

Thema: Wellen und Quanten

Interferenzphänomene werden an unterschiedlichen Strukturen untersucht. In Aufgabe 1 wird zuerst der Spurbstand einer CD bestimmt. Thema der Aufgabe 2 ist eine Strukturuntersuchung mit der Bragg-Reflexion von Mikrowellen. In Aufgabe 3 werden Röntgenspektren untersucht.

Aufgabenstellung

Aufgabe 1

Die Beugung von Licht wird an einer CD-ROM und einer Blu-ray Disc untersucht. Diese Datenträger besitzen eine Struktur, die mit bloßem Auge nicht zu erkennen ist und als optisches Reflexionsgitter verwendet werden kann (Abb. 1). Die Gitterkonstante g einer CD-ROM soll aus experimentellen Daten bestimmt werden.

- 1.1 Bei einem Experiment zur Bestimmung des Spurbstands (entspricht dem Abstand der Stege) wird eine CD-ROM mit einem Laser ($\lambda = 532 \text{ nm}$) beleuchtet. Abb. 2 zeigt das Interferenzbild.

Planen Sie ein Experiment zur Erzeugung dieses Interferenzbildes, indem Sie eine Experimentieranleitung erstellen.

Erläutern Sie die Entstehung des Interferenzbildes.

- 1.2 Bei der Beugung am Gitter gilt folgende Formel:

$$\lambda = \frac{g}{n} \sin \alpha \quad \text{mit} \quad \alpha = \left(\tan^{-1} \frac{a_n}{e} \right)$$

λ :	Wellenlänge des Lichts
g :	Gitterkonstante
n :	Beugungsordnung
a_n :	Abstand zwischen n -tem Maximum und Maximum 0. Ordnung
e :	Abstand zwischen Gitter und Schirm
α :	Beugungswinkel

Bestimmen Sie die Gitterkonstante g der CD-ROM mit der Formel, $\lambda = 532 \text{ nm}$, $e = 32 \text{ cm}$ und der Abb. 2.

Leiten Sie mit einer geeigneten Skizze die Formel begründet her.

- 1.3 Das Experiment mit dem Laser aus Aufgabe 1.1 wird verändert: Die CD wird durch eine Blu-ray Disc ersetzt (Abb. 3a). Es ist nur das Maximum 0. Ordnung zu beobachten, Maxima höherer Ordnung existieren nicht.

Erläutern Sie mit der Gitterkonstanten $g = d_{\text{Blu-ray Disc}} = 320 \text{ nm}$, dass nur das Maximum 0. Ordnung beobachtbar ist.

In einer weiteren Änderung des Experiments wird die Blu-ray Disc so gekippt, dass der Laser unter einem Einfallswinkel von $\varphi = 56^\circ$ auf die Oberfläche der Blu-ray Disc trifft (Abb. 3b). Zusätzlich zum reflektierten Licht ist Laserlicht in Richtung der Lichtquelle zu beobachten.

Bestätigen Sie, dass diese Beobachtung durch konstruktive Interferenz gedeutet werden kann.

Hinweis: Reduzieren Sie zur Vereinfachung das Reflexionsgitter der Blu-ray Disc auf zwei reflektierende Striche (Stege).

Aufgabe 2

Die Struktur eines Modellkristalls wird mit der Bragg-Reflexion von Mikrowellen untersucht (Abb. 4). Dieser Modellkristall besteht aus Metallkugeln, deren Anordnung in einem Schaumstoffblock eine kubisch einfache Struktur bildet (Abb. 5). Die Metallkugeln sind die Streuzentren, der Schaumstoff dient lediglich als Halterung für die Kugeln.

- 2.1 Die Bragg-Gleichung lautet:
- | | |
|--|---|
| $n \cdot \lambda = 2 \cdot d \cdot \sin \vartheta$ | $n = 1, 2, 3 \dots$
$\lambda = 2,85 \text{ cm}$: Wellenlänge
d : Netzebenenabstand
ϑ : Winkel zwischen Empfänger und Netzebenen |
|--|---|

Die Intensität der Mikrowellenstrahlung wird in Abhängigkeit vom Winkel ϑ gemessen. Das Ergebnis ist in Abb. 6 dargestellt.

Bestimmen Sie mit den Winkeln der Maxima aus Abb. 6 den Netzebenenabstand d .

- 2.2 Leiten Sie die Formel für die Bragg-Gleichung anhand einer Zeichnung begründet her. Begründen Sie das Zustandekommen des zweiten Maximums bei größerem Winkel.

- 2.3 Die Mikrowellenquelle wird durch eine Quelle ersetzt, die gleichzeitig Strahlung zweier unterschiedlicher Wellenlängen aussendet. Die Intensität der Mikrowellenstrahlung wird wieder in Abhängigkeit vom Winkel ϑ gemessen.

Beurteilen Sie, unter welchen Bedingungen die Verwendung zweier Wellenlängen die Zuordnung der Maxima erschweren kann.

Hinweis: Betrachten Sie die Lage der Maxima im Diagramm.

- 2.4 In einem neuen Experiment wird Mikrowellenstrahlung einer Wellenlänge auf einen Doppelspalt gesendet. Selbst wenn man die Intensität des Senders so weit verringert, dass sich immer nur ein Photon in der Messanordnung befindet, ist Doppelspalt-Interferenz zu beobachten.

Erläutern Sie, wie dieses Interferenzmuster stochastisch interpretiert werden kann.

Aufgabe 3

Anders als die in Aufgabe 2.1 verwendete Mikrowellenstrahlung besitzt Röntgenstrahlung ein kontinuierliches Spektrum. Sie lässt sich mit der Bragg-Reflexion spektroskopieren, wenn man einen Kristall mit bekanntem Netzebenenabstand verwendet.

- 3.1 Erläutern Sie mit einer beschrifteten Skizze inklusive Beschaltung den Aufbau und die Funktionsweise einer Röntgenröhre.
Beschreiben Sie ein Experiment zur Aufnahme eines Röntgenspektrums mit Bragg-Reflexion.
- 3.2 Abb. 7 zeigt ein Röntgenspektrum. Die Strahlung wird mit einer Eisen-Anode bei einer Beschleunigungsspannung von $U_B = 35 \text{ kV}$ erzeugt.
Erläutern Sie die wesentlichen Merkmale des Spektrums unter Bezug auf die Vorgänge in der Anode.
- 3.3 Für drei unterschiedliche Beschleunigungsspannungen wird je ein Röntgenspektrum aufgenommen. Abb. 8 zeigt einen Ausschnitt der Spektren für kleine Winkel ϑ . Der verwendete Drehkristall aus Lithiumfluorid hat einen Netzebenenabstand von $d = 201 \text{ pm}$.
Bestätigen Sie, dass für vollständige Energieübertragung folgende Grenzwellenlängen zu bestimmen sind: $\lambda(35 \text{ kV}) = 34 \text{ pm}$, $\lambda(29 \text{ kV}) = 42 \text{ pm}$, $\lambda(25 \text{ kV}) = 49 \text{ pm}$.
Hinweis: Als Grenzwellenlänge bezeichnet man diejenige Wellenlänge der Röntgenstrahlung, bei der eine vollständige Übertragung der Energie von Elektronen auf Photonen stattfindet.
Bestätigen Sie die Proportionalität zwischen Energie des Photons und der Frequenz.
- 3.4 Die Proportionalität zwischen Energie des Photons und der Frequenz lässt sich bei der Bestimmung des Planckschen Wirkungsquantums mit Leuchtdioden (LED) nachweisen.
Erläutern Sie dieses Experiment zur Bestimmung des Planckschen Wirkungsquantums.

Material

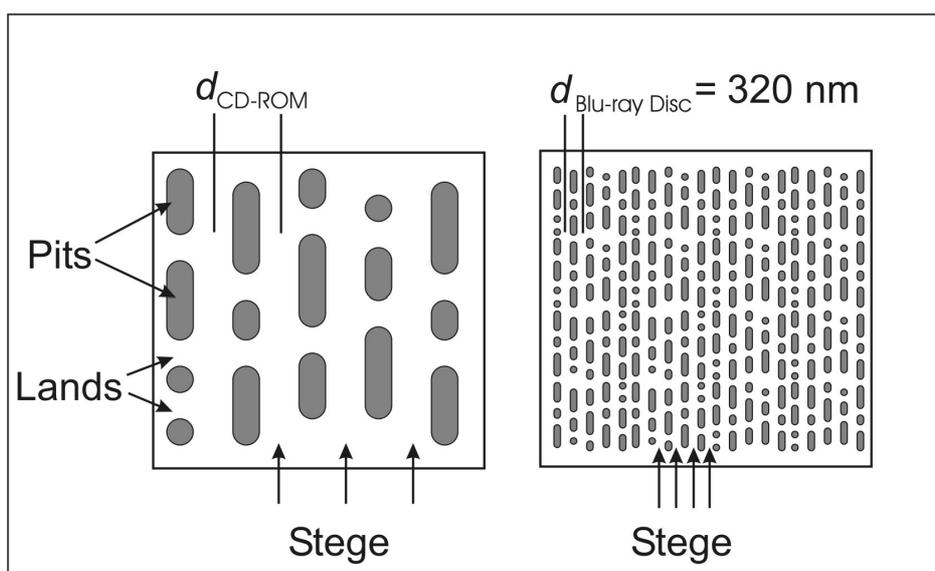


Abb. 1: Struktur optischer Datenspeicher; vereinfachend ist anzunehmen, dass die Reflexion des Lichts an den Stegen stattfindet, somit ist der Stegabstand die Gitterkonstante.

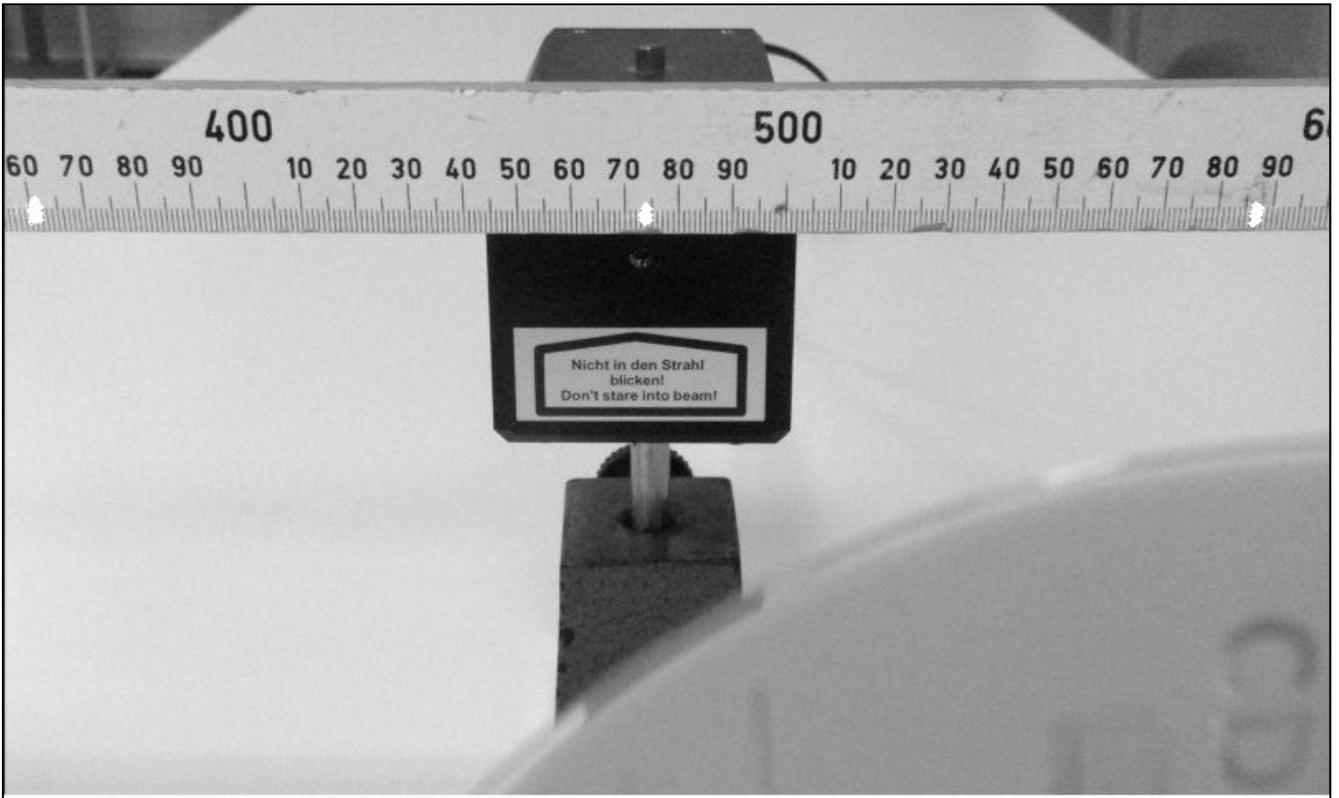


Abb. 2: Interferenzbild auf dem Schirm. Der Maßstab zeigt Millimeter, das Maximum 0. Ordnung ist in der Mitte.

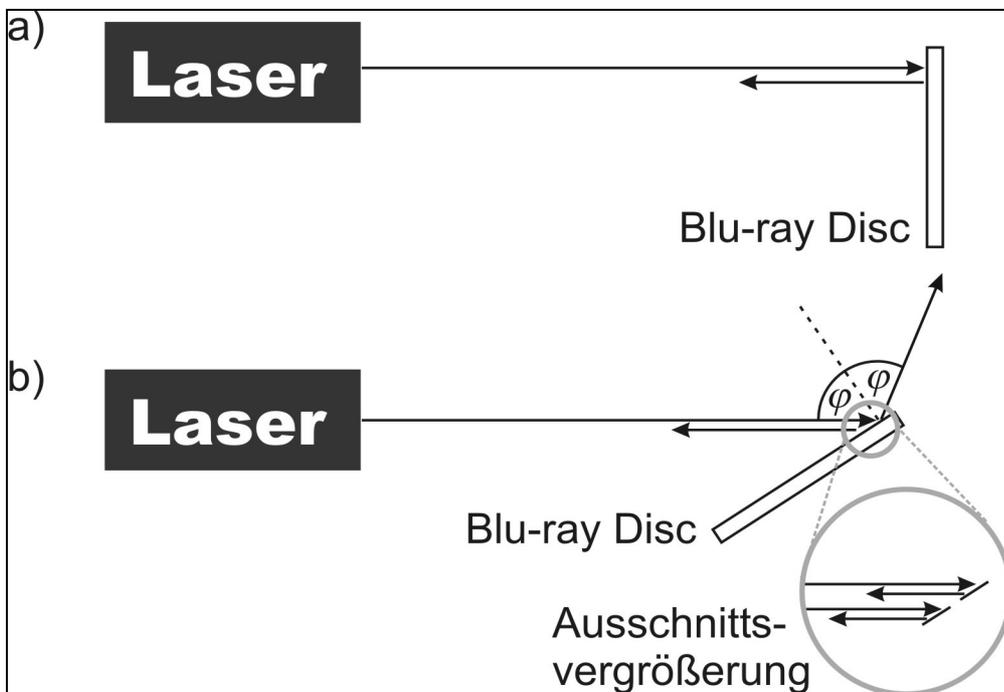


Abb. 3: Beleuchtung der Blu-ray Disc aus verschiedenen Winkeln (Draufsicht)

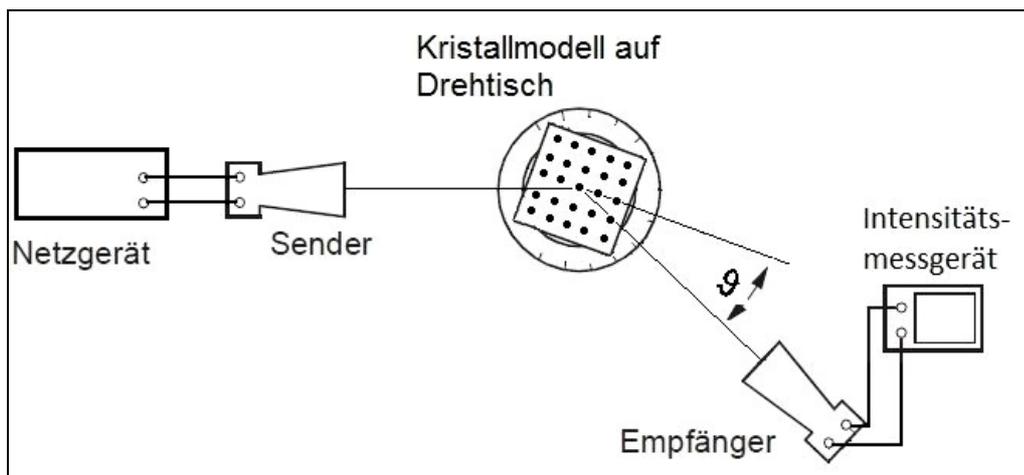


Abb. 4: Bragg-Reflexion von Mikrowellen an Metallkugeln

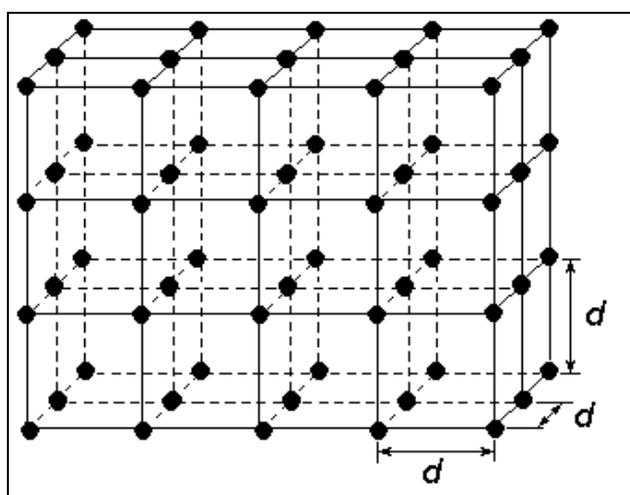


Abb. 5: Kubisch einfache Raumstruktur

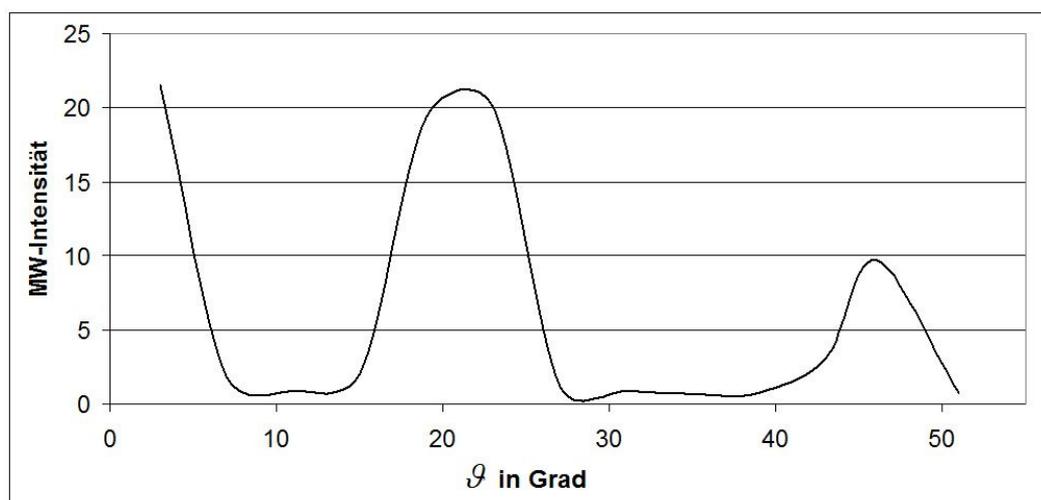


Abb. 6: Mikrowellen-Intensität in Abhängigkeit vom Winkel ϑ

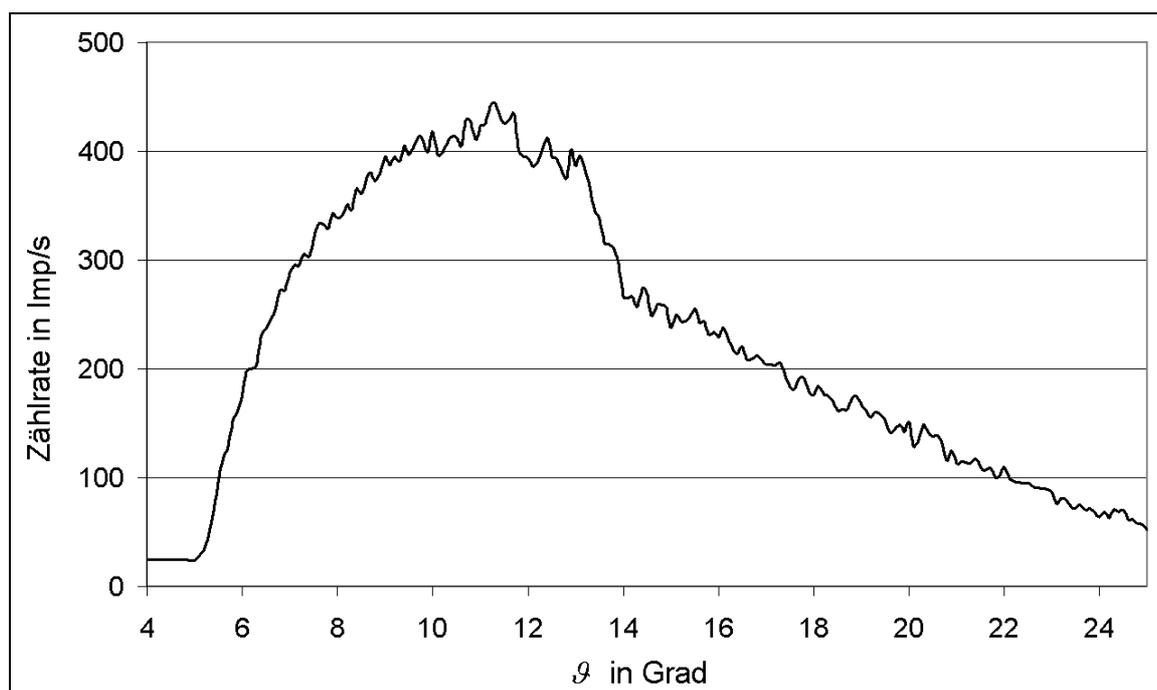
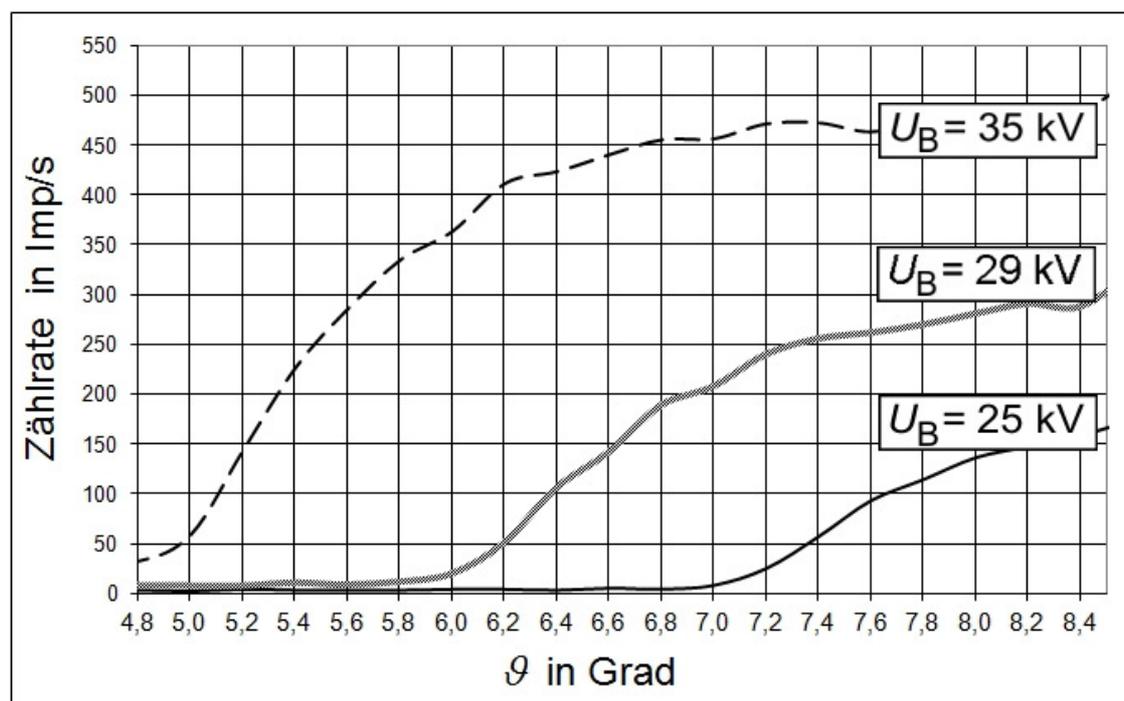
Abb. 7: Röntgenspektrum, $U_B = 35 \text{ kV}$ 

Abb. 8: Ausschnitt aus drei Röntgenspektren

Hilfsmittel

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