

Übungen zur Vorlesung Moderne Experimentalphysik I

KIT, Sommersemester 2019



Prof. Dr. G. Drexlin, Dr. K. Valerius, Dr. M. Schlösser, Dr. H. Seitz-Moskaliuk

Vorlesungen	Di 9:45 + Do 8:00, Gerthsen-Hörsaal
Sprechstunde	Prof. Drexlin: Di 11:30-12:30, Raum F2-34 (Flachbau)
Übungen	Mo 8:00, 9:45, 11:30
Sprechstunde	Dr. Schlösser, Dr. Seitz-Moskaliuk: nach Vereinbarung (magnus.schloesser@kit.edu, hendrik.seitz-moskaliuk@kit.edu)
Ilias	https://ilias.studium.kit.edu/goto_produkativ_crs_946736.html

Übungsblatt 8 – Bearbeitung bis 24.06.2019

(25) Konzepte in Mehrelektronensystemen

Erklären Sie folgende Begriffe im Bezug zur Atomphysik

- (a) Fermion
- (b) Pauli-Prinzip
- (c) Hund'sche Regeln
- (d) Russel-Sauders Kopplung

(26) Mehrelektronensysteme und Atome

Ein Ofen beinhaltet Natrium bei geringem Druck und einer Temperatur von $T = 2000$ K. Die Atome in dem Ofen befinden sich in folgenden Konfigurationen (außerdem ist die Energie der Zustände gegeben):

$$1s^2 2s^2 2p^6 3s : \text{Grundzustand} \quad (1)$$

$$1s^2 2s^2 2p^6 3p : 2.10 \text{ eV} \quad (2)$$

$$1s^2 2s^2 2p^6 4s : 3.18 \text{ eV.} \quad (3)$$

- (a) Wie ist obige Schreibweise der Konfigurationen zu interpretieren?
- (b) Geben Sie die Quantenzahlen (Gesamt L, S, J) der Zustände an, sowie die spektroskopischen Notation der Terme.
- (c) Welche Übergänge können beobachtet werden und wie ist die Wellenlänge der Photonen?

(27) Atome im Periodensystems

Bestimmen Sie, um welche Atome es sich handelt:

- (a) Die K- und L-Schale sind vollbesetzt, die 3s-Unterschale ist komplett gefüllt und die Hälfte der 3p-Unterschale.
- (b) Die K-, L- und M-Schale sind vollbesetzt, ebenso die 4s Unterschale. Bei der 3d-Unterschale fehlt ein Elektron.
- (c) Welche Schalen und Unterschalen sind bei Germanium voll- bzw. teilweise besetzt?
- (d) Wie ist das Termsymbol von Arsen im Grundzustand?

(28) Röntgenstrahlung

- (a) Ein Strahl aus Elektronen mit einer kinetischen Energie von 100 keV wird auf ein Wolfram-Target gelenkt. Skizzieren Sie das entstehende Röntgenspektrum (als Funktion der Energie bzw. $1/\lambda$). Zeichnen Sie die K-Röntgenlinien ein und bezeichnen Sie diese entsprechend.
- (b) Wenn Licht aus einer kontinuierlichen Lichtquelle ein (atomares) Gas passiert, so weist das transmittierte Licht ein sogenanntes Absorptionsspektrum auf. Im Fall von sichtbarer und ultravioletter Strahlung ist dies ein diskretes Linienspektrum. Dahingehend findet man im Röntgen-Bereich Absorptionskanten. Wieso gibt es diesen Unterschied und was ist der physikalische Grund für die beiden unterschiedlichen Phänomene?
- (c) Für Zn haben die Absorptionskanten folgende Energien (in keV):
 $K = 9.67$, $L_I = 1.21$, $L_{II} = 1.05$, $L_{III} = 1.03$.
 - Bestimmen Sie die Wellenlänge der K_α Linie(n).
 - Nun wird Zn mit 5 keV Elektronen beschossen. Was ist die kürzeste Röntgen-Wellenlänge, die gemessen werden kann?
 - Was ist die kürzeste Wellenlänge einer charakteristischen Röntgenlinie in dieser Konfiguration?

(-) Hinweise zur Röntgenstrahlung

- **Kontinuierliche Strahlung aus Bremsstrahlung.** Der Effekt der Bremsstrahlung wird in Röntgenröhren zur Erzeugung von Röntgenstrahlung verwendet. Dabei schießt man Elektronen mit einer kinetischen Energie E ab 30 keV auf eine Metallplatte, die häufig aus Wolfram besteht. Die Elektronen wechselwirken dann mit den Atomen des Materials aufgrund ihrer Ladung und den Ladungen des Materials (bei hohen Z hauptsächlich die Atomkerne). Ein kleiner Teil der beim Abbremsen frei werdenden Energie wird in Röntgenstrahlung mit einem kontinuierlichen Spektrum (einem Röntgenkontinuum) umgewandelt. Die maximale Energie der Röntgenstrahlung erhält man für den Fall, wenn die komplette kinetische Energie in die Energie eines Röntgenphotons umgewandelt wird, $E_{\max} = E_{\text{kin}}$. Damit ist die kürzeste Wellenlänge

$$\lambda_{\min} = \frac{h \cdot c}{e \cdot U} \quad (4)$$

Die kontinuierliche Verteilung lässt sich dann durch die Kramersche Regel nähern:

$$J(\lambda) = K \cdot I \cdot Z \cdot \left(\frac{\lambda}{\lambda_{\min}} - 1 \right) \cdot \frac{1}{\lambda^2} \quad (5)$$

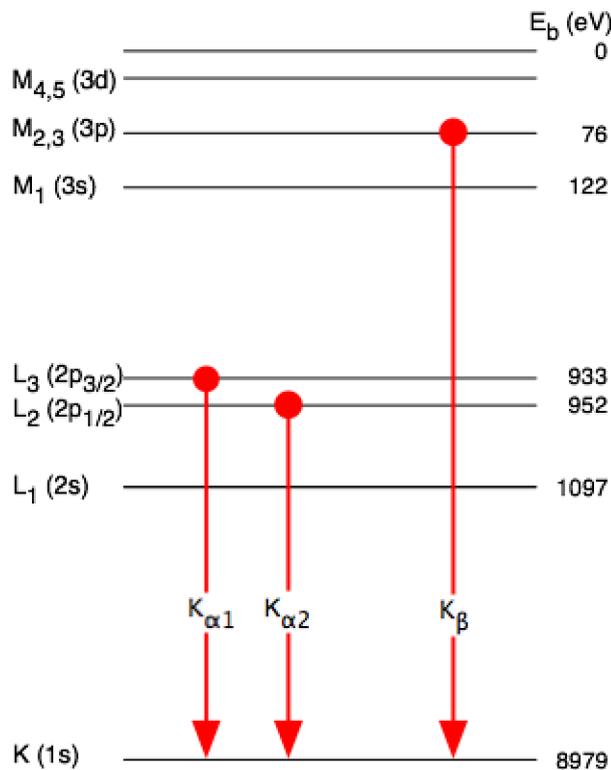


Abbildung 1: Beispiel für charakteristische Röntgenübergänge.

Hier bei ist K die Kramersche Konstante, I der Elektronenstrom, und Z die Kernladung des Targetelements.

- **Charakteristische Strahlung.** Charakteristische Strahlung ist Linienstrahlung und ist abhängig vom Material. Hierbei schlägt zunächst das einfliegende, hochenergetische Elektron ein tief liegendes Elektron aus der Atomhülle heraus. Diese Lücke wird durch ein Elektron aus der weiter außen liegenden Hülle aufgefüllt. Die Energiedifferenz zwischen dem Zustand des fehlenden Elektrons und dem des auffüllenden wird als monoenergetisches Photon emittiert.

Die Bezeichnung der Linien ist die folgende: $X_{\eta,y}$. X ist hierbei die Schale des herausgeschlagenen Elektrons (z.B. K, L, M, ...). η ist ein Index der angibt aus welcher Schale das auffüllende Elektron stammt. α entspricht dabei einem $\Delta n = 1$, β einem $\Delta n = 2$, und so weiter. y gibt zusätzlich eine Feinstrukturaufspaltung an, falls vorhanden. Die Auswahlregeln $\Delta l = 1$ muss weiterhin gelten. Ein Beispiel für Übergänge in Kupfer ist in Abbildung 1 gegeben. Die Frequenz der Übergänge lässt sich mit dem Moseleysche Gesetz beschreiben:

$$f = \frac{c}{\lambda} = R Z_{\text{eff}}^2 \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right). \quad (6)$$

Hierbei ist R die Rydbergkonstante (mit Korrektur der Kernmasse!). $Z_{\text{eff}} = Z - S$ ist die effektive Kernladung. Hierbei ist S eine Konstante, die die Abschirmung der Kernladung durch Elektronen beschreibt, die sich zwischen Kern und dem betrachteten Elektron befinden. Diese Abschirmkonstante ist gegeben durch $S = 1$ für K_{α} , $S = 1.8$ für K_{β} und $S = 7.4$ für L_{α} .

- **Röntgenabsorption.** Die beiden vorherigen Aufzählungspunkte haben die Erzeugung von Röntgenstrahlung mithilfe von Elektronen besprochen. In diesem Punkte wird besprochen, was passiert, wenn bereits erzeugte Röntgenstrahlung mit Materie wechselwirkt.

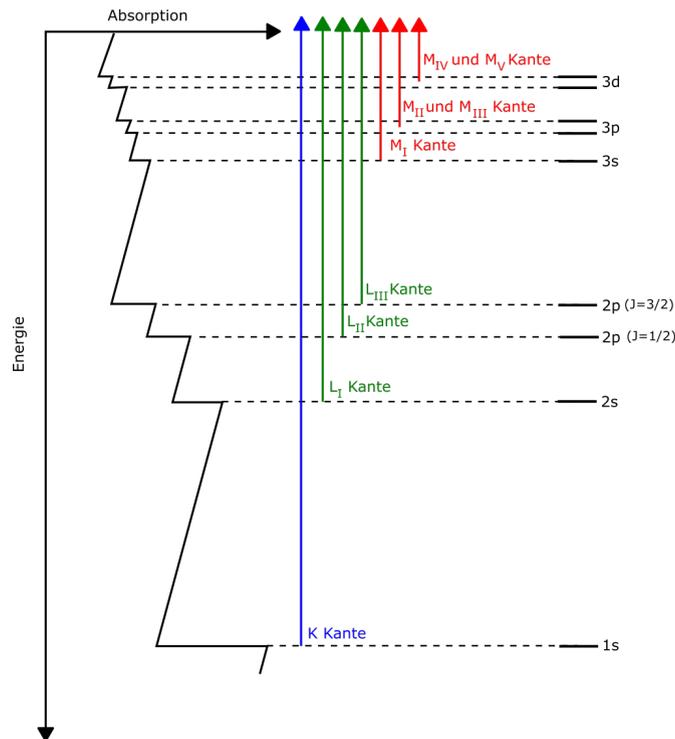


Abbildung 2: Absorptionskanten

Arten der Wechselwirkung von Photonen mit Materie wurden zu Beginn des Semesters besprochen, d.h. Photoeffekt oder Comptoneffekt. Darüber hinaus kommt es zu den charakteristischen Absorptionskanten bei der Wechselwirkung mit Röntgenphotonen (siehe Vorlesung). Die Position der Absorptionskante entspricht der Ionisationsenergie eines der inneren Elektronen (z.B. auf K-Schale, L-Schale, etc.). Diese ist dann selbstverständlich wieder elementabhängig.

Für die Position für die n -te Schale gilt ähnlich dem Moseleyschem Gesetz

$$f = \frac{c}{\lambda} = R Z_{\text{eff}}^2 \left(\frac{1}{n^2} \right). \quad (7)$$

Für die Aufgabe 28c ist das folgende Zuordnungsbild in Abbildung2 hilfreich. Bitte beachten Sie die Auswahlregeln bei den Übergängen!

(*) Punkteverteilung

Aufgabe	Teilaufgabe	Punkte
25	a, b, c, d	je 1
26	a, b, c	je 1
27	a, b, c, d	je 1
28	a, b	je 1
28	c	2

Bei Verständnisfragen gerne das Wiki im ILIAS nutzen oder eine Mail an die Übungsleiter schreiben.