



37th Internationale Physik Olympiade

Singapur

8 - 17 Juli 2006

Experimenteller Teil

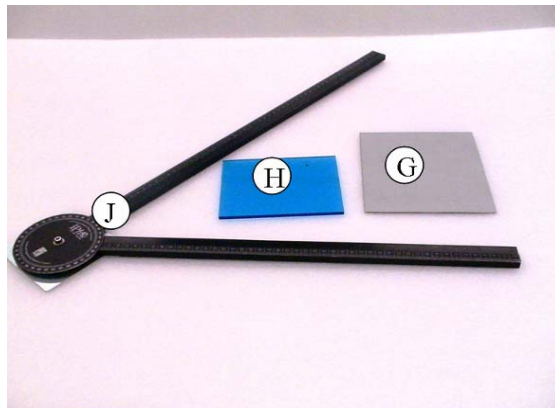
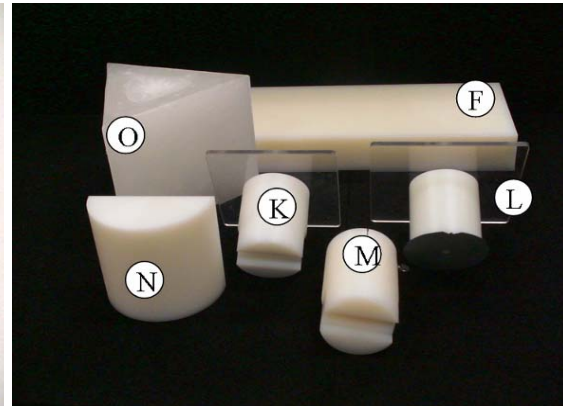
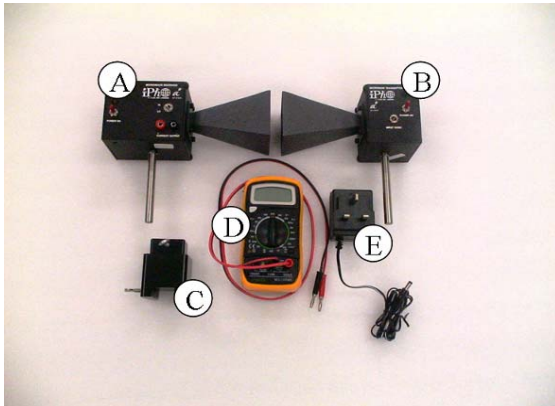
Mittwoch, 12 Juli 2006

The 37th International Physics Olympiad
Singapore
Experimental Competition
Wednesday, 12 July, 2006

Please read this first:

1. The time given is 5 hours.
2. There is one experimental problem consisting of 4 parts, with a total of 20 points.
3. Use only the stationery provided.
4. Write your solutions in the **Writing sheets**. These *will be considered for marks*.
 - Use only the front side of the paper. Start each question on a fresh sheet of paper.
 - For each sheet of paper, write:
 - 1) the **Question No.** for the question attempted
 - 2) the **Page No.** - the progressive number of each sheet for that question
 - 3) the **Total No. of Pages** used for that question
 - 4) your **Country Code** and your **Student Code**
 - Write concisely – Limit the use of text to minimum. Use equations, numbers, symbols, figures and graphs as far as possible.
 - Cross out pages that you do not wish to be marked. Do not include them in your numbering.
5. For each question, use the **Answer Sheet** to fill in your *final answer* in the appropriate box. Give the appropriate number of significant figures. Remember to state the units.
6. When you have finished, arrange all sheets in this order *for each question*:
 - the **Answer Sheet**
 - writing sheets that you wish to be marked
 - graph papers that you wish to be marked
 - writing sheets and graph papers with writing that you do not wish to be markedPlace all unused sheets, graph papers and the question paper at the bottom.
7. Clip *all sheets* together and leave them on your desk.
8. You are not allowed to take *any* sheet of paper or *any* material used in the experiment out of the examination hall.

Liste der Geräte und Materialien



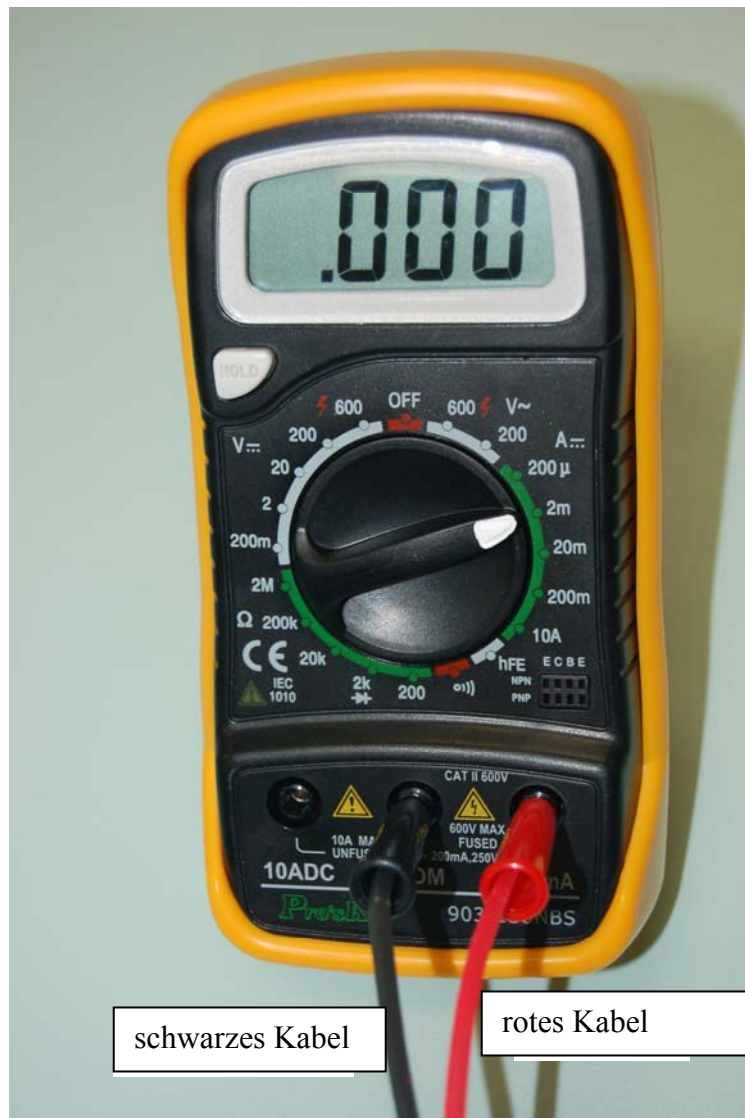
Symbol	Bauteil	Anzahl	Symbol	Bauteil	Anzahl
○,A	Mikrowellensender	1	○,I	Beugungsgitter in einer versiegelten „black box“	1
○,B	Mikrowellenempfänger	1	○,J	Winkelmesser	1
○,C	Sender/Empfänger Halterung	2	○,K	Prismenhalterung	1
○,D	Digitalmultimeter	1	○,L	Drehbare Unterlage	1
○,E	Gleichspannungsquelle für Mikrowellensender	1	○,M	Linsehalterung/ Spiegelhalterung	1
○,F	Block als Beispiel einer „dünnen Schicht“	1	○,N	Plan-zylindrische Linse	1
○,G	Spiegel (Silberblech)	1	○,O	Wachsprisma	2
○,H	Strahlteiler (blaues Acrylglas)	1		Blu-Tack (Klebmasse)	1 Packung
				30cm Lineal (gesondert bereitgestellt)	

Achtung:

- Die Ausgangsleistung des Mikrowellensenders ist innerhalb der üblichen Sicherheitsgrenzwerte. Trotzdem sollten Sie, falls der Sender angeschaltet ist, niemals aus kurzer Distanz in den Mikrowellentrichter blicken.
- Öffnen Sie bitte nicht die Kiste mit dem Beugungsgitter ○,I.
- Die im dritten Teil zu benutzenden Wachsprismen ○,O sind zerbrechlich. Bitte seien Sie vorsichtig.

Bemerkung:

- Von grundlegender Bedeutung ist, dass der AUSGANGSSTROM des Mikrowellenempfängers proportional zur AMPLITUDE der Mikrowelle ist.
- Verwenden Sie immer die 'LO gain' Einstellung des Mikrowellenempfängers.
- Wechseln Sie nicht die Skala des Multimeters während der Datenaufnahme.
- Um Interferenzen zu vermeiden, entfernen Sie alle nicht benutzten Bauteile aus der Nähe des Versuchs.
- Verwenden Sie in Ihren Skizzen immer die Symbole der Bauteile (○,A, ○,B, ○,C,...).



Das Digitalmultimeter wird mit zwei Kabeln, wie in der Abbildung gezeigt, angeschlossen. In dem Versuch verwenden Sie bitte die “2m” Ampere-Einstellung.

1. Teil : Michelson Interferometer

1.1. Einleitung

Ein Michelson Interferometer besteht aus einem Strahlteiler der eine einfallende elektromagnetische (EM) Welle entlang zweier verschiedener Wege laufen lässt, um dann die beiden einzelnen Wellen nach einer Spiegelung wieder so zusammenzuführen, dass durch Überlagerung ein Interferenzmuster entsteht. Abbildung 1.1 zeigt den Aufbau eines Michelson Interferometers. Die einfallende Welle läuft vom Sender zum Empfänger entlang zweier unterschiedlicher Wege. Diese beiden Teilwellen werden wieder überlagert und interferieren am Ort des Empfängers. Die Stärke des Signals am Empfänger ist abhängig vom Phasenunterschied der beiden Wellen, welcher durch die Differenz der optischen Weglängen bestimmt ist.

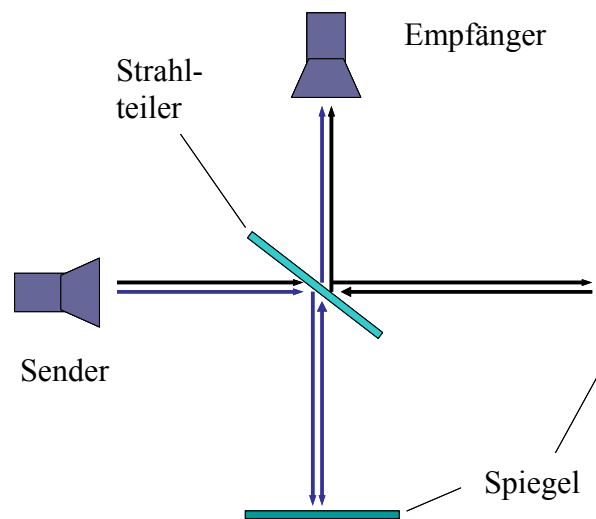


Abbildung 1.1 Schematische Darstellung eines Michelson Interferometers.

1.2. Liste der Bauteile

- 1) Mikrowellensender ○,A mit Halterung ○,C
- 2) Mikrowellenempfänger ○,B mit Halterung ○,C
- 3) Winkelmesser ○,J
- 4) Zwei Spiegel: Spiegel ○,G mit Halterung ○,C und dünne Schicht ○,F als Spiegel wirkend.

- 5) Strahlteiler \bigcirc ,H und drehbare Unterlage \bigcirc ,L als Halterung
- 6) Digitalmultimeter \bigcirc ,D

1.3. Aufgabe: Bestimmung der Wellenlänge der Mikrowelle [2 Punkte]

Unter ausschließlicher Verwendung der in Abschnitt 1.2. genannten Bauteile, bauen Sie bitte ein Michelson Interferometer zur Bestimmung der Wellenlänge λ der Mikrowelle in Luft auf. Tabellieren Sie Ihre Messergebnisse und bestimmen Sie λ . Der Messfehler der Wellenlänge, $\Delta\lambda$, sollte weniger als 0,02cm betragen.

2. Teil : „Dünnschicht“-Interferenz

2.1. Einleitung

Wenn ein elektromagnetischer Strahl auf eine dielektrische, dünne Schicht einfällt, teilt er sich in zwei Teilstrahlen, wie in Abbildung 2.1. dargestellt. Strahl A wird von der oberen Grenzfläche der Schicht reflektiert, während Strahl B von der unteren Grenzfläche reflektiert wird. Die Überlagerung beider Strahlen A und B führt zur sogenannten Dünnschicht-Interferenz.

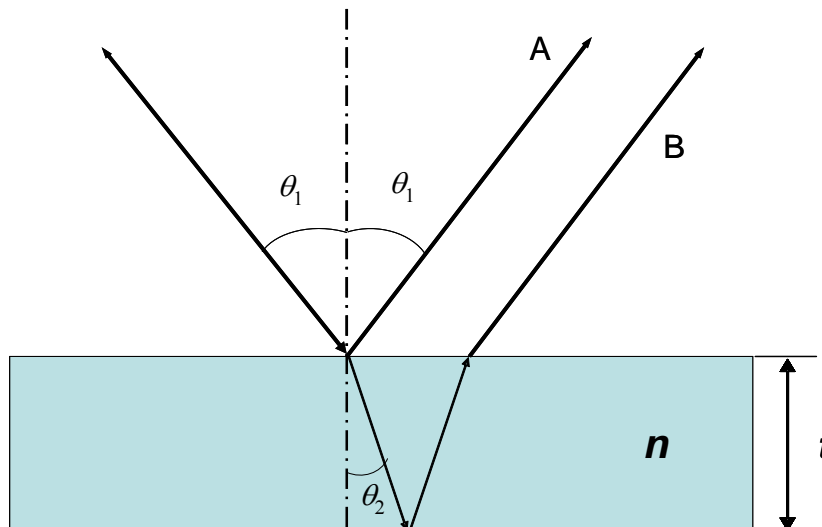


Abbildung 2.1: Schematische Darstellung einer Dünnschicht-Interferenz.

Die Differenz der optischen Weglänge von Strahl A und B führt zu konstruktiver oder zu destruktiver Interferenz. Die resultierende Intensität I hängt von der Wegdifferenz der miteinander interferierenden Strahlen ab, welche wiederum vom Einfallswinkel θ_1 , von der Wellenlänge λ der Strahlung, der Dicke t und dem Brechungsindex n der dünnen Schicht abhängt. Somit kann der Brechungsindex n der dünnen Schicht mit Hilfe eines I - θ_1 Diagramms unter Verwendung der Werte für t und λ bestimmt werden.

2.2. Liste der Bauteile

- 1) Mikrowellensender \bigcirc ,A mit Halterung \bigcirc ,C
- 2) Mikrowellenempfänger \bigcirc ,B mit Halterung \bigcirc ,C
- 3) planzylindrische Linse \bigcirc ,M mit Halterung \bigcirc ,C
- 4) Winkelmesser \bigcirc ,J
- 5) drehbare Unterlage \bigcirc ,L
- 6) Digitalmultimeter \bigcirc ,D
- 7) Polymer-Block als Beispiel einer „dünnen Schicht“ \bigcirc ,F

2.3. Aufgabe: Bestimmung des Brechungsindex der Plastikplatte [6 Punkte]

- 1) Leiten Sie die Bedingungen her, unter denen konstruktive oder destruktive Interferenz stattfindet. Drücken Sie das Ergebnis in θ_1 , t , λ und n aus.

[1 Punkt]

- 2) Unter ausschließlicher Verwendung der in Abschnitt 2.2. genannten Bauteile, bauen Sie ein Experiment zur Bestimmung der Abhängigkeit der Empfängerausgabe zum Einfallswinkel θ_1 im Bereich von 40° bis 75° auf. Skizzieren Sie Ihren Aufbau, wobei die Einfalls- und Reflektionswinkel und die Position der dünnen Schicht auf der drehbaren Unterlage deutlich zu erkennen sein müssen. Beschriften Sie alle Komponenten mit den auf Seite 2 gegebenen Symbolen. Tabellieren Sie Ihre Messwerte und zeichnen Sie ein Diagramm, auf dem die Empfängerausgabe in Abhängigkeit vom Einfallswinkel θ_1 dargestellt wird.

Bestimmen Sie präzise die Winkel bei denen konstruktive und destruktive Interferenz stattfindet.

[3 Punkte]

3) Nehmen Sie an, dass der Brechungsindex von Luft 1,00 ist, bestimmen Sie die Ordnung der Interferenz m und den Brechungsindex des Polymerblockes n . Schreiben Sie die Werte von m und n auf den Antwortbogen.

[1,5 Punkte]

4) Führen Sie eine Fehleranalyse für Ihr Ergebnis durch und bestimmen sie die Standardabweichung für n . Übertragen Sie den Wert der Standardabweichung Δn auf Ihren Antwortbogen.

[0,5 Punkte]

Bemerkungen:

- *Um einen quasiparallelen Mikrowellenstrahl zu erhalten, sollte die Linse vor den Mikrowellensender mit der flachen Seite in Richtung des Senders gestellt werden. Der Abstand zwischen der flachen Seite der Linse und der Öffnung des Sendetrichters sollte 3cm betragen.*
- *Die Achsen des Senders und Empfängers sollten auf die Mitte des Winkelmessers ausgerichtet sein.*
- *Für beste Ergebnisse maximieren Sie bitte den Abstand zwischen Sender und Empfänger.*
- *Da die vom Sendetrichter emittierte Mikrowellenstrahlung von einer ebenen Welle abweicht und zudem auch Interferenzen zwischen der gesendeten und reflektierten Welle auftreten, kann es sein, dass zusätzliche Maxima und Minima erscheinen. Im angegebenen Winkelbereich von 40° bis 75° wird nur ein Maximum und ein Minimum durch Interferenz hervorgerufen.*

3. Teil: Verhinderte Totalreflexion (FTIR)

3.1. Einleitung

Falls eine ebene Welle von einem optisch dichteren in ein optisch dünneres Medium übertritt, kann das Phänomen der Totalreflexion beobachtet werden. Jedoch, anders als von der geometrischen Optik vorhergesagt, dringt die einlaufende Welle in Wirklichkeit in das optisch dünnere Medium ein und bewegt sich eine kurzes Stück parallel zur Grenzfläche, um anschließend in das optisch dichtere Medium zurückgestreut zu werden (siehe Abbildung 3.1). Dieser Effekt kann durch die Verschiebung D , bekannt unter dem Namen Goos-Hänchen-Verschiebung, des reflektierten Strahles beschrieben werden.

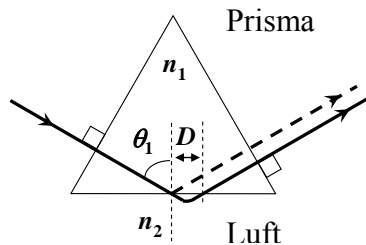


Abbildung 3.1: Die Skizze zeigt eine EM Welle bei Totalreflexion in einem Prisma. Die Verschiebung D parallel zur Grenzfläche stellt die Goos-Hänchen-Verschiebung dar.

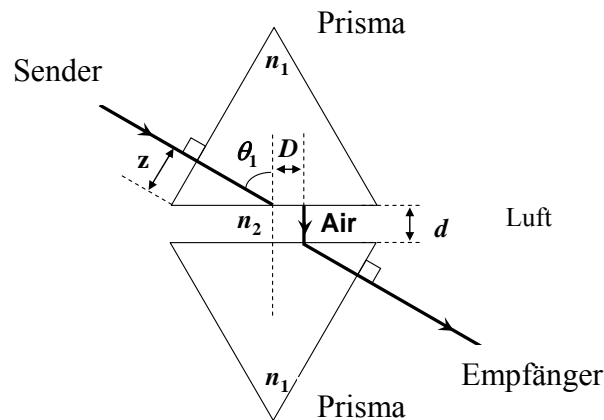


Abbildung 3.2: Die Skizze zeigt den Aufbau mit den Prismen und der Luftspalte der Breite d . Die Verschiebung D parallel zur Grenzfläche zur Luft stellt die Goos-Hänchen dar. 'z' bezeichnet den Abstand von der Spitze des Prismas zur Zentralachse des Senders.

Falls ein anderes Medium mit Brechungsindex n_1 (d.h. aus demselben Material), wie in Abbildung 3.2 gezeigt, in kurzer Entfernung d platziert wird, tunnelt die elektromagnetische Welle in das zweite Medium. Dieses verblüffende Phänomen wird als *verhinderte Totalreflexion* (abgekürzt FTIR) bezeichnet. Die Intensität der übertragenen Welle, I_t , nimmt exponentiell mit Abstand d ab

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

wobei I_0 die Intensität der einfallenden Welle ist, und γ durch

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

gegeben ist. Hier bezeichnet λ die Wellenlänge der elektromagnetischen Welle im zweiten Medium und n_2 den Brechungsindex von Luft. Nehmen Sie an, dass der Brechungsindex von Luft 1,0 beträgt.

3.2. Liste der Bauteile

- 1) Mikrowellensender ○,A mit Halterung ○,C
- 2) Mikrowellenempfänger ○,B mit Halterung ○,C
- 3) planzylindrische Linse ○,N mit Halterung ○,M
- 4) zwei gleichseitige Wachsprismen mit Halterung ○,K und drehbarer Unterlage
○,L als Halterung
- 5) Digitalmultimeter ○,D
- 6) Winkelmesser ○,J

3.3. Versuchsbeschreibung

Unter ausschließlicher Verwendung der in Abschnitt 3.2 genannten Bauteile, bauen Sie bitte einen Versuch zur Untersuchung der Abhängigkeit der Intensität I_t von der Breite d

der Luftspalte in veränderter Totalreflexion auf. Um einheitliche Ergebnisse zu erzielen, beachten Sie bitte folgende Punkte:

- Benutzen Sie einen der Arme des Winkelmessers zur Ausrichtung.
- Wählen Sie sorgfältig die Prismaoberflächen so aus, dass sie parallel zueinander sind.
- Der Abstand der Linse (gemessen von der Oberfläche der Linse) sollte 2cm zur Oberfläche des Prismas betragen.
- Platzieren Sie den Empfänger so, dass der Trichter die Oberfläche des Prismas berührt.
- Justieren Sie für jeden Wert von d den Ort des Mikrowellenempfängers entlang der Prismaoberfläche, um das stärkste Signal zu erhalten.
- Betreiben Sie das Digitalmultimeter in der 2mA Skala. Nehmen Sie die Messwerte angefangen bei $d = 0.6$ cm auf. Unterbrechen Sie Ihre Messungen, falls der Ablesewert des Multimeters weniger als 0.20 mA beträgt.

3.4. Aufgabe: Bestimmung des Brechungsindex des Prismenmaterials [6 Punkte]

- 1) Skizzieren Sie Ihren letzten Versuchsaufbau und beschriften Sie alle Bauteile mit den Symbolen von Seite 2. Markieren Sie in Ihrer Skizze den Abstand z (siehe Abbildung 3.2), wobei z den Abstand von der Spitze des Prismas zum Sender bezeichnet.

[1 Punkt]

- 2) Tabellieren Sie Ihre Messwerte. Führen Sie die Messungen **zweimal** durch.

[2,1 Punkte]

- 3) (a) Bestimmen Sie den Brechungsindex n_1 des Prismas mit Hilfe entsprechender Graphen, und führen Sie eine Fehleranalyse durch.
(b) Übertragen Sie den Brechungsindex n_1 , und seine Standardabweichung Δn_1 in den Antwortbogen.

[2,9 Punkte]

4. Teil: Mikrowellenbeugung an einem Metallstab-Gitter:

Bragg-Reflektion

4.1. Einleitung

Bragg-Gesetz

Die Gitterstruktur eines Kristalls kann mit Hilfe des Bragg-Gesetzes untersucht werden. Es gilt

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

wobei d den Abstand zwischen den parallelen, die Röntgenstrahlung “reflektierenden” Kristallebenen bezeichnet; m ist die Ordnung des Beugungsmaximums und θ bezeichnet den Winkel zwischen dem einfallenden Röntgenstrahl und den Kristallebenen. Braggs-Gesetz wird auch Bragg-Gleichung oder Braggsche Reflektion genannt.

Metallstabgitter

Üblicherweise werden in Bragg-Beugungsexperimenten Röntgenstrahlung verwendet, da die Wellenlänge von Röntgenstrahlung und Gitterkonstante von Kristallen von vergleichbarer Größe sind. Jedoch für Mikrowellenstrahlung findet Beugung in Gitterstrukturen mit einer sehr viel größeren Gitterkonstante statt, welche mit einem Lineal vermessen werden können.

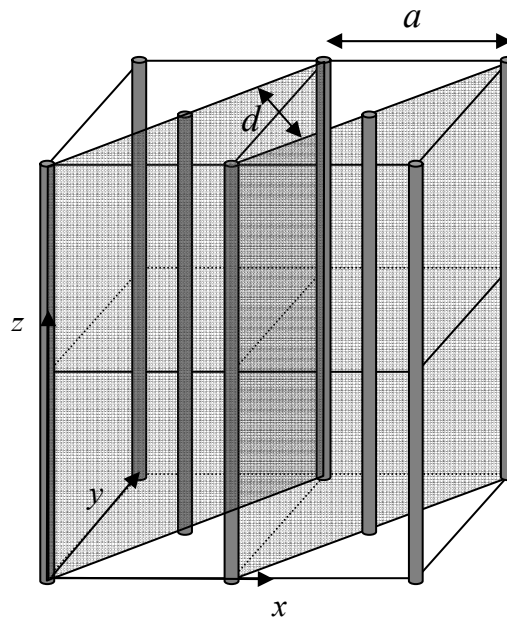


Abb. 4.1 Ein Metallstabgitter mit Gitterkonstanten a und b und Abstand der Ebenen d .

In diesem Versuch wird., um das Bragg-Gesetz zu überprüfen, ein Gitter aus Metallstäben verwendet. Abbildung 4.1 zeigt ein Beispiel eines solchen Gitters in dem die Metallstäbe als dicke, senkrechte Linien gezeichnet sind. Die Gitterebenen entlang der Diagonalen der XY-Ebene sind als schattierte Ebenen dargestellt. Abbildung 4.2 zeigt eine Draufsicht von Oben entlang der Z-Achse, wobei die Punkte die Stäbe und die Linien die diagonalen Gitterebenen darstellen.

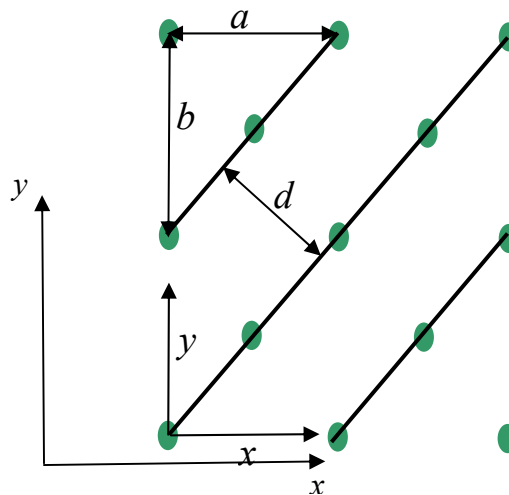


Abb. 4.2 Nicht maßstabgerechte Darstellung der Draufsicht des Metallstabgitters, wie in Abb. 4.1 gezeigt. Die durchgezogenen Linien kennzeichnen die diagonalen Ebenen des Gitters.

4.2. Liste der Bauteile

- 1) Mikrowellensender \odot ,A mit Halterung \odot ,C
- 2) Mikrowellenempfänger \odot ,B mit Halterung \odot ,C
- 3) planzylindrische Linse \odot ,N mit Halterung \odot ,M
- 4) Versiegelte Kiste mit einem Metallstabgitter \odot ,I
- 5) drehbare Unterlage \odot ,L

- 6) Digitalmultimeter \bigcirc ,D
 7) Winkelmesser \bigcirc ,J

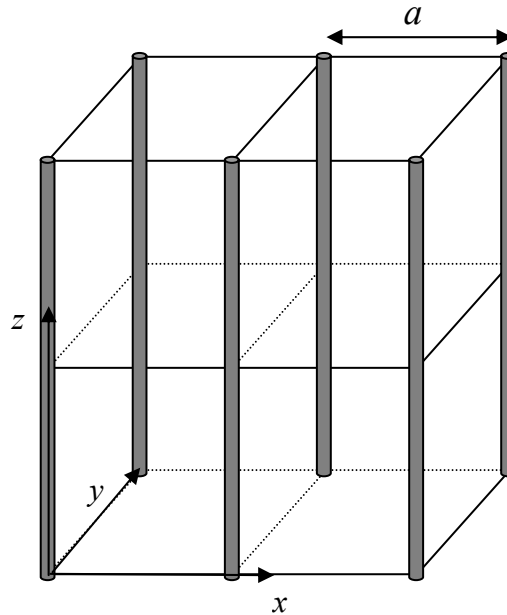


Abb. 4.3 Ein einfaches Quadratgitter.

In diesem Versuch erhalten Sie ein einfaches, aus Metallstäben bestehendes Quadratgitter, wie in Abbildung 4.3 gezeigt. Das Gitter befindet sich in der versiegelten Box. Ihre Aufgabe ist es die Gitterkonstante a dieses Gitters mit Hilfe eines Versuches zu bestimmen. Öffnen Sie NICHT die Box. Es werden keine Punkte für die Versuchsergebnisse vergeben, falls das Siegel nach dem Versuch beschädigt vorgefunden wird.

**4.3. Aufgaben: Bestimmung der Gitterkonstante eines gegebenen einfachen
 Quadratgitters**

[6 Punkte]

Aufgabe 1

Zeichnen Sie die Ansicht von Oben eines **einfachen** Quadratgitter wie in Abb 4.3 gezeigt. In dieser Zeichnung markieren Sie die Gitterkonstante a und den Abstand der diagonalen Ebenen d . Leiten Sie mit Hilfe dieser Zeichnung das Bragg-Gesetz her.

Aufgabe 2

Unter Verwendung des Bragg-Gesetz und dem bereitgestellten Gerät, entwerfen Sie ein Experiment, um ein Bragg-Beugungsexperiment durchzuführen, welches die Gitterkonstante a bestimmt.

- (a) Skizzieren Sie den Versuchsaufbau. Beschriften Sie alle Bauteile mit den Symbolen von Seite 2 und markieren Sie deutlich den Reflektionswinkel in der Zeichnung. In Ihrem Versuch sind die Beugungsebenen diagonale Ebenen, deutlich mit einer roten Linie auf der Box gekennzeichnet.
- (b) Führen Sie das Beugungsexperiment für $20^\circ \leq \theta \leq 50^\circ$ durch. Tabellieren Sie im Antwortbogen Ihre Ergebnisse und tragen Sie den Winkel zwischen Sender und Gitterebenen, θ , und den Winkel zwischen Sender und Empfänger, ζ , ein.
- (c) Zeichnen Sie ein Diagramm mit der Intensität der gebeugten Welle als Funktion von θ .
- (d) Bestimmen Sie die Gitterkonstante a unter Benutzung des Graphs und bestimmen Sie den experimentellen Fehler.

Bemerkung:

1. Für beste Ergebnisse, sollte der Sender während des Versuches nicht bewegt werden. Sie sollten zudem den Abstand zwischen Sender und Gitter und den Abstand zwischen Gitter und Empfänger auf ungefähr 50cm konstant halten
2. Benutzen Sie nur die diagonalen Ebenen in diesem Versuch. Sie erhalten kein richtiges Ergebnis, falls Sie irgendeine andere Ebene benutzen.
3. Die Seite mit der roten diagonalen Linie muß nach oben Zeigen.

Lösungen

Teil 1:

1. Tabellieren Sie Ihre Messwerte.

2. Die Wellenlänge

beträgt

$\lambda =$

2. Teil:

Aufgabe 1

Bedingung für konstruktive Interferenz

Bedingung für destruktive Interferenz

Aufgabe 2

(a) Skizzieren Sie Ihren Versuchsaufbau in dem folgenden Feld:

2. Teil

Aufgabe 2 (Fortsetzung)

(b) Tabellieren Sie auf dieser Seite Ihre Messwerte.

Teil 2:

Aufgabe 2 (Fortsetzung)

(c) Zeichnen Sie das Diagramm auf das dazu bereitgestellte Millimeterpapier.

(d) Einfallswinkel θ_1 für konstruktive Interferenz

Einfallswinkel θ_1 für destruktive Interferenz

Aufgabe 3

Interferenzordnung $m =$

Der Brechungsindex n der Polymerplatte $=$

Aufgabe 4

$\Delta n =$

Teil 3:

Aufgabe 1

Skizzieren Sie Ihren Versuchsaufbau in dem folgenden Feld:



Teil 3:

Aufgabe 2

Tabellieren Sie Ihre Messergebnisse. Führen Sie die Messungen zweimal durch.

Teil 3:

Aufgabe 2 (Fortsetzung)

Teil 3:**Aufgabe 3**

a) Zeichnen Sie entsprechenden Diagramme auf das bereitgestellte Millimetepapier.

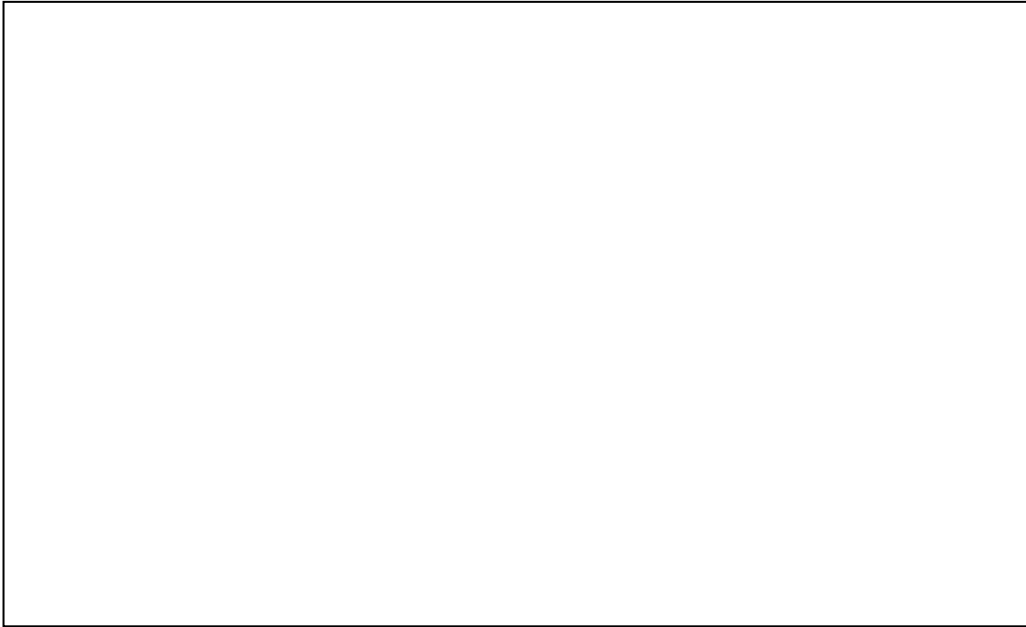
b) Der Brechungsindex $n_1 =$

Die Messunsicherheit $\Delta n_1 =$

Teil 4:

Aufgabe 1

Draufsicht eines einfachen Quadratgitters:



Herleitung des Braggschen Gesetzes:

Teil 4:

Aufgabe 2

(a) Skizzieren Sie Ihren Versuchsaufbau



Teil 4:**Aufgabe 2 (Fortsetzung)**

(b) Tabellieren Sie Ihre Messwerte:

$\theta(\quad)$	$\zeta(\quad)$	

Teil 4:**Aufgabe 2 (Fortsetzung)**

(c) Tragen Sie in einem Diagramm die Intensität als Funktion von θ auf.

Benutzen Sie dazu das bereitgestellte Millimeterpapier.

(d) Gitterkonstante, $a =$

Experimentelle Unsicherheit, $\Delta a =$