

Esperienza Ottica - Interferometro

F. Ballo, S. Franceschina, S. Dolci - Gruppo T1 39

June 22, 2024

Abstract

Nella seguente relazione vengono presentati i risultati ottenuti dalla sesta esperienza del corso di Laboratorio II riguardante l'analisi di fenomeni ottici. L'obiettivo di questa esperienza è quello di riprodurre due esperimenti di interferometria: Fabry-Perot e Michelson. Per ciascuno di questi setup riprodotti in laboratorio lo scopo è quello di verificare certe relazioni, che occorrono nel momento in cui raggi luminosi interferiscono tra loro, dalle quali è possibile ricavare informazioni utili come la lunghezza d'onda della sorgente.

Contents

1	Configurazione setup esperienza	2
2	Fabry-Perot	2
2.1	Verifica della legge di interferenza	3
2.2	Analisi Dati legge di interferenza	3
2.3	Calibrazione micrometro - Frange	5
2.4	Analisi Dati calibrazione micrometro	5
2.5	Conclusioni Fabry-Perot	6
3	Michelson	6
3.1	Specchio	6
3.2	Frange	6
3.3	Conclusioni Michelson	6
4	Considerazioni sugli errori	6
4.1	Commenti finali	6
5	Tabelle	7

1 Configurazione setup esperienza

Per le misure di questa esperienza abbiamo utilizzato:

- Un interferometro di precisione PASCO scientific Modello OS-9255A/OS-9258A , link.
- Sorgente: laser monocromatico He-Ne con lunghezza d'onda $\lambda = 632.8 \text{ nm}$.
- Lente divergente: lente da 18mm.
- Specchi compresi nella dotazione PASCO

2 Fabry-Perot

La prima parte dell'esperienza consiste nella verifica della legge che descrive i massimi di interferenza, visibili quando due sorgenti si sommano in fase. Per farlo abbiamo montato l'interferometro in configurazione Fabry-Perot:

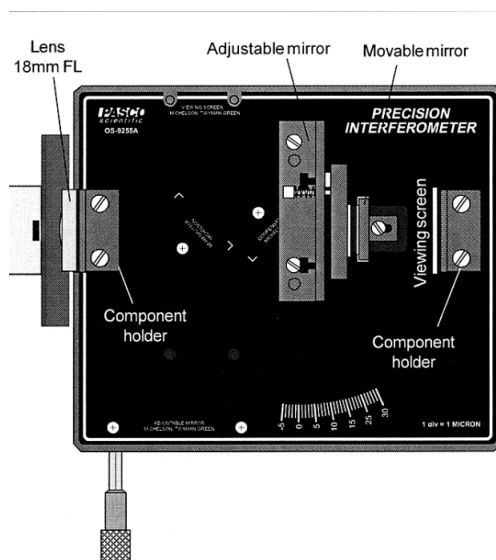


Figure 1: Configurazione Fabry-Perot.

La luce del fascio laser incide contro una lente divergente e entra nella cavità di Fabry-Perot, ovvero due specchi semiriflettenti distanziati d . Le riflessioni successive tra i due specchi formano la figura di interferenza sullo schermo, posto a circa un metro di distanza. È interessante notare come, per ricavare le relazioni che verranno utilizzate per descrivere il fenomeno, si introduca l'ipotesi che i raggi luminosi siano paralleli tra di loro nell'ingresso della cavità, nonostante la presenza di una lente divergente. Abbiamo motivato questa ipotesi osservando che la lente divergente è posta molto vicina alla cavità, e quindi la divergenza dei raggi luminosi è trascurabile. Non si può dire lo stesso per quanto riguarda i raggi che incidono sullo schermo, essi infatti sono considerati divergenti perchè la distanza tra schermo e specchio è significativa.

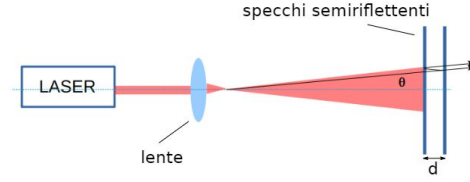


Figure 2: Configurazione Fabry-Perot.

Un'altra osservazione importante riguarda gli angoli delle frange di interferenza. Per l'angolo θ , quello riportato in figura 2,

abbiamo posto il vertice nel fuoco della lente divergente (18mm avanti) e misurato la distanza tra tale fuoco e lo schermo. In questo modo, misurando in seguito la distanza tra il centro della figura di interferenza e la frangia, è possibile calcolare l'angolo θ come l'arcotangente del rapporto tra le due distanze. In ogni caso, tali considerazioni sono state rilevanti solo per questa prima parte dell'esperienza, in cui era richiesto di verificare la legge 1 confrontando i valori di angoli attesi con quelli misurati. Per tutte le altre esperienze abbiamo potuto considerare $\theta \approx 0$ e quindi $\cos(\theta) \approx 1$ poichè lo schermo si trova a una grande distanza dalla sorgente puntiforme.

2.1 Verifica della legge di interferenza

In questa prima parte dell'esperienza abbiamo cercato di verificare la seguente legge di interferenza, che descrive quando i due raggi luminosi interferiscono in fase:

$$\delta_r \frac{\lambda}{2\pi} + 2d \cos(\theta) = N\lambda \quad (1)$$

d è la distanza tra i due specchi, δ_r rappresenta lo sfasamento, θ è l'angolo di incidenza della luce, N è l'ordine di interferenza e λ è la lunghezza d'onda del laser sorgente. Per verificarla abbiamo deciso di invertire la relazione in modo da evidenziare la dipendenza di $\cos(\theta)$ dalle altre variabili, ricavando la relazione 2:

$$\cos(\theta) = \frac{N\lambda}{2d} - \frac{\delta_r \lambda}{4d\pi} \quad (2)$$

Dopo aver verificato le opportune calibrazioni del laser, delle lenti e dello specchio, abbiamo misurato il diametro dei cerchi di interferenza con un calibro e calcolato così il coseno dell'angolo θ .

2.2 Analisi Dati legge di interferenza

Di seguito riportiamo i dati raccolti in laboratorio; la distanza dello schermo dalla sorgente è pari a $D = 1.37 \pm 0.01m$, assumendo come punto sorgente il fuoco della lente (18mm). Successivamente per la verifica del modello abbiamo eseguito un'interpolazione con la legge 2, mantenendo come parametri liberi δ_r e d .

Abbiamo ripetuto tale misura per quattro volte, variando d , al fine di poter verificare in più

configurazioni la legge 1.

Riportiamo di seguito i grafici dei fit ottenuti per ciascuna delle misurazioni in figura 3:

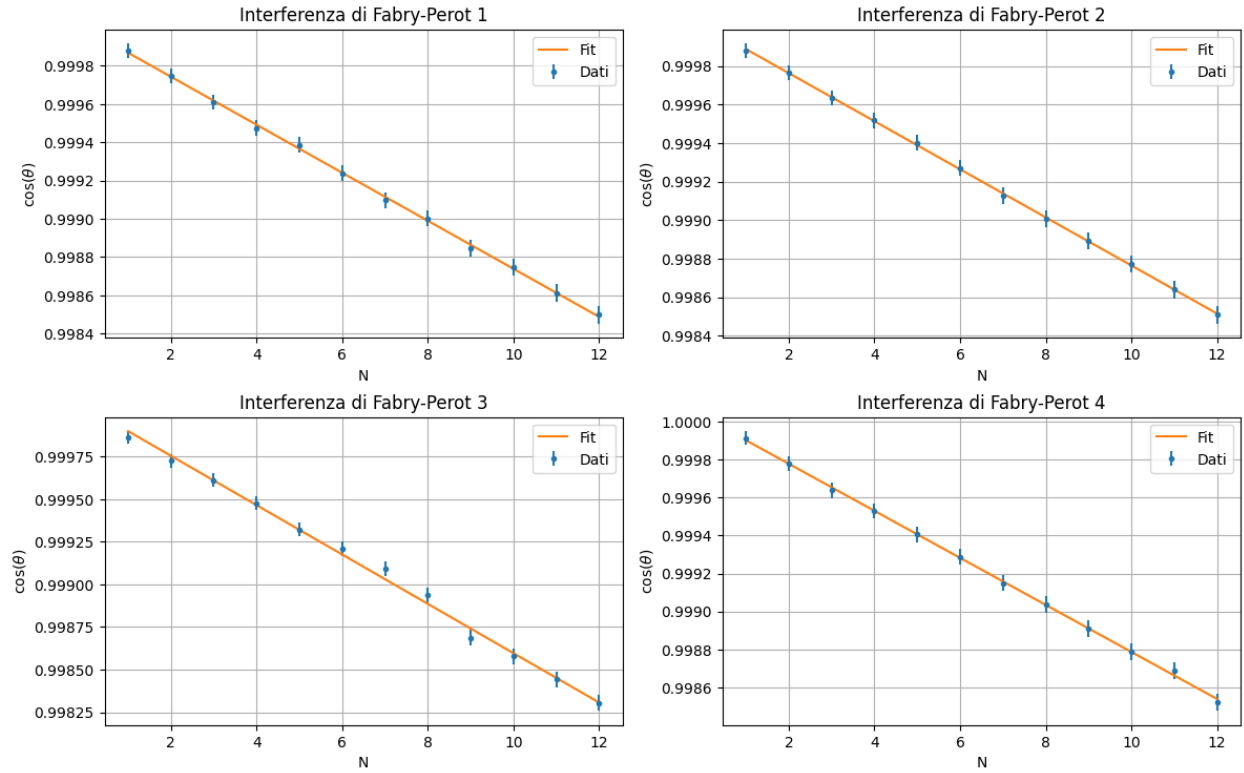


Figure 3: Interpolazioni della legge 2.

Nella tabella 1 riportiamo i valori ottenuti per i parametri δ_r e d con i relativi errori, insieme ai valori del $\tilde{\chi}^2$ e p-value trovati dalle interpolazioni.

Interpolazione 1			Interpolazione 2		
Parametro	Valore	Errore	Parametro	Valore	Errore
d	0.00252	4.82e-07	d	0.00254	4.83e-07
δ_r	5.01e+04	9.56	δ_r	5.04e+04	9.58
$\tilde{\chi}^2$	0.00307	p-value : 1	$\tilde{\chi}^2$	0.0398	p-value : 1
Interpolazione 3			Interpolazione 4		
Parametro	Valore	Errore	Parametro	Valore	Errore
d	0.00219	4.22e-07	d	0.00255	4.84e-07
δ_r	4.34e+04	8.36	δ_r	5.06e+04	9.60
$\tilde{\chi}^2$	0.75	p-value : 0.678	$\tilde{\chi}^2$	0.0756	p-value : 1

Table 1: Dati, deviazioni e test $\tilde{\chi}^2$ con p-value, suddivisi per interpolazione.

2.3 Calibrazione micrometro - Frange

L'interferometro in configurazione Fabry-Perot è dotato di un micrometro che permette di variare la distanza tra i due specchi Δd . Quando questa Δd varia, varia anche il cammino ottico dei raggi luminosi e quindi la posizione delle frange di interferenza. La legge che lega questo spostamento è la seguente:

$$\Delta d = \frac{\Delta N \cdot \lambda}{2 \cdot \cos(\theta)} \quad (3)$$

Misurando quante frange scorrono sullo schermo è possibile risalire a una misura di alta precisione del Δd e quindi calibrare il micrometro.

Dopo aver registrato una posizione di partenza iniziale dello specchio abbiamo scelto $\Delta d_{\text{nomio}} = 20\mu\text{m}$ come passo del nomio, il coseno dell'angolo θ approssimato a circa 1, dato che assumiamo incidenza normale. Infine abbiamo ripetuto la misura più volte, sempre ripartendo dalla stessa posizione iniziale cercando così di ridurre l'errore statistico e ottenendo una media per la distanza.

2.4 Analisi Dati calibrazione micrometro

Riportiamo in seguito i dati ottenuti dalle misurazioni:

Misura	Frange ΔN	Distanza Δd	Errore $\pm\sigma$
1	61	19,300	0.003
2	64	20,249	0.003
3	59	18,667	0.003
4	60	18,984	0.003
5	60	18,984	0.003
5	64	20,249	0.003

Table 2: Dati raccolti per la calibrazione del micrometro.

Riportiamo in seguito per la stima della distanza il valor medio e la deviazione standard

$$\Delta d_{\text{mis}} = 19.41 \pm 0.07\mu\text{m}$$

Gli errori riportati nella tabella sono stati calcolati con l'opportuna formula di propagazione degli errori, riportiamo inoltre che per questi calcoli abbiamo utilizzato come valore di λ la lunghezza d'onda del laser He-Ne $\lambda = 632.8 \text{ nm} \pm 0.1$ aggiungere citazione.

2.5 Conclusioni Fabry-Perot

3 Michelson

3.1 Specchio

3.2 Frange

3.3 Conclusioni Michelson

4 Considerazioni sugli errori

4.1 Commenti finali

5 Tabelle

Giallo		Ciano		Blu		Viola	
gradi	primi	gradi	primi	gradi	primi	gradi	primi
48	5	49	33	50	5	51	1
48	3	49	36	50	8	51	2
48	1	49	35	50	8	51	0
48	0	49	33	50	10	51	1
48	4	49	34	50	4	51	0
48	2	49	34	50	5	51	0
48	2	49	31	50	6	51	1
48	3	49	34	50	7	51	2
48	6	49	31	50	5	51	1
48	2	49	32	50	6	51	0

Table 3: Angoli di minima deviazione per mercurio