

XMCD

(X-ray Magnetic Circular Dichroism)

Svenja Bachmann

29.11.2011

Inhalt des Vortrags

- Erklärung des Begriffs
- Röntgenabsorption (Zwei Schritte Modell)
- Synchrotronstrahlung
- Zusammenfassung

Was versteht man unter Dichroismus?

- Begriff aus der Optik:
 - Zweifarbigkeit
 - Polarisationsabhängige Absorption von Licht

Was ist XMCD?

- **X-ray Magnetic Circular Dichroism:**
Magnetischer Röntgenzirkulationsdichroismus
- Absorption abhängig von der Magnetisierung parallel oder antiparallel zum Polarisationsvektor
- Auftreten bei Wellenlängen im Bereich der Röntgenabsorptionskanten (ab 100 eV)
- Anregung von Elektronen aus inneren Schalen
- 1975: Vorhersage von *Erskine* und *Stern*

(*J.L.Erskine et E.A.Stern, Phys.Rev.B 12, 5016 (1975)*)

1987: Experimentelle Bestätigung von *Schütz*

(*G.Schütz, W.Wagner, W.Wilhelm, P.Kienle, R.Zeller, R.Frahm, et G.Materlik, Phys.Rev.Lett. 58, 737 (1987)*)

Übergangswahrscheinlichkeit

- Abhängigkeit von:
 1. Überlappintegral
 2. Unbesetzte Zustandsdichte
 3. Energiedifferenz
- Fermi's Goldene Regel:

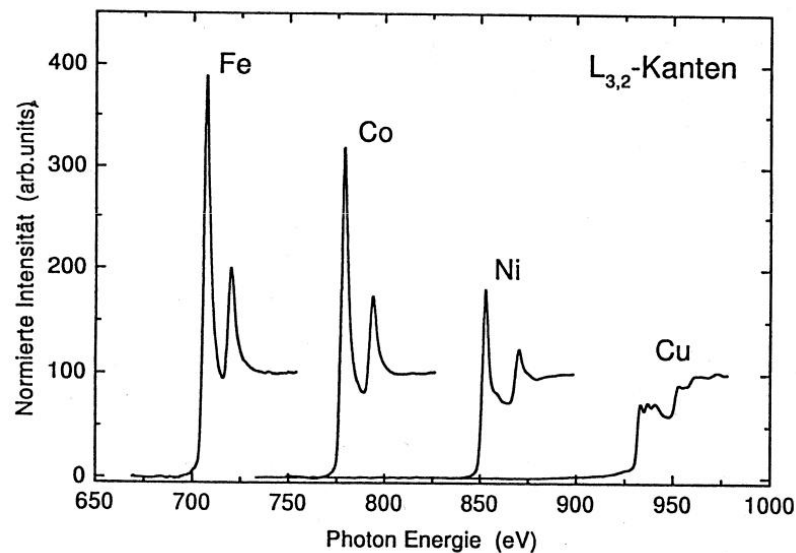
$$\Gamma_{i,f} = \frac{4\pi^2}{h} |\langle f | H_{ww} | i \rangle|^2 \delta(E_f - E_i - h\nu)$$

Erklärung des Verhaltens mit dem Zwei-Stufen Modell:

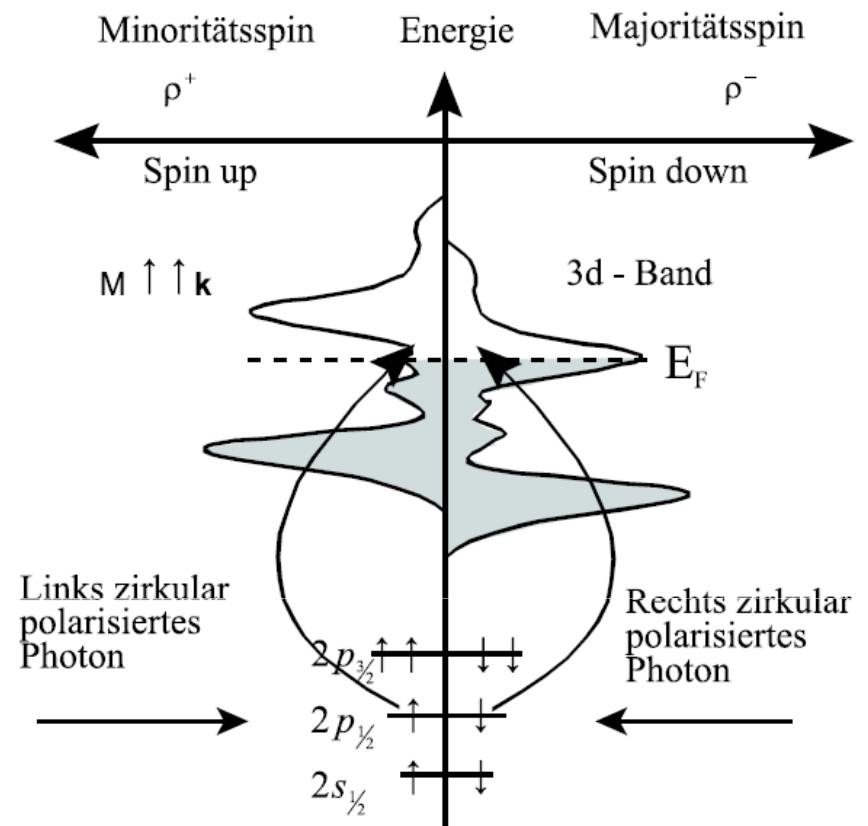
- Betrachtung des $p \rightarrow d$ Übergangs
(L-Kanten)
- 1. Wirkung der Photonen auf Grundzustand
- 2. Betrachtung der Situation der Endzustände

1. Stufe (I.)

- Anfangszustände Spin-Bahn-aufgespalten
- Energetische Lage der Niveaus elementspezifisch



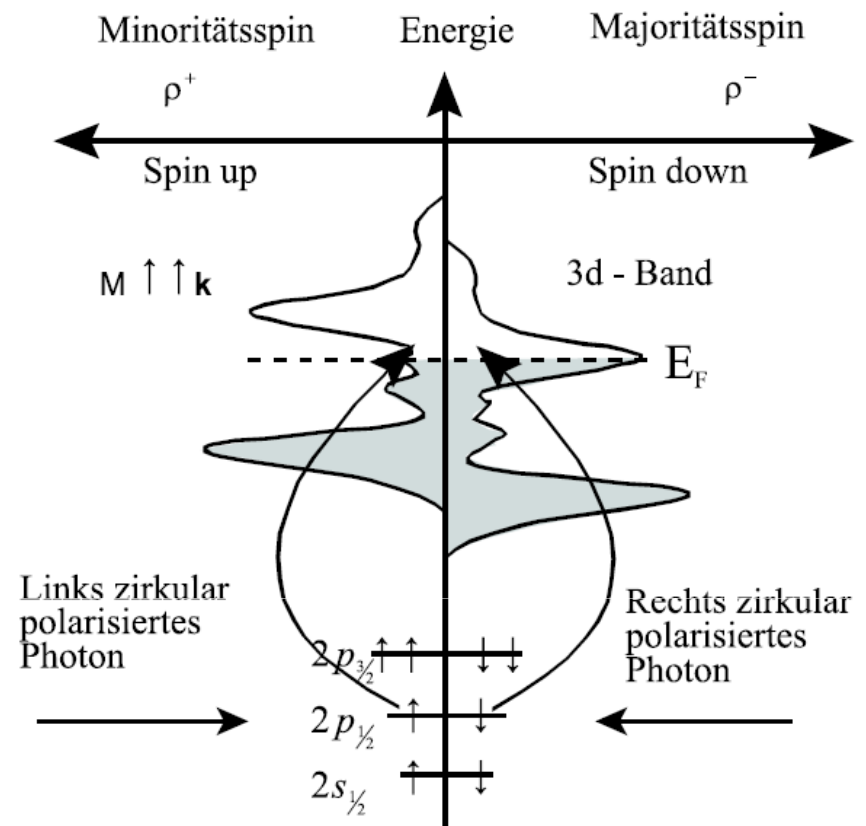
<http://www.uni-due.de/agfarle/lehre/PDF/ney/XMCD.pdf>



<http://opus.bibliothek.uni-wuerzburg.de/volltexte/2006/1868/pdf/Dissertation.pdf>

1. Stufe (II.)

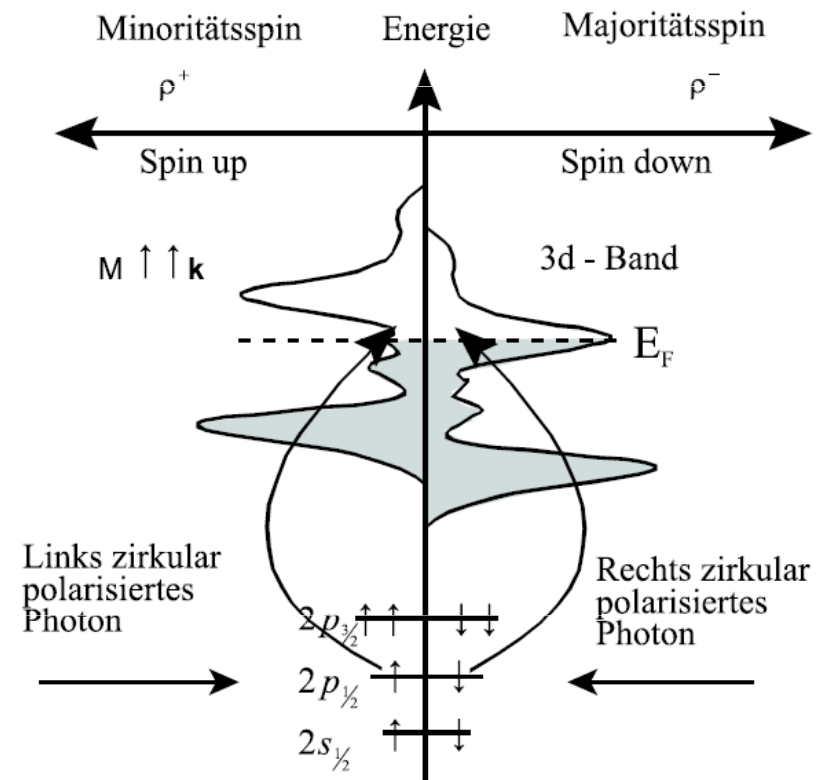
- Spin-Bahn-Kopplung:
Energieunterschied parallele
und antiparallele Momente
 $\Delta E \propto j(j+1) - l(l+1) - s(s+1)$
- Erlaubte Übergänge:
 $|l+1, m_l \pm 1\rangle$
- Kein Spinflip
- Photoelektron ist
spinpolarisiert, da Teil des
Drehimpulses der Photonen
auf Spin übertragen wird



<http://opus.bibliothek.uni-wuerzburg.de/volltexte/2006/1868/pdf/Dissertation.pdf>

2. Stufe (I.)

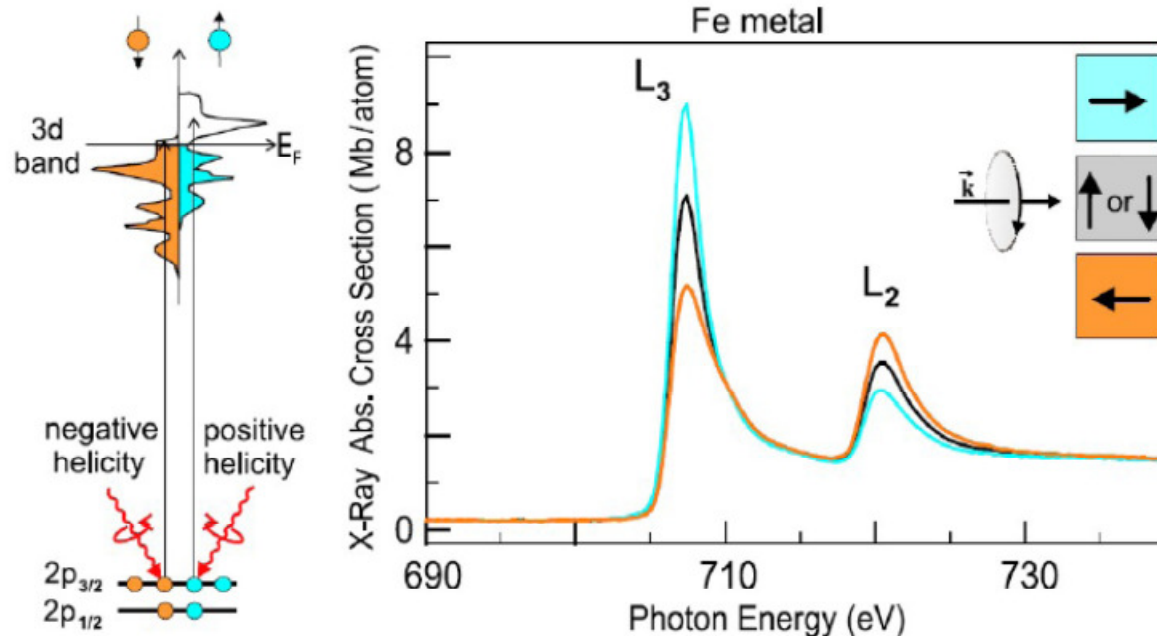
- Magnetische Eigenschaften entscheidend
- Spinaufgespaltenes Valenzband ist Detektor für spinpolarisiertes Photoelektron
- Äußeres magnetisches Feld: Ausrichtung $\vec{M} \parallel \vec{k}$



<http://opus.bibliothek.uni-wuerzburg.de/volltexte/2006/1868/pdf/Dissertation.pdf>

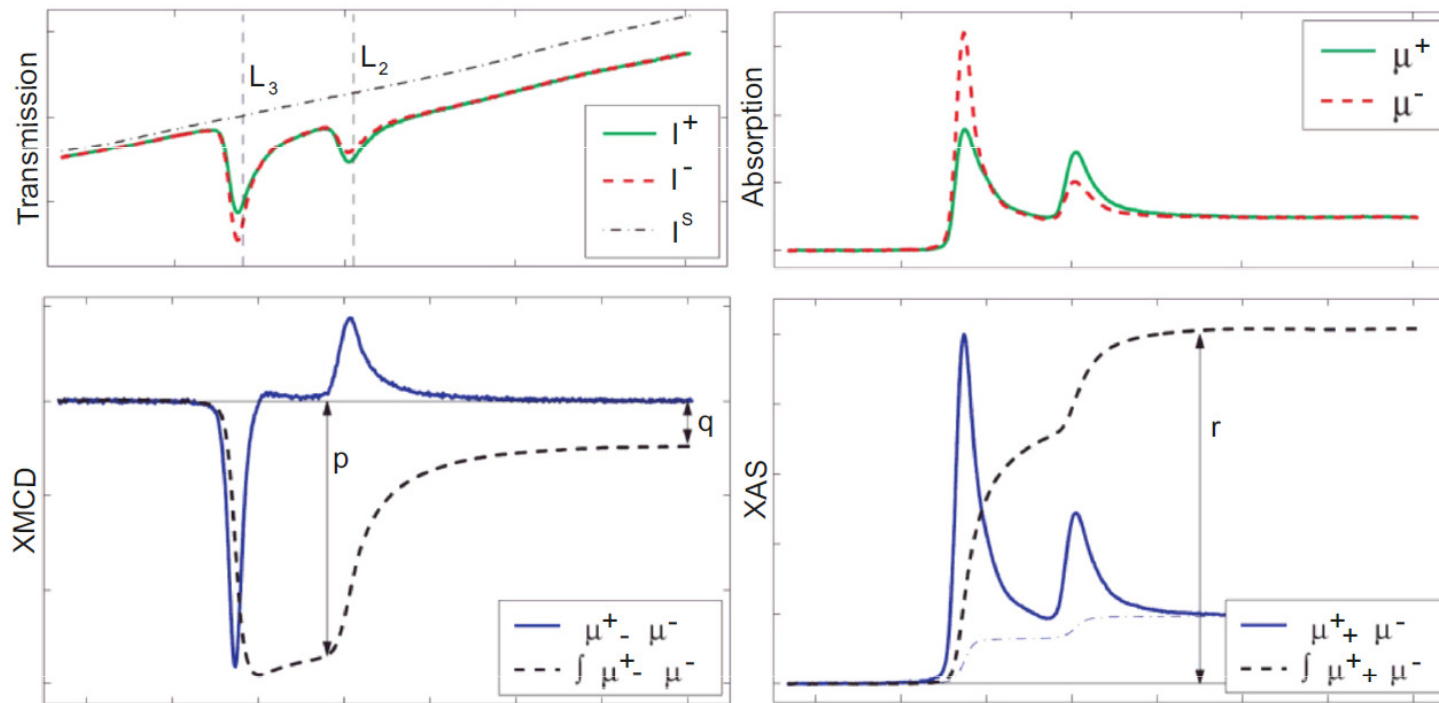
2. Stufe (II.)

- Absorption links zirkular polarisiertes Photon:
Viele Elektronen positiv spinpolarisiert, mag. Moment auch in Strahlrichtung orientiert, Anhebung Minoritätsband => viele freie Plätze
- Absorption rechts zirkular polarisiertes Photon:
Besetzung Spin-Down-Zustände => weniger freie Plätze



K. Ollefs, Diplomarbeit

XMCD-Spektrum



Quelle:
 J. Als-Nielsen,
 Des McMoore,
 Elements of Modern
 X-Ray Physics,
 Wiley, 2008

Summenregeln:

$$m_{orb} [\mu_B / atom] = -\frac{4q(10 - n_{3d})}{r}$$

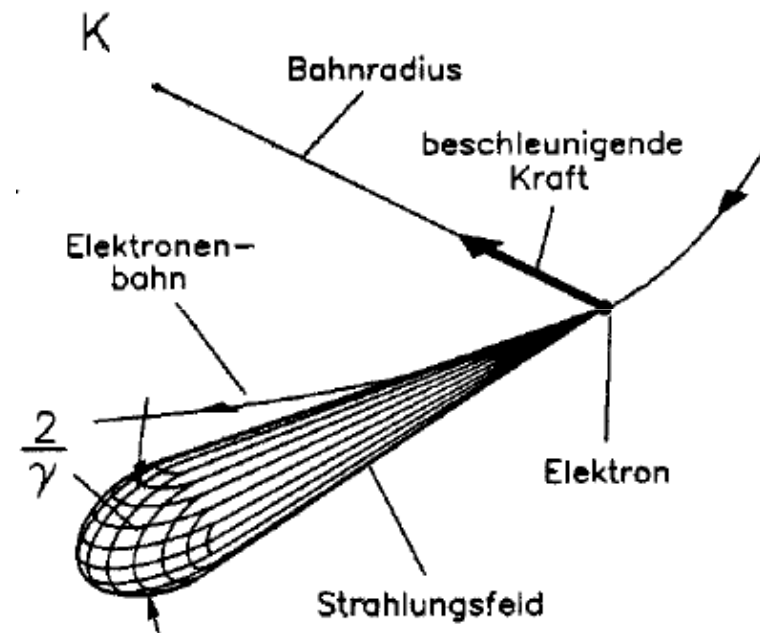
$$m_{spin} [\mu_B / atom] = -\frac{(6p - 4q)(10 - n_{3d})}{r}$$

Warum Synchrotronstrahlung?

- Volle Kontrolle über die Polarisation der Röntgenstrahlung
 - Hohe Intensität und Brillanz (dünne Filme)
 - Variabler Energiebereich (mehrere 100 eV)
- => Synchrotronstrahlung

Synchrotronstrahlung

- Beschleunigung von Elektronen auf relativistische Geschwindigkeiten
- Stabilisierung auf kreisförmige Orbits in Speicherring durch Ablenkung mit Magneten
- Abstrahlcharakteristik durch relativistische Geschwindigkeit verzerrt => in Bewegungsrichtung: kegelförmig



<http://dyn.physik.fu-berlin.de/de/bibliothek/publikationen/diplomarbeiten/files/01-10-diplomberrnen.pdf>

Undulator (I.)

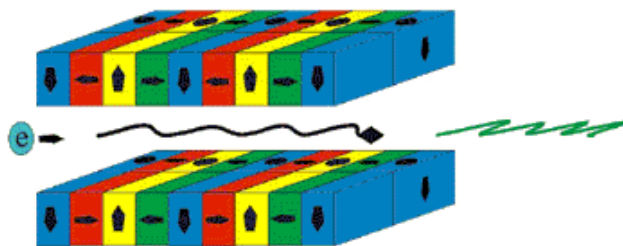
- System aus Magnetreihen alternierender Magnetisierungsrichtungen
 - ⇒ Elektronen werden auf oszillierende Bahn gezwungen
 - ⇒ Richtungsänderung bewirkt Aussendung von Strahlung
- Spektrum aus diskreten Peaks hoher Intensität
- Zusätzlicher Shift $\frac{1}{4}$ oder $\frac{3}{4}$ führt zu zirkular polarisierter Strahlung
- Energieselektion mit Monochromator (Gitter oder Kristall) und Mitführen vom *gap*

Undulator (II.)

APPLE-II type undulator: 4 different modes

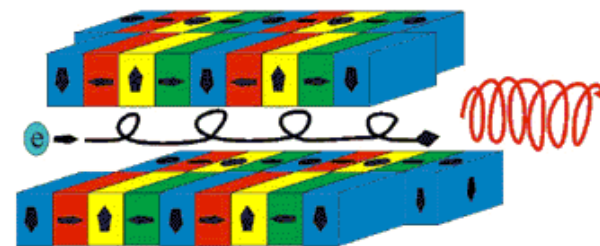
1. mode: linear horizontal polarization

Linear: $S_1=1$ Shift=0



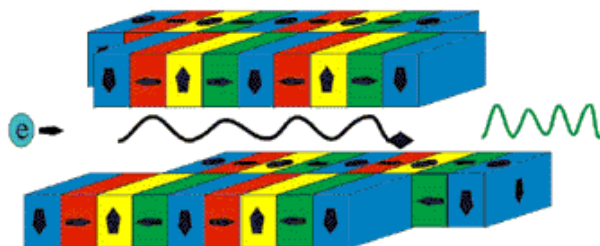
2. mode: circular polarization

Circular: $S_3=1$ Shift= $\lambda/4$

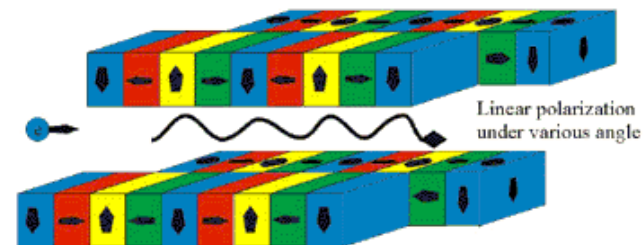


3. mode: vertical linear polarization

Linear: $S_1=-1$ Shift= $\lambda/2$



4. mode: linear polarization under various angle
shift of magnetic rows antiparallel



http://www.helmholtz-berlin.de/forschung/magma/magnetismus/instrumentierung-und-projekte/synchrotron-strahlung/bessy-aktivitaeten/undulator-messplaetze-bei-bessy_de.html#c59334

Zusammenfassung

- XMCD-Effekt: Unterschied des Absorptionskoeffizienten bzgl. zirkular polarisierter Röntgenstrahlung in Abhängigkeit von der Magnetisierung
- Möglichkeit der Bestimmung der magnetischen Momente von Spin und Bahn
- Elementspezifisch

Quellen:

- K. Ollefs, Diplomarbeit, Structure and Magnetic Correlations in Nanoengineered Systems Universität Duisburg-Essen, 2008
- <http://www.uni-due.de/agfarle/lehre/PDF/ney/XMCD.pdf> (20.11.2011)
- http://elib.uni-stuttgart.de/opus/volltexte/2003/1448/pdf/Dissertation_Claude_Ederer.pdf (20.11.2011)
- <http://de.wikipedia.org/wiki/Dichroismus> (20.11.2011)
- http://www.helmholtz-berlin.de/forschung/magma/magnetismus/Instrumentierung-und-projekte/synchrotron-strahlung/bessy-aktivitaeten/undulator-messplaetze-bei-bessy_de.html (20.11.2011)
- http://opus.bibliothek.uni-wuerzburg.de/volltexte/2006/2014/pdf/Dissertation_Gold_Stefan.pdf (20.11.2011)
- http://www.physnet.uni-hamburg.de/services/fachinfo/___Volltexte/Matthias___Reif/Matthias___Reif.pdf (20.11.2011)
- <http://dyn.physik.fu-berlin.de/de/bibliothek/publikationen/diplomarbeiten/files/01-10-diplombenien.pdf> (20.11.2011)

**Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit!**