

Laborheft

Versuchsleiter: Nando Spiegel
Andres Minder

Durchführung	Versuch	Abgabe	Akzeptiert
06.03.2018	W6 - Mech. Resonanz mit Fahrbahnpendel	20.03.2018	
17.04.2018	O9 - Interferenz und Beugung	15.05.2018	
29.05.2018	A11 - Röntgenstrahlung / -beugung	12.06.2018	

A11 - Röntgenstrahlung /-beugung

12. Juni 2018

Versuchsleiter:

Nando Spiegel
Andres Minder

Inhaltsverzeichnis

1	Arbeitsgrundlagen	1
1.1	Das Röntgen-Spektrum	1
1.1.1	Die Bremsstrahlung	2
1.1.2	Die charakteristische Strahlung	3
1.2	Beugung von Röntgen-Strahlung an Kristallen, Röntgen-Spektrometer	3
2	Durchführung	5
3	Auswertung	6
4	Fehlerrechnung	7
5	Resultate und Diskussion	8
6	Begriffsexplikation	9
7	Plagiatserklärung	11
8	Verzeichnisse	12
	Abbildungsverzeichnis	12
	Literaturverzeichnis	13
	Anhang	14

1 Arbeitsgrundlagen

1.1 Das Röntgen-Spektrum

Wenn schnelle Elektronen auf Materie treffen, dann entstehen Röntgenstrahlen. Eine Röntgen-Röhre besteht aus (siehe Abbildung 1.1):

K Glühkathode

A massive Anode (je nach Verwendungszweck ein Metall mittlerer bis hoher Ordnungszahl)

U Hochspannung (Bereich von $10kV$ bis zu einigen $100kV$)

Die Glühkathode und die massive Anode sind dabei von einem evakuierten Glaskolben umschlossen. Von der Kathode emittieren Elektronen, welche von der angelegten Hochspannung beschleunigt werden. Mit einer fokussierten Energie von ungefähr $E_k = e * U$ prallen diese dann auf die Anode. In einer Schicht von wenigen μm Dicke verlieren die Elektronen ihre Energie durch eine Kette von Stoßprozessen. Hauptsächlich durch Anregung und Ionisation der Metallatome ($> 99\%$). Diese Energie wird in Wärme umgewandelt, weshalb die Anoden rotiert oder mit Wasser gekühlt werden müssen. Somit bleibt nur noch ein kleiner Rest übrig ($< 1\%$), welcher in Röntgenstrahlung umgesetzt wird. Die resultierende Strahlung entspricht einer isotropen Strahlung (*Isotropie*¹), was eine Abschirmung erfordert. Die Nutzstrahlung wird mit einem Bleikollimator ausgeblendet. Die Anode ist abgeschrägt und der Kolben mit einem Fenster aus dünnerem Glas oder Beryllium versehen, damit die Absorptionen niedrig gehalten werden können.

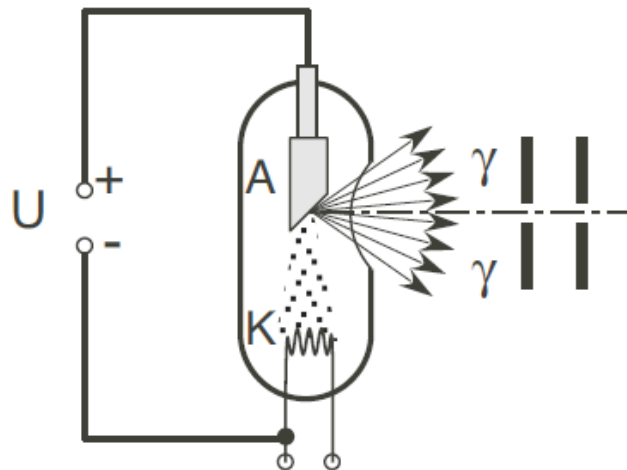


Abbildung 1.1: Röntgen-Röhre

¹*kursiv* geschriebene Begriffe sind im Kapitel Begriffsexplikation genauer erläutert

Aus der Abbildung 1.2 kann entnommen werden, dass das Röntgenspektrum aus zwei Komponenten besteht:

- **Bremskontinuum:** Es weist eine unspezifische Form auf und beginnt am kurzweiligen Ende bei einem von der angelegten Spannung abhängigen Punkt (λ_G)
- **Röntgenlinien:** (K_α & K_β) Diese sind charakteristisch für das Anodenmaterial und hängen nicht von der Spannung ab

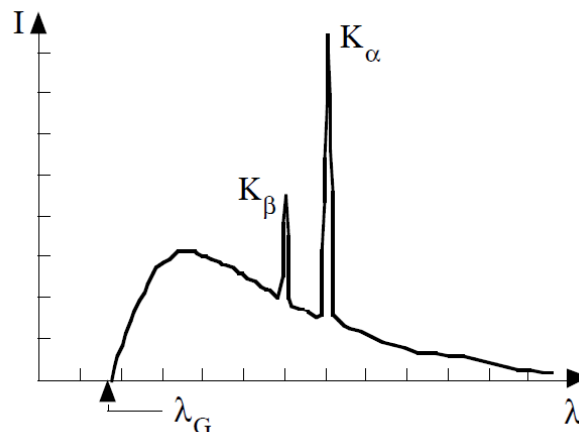


Abbildung 1.2: Röntgenspektrum: **I** steht für die Intensität und λ für die Wellenlänge.

1.1.1 Die Bremsstrahlung

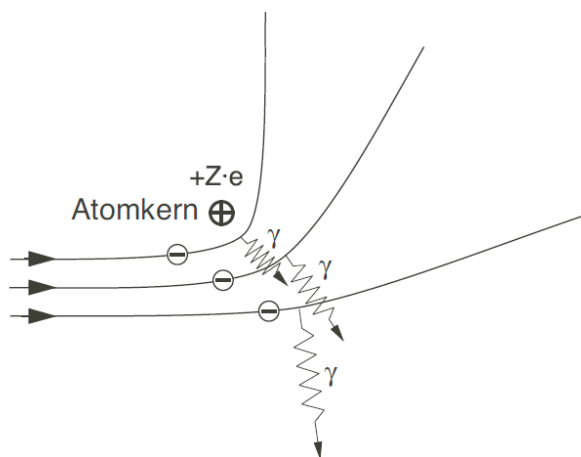


Abbildung 1.3: Entstehung der Bremsstrahlung

Wenn Elektronen in das Coulombfeld im Kern eines Atoms eindringen, dann entsteht die Bremsstrahlung. Dabei wird auf das Elektron durch die Coulombkraft eine Zentralbeschleunigung gegen den Kern (*Zentripetalkraft*) ausgeübt, wodurch es auf einer Hyperbelbahn am Kern vorbeifliegt. Da das Elektron aber eine elektromagnetische Strahlung aussendet, verlässt es das Coulombfeld mit Energieverlust.

Wichtig: Dieser Energieverlust, resp. diese Bremsung des Elektrons wird durch genau diese elektromagnetische Abstrahlung des Elektrons kausiert, nicht umgekehrt!

Wegen der hohen Geschwindigkeit der Elektronen dauert die Beschleunigung nur eine sehr kurze Zeit, weshalb eine *aperiodische* Stosswelle emittiert. Dessen Frequenzspektrum entspricht einem Kontinuum, welches je kürzer die Abstrahlung, umso breiter ist und sich bis zu beliebig hohen Frequenzen erstreckt. Bei der Ablenkung des Elektron wird nach der Quantentheorie der Strahlung ein Photon γ (siehe Abbildung 1.3) emittiert. Bei dieser Photonenemission spielt sich ein Elementarprozess ab, bei dem die Energie und der Impuls erhalten bleibt, wobei die Energiezustände kontinuierlich sind. Weil der Kern sehr schwer ist, nimmt er praktisch keine Energie auf, weshalb sich die Energie des einfallenden Elektrons E_e rein zufällig auf das Elektron und das Photon teilt. Die Energie des Photons $E_{\gamma, max}$ kann somit höchstens gleich der Energie des Elektrons E_e werden. Daraus schliesst sich, dass das Bremskontinuum bei der Grenzfrequenz $f_G = \frac{E_e}{h}$ und somit bei der Wellenlänge $\lambda_G = \frac{h \cdot c}{E_e}$ abbrechen muss. Die Bremsstrahlung hat die Grenze bei:

$$E_{\lambda, max} = e \cdot U, \text{ bzw. } \lambda_G = \frac{h \cdot c}{e \cdot U} \quad (1.1)$$

1.1.2 Die charakteristische Strahlung

Diese Strahlung entsteht, wenn beim Elektronenübergang in der kernnahen Atomhülle des Anodenmaterials ein Photon emittiert wird. In der Abbildung 1.4 sind diese Übergänge mit der daraus resultierenden Strahlung illustriert:

L-Schale	→	K-Schale	K_α -Strahlung
M-Schale	→	K-Schale	K_β -Strahlung
M-, N-, O-Schale	→	L-Schale	L-Strahlung
usw.			

Solche Übergänge sind nur möglich, wenn zuvor ein Elektron aus der dementsprechenden Schale „herausgeschlagen“ wurde. Dies geschieht entweder durch einen Elektronenstoß (Stossionisation), oder durch Absorption von Röntgen-Strahlung (Photoionisation).

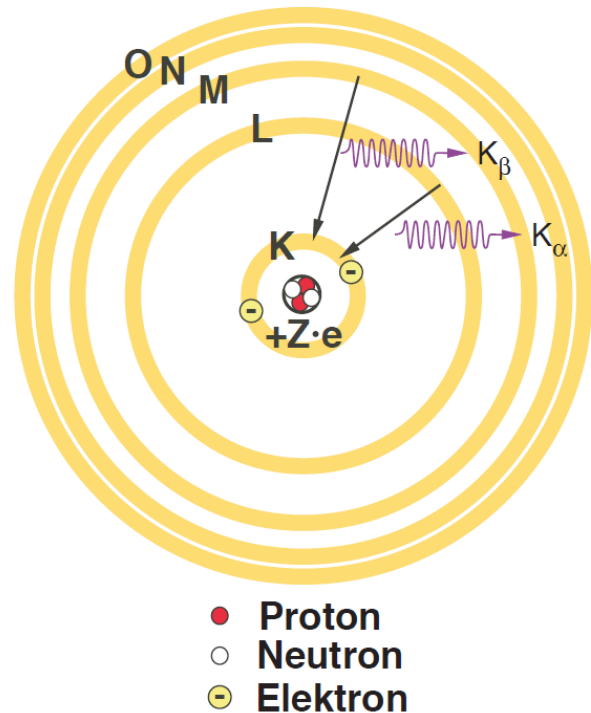


Abbildung 1.4: Entstehung der charakteristischer Strahlung

1.2 Beugung von Röntgen-Strahlung an Kristallen, Röntgen-Spektrometer

In der Abbildung 1.5 wird eine ebene Welle im Schnitt gezeigt. Diese trifft auf regelmäßig in einer Ebene angeordnete Sekundärquellen. Ein weit entfernter Beobachtungsschirm empfängt die emittierten Sekundärwellen (in der Abbildung 1.5 auf der rechten Seite). Die Sekundärwellen befinden sich dabei immer in Phase, wenn der Einfallswinkel gleich dem Ausfallwinkel ist. Logisch ist, dass die Sekundärquelle 1) vor 2) & 3) angeregt wird, wobei allerdings die Strecke zum Beobachtungsschirm dementsprechend etwas länger ist.

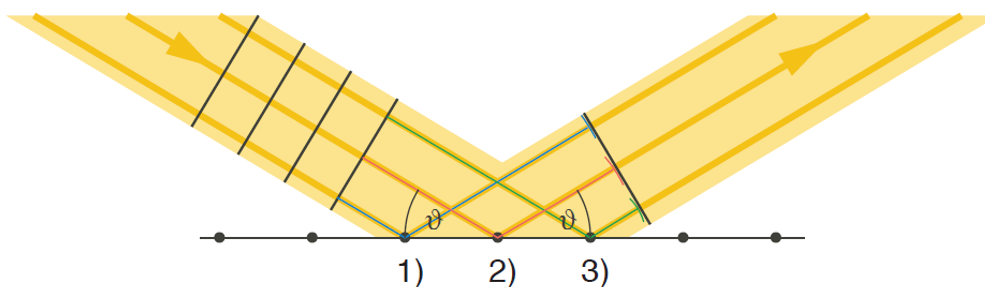
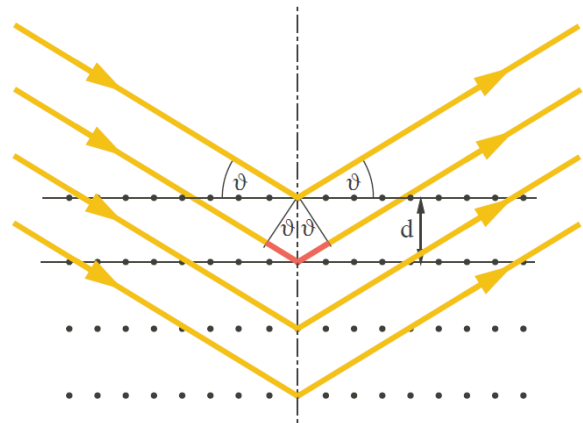


Abbildung 1.5: Nullte Beugungsordnung in Reflexion. 1), 2) und 3) sind Sekundärquellen (respektive Atom/Molekül).

Nun können diese Ebenen gestapelt werden (siehe Abbildung 1.6). Dabei müssen aber die Sekundärwellen aller Ebenen sich immer noch in Phase befinden.

Daraus resultiert eine konstruktive Interferenz, welche folglich an die sogenannte Bragg'sche Bedingung (Gleichung 1.2) geknüpft ist:

$$2 * d * \sin(\vartheta_n) = n * \lambda \quad (1.2)$$



Die gestapelten Ebenen können auch seitlich verschoben werden (siehe Abbildung 1.7). Ist aber auch hier die Bragg'sche Bedingung erfüllt, so sind die vom unteren Atom/Molekül emittierten Sekundärwellen mit den Anderen in Phase.

Abbildung 1.6: Herleitung der Bragg'schen Gleichung

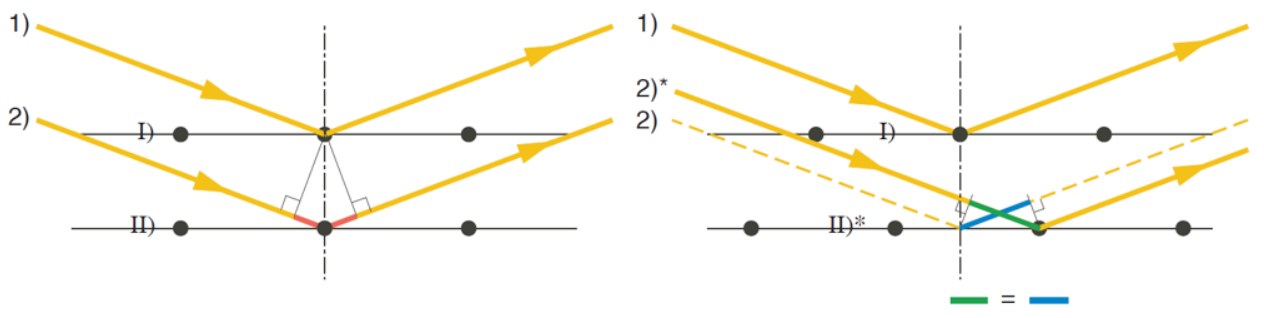


Abbildung 1.7: Untereinander liegende, verschobene Ebenen.

Kurz zusammengefasst müssen die „beugenden“ Teilchen in der Ebene nicht regelmäßig angeordnet sein, sondern wenn **„die Ebenen identisch, äquidistant und ev. gegeneinander verschoben angeordnet, erhalten wir konstruktive Interferenz, wenn die Bragg'sche Bedingung erfüllt ist.“** [1]

2 Durchführung

3 Auswertung

4 Fehlerrechnung

5 Resultate und Diskussion

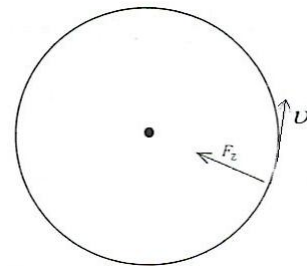
6 Begriffsexplikation

Isotropie

„Mit isotroper Strahlung ist in der Regel eine solche Strahlung gemeint, die in alle Richtungen des 3-dimensionalen Raumes gleichmäßig abgestrahlt wird.“ [2]

Zentripetalkraft

„Bei einer gleichförmigen Kreisbewegung wirkt auf den Körper stets eine Kraft, die immer zum Kreismittelpunkt zeigt. Diese Kraft wird als Zentripetalkraft bezeichnet.“ [3]



In der Abbildung 6.1 ist dies illustriert.

Abbildung 6.1: F_z = Zentripetalkraft;
 v = Geschwindigkeit des
Objektes [3]

Aperiodizität

Nicht periodisch oder auch das Fehlen einer periodischen Eigenschaft von einem Signal.

Ionisation

„Ionisation heißt jeder Vorgang, bei dem aus einem Atom oder Molekül ein oder mehrere Elektronen entfernt werden, so dass das Atom oder Molekül als positiv geladenes Ion zurückbleibt. Der Umkehrvorgang, bei dem ein Elektron von einem ionisierten Atom oder Molekül eingefangen wird, wird als Rekombination bezeichnet. Im weiteren Sinne könnte auch die Bildung negativer Ionen (durch Anlagerung eines zusätzlichen Elektrons an das neutrale Atom oder Molekül) als Ionisation bezeichnet werden.“ [4]

Stoßionisation

„Bei der Stoßionisation in der ursprünglichen Wortbedeutung werden Elektronen durch einfallende, hinreichend schnelle Elektronen aus Atomen oder Molekülen „herausgeschlagen“ und diese dadurch ionisiert. Im weiteren Sinne kann man jede Ionisation so bezeichnen, die durch irgend einen Stoßvorgang (also beispielsweise beim photoelektrischen Effekt) erfolgt und nicht durch Wirkung eines elektrischen Feldes oder auf andere Weise.“ [5]

Photoionisation

„Unter Photoionisation (auch atomarer oder molekularer Photoeffekt) schließlich versteht man die Ionisierung von Atomen durch Bestrahlung mit Licht genügend hoher Frequenzen.“ [6]

7 Plagiatserklärung

Wir, Nando Spiegel und Andres Minder, die Versuchsleiter in diesem Versuch versichern, dass dieses Laborjournal selbstständig erarbeitet wurde. Alle Quellen und Hilfsmittel aus anderen Werken, die dem Wortlaut oder dem Sinne nach entnommen wurden und zu dieser Arbeit beigetragen haben, sind jeweils kenntlich referenziert.

Ort, Datum:

Brugg, 12. Juni 2018

Unterschrift des Versuchsleiters:

8 Verzeichnisse

Abbildungsverzeichnis

1.1	Röntgen-Röhre	1
1.2	Röntgenspektrum	2
1.3	Entstehung der Bremsstrahlung	2
1.4	Entstehung der charakteristischer Strahlung	3
1.5	Nullte Beugungsordnung in Reflexion. 1), 2) und 3) sind Sekundärquellen (respektive Atom/Molekül).	3
1.6	Herleitung der Bragg'schen Gleichung	4
1.7	Untereinander liegende, verschobene Ebenen.	4
6.1	Zentripetalkraft	9

Literaturverzeichnis

- [1] Physikzentrum. Röntgenstrahlung/-beugung. Dokument, keine Angaben.
- [2] Wikipedia. Isotropie. <https://de.wikipedia.org/wiki/Isotropie>, May 2018. [Online Available: 23.05.2018].
- [3] Dennies Rudolph. Kreisbewegung und zentripetalkraft (physik). <https://www.frustfrei-lernen.de/mechanik/kreisbewegung-zentripetalkraft-physik-mechanik.html>, December 2017. [Online Available: 25.05.2018].
- [4] Chemie.de. Ionisation. <http://www.chemie.de/lexikon/Ionisation.html>, keine Angaben. [Online Available: 25.05.2018].
- [5] Chemie.de. Stossionisation. <http://www.chemie.de/lexikon/Sto%C3%9Fionisation.html>, keine Angaben. [Online Available: 25.05.2018].
- [6] Academic. Photoionisation. <http://deacademic.com/dic.nsf/dewiki/1106069>, keine Angaben. [Online Available: 25.05.2018].

Anhang