

Laboratorio di Ottica Quantistica

A. Bordin, G. Cappelli

alberto.bordin@sns.it
cappelligiulio06@gmail.com

Indice

1	Interferometro di Michelson: 06-07 Novembre 2017	3
1.1	Lunedì	3
1.1.1	Cose che dice Tonelli	3
1.1.2	Misure HeNe	3
1.2	Martedì	3
1.2.1	λ	3
1.2.2	Piezo	4
1.2.3	Indice di rifrazione	4
1.2.4	Osservazioni	4
2	Laser a diodo: 09-10 Novembre 2017	5
2.1	Giovedì	5
2.1.1	Datasheet	5
2.1.2	Cose che dice Tonelli	5
2.1.3	Caratteristica P-I al variare di T	5
2.2	Venerdì	5
2.2.1	Intensità vs angolo	5
2.2.2	λ vs T	6
3	Olografia: 13-17 Novembre 2017	7
3.1	Cose importanti	7
3.2	Olografia statica	7
3.2.1	soldatino con lancia	7
3.2.2	caccia	8
3.3	Olografia dinamica	9
3.3.1	Cubo con martelletto	9
3.3.2	Altoparlante	9
4	Fibre Ottiche: 20-24 Novembre 2017	11
4.1	Procedimento da seguire	11
4.1.1	Attenuazione	11
4.1.2	Attenuazione 2	12
4.1.3	Propagazione di un modo LP_{01}	12
4.1.4	Propagazione modi superiori	12
4.1.5	Fibra a conservazione di polarizzazione	13
4.1.6	Lente di GRIN	13
4.1.7	suono	13

5	Analizzatore di spettro: 27-28 Novembre 2017	14
5.1	Venerdì	14
5.1.1	presa dati	14
6	Visibile: 4-5 Dicembre 2017	15
6.1	Accensione pompa	15
6.2	Taratura attenuatore	15
6.3	V_{emessa} vs P_{pompa}	15
7	Duplicatore di frequenza: 14-15 Dicembre 2017	16
7.1	Verifiche iniziali	16
7.2	Taratura	16

Capitolo 1

Interferometro di Michelson: 06-07 Novembre 2017

1.1 Lunedì

Tolta la lente divergente si allineano i due raggi che non fanno interferenza al finito date le dimensioni dell'apparato. La vite micrometrica ha un errore del millesimo di millimetro. Gli errori su distanza e numero di picchi sono comparabili (prova a caso $1/35$ e $1/55$)

1.1.1 Cose che dice Tonelli

- camera a vuoto: $5\text{ cm} \pm 50\mu\text{m}$
- valvole: antiorario per aprire

1.1.2 Misure HeNe

picchi 1084 d 0.346 mm

Abbiamo impostato il motion controller a 125 step/sec per un totale di 99999 step per un intervallo di 13:21 min

1.2 Martedì

1.2.1 λ

Abbiamo impostato il motion controller a 125 step/sec per un totale di 12500 step per un intervallo di 1:40 min. Si notano dei transienti iniziali: 129 picchi e $41\mu\text{m}$

Su 100 s ne abbiamo perso 1, quindi 1%

Ora impostiamo 125 step/sec per un totale di 99999 step per un intervallo di 13:33 min

L'errore sulla distanza è pari alla risoluzione della vite, cioè $1\mu\text{m}$; mentre sul numero di picchi abbiamo considerato $\Delta m=2$

	m	m*	d μm	t mm:ss	λ nm	$\Delta\lambda$	direzione
HeNe borcapMM02	129		41	1:43	636	18	
HeNe borcapMM06	1088	1087.5	345	13:33	634	2	A
HeNe borcapMM07	1094	1091.5	345	13:43	631	2	B
HeNe borcapMM08	1092	1091.5	345	13:36	632	2	A
650nm borcapMM09	1065		345	13:36	648	2.2	A
650nm borcapMM10	1054	1052.5	346	13:32	657	2	B
532nm borcapMM11	1306	1305.5	347	13:32	531	2	A
532nm borcapMM12	1293	1293.5	347	13:32	537	2	B

1.2.2 Piezo

Abbiamo fatto una misura della salita da 0 a 100 V e una della discesa da 100 a 0 V contando le frange visivamente e segnando il valore della tensione ogni 10 frange; poi abbiamo ripetuto queste due misure salvando gli andamenti temporali delle frange e della tensione (in ogni acquisizione abbiamo acceso prima il VI Michelson e poi quello del multimetro)

1.2.3 Indice di rifrazione

Per fare il vuoto abbiamo aperto la valvola di collegamento fra camera e tubo e chiuso quella fra tubo ed esterno, quindi abbiamo acceso la pompa per circa 5 min (frange ferme) poi abbiamo azionato il VI e fatto entrare aria prima nel tubo e poi nella camera. A fine acquisizione abbiamo contato i picchi presenti sul grafico.

- borcapMMn01: 43 picchi (HeNe)
- borcapMMn02: 43 picchi (HeNe)
- borcapMMn03: 41 picchi (650 nm)
- borcapMMn04: 41 picchi (650 nm)
- borcapMMn05: 51 picchi (532 nm)
- borcapMMn06: 51 picchi (532 nm)

1.2.4 Osservazioni

- HeNe borcapMM06: si è fermata prima la presa dati rispetto al motorino, probabilmente mancano un paio di picchi quindi aumentiamo la durata dell'acquisizione a 13:43
- HeNe borcapMM07: si è fermato prima il motorino di circa 10 s, probabilmente sono stati contati dei picchi in più quindi diminuiamo la durata dell'acquisizione a 13:36

Capitolo 2

Laser a diodo: 09-10 Novembre 2017

2.1 Giovedì

2.1.1 Datasheet

Scarica e scrivi tutte le cose importanti dei datasheet

2.1.2 Cose che dice Tonelli

10 cm goniometro non superare 1.5 A peltier

2.1.3 Caratteristica P-I al variare di T

Misuriamo la potenza emessa dal diodo al variare della corrente a tre diverse temperature: 12°C, 25°C, 45°C

In ognuna delle tre prove scegliamo la lunghezza d'onda letta dal power meter in base a quella riportata sul datasheet del diodo laser: 784 nm, 786 nm, 790 nm

I valori della potenza nei file .txt sono in μW

I [mA]	P [μW]	I [mA]	P [μW]	I [mA]	P [μW]	I [mA]	P [μW]
82.0	6.23	71.0	3.80				
81.0	6.03	69.1	3.38				
79.9	5.80	67.3	2.99				
78.8	5.48	64.8	2.468				
77.8	5.29	63.0	2.077				
76.6	5.05	60.5	1.544				
75.3	4.74	58.5	1.100				
73.9	4.43						

Tabella 2.1: T = 12 °C

Abbiamo fatto le altre temperature

2.2 Venerdì

2.2.1 Intensità vs angolo

Misuriamo l'intensità relativa ai due piani della giunzione montando il diodo laser su un goniometro

Leggiamo l'intensità attraverso un rilevatore collegato ad un multimetro che leggiamo dal pc con DIGITAL MULTIMETER.

Abbiamo allineato il diodo con il polarizzatore e il power meter però non eravamo soddisfatti quindi lo abbiamo fatto ad occhio usando la cartina e abbiamo controllato col filtro di essere almeno all'interno della sua precisione

Le misure sono fatte a 23°C e con una corrente di controllo di $82.1\ \mu\text{A}$

2.2.2 λ vs T

Col peltier controlliamo la temperatura del laser. Passiamo lentamente da 12°C a 45°C , intanto controlliamo la lunghezza d'onda del picco letta dallo spettrometro. Abbiamo risoluzione di 1°C e 1nm . Alimentiamo il laser poco sopra soglia $\sim 65\text{mA}$

Capitolo 3

Olografia: 13-17 Novembre 2017

3.1 Cose importanti

- Cammini ottici uguali
- Intensità costante sulla lastra
- 50% annerimento lastra per $\lambda=633$ nm quindi $50 \mu\text{J}/\text{cm}^2$
- Taratura sensore

$$P[\mu W] = -0.16925 + 2.6592V[V] \quad (3.1)$$

$$t[s] = \frac{50[\frac{\mu J}{\text{cm}^2}]}{P[\mu W]} S[\text{cm}^2] \quad (3.2)$$

3.2 Olografia statica

3.2.1 soldatino con lancia

13.12 secondi

- A = 60 cm
- B = 92.5 cm
- C = 78.5 cm
- D = 38 cm
- E = 36 cm

Abbiamo misurato con il rilevatore al silicio i valori dell'intensità dei fasci I_o e I_r :

1.14		1.12
	1.48	
1.12		1.13

Tabella 3.1: Valori di I_r espressi in V con un errore di 0.01 V

56		59
	59	
54		59

Tabella 3.2: Valori di I_o espressi in mV con un errore di 1 mV

1.09	1.13	1.11
1.43	1.50	1.45
1.21	1.26	1.24

Tabella 3.3: Valori di I_{tot} espressi in V con un errore di 0.01 V

Tabella 3.4: Valori di P_{tot} espressi in μ W

3.2.2 caccia

- A = 62.5 cm
- B = 89.5 cm
- C = 77.5 cm
- $D_S = 34.5$ cm, $D_C = 38.5$ cm, $D_P = 50$ cm
- $E_S = 39$ cm, $E_C = 35.5$ cm, $E_P = 46$ cm

1.19	1.24	1.19
1.50	1.54	1.49
1.20	1.22	1.19

Tabella 3.5: Valori di I_r espressi in V con un errore di 0.01 V

67	69	70
68	70	71
69	68	71

Tabella 3.6: Valori di I_o espressi in mV con un errore di 1 mV

1.25	1.30	1.25
1.56	1.59	1.52
1.25	1.27	1.24

Tabella 3.7: Valori di I_{tot} espressi in V con un errore di 0.01 V

Tabella 3.8: Valori di P_{tot} espressi in μ W

3.3 Olografia dinamica

3.3.1 Cubo con martelletto

Tempo stimato di 12.31 s di cui 6 con martelletto premuto e 6 senza. Abbiamo preparato la lastra, premuto il martelletto, acceso il laser, lasciato il martelletto, spento il laser.

- A = 62.5 cm
- B = 89.5 cm
- C = 78 cm
- D = 39 cm
- E = 35 cm

1.24	1.29	1.25
1.53	1.55	1.51
1.19	1.24	1.15

Tabella 3.9: Valori di I_r espressi in V con un errore di 0.01 V

51	51	51
53	52	53
50	50	50

Tabella 3.10: Valori di I_o espressi in mV con un errore di 1 mV

1.23	1.30	1.25
1.55	1.58	1.54
1.25	1.30	1.22

Tabella 3.11: Valori di I_{tot} espressi in V con un errore di 0.01 V

Tabella 3.12: Valori di P_{tot} espressi in μW

3.3.2 Altoparlante

Abbiamo tenuto acceso l'altoparlante alla frequenza di 783 Hz (un Sol5) segnata 1.03 sul generatore di funzioni.

Analogamente a quanto fatto per il martelletto abbiamo tenuto acceso l'altoparlante per le metà del tempo totale di 11.7 s stimato e 11.43 s effettivo.

- A = 63 cm
- B = 87.5 cm
- C = 69 cm
- D = 36.5 cm

- $E = 44 \text{ cm}$

1.24	1.31	1.28
1.58	1.61	1.57
1.26	1.33	1.25

Tabella 3.13: Valori di I_r espressi in V con un errore di 0.01 V

98	95	96
94	97	100
93	97	99

Tabella 3.14: Valori di I_o espressi in mV con un errore di 1 mV

1.34	1.38	1.36
1.62	1.67	1.65
1.29	1.38	1.30

Tabella 3.15: Valori di I_{tot} espressi in V con un errore di 0.01 V

Tabella 3.16: Valori di P_{tot} espressi in μW

Capitolo 4

Fibre Ottiche: 20-24 Novembre 2017

4.1 Procedimento da seguire

Abbiamo allineato il laser all'interno di un foro cilindrico in un cubo metallico.

1. Inserire corno nero
2. Spellare la fibra meccanicamente o chimicamente
3. Pulire la fibra con l'alcool
4. Tagliare la fibra col taglierino
5. Inserire il portafibra
6. Controllare il taglio
7. Mettere la fibra al sicuro

Le dimensioni del sensore del power meter sono 7 mm

Abbiamo un fondo del sensore di 2 nW con un errore del 5% confrontabile con quello dovuto alla distanza fra il sensore e l'apertura che è 23.8 cm

-6 = 40 nW

Lo zero del goniometro è a 13°, luce ambientale 2 nW

Massimo fra 13 e 14° a 2.65 μ W

$d_2 = 11.1$ cm

$P_{out}(\max) = 9.81$ a 13°

Fondo scala 4 nW a -16°

$P_{out}(\max) = 12$ μ W fra 8 e 9 ad una distanza di 8.9 cm

Abbiamo degli spot scuri e chiari sullo schermo di dimensioni tipiche di 1 cm² ad una distanza di 105 cm dalla fibra

4.1.1 Attenuazione

HeNe

Abbiamo srotolato dalla bobina di fibra multimodo F-MLD 2 m di fibra ed utilizzando un lanciatore con una lente col fuoco a 2 mm abbiamo allineato il laser ad HeNe nella fibra e abbiamo letto col power meter la potenza uscente:

$P_{out} = 598$ μ W

Adesso tagliamo i 2 m iniziali da cui (lasciando tutto invariato) leggiamo la potenza entrante:

$$P_{in} = 1.63 \text{ mW}$$

Abbiamo utilizzato uno scramble per eliminare i modi spuri dalla fibra ad una distanza di 41 cm.

Lunghezza finale fibra = 205.3 cm

Abbiamo tolto circa 210 cm

Ci dimentichiamo sempre di infilare il cosino nero!

verde

$$P_{out} = 156 \text{ } \mu\text{W}$$

Adesso tagliamo i 2 m iniziali da cui (lasciando tutto invariato) leggiamo la potenza entrante:

$$P_{in} = 1.47 \text{ mW}$$

4.1.2 Attenuazione 2

Misuriamo la potenza uscente dai 2 m di fibra tagliati la volta scorsa $P = 3.41 \text{ mW}$ e poi stringiamo lo scramble per vedere quando si rompe la fibra. Si è rotta intorno a qualche centinaio di μW e la potenza è scesa a qualche nW (si è sentito il rumore di quando si rompe).

Abbiamo inserito la fibra nel lanciatore e ottenuto una potenza uscente dai $\sim 300 \text{ m}$ di fibra di 1.66 mW per l'He-Ne e di $830 \text{ } \mu\text{W}$ per il laser verde prima dello scramble (posto a circa 30 cm dal lanciatore). Stringiamo adesso lo scramble per eliminare i modi spuri e misuriamo la potenza uscente, poi tagliamo la fibra e misuriamo la potenza entrante e da questi valori otteniamo l'attenuazione della fibra definita da:

$$\Gamma = \frac{10}{L} \log \left| \frac{P_{in}}{P_{out}} \right| \quad (4.1)$$

	$P_{out} [\mu\text{W}]$	$P_{in} [\text{mW}]$	$\Gamma[\text{dB}]$
He-Ne	832	2.44	
532 nm	320(2)	2.80(3)	

La cosa importante è che fra le due misure non varino le condizioni sperimentali!!!

4.1.3 Propagazione di un modo LP_{01}

Abbiamo spellato chimicamente due metri di fibra a singolo modo F-SV (4,3/125/245) e le iniettiamo il laser HeNe. Poi attraverso il power meter con attaccato uno schermo con una fessura prendiamo le misure della potenza in funzione dell'angolo per verificare che si sia propagato il modo TEM_{00} (fit ad una gaussiana).

Affinché si propaghi solo il modo LP_{01} si deve avere

$$V = \frac{2\pi}{\lambda_0} \cdot N.A. \cdot a \leq 2.405 \quad (4.2)$$

Abbiamo una potenza massima di $550 \text{ } \mu\text{W}$ senza fenditura.

Luce ambientale 2 nW

I dati sono salvati in μW .

errori per la gaussiana: ultimo digit di errore di digitalizzazione e almeno 50 nW di sballonzoli

4.1.4 Propagazione modi superiori

Adesso vogliamo osservare la propagazione dei modi superiori e per farlo utilizziamo una fibra a singolo modo con $\lambda_0 = 1300 \text{ nm}$ così che si abbia x

$$V = \frac{2\pi}{\lambda_0} \cdot N.A. \cdot a \geq 2.405 \quad (4.3)$$

e quindi variando l'allineamento si propagano i diversi modi a seconda dell'angolo di ingresso nella fibra.

Abbiamo spellato la fibra F-SMF-28 (9,3/125/245) chimicamente e una volta tagliata abbiamo allineato un capo al laser e l'altro ad un obiettivo x20 in modo da poter proiettare l'immagine dei modi su uno schermo e fotografarli.

Dato che la frequenza normalizzata per il laser verde a 532 nm ha un valore molto alto e quindi un elevato numero di modi indipendenti abbiamo provato ad usare anche l'HeNe.

4.1.5 Fibra a conservazione di polarizzazione

Abbiamo spellato chimicamente alle estremità e al centro una fibra F-SPV SM (3,2/125/245) al fine di misurarne in battimenti. Questo tipo di fibra ha un core stressato meccanicamente che presenta una forma ellittica e a ciascun asse è associato un diverso indice di rifrazione.

Inseriamo la fibra nel lanciatore e osserviamo l'ellisse sullo schermo bianco all'uscita, in questo modo, attraverso un goniometro fissato sul portafibra fissiamo le posizioni degli assi (90°-30°) e quindi scambiamo le estremità e facciamo in modo che la fibra sia a 45° così da vedere zone scure e chiare al centro della fibra.

4.1.6 Lente di GRIN

Con una lente di GRIN misuriamo l'accoppiamento della fibra multimodo con un laser a diodo e un LED entrambi a 830 nm. Per farlo misuriamo la potenza in uscita dal diodo laser e dal LED P_{in} e quella in uscita dalla fibra P_{out} , una volta allineato il fascio al suo interno con l'utilizzo della lente di GRIN.

Il coefficiente di accoppiamento è quindi definito da:

$$\Gamma = 10 \log \left| \frac{P_{in}}{P_{out}} \right| \quad (4.4)$$

	I_{in} [mA]	P_{in} [mW]	P_{out} [mW]	Γ [dB]
Laser	78.0(1)	2.10(1)	6.12(10)	4.65
Laser	78.3(2)	2.67(1)		
Laser	78.4(2)	3.41(1)		
Laser	78.3(2)	3.52(1)		
Laser	78.0(2)	3.48(1)		
Laser	78.0(1)	3.50(1)	6.19(6)	
LED	81.0(2)	3.90(1) [μ W]	8.21(10)	
LED	81.1(2)	3.96(1) [μ W]	8.21(10)	
LED	81.1(2)	4.45(1) [μ W]	8.21(10)	
LED	81.1(2)	4.78(1) [μ W]	8.21(10)	
LED	81.1(2)	4.91(2) [μ W]	8.21(10)	

accorgimento: notiamo che l'alimentatore di laser e led ha delle fluttuazioni 1/f non trascurabili. Quindi prestiamo attenzione, regolando la manopola, ad alimentare sempre con la stessa corrente.

4.1.7 suono

sentiamo i 98 Hz della luce ambientale (2*50 Hz perchè abbiamo lampade al neon) misurati con l'accordatore del telefono

Capitolo 5

Analizzatore di spettro: 27-28 Novembre 2017

5.1 Venerdì

generatore di funzioni:

frequenza = 4.50 Hz

ampiezza 4 V picco picco

impostiamo ampiezza e offset del piezoelettrico circa a metà del fondoscala nella speranza di essere nella zona lineare del piezoelettrico del Fabri-Perot

5.1.1 presa dati

impostiamo l'ampiezza del piezoelettrico in modo da avere 3 ordini di interferenza del Fabri-Perot. In principio stiamo nel fronte di salita dell'onda triangolare del generatore di funzioni

le misure seguono il seguente algoritmo:

stepA) prendiamo la misura dei tre ordini per misurare la FSM

stepB) zoommiamo il fondoscala dell'oscilloscopio (senza modificare nient'altro) per ingrandire il picco centrale dell'ordine centrale e misurare la finezza

iteriamo gli step A e B 5 volte impostiamo il livello del trigger sulla rampa in modo da non dover spostare l'asse del tempo passando da step A a step B

poi ci spostiamo sulla discesa della rampa e riappliciamo l'algoritmo

in caso di necessità prima dello step A aggiustiamo il setting toccando SOLO la manopola dell'offset del piezoelettrico e in caso l'allineamento degli specchi

Ho cambiato l'allineamento del laser dopo ogni misura per cercare di rendere più simmetrica la curva

Capitolo 6

Visibile: 4-5 Dicembre 2017

6.1 Accensione pompa

Accendere il pulsante power del generatore e successivamente il contatto fra esso e il laser in modo da evitare gli spike all'accensione. Poi ruotare il controllo in corrente fino a 2 A (massimo). Per spegnere fare il procedimento opposto.

6.2 Taratura attenuatore

Per prima cosa tariamo l'attenuatore in modo tale da avere la conversione fra angolo e potenza. L'attenuatore è montato su un goniometro così da permetterci di registrare attraverso il power meter l'uscita del laser di pompaggio variando l'angolo.

Dato che il laser è nell'infrarosso ($\lambda=975.9(2.9)$ nm) utilizziamo una cartina che rivela l'IR per allineare il laser nel power meter che abbiamo posto a ~ 1 cm dall'attenuatore.

I dati sono salvati in mW.

6.3 V_{emessa} vs P_{pompa}

Per misurare l'emissione del cristallo utilizziamo un oscilloscopio su cui leggiamo l'ampiezza picco-picco di un'onda quadra ottenuta attraverso un chopper impostato ad una frequenza di ~ 75 Hz.

La scala dell'oscilloscopio è impostata a 0.5 V/div.

Osservazioni:

1. L'effetto della luce ambientale sul rivelatore non è trascurabile: si vedono i battimenti con la 50 Hz
2. Invece l'effetto della luce della pila è irrilevante in quanto produce solamente un offset costante al segnale
3. Mentre il massimo è costante notiamo che il minimo (del segnale che arriva dal chopper) si sposta. Si tratta di brutti effetti $1/f$ non trascurabili: variazioni del 10%

Abbiamo cambiato l'alimentatore del laser per risolvere il punto 3. Non ha funzionato.

Durante le misure il chopper è sceso a ~ 72 Hz.

facciamo le misure di spettro con un'integrazione dello spettrometro di 500 ms.

Capitolo 7

Duplicatore di frequenza: 14-15 Dicembre 2017

7.1 Verifiche iniziali

Per prima verifichiamo che tutto sia alla stessa altezza ed allineiamo il laser con il cristallo. A questo punto inseriamo la lente che focalizza il fascio sul cristallo e ruotiamo il cristallo (angolo sul piano del banco ottico) per ottenere la luce blu che poi attraverso una lente focalizziamo sul rivelatore collegato ad un oscilloscopio su cui leggiamo l'ampiezza picco picco di un'onda quadra ottenuta con un chopper impostato a 87 Hz.

Ci aspettiamo un segnale picco picco di 600 mV (Tonelli).

Grazie a nonno Mauro abbiamo ottenuto un segnale decente, noi facciamo schifo.

Poi verifichiamo che la polarizzazione del laser (che arriva sul banco ottico con una fibra 0.22 che quindi è da considerare multimodo) sia uniforme inserendo fra laser e power meter un polarizzatore e verificando che la potenza non cambi.

Abbiamo una potenza in uscita dalla fibra di 1.197 W, mentre dopo aver inserito il polarizzatore 1 fra la fibra e il power meter abbiamo 154.5 mW e ruotando il polarizzatore cambia quindi nonno Mauro dice le bugie. Il massimo è 284.5 mW a 29°; mentre il minimo è 141.5 a 119°

Dobbiamo stare attenti a non bruciare i polarizzatori, il numero 1 (con la freccia in direzione del fascio) va prima del cristallo, il numero due va dopo.

7.2 Taratura

Per prima cosa tariamo l'attenuatore in modo tale da avere la conversione fra angolo e potenza. L'attenuatore è montato su un goniometro a 400 tacche così da permetterci di registrare attraverso il power meter l'uscita del laser di pompaggio variando l'angolo.

Dato che il laser è nell'infrarosso ($\lambda=808$ nm) utilizziamo una cartina che rivela l'IR per allineare il laser nel power meter che abbiamo posto a ~ 1 cm dall'attenuatore.

I dati sono salvati in mW.

Sul valore sul power meter fluttuava l'ultima cifra e ho sempre preso il valore più alto; abbiamo perso una cifra significativa per i valori fra 1000 e 100 mW.