

Messung elektronenstoßangeregter Fluoreszenz von atomaren und molekularen Gasen

Arbeitsgruppenversuch

A-Versuch für Modul PM1 „Fortgeschrittenenpraktikum MA“

Universität Kassel

Fachbereich 10 - Naturwissenschaften

Institut für Physik

Arbeitsgruppe Experimentalphysik IV - Dünne Schichten und Synchrotronstrahlung

Prof. Arno Ehresmann



Betreuer:

Andreas Hans, hans@physik.uni-kassel.de

Philipp Schmidt, p.schmidt@uni-kassel.de

Raum 0182, AVZ

Tel.: 0561-804-4046

Stand: März 2014

Einleitung

Durch Messung der Zerfallsprodukte von angeregten Systemen kann viel über den Aufbau und die Eigenschaften von Atomen und Molekülen gelernt werden. Ein Teil der Arbeitsgruppe Experimentalphysik IV hat sich auf die Messung von Fluoreszenz spezialisiert, also die spontane Emission von Photonen durch ein angeregtes System. Zur Anregung wird in diesem Arbeitsversuch der Mechanismus des Elektronenstoßes benutzt. Da energetische Elektronen einen beliebigen Anteil ihrer Energie abgeben können, stellt der Elektronenstoß eine breitbandige Anregung dar. Dies ist nützlich um einen Überblick zu gewinnen, welche Zerfallskanäle grundsätzlich in einem System existieren. Bei späteren Experimenten können dann auftretende Übergänge zugeordnet werden.

Im Experiment wird entstehende Fluoreszenz in einem Spektrometer mit einem optischen Gitter dispersiert und dann spektral aufgelöst gemessen. Hierfür werden positionsempfindliche Ein-Photonen-Detektoren benutzt. Es stehen Detektoren für den vakuum-ultravioletten bis sichtbaren Spektralbereich (40 nm - 600 nm) zur Verfügung. Als Target werden atomare oder kleine molekulare Gase in eine Zelle eingelassen. Da die Erzeugung eines ausreichend intensiven Elektronenstrahls nur im Vakuum möglich ist, ist der komplette Versuchsaufbau evakuiert.

Der Arbeitsgruppenversuch soll einen Einblick in die Spektroskopie bieten. Grundsätzliches für den Umgang mit Vakuumtechnologie sowie die Funktionsweise von modernen Photonendetektoren werden vermittelt. Bei der Auswertung kann Erfahrung mit der Analyse von Spektren und Literaturrecherche gewonnen werden.

Apparatives

Fernfokuselektronenquelle

Der apparative Aufbau zur Messung elektronenstoßangeregter Fluoreszenz [KBS12] ist in Abbildung 1 skizziert. Die aus einem Glühdraht emittierten Elektronen werden mit einer Anordnung von Wehneltzylindern in Richtung einer Anode gelenkt. Durch eine Hochspannung werden sie beschleunigt und mit einer magnetischen Linse ins Wechselwirkungszentrum fokussiert [Han13]. Seitlich des Wechselwirkungsvolumens befindet sich der Eintrittsspalt zum Spektrometer, in dem ein optisches Gitter die auftreffende Fluoreszenz dispersiert und damit räumlich trennt. Mit einem positionsempfindlichen Detektor am Austrittsarm wird die Fluoreszenz schließlich gemessen. Für ausreichend intensive Fluoreszenz ist ein Elektronenstrom im Wechselwirkungsvolumen in der Größenordnung von $10\text{ }\mu\text{A}$ - $100\text{ }\mu\text{A}$ nötig. Dazu müssen alle Betriebsparameter perfekt aufeinander abgestimmt sein. Die wesentlichen relevanten Größen sind die beschleunigende Hochspannung U_{HV} , die Spulenstromstärke I_{Spule} der magnetischen Linse und die Potentiale von innerem, mittlerem und äußerem Wehneltzy-

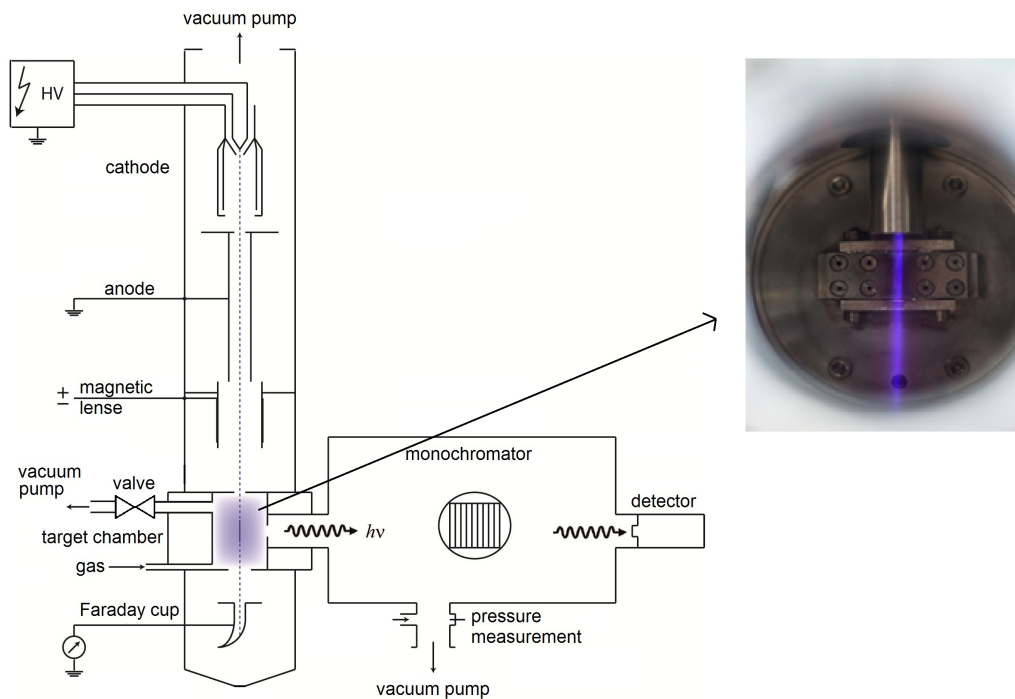


Abbildung 1: Skizze des Versuchsaufbaus zur Messung elektronenstoßangeregter Fluoreszenz. Bei hohem Gasdruck in der Targetkammer ist die Fluoreszenz mit bloßem Auge sichtbar.

linder U_{WI} , U_{WM} , U_{WA} . Teil des Versuchs ist eine Untersuchung des Einflusses dieser Parameter auf Strahlprofil und -intensität.

Spektrometer

Verwendet wird ein 1m-NIM-Spektrometer von *McPherson* (Type 225), d.h., Wechselwirkungszentrum und Detektorebene befinden sich in einem Meter Abstand zum optischen Gitter. Über eine Mechanik kann das Gitter im Inneren von außen gedreht werden, sodass verschiedene spektrale Ausschnitte durch die Blende am Austrittsarm auf den Detektor fallen. Zur Aufnahme eines kompletten Spektrums ist deshalb die Messung mehrerer Ausschnitte und anschließendes Zusammenfügen erforderlich. Eine Skala gibt den aktuellen Stand des Gitters in $\text{\AA}$ an. Diese Skala ist auf ein 600 Linien/mm-Gitter kalibriert. Wird ein Gitter mit höherer Liniendichte verwendet (es stehen noch Gitter mit 1200 bzw. 2400 L/mm zur Verfügung), muss der angezeigte Wert entsprechend halbiert bzw. geviertelt werden (Hinweis zur Vorbereitung: Warum?).

Detektoren

Die Detektion der Photonen erfolgt folgendermaßen: Photonen treffen zunächst auf Mikrokanalplatten (englisch: *Micro-channel plate*, kurz: MCP), wo sie die Emission von Elektronenschauern auslösen [Han13, Wiz79]. Die Vorderseite des MCPs ist beschichtet. Die Beschichtung bestimmt den

Energiebereich der detektierbaren Photonen. Die orts aufgelöste Detektion selbst erfolgt dann durch Messung der Elektronenschauer auf ortsauflösenden Anoden [Han13, Kni12, Sch13].

Vakuumapparatur

Für die Erzeugung eines Elektronenstrahls und die Anregung einer bestimmten Gasart ist Hochvakuum erforderlich. Der gesamte Aufbau wird dazu mit einer Vorpumpe und zwei Turbomolekularpumpen evakuiert, von denen eine oberhalb des elektronenemittierenden Glühdrahts und die andere am Spektrometer sitzt. Machen Sie sich zur Vorbereitung mit den Grundlagen der Vakuumphysik und -erzeugung vertraut [Dem1, Wut04].

Versuchsdurchführung und Auswertung

Aufgaben

1. Einfluss der Betriebsparameter der Fernfokuselektronenquelle

Stellen Sie alle Betriebsparameter auf maximalen Elektronenstrom I_e ein. Variieren Sie nun die Parameter beschleunigende Hochspannung U_{HV} , Spulenstromstärke I_{Spule} der magnetischen Linse und Potential von innerem, mittlerem und äußerem Wehneltzylinder U_{WI}, U_{WM}, U_{WA} nacheinander um das Maximum. Beschreiben Sie qualitativ den relativen Einfluss auf den Betrag des Elektronenstroms ohne Gas in der Targetkammer. Lassen Sie dann Gas in die Kammer ein; die Fluoreszenz des Elektronenstrahls sollte nun mit dem bloßen Auge gut sichtbar sein. Variieren Sie die Parameter erneut und beschreiben Sie den Einfluss auf das sichtbare Strahlprofil.

2. Laterale Quanteneffizienz des Detektors

Für Aussagen über relative Intensitäten von Übergängen sind Kenntnisse über die laterale Quanteneffizienz eines Detektors wichtig, da sie durch die räumliche Trennung in der Regel auf verschiedenen Detektorbereichen gemessen werden. Wählen Sie eine Gitterstellung, bei der ein deutlicher und isolierter Übergang auf dem Detektorbild zu sehen ist. Schieben Sie nun durch Drehung des Gitters diesen Übergang in 0,5 nm-Schritten über die Detektorfläche. Tragen Sie Intensität, Halbwertsbreite und Verschiebung gegen die Position auf dem Detektorbild auf.

3. Messung zu aktuellen Themen der Fluoreszenzspektroskopie

Zur Fluoreszenzspektroskopie gibt es stets aktuelle Fragestellungen. Führen Sie eine Messung nach Anweisung des Betreuers durch und werten Sie diese aus.

Generelle Informationen

- Der Versuch wird im Forschungslabor der Arbeitsgruppe durchgeführt. Vorher ist eine entsprechende Sicherheitsunterweisung durchzuführen. Den Anweisungen der Betreuer ist unbedingt Folge zu leisten.
- Der Inhalt von Aufgabenteil 3 ist an das aktuelle Forschungsprogramm der Arbeitsgruppe angepasst. Bei der Anmeldung erhalten die Praktikanten nähere Informationen und gegebenenfalls weitere Literatur.
- Die Anmeldung muss mindestens zwei Wochen vor geplantem Versuchsdatum bei den Betreuern persönlich erfolgen!
- Innerhalb von zwei Wochen nach dem Versuch muss das Versuchsprotokoll abgegeben werden!

Vorbereitung und Literatur

Grundlagen der Atom- und Molekülphysik und zur Absorption und Emission von Strahlung [Dem3, HW04, Ber05] sind essentiell für diesen Versuch. Der experimentelle Aufbau und seine Verwendung zur Messung elektronenstoßangeregter Fluoreszenz sind in [KBS12, Han13] beschrieben. Bereiten Sie sich insbesondere auf Fragestellungen zu den folgenden Stichworten vor: quantenmechanische Beschreibung des Wasserstoffatoms, Zustände in einfachen Molekülen, Anregungs- und Abregungsprozesse, Einsteinkoeffizienten, Auswahlregeln, Interferenz und Dispersion, Erzeugung von Vakuum, Funktionsweise von Turbomolekularpumpen, Druckmessungen.

[Dem1] W. Demtröder, *Experimentalphysik 1*, 4. Auflage, Springer 2010

[Dem3] W. Demtröder, *Experimentalphysik 3*, 4. Auflage, Springer 2010

[HW04] H. Haken und H. Wolf, *Atom- und Quantenphysik*, 8. Auflage, Springer 2004

[Ber05] P. Bernath, *Spectra of Atoms and Molecules*, 2nd edition, Oxford University Press 2005

[KBS12] A. Knie et al., *Electron-impact induced fluorescence for EUV spectrometer-detector calibration*, J. Electron. Spectrosc. Relat. Phenom. **185** 492-497 (2012)

[Bro33] R. Brode, *The Quantitative Study of the Collisions of Electrons with Atoms*, Rev. Mod. Phys. **5** 257 (1933)

[Han13] A. Hans, Diplomarbeit, Universität Kassel, 2013

[Kni12] A. Knie, Dissertation, Universität Kassel, 2012

[Sch13] P. Schmidt, Diplomarbeit, Universität Kassel, 2013

[Wiz79] J. L. Wiza, *Microchannel plate detectors*, Nucl. Instr. and Meth., **162** 587 (1979)

[Wut04] M. Wutz, *Handbuch der Vakuumtechnik*, 8. Auflage, Vieweg 2004