

**37-esima Olimpiade Internazionale di Fisica
Singapore
Prova sperimentale
Mercoledì 12 Luglio 2006**

Per favore leggi prima queste note:

1. La prova dura 5 ore.
2. C'è un'unica prova sperimentale che consiste di 4 parti, per un totale di 20 punti.
3. Utilizza solamente la postazione fornita.
4. Scrivi le tue soluzioni sui **Fogli Risposte**. *Per l'attribuzione del punteggio si farà riferimento a questi.*
 - Usa solo la facciata anteriore dei fogli. Inizia ogni nuova parte su un foglio nuovo.
 - Su ciascun foglio, scrivi:
 - 1) **Part No** ... per il numero della parte che stai trattando
 - 2) **Page No** ...: il numero progressivo di ciascuna pagina relativa a quella parte.
 - 3) **Total No of Pages** ... : il numero totale di pagine usate per quella parte.
 - 4) Il tuo Codice della Nazione (**Country Code**) e il tuo Codice Studente (**Student Code**).
 - Scrivi in maniera concisa. Riduci al minimo le parti di testo. Usa il più possibile equazioni, numeri, simboli, figure e grafici.
 - Traccia una croce sulle pagine che vuoi che non vengano valutate. Non includere nella numerazione queste pagine.
5. Per ciascuna parte, usa il **Foglio Risposte** per inserire la tua risposta finale nel box appropriato. Usa il corretto numero di cifre significative. Ricordati di inserire le unità.
6. Quando hai finito, disponi, *per ciascuna parte*, i fogli in quest'ordine:
 - il **Foglio risposte**
 - i fogli scritti che vuoi che vengano valutati.
 - i grafici che vuoi che vengano valutati
 - i fogli scritti e i grafici che vuoi che non vengano valutati.Alla fine disponi tutti i fogli inutilizzati, i fogli per i grafici inutilizzati e il foglio con il testo.
7. Fissa *tutti i fogli* insieme con un fermaglio e lasciali sul tuo tavolo.
8. Non puoi portare nessun foglio o nessuno dei materiali che hai usato per l'esperimento fuori dall'aula della prova.

Country Code	Student Code

Prima Parte:

1. Tabula i tuoi dati.

**For
Examiners
Use
Only**

2. La lunghezza d'onda $\lambda =$

Country Code	Student Code

Seconda parte:

Prima richiesta

Condizione per l'interferenza costruttiva

Condizione per l'interferenza distruttiva

Seconda richiesta

(a) Disegna l'apparato sperimentale nello spazio sottostante.

**For
Examiners
Use
Only**

Country Code	Student Code

Seconda parte:

Seconda richiesta (Continua dalla pagina precedente)

(b) Spazio per la tabulazione dei dati.

**For
Examiners
Use
Only**

Country Code	Student Code

Seconda parte:

Seconda richiesta (Continua dalla pagina precedente)

(c) Disegna il grafico (sulla carta per grafici fornita separatamente).

(d) Angolo di incidenza, θ_{\max} , corrispondente all'interferenza costruttiva

Angolo di incidenza, θ_{\min} , corrispondente alla interferenza distruttiva

Terza richiesta

Ordine di interferenza, $m =$

Indice di rifrazione n del materiale della lamina sottile =

Quarta richiesta

$\Delta n =$

For
Examiners
Use
Only

Country Code	Student Code

Terza parte:

Prima richiesta

Disegna il tuo apparato sperimentale nello spazio sottostante.

**For
Examiners
Use
Only**

Country Code	Student Code

Terza parte:

Seconda richiesta

Tabula i tuoi dati. Esegui due volte le tue misure.

**For
Examiners
Use
Only**

Country Code	Student Code

Terza parte:

Seconda richiesta (Continua dalla pagina precedente)

**For
Examiners
Use
Only**

Terza parte:

Country Code	Student Code

Terza richiesta

a) Disegna appropriati grafici nella carta per grafici fornita.

b) Indice di rifrazione $n_1 =$

L'incertezza $\Delta n_1 =$

**For
Examiners
Use
Only**

Quarta parte:

Country Code	Student Code

Prima richiesta

Schema, visto dall'alto, del reticolo quadrato *semplice*:



Calcoli per ricavare la Legge di Bragg:

**For
Examiners
Use
Only**

Country Code	Student Code

Quarta parte:

Seconda richiesta

(a) Disegna l'apparato sperimentale

**For
Examiners
Use
Only**

Country Code	Student Code

Quarta parte:

Seconda richiesta (Continua dalla pagina precedente)

(b) Tabula i tuoi dati sperimentali:

θ ()	ζ ()	

**For
Examiners
Use
Only**

Quarta parte:

Country Code	Student Code

Seconda richiesta (Continua dalla pagina precedente)

(c) Disegna l'intensità in funzione di θ sulla carta per grafici fornita.

(d) Costante reticolare, $a =$

Incertezza sperimentale, $\Delta a =$

**For
Examiners
Use
Only**



**37-esima Olimpiade
Internazionale di Fisica**

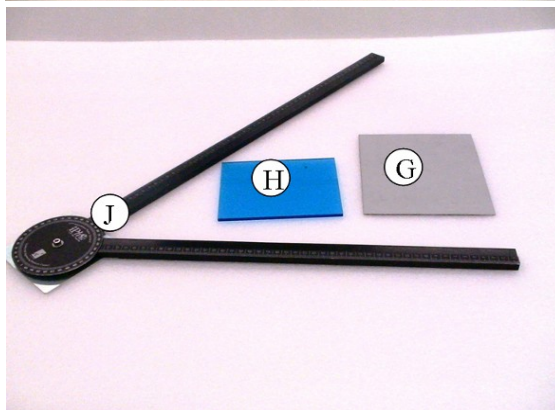
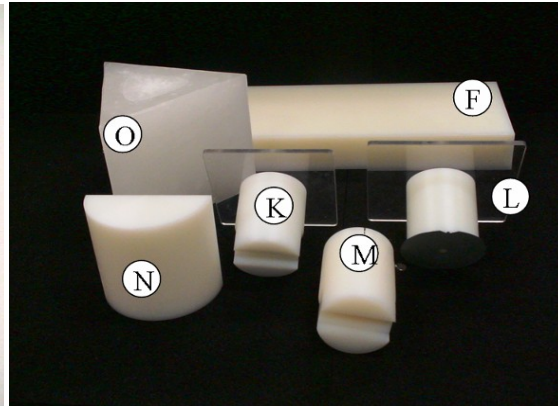
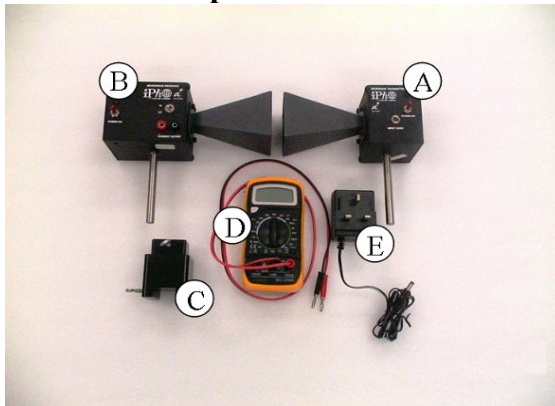
Singapore

8 - 17 Luglio 2006

Prova Sperimentale

Mercoledì 12 Luglio 2006

Elenco dei componenti



Etichetta	Componente	Quantità	Etichetta	Componente	Quantità
	Sorgente di microonde	1		Reticolo in una scatola nera	1
	Ricevitore di microonde	1		Goniometro	1
	Sostegno per Sorgente/ricevitore	2		Sostegno per prisma	1
	Multimetro digitale	1		Piano ruotante	1
	Alimentatore di tensione per la sorgente	1		Sostegno per lente/riflettore	1
	Lastra usata come "Lamina sottile"	1		Lente piano convessa	1
	Riflettore (lastra di metallo argentata)	1		Prisma di cera	2
	Divisore di fascio (Perspex blu)	1		Blu-Tack (plastilina)	1 conf.
	Calibro Vernier (fornito a parte)			Righello da 30 cm ruler (fornito a parte)	

Precauzioni:

- **La Potenza di uscita della sorgente di microonde è ampiamente entro i limiti di sicurezza. Tuttavia, evita di guardare direttamente, a distanza ravvicinata, nell'imbuto della sorgente quando questa è accesa.**
- **Non aprire la scatola contenente il reticolo .**
- **I prismi di cera (usati nella Parte 3) sono fragili.**

Avvertenze:

- **È importante notare che il segnale di uscita del ricevitore di microonde (CORRENTE ELETTRICA) è proporzionale all'AMPIEZZA delle microonde.**
- **Usa sempre il ricevitore impostato su "LO gain" (basso guadagno).**
- **Non cambiare la scala del multimetro durante la raccolta dei dati.**
- **Colloca lontano i componenti dell'esperimento che non stai usando, per minimizzare le interferenze.**
- **In tutti i tuoi disegni usa sempre le etichette dei componenti (, , ,...) per individuare i componenti stessi.**



Il multimetro digitale dovrebbe essere usato con i due cavi connessi come mostrato in questa foto. In questo esperimento devi impostare la manopola nella posizione della corrente corrispondente a “2m”.

Prima Parte: Interferometro di Michelson

1.1. Introduzione

In un interferometro di Michelson, un divisore di fascio manda un'onda elettromagnetica (EM) incidente lungo due percorsi diversi, e poi le ricongiunge dopo una riflessione, cosicché esse si sovrappongono, formando una figura d'interferenza. La figura 1.1 illustra lo schema di un interferometro di Michelson. Un'onda incidente va dalla sorgente al ricevitore lungo due differenti percorsi. Queste due onde si sovrappongono e interferiscono nel ricevitore. L'intensità del segnale nel ricevitore dipende dalla differenza di fase tra le due onde, che può essere variata cambiando la differenza di cammino ottico.

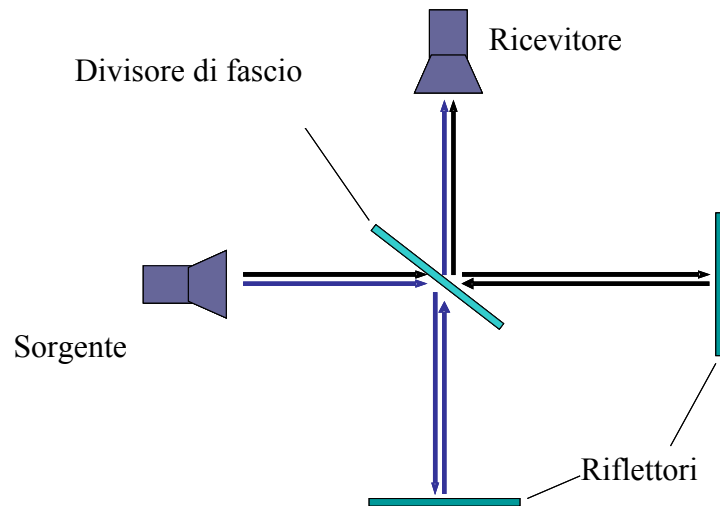


Figura 1.1: Disegno schematico di un interferometro di Michelson.

1.2. Elenco dei componenti

- 1) Sorgente di microonde con sostegno
- 2) Ricevitore di microonde con sostegno
- 3) Goniometro
- 4) 2 riflettori: riflettore con sostegno e lamina sottile utilizzata come riflettore
- 5) Divisore di fascio con piano ruotante impiegato come sostegno
- 6) Multimetro digitale

1.3. Obiettivo: Determinazione della lunghezza d'onda della microonda [2 punti]

Usando soltanto i componenti sperimentali elencati nella sezione 1.2, assembla un esperimento con un interferometro di Michelson per determinare la lunghezza d'onda in aria λ della microonda. Riporta i tuoi dati e determina λ con una precisione tale per cui la sua incertezza risulti ≤ 0.02 cm.

Nota che la “lamina sottile” è parzialmente trasmissiva, dunque stai attento a non posizionarti o muoverti dietro di essa poiché questo potrebbe influenzare i tuoi risultati.

Seconda Parte: Interferenza con la “Lamina Sottile”

2.1. Introduzione

Un fascio di onde EM incidente su una lamina sottile di un materiale dielettrico si suddivide in due fasci, come mostrato nella figura 2.1. Il fascio A è riflesso dalla superficie superiore della lamina sottile, mentre il fascio B è riflesso dalla superficie inferiore della lamina. La sovrapposizione dei fasci A e B genera la cosiddetta “interferenza da lamina sottile”.

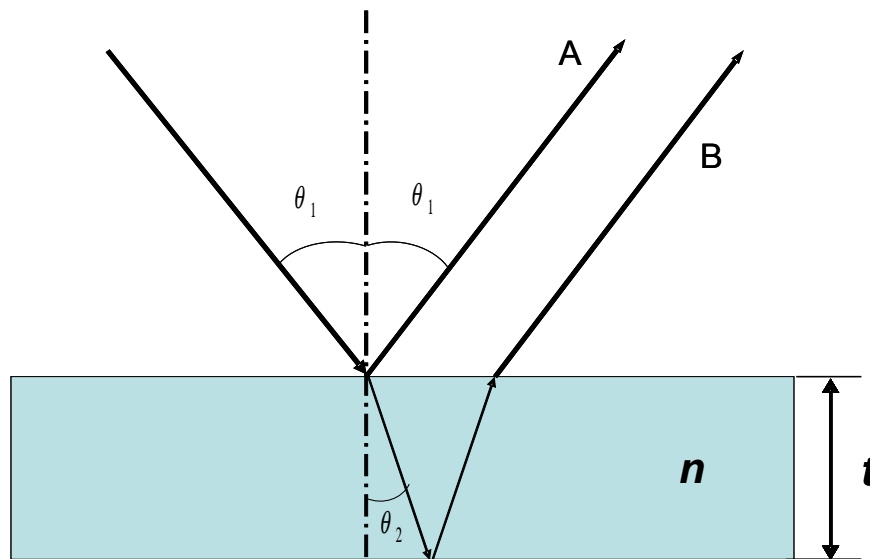


Figura 2.1: Disegno schematico dell'interferenza con la lamina sottile.

La differenza nella lunghezza dei cammini ottici dei fasci A e B porta ad un'interferenza che può essere costruttiva o distruttiva. L'intensità I dell'onda risultante dipende dalla differenza di cammino ottico dei due fasci che interferiscono. Questa differenza di

cammino ottico, a sua volta, dipende dall'angolo d'incidenza, θ_1 , del fascio incidente, dalla lunghezza d'onda λ della radiazione, dallo spessore t e dall'indice di rifrazione n della lamina sottile. Dunque l'indice di rifrazione n della lamina sottile può essere determinato da un grafico $I-\theta_1$, usando i valori di t e λ .

2.2. Elenco dei componenti

- 1) Sorgente di microonde con sostegno
- 2) Ricevitore di microonde con sostegno
- 3) Lente piano-convessa con sostegno
- 4) Goniometro
- 5) Piano ruotante
- 6) Multimetro digitale
- 7) Lastra di polimero impiegata come "lamina sottile"
- 8) Calibro Vernier

2.3. Obiettivo: Determinazione dell'indice di rifrazione della lastra di polimero

[6 punti]

- 1) Ricava le espressioni di interferenza rispettivamente costruttiva e distruttiva in funzione di θ_1 , t , λ e n .

[1 punto]
- 2) Usando soltanto i componenti sperimentali elencati nella Sezione 2.2, allestisci un esperimento per misurare il segnale di corrente in uscita dal ricevitore S in funzione dell'angolo di incidenza θ_1 nell'intervallo da 40° a 75° . Fai un disegno schematico dell'apparato sperimentale che hai usato, mostrando chiaramente gli angoli di incidenza e di riflessione e la posizione della lamina sul piano ruotante. Contrassegna tutti i componenti con le etichette date a pagina 2. Tabula i tuoi dati. Riporta su un grafico il segnale di uscita del ricevitore S in funzione dell'angolo di incidenza θ_1 . Determina accuratamente gli angoli corrispondenti all'interferenza costruttiva e all'interferenza distruttiva.

[3 punti]
- 3) Assumendo che l'indice di rifrazione dell'aria sia 1.00, determina l'ordine di interferenza m e l'indice di rifrazione n della lastra di polimero. Riporta i valori di m e n sul foglio risposte.

[1.5 punti]

- 4) Fai l'analisi degli errori dei tuoi risultati e stima l'incertezza di n . Scrivi il valore dell'incertezza Δn sul foglio risposte.

[0.5 punti]

Avvertenze:

- *La lente dovrebbe essere posta davanti alla sorgente di microonde con la superficie piana rivolta verso la sorgente per ottenere un fascio di microonde quasi parallele. La distanza tra la superficie piana della lente e l'apertura dell'imbuto della sorgente dovrebbe essere 3 cm.*
- *Per ottenere migliori risultati, massimizza la distanza tra sorgente e ricevitore .*
- *Il fatto che la microonda emessa dalla sorgente non sia perfettamente piana può produrre qualche picco extra nel grafico osservato. Nell'intervallo tra 40° e 75° un solo massimo e un solo minimo sono dovuti all'interferenza.*

Terza Parte: Riflessione totale smorzata

3.1. Introduzione

Il fenomeno della riflessione totale (Total Internal Reflection, TIR) può verificarsi quando l'onda piana va da un mezzo otticamente denso ad uno meno denso. Tuttavia, alla superficie di separazione invece della TIR, prevista nell'approssimazione dell'ottica geometrica, in realtà succede che l'onda incidente penetra nel secondo mezzo e viaggia per una certa distanza parallelamente alla superficie di separazione prima di ritornare dentro al mezzo più denso (v. Figura 3.1). Questo effetto può essere descritto da uno spostamento D del raggio riflesso, noto come lo spostamento di Goos-Hänchen.

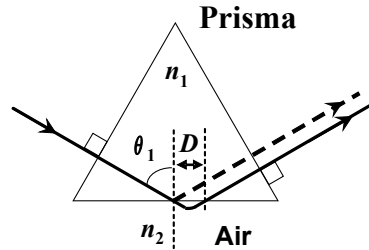


Figura 3.1: Rappresentazione schematica di un'onda EM che subisce la riflessione totale in un prisma. Lo spostamento D parallelo alla superficie in aria rappresenta lo spostamento di Goos-Hänchen

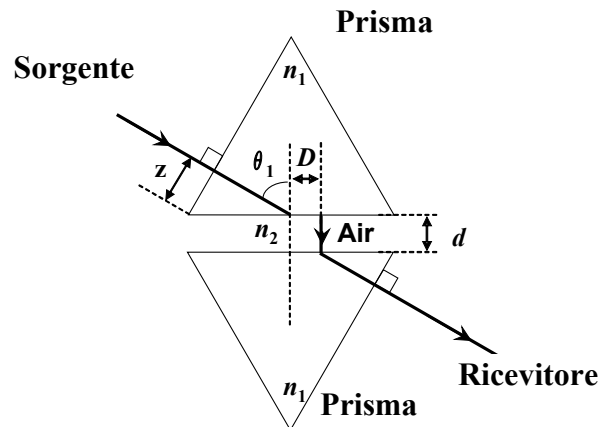


Figura 1.2: Schema dell'apparato sperimentale che mostra i prismi e l'intercapedine d'aria di larghezza d . Lo spostamento D parallelo alla superficie in aria rappresenta lo spostamento di Goos-Hänchen. z è la distanza tra lo spigolo del prisma e l'asse centrale della sorgente

Se un altro mezzo di indice di rifrazione n_1 (cioè fatto dello stesso materiale del primo mezzo) è collocato ad una piccola distanza d dal primo mezzo, come mostrato nella figura 3.2, si verifica l'effetto tunnel dell'onda EM nel secondo mezzo. Questo curioso fenomeno è noto come *riflessione totale smorzata* (*Frustrated Total Internal Reflection* FTIR). L'intensità dell'onda trasmessa, I_t , decresce esponenzialmente con la distanza d :

$$I_t = I_0 \exp(-2\gamma d) \quad (3.1)$$

dove I_0 è l'intensità dell'onda incidente e γ è:

$$\gamma = \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{\frac{n_1^2}{n_2^2} \sin^2 \theta_1 - 1} \quad (3.2)$$

dove λ è la lunghezza d'onda dell'onda EM nel mezzo 2 e n_2 è l'indice di rifrazione del mezzo (assumi che l'indice di rifrazione del mezzo 2, aria, sia pari a 1.0).

3.2. Elenco dei componenti

- 1) Sorgente di microonde con sostegno
- 2) Ricevitore di microonde con sostegno
- 3) Lente piano-convessa con sostegno
- 4) 2 prismi equilateri di cera con sostegno e piano rotante utilizzato come sostegno
- 5) Multimetro digitale
- 6) Goniometro
- 7) Righello

3.3. Descrizione dell'esperimento

Usando soltanto i componenti sperimentali elencati nella Sezione 3.2, allestisci un esperimento per studiare la variazione dell'intensità I_t in funzione dello spessore d dell'intercapedine d'aria nella FTIR. Per risultati sensati, fai attenzione a questi elementi:

- Usa uno dei bracci del goniometro per l'allineamento.
- Controlla accuratamente le superfici dei prismi in modo che esse siano parallele.
- La distanza misurata dalla superficie del prisma al centro della superficie curva della lente dovrebbe essere 2 cm
- Colloca il rivelatore in modo tale che il suo imbuto sia a contatto con la faccia del prisma.
- Per ciascun valore di d , regola la posizione del ricevitore lungo la superficie del prisma in modo da ottenere il massimo segnale.
- Imposta il multimetro digitale sulla scala 2mA. Raccogli dati partendo da $d=0.6$ cm. Smetti di raccogliere le misure quando la lettura è inferiore a 0.20 mA.

3.4. Obiettivo: Determinazione dell'indice di rifrazione del materiale del prisma

[6 punti]

Prima richiesta

Traccia uno schema del tuo apparato sperimentale finale e contrassegna tutti i componenti usando le etichette date a pag. 2. Nel tuo schema, scrivi la distanza z (v. Figura 3.2), dove z è la distanza tra lo spigolo del prisma e l'asse centrale della sorgente.

[1 punto]

Seconda richiesta

Tabula i tuoi dati. Effettua l'esperimento due volte.

[2.1 punti]

Terza richiesta

- (a) Tracciando appropriati grafici, determina l'indice di rifrazione, n_1 , del prisma, facendo l'analisi degli errori.
- (b) Scrivi sul foglio risposte l'indice di rifrazione n_1 e la sua incertezza Δn_1 .

[2.9 punti]

Quarta Parte: Diffrazione di microonde da un reticolo di barre metalliche: riflessione di Bragg

4.1. Introduzione

Legge di Bragg

La struttura reticolare di un cristallo può essere esaminata usando la legge di Bragg,

$$2d \sin \theta = m\lambda \quad (4.1)$$

dove d indica la distanza tra i piani in un insieme di piani cristallini paralleli che “riflettono” i raggi X; m è l'ordine di diffrazione e θ è l'angolo tra il fascio di raggi X incidente e i piani cristallini. La legge di Bragg è anche nota comunemente come legge della riflessione di Bragg o diffrazione di X.

Reticolo di barre metalliche

Poiché la lunghezza d'onda dei raggi X è confrontabile con la costante reticolare del cristallo, la tradizionale diffrazione di Bragg viene effettuata usando raggi X. Per le

microonde, però, la diffrazione si verifica in strutture reticolari con una costante reticolare molto più grande, che può essere misurata facilmente con un righello.

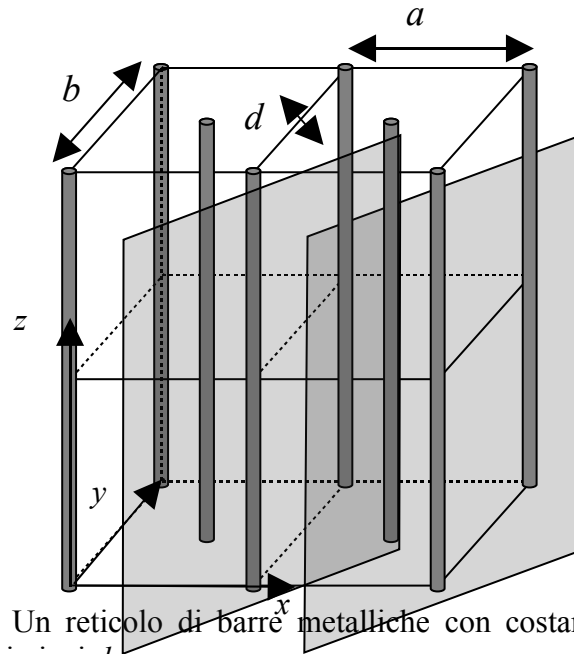


Figura 4.1: Un reticolo di barre metalliche con costanti reticolari a e b , e distanza tra i piani d .

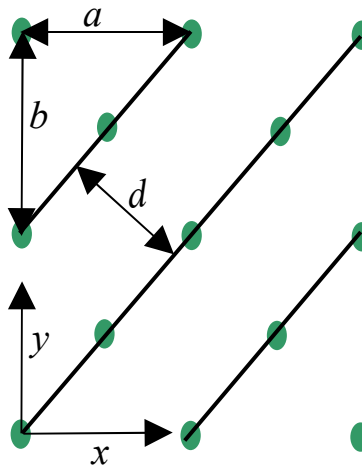


Figura 4.2: Vista dall'alto (non in scala) del reticolo di barre metalliche mostrato nella Figura 4.1. Le linee indicano i piani diagonali del reticolo.

In questo esperimento, la legge di Bragg viene usata per misurare la costante di reticolo di un reticolo fatto con barre metalliche. Un esempio di tale reticolo di barre metalliche è mostrato nella Fig. 4.1, dove le barre metalliche sono mostrate come linee verticali spesse. I piani reticolari lungo la direzione diagonale del piano xy sono mostrati come

piani ombreggiati. La Fig. 4.2 mostra una vista dall'alto (guardando in giù lungo l'asse z) del reticolo di barre metalliche, dove i punti rappresentano le barre e le linee indicano i piani reticolari diagonali.

4.2. Elenco dei componenti

- 1) Sorgente di microonde con sostegno
- 2) Ricevitore di microonde con sostegno
- 3) Lente piano-convessa con sostegno
- 4) Scatola chiusa contenente un reticolo di barre metalliche
- 5) Piano ruotante
- 6) Multimetro digitale
- 7) Goniometro

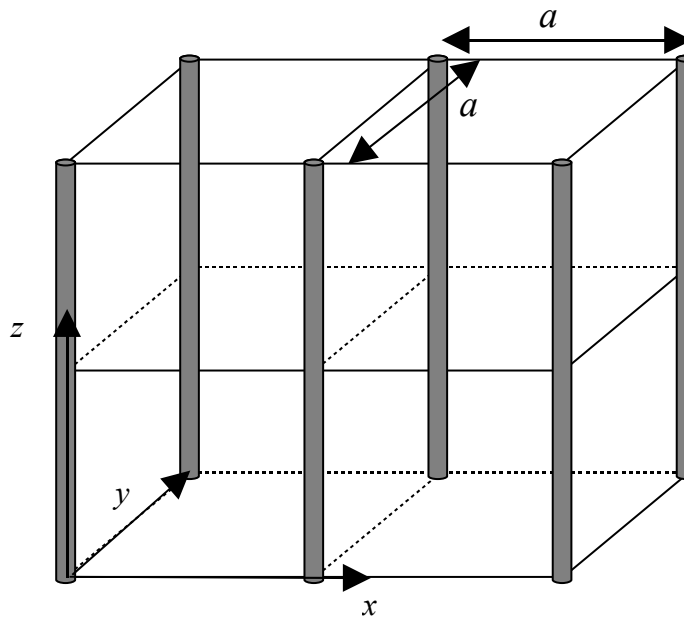


Figura 4.3: Un semplice reticolo quadrato.

In questo esperimento ti viene dato un reticolo di barre metalliche semplice, quadrato, come illustrato nella Fig. 4.3. Il reticolo contenuto in una scatola sigillata. Ti viene chiesto di ricavare la costante reticolare a dall'esperimento. **NON APRIRE** la scatola. Nessun punto verrà assegnato ai risultati sperimentali se il sigillo della scatola verrà trovato rotto dopo l'esperimento.

4.3. Obiettivo: Determinazione della costante reticolare di un dato reticolo quadrato semplice [6 punti]

Prima richiesta

Disegna, in una vista dall'alto, il semplice reticolo quadrato mostrato nella Fig. 4.3. Nel disegno, indica la costante reticolare a del reticolo dato e la distanza interplanare d dei piani diagonali. Con l'aiuto di questo disegno, ricava la legge di Bragg.

[1 punto]

Seconda richiesta

Usando la legge di Bragg e l'apparato fornito, progetta un esperimento per effettuare l'esperimento della diffrazione di Bragg per determinare la costante reticolare a del reticolo.

- (a) Fai uno schema dell'apparato sperimentale. Contrassegna tutti i componenti usando le etichette di pag. 2 e indica chiaramente l'angolo tra l'asse della sorgente e i piani reticolari, θ , e l'angolo tra l'asse della sorgente e l'asse del ricevitore, ζ . Nel tuo esperimento effettua la diffrazione con i piani diagonali, la direzione dei quali è indicata dalla linea rossa sulla scatola.

[1.5 punti]

- (b) Effettua l'esperimento per $20^\circ \leq \theta \leq 50^\circ$. In questo intervallo osserverai solamente il primo ordine di diffrazione. Nel foglio risposte tabula i tuoi risultati e registra sia θ sia ζ .

[1.4 punti]

- (c) Riporta in un grafico una grandezza proporzionale all'intensità dell'onda diffratta in funzione di θ .

[1.3 punti]

- (d) Determina la costante reticolare a usando il grafico e fornisci una stima dell'incertezza sperimentale.

[0.8 punti]

Avvertenze:

1. *Per ottenere migliori risultati, la sorgente dovrebbe rimanere fissa durante l'esperimento. Inoltre dovresti fare in modo che la distanza tra la sorgente e il reticolo, così come quella tra il reticolo e il ricevitore, sia di circa 50 cm.*
2. *In questo esperimento usa solo i piani diagonali. Se cerchi di usare altri piani i tuoi risultati non saranno corretti.*
3. *La faccia della scatola del reticolo con la linea rossa diagonale dovrebbe essere in alto.*
4. *Per determinare la posizione del picco di diffrazione con una migliore accuratezza, prendi un certo numero di punti intorno al picco.*