

STUDIO DELLE LEGGI CHE GOVERNANO LE INTETERFERENZE CON SORGENTI NELLO SPETTRO DELLE MICROONDE

Laura TROMBETTA
Alessandro Maria TURTURIELLO
Federico VENTUROLI

Eseguita il giorno: 31 marzo 2022
Gruppo T2A-4: Trombetta Laura
Turturiello Alessandro Maria
Venturoli Federico

Sommario

Lo scopo della relazione è lo studio delle leggi dell'ottica, grazie all'utilizzo di un'onda elettromagnetica che rientra nel range delle microonde. Abbiamo condotto molteplici esperimenti per verificare le leggi di polarizzazione, riflessione, rifrazione, interferenza e la natura stazionaria dell'onda in specifiche condizioni. Gli esperimenti hanno avuto nel complesso risultati soddisfacenti, in caso contrario siamo riusciti ad identificare la sorgente dell'errore, in modo da non invalidare la legge che stavamo verificando.

Indice

1	Introduzione e descrizione dell'apparato sperimentale	2
2	Onde stazionarie	2
3	Riflessione e rifrazione	3
3.1	Riflessione	3
3.2	Rifrazione	4
4	Polarizzazione	4
5	Angolo di Brewster	5
6	Interferenza	6
6.1	Esperienza di Michelson	6
6.2	Esperienza di Lloyd	8
7	Conclusioni	8

1 Introduzione e descrizione dell'apparato sperimentale

L'apparato sperimentale è costituito da un emettitore e un ricevitore di microonde, montati su un metro lungo il quale possono scorrere. Al centro del metro è disposto un goniometro che permette ai due bracci del metro di ruotare e di ricavarne il relativo angolo. Il goniometro permette l'inserimento di molteplici componenti (pedane e piedistalli di supporto) attraverso un gancio. L'emettitore e il ricevitore possono ruotare di angoli osservabili attraverso altri due goniometri e l'intensità delle onde trasmesse è rilevata da un amperometro, con scala regolabile. Le componenti aggiuntive consistono in una pedana di supporto, necessaria per condurre esperienze come quella di Bragg o di Brewster, e componenti mobili muniti di magneti necessari per fissare lenti e specchi riflettenti.

Prima di procedere con l'esperimento abbiamo condotto un'esperienza virtuale dalla quale abbiamo tratto delle considerazioni.

La principale osservazione è stata in relazione alla polarizzazione in quanto, in modo analogo a quanto mostrato nella simulazione, il segnale rilevato sull'amperometro è provocato da due grandezze, la cui relazione reciproca è ignota. Nell'esperimento reale ciò è causato dal fatto che i coni di ricevitore ed emettitore non sono simmetrici per rotazione.

2 Onde stazionarie

Obiettivo di questa sezione è stato quello di misurare la lunghezza d'onda λ di una microonda, il cui range di grandezza varia tra 1 mm e 30 cm.

Abbiamo preferito procedere contando il numero di massimi, corrispondenti al punto di inversione della lancetta dell'amperometro, per una lunghezza di $d = 20$ cm. Questa scelta è stata motivata dal fatto che preferire, invece, un passo piccolo avrebbe aumentato l'imprecisione. Quest'ultima è dovuta alla presenza di componenti sinusoidali aggiuntive che sporcano l'onda non perfettamente stazionaria.

Per ricavare il valore della lunghezza d'onda ci siamo serviti della relazione

$$\lambda = \frac{2d}{\text{Numero di massimi}} \quad (1)$$

di seguito abbiamo riportato le lunghezze d'onda calcolate e il relativo errore ricavato dalla propagazione degli errori.

Il valore ottenuto è di

$$\lambda = (2,898 \pm 0,014) \text{ cm}$$

il cui errore è ricavato dalla media dei singoli errori.

Numero massimi	λ (cm)	errore λ
14	2,857	0,014
13	3,077	0,015
14	2,857	0,014
14	2,857	0,014
13	3,077	0,015
13	3,077	0,015
14	2,857	0,014
14	2,857	0,014
14	2,857	0,014
14	2,857	0,014
14	2,857	0,014
14	2,857	0,014
14	2,857	0,014
14	2,857	0,014
14	2,857	0,014
14	2,857	0,014
14	2,857	0,014
14	2,857	0,014
14	2,857	0,014
14	2,857	0,014

Tabella 1

3 Riflessione e rifrazione

3.1 Riflessione

Per analizzare il fenomeno della riflessione abbiamo verificato la legge di Cartesio (riportata sotto), misurando gli angoli di incidenza e riflessione della microonda su uno specchio riflettente.

$$\theta_i = \theta_r \quad (2)$$

Gli angoli ricavati, misurati in gradi, sono i seguenti:

θ_i (°)	θ_r (°)
20	21
20	23
30	31
30	27
40	35
40	39
50	48
50	43
60	69
60	63

Tabella 2

Abbiamo osservato che per angoli piccoli l'errore era maggiore, supponendo che ciò fosse dovuto al fatto che emettitore e ricevitore si trovassero troppo allineati.

Probabilmente il ricevitore captava il segnale non solo dell'onda riflessa ma anche di quella emessa.

3.2 Rifrazione

Abbiamo studiato il fenomeno della rifrazione con lo scopo di misurare l'indice di rifrazione dello styrene, un idrocarburo aromatico. Abbiamo posizionato un contenitore di polistirolo a base triangolare sulla pedana al centro. Dopo aver verificato che l'indice di rifrazione del polistirolo fosse pari a quello dell'aria abbiamo misurato l'angolo tra l'ipotenusa e il cateto maggiore attraverso le formule trigonometriche, l'angolo risultava essere di $\theta_v = 22,54^\circ$.

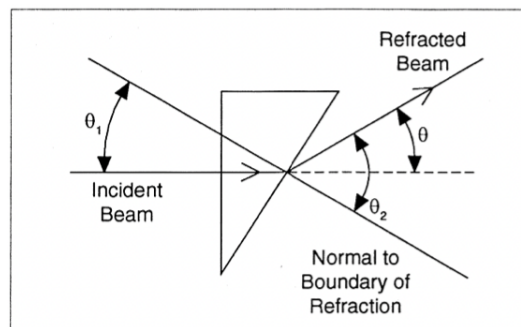


Figura 1

In seguito abbiamo preso l'angolo formato con la normale, $\theta_n = 38,54^\circ$, da cui abbiamo ricavato il valore di $n = 1,63$ come indice di rifrazione dello styrene. Quest'ultimo è stato calcolato attraverso la seguente relazione:

$$n = \frac{\sin \theta_n}{\sin \theta_v}$$

4 Polarizzazione

Questa sezione ha come obiettivo quello di determinare la relazione tra intensità e angolo di polarizzazione. Per condurre questa esperienza abbiamo disposto emettitore e ricevitore allineati e abbiamo ruotato il ricevitore di diversi angoli θ . Tenendo conto dell'imprecisione messa in evidenza nell'introduzione, abbiamo deciso di rappresentare la relazione in due modi differenti. In primo luogo abbiamo utilizzato un'interpolazione lineare sul $\cos^2 \vartheta$, verificando che l'apparato non avesse errore di calibrazione in base al verso della rotazione. I risultati sono riportati nella Figura 2. Abbiamo dimostrato questo mostrando come l'intensità fosse la medesima per angoli positivi e negativi di uguale modulo.

In secondo luogo abbiamo fatto uso di un'interpolazione quadratica che segue la legge di Malus, in grado di descrivere l'imprecisione sulla relazione tra il segnale rilevato e l'effettivo segnale trasmesso. Abbiamo interpolato seguendo

$$y = A \cos(\theta) + B(\cos^2 \theta)$$

dove per y si considera il segnale misurato, il grafico è riportato nella Figura 3.

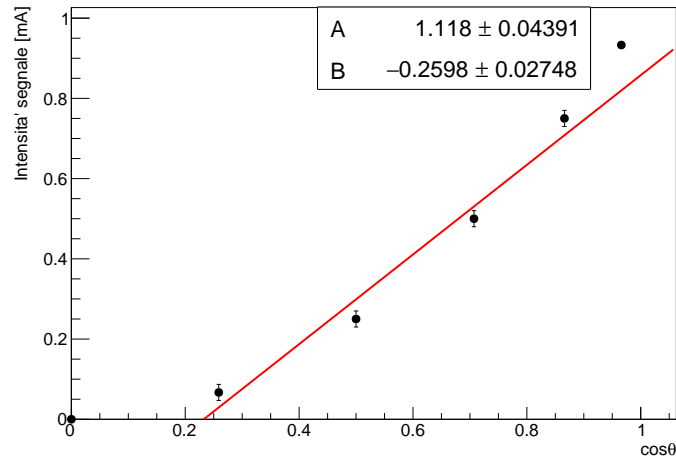


Figura 2 Interpolazione lineare

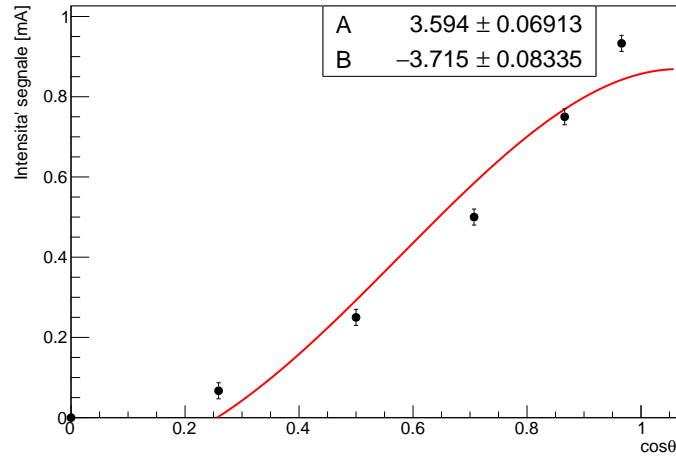


Figura 3 Interpolazione completa

Non essendo nota la relazione tra il segnale letto sul display dell'Amperometro e il valore medio del campo elettrico nel punto del ricevitore, abbiamo ipotizzato che questo avesse, nel primo caso, una dipendenza lineare dal campo, nel secondo caso, invece, una dipendenza "mista" sia dal campo che dall'intensità.

5 Angolo di Brewster

Obiettivo della sezione è stato quello di verificare l'angolo di Brewster. Abbiamo campionato per diversi angoli il valore dell'intensità, con maggiore concentrazione di campionamenti vicino al massimo. Dopo aver interpolato i dati vicino a quest'ultimo, come se questi seguissero una relazione quadratica, abbiamo ricavato il massimo attraverso il calcolo analitico della derivata. Il valore ricavato è $64^{\circ} 86'$. Per valutare l'errore abbiamo tenuto conto della correlazione tra A e B , calcolando la covarianza tra i due parametri. Covarianza ricavata dalla matrice

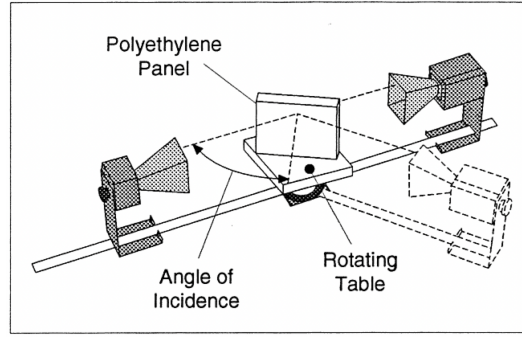


Figura 4 Configurazione dell'apparato sperimentale per la misura dell'angolo di Brewster

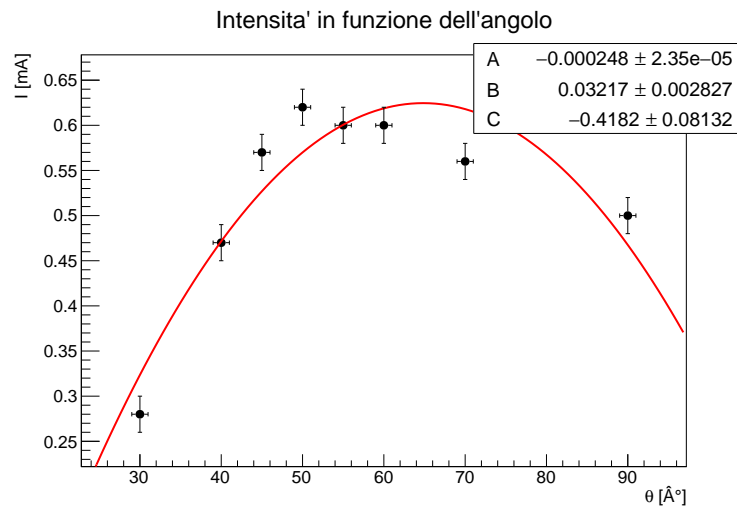


Figura 5

di covarianza (Eq. 3) dei tre parametri utilizzati per l'interpolazione.

$$\sigma_{ABC} = \begin{pmatrix} 5.5232 \cdot 10^{-10} & -6.5443 \cdot 10^{-8} & 1.7909 \cdot 10^{-6} \\ -6.5443 \cdot 10^{-8} & 7.9896 \cdot 10^{-6} & -2.2544 \cdot 10^{-4} \\ 1.7909 \cdot 10^{-6} & -2.2544 \cdot 10^{-4} & 6.6125 \cdot 10^{-3} \end{pmatrix} \quad (3)$$

6 Interferenza

Per analizzare il fenomeno dell'interferenza abbiamo predisposto l'apparato diversamente per due diverse esperienze.

6.1 Esperienza di Michelson

In primis abbiamo disposto le lenti e gli specchi come riportato in Figura 6. Mantenendo tutte le componenti fisse, abbiamo proceduto spostando una delle lastre semi-riflettenti con intervalli di $\Delta d = 10cm$. Dopo aver contato il numero

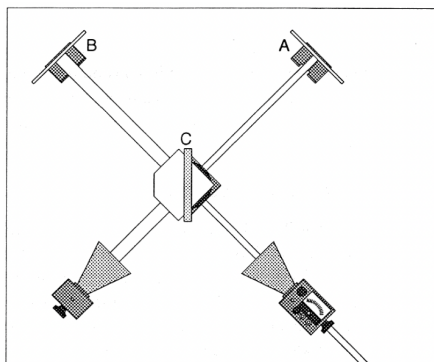


Figura 6 Configurazione di Michelson

di massimi per tale spostamento, abbiamo calcolato la relativa lunghezza d'onda λ , utilizzando la seguente relazione:

$$\lambda = 2 \frac{L_{M1} + \Delta d - L_f}{\Delta N} \quad (4)$$

dove L_{M1} indica la posizione iniziale dello specchio mobile e L_f indica la posizione iniziale dello specchio fisso. Riportiamo di seguito i valori ricavati:

Numero di massimi	λ (cm)	σ_λ (cm)
6	3,33	0,06
6	3,33	0,06
7	2,86	0,05
7	2,86	0,05
7	2,86	0,05
7	2,86	0,05
7	2,86	0,05
7	2,86	0,05
7	2,86	0,05
8	2,50	0,04
7	2,86	0,05
6	3,33	0,06
6	3,33	0,06
7	2,86	0,05
7	2,86	0,05
7	2,86	0,05
7	2,86	0,05
7	2,86	0,05

Tabella 3 Caption

Il valore medio della lunghezza d'onda e il relativo errore, calcolato come media di ogni errore calcolato con il metodo della propagazione degli errori, è di

$$\lambda = 2,948 \pm 0,051 \text{ cm}$$

6.2 Esperienza di Lloyd

Anche in questo caso lo scopo dell'esperimento è stato quello di determinare la lunghezza d'onda attraverso lo studio del fenomeno dell'interferenza.

Predisposte le componenti come in Figura 7 abbiamo cercato di rilevare la posizione dei massimi a partire dal primo. Tale operazione è risultata difficile a causa delle numerose fonti d'incertezze.

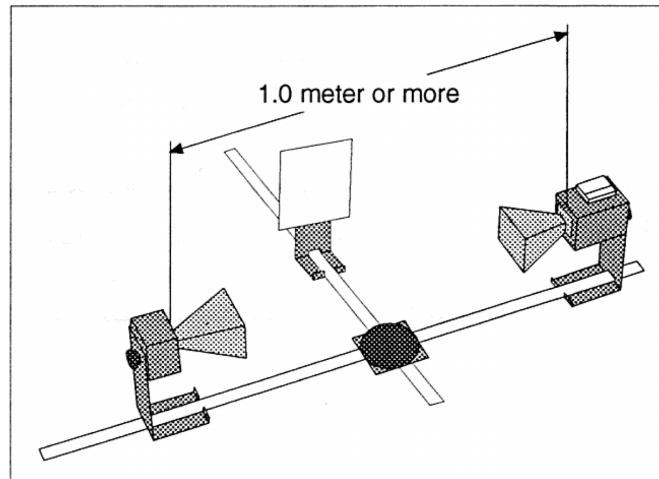


Figura 7

I dati raccolti sono i seguenti:

Numero del massimo	d (cm)	λ (cm)
1	3,4	1,0
2	4,4	5,1
3	9,5	2,5
4	12	4,0
5	16	8,1
6	24,1	

E' ben visibile l'errore che traspare dalle misurazioni effettuate, esso verrà discusso nel dettaglio all'interno delle conclusioni.

7 Conclusioni

Lo scopo dell'esperimento era quello di studiare una microonda attraverso l'osservazione di diversi fenomeni, analizzandone la lunghezza d'onda e il suo comportamento come onda polarizzata.

Per determinare la misura della lunghezza d'onda abbiamo avuto modo di confrontare tre differenti metodi. Il primo, quello inerente allo studio delle onde stazionarie, ha fatto emergere la presenza di ulteriori segnali sinusoidali provocati dalla riflessione di quello principale. Questo fenomeno influiva maggiormente prendendo passi piccoli nel conteggio del numero di massimi, da qui la nostra

decisione di un passo di $d = 20\text{ cm}$. La misurazione della lunghezza d'onda attraverso l'esperimento di Michelson ha avuto come ostacolo principale quello di disporre di uno spazio circoscritto lungo il quale far scorrere lo specchio semi-riflettente. La variazione di cammino tenuta da noi in considerazione è stata, infatti, molto limitata; anche una singola variazione del numero dei massimi è stata causa di una grande differenza per la misurazione di λ . L'esperimento di Lloyd è stato quello in cui abbiamo riscontrato le difficoltà maggiori. Il tentativo di determinare il primo massimo è stato, infatti, problematico. Esso era posto al di sopra del goniometro e, di conseguenza, è stato difficile determinarne la posizione precisa. A causa di ciò, anche la posizione dei successivi punti di massimo è risultata imprecisa. In aggiunta a ciò, lo spazio a disposizione era insufficiente per utilizzare correttamente l'apparato e trovare un segnale più preciso.

Per quanto concerne, invece, lo studio degli angoli di riflessione e rifrazione, i problemi riscontrati sono stati di diversa natura. Nel caso della riflessione, abbiamo rilevato un errore maggiore in concomitanza di angoli piccoli, questo perché il ricevitore rilevava anche i segnali emessi non deviati. Per lo studio della rifrazione l'imprecisione più grande è stata dovuta alla determinazione dell'angolo al vertice del prisma a base triangolare. Poiché quest'ultimo presentava angoli smussati, è stato necessario riportare con precisione su un foglio la figura e, di conseguenza, determinare attraverso formule trigonometriche il valore dell'angolo. Successivamente, nell'esperimento di polarizzazione, è stato necessario compiere due diverse interpolazioni a causa della mancata simmetria per rotazione di emettitore e ricevitore. Grazie a ciò è stato possibile verificare che il segnale rilevato dall'apparecchiatura soddisfa la legge di polarizzazione dipendendo dal \cos^2 . Per la misurazione dell'angolo di Brewster, infine, abbiamo riscontrato come il valore del massimo si discosti da quello ricavato con l'interpolazione dei dati. Questo risultato è provocato dal fatto che nel fit parabolico siano stati riportati anche angoli lontani dal valore massimo. Nonostante avessimo effettuato più campionamenti vicino al massimo, è possibile che la presenza di tali angoli abbia influito sul nostro modello.