

## Atom- und Kernphysik

Röntgenstrahlung

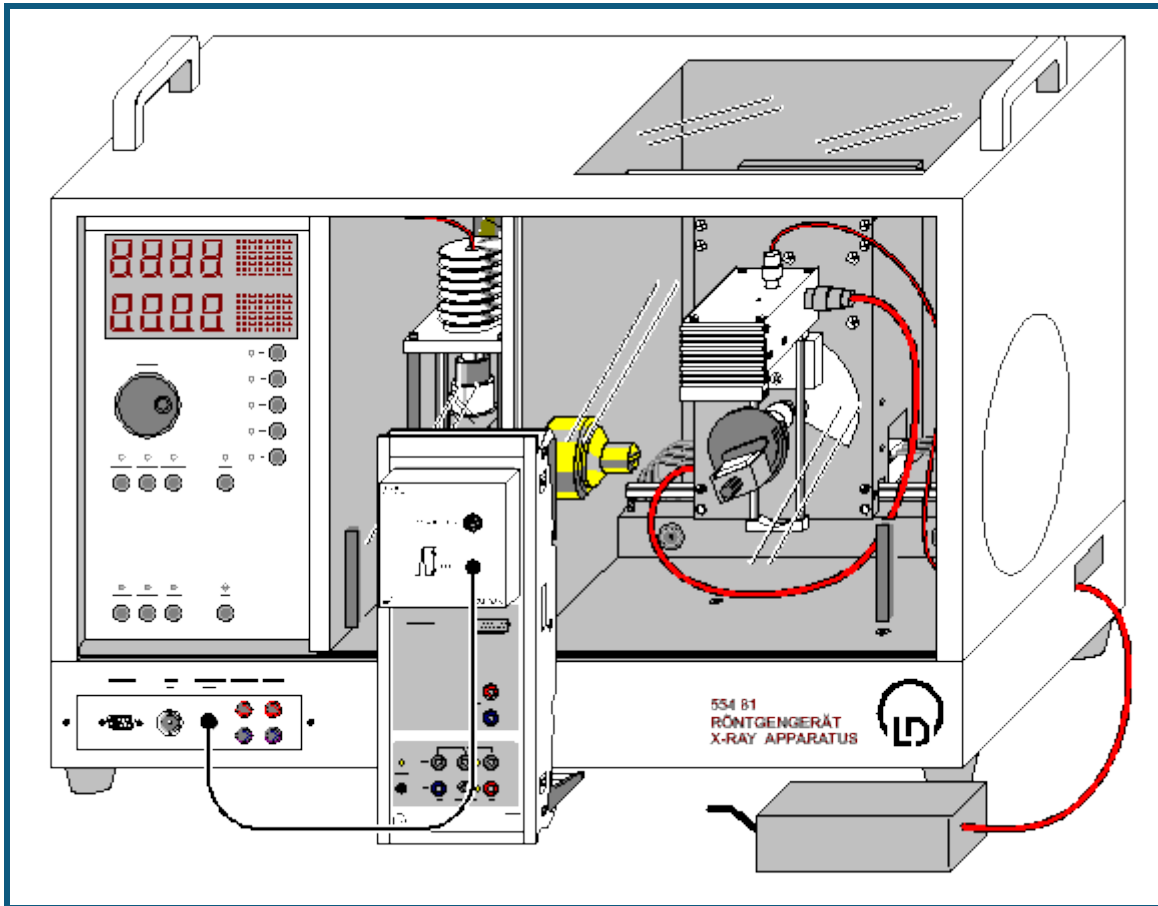
*Röntgenenergiespektroskopie*

Untersuchung der charakteristischen Spektren in Abhängigkeit von der Ordnungszahl des Elements: L-Linien

### Beschreibung aus CASSY Lab 2

Zum Laden von Beispielen und Einstellungen bitte die CASSY Lab 2-Hilfe verwenden.

## Moseleysches Gesetz (L-Linien-Röntgenfluoreszenz)



 auch für [Pocket-CASSY](#) geeignet

### Sicherheitshinweise

Das Röntgengerät erfüllt die Vorschriften über die Bauart einer Schulröntgeneinrichtung und eines Vollschutzgeräts und ist als Schulröntgengerät und Vollschutzgerät unter BfS 05/07 V/Sch RöV oder NW 807 / 97 Rö bauartzugelassen.

Durch die werksseitig eingebauten Schutz- und Abschirmvorrichtungen ist die Dosisleistung außerhalb des Röntgengeräts auf unter  $1 \mu\text{Sv/h}$  reduziert, einen Wert, der in der Größenordnung der natürlichen Strahlenbelastung liegt.

- Vor der Inbetriebnahme das Röntgengerät auf Unversehrtheit überprüfen und das Abschalten der Hochspannung bei Öffnen der Schiebetüren kontrollieren (siehe Gebrauchsanweisung zum Röntgengerät).
- Röntgengerät vor dem Zugriff Unbefugter schützen.

Eine Überhitzung der Anode in der Röntgenröhre ist zu vermeiden.

- Bei Einschalten des Röntgengeräts überprüfen, ob sich der Lüfter im Röhrenraum dreht.

Das Goniometer wird ausschließlich über elektrische Schrittmotoren verstellt.

- Targetarm und Sensorarm des Goniometers nicht blockieren und nicht mit Gewalt verstellen.

Beim Umgang mit Schwermetallen oder Allergenen aus den Targetsätzen deren Gebrauchsanweisung beachten.

### Versuchsbeschreibung

Röntgenfluoreszenz entsteht, wenn Elektronen durch Röntgenstrahlung aus den inneren Schalen eines Atoms herausgeschlagen werden. Das dabei ionisierte Atom hat dann eine Vakanz (Elektronenloch) in einer zuvor abgeschlossenen Unterschale. Diese Elektronenlöcher können mit Elektronen aus anderen schwächer gebundenen Schalen des Atoms aufgefüllt werden: z. B. kann die K-Schale dadurch geschlossen werden, dass ein Elektron aus der L-Schale dahin übergeht. Ein solcher Übergang ist mit der Emission eines Photons verbunden. Diese Strahlung weist nur bestimmte diskrete Photonenenergien auf, die der Energiedifferenz der beteiligten Niveaus entspricht, und ist für jedes chemische Element charakteristisch.

Die Bezeichnungen der charakteristischen Röntgenlinien werden aus dem Symbol der Elektronenschale (K, L, M usw.) und einem griechischen Buchstaben ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ , usw.) zusammengesetzt. Dabei ist die Elektronenschale gemeint, die vor dem Elektronenübergang ionisiert war. So steht die Bezeichnung  $K_\alpha$ -Linie für den Übergang aus der L-Schale in die K-Schale,  $K_\beta$ -Linie für den Übergang aus der M-Schale in die K-Schale. Die  $L_\alpha$ - und  $L_\beta$ -Linien bezeichnen die Übergänge aus der M- und N-Schale in die L-Schale.

Für die Energien  $E$  der charakteristischen Linien fand Moseley im Jahre 1913 das Gesetz

$$\sqrt{\frac{E}{Ry}} = (Z - \sigma) \sqrt{\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}}$$

mit der Ordnungszahl  $Z$ , der Abschirmkonstanten  $\sigma$ , der Konstanten  $Ry = m_e e^4 / 8 \epsilon_0^2 h^2 = 13,6 \text{ eV}$  und den Hauptquantenzahlen  $n_1$  und  $n_2$  der beteiligten Elektronenschalen ( $n_1 < n_2$ ).

Im Versuch werden die Energien der charakteristischen  $L_\alpha$ - und  $L_\beta$ -Linien für Ag, In, Sn, W, Au und Pb bestimmt, das Moseleysche Gesetz bestätigt und die Abschirmkonstanten  $\sigma_\alpha$  und  $\sigma_\beta$  bestimmt. Die Feinstruktur der Linien, z. B.  $L_{\alpha 1}$  und  $L_{\alpha 2}$ , ist in diesem Experiment nicht auflösbar. Sie erscheinen im Spektrum deswegen als eine ( $L_\alpha$ )-Linie.

### Benötigte Geräte


1	<a href="#">Sensor-CASSY</a>	524 010 oder 524 013
1	<a href="#">CASSY Lab 2</a>	524 220
1	<a href="#">VKA-Box</a>	524 058
1	Röntgengerät mit Röntgenröhre Mo	554 801 oder 554 811
1	Targetsatz L-Linien-Fluoreszenz	554 846
1	Röntgenenergiedetektor	559 938
1	HF-Kabel, 1 m	501 02
1	PC mit Windows XP/Vista/7/8	

### Versuchsaufbau (siehe Skizze)

- Anschlusskabel des Tischnetzgerätes durch den Leerkanal des Röntgengerätes führen und an die Mini-DIN-Buchse des Röntgenenergiedetektors anschließen
- Sensorhalter mit montiertem Röntgenenergiedetektor im Sensorarm des Goniometers befestigen
- Signalausgang des Röntgenenergiedetektors mittels mitgeliefertem BNC-Kabel an die BNC-Buchse SIGNAL IN des Röntgengerätes anschließen
- Anschlusskabel soweit nachführen, dass ein vollständiger Schwenk des Sensorarmes möglich ist
- Taster SENSOR drücken und den Sensorwinkel mit Dreheinsteller ADJUST von Hand auf  $90^\circ$  stellen
- Abstände zwischen Spaltblende des Kollimators und Drehachse sowie zwischen Drehachse und Eintrittsöffnung des Röntgenenergiedetektors jeweils auf 5-6 cm einstellen
- Taster TARGET drücken und den Targetwinkel mit Dreheinsteller ADJUST von Hand auf  $45^\circ$  stellen
- Sensor-CASSY an Computer anschließen und VKA-Box aufstecken
- Ausgang SIGNAL OUT im Anschlussfeld des Röntgengerätes mittels BNC-Kabel mit VKA-Box verbinden

### Versuchsdurchführung

#### ■ Einstellungen laden

- Tischnetzgerät ans Netz anschließen (nach ca. 2 min leuchtet die Leuchtdiode "grün" und der Röntgenenergiedetektor ist betriebsbereit)
- Erstes Target (Ag) aus dem Targetsatz L-Linien-Fluoreszenz auf den Targettisch legen
- Röhren-Hochspannung  $U = 35 \text{ kV}$ , Emissionsstrom  $I = 1,00 \text{ mA}$  einstellen und Hochspannung einschalten
- Spektromaufnahme mit  starten
- Anschließend Spektren für die weiteren Targets (In, Sn, W, Au und Pb) aus dem Targetsatz L-Linien-Fluoreszenz aufnehmen

### Energiekalibrierung

Die Energiekalibrierung der Spektren wird an der  $L_\alpha$ -Linie von Wolfram (W) und an der  $K_\alpha$ -Linie von Silber (Ag) durchgeführt.

- In den [Einstellungen EA](#) (rechte Maustaste) die [Energiekalibrierung](#) öffnen, **Global für alle Spektren auf diesem Eingang** wählen und rechts die Energien der W  $L_\alpha$ -Linie (8,40 keV) und der Ag  $K_\alpha$ -Linie (22,17 keV) eintragen.
- Im Kontext-Menü des Diagramms [Peakschwerpunkt berechnen](#) auswählen, die W  $L_\alpha$ -Linie (größter Peak im 4. Spektrum) markieren und das Ergebnis links in die [Energiekalibrierung](#) eintragen (z. B. mit Drag & Drop aus der Statuszeile)

- Anschließend den Schwerpunkt der Ag  $K_{\alpha}$ -Linie (größter Peak im 1. Spektrum) bestimmen und ebenfalls links eintragen
- Darstellung auf Energie umschalten (z. B. mit Drag & Drop von  $E_A$  ins Diagramm)

### Auswertung

Mit höherer Ordnungszahl  $Z$  erhöht sich auch die Energie der charakteristischen Linien sowie die Aufspaltung zwischen der  $\alpha$ - und der  $\beta$ -Komponenten der L-Spektralseerie. Bei den schwereren Elementen können mit dem Röntgenenergiedetektor links und rechts neben den  $L_{\alpha}$ - und  $L_{\beta}$ -Komponenten auch die relativ kleinen  $L_{\gamma}$ - und  $L_{\delta}$ -Komponenten nachgewiesen werden. Für eine quantitative Analyse können die Energien der einzelnen Linien bestimmt werden:

- Spektrum im Diagramm auswählen
- Im Kontextmenü des Diagramms [Markierung setzen](#) → [Senkrechte Linie](#) auswählen und zwei [senkrechte Linien](#) annähernd an die Positionen der  $L_{\alpha}$ - und  $L_{\beta}$ -Linie setzen. Da bei den Elementen Silber, Indium und Zinn die  $L_{\alpha}$ - und  $L_{\beta}$ -Linien nicht aufgelöst sind, werden sie in den Auswertungen als eine einzige Linie betrachtet.
- Im Kontext-Menü des Diagramms [Anpassung durchführen](#) → [Gaußkurven gleicher Breite](#) aufrufen und den Bereich der gewünschten Peaks markieren (genügend Untergrund markieren!)
- Ermittelte Peakpositionen in der Statuszeile ablesen und zusammen mit der Ordnungszahlen  $Z$  von Ag ( $Z=47$ ), In ( $Z=49$ ), Sn ( $Z=50$ ), W ( $Z=74$ ), Au ( $Z=79$ ) und Pb ( $Z=82$ ) in die Darstellung **Energie** (mit der Maus anklicken) eintragen (z. B. mit Drag & Drop aus der Statuszeile)

Für jede Linie wird automatisch der Ausdruck  $\sqrt{E/Ry}$  berechnet und in der Darstellung **Moseley** gegen die Ordnungszahl  $Z$  dargestellt. Gleiches gilt für die Abschirmkonstanten  $\sigma_{\alpha}$  und  $\sigma_{\beta}$  und die Darstellung **Abschirmung**.

In der Darstellung **Moseley** kann für  $L_{\alpha}$  und  $L_{\beta}$  durch eine [Ausgleichsgerade](#) der lineare Zusammenhang des Moseleyschen Gesetzes bestätigt werden.

In der Darstellung **Abschirmung** weist die sehr unterschiedliche Abhängigkeit der Abschirmkonstanten für die  $L_{\alpha}$ - und  $L_{\beta}$ -Linien von der Ordnungszahl  $Z$  auf Unterschiede im Aufbau der Unterniveaus der M- und L-Schalen hin. Es ist bemerkenswert, dass die Abschirmkonstante für die  $L_{\alpha}$ -Linien den Wert  $\approx 7$  hat. Das bedeutet, dass die Abschirmung durch die sieben nach der Ionisation in der L-Schale verbliebenen Elektronen erfolgt. Was wiederum darauf hinweist, dass die p- und s-Orbitale (L- bzw. K-Schalen) so geformt sind, dass die zwei sich in der K-Schale befindenden Elektronen für die Abschirmung des  $L_{\alpha}$ -Übergangs unwirksam sind.