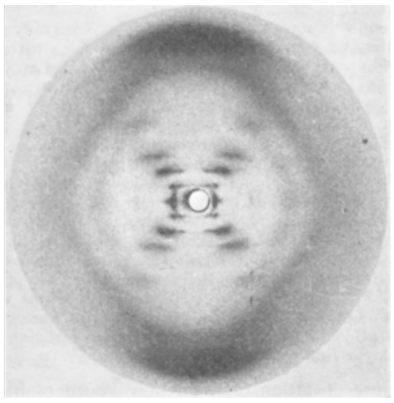
O-02: Das Spektrum des Heliumatoms Beugung am Gitter

(Version 3 – 15. November 2022)



Licht zeigt aufgrund seiner Wellennatur teilweise verblüffende Phänomene, die wir als Interferenz bezeichnen. Im Alltag und in der Natur begegnen wir vielfältigen Interferenzerscheinungen häufig, ohne uns dessen bewusst zu sein. Die schillernden Farben auf einer Seifenblase, einer DVD oder einem Ölfilm, das leuchtende Farbenspiel vieler Schmetterlinge, Vögel oder Muschelschalen, all dies beruht auf der Interferenz von Licht an mikroskopischen Schichten. In der Wissenschaft wird die Beobachtung von Interferenzerscheinungen in den unterschiedlichsten Anwendungen benutzt. So stellt z. B. Beugung von Röntgenstrahlen die Standardmethode zur Strukturaufklärung dar, welche u. a. zur Entdeckung der Doppelhelix von DNS geführt hat (s. oben rechts die Originalaufnahme aus R. E. Franklin und R. G. Gosling, Nature **171**, 740 (1953)).
In diesem Versuch wird die Beugung an einem Gitter benutzt, um die Wellenlängen der Spektrallinien von Helium zu bestimmen. Dazu wird zunächst die Gitterkonstante mit Hilfe von zwei bekannten Spektrallinien von Wasserstoff bestimmt.

Eigenschaften von Wellen

Beugungserscheinungen sind keine Eigenheit von Licht, sondern können bei allen Arten von Wellen auftreten, z. B. bei Schall oder in Wasser. Um besser zu verstehen, unter welchen Bedingungen sie auftreten und welchen Gesetzmäßigkeiten sie folgen, benötigen wir nur ein paar Begriffe zur Beschreibung von Wellen. In diesem Zusammenhang verstehen wir unter einer Welle einen *periodischen Vorgang*, der charakterisiert ist durch eine physikalische Größe, die sich in Ort bzw. Zeit so verändert, dass sie sich nach Durchlaufen einer vollen Periode identisch wiederholt. Bei Lichtwellen ist diese Größe die elektrische Feldstärke, bei Schallwellen der Druck des kompressiblen Mediums (z. B. Luft), bei einer Pendelschwingung die Auslenkung aus der Ruhelage, usw.
Allgemeine periodische Größen lassen sich mathematisch durch ein Überlagerung von idealisierten, *unendlichen* Wellen darstellen, welche ihrerseits durch eine einfache Sinusfunktion beschrieben werden können, wie in Abb. 1 schematisch gezeigt ist. Diese idealisierten Wellen hängen von drei bestimmenden Größen ab, ihrer *Amplitude, Periodenlänge* und *Phase*. Unter der Amplitude versteht man den maximalen Wert, den die periodische Größe annehmen kann, also z. B. die größte Auslenkung des Pendels oder die maximale elektrische Feldstärke der Lichtwelle. Die Periodenlänge einer *räumlichen* Wellen ist der Abstand zwischen zwei benachbarten Orten, an denen ein fester Wert der periodischen Größe angenommen wird, also z. B. das Maximum. Diesen Abstand nennt man die *Wellenlänge* (üblicherweise bezeichnet mit dem Symbol λ). Eine allgemeine

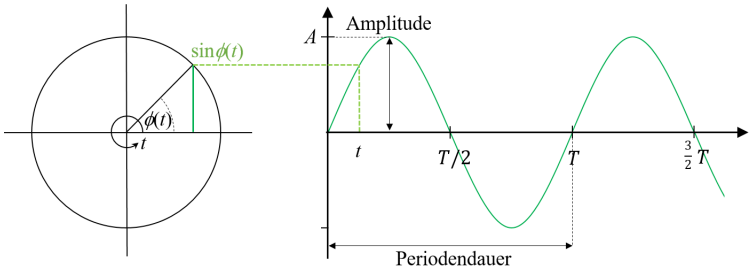


Abbildung 1: Eine Welle (rechts) ist ein periodischer Vorgang, der sich auch als die Auslenkung eines Zeigers (links) auffassen lässt. Nach einem kompletten Umlauf des Zeigers wiederholt sich der Vorgang, ebenso wie die Welle nach einer vollen Periode wieder von vorn beginnt.

Eigenschaft von Wellen ist der feste Zusammenhang zwischen der räumlichen und der *zeitlichen* Periodenlänge, üblicherweise als *Periodendauer* T bezeichnet. Dies rührt daher, dass die Welle eine feste Ausbreitungsgeschwindigkeit c besitzt, und daher stets dieselbe Zeit T benötigt, um eine volle Wellenlänge λ zurückzulegen,

$$\lambda = c \cdot T \,.$$

Für elektromagnetische Wellen ist die Ausbreitungsgeschwindigkeit im Vakuum eine fundamentale Naturkonstante. Oft gebraucht man auch den Begriff der *Frequenz* einer Wellen, womit die Häufigkeit gemeint ist, mit der sich der periodische Vorgang wiederholt. Sie ist folglich der Kehrwert der Periodendauer und wird üblicherweise bezeichnet mit dem Symbol $\nu = 1/T$.
Die Phase ϕ_0 einer Welle legt fest, welchen Wert die periodische Größe an einem bestimmten Zeitpunkt t_0 annimmt - ob sie beispielsweise ein Maximum annimmt oder, wie im Beispiel in Abb. 1 zum Zeitpunkt $t_0 = 0$ gerade einen Nulldurchgang hat. Mit dieser Kenntnis ist zusammen mit der Wellenlänge und der Amplitude der gesamte Verlauf der periodischen Größe festgelegt. So spricht man beispielsweise von der *Mondphase*, und bringt damit zum Ausdruck, in welcher Position seiner Umlaufbahn um die Erde sich der Mond gerade befindet. Weil der Begriff der Phase eine zentrale Rolle bei der Beschreibung von Interferenzerscheinungen spielt, soll er hier etwas ausführlicher erklärt werden. Dazu führen wir die sog. *Zeigerdarstellung* ein, bei der die periodische Größe als Auslenkung eines Zeigers aufgefasst wird, welcher innerhalb einer Periodendauer T auf einem Kreis mit dem Radius der Amplitude A der Welle umläuft, ähnlich wie die Zeiger auf einer Uhr (allerdings konventionsgemäß *entgegen* dem Uhrzeigersinn!), s. Abb. 1. Den Winkel, den dieser Zeiger zum Zeitpunkt t gegen die positive horizontale Achse bildet, bezeichnet man als die momentane Phase $\phi(t)$ der Welle. Für einen kompletten Umlauf, den der Zeiger in der Periodendauer T absolviert, beträgt dieser Winkel 2π, eine volle Periode. Wie wir im nächsten Abschnitt sehen werden, hat diese momentane Phase großen Einfluss darauf, wie sich zwei (oder mehrere) Wellen überlagern.

Interferenz

Wenn sich zwei (oder mehrere) Wellen überlagern, können charakteristische Muster auftreten, die aus dem Zusammenspiel der Maxima und Minima der beiden überlagerten Wellen entstehen. Man fasst diese Erscheinungen unter dem Begriff *Interferenz* zusammen. Im Falle von Licht führt dies dazu, dass sich zwei Strahlen gegenseitig vollkommen auslöschen können, und dass sich die Strahlen nicht wie sonst üblich geradlinig auszubreiten, sondern *gebeugt* werden, d. h. "um die Ecke" zu gehen scheinen.

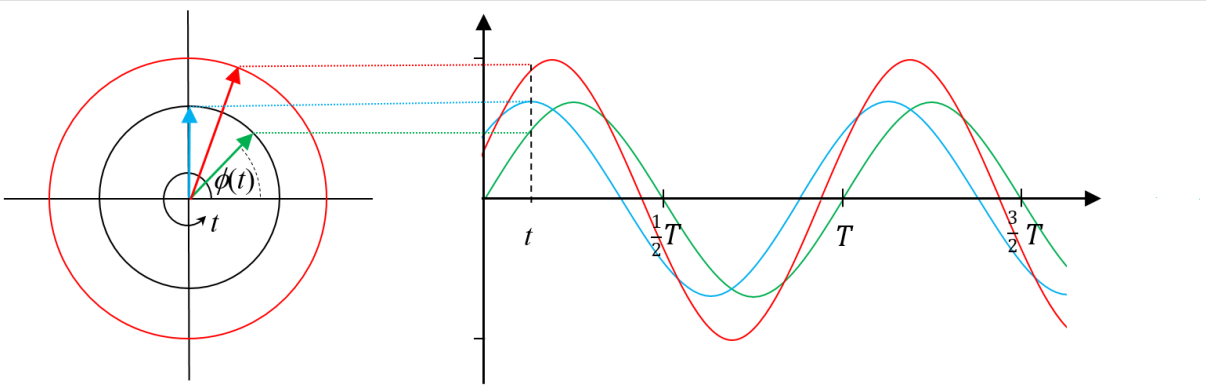


Abbildung 2: Zwei Wellen (grün, blau) mit derselben Amplitude und Periodendauer sowie einer Phasenveschiebung $\Delta\phi$ überlagern sich zu einer neuen Welle (rot) mit derselben Periodendauer, aber einer anderen Phasenlage und Amplitude.

Während man allgemeine Wellen beliebig überlagern kann, sind bei Licht wegen der sehr kurzen Periodendauer im Bereich von 10^{-15} s nur dann statische Interferenzerscheinungen zu beobachten, wenn die überlagerten Wellen dieselbe Wellenlänge besitzen und *kohärent* sind. Unter Kohärenz versteht man die Eigenschaft, dass die überlagerten Wellen über beobachtbare Zeiträume eine konstante Phasenbeziehung besitzen, also im Zeigerdiagramm einen konstanten Winkel bilden, s. Abb. 2. Für natürliche Lichtquellen lässt sich im Experiment Kohärenz nur dadurch erzielen, dass man einen Lichtstrahl mit sich selbst überlagert, indem man ihn durch ein beugendes Hindernis oder einen Strahlteiler aufspaltet, und nach durchlaufen unterschiedlicher Strecken wieder zusammenführt. Der Grund dafür ist die endliche Länge eines Wellenzugs, so dass sich zwei verschiedene Wellenzüge immer nur für sehr kurze Zeit überlagern lassen. Folglich überlagern sich ständig unterschiedliche Wellenzüge mit veränderlicher Phasenbeziehung, und es entsteht eine gemittelte Überlagerung ohne feste Interferenzerscheinungen.

Im Grunde erhält man für jede beliebige Phasenbeziehung der überlagerten Wellen eine resultierende Welle mit derselben Wellenlänge, deren Phase und Amplitude jedoch von der der beiden ursprünglichen Wellen verschieden sein wird, wie man am Beispiel in Abb. 2 gut sieht. Zwei spezielle Situationen sind aber sowohl für das Verständnis der Interferenz als auch für die experimentelle Beobachtung von besonderer Bedeutung. Überlagert man zum einen zwei Wellen mit einer Phasenverschiebung von einer vollen Periode (oder beliebiger *ganzzahliger* Vielfacher davon, $n \cdot 2\pi$), so addieren sich die beiden Wellen einfach und die resultierende Welle hat die doppelte Amplitude. Diesen Fall nennt man *konstruktive* Interferenz. Er tritt insbesondere immer dann auf, wenn man einen Strahl teilt, und die beiden Teilstrahlen zwei verschiedene Wege laufen lässt, die sich um ein ganzzahliges Vielfaches der Wellenlänge unterscheiden, $n\lambda$, bevor sie wieder überlagert werden. Diese Differenz der Weglänge der beiden Teilstrahlen bezeichnet man als *Gangunterschied* Δs.

Umgekehrt löschen sich die beiden Wellen vollständig aus, wenn sie eine Phasenverschiebung von einer halben Periode haben (oder beliebige ganzzahlige Vielfache der Periode mehr, $(n + \frac{1}{2}) \cdot 2\pi$), da dann stets die eine Welle in die entgegengesetzt Richtung ausgelenkt ist wie die andere. Dies bezeichnet man als *destruktive* Interferenz, und sie tritt analog zur konstruktiven Interferenz immer dann auf, wenn zwei Strahlen überlagert werden, die einen Gangunterschied haben, der ein *ungeradzahliges* Vielfaches der *halben* Wellenlänge ist, $\Delta s = (2n + 1)\frac{\lambda}{2}$. Sollten die beiden überlagerten Wellen nicht dieselbe Amplitude besitzen (z. B. weil die Welle auf einem der beiden Wege an Intensität verliert durch Absorption oder Reflexion), dann löschen sie sich

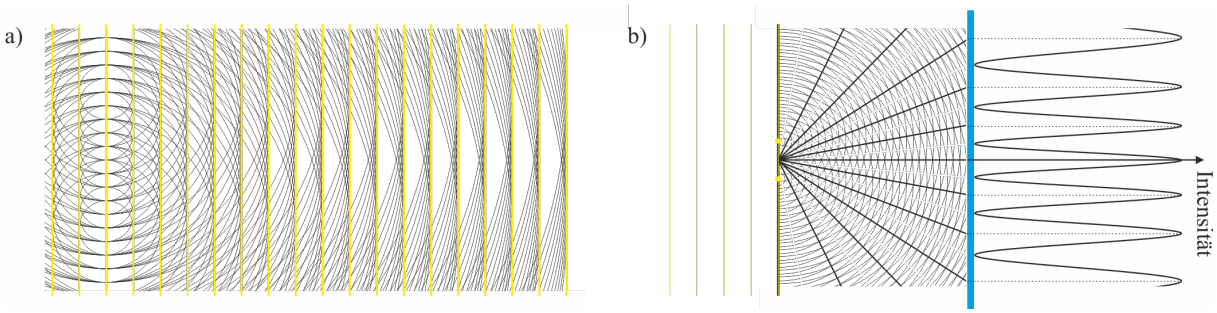


Abbildung 3: Beispiele zum Huygensschen Prinzp. (a) Elementarwellen entlang einer geradlinigen Wellenfront ergeben wieder dieselbe Welle. (b) Ein idealisierter Doppelspalt liefert die Überlagerung von zwei Elementarwellen, deren Interferenz als Streifenmuster auf einem Schirm (blau) beobachtet werden kann - rechts ist die Intensitätsverteilung am Schirm gezeigt.

zwar nicht vollständig aus, die Helligkeit nimmt aber dennoch ein deutlich erkennbares Minimum an. Im Experiment sind konstruktive und destruktive Interferenz sehr gut zu beobachten und insbesondere gut zu unterscheiden, daher wird man sich ausschließlich mit diesen beiden Fällen befassen.

Huygenssches Prinzip

Die Wellen, die uns im Experiment begegnen, sind natürlich keine die idealisierten Sinusfunktionen, die wir bisher bei der Diskussion von Welleneigenschaften und Interferenz betrachtet haben. Licht und Schallwellen breiten sich im dreidimensionalen Raum aus und bilden sog. Wellenfronten, die wir mit Hilfe des *Huygensschen Prinzips* beschreiben. Die Idee dabei ist, dass jeder Punkt im Raum als Ursprung einer *Elementarwelle* aufgefasst wird, welche sich in alle Richtungen gleichmäßig ausbreitet, s. Abb. 3. Die Wellenfront einer solchen Elementarwelle ist daher kugelförmig, d. h. jeder Punkt auf einer Kugel mit beliebigem Radius um den Ursprung der Elementarwelle hat dieselbe Phase. Eine reale Welle setzt sich nun aus der Überlagerung all dieser Elementarwellen zusammen, so entsteht beispielsweise eine geradlinige Wellenfront wie in Abb. 3 (a) aus der Überlagerung der kugelförmigen Elementarwellen entlang eben dieser Wellenfront, da sich alle Beiträge der einzelnen Elementarwellen aufheben, die nicht parallel zu dieser Wellenfront verlaufen.

Beugung

Mit Hilfe des Huygensschen Prinzips können wir auch leicht das Phänomen der Beugung am Doppelspalt begreifen. Dazu betrachten wir in Abb. 3 (b) eine ausgedehnte, gerade Wellenfront, welche auf einen Doppelspalt trifft. Die Welle wird fast vollständig von der Wand blockiert, nur an den beiden Spaltöffnungen, die wir hier idealisiert als *punktförmig*, d. h. beliebig schmal ansehen, entstehen neue Wellenfronten aus der Überlagerung der beiden Elementarwellen an diesen Spalten. Fassen wir die durchgezogenen Wellenfronten beispielsweise als Wellenberge auf, so erkennen wir, dass sich die Maxima der beiden Elementarwellen an strahlenförmig von den Spalten nach außen laufenden Orten zu Beugungsmaxima überlagern, in der Skizze angedeutet durch schwarze Strahlen. Das Licht scheint sich also hinter dem Doppelspalt nicht mehr in der Richtung auszubreiten, in der es von links auf den Spalt zugelaufen ist. Daneben beobachten wir zwischen den Orten der Überlagerung von Maxima eine Überlagerung der Maxima der einen Elementarwelle mit den Minima der anderen (angedeutet durch weiße Strahlen), wo sich die beiden Wellen also auslöschen. Platzieren wir nun einen Schirm (in blau gezeigt) in einiger

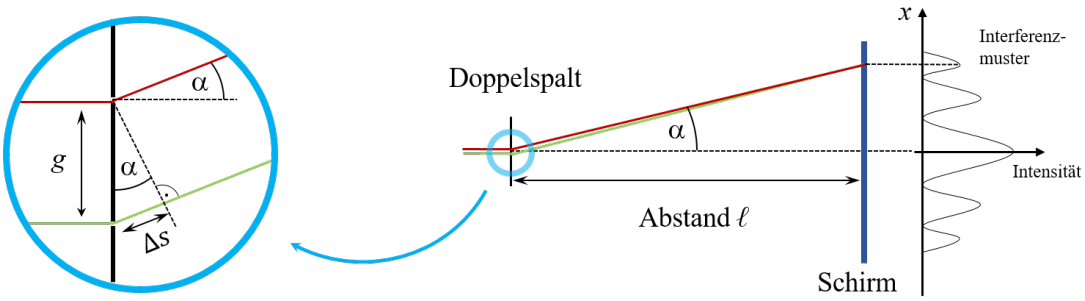


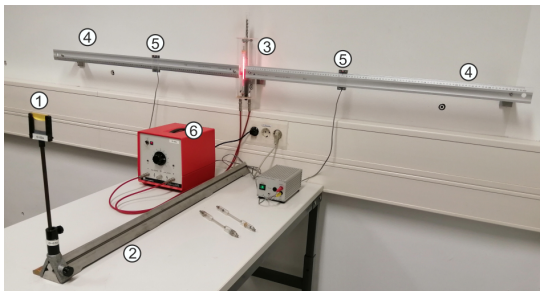
Abbildung 4: (links) Idealisierter Doppelspalt mit punktförmigen Spalten und zwei parallel unter einem Winkel α gegen die Einfallsrichtung verlaufenden Strahlen (rot bzw. grün) – geometrischer Zusammenhang zwischen dem Gangunterschied Δs, dem Abstand g der beiden Spalten und dem Winkel α. (rechts) Schematische Anordnung des Versuchsaufbaus und Intensitätsverteilung des Interferenzmusters am Beobachtungsschirm.

Entfernung hinter den Doppelspalt, so zeigt sich darauf das Beugungsmuster des Doppelspalts mit abwechselnden Streifen aus maximaler Helligkeit und Dunkelheit. Die Intensitätsverteilung des Beugungsmusters am Schirm ist ganz recht gezeigt.

Wir können nun leicht aus der Geometrie der Anordnung von Schirm und Spalt die Orte auf dem Schirm, an denen sich die Maxima bzw. Minima befinden, mit der Wellenlänge des Lichts und dem Abstand der beiden Spalte in Zusammenhang bringen. Betrachten wir dazu die Skizze in Abb. 4. Wir gehen hier davon aus, dass der Abstand ℓ zwischen Spalt und Schirm sehr groß ist verglichen mit den übrigen Längen in der Anordnung, also der Wellenlänge λ, dem Abstand der beiden Spalte g, und der Position x auf dem Schirm (diese Art der Beobachtungsweise wird *Fraunhofersche Beugung* genannt). Dadurch verlaufen die sich am Schirm überlagernden Strahlen nahezu parallel unter dem Winkel α gegen die Einfallsrichtung. Die Breite der beiden Spalte vernachlässigen wir hier, da sie auf das Muster des Beugungsbildes beim Doppelspalt keinen direkten Einfluss hat, sondern nur zu einer Modulation der Helligkeit mit dem Beugungsmuster des Einzelspalts führt.

> *Selbststudium*: Leiten Sie anhand der Skizzen in Abb. 4 einen Ausdruck für die Wellenlänge λ in Abhängigkeit der Größen g, x und ℓ her. Nutzen Sie dabei aus, dass der *Gangunterschied* Δs der beiden Strahlen ein ganzzahliges Vielfaches n der Wellenlänge, λ sein muss, damit unter dem Winkel α auf dem Schirm ein Beugungsmaximum zu beobachten ist. Wegen $\ell \gg x$ können Sie dabei die Näherung machen $\sqrt{\ell^2 + x^2} \approx \ell$.

Analog können wir die Beugung am Gitter betrachten. Ein Gitter besteht aus sehr vielen Spalten in einem Abstand g, der dann als Gitterkonstante bezeichnet wird. Die Beugungsbedingung für ein Maximum ist offensichtlich dieselben wie beim Doppelspalt, da hier die Strahlen von jeweils benachbarten Spalten einen Gangunterschied $\Delta s = n\lambda$ haben müssen für ein Maximum, und somit der Strahl des übernächsten Spaltes automatisch einen Gangunterschied von $(n+1)\lambda$ hat und ebenfalls konstruktiv interferiert. Das Interferenzmuster eines Gitters mit N Spalten unterscheidet sich im Detail von dem eines Doppelspalts, was wir in diesem Experiment jedoch nicht beobachten können.



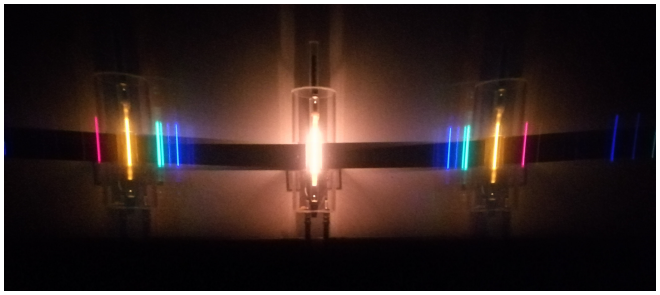


Abbildung 5: (*links*) Versuchsaufbau – ① Gitter, ② optische Bank, ③ Spektralröhre, ④ Messstab, ⑤ Leuchtmarker, ⑥ Hochspannungsnetzgerät; (*rechts*) Interferenzbild der He-Röhre.

Spektrallampen

Bei der Entwicklung der Atomphysik zu Beginn des 20. Jahrhunderts spielten Spektrallampen eine zentrale Rolle. Sie zeigten die quantisierten Energieniveaus der unterschiedlichen Elemente, die nicht mit einem klassischen Verständnis erklärt werden konnten. Heute werden Natriumdampflampen in Straßenlaternen verwendet, und Leuchtstoffröhren sowie Energiesparlampen basieren auf Quecksilberdampflampen. Ihre Funktionsweise beruht auf der Stoßanregung von Atomen eines Gases oder Dampfes mit geringem Druck durch Elektronen, die durch ein hohes elektrisches Feld beschleunigt werden. Dabei übertragen die freien Elektronen einen Teil ihrer kinetischen Energie auf das Atom und regen so ein gebundenes Elektron auf ein höheres Energieniveau an. Dieser angeregte Zustand zerfällt umgehend wieder, und die frei werdende Energie wird in Form von Licht abgegeben, dessen Wellenlänge durch die Energieniveaus des Atoms festgelegt ist. Somit lässt sich aus dem Spektrums des Atoms seine elektronische Struktur bestimmen. Außerdem ist das Spektrum charakteristisch für das Element und kann daher zur Analyse des untersuchten Materials verwendet werden.

Versuchsaufbau

In diesem Versuch wird das Beugungsbild einer Spektralröhre direkt mit dem Auge durch das Gitter beobachtet, s. Abb. 5 rechts. Der gesamte Aufbau ist auf dem Foto in Abb. 5 links zu sehen. Die Spektralröhre ③ ist zentriert zwischen zwei Messstäben ④ an der Wand montiert und befindet sich zum Schutz vor der im Betrieb an der Röhre anliegenden Hochspannung in einem durchsichtigen Kunststoffgehäuse. Auf den Messstäben auf beiden Seiten der Röhre sind bewegliche Leuchtmarker ⑤ angebracht, mit denen die Positionen der Beugungslinien markiert werden können. Zum wechseln der Röhre muss die Hochspannung am Netzgerät ⑥ stets abgestellt werden. Das Gitter ① ist auf einer optischen Bank ② fixiert, die zentral vor der Spektralröhre ausgerichtet sein soll.

> *Selbststudium*: Für die Auswertung wird der Abstand ℓ zwischen Gitter und Schirm benötigt, s. Abb. 4. In diesem Versuch gibt es keinen Schirm, auf dem das Interferenzmuster zu sehen ist. Wie wird dieser Abstand hier bestimmt?

Versuchsdurchführung und Auswertung

Für die Messung muss das Labor weitgehend abgedunkelt werden. Vergewissern Sie sich, dass die Hochspannung ausgeschaltet ist, bevor Sie die Spektralröhren einsetzen. Lösen Sie dann die

Sicherungsschraube an der oberen Kunststoffabdeckung der Röhrenhalterung, um diese abzunehmen, und setzen Sie zunächst die Wasserstoffröhre ein. Setzen Sie die Abdeckung wieder auf und spannen Sie die Röhre in den Kontakten ein – dazu ist kein großer Druck erforderlich. Befestigen Sie die Abdeckung wieder mit der Sicherungsschraube. Erhöhen Sie nun langsam die Spannung am Netzgerät, bis die Röhre zündet. Da die Zündspannung etwas höher liegt als die Betriebsspannung, können Sie die Spannung nun wieder etwas verringern. Es kann vorkommen, dass sich in der Röhre eine Schallwelle ausbildet und ein hochfrequentes Geräusch zu hören ist. Dies können Sie abstellen, indem Sie die Spannung ein wenig verändern.

1. Bestimmung der Gitterkonstante

Das H_2-Molekül hat ausgedehnte Spektralbanden statt diskreter Linien. Einzelne Übergänge sind aber sehr deutlich zu erkennen, darunter eine isolierte rote Linie mit der Wellenlänge $\lambda = 656$ nm, sowie eine starke blaugrüne Linie mit der Wellenlänge $\lambda = 486$ nm (nicht zu verwechseln mit einer benachbarten Linie bei etwas größerer Wellenlänge!).

Durchführung:

1. Nutzen Sie die gut zu erkennende rote H_2-Linie (656 nm) um das Gitter richtig auszurichten. Die Linien sollten zu beiden Seiten in etwa den gleichen Abstand zum Zentrum haben. Richten Sie dazu ggf. die optische Bank rechtwinklig zur Wand und zentral unter der Spektrallampe aus und stellen Sie das Gitter im Abstand von ca. 1 m parallel zur Wand.
2. Notieren Sie den Abstand des Gitters zur Spektrallampe mit Unsicherheit im Messprotokoll.
3. Betrachten Sie die Spektrallampe durch das Gitter mit möglichst geringem Abstand von Ihrem Auge, um Parallaxefehler möglichst gering zu halten.
4. Platzieren Sie die Leuchtmarker auf beiden Seiten so, dass sie sich mit der ersten Beugungsordnung der roten Linie decken, und protokollieren Sie die Positionen x_{links} und x_{rechts} jeweils mit Unsicherheit. Benutzen Sie zum Ablesen der Positionen ggf. die Taschenlampe.
5. Messen Sie genauso die erste Beugungsordnung der starken blaugrünen Linie.
6. Wiederholen Sie die Messung abwechselnd für beide Linien insgesamt fünfmal. Um eine sinnvolle Messstatistik zu erzielen, ist es nicht sinnvoll, fünfmal hintereinander dieselbe Linie zu messen, weil dabei eine zu starke Abhängigkeit der einzelnen Messwerte entsteht. Wechseln Sie sich mit Ihrem Partner ab, wer die Linien betrachtet und wer die Marker verschiebt.

Auswertung:

1. Mitteln Sie die fünf Messwerte des Abstands der roten Linie *separat* für die linke und die rechte Seite, $\bar{x}_{\text{links}}$ bzw. $\bar{x}_{\text{rechts}}$, und bestimmen Sie jeweils die Unsicherheit.
2. Bilden Sie den *gewichteten* Mittelwert $\langle x \rangle$ der beiden Abstände $\bar{x}_{\text{links}}$ und $\bar{x}_{\text{rechts}}$ sowie dessen Unsicherheit.
3. Berechnen Sie mit Hilfe des oben hergeleiteten Ausdrucks für die Interferenzbedingung die Gitterkonstante g mit Unsicherheit.
4. Bestimmen Sie auf dieselbe Weise die Gitterkonstante erneut aus der Messung der blaugrünen Linie.
5. Bestimmen Sie den *gewichteten* Mittelwert der beiden errechneten Gitterkonstanten und geben Sie die zugehörige Unsicherheit an.

2. Untersuchung des Spektrums von Helium

Da Helium ein einatomiges Gas ist, zeigt es diskrete Spektrallinien, die sich leicht vermessen lassen lassen. Im sichtbaren Spektralbereich hat Helium sieben Linien, von denen zwei sehr nah beieinander liegen und nicht immer getrennt aufgelöst beobachtet werden können. Teilweise erkennt man nach eine achte Linie am Rand zum UV.

> *Selbststudium*: Recherchieren Sie die Literaturwerte der Wellenlängen im Heliumspektrum, um sie in der Diskussion mit Ihren Ergebnissen vergleichen zu können.

Durchführung:
Drehen Sie zunächst die Hochspannung vollständig herunter und schalten Sie das Netzgerät aus. Wechseln Sie nun wie oben beschrieben die Spektralröhre und setzen die He-Röhre ein.

1. Überprüfen Sie die Ausrichtung des Gitters und den Abstand zur Lampe und protokollieren Sie ggf. den Abstand erneut mit Unsicherheit.
2. Messen Sie beidseitig die Positionen aller erkennbaren Spektrallinien mit Unsicherheit. Protokollieren Sie außerdem die relative Helligkeit der verschiedenen Linien qualitativ.
3. Wiederholen Sie die Messung erneut fünfmal. Gehen Sie wieder so vor, dass sie zuerst alle Linien des Spektrums nacheinander messen, bevor Sie die nächste Wiederholung beginnen. Wechseln Sie sich erneut mit Ihrem Partner am Gitter und an den Markern ab.

Auswertung:

1. Bestimmen Sie nach derselben Methode wie im ersten Teil zunächst für alle Spektrallinien den Mittelwert der Abstände auf den beiden Seiten, $\bar{x}_{\text{links}}$ und $\bar{x}_{\text{rechts}}$ sowie deren Unsicherheit.
2. Berechnen Sie für alle Linien den gewichteten Mittelwert $\langle x \rangle$ aus den beiden Abständen $\bar{x}_{\text{links}}$ und $\bar{x}_{\text{rechts}}$ sowie die zugehörige Unsicherheit.
3. Berechnen Sie daraus die Wellenlänge der einzelnen Spektrallinien mit Unsicherheit und tragen diese maßstabsgetreu grafisch auf. Deuten Sie in dieser Abbildung die relative Helligkeit der Linien in geeigneter Weise an.

Zusammenfassung, Bewertung und Fazit

Der Bericht soll mit einer Zusammenfassung der Messergebnisse und ihrer Beurteilung abgeschlossen werden. Vergleichen Sie Ihre Ergebnisse mit den Literaturwerten. Welche Erkenntnisse hat dieses Experiment geliefert?