

Institut für Experimentalphysik der Technischen Universität Graz

&

Institut für Physik der Universität Graz

LABORÜBUNGEN 2: ELEKTRIZITÄT, MAGNETISMUS, OPTIK

Übungsnummer: 10

Übungstitel: Gitter/Prisma (TU)

Betreuer: Valentin Weis

Gruppennummer: 42

Name: Nico Eisner

Name: Philip Waldl

Mat. Nr.: 12214121

Mat. Nr.: 12214120

Datum der Übung: 13.10.2023

WS 2021/2022

Inhaltsverzeichnis

1 Aufgabenstellung	3
2 Voraussetzungen & Grundlagen	3
2.1 Gitter	3
2.2 Prisma	3
3 Versuchsanordnung	4
4 Geräteliste	7
5 Versuchsdurchführung & Messergebnisse	7
5.1 Gitter	7
5.2 Prisma	9
6 Auswertung und Unsicherheitsanalyse	11
6.1 Gitter	11
6.2 Prisma	12
7 Diskussion	13
8 Zusammenfassung	13
8.1 Gitter	13
8.2 Prisma	14
Literatur	14

1 Aufgabenstellung

Das Experiment Gitter/Prisma ist in zwei Teile gegliedert. Die Aufgabe beim Gitter ist es, die Gitterkonstante g mithilfe einer gelben Na-Dampflampe zu bestimmen, sowie die Wellenlänge λ der sichtbaren Linien einer Spektrallampe.

Im zweiten Teil des Experimentes besteht die Aufgabe den brechenden Winkel eines Prismas γ durch Messung des Reflexionswinkels ω zu bestimmen. Des weiteren ist auch der minimale Brechungswinkel δ sowie der Brechungsindex $n(\lambda_0)$ des Prismas für die gut sichtbaren Linien einer Hg-Dampflampe zu bestimmen.

Alle Informationen und Methodiken wurden uns von der Technischen Universität bereitgestellt [1].

2 Voraussetzungen & Grundlagen

2.1 Gitter

Ein Gitter besteht aus lichtdurchlässigen Öffnungen und lichtblockenden Balken, welche in bestimmten Abständen folgen. Ein gutes Beispiel für ein Gitter ist eine Jalousie. In diesem Fall besteht das Gitter aus einer Glasplatte. Fällt Licht auf dieses Gitter, wird es gebeugt und von jeden Punkt einer Öffnung gehen Kugelförmige Lichtwellen aus, welche sich nach Richtung und Wellenlänge durch Interferenzen verstärken oder abschwächen.

Durch viele aufeinanderfolgende Balken in regelmäßigen Öffnungsabständen g (Gitterkonstante) können alle neuen Wellen interferieren. Dabei tritt je nach Winkel φ eine konstruktive oder destruktive Interferenz auf. Die konstruktiven Interferenzen können als Beugungsmaxima der Wellenlänge λ beobachtet werden.

$$\Delta = g \sin(\varphi) = z\lambda, z \in \mathbb{Z} \quad (1)$$

Die Zahl z ist die Ordnungszahl des Beugungsmaximums.

Das Auflösungsvermögen des Gitters wird über die Wellenlänge λ und dessen Unsicherheit $\Delta\lambda$ berechnet.

$$\frac{\lambda}{\Delta\lambda} \quad (2)$$

2.2 Prisma

Licht wird durch einen Prisma gebrochen. Die Bahn eines einfarbigen Lichtstrahls einer Frequenz durch verschiedene Medien wird eindeutig festgelegt. Die entscheidenden Faktoren sind dabei die Brechungsindizes der verschiedenen Medien, die geometrische Form und Lage ihrer Begrenzungsflächen. Reflektionen und Brechungen treten an der Grenze zweier Medien mit verschiedenen Brechungsindizes auf. Der Einfallende Strahl E wird im

selben Winkel α mit dem Lot L wieder Reflektiert R . Der Winkel β zwischen gebrochenen Strahl G und Lot L wird mithilfe des Brechungsgesetzes von Snellius berechnet.

$$\sin(\alpha)n_1 = \sin(\beta)n_2 \quad (3)$$

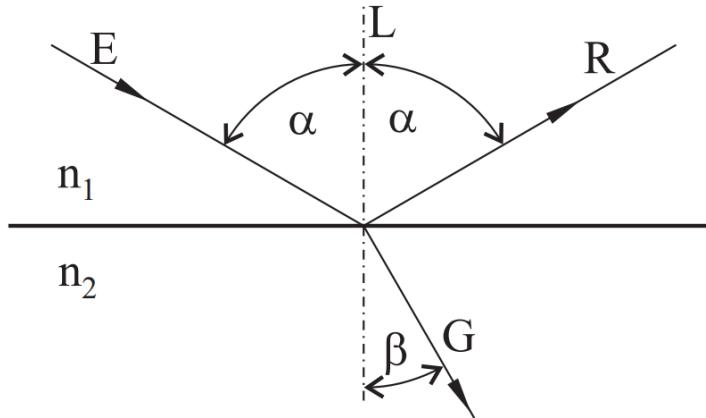


Abb. 1: Brechung und Reflexion an einen Übergang. [1]

Bei einem Strahlengang durch den Prisma wird das Licht zwei mal gebrochen. Das Licht ändert seine Richtung unter dem Ablenkungswinkel δ bei einem symmetrischen Strahlengang. Hierbei ist der Ein- und Austrittswinkel gleich groß. Dieser Winkel kann durch schwenken des Prismas leicht gefunden werden. Misst man nun den Winkel ω zwischen zwei zum einfallenden Strahl symmetrischen Lagen des Prismas, kann der Ablenkungswinkel δ berechnet werden.

$$\delta = \omega/2 \quad (4)$$

Formt man nun die Gleichung auf den Brechungsindex n des Prismas um, so erhält man

$$n = \frac{\sin(\gamma/2)}{\sin(\gamma+\delta/2)} \quad (5)$$

dies lässt sich jedoch nur bei symmetrischen Strahlengang bewerkstelligen.

Des Weiteren wird die Formel für die Berechnung des Mittelwertes der verschiedenen Spektrallinien benötigt. Um den Mittelwert \bar{x} (representativ für die verschiedenen Winkel) zu berechnen, müssen die Anzahl der Messversuche N sowie die einzelnen Winkel bekannt sein.

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad (6)$$

3 Versuchsanordnung

Der Aufbau des Versuches mit dem Gitter ist wie folgt. Es besteht aus einem Spektrometertisch. Dieser ist in Kollimator, einen Fernrohr auf einer rotierbaren Winkelskala und einer

Ablage für Gitter und Prisma in der Mitte. Die Lichtquellen sind eine Quecksilberlampe und eine Natriumlampe, welche je nach Versuch an die Öffnung des Kollimators gestellt. Durch die in den Kollimator verbaute Schlitzblende wird die Stärke bzw. Helligkeit des Lichtstrahles eingestellt. Das Licht, welches durch den Kollimator parallelisiert wird, trifft auf das Gitter, im späteren Verlauf auf den Prisma, und wird dort gebrochen/gebeugt. Mit dem Fernrohr lässt sich das Licht nun beobachten und durch das Fadenkreuz kann ein einzelner Strahl genauestens anvisiert werden.



Abb. 2: Aufbau des Spektrometertisches

Das Fernrohr wird für die Messung des Winkels nach links und rechts gescwenkt und auf der Winkelstskala der entsprechende Winkel abgelesen.



Abb. 3: Winkelskala

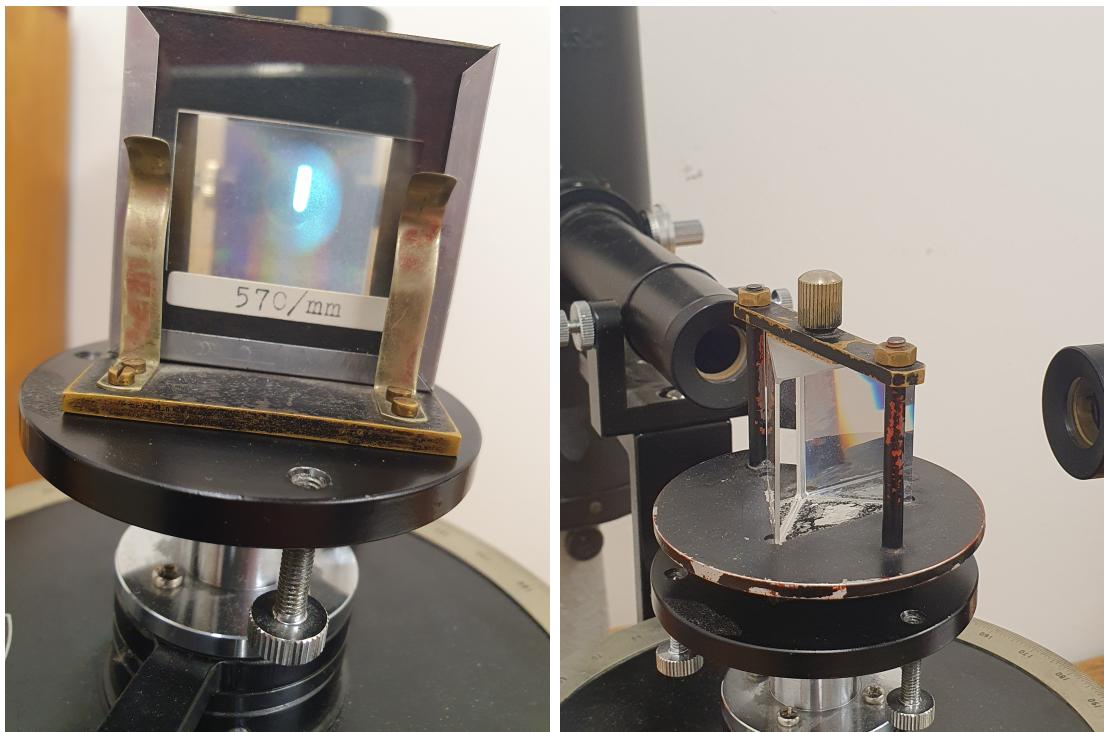


Abb. 4: Gitter (links) und Prisma (rechts)

4 Geräteliste

Tab. 1: Im Versuch verwendete Geräte und Utensilien.

Gerät	Gerätenummer	Unsicherheit
Quecksilberlampe	n.a	n.a
Natriumlampe	G18	n.a
Gitter 570/mm	n.a	n.a
Prisma	n.a	n.a
Spektrometertisch	0161165	n.a
Winkelskala	n.a	1 bogenminute

5 Versuchsdurchführung & Messergebnisse

Die Versuchsdurchführung besteht aus mehreren Teilen für das Gitter und Prisma.

5.1 Gitter

Der erste Teil besteht darin das Gitter zu Justieren. Dies war bereits der Fall und es wurde nur noch überprüft, dass keine Fehler vorhanden sind. Das Gitter wird mittig und normal zum Kollimator gestellt, wie in Bild 2 der Versuchsanordnung zu erkennen ist. Die Natriumlampe wird vor den Kollimator gestellt und die Blende so eingestellt, dass eine dünne, jedoch noch gut sichtbare Linie durch das Fernrohr zu erkennen ist. Durch schwenken des Fernrohres wird kontrolliert, ob zwei Maxima der Spektrallinien pro Seite sichtbar sind. Es werden insgesamt fünf Messungen pro Seite für die zwei hinteren Spektrallinien vorgenommen, wobei mit dem Fadenkreuz des Fernrohres die innere grüne Linie anvisiert wird.

Tab. 2: Winkel φ der zweiten Spektrallinien der Natriumlampe

Nr.	φ_{Links} [Grad + Bogenminute]	φ_{Rechts} [Grad + Bogenminute]
1	41 + (2 ± 1)	140 + (0 ± 1)
2	41 + (1 ± 1)	139 + (5 ± 1)
3	41 + (5 ± 1)	139 + (5 ± 1)
4	41 + (4 ± 1)	139 + (4 ± 1)
5	41 + (1 ± 1)	139 + (5 ± 1)

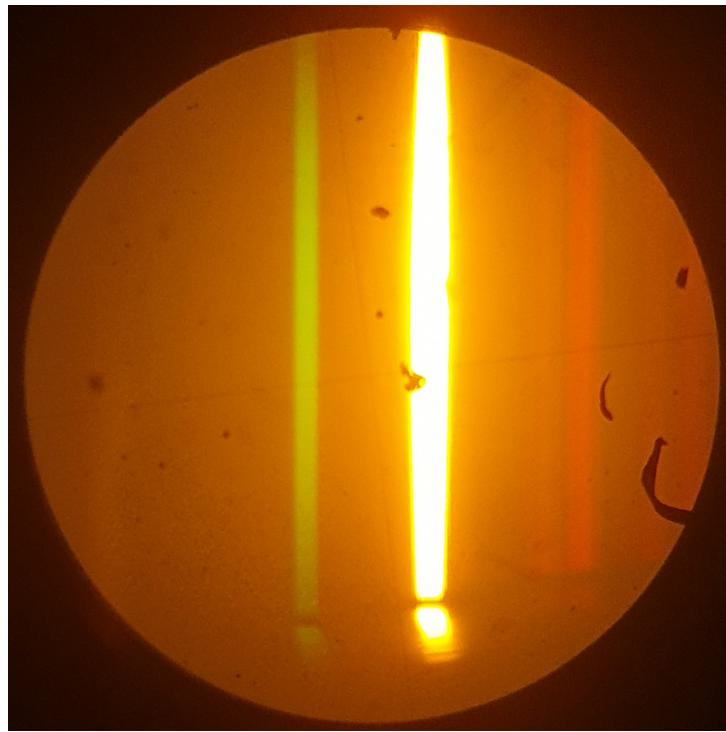


Abb. 5: Spektrallinien der Natriumlampe bei geöffneter Blende für die Aufnahme

Im zweiten Teil mit dem Gitter wird die Natriumlampe durch die Quecksilberlampe getauscht. Bei der Quecksilberlampe werden die einzelnen Wellenlängen der verschiedenfarbigen Spektrallinien gemessen. Hierbei werden wieder die zweiten hinteren Spektrallinien zur Messung genommen.

Tab. 3: Quecksilberlampe Gitter

Farbe	Nr.	φ_{Links} [Grad + Bogenminute]	φ_{Rechts} [Grad + Bogenminute]
Lila	1	$48 + (4 \pm 1)$	$132 + (21 \pm 1)$
	2	$48 + (4 \pm 1)$	$132 + (20 \pm 1)$
	3	$48 + (5 \pm 1)$	$132 + (20 \pm 1)$
Hellblau	1	$41 + (17 \pm 1)$	$138 + (26 \pm 1)$
	2	$41 + (17 \pm 1)$	$138 + (26 \pm 1)$
	3	$41 + (17 \pm 1)$	$138 + (26 \pm 1)$
Grün	1	$36 + (0 \pm 1)$	$144 + (7 \pm 1)$
	2	$36 + (0 \pm 1)$	$144 + (7 \pm 1)$
	3	$36 + (1 \pm 1)$	$144 + (8 \pm 1)$
Gelb	1	$33 + (10 \pm 1)$	$146 + (20 \pm 1)$
	2	$33 + (10 \pm 1)$	$146 + (20 \pm 1)$
	3	$33 + (11 \pm 1)$	$146 + (20 \pm 1)$
Rot	1	$27 + (24 \pm 1)$	$155 + (5 \pm 1)$
	2	$27 + (25 \pm 1)$	$152 + (5 \pm 1)$
	3	$27 + (25 \pm 1)$	$152 + (5 \pm 1)$

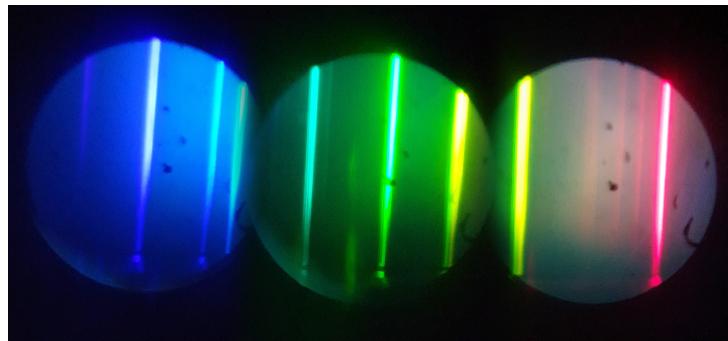


Abb. 6: Spektrallinien der einzelnen Farben der Quecksilberlampe bei geöffneter Blende für die Aufnahme. Zusammengesetzt aus drei Einzelaufnahmen.

5.2 Prisma

Im zweiten Teil des Experimentes wird das Gitter durch einen Prisma getauscht. Dieser wird mittels Augenmaß mittig auf der Ablage plaziert, wie das Gitter im Bild 2. Durch öffnen der Blende wird die Reflektion auf den Laborwänden sichtbar, wodurch die feine Weiße linie, nicht die RGB Linien, leichter mit dem Fernrohr zu finden ist. Von dieser Linie wird auf beiden Seiten der Winkel $\gamma_{Links/Rechts}$ mit dem Fernrohr gemessen. Die Blende wird wieder so eingestellt, dass nur eine dünne Linie zu sehen ist.

Tab. 4: Brechender Winkel Prisma

Nr.	γ_{Links} [Grad + Bogenminute]	γ_{Rechts} [Grad + Bogenminute]
1	70 + (4 ± 1)	129 + (23 ± 1)
2	69.5 + (6 ± 1)	129 + (23 ± 1)
3	70 + (4 ± 1)	129 + (21 ± 1)
4	70 + (4 ± 1)	129 + (22 ± 1)
5	69.5 + (4 ± 1)	128 + (23 ± 1)
6	70 + (4 ± 1)	129 + (22 ± 1)

Nun wird der Spalt wieder geöffnet um die Reflektion an den Laborwänden besser zu erkennen. Der Prisma wird gedreht, bis an den Wänden ein bunter Fleck (7) zu sehen ist. Dreht man den Prisma weiter, bemerkt man, dass dieser Fleck seine Richtung umkehrt. Der Prisma wird so gedreht, bis der bunte Fleck genau am Umkehrpunkt ist. Die Blende wird wieder für die Beobachtung mit Fernrohr eingestellt und der Winkel ω der einzelnen Spektrallinien wird jeweils dreimal vermessen.

Tab. 5: Winkel ω der gebrochenen Spektrallinien des Prismas

Farbe	Nr.	$\omega_{(Links)}$ [Grad + Bogenminute]	$\omega_{(Rechts)}$ [Grad + Bogenminute]
Lila	1	$38 + (6 \pm 1)$	$97.5 + (17 \pm 1)$
	2	$38 + (5 \pm 1)$	$97.5 + (17 \pm 1)$
	3	$38 + (6 \pm 1)$	$97.5 + (17 \pm 1)$
Hellblau	1	$38.5 + (0 \pm 1)$	$98 + (10 \pm 1)$
	2	$38.5 + (1 \pm 1)$	$98 + (10 \pm 1)$
	3	$38.5 + (0 \pm 1)$	$98 + (11 \pm 1)$
Grün	1	$38.5 + (13 \pm 1)$	$98 + (24 \pm 1)$
	2	$38.5 + (13 \pm 1)$	$98 + (25 \pm 1)$
	3	$38.5 + (13 \pm 1)$	$98 + (24 \pm 1)$
Gelb	1	$39 + (0 \pm 1)$	$98.5 + (5 \pm 1)$
	2	$39 + (0 \pm 1)$	$98.5 + (6 \pm 1)$
	3	$39 + (1 \pm 1)$	$98.5 + (6 \pm 1)$
Rot	1	$39.5 + (6 \pm 1)$	$98.5 + (23 \pm 1)$
	2	$39.5 + (6 \pm 1)$	$98.5 + (22 \pm 1)$
	3	$39.5 + (6 \pm 1)$	$98.5 + (23 \pm 1)$

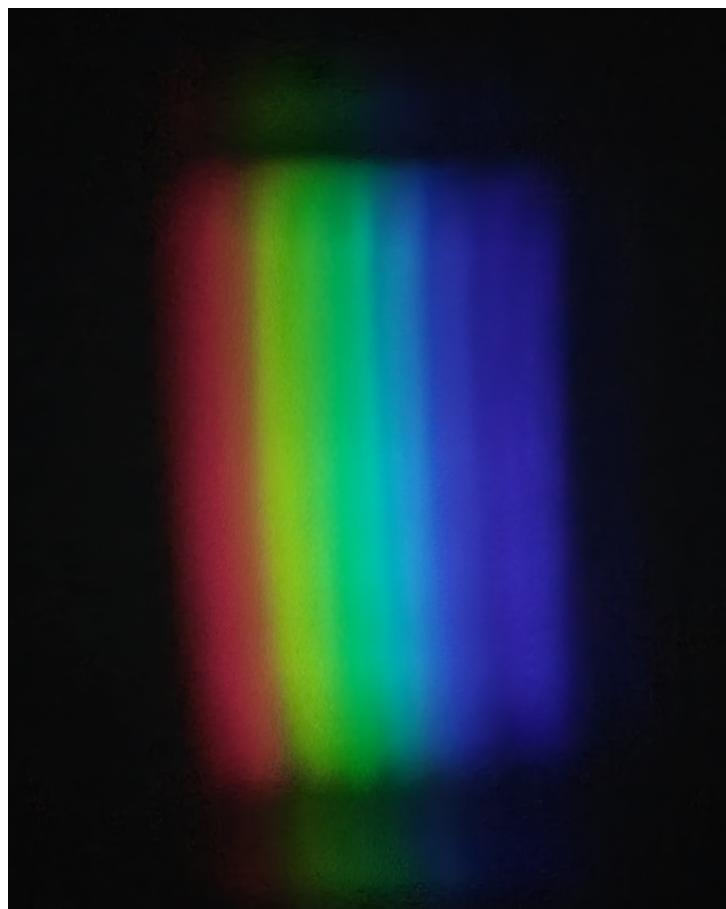


Abb. 7: Spektrallinien der einzelnen Farben der Quecksilberlampe reflektiert an der Laborwand

6 Auswertung und Unsicherheitsanalyse

In der Auswertung werden zur erhöhten Genauigkeit durchgehend ungerundete Werte bis zu den Endergebnissen verwendet und nur zur Darstellung gerundet.

Zur Berechnung der Unsicherheiten wird, wenn nicht anders angegeben, die Größtunsicherheitsmethode verwendet.

6.1 Gitter

Aus den Messdaten aus Tabelle 2 wird mit der Formel 6 der Mittelwert berechnet. Die Bogenminuten werden noch in Grad umgerechnet mit der Formel:

$$Grad = \frac{Bogenminuten}{60} \quad (7)$$

Daraus ergeben sich für die Winkel $\varphi_{Links} = (41.05 \pm 0.02)$ Grad und für $\varphi_{Rechts} = (140.07 \pm 0.02)$ Grad. Die Unsicherheit $\Delta\varphi$ beträgt eine Bogensekunde = 0.02 Grad.

Mit der Formel

$$\varphi = \frac{\varphi_{Rechts} - \varphi_{Links}}{2} \quad (8)$$

wird der Winkel $\varphi = (49.51 \pm 0.02)$ Grad berechnet und mit der Wellenlänge $\lambda = (5889.95 \pm 0.01)$ Å, welche auf Seite 5 des Skriptes [1] angegeben ist, lässt sich mit Formel 1, $z = 2$ weil die hinteren Spektrallinien gemessen wurden, und für die Unsicherheit die Formel

$$\Delta g = \left| \frac{\partial g}{\partial \lambda} * \Delta \lambda \right| + \left| \frac{\partial g}{\partial \varphi} * \Delta \varphi \right| \quad (9)$$

die Gitterkonstante $g = (1.55 \pm 0.03) \mu m$ bestimmen.

Für die Werte aus der Tabelle 3 wird wieder der Mittelwert mit Formel 6 berechnet. Der Winkel φ wird wie zuvor mit der Formel 7 und selber Unsicherheit berechnet.

Tab. 6: Gemittelter Winkel φ

Farbe	φ [Grad]
Lila	42.13 ± 0.02
Hellblau	48.58 ± 0.02
Grün	54.06 ± 0.02
Gelb	56.58 ± 0.02
Rot	63.34 ± 0.02

Durch die zuvor bestimmte Gitterkonstante $g = (1.55 \pm 0.03) \mu m$ kann mit der Formel 1 ($z = 2$) die Wellenlänge λ berechnet werden. Für die Unsicherheit verwendet man die Formel

$$\Delta \lambda = \left| \frac{\partial \lambda}{\partial g} * \Delta g \right| + \left| \frac{\partial \lambda}{\partial \varphi} * \Delta \varphi \right| \quad (10)$$

und erhält dadurch die Unsicherheit der Wellenlänge $\Delta\lambda = \pm 0.04\text{nm}$, welche für alle Werte gerundet die gleiche ist.

Tab. 7: Wellenlänge λ der einzelnen Farben

Farbe	λ [nm]
Lila	519.89 ± 0.04
Hellblau	581.16 ± 0.04
Grün	627.47 ± 0.04
Gelb	646.86 ± 0.04
Rot	692.62 ± 0.04

Das Auflösungsvermögen der Messanordnung wird durch die Formel 2 berechnet. Für die Werte aus Tabelle 7 beträgt das Auflösungsvermögen

Tab. 8: Auflösungsvermögen des Gitters

Farbe	$\lambda/\Delta\lambda$
Lila	12997.3
Hellblau	14529.0
Grün	15686.8
Gelb	16171.5
Rot	17315.5

6.2 Prisma

Für die Werte aus der Tabelle 4 für den brechende Winkel γ wird der Mittelwert mit der Formel 6 berechnet. Der Winkel γ wird mit der Formel

$$\gamma = \frac{\gamma_{Rechts} - \gamma_{Links}}{2} \quad (11)$$

berechnet. Daraus erhält man den Winkel $\gamma = (29.70 \pm 0.02)$ des Prismas.

Durch die Formel 4 und den Messwerten aus Tabelle 5 lässt sich der minimale Brechungswinkel δ berechnen. Die Unsicherheit $\Delta\delta$ beträgt eine Bogenminute = 0.02 Grad.

Tab. 9: Brechungswinkel δ der einzelnen Farben

Farbe	δ [Grad]
Lila	29.85 ± 0.02
Hellblau	29.85 ± 0.02
Grün	29.84 ± 0.02
Gelb	29.80 ± 0.02
Rot	29.64 ± 0.02

Mit der Formel 5 und dem zuvor berechneten brechenden Winkel $\gamma = (29.70 \pm 0.02)$ des Prismas lassen sich noch die einzelnen Brechungsindizes berechnen. Für die Unsicherheit verwendet man die Formel

$$\Delta n = \left| \frac{\partial n}{\partial \gamma} * \Delta \gamma \right| + \left| \frac{\partial n}{\partial \delta} * \Delta \delta \right| \quad (12)$$

und erhält für $\Delta n = 0.0004$. Die Unsicherheit ist gerundet für die einzelnen Farben die gleiche.

Tab. 10: Brechungsindizes n

Farbe	δ [Grad]
Lila	1.9377 ± 0.0004
Hellblau	1.9377 ± 0.0004
Grün	1.9374 ± 0.0004
Gelb	1.9362 ± 0.0004
Rot	1.9315 ± 0.0004

7 Diskussion

8 Zusammenfassung

Hier noch einmal die in der Aufgabenstellung angegebenen Werte zusammengefasst.

8.1 Gitter

Gitterkonstante $g = (1.55 \pm 0.03) \mu m$

Wellenlänge λ

Tab. 11: Wellenlänge λ der einzelnen Farben

Farbe	λ [nm]
Lila	519.89 ± 0.04
Hellblau	581.16 ± 0.04
Grün	627.47 ± 0.04
Gelb	646.86 ± 0.04
Rot	692.62 ± 0.04

Auflösungsvermögen $\lambda/\Delta\lambda$

Tab. 12: Auflösungsvermögen des Gitters

Farbe	$\lambda/\Delta\lambda$
Lila	12997.3
Hellblau	14529.0
Grün	15686.8
Gelb	16171.5
Rot	17315.5

8.2 Prisma

Brechender Winkel $\gamma = (29.7 \pm 0.02)$

Minimale Brechungswinkel δ

Brechungsindex n

Auflösungsvermögen $\lambda/\Delta\lambda$

Literatur

- [1] TU Graz TeachCenter. "*Laborübungen 2: Elektrizität, Magnetismus, Optik*". Kurs: *PHYD30UF*. (besucht am 13.10.2023). URL: <https://tc.tugraz.at/main/course/view.php?id=796>.