

Qualitative Untersuchung der Absorption von Röntgenstrahlung P2540030 (Artikelnr.: P2540030)

Curriculare Themenzuordnung



Schwierigkeitsgrad



Schwer

Vorbereitungszeit



1 Stunde

Durchführungszeit



2 Stunden

empfohlene Gruppengröße



2 Schüler/Studenten

Zusätzlich wird benötigt:

- Weitere Durchstrahlungsobjekte z. B. Objektträger aus Glas, Pappe...
- Absorptionsmaterial, Plexiglas (09029-04)
- Absorptionsmaterial - Schülerversuch (09014-03)

Versuchsvarianten:

Schlagwörter:

Röntgenröhre, Absorption von Röntgenstrahlung, Ordnungszahl, Fluoreszenz, Absorptionsgesetz

Überblick

Kurzbeschreibung

Prinzip

Röntgenstrahlung durchdringt Objekte, die für sichtbares Licht undurchlässig sind. Die Absorption ist von der Dicke und der Art des Materials abhängig. Diese Abhängigkeit wird anhand verschiedener Absorptionsproben qualitativ auf dem Leuchtschirm gezeigt.



Abb. 1: X-ray expert unit 09057-99

Material

Position	Material	Bestellnr.	Menge
1	XR 4.0 expert unit Röntgengerät, 35 kV	09057-99	1
2	XR 4.0 X-ray Einschub mit Wolfram-Röntgenröhre	09057-81	1
3	XR 4.0 X-ray Fluoreszenzschirm	09057-26	1
4	XR 4.0 X-ray Optische Bank	09057-18	1
5	XR 4.0 Tisch mit Stiel D = 46 mm	09824-01	1
6	Reiter für optische Bank expert, h = 30 mm	08286-01	2

Aufgaben

1. Beobachten Sie die Transmission von Röntgenstrahlung in Abhängigkeit von der Materialstärke.
2. Ermitteln Sie, inwiefern die Ordnungszahl der Elemente in einem Material die Transmission von Röntgenstrahlung beeinflusst.

Aufbau und Durchführung

Aufbau und Durchführung

- Falls ein Goniometer im Experimentierraum installiert ist, sollte es möglichst entfernt werden.
- Die optische Bank festschrauben und den Leuchtschirm in seinem Halter möglichst weit rechts auf der optischen Bank installieren. Um die verschiedenen Objekte stabil vor dem Leuchtschirm zu positionieren, eignen sich die Objektische. Verdunkeln Sie den Raum.
- Ein kontrastreiches Bild erreichen Sie bei maximaler Anodenspannung (35 kV) und maximalem Anodenstrom ($1,0\text{ mA}$).
- Positionieren Sie für Aufgabe 1 die Aluminiumstücke mit verschiedener Stärke nebeneinander vor dem Schirm. Schließen und verriegeln Sie die Tür und aktivieren Sie die Röntgenstrahlung. Beobachten Sie das Ergebnis auf dem Leuchtschirm. Sie können die Stücke auch übereinander legen. Verfahren Sie ebenso mit den Plexiglas-Scheiben.
- Für Aufgabe 2 ist der Vergleich von Materialien wie Plexiglas und Acrylglas sehr interessant. Tauschen Sie die Materialien durch und beobachten Sie das Ergebnis.

Aufnehmen eines Bildes mit einer Digitalkamera:

- Befestigen Sie Ihre Kamera auf der optischen Bank mit dem dafür vorgesehenen Reiter.
- Stellen Sie den Nachtmodus ein und deaktivieren Sie den Blitz.
- Dunkeln Sie den Raum entweder vollständig ab oder bedecken Sie das Gerät mit der Abdeckhaube.
- Starten Sie die Kamera am besten mit dem Selbstauslöser, dann bewirkt die Bedienung kein Verwackeln.

Theorie und Auswertung

Theorie

Röntgenstrahlung durchdringt Objekte, die für sichtbares Licht undurchlässig sind. Sie wird weit weniger absorbiert. Die Absorption ist von der Dicke und der Art des Materials abhängig. Während früher sogar mittels Röntgenstrahlung überprüft wurde, ob ein Schuh richtig sitzt, ist man sich heute der schädigenden Wirkung der Strahlen bewusster. An Flughäfen nutzt man sie, um das Gepäck zu untersuchen.

Wenn Röntgenstrahlung der Intensität I_0 auf Materie der Dicke d trifft, dann beträgt nach dem Absorptionsgesetz die Intensität I der durchgelassenen Strahlung (s. Experiment P2541101):

$$I = I_0 e^{-\mu(\lambda, Z) \cdot d} \quad (1)$$

I : Intensität der Strahlung nach dem Absorber

I_0 : Ausgangsintensität der Strahlung

μ : linearer Absorptionskoeffizient

d : Stärke des Materials

Die Transmission ist definiert als Quotient aus I (Intensität der Strahlung nach dem Absorber) und I_0 (Ausgangsintensität der Strahlung).

Aus (1) ist direkt zu erkennen, dass die Intensität der Strahlung nach dem Absorber auch von der Dicke des Absorbers abhängt.

Der sog. lineare Absorptionskoeffizient μ [cm^{-1}] ist von der Wellenlänge λ der Strahlung sowie von der Ordnungszahl Z der absorbierenden Materie abhängig. Da die Absorption der absorbierenden Masse proportional ist, benutzt man häufig auch den sog. Massenabsorptionskoeffizienten μ/ρ [cm^2/g], wobei ρ die Dichte des Absorbers ist.

Für die Schwächung sind folgende Prozesse verantwortlich:

- Photoeffekt
- Streuung
- Paarbildung

Für diesen Versuch kann die Absorption durch Paarbildung ausgeschlossen werden, weil hierzu Röntgenstrahlen nicht die erforderliche Energie besitzen.

Somit setzt sich der Absorptionskoeffizient für Röntgenstrahlen aus folgenden zwei Anteilen zusammen:

$$\mu = \tau + \sigma$$

τ : Absorptionkoeffizient des Photoeffekts

σ : Streukoeffizient

In dem hier benutzten Wellenlängenbereich dominiert der Photoeffekt ($\tau > \sigma$).

Mit folgender empirischen Beziehung kann in diesem Fall die Absorption beschrieben werden:

$$\frac{\tau}{\rho} \approx \frac{\mu}{\rho} = k(\lambda^3 \cdot Z^3) \quad (2)$$

Nach (2) steigt das Absorptionsvermögen somit drastisch, sowohl mit zunehmender Wellenlänge λ als auch mit zunehmender Ordnungszahl Z des Absorbers.

Auswertung und Ergebnisse

Aufgabe 1: Beobachtung der Transmission der Röntgenstrahlung in Abhängigkeit von der Materialstärke

Wie in Abb. 2 und 3 zu erkennen ist, ist die Absorption stark von der Materialstärke abhängig, so wie es auch aus Gleichung 1 hervorgeht.



Abb. 2: Plexiglas, von links nach rechts: $d = 1 \text{ mm}$, 5 mm , and 10 mm (oben: kein Absorber)



Abb. 3: Aluminium, von links nach rechts: $d = 0.3 \text{ mm}$, 0.5 mm , and 1 mm

Aufgabe 2: Beobachtung der Transmission der Röntgenstrahlung in Abhängigkeit von der Ordnungszahl. Acrylglas vs.

Acrylglas vs. Mineralglas (Abb. 4):

Da Plexiglas ein organischer Polymer ist, besteht es primär aus Kohlenstoff ($Z = 6$), Wasserstoff ($Z = 1$) und Sauerstoff ($Z = 8$). Also Elementen, mit einer niedrigen Ordnungszahl. In Mineralglas ist Silicium ($Z = 14$) enthalten, das im Periodensystem direkt unter Kohlenstoff steht. Es hat eine höhere Ordnungszahl und das sieht man auch an der erheblich höheren Absorption von Röntgenstrahlung durch Mineralglas.



Abb. 4: Plexiglas (links, $d = 1\text{ mm}$) und Glas (rechts, $d = 1\text{ mm}$)

Pappe/Aluminium vs. Eisen (Abb. 5)

Auch hier macht sich der Unterschied in der Ordnungszahl der beiden Elemente (Al: $Z = 13$; Fe: $Z = 26$) stark bemerkbar. Pappe besteht vorwiegend aus organischen Materialien. Die hauptsächlich beteiligten Elemente Kohlenstoff ($Z = 6$), Wasserstoff ($Z = 1$) und Sauerstoff ($Z = 8$) haben verglichen mit den beiden Metallen sehr kleine Ordnungszahlen. atomic numbers.

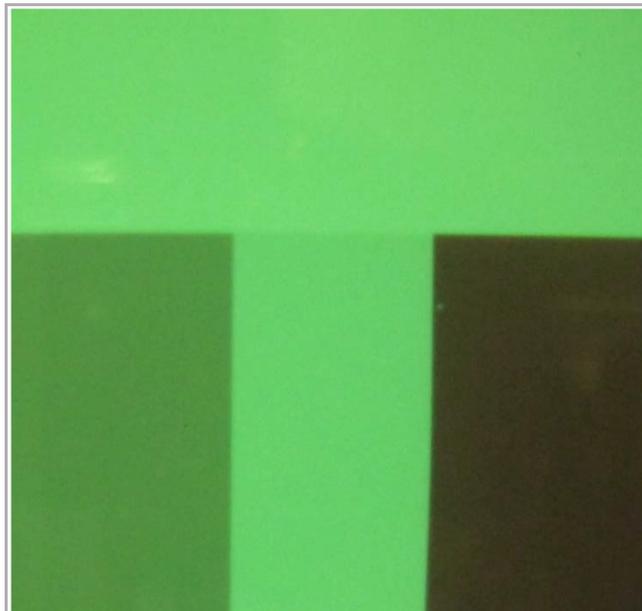


Abb. 5: von links nach rechts: Aluminium, Hartpappe, Eisen (alle: $d = 1\text{ mm}$)