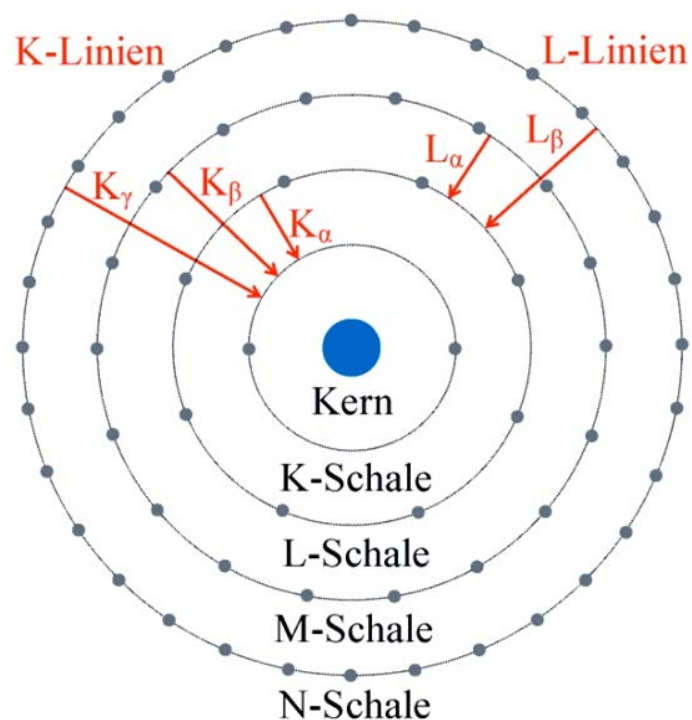


Physikalisches Grundpraktikum für Physiker/innen

Teil III

Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA)



Grundpraktikum Physik: <http://grundpraktikum.physik.uni-saarland.de/>



Ziel des Versuchs

Die Röntgenfluoreszenzanalyse ermöglicht es, Materialien (fest, pulverförmig oder flüssig) zerstörungsfrei qualitativ und quantitativ auf ihre atomaren Zusammensetzungen zu untersuchen. In diesem Versuch werden die Grundlagen zur Erzeugung von Röntgenstrahlung, zu ihrer Wechselwirkung mit Materie und zu ihrem Nachweis vermittelt.

1. Fragen

1. Erklären Sie den Aufbau und die Wirkungsweise einer Röntgenröhre. Welches sind die gebräuchlichsten Anodenmaterialien?
2. Was beschreibt das Lambert-Beer'sche Gesetz?
3. Welche Wechselwirkungen können zwischen Röntgenstrahlung und Materie auftreten?
4. Wie entsteht Bremsstrahlung und charakteristische Röntgenstrahlung?
5. Was besagt das Moseley'sche Gesetz?
6. Die im Versuch benutzte Röntgenröhre arbeitet mit einer Anodenspannung von maximal 35 keV. Welches ist das schwerste Element, in dem Sie mit der dadurch erzeugten Röntgenstrahlung noch K_{α} -Fluoreszenz anregen können?
7. Welche Typen von Detektoren zum Nachweis von Röntgenstrahlung kennen Sie?

Dies ist der einzige Versuch im Praktikum, für den Sie Ihre eigenen Materialien zur Untersuchung mitbringen können. Wollen Sie wissen, ob der Ring, den Ihnen Ihr Freund oder Ihre Freundin geschenkt hat, „echt“ ist? Ist die vom Opa geerbte Taschenuhr tatsächlich vergoldet? Aus welchen Metallen besteht eine alte Münze?

2. Einführende Literatur

- W. Demtröder, *Experimentalphysik 3 – Atome, Moleküle und Festkörper*
4. Auflage (Springer-Verlag, Berlin Heidelberg 2010)
Kap. 7.5: Röntgenstrahlung
- W. Demtröder, *Experimentalphysik 4 - Kern-, Teilchen- und Astrophysik*
4. Auflage (Springer-Verlag, Berlin Heidelberg 2014)
Kap. 4.2: Wechselwirkung von Teilchen und Strahlung mit Materie
- D. Meschede, *Gerthsen Physik*
24. Auflage (Springer-Verlag, Berlin Heidelberg 2010)
Kap. 17.3: Röntgenstrahlung

3. Grundlagen

3.1 Röntgenstrahlen

Röntgenstrahlen sind hochenergetische elektromagnetische Strahlen mit Energien im Bereich von etwa 0.1 keV bis 100 keV. Röntgenstrahlen entstehen bei einer beschleunigten Bewegung geladener Teilchen, z.B. beim Abbremsen von Elektronen, oder bei Energieübergängen in einem Atom nach dessen Ionisation in einer inneren Schale.

3.2 Wechselwirkung von Röntgenstrahlung mit Materie

Wenn Röntgenstrahlung mit der Intensität I_0 auf Materie trifft, wird ihre Intensität beim Durchgang geschwächt. Die Abschwächung erfolgt exponentiell mit der Dicke d und wird durch das Lambert-Beer'sche Gesetz beschrieben:

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

Der Schwächungskoeffizient μ ist abhängig von der Energie der Röntgenstrahlen und dem Absorbermaterial. Da die Schwächung der Strahlungsintensität von der Menge des durchstrahlten Materials abhängt, wird statt μ oft der durch die Dichte ρ des Materials dividierte Massenschwächungskoeffizient benutzt:

$$I = I_0 e^{-(\mu/\rho)\rho d} \quad (2)$$

wobei ρd als Massenbelegung bezeichnet wird.

Die Abschwächung hat zwei Ursachen: Streuung und Absorption, die sich beide überlagern. Die elastische Streuung (Rayleigh-Streuung) ändert nicht die Wellenlänge der Strahlung, sondern nur ihre Richtung. Für streuende Teilchen mit einem Durchmesser klein gegen die Wellenlänge λ steigt die Streuwahrscheinlichkeit mit $1/\lambda^4$ an, ist für Röntgenstrahlung also sehr viel größer als für sichtbares Licht. Diese Streuung führt nicht zur Absorption in dem durchstrahlten Material, sorgt aber dafür, dass in Vorwärtsrichtung weniger Strahlung durchtritt.

Die Absorption der Strahlung beruht auf drei Effekten:

Photoeffekt:

Als Photoeffekt bezeichnet man die Absorption eines Photons mit der Energie $E_p = h\nu > E_b$ durch ein Hüllenelektron, das das Atom mit der kinetischen Energie $E_{\text{kin}} = h\nu - E_b$ verlässt. Da das Photon absorbiert wird und deshalb verschwindet, können Energie- und Impulssatz nur gleichzeitig erfüllt werden, wenn das Atom einen Teil des Impulses aufnimmt. Für den Wirkungsquerschnitt σ_{ph} des Photoeffekts gilt für Atome mit der Kernladungszahl Z

$$\sigma_{\text{ph}} \sim \frac{Z^5}{E_{\text{ph}}} \quad (3)$$

Compton-Effekt:

Als Compton-Effekt bezeichnet man die inelastische Streuung eines Photons an einem freien Elektron. In einem Festkörper handelt es sich um Streuung an schwach gebundenen Elektronen, die als quasifrei betrachtet werden können. Das Photon gibt dabei einen Teil seiner Energie an das Elektron ab (Abb. 1). Der Betrag der abgegebenen Energie hängt vom Streuwinkel ϑ ab. Das Photon besitzt nach dem Stoß die Energie

$$h\nu' = \frac{h\nu}{1 + \frac{h\nu}{m_e c^2} (1 - \cos \vartheta)} \quad (4)$$

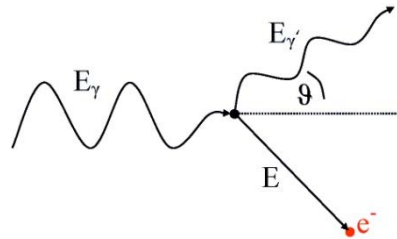


Abb. 1: Compton-Effekt als inelastische Streuung von Photonen an freien Elektronen.

Der Wirkungsquerschnitt der Compton Streuung σ_C ist proportional zur Dichte der Elektronen und umgekehrt proportional zur Energie der Photonen. Da die Dichte der Elektronen ungefähr proportional zur Kernladungszahl Z ist, gilt

$$\sigma_C \sim \frac{Z}{E_{ph}} \quad (5)$$

Paarerzeugung:

Wenn die Energie der Photonen $E_{ph} > 2m_e c^2 = 1022 \text{ keV}$ erreicht, wird Paarerzeugung möglich, wo ein Photon im Coulomb-Feld des Atomkerns ein Elektron-Positron-Paar erzeugt. Dieser Prozess spielt bei normalen Röntgenenergien keine Rolle.

Die Bedeutung dieser drei Prozesse für die Absorption von Photonen als Funktion der Energie hängt ab von der Kernladungszahl Z des Absorptionsmaterials. Abb. 2 zeigt dies schematisch. Kurve a zeigt die Werte von Z und E , bei denen die Wirkungsquerschnitte für Photoeffekt und Compton-Effekt gleich groß sind. Für Kurve b sind die Wirkungsquerschnitte für Compton-Effekt und Paarbildung gleich groß.

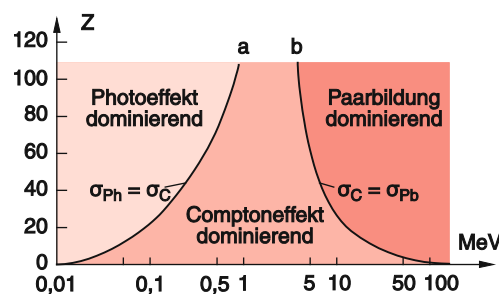


Abb. 2: Dominante Bereiche für Photoeffekt, Compton-Effekt und Paarbildung als Funktion der Ordnungszahl Z des Absorbers und der Energie E der Photonen [1].

Abb. 3 zeigt für Blei ($Z = 82$) den totale Absorptionsquerschnitt und die Beiträge der einzelnen Prozesse.

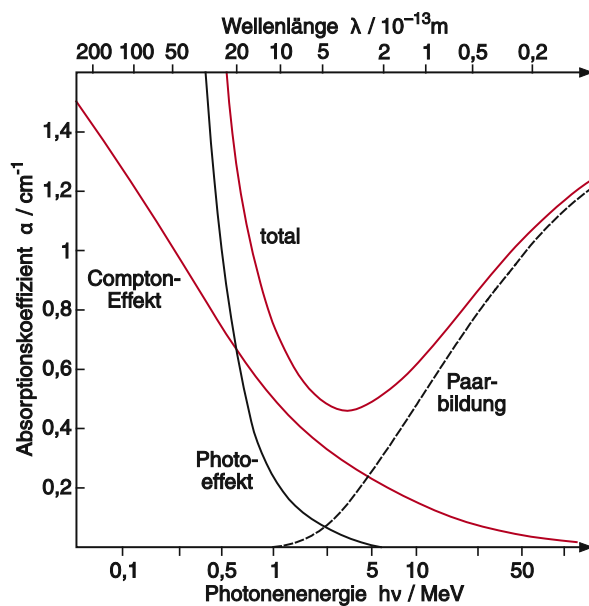


Abb. 3: Wirkungsquerschnitt für Photoeffekt, Compton-Effekt und Paarbildung für Blei ($Z=82$) als Funktion der Energie [2].

3.3 Charakteristische Strahlung – Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA)

Entfernt ein einfallendes Röntgenquant durch Photoeffekt ein Hüllenelektron aus einer voll besetzten inneren Schale (bevorzugt sind K- und L-Schalen) eines Atoms, so wird dieses Loch von Elektronen aus höheren Energieniveaus aufgefüllt. Die dabei frei werdende Energie wird als elektromagnetische Welle emittiert. Da diese Energie von der Ordnungszahl des Elementes abhängig ist, wird eine für den Stoff charakteristische Strahlung ausgesendet, die bei der Anregung durch Röntgenstrahlung als Röntgenfluoreszenz bezeichnet wird.

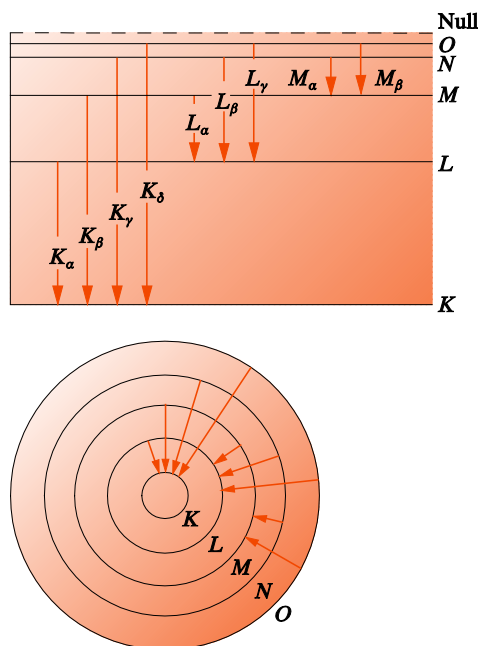


Abb. 4: Serien der charakteristischen Röntgenspektren im Energie-Termschema (oben) und dem Schalenmodell des Atoms (unten) [3].

Wird ein Loch in der K-Schale aufgefüllt, so spricht man von K-Strahlung; analog spricht man von L-, M-Strahlung, usw. (Abb. 4). Der Index α bezeichnet Strahlung zwischen Schalen mit $\Delta n=1$, β und andere für $\Delta n > 1$. Bei genauerer Betrachtung sind die einzelnen Übergänge durch unterschiedliche Bahndrehimpulse in Untergruppen aufgespalten.

Moseley fand einen einfachen Zusammenhang zwischen der Frequenz der langwelligsten K-Linie K_α eines Elements und seiner Ordnungszahl Z , R_∞ ist die Rydberg-Konstante:

$$E_{K_\alpha} = hcR_\infty \frac{3}{4}(Z-1)^2 = 13.6 \text{ eV} \times \frac{3}{4}(Z-1)^2 \quad (6)$$

Für die L_α -Linien gilt (wenn auch nicht ganz so gut):

$$E_{L_\alpha} = hcR_\infty \frac{5}{16}(Z-7.4)^2 = 13.6 \text{ eV} \times \frac{5}{16}(Z-7.4)^2 \quad (7)$$

Bei der Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA) wird eine Probe mit Röntgenstrahlung bestrahlt, wodurch kernnahe Elektronen aus den inneren Schalen des Atoms herausgeschlagen werden. Dadurch können Elektronen aus höheren Schalen auf die freien Energieniveaus zurückfallen, es wird dabei charakteristische Röntgenstrahlung frei. Anhand der Energie dieser charakteristischen Strahlung (Lage der K- und L-Linien) kann die Ordnungszahl des Elements bestimmt werden. Aus der Intensität der Strahlung können bei geeigneter Eichung oder durch Rechnung die Konzentrationen eines Elementgemisches bestimmt werden. Es ist also eine zerstörungsfreie Messung der Zusammensetzung von Proben möglich. RFA wird u.a. bei der Analyse von Kunstwerken und archäologischen bzw. geologischen Funden, der Erforschung anderer Planeten sowie für industrielle Qualitätskontrollen genutzt.

Manchmal fällt das Atom jedoch auch über einen zur Röntgenfluoreszenz konkurrierenden Prozess in seinen stabilen Zustand zurück. Dabei wird die Anregungsenergie direkt auf eines seiner äußeren Elektronen übertragen, wodurch dieses das Atom verlassen kann. Das auf diese Art vom Atom emittierte Elektron wird Auger-Elektron genannt. Seine Energie ist durch die Differenz der Bindungsenergien der beteiligten Schalen gegeben. Das neu entstandene Loch kann wiederum durch ein nachrückendes Elektron gefüllt werden. Auger-Elektronen sind für Elemente kleinerer Ordnungszahl wahrscheinlicher als für Elemente größerer Ordnungszahl.

3.4 Erzeugung von Röntgenstrahlen

Zur Erzeugung von Röntgenstrahlung wird meist eine Röntgenröhre verwendet (Abb. 5). An den Enden einer evakuierten Röhre befinden sich Kathode und Anode. Die Kathode dient als Elektronenquelle. Durch Glühemission werden hier freie Elektronen erzeugt. Typische Anodenmaterialien sind Metalle mit hoher Schmelztemperatur wie Wolfram, Molybdän, Kupfer oder Eisen. Eine zwischen Kathode und Anode anliegende Gleichspannung U_A beschleunigt die Elektronen zur Anode hin. Treffen die Elektronen auf das Anodenmaterial, wird ein Teil ihrer gesamten kinetischen Energie eU_A in Röntgenstrahlung umgewandelt (weniger als 1%), der Rest der kinetischen Energie erzeugt Wärme und heizt das Anodenmaterial auf.

Im Anodenmaterial können die hochenergetischen Elektronen im Coulomb-Feld der Kerne abgelenkt werden. Dies führt zu einer beschleunigten Bewegung des Elektrons, bei der elektromagnetische Strahlung emittiert wird. Die von den freien Elektronen dabei abgegebenen Energiebeträge sind daher unterschiedlich. Die Vielzahl der auf diese Weise von freien Elektronen abgegebenen Energiebeträge bildet das kontinuierliche Röntgenspektrum der Bremsstrahlung. Ein Elektron kann dabei maximal die Energie eU_A an ein Photon abgeben. In diesem Fall wird ein Photon maximaler Frequenz bzw. minimaler Wellenlänge erzeugt. Das

Bremsstrahlungsspektrum der Röntgenstrahlung besitzt somit eine durch die Anodenspannung bestimmte Untergrenze der Wellenlänge λ_{\min} der emittierten Röntgenstrahlung, die durch das Gesetz von Duane-Hunt gegeben ist:

$$\lambda_{\min} = \frac{hc}{eU_A} \quad (8)$$

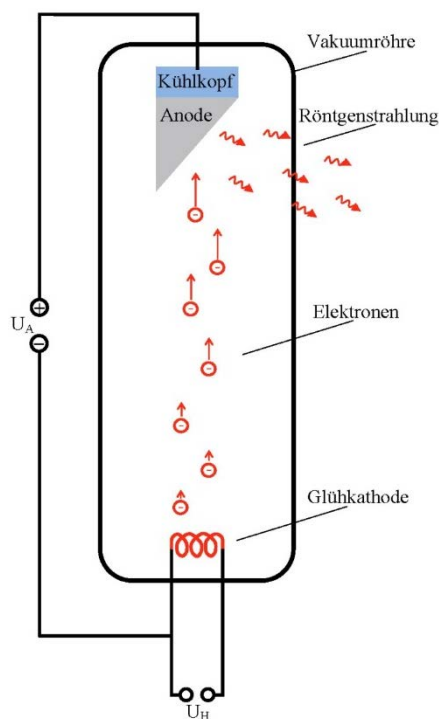


Abb. 5: Prinzip einer Röntgenröhre.

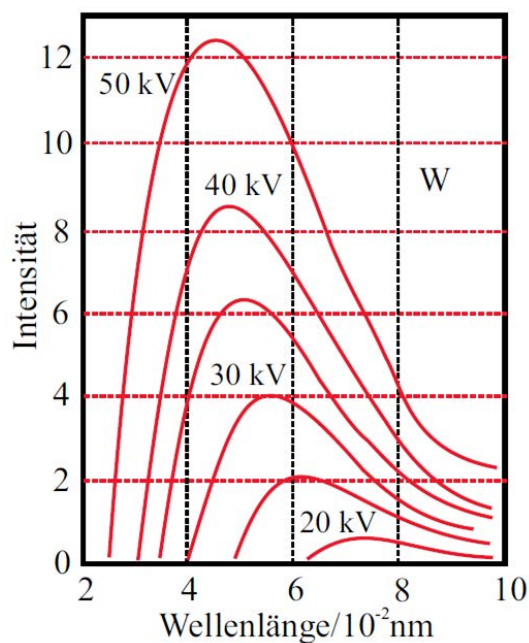


Abb. 6: Bremsstrahlungsspektrum einer Wolframanode für verschiedene Beschleunigungsspannungen [4].

Das Intensitätsmaximum des Bremsstrahlungsspektrums verschiebt sich mit steigender Anodenspannung der Röntgenröhre zu kürzeren Wellenlängen (Abb. 6). Das Anodenmaterial hat hingegen keinen Einfluss auf die Untergrenze der Wellenlänge, sie hat für alle Anodenmaterialien denselben Wert.

Als weiteren Prozess können die hochenergetischen Elektronen auch die inneren Schalen der Atome des Anodenmaterials ionisieren. Entspricht die Energie eines Elektrons mindestens der Bindungsenergie einer Schale, so wird ein gebundenes Elektron aus der Schale geschlagen. An seiner Stelle entsteht ein Loch, welches mit einem Elektron einer höheren Schale aufgefüllt wird, wobei der Energieunterschied als charakteristische Röntgenstrahlung emittiert wird, analog zum Photoeffekt (s. Abschnitt 3.3).

Das von einer Röntgenröhre erzeugte Röntgenspektrum ist also eine Überlagerung von kontinuierlicher Bremsstrahlung und der charakteristischen Röntgenstrahlung. Abb. 7 zeigt das Röntgenspektrum des in diesem Versuch benutzten Röntgengeräts mit W-Anode. Die Röhre wurde mit der maximal möglichen Leistung ($U_A = 35 \text{ keV}$, $I_A = 1 \text{ mA}$) betrieben. Das Spektrum wurde in hoher Auflösung über Röntgenbeugung an einem LiF-Kristall gemessen. Mit der Anodenspannung von 35 keV kann in Wolfram nur die L-Strahlung angeregt werden.

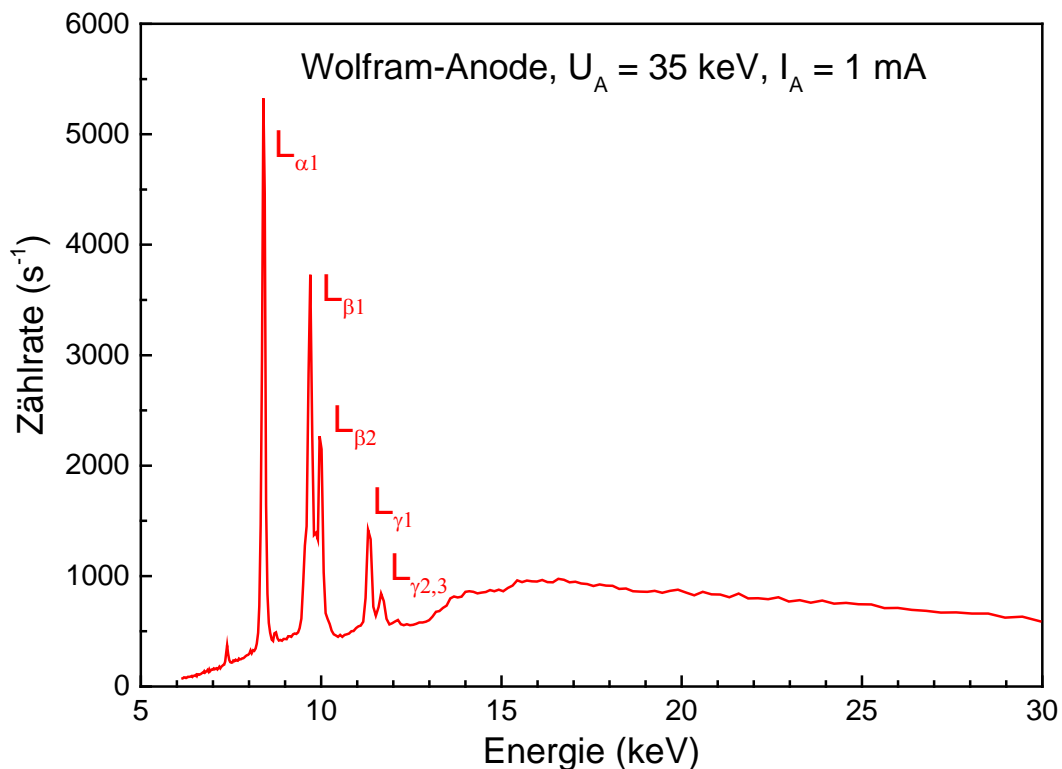


Abb. 7: Röntgenspektrum des Röntgengeräts PHYWE XR 4.0 mit W-Anode.

3.5 Röntgendetektor

Um Röntgenstrahlung zu spektroskopieren ist ein Detektor nötig, der die Energie der Röntgenquanten messen kann. Der in diesem Versuch verwendete Detektor ist ein 1 mm dicker CdTe-Kristall. Der Halbleiter CdTe wird durch metallische Kontakte als Schottky-Diode betrieben, die durch ein Peltier-Element gekühlt wird. In dem CdTe-Kristall wird ein Teil der Röntgenstrahlung absorbiert und es entsteht über den Photoeffekt ein schnelles Photoelektron. Die Energie des Röntgenquants wird also abgesehen von der vernachlässigbaren Bindungs-

energie in kinetische Energie des Elektrons umgewandelt. Das Elektron verliert seine kinetische Energie bei Stößen mit den Kristallatomen, wobei Elektron-Loch-Paare entstehen. Die Anzahl der erzeugten Elektron-Loch-Paare ist dabei proportional zur kinetischen Energie des Photoelektrons. Durch eine an die Diode angelegte Sperrspannung werden die Elektron-Loch-Paare getrennt und in einem ladungsempfindlichen rauscharmen Vorverstärker verstärkt. Der daraus resultierende kleine Spannungspuls, der proportional zur Energie des Photoelektrons (bzw. zur Energie des Röntgenquants) ist, wird anschließend nochmals verstärkt und in einem Vielkanalanalysator (MCA, Multi Channel Analyzer) weiterverarbeitet. Dessen zentrale Komponente ist ein Analog-Digital-Wandler, der den Spannungspuls in einen digitalen Wert umwandelt. Diese Werte werden im MCA in ein Histogramm einsortiert, das die Häufigkeitsverteilung der Impulshöhen repräsentiert. Nach einer Eichung können den Impulshöhen dann Energiewerte zugeordnet werden.

4. Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung

4.1 Versuchsaufbau

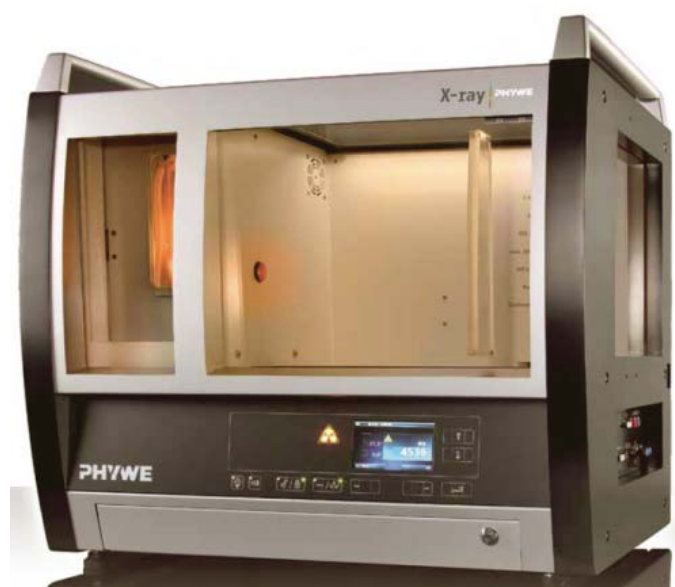


Abb. 8: Röntgengerät PHYWE XR 4.0 expert unit.

Verwendet wird das Röntgengerät PHYWE XR 4.0 expert unit (Abb. 8) einschließlich des Softwarepakets XR measure, welches zur externen Steuerung des Geräts über USB genutzt werden kann. Die Steuerung ist auch direkt über das Eingabefeld an der Front des Gerätes möglich. Eine optische Bank mit Reitern befindet sich in der Messkammer der Einheit (Abb. 8 rechts). Eine elektrische und mechanische Sicherheitsverriegelung verhindert den Betrieb der Röntgenröhre bei geöffneter Tür. Zur Abschirmung der Röntgenstrahlung nach außen ist die Verglasung der Kammer aus bruchsicheren, bleiverstärkten Acryl-Scheiben. Verwendet werden austauschbare Röntgenröhren mit den Anodenmaterialien Wolfram und Molybdän. Die Röhrenspannung ist von 0 kV auf 35 kV in Schritten von 0.1 kV regelbar; die Glühemissionsströme sind von 0 mA bis 1 mA in Schritten von 0.01 mA einstellbar.

In Abb. 9 ist schematisch der Aufbau des Versuchs dargestellt. Die Röntgenstrahlung wird durch einen Kollimator (50 mm langer und 22 mm durchmessender Bleizylinder mit einer zentralen 1 mm Bohrung) auf die in einem Winkel von 30° zur Strahlrichtung geneigte Probe

gelenkt. Die emittierte Fluoreszenzstrahlung wird von dem Detektor unter einem Winkel von 120° zur Strahlrichtung nachgewiesen. Das Spektrum wird in einem Vielkanalanalysator abgespeichert und über USB-Schnittstelle zu einem PC übertragen. Der justierbare Probenhalter und der Detektor sind auf der optischen Bank in der Messkammer montiert.

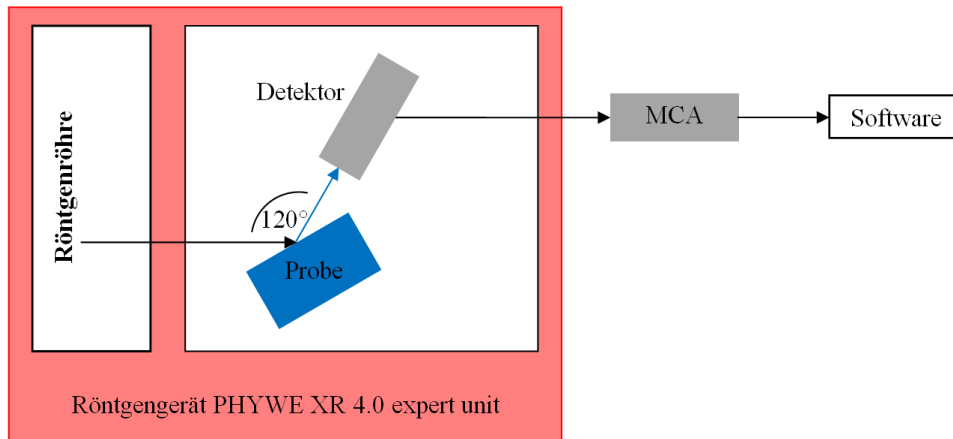


Abb. 9: Schematischer Versuchsaufbau.



Abb. 10: Aufbau des Versuchs in der Messkammer des Röntgengeräts.

Zur Messung des Fluoreszenzspektrums wird ein XR-100T-CdTe-Detektor der Firma AMPTEK [5] verwendet. Die Ansprechwahrscheinlichkeit des 1 mm dicken CdTe-Detektors für Röntgenstrahlung (Abb. 11) beträgt bei 3 keV 38% und erreicht im Bereich zwischen 10 keV und 60 keV praktisch 100%. Der Abfall der Ansprechwahrscheinlichkeit bei niederen Energien ist im Wesentlichen durch das Eintrittsfenster des Detektors (Beryllium, 100 μm dick) bedingt.

Ein AMPTEK PX4 „Digital Pulse Processor, MCA und Power Supply“ versorgt den Detektor mit der Dioden-Sperrspannung, dem Strom für das Peltier-Element zur Kühlung und der Versorgungsspannung für den Vorverstärker. Dieser verstärkt und formt dessen Signale und verarbeitet sie vor der Weitergabe an den Computer im integrierten Multichannel Analyzer (MCA). Die analogen Signale der Verstärkerelektronik werden dem MCA zugeführt, der diese digitalisiert. Der MCA verfügt über einen Datenspeicher von 8196 Kanälen. Hier werden

die analogen Eingangssignale entsprechend ihrer Pulshöhen nach der Digitalisierung abgespeichert, indem ihnen ein Speicherplatz zuordnet wird, der ihrer Pulshöhe entspricht. Dieses Histogramm wird über eine USB-Schnittstelle an das zugehörige Messprogramm ADMCA übertragen und als Energiespektrum dargestellt. Über das Programm ADMCA (Abb. 12) erfolgt auch die Kontrolle des Detektors und der Verstärkerkette. Die Messungen können in eine „MCA“-Datei abgespeichert und zur weiteren Auswertung in das Programm Origin importiert werden.

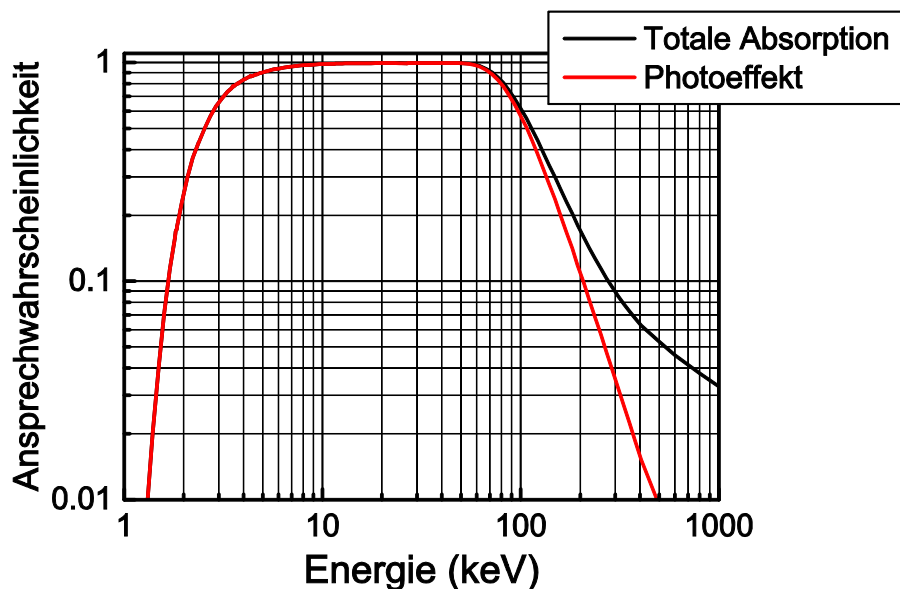


Abb. 11: Ansprechwahrscheinlichkeit des Detektors AMPTEK XR-100T-CdTe für Röntgenstrahlung als Funktion der Energie.

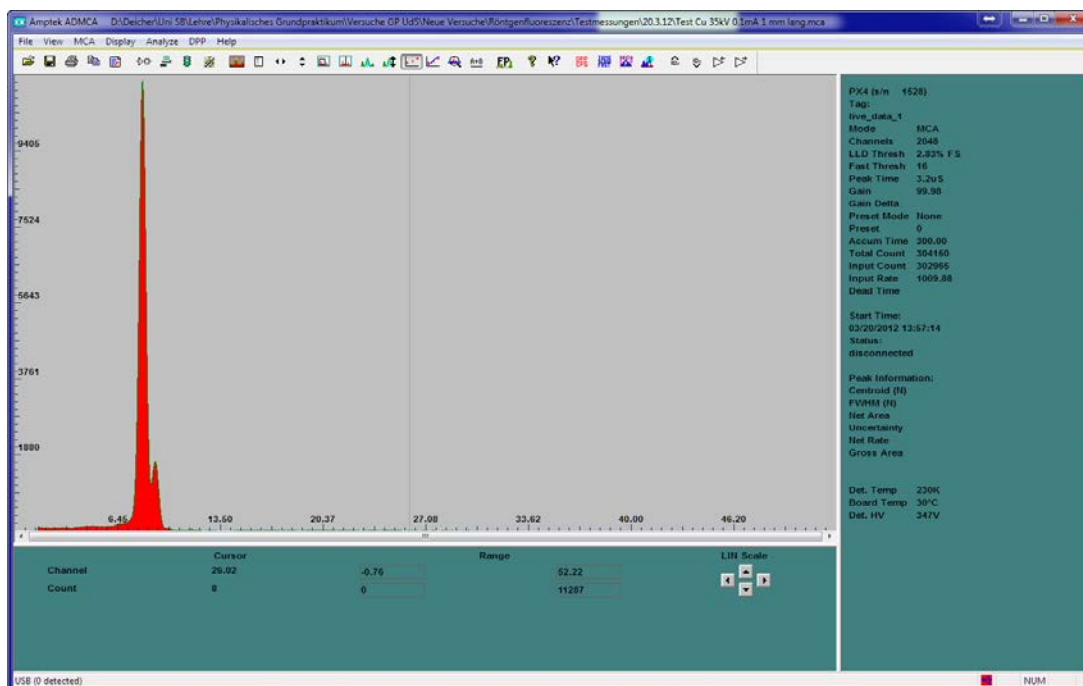


Abb. 12: Arbeitsoberfläche des Programms ADMCA. Dargestellt ist das Fluoreszenzspektrum einer Cu-Probe. Im rechten Fenster werden die Mess- und Detektorparameter angezeigt.

4.2 Versuchsdurchführung und Versuchsauswertung

Hinweise

Das Röntgengerät PHYWE XR 4.0 ist für den Betrieb in Forschungs-, Lehr- und Ausbildungsstätten zugelassen. Während des Umgangs mit dem Röntgengerät sind die Maßnahmen und Pflichten der Röntgenverordnung (RÖV) [6] zu beachten. Eine Erzeugung von Röntgenstrahlung ist nur bei ordnungsgemäßer Verriegelung der Schiebetür möglich. Die Überschreitung der maximal zulässigen Röhrenbetriebswerte wird durch Sicherheitsschaltungen unterbunden. Bei maximaler Leistung beträgt die Ortsdosisleistung in einem Abstand von 0.1 m von der Gehäuseoberfläche weniger als $1 \mu\text{Sv/h}$. Zum Vergleich: Die durchschnittliche Gamma-Ortsdosisleistung im Freien in Saarbrücken ist $0.12 \mu\text{Sv/h}$ [7].

Der CdTe-Detektor XR-100T hat ein Eintrittsfenster aus Beryllium, das nur $100 \mu\text{m}$ dick ist. Jede direkte Berührung dieses Fensters würde es zerstören. Deshalb: Rote Schutzkappe vom Detektor nur für die eigentliche Messung abnehmen.

Alle Messungen sollten mit einer Anodenspannung von 35 keV und einem Anodenstrom von 0.01 mA durchgeführt werden. Bei Proben mit „schwachen“ Signalen kann der Anodenstrom erhöht werden (maximal 0.1 mA).

Aufgabe 1: Energieeichung und Energieauflösung des Detektors

Lassen Sie sich vom/von der Betreuer/in die Bedienung des Röntgengeräts und des Detektors erklären. Schalten Sie den Detektor ein und warten Sie einige Minuten bis er seine Betriebstemperatur von etwa 230 K erreicht hat. Danach sollte durch den/die Betreuer/in die für den Detektor passende Konfigurationsdatei über das Programm ADMCA geladen werden. Machen Sie sich mit dem Messprogramm ADMCA vertraut.

Da mit dem Detektor primär Spannungen gemessen werden, muss das System in Energien geeicht werden. Linearität des Detektors und der Verstärkerkette vorausgesetzt, genügt dazu eine Messung von mindestens zwei Fluoreszenzlinien mit bekannter Energie. Überlegen Sie sich, welche reinen Elemente aus der „Probenkiste“ dazu wohl am besten geeignet sind. Bauen Sie diese Proben in die Messkammer ein und vergewissern Sie sich, dass die Röntgenröhre mit der W-Anode eingesetzt ist. Stellen Sie die Anodenspannung auf 35 keV und den Anodenstrom auf 0.01 mA ein und nehmen Sie das Fluoreszenzspektrum für beide Proben auf (Messzeit jeweils etwa 600 s). Anschließend eichen Sie das System über das Programm ADMCA. Nach der Eichung dürfen Verstärkung und Konversionsbereich des MCA nicht mehr verändert werden.

Importieren Sie Ihre Messungen in Origin und passen Sie die Fluoreszenzlinien mit einer Gauß-Funktion an. Die dadurch ermittelte Halbwertsbreite (FWHM) gibt Ihnen die Energieauflösung des Detektors für die jeweilige Energie.

Aufgabe 2: Bestimmung des Untergrunds

Messen Sie das Untergrundspektrum (d.h. ohne eingebaute Probe) sowohl für die W-Röntgenröhre als auch die Mo-Röntgenröhre. Wann würden Sie welche Röhre bei der Materialanalyse mit Röntgenfluoreszenz einsetzen?

Aufgabe 3: Materialanalyse

Analysieren Sie verschiedene Metalle und Legierungen bekannter Zusammensetzung, z.B. Fe, In, Cu, Stahl, Messing, ...

Analysieren Sie unbekannte Proben und bestimmen Sie die darin enthaltenen Elemente, z.B. Münzen, Gesteinsproben und eigene mitgebrachte Proben.

Auswertung

- Zur ersten Identifizierung des zu einer Fluoreszenzlinie gehörenden Elements finden Sie am Ende dieser Anleitung ein Periodensystem mit den Angaben der Energien zu $K_{\alpha 1}$, $K_{\beta 1}$, $L_{\alpha 1}$ und $L_{\beta 1}$. Eine ausführliche Tabelle mit allen Energien und Intensitätsverhältnissen finden Sie im Anhang der „Table of Isotopes“ [8], die auch beim Versuch ausliegt.
- Vergleichen Sie die von Ihnen gemessenen Intensitätsverhältnisse der K- und L-Übergänge für ein Element mit den aus der Literatur [8] erwarteten. Falls Sie signifikante Abweichungen finden: Was könnten mögliche Ursachen sein?
- Versuchen Sie, aus den Spektren der von Ihnen gemessenen Legierungen die prozentuale Zusammensetzung der Legierung zu bestimmen. Welche Annahmen müssen Sie dazu machen? Schätzen Sie den Fehler ab.
- Sammeln Sie alle von Ihnen bestimmten K_{α} -Energien, stellen Sie diese in einem Diagramm dar und überprüfen Sie das Moseleysche Gesetz (Gl. (6)). Was ist dafür eine geschickte Auftragung?

4.3 Geräteliste

- PHYWE XR 4.0 X-ray expert unit, Röntgengerät, 35 kV
- PHYWE XR 4.0 X-ray Einschübe mit Molybdän- und Wolfram-Röntgenröhre
- Amptek XR-100T-CdTe Detector
- Amptek PX4 Digital Pulse Processor
- PC

Literatur

- [1] W. Demtröder, *Experimentalphysik 4 - Kern-, Teilchen- und Astrophysik* 4. Auflage (Springer-Verlag, Berlin Heidelberg 2014) S. 89
- [2] W. Demtröder, *Experimentalphysik 3 – Atome, Moleküle und Festkörper* 4. Auflage (Springer-Verlag, Berlin Heidelberg 2010) S. 258
- [3] D. Meschede, *Gerthsen Physik* 24. Auflage (Springer-Verlag, Berlin Heidelberg 2010) S. 838
- [4] R. Weber, *Physik Teil II: Atom-, Molekül- und Quantenphysik* 1. Auflage (Teubner-Verlag, Wiesbaden 2007) S. 193
- [5] <http://www.amptek.com/products/xr-100t-cdte-x-ray-and-gamma-ray-detector/>
- [6] Verordnung über den Schutz vor Schäden durch Röntgenstrahlen (Röntgenverordnung – RöV) <http://grundpraktikum.physik.uni-saarland.de/scripts/Roentgenverordnung.pdf>
- [7] Bundesamt für Strahlenschutz, <http://odlinfo.bfs.de/cvdata/100411002.php?lang=DE>
- [8] R.B. Firestone, V.S. Shirley, C.M. Baglin, S.Y. Frank Chu, J. Zipkin, *Table of Isotopes* (8th ed., Wiley-Interscience, New York 1996), CD-ROM Edition, Anhang F-42

