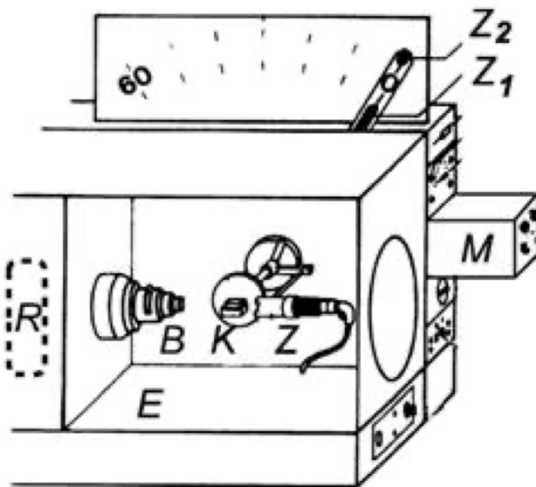


## 1. Aufgaben

- Aufgabe:** Die Intensität (Pulsrate  $R$  des Geiger-Müller-Zählrohrs) der Röntgenstrahlen, die von einem LiF Einkristall reflektiert werden, wird mit einem Röntgengerät in Abhängigkeit des Brechungswinkels  $\Theta$  für fünf verschiedene Anodenspannungen  $U_{AS}$  gemessen. Der Brechungswinkel wird in die Wellenlänge  $\lambda$  mit dem Bragg Gesetz, unter Berücksichtigung der Gitterabstände des LiF Kristalls ( $d_{LiF} = 201.4 \text{ pm}$ ), umgerechnet. Die kurzwellige Grenze  $\lambda_{min}$  des Röntgenspektrums wird von den Auftragungen  $R(\lambda)$  grafisch bestimmt. Mit diesen Werten und der linearen Gleichung  $E \cdot U_{AS} = h \cdot f_{max}$ , wird das Plancksche Wirkungsquantum  $h$  aus der Steigung der Auftragung der Gleichung bestimmt.
- Aufgabe:** Mit dem Röntgengerät (Mo-Anode und eingebauter Zr-Filter:  $\lambda_{Ka} = 71.1 \text{ pm}$ ) werden die Bragg-/Glanzwinkel eines NaCl Einkristalls bestimmt. Berechnen Sie den Gitterabstand  $d$  von NaCl und vergleichen Sie es mit dem Literaturwert  $d_{NaCl} = 282.5 \text{ pm}$ .

## 2. Versuchsaufbau



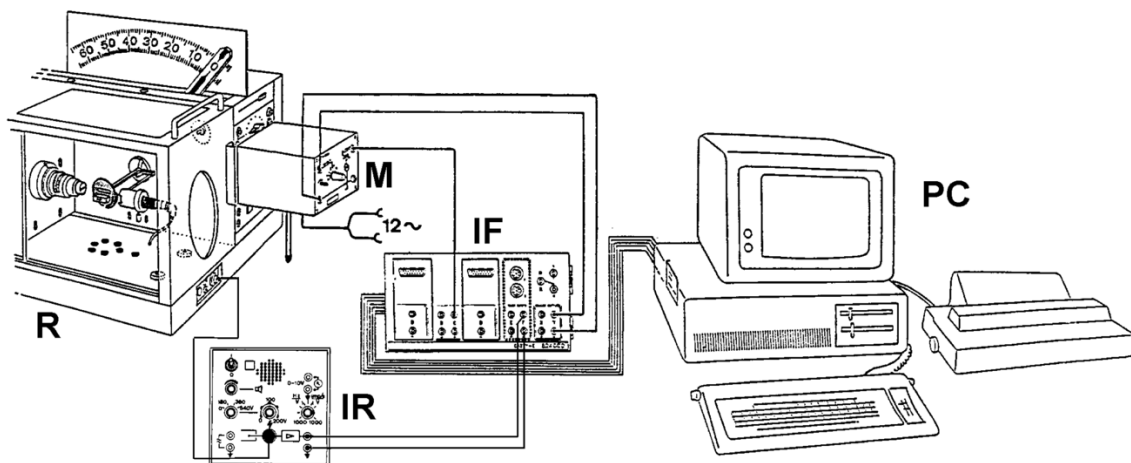
**Abb. 2.1:** Röntgengerät mit Röntgenröhre (R), Experimentierkammer (E), Blende (B), Kristall (K), Zählrohr (Z), Zeiger 1 (Z<sub>1</sub>), Zeiger 2 (Z<sub>2</sub>), Motorantrieb (M)

Abb. 2.1 zeigt das im Versuch benutzte Röntgengerät, Abb. 2.2 den gesamten Versuchsaufbau schematisch. Die von der Röntgenröhre erzeugte Röntgenstrahlung tritt durch eine Blende (Kollimator), in die ein Filter (z.B. eine Zr-Folie) eingeschoben werden kann, in die Experimentierkammer. Die gefilterte Röntgenstrahlung trifft dort auf einen Kristall (LiF o. NaCl), der an einer senkrecht zur Strahlrichtung drehbaren Achse befestigt ist. Die Winkelstellung  $\Theta$  der Kristalloberfläche (= Lage der Netzebenen) zum einfallenden Röntgenstrahl wird mit einem Zeiger  $Z_1$  auf einer Winkelskala angezeigt. Um die gleiche Drehachse ist das Zählrohr zur Intensitätsmessung der reflektierten Röntgenstrahlung drehbar, dessen Winkelstellung  $2\Theta$  zum einfallenden Röntgenstrahl mit einem weiteren, längeren Zeiger  $Z_2$  angezeigt wird.

Beide Winkelstellungen sind verstellbar. Über eine mechanische Kopplung wird sichergestellt, dass bei Verstellen der einen die andere jeweils entsprechend nachgeführt wird. Bei der Stellung  $2\Theta = \Theta = 0$  stehen beide Zeiger  $Z_1$  und  $Z_2$  übereinander. Beachten Sie, dass es in dieser Winkelstellung keine Reflektion des Kristalls gibt, sondern der Röntgenstrahl unmittelbar, teilweise gerichtet auf das Geiger-Müller-Zählrohr trifft, was während des Experiments vermieden werden sollte. Deshalb starten alle Experimente mit einem Minimalwinkel von  $\Theta=3^\circ$ . Beachte! Der Motorantrieb wird durch eine 12 V~ Spannungsquelle versorgt.

Entsprechend der Winkelposition des Motors wird an einem Potentiometer, welches mittels Rutschkupplung mit der Motorachse verbunden ist, eine Spannung im Bereich +3V abgegriffen, die am Eingang C des Interface anliegt.

Über den Zählereingang F dieses Interface wird ebenfalls die (der Strahlungsintensität proportionale) Impulsrate  $R$  des Zählrohrs registriert, so dass eine automatische Aufnahme der Zählrate  $R(\Theta)$  oder  $R(\lambda)$  (bei bekanntem Netzebenenabstand unter Benutzung der Bragg'schen Gleichung) möglich ist.



Die Benutzung eines Computers macht es zudem möglich, die Rate  $R(\Theta)$  während der Messung auf dem Monitor sofort graphisch darzustellen und zu beurteilen.

Zusätzlich zu beachten ist, dass der Emissionsstrom der Röntgenröhre während der Messung konstant bleibt (ca. 1 mA). Dieses wird mit einem Gleichstrommesser kontrolliert. Ein Wechselspannungsmesser dient darüber hinaus zur Bestimmung der stufenweise einstellbaren (1, ..., 8) Anodenspannung  $U_A$ . Dieser ergibt sich aus dem gemessenen Effektivwert der Wechselspannung  $U$  über die Beziehung

$$U_A = \sqrt{2} \cdot 10^3 U.$$

Zur Abschirmung der Umgebung von der Röntgenstrahlung des Röntgengerätes sind die Röntgenröhre selbst und die Experimentierkammer durch Stahlplatten und Bleiglasfenster umschlossen. Das seitliche Fenster kann nur bei abgeschalteter Anodenspannung, z.B. zur Montage des Kristalls, geöffnet werden. Der Betrieb der Röntgenröhre (eingeschaltete Anodenspannung) wird durch eine rote Warnlampe auf der Oberseite des Gerätes angezeigt.

### 3. Versuchsdurchführung und Auswertung

#### 3.1 Versuchsbeginn, Winkelkalibrierung u. Winkelkorrektur

Zuerst ist das Röntgengerät (zunächst ohne Hochspannung), der Ratemesser und zuletzt die Spannungsversorgung des Stellmotors einzustellen.

Im Allgemeinen ist vor Versuchsbeginn eine Kalibrierung der Winkeleinstellung des Motors nötig. Dazu wird der Menüpunkt *Kalibrieren/Bereiche* danach *Winkelkalibrierung* gewählt, dann Start/Stop, wonach die auf dem Bildschirm dargestellte Spannung U des Motorpotentiometers auf den Wert von ca. -2,95 V gefahren wird, welcher der Winkelstellung  $2\Theta = \Theta = 0$  entsprechen sollte. Eine geringfügige Verstellung der Zeiger durch die Tasten +/-S (größerer / kleinerer Winkel /Stopp) ist nötig. Die Nullstellung wird durch F2 bestätigt, d.h. der eingestellte Spannungswert als  $2\Theta = \Theta = 0$  übernommen.

Darauf wird mit den Tasten +/-S der Winkel  $2\Theta = 60^\circ$  angefahren. Die nun im Bildschirm angezeigte Spannung entspricht  $\Theta = 30^\circ$ , was wieder durch F2 bestätigt wird. Danach ist die Kalibrierung beendet und kann mit ESC verlassen werden.

In der Auswertung der gemessenen Winkel muss berücksichtigt werden, dass die Spektren um einen Winkel  $\Delta$  versetzt erscheinen. Dieser Winkelfehler  $\Delta$  hängt stark von der benutzten Kristalloberfläche und ihrer Lage im Kristallhalter ab und wird für die erste Aufgabe gegeben, da hier kein Filter (Monochromator) verwendet werden kann.

Der Winkelfehler  $\Delta$  kann für die 2. Aufgabe mit Hilfe der Bragg-Gleichung bestimmt werden. Sind  $\Theta_1^m$  und  $\Theta_2^m$  die gemessenen Winkel für das Intensitätsmaximum in 1. und 2. Ordnung, so gilt für die Winkelkorrektur  $\Delta = \Theta_1 - \Theta_1^m = \Theta_2 - \Theta_2^m$ . Mit der Randbedingung, dass aus den korrigierten Winkeln  $\Theta_1$  und  $\Theta_2$  jeweils der gleiche Netzebenenabstand für NaCl ( $d_{\text{NaCl}} = 282.5 \text{ pm}$ ) resultiert, wird die Beziehung zur Berechnung des Winkelfehlers  $\Delta$  genutzt:

$$\tan \Delta = \frac{\sin \Theta_2^m - 2 \sin \Theta_1^m}{2 \cos \Theta_1^m - \cos \Theta_2^m} \cdot$$

### 3.1.1. 1. Aufgabe

Die Messung wird mit dem LiF-Kristall **ohne** Filter für 5 verschiedene Anodenspannungen (Stufen 4 – 8 auf der Skala) durchgeführt. Die jeweiligen Spannungen  $U_{\text{eff}}$  sind zu notieren und direkt die Hochspannung  $U_A$  zu berechnen (siehe Gleichung oben/Kap. 2)!

#### Vor der 1. Messung:

Kalibr./Bereiche: Winkelbereich:: 3 - 10,  $\hat{u}$ : 0,10

Torzeit: t: 1 s

$d_{\text{LiF}}=201.4 \text{ pm}$

**Messung:** starten: F1

#### Nach jeder Messreihe:

Screenshot: Bestimmung des Minimalwinkels  $\Theta_{\text{min}}$  (s.u.)

Berechnung des Winkelfehlers  $\Delta$

#### Nach allen Messreihen der 1. Aufgabe:

Ermitteln Sie  $\lambda_{\text{min}}$  mithilfe des Braggschen Gesetzes ( $\lambda_{\text{min}} = 2 d_{\text{LiF}} \sin(\Theta_{\text{min}})$ ).

Berechnen Sie  $f_{\text{max}} = c / \lambda_{\text{min}}$ .

Tragen Sie die lineare Gleichung  $U \cdot e = h \cdot f_{\text{max}}$ , die aus der Energieerhaltung folgt auf.

Bestimmen Sie die Plancksche Konstante (Wirkungsquantum) aus der Steigung der Auftragung mittels linearer Regression und vergleichen Sie mit Literaturwerten.

### 3.1.2. 2. Aufgabe

Die Messung um den Netzebenenabstand von NaCl zu ermitteln ist mit NaCl-Kristall und **mit** Zr-Filter, Spannungsstufe 8 durchzuführen.

#### Vor der Messung:

Kalibr./Bereiche: Winkelbereich  $\Theta$ : 3 – 25°,

Torzeit: 2: 1 s

**Messung:** starten: F1

#### Nach der Messung:

Screenshot: Ermitteln Sie die Glanzwinkel für  $n = 1, 2, 3$

Berechnen Sie  $\Delta$  aus den ersten beiden Maxima mit der oben gegebenen Gleichung

Ermitteln Sie  $d_{\text{NaCl}}$  für alle 3 Maxima Berechnen Sie einen Mittelwert und vergleichen Sie mit dem Literaturwert

### 4. Fragen zur Selbstkontrolle

- 1) Wie funktioniert eine Röntgenröhre?
- 2) Welche verschiedenen Röntgenspektren unterscheidet man (Zeichnung)?
- 3) Wieso gibt es eine kurzwellige Grenze des Bremsspektrums?
- 4) Wie kommt das charakteristische Spektrum zustande?
- 5) Wie weist man Röntgenstrahlen nach, wie, dass es sich hierbei um elektro-magnetische Wellen handelt?
- 6) Wie lautet das Braggsche Gesetz?
- 7) Wie funktioniert ein Zählrohr?