifratto. Le intensità dei due raggi cambiano al variare eall'angolo di incidenza e della polarizzazione della luce.

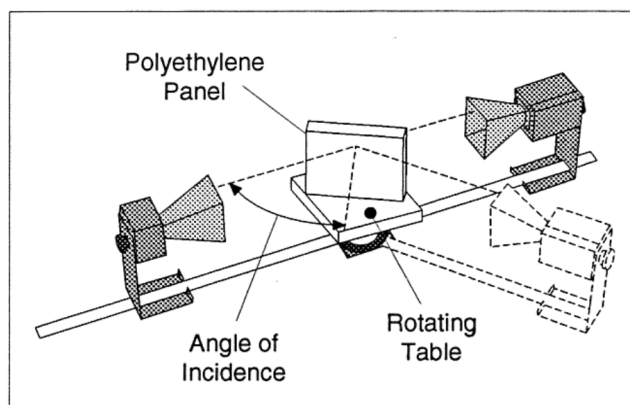


Figure 2: Misura dell'angolo di Brewster

Se l'onda incidente non è polarizzata, il raggio riflesso è parzialmente polarizzato nella direzione perpendicolare al piano di incidenza (quindi parallela alla superficie di separazione dei due mezzi). Viceversa il raggio rifratto è parzialmente polarizzato in direzione parallela al piano di incidenza. All'aumentare dell'angolo di incidenza l'effetto si amplifica fino a quando il raggio rifratto e quello riflesso sono completamente polarizzati. Questo avviene quando l'angolo di incidenza è pari all'angolo di Brewster θ_B .

Se l'onda incidente è polarizzata linearmente in direzione perpendicolare al piano di incidenza, allora quando l'angolo di incidenza è uguale a θ_B l'onda riflessa ha intensità nulla.

Si monti sul goniometro la piattaforma di supporto e su di essa la lastra di Polietilene. Si dispongano emettitore e trasmettitore per la polarizzazione orizzontale. Si faccia aumentare l'angolo di incidenza (partendo da un angolo di circa 20°) misurando l'intensità dell'onda riflessa. Si ripeta la misura cambiando la polarizzazione dell'onda (e quindi l'orientamento di ricevitore e emettitore). Si riportino i risultati in un grafico e si utilizzino per determinare l'angolo di Brewster.

5 Interferenza

E' possibile studiare il fenomeno dell'interferenza realizzando differenti configurazioni. Studiatene almeno due:

Interferenza da doppia fenditura: utilizzando un supporto magnetico posizionato sul goniometro, montare tre lastre di metallo in modo da costruire due

fenditure di circa 1,5 cm. Ruotando il ricevitore si troveranno i massimi e i minimi di interferenza e si potrà verificare la loro posizione rispetto alla previsione teorica:

$$\text{massimi} \quad d \cdot \sin\theta = n \cdot \lambda \quad (2)$$

con d distanza delle fenditure, θ angolo formato tra ricevitore e asse ottico, n ordine del massimo (si veda la figura 3).

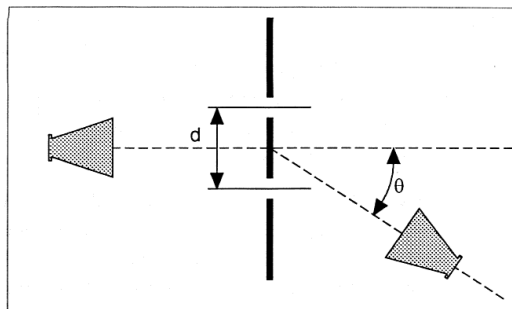


Figure 3: Configurazione doppia fenditura

Specchio di Lloyd: posizionare emettitore e ricevitore uno di fronte all'altro. Posizionare un secondo metro perpendicolare alla direzione emettitore-ricevitore passante per il goniometro, su questo montare una lastra di metallo (lo specchio), in questo modo una parte delle onde e.m. arriva direttamente al ricevitore, mentre altre onde percorrono il cammino dall'emettitore allo specchio e dallo specchio al ricevitore producendo interferenza (si veda la figura 4).

Cercare il minimo di intensità con lo specchio a distanza minima dal goniometro, a questo punto spostando lo specchio in modo da attraversare n massimi di intensità si può misurare la lunghezza d'onda (si scriva la relazione che descrive la posizione dei massimi di interferenza calcolando la differenza di cammino ottico tra il raggio riflesso sullo specchio e quello diretto).

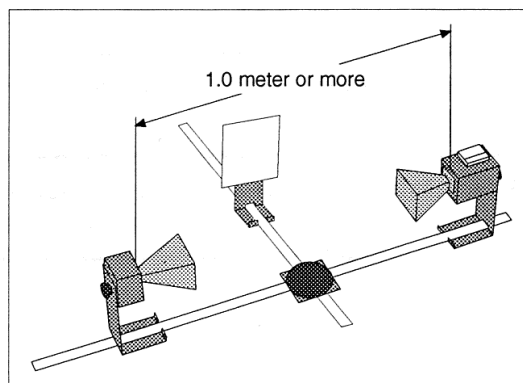


Figure 4: Configurazione di Lloyd

Interferometro di Fabry-Perot: posizionare due lastre semiriflettenti parallele tra loro e con emettitore e ricevitore (si veda la figura 5). Posizionarle in modo da trovare un minimo di intensità. Cambiando la loro distanza reciproca si attraversano massimi e minimi di intensità per poter così misurare la lunghezza d'onda (si scriva la relazione che lega massimi e minimi alla differenza di cammino ottico tra il raggio passante e quello riflesso 1 o più volte dalle lamine semiriflettenti).

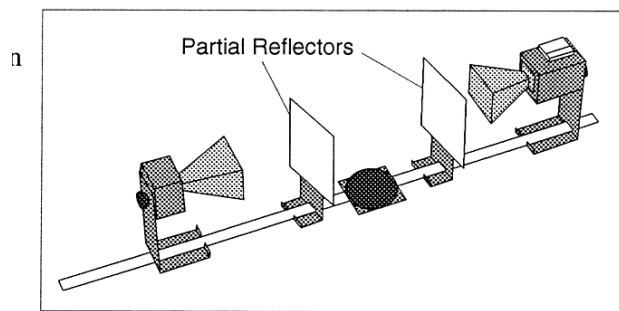


Figure 5: Configurazione di Fabry-Perot

Interferometro di Michelson: posizionare emettitore, ricevitore, lastre riflettenti (A, B) e lastra semiriflettente (C) come indicato in figura 7. Spostando le lastre riflettenti si osservano massimi e minimi di interferenza, si può così misurare la lunghezza d'onda (si scriva la relazione che lega massimi e minimi alla differenza di cammino ottico tra i raggi che percorrono i due bracci).

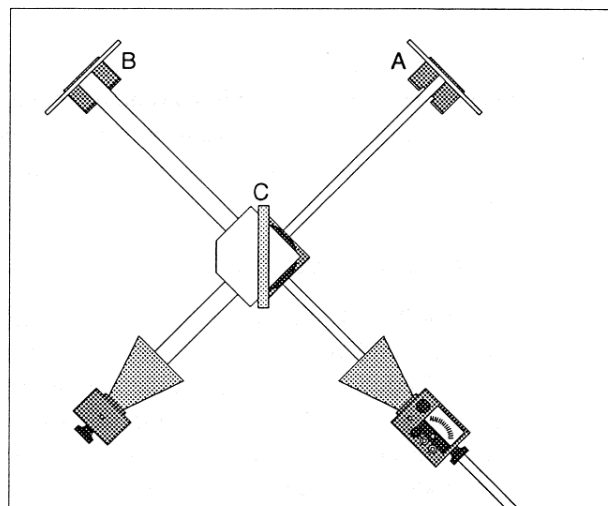


Figure 6: Configurazione di Michelson

6 Diffrazione di Bragg

In questa esperienza si utilizza un cubo di Bragg, questo riproduce su scala macroscopica un cristallo con reticolo cubico. Come in un cristallo gli atomi del reticolo diffondono i raggi X su di essi incidenti dando luogo a un pattern di interferenza, allo stesso modo le sferette di acciaio incastonate nel cubo di Bragg diffondono il fascio di microonde incidente e producono una figura di interferenza.

Si posiziona sul goniometro la pedana di supporto e il cubo di Bragg. Si sceglie un piano reticolare (un fascio di piani, paralleli tra loro e passanti per le sferette metalliche incastonate nel cubo) e si misura l'intensità delle onde riflesse da quel piano al variare dell'angolo di incidenza. La condizione di Bragg si verifica quando la differenza di cammino ottico tra i raggi riflessi dai differenti piani paralleli al piano reticolare scelto dà luogo a interferenza costruttiva. Si ponga attenzione a fare misure sempre in condizioni per cui $\theta_{\text{incidenza}} = \theta_{\text{riflessione}}$ relativamente allo stesso piano. (Si veda il manuale PASCO). Si studino eventuali dipendenze del fenomeno osservato dalla polarizzazione delle onde incidenti. Cosa può cambiare ?

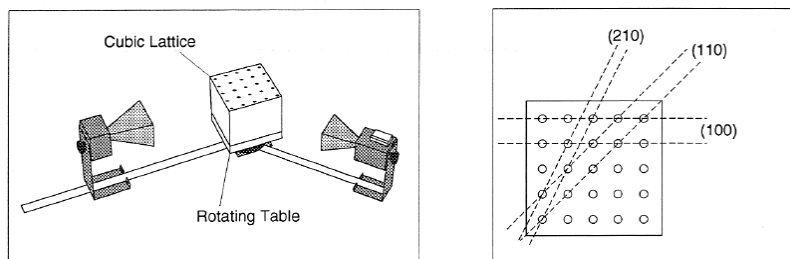


Figure 7: Configurazione per la diffrazione di Bragg

7 BIBLIOGRAFIA

- Manuale PASCO disponibile sul sito.
- 'Fisica 2', Halliday, Resnik, Krane.