

## Thema: Experimente mit Wellen und Quantenobjekten

Im Mittelpunkt stehen Vermessungen regelmäßiger Strukturen. In der ersten Aufgabe wird dazu ein historisches Experiment mit Hilfe von Ultraschall nachgestellt. In der zweiten Aufgabe wird das Originalexperiment ausgewertet, das mit Helium-Atomen durchgeführt wurde. In der dritten Aufgabe geht es mit den Untersuchungen rund um ein WIEN-Filter (oft auch Geschwindigkeits-Filter genannt) um eine wesentliche Voraussetzung dieses Originalexperimentes.

### Aufgabenstellung

#### Aufgabe 1

Diese Aufgabe bildet das erste Interferenz-Experiment nach, das mit Heliumatomen durchgeführt wurde. Das Prinzip dieses Experiments ist in Material 1 (M1) dargestellt. Es soll mit Hilfe von Ultraschall nachgebildet werden.

- 1.1** Für die Durchführung des Experimentes benötigt man die Kenntnis der Wellenlänge des verwendeten Ultraschalls.

Beschreiben Sie ein Experiment zur Bestimmung der Wellenlänge von Schall mit zwei Sendern und einem Mikrofon, indem Sie eine geeignete Skizze hinzuziehen.

[5 BE]

- 1.2** Eine andere Methode, eine unbekannte Wellenlänge zu bestimmen ist die Messung der Frequenz des Senders.

Ermitteln Sie die Frequenz des Ultraschalls aus dem Diagramm in M2 so genau wie möglich.

Bestätigen Sie, dass bei einer Schallgeschwindigkeit von  $c = 345 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  die Wellenlänge

$\lambda = 0,86 \text{ cm}$  beträgt.

[6 BE]

- 1.3** Analog zum Interferenzexperiment mit Helium-Atomen wird ein Experiment mit Ultraschall durchgeführt. Als Quelle wird ein Ultraschall-Sender und als Empfänger ein Mikrofon verwendet. An Stelle der Atome in der Kristall-Oberfläche werden zwei gebogene Gegenstände aus Kunststoff eingesetzt, wie M3 zeigt. Wenn man das Mikrofon längs des Kreisbogens vom Sender weg bewegt, beobachtet man abwechselnd Minima und Maxima der Amplitude.

Erklären Sie diese Erscheinung in der Zeigerdarstellung oder einer anderen geeigneten Darstellung. Ihre Erklärung soll von mindestens einer Skizze begleitet sein.

[5 BE]

- 1.4** In M4 sind Messdaten angegeben, die man in dem Experiment gewonnen hat.

Stellen Sie die Messdaten in einem Winkel-Amplituden-Diagramm zeichnerisch dar.

Für die Lage der Maxima in diesem Experiment gilt näherungsweise die Gleichung

$$n \cdot \lambda = d \cdot \sin(\alpha).$$

Überprüfen Sie für ein selbst gewähltes Maximum, ob die Angaben für die Wellenlänge  $\lambda$  und für den Abstand  $d$  der beiden Kunststoff-Körper zu dieser Gleichung passen.

Erklären Sie, wie dieses Experiment zur Messung des Abstandes  $d$  verwendet werden kann.

[10 BE]

**Aufgabe 2**

In dem Original-Experiment mit Heliumatomen wurde ein Atom-Strahl aus einer Druckgasflasche auf einen Kristall aus Lithium-Fluorid (LiF) gerichtet. Die für die Erscheinungen wesentlichen Vorgänge finden genau wie im Ultraschall-Experiment nur an der obersten Schicht von Atomen statt. Die Atome sind in dieser Schicht regelmäßig angeordnet und weisen einen konstanten Abstand von  $d = 201 \text{ pm}$  auf.

Hinweis: Die Tatsache, dass ein LiF-Kristall genau genommen aus einer abwechselnden Folge von Lithium- bzw. Fluorid-Ionen besteht, spielt für die Bearbeitung der Aufgabe keine Rolle.

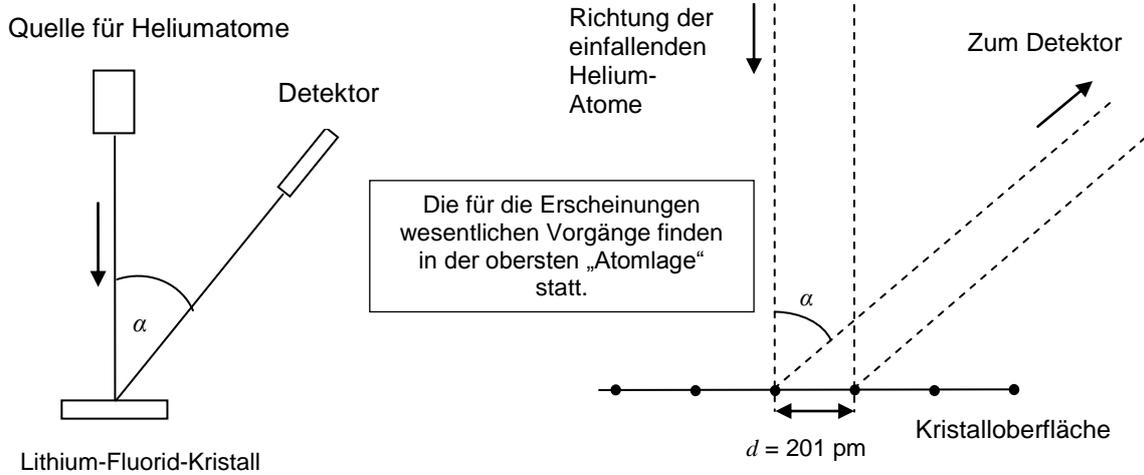
- 2.1** Ermitteln Sie aus den Messdaten in M5 und der Gleichung aus 1.4 die Wellenlänge möglichst genau, die den Heliumatomen in diesem Experiment zukommt.  
Die den Heliumatomen zugeordnete Wellenlänge nennt man die DEBROGLIE-Wellenlänge. Auch für Helium-Atome gilt die DEBROGLIE-Gleichung  $\lambda = \frac{h}{m \cdot v}$ .  
Nennen Sie die Bedeutung der in dieser Gleichung auftretenden Symbole. **[6 BE]**
- 2.2** Erläutern Sie, dass es in gleichartigen Experimenten selbst dann zur Interferenz kommt, wenn in jedem Zeitintervall jeweils nur ein einzelnes Quantenobjekt in der Apparatur unterwegs ist. **[4 BE]**
- 2.3** Aus einer Druckgasflasche ausströmende Helium-Atome weisen keine einheitliche Geschwindigkeit auf; die oben angegebenen Werte sind daher jeweils nur Mittelwerte über eine Verteilung, die sowohl größere als auch kleinere Geschwindigkeiten enthält.  
Stellen Sie eine begründete Hypothese darüber auf, wie sich diese Tatsache auf das Interferenzmuster auswirkt. **[3 BE]**

**Aufgabe 3**

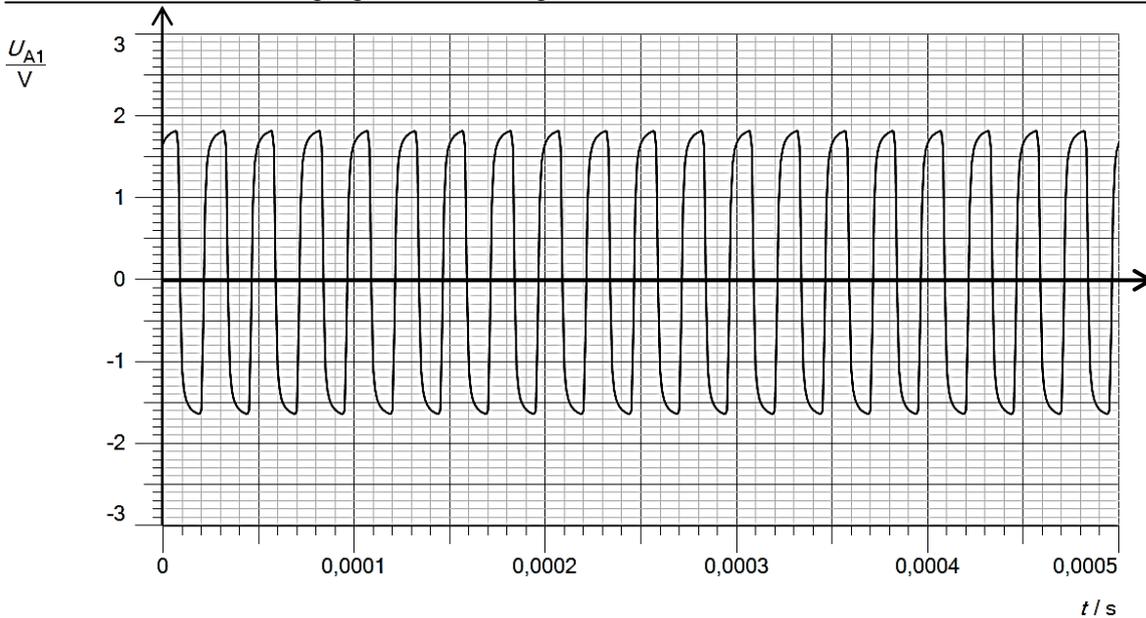
Wenn man Helium-Kerne verwenden würde, könnte zur Geschwindigkeitsmessung ein WIEN-Filter verwendet werden, dessen Prinzip in M6 dargestellt ist.

- 3.1** Erläutern Sie, auf welche Weise die in einem WIEN-Filter vorliegenden Felder eine Messung der Geschwindigkeit der Kerne erlauben, wobei Sie insbesondere die Skizze in M6 um die für Ihre Erläuterung notwendigen physikalischen Größen ergänzen. **[6 BE]**
- 3.2** Bei der Messung der magnetischen Flussdichte  $B$  (magn. Feldstärke  $B$ ) wurde als Magnetfeldsensor eine Hallsonde benutzt.  
Zeichnen Sie in M7 die zur Deutung des HALL-Effekts erforderlichen Kräfte und die Richtung des elektrischen Feldes ein.  
Erklären Sie Ihre Darstellung. **[5 BE]**
- 3.3** Um ein geeignetes Magnetfeld für den Geschwindigkeitsfilter zu erzeugen, könnte eine Anordnung aus zwei Spulen verwendet werden. In einem Experiment (M8) werden Werte der magnetischen Flussdichte  $B$  zwischen zwei Spulen entlang der Spulenchse gemessen. Dabei sind die Felder der beiden Spulen entgegengesetzt gerichtet.  
Hinweis: Die magnetische Flussdichte  $B$  heißt manchmal auch magnetische Feldstärke  $B$ .  
Ermitteln Sie aus den Messwerten in M9 den zwischen  $x$  und  $B$  bestehenden funktionalen Zusammenhang  $B = f(x)$ , wobei Sie ihr Vorgehen in der aus dem Unterricht bekannten Weise dokumentieren.  
Stellen Sie eine begründete Hypothese zur Entstehung des Messwertes bei 2 cm auf. **[10 BE]**

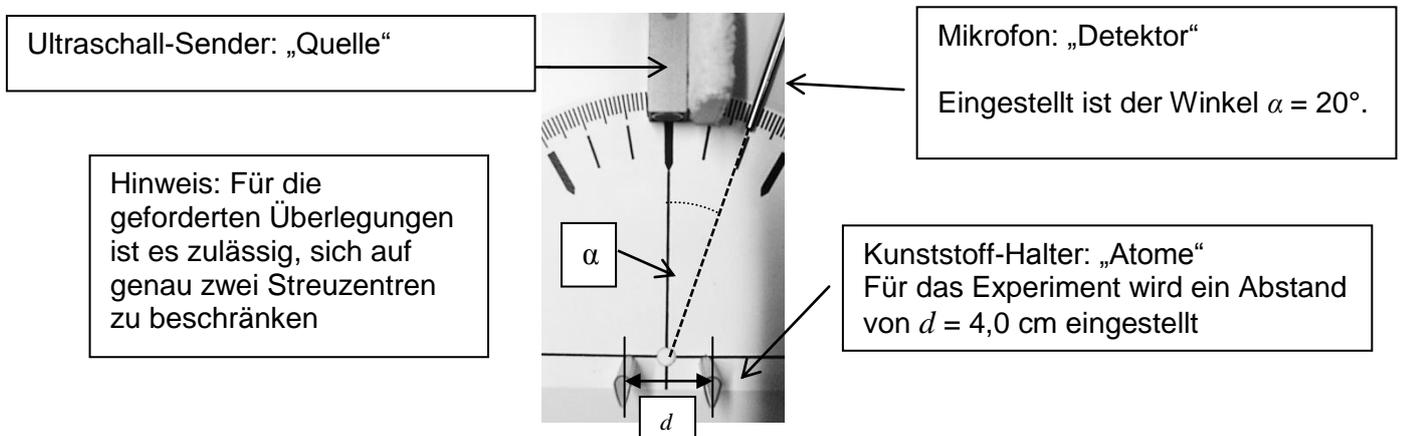
**Material**



**M1:** Links: Prinzip-Skizze des Versuchsaufbaus, rechts: Detailansicht der Kristalloberfläche.  
Hinweis: Für die Überlegungen ist es zulässig, sich auf zwei Streuzentren zu beschränken.



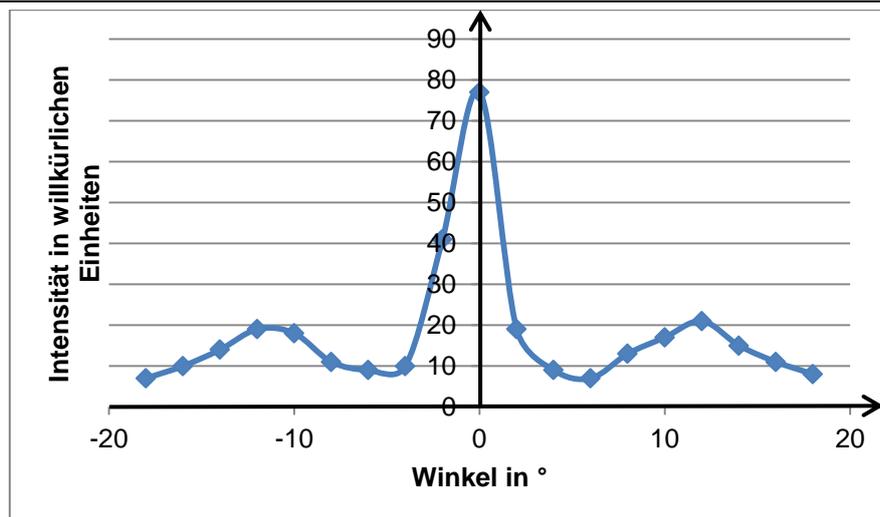
**M2:** Zeit-Spannungs-Diagramm am Ausgang des Ultraschall-Generators.



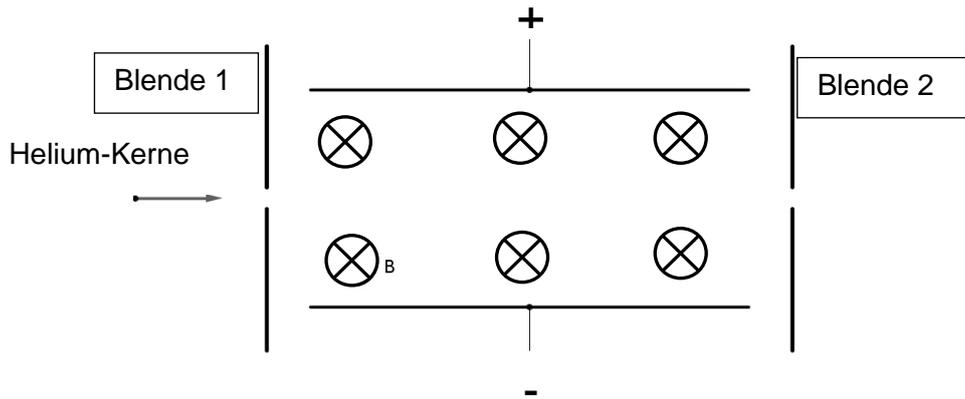
**M3:** Ausschnitt aus dem Versuchsaufbau mit Ultraschall. Rechts neben dem Ultraschall-Sender steht ein mit Stoff überzogener Absorber. Er verhindert direkte Schallübertragung zum Mikrofon.

Winkel in °	Amplitude in mV
8	52,8
10	133,7
13	141,1
15	102,7
17	60,0
18	11,3
20	62,4
23	119,6
25	141,1
28	111,0
30	44,5
31	12,0
33	48,0
35	105,5
38	136,8
40	140,0

**M4:** Messdaten aus dem Analogexperiment mit Ultraschall für  $d = 4,0$  cm.

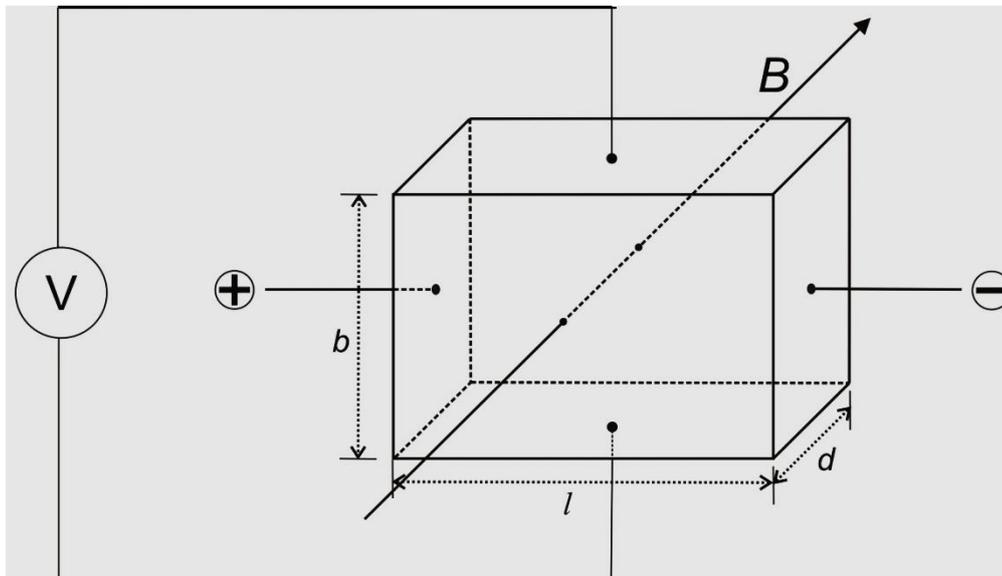


**M5:** Messdaten aus dem Originalexperiment für einen Kristall mit  $d = 201$  pm Abstand zwischen den Atomen. Das Originalexperiment wurde im Jahr 1931 von ESTERMANN und STERN durchgeführt.

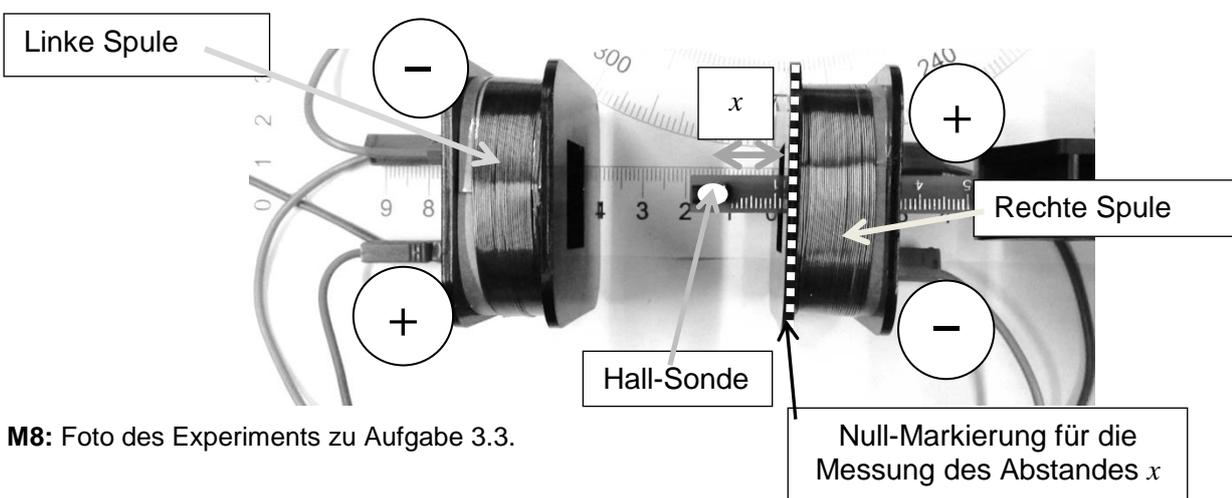


**M6:** Messeinrichtung zur Bestimmung der Geschwindigkeit der Helium-Kerne.

Das magnetische Feld mit der Flussdichte  $B$  (Feldstärke  $B$ ) ist im gesamten Bereich der Anordnung gleich stark und gleich gerichtet.



**M7:** Zeichnung zum Hall-Effekt. Der Leiter befindet sich in einem homogenen Magnetfeld.



**M8:** Foto des Experiments zu Aufgabe 3.3.

Position $x$ zwischen den beiden Spulen in cm	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
$B$ in mT	-1,14	-0,82	-0,50	-0,22	0,00	0,20	0,52	0,80	1,12

**M9:** Messwerte zum Experiment aus M8.

### Hilfsmittel

- Taschenrechner
- Eine von der Schule eingeführte für das Abitur zugelassene physikalische Formelsammlung
- Eine von der Schule eingeführte für das Abitur zugelassene mathematische Formelsammlung