

13.7.2016



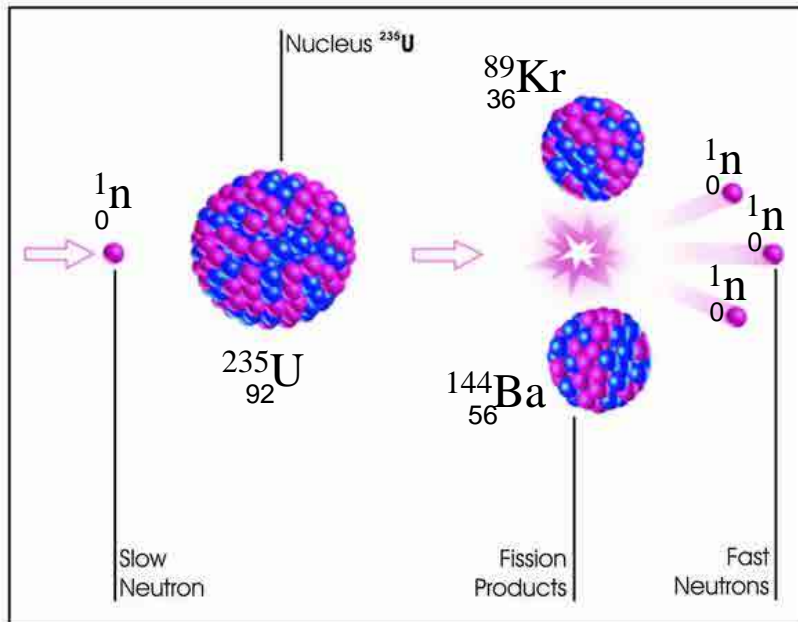


Neutronen treffen auf Elektronen
elastisch

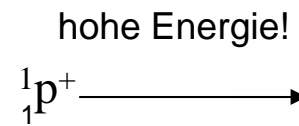
Das Neutron

die Quelle

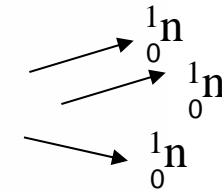
Fission



Spallation



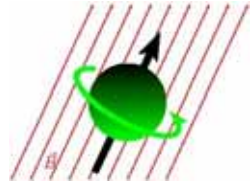
Tantal
oder
Uran



Die Gefahren:

Primär – direkte Strahlung

Sekundär – Stoffe werden aktiviert und können dann in den eigenen Körper landen



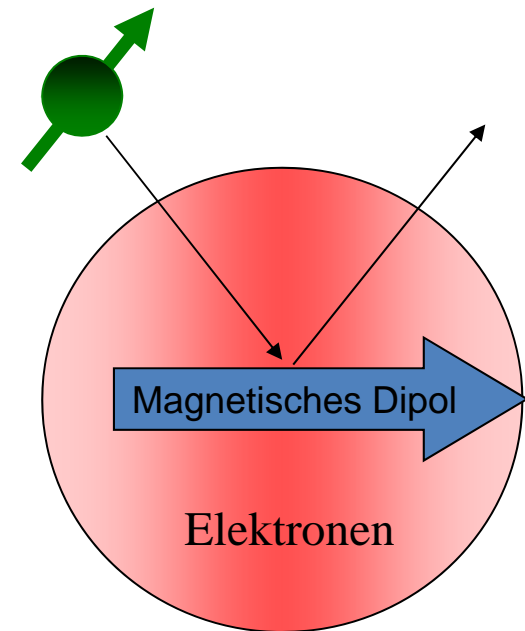
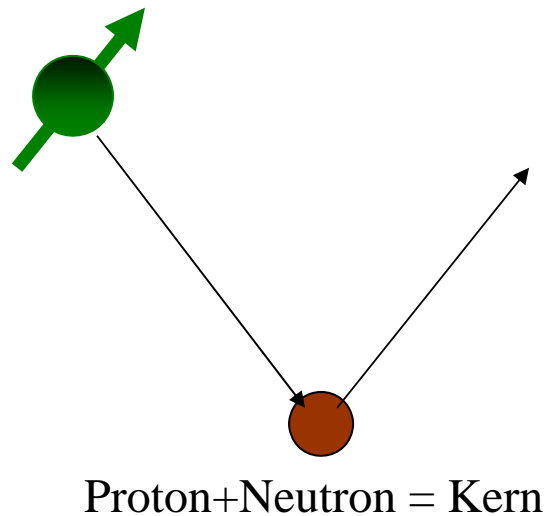
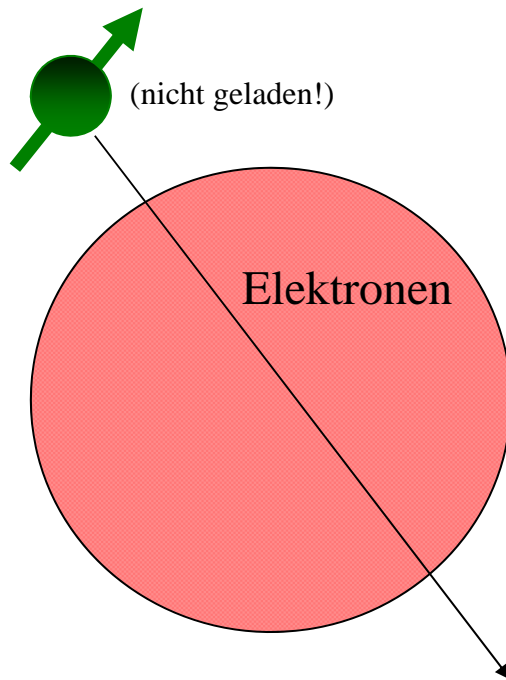
Das Neutron

Spin 1/2 Teilchen

Ladung = 0

$$\text{Dipolmoment: } \mu_n = -\gamma\mu_N = -1.913 \frac{e\hbar}{2m_p}$$
$$\mu_n/\mu_e \approx m_e/m_p = 1/2000$$

Wechselwirkung mit Materie:



Was könnte passieren wenn trotzdem ein Neutron ein Elektron trifft?

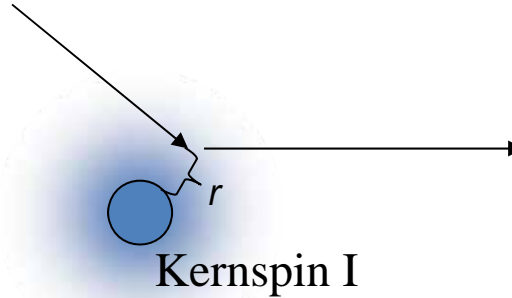
Die Streuung von Neutronen

An Kernen

$$V(r) = \frac{2\pi\hbar^2}{m_n} b \delta(r)$$

b_k – kohärent
 b_{ik} – inkohärent

$$b = b_k - ib_{ik}$$



$$b = b_k + \frac{2b_i}{\sqrt{I(I+1)}} s \cdot I$$

$I = 0 \Rightarrow b = b_k \quad \sigma_s = 4\pi \langle |b|^2 \rangle$
 $I \neq 0 \Rightarrow b$ ist komplex und hängt von der relativen Ausrichtung der Neutronspin zu Kernspin ab

An magnetischen Dipolen (in kolinearer Struktur)

$$I_M = CM_T A(\theta_B) \left(\frac{\gamma e^2}{2mc^2} \right)^2 \langle 1 - (\hat{\tau} \cdot \hat{M})^2 \rangle |F_M|^2$$

Instrument

Bei Pulvermessungen
-die Multiplizität

Winkelabhängigkeit
der Intensität

e-pol zu n-pol
Wechselwirkung

e-pol zu n-pol
Orientierungsfaktor

Strukturfaktor

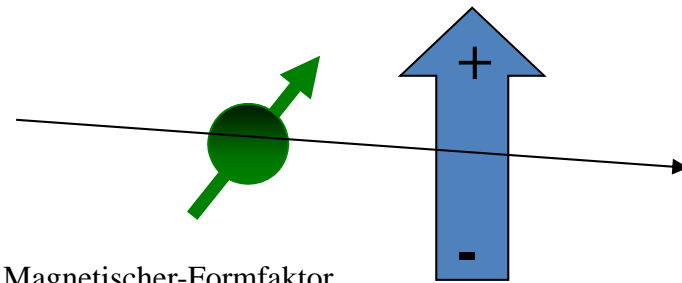
$$F_M = \sum_{j=1}^N \langle \mu_z \rangle_j f_j(\tau) e^{-W_j} e^{i\pi j}$$

Gemittelte Spinausrichtung

Magnetischer-Formfaktor

Debye-Waller-faktor

Position von Magnetischem Spin

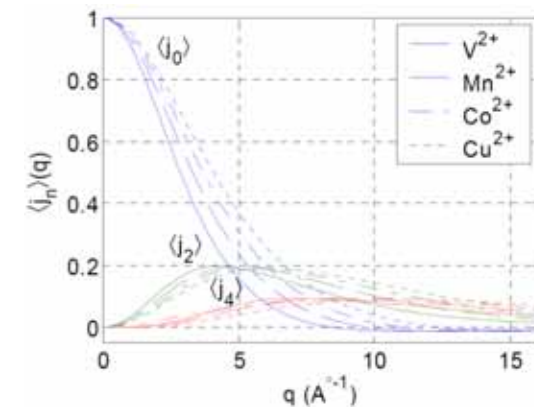
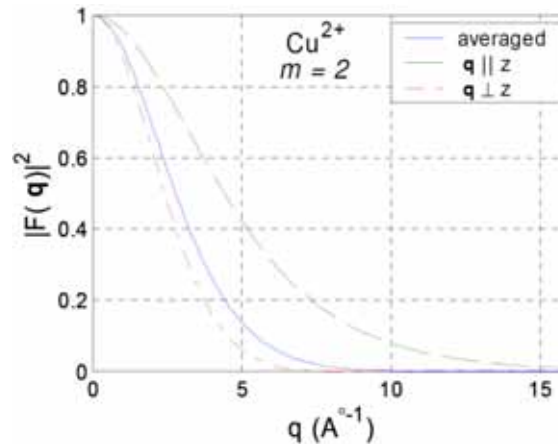
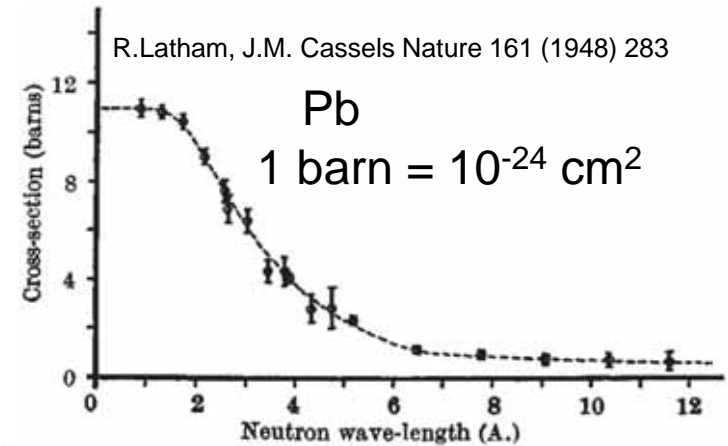
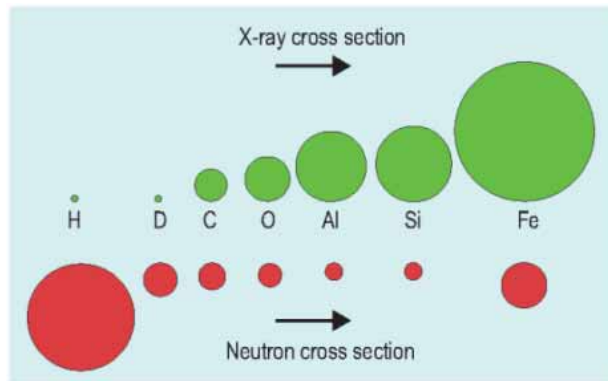
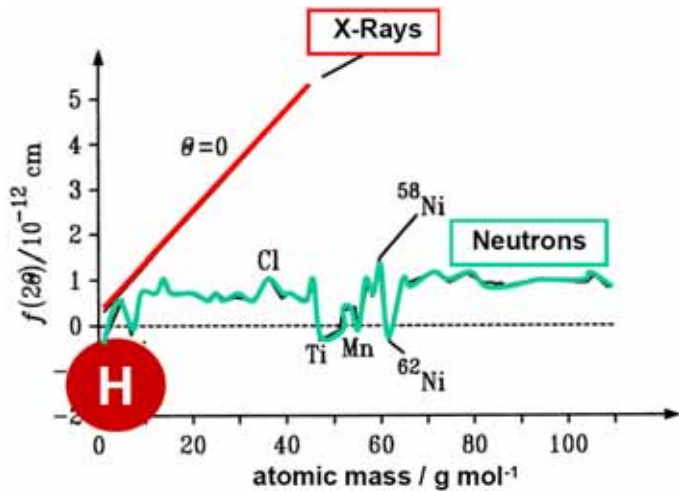


Also kompliziert
aber machbar

Neutronen "sehen" Spin-Spin Korrelationen im Bereich 5 – 100 Å – die Zeitskala ist etwa 10⁻⁹ bis 10⁻¹² Sekunden

Streufaktor von Neutronen

vereinfacht



Streulänge ist fast wie "mittlere Streulänge" in Leitfähigkeit:

$$\sigma_{\text{tot}} = \frac{\text{Anzahl gestreute Neutronen pro Zeit}}{\text{Anzahl reingeschossene Neutronen}} = \left[\frac{\text{neut.} \cdot \text{Zeit}^{-1}}{\text{neut.} \cdot \text{Zeit}^{-1} \cdot \text{Fläche}} = \text{Fläche} \right]$$

Isotop-abhängig

Neutronspin para oder antipara zu Kernspin geben unterschiedlichen Streufaktoren

Die Streufaktoren (Inelastizität einberechnet) sind von der Energie des Neutron abhängig

Nickel Isotope	Scattering Lengths b (fm)
^{58}Ni	15.0 (5)
^{60}Ni	2.8 (1)
^{61}Ni	7.60 (6)
^{62}Ni	-8.7 (2)
^{64}Ni	-0.38 (7)

Andere Kontraste

Neutronen werden von H gut gestreut

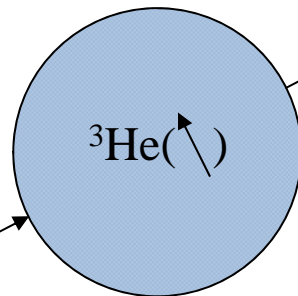
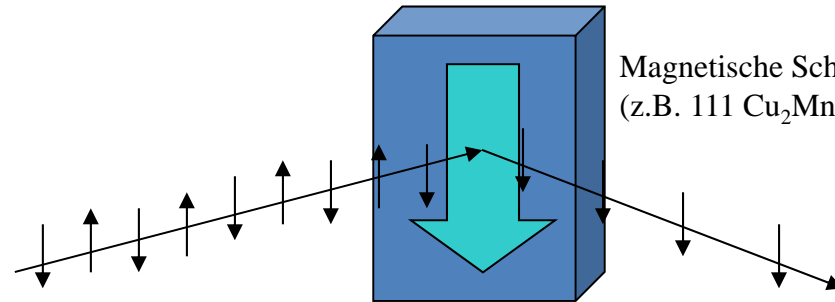


Rose im Pb-Behälter

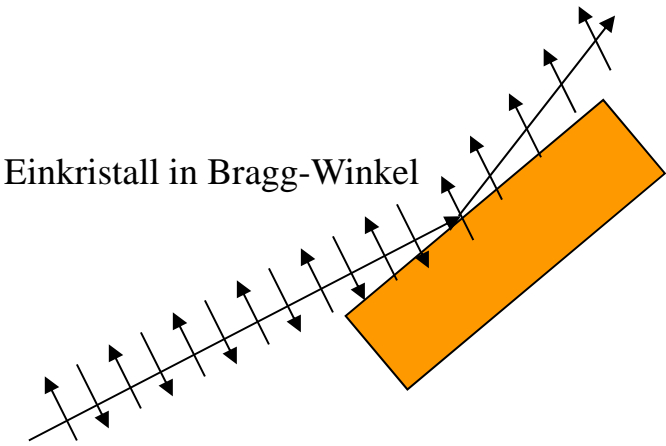
Courtesy L. Greim, GKSS, Forschungszentrum Geesthacht, Germany

Das Neutron

Polarisierte Quelle



Einkristall in Bragg-Winkel



$$b = b_k - ib_{ik}$$

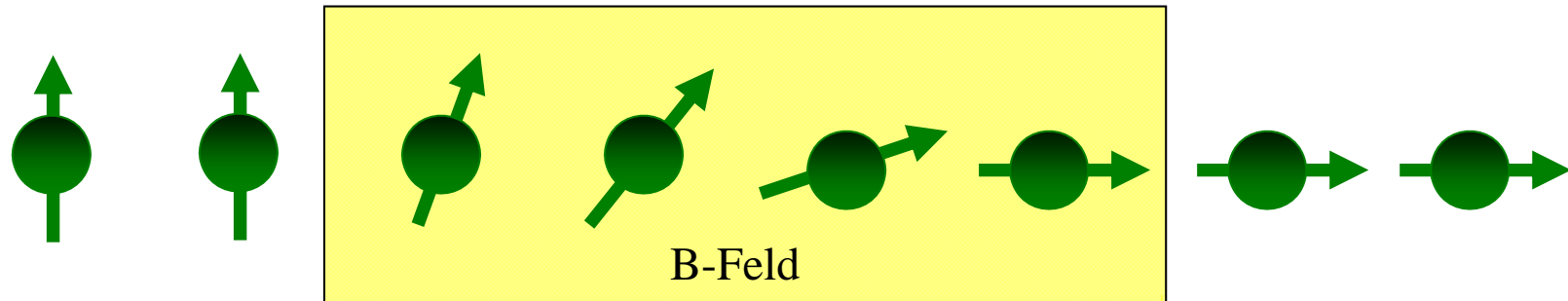
Abhängig von Neutronenspin zu Kernspin

$$b(\nearrow) = b_k - 0 = b_k$$

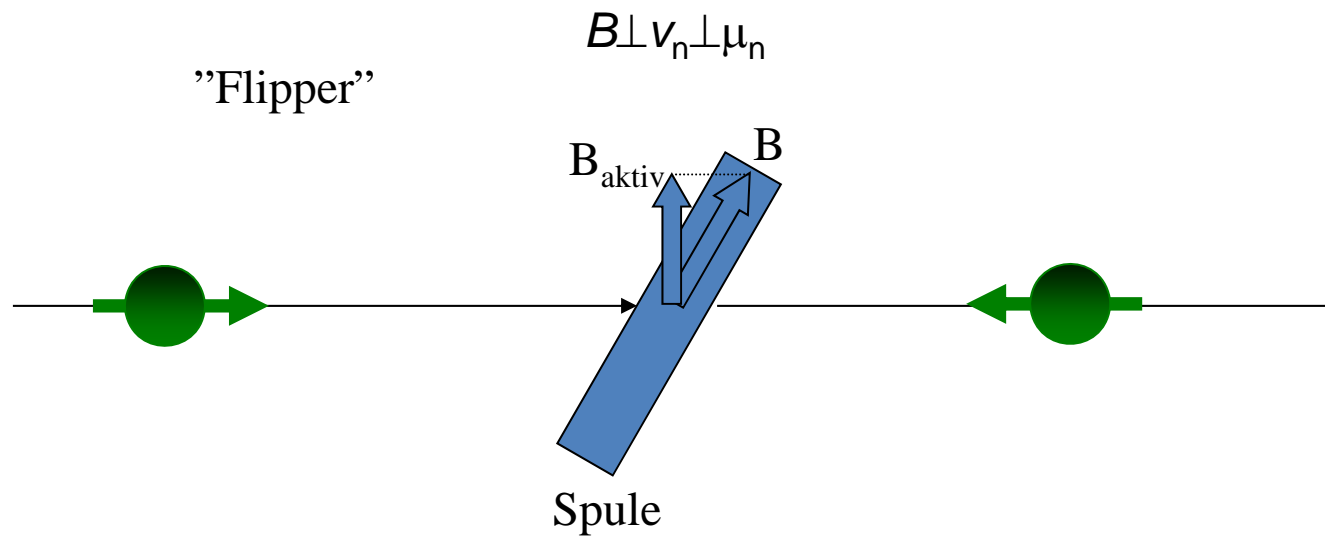
$$b(\searrow) = b_k - b_{ik} = 0 \quad (b_k = b_{ik})$$

Das Neutron

Manipulation von der Polarisation

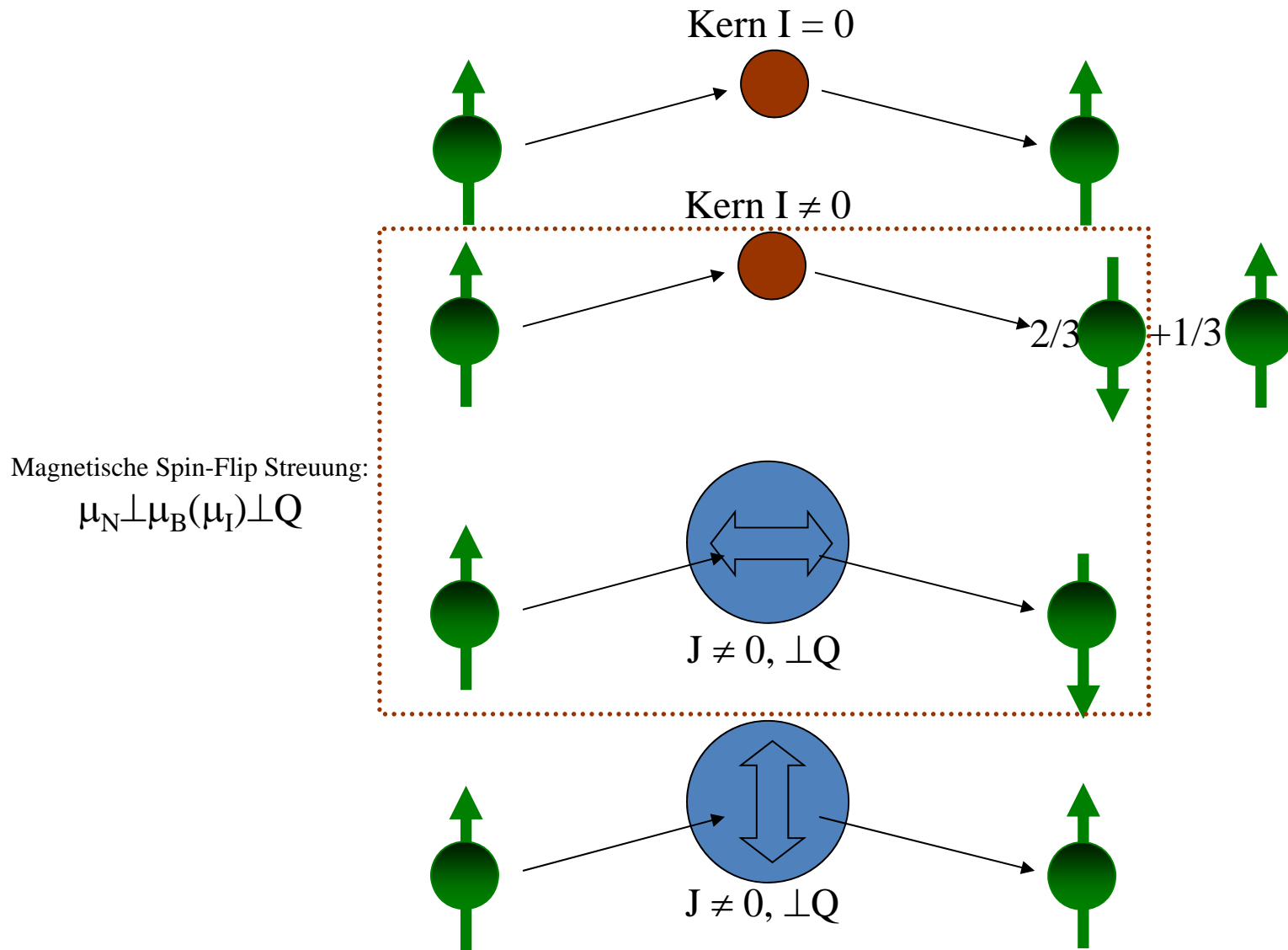


Wovon hängt die Drehung ab?



Wie kann man es genau einstellen das eine Halbe Larmor-Präzission geschieht?

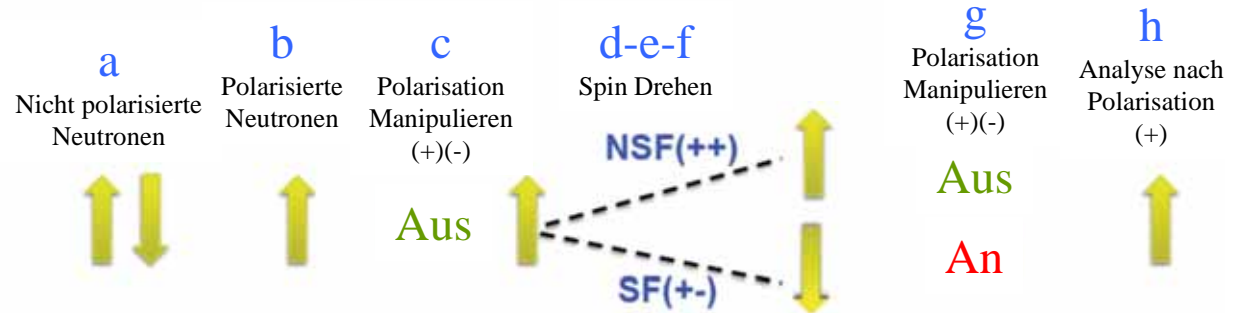
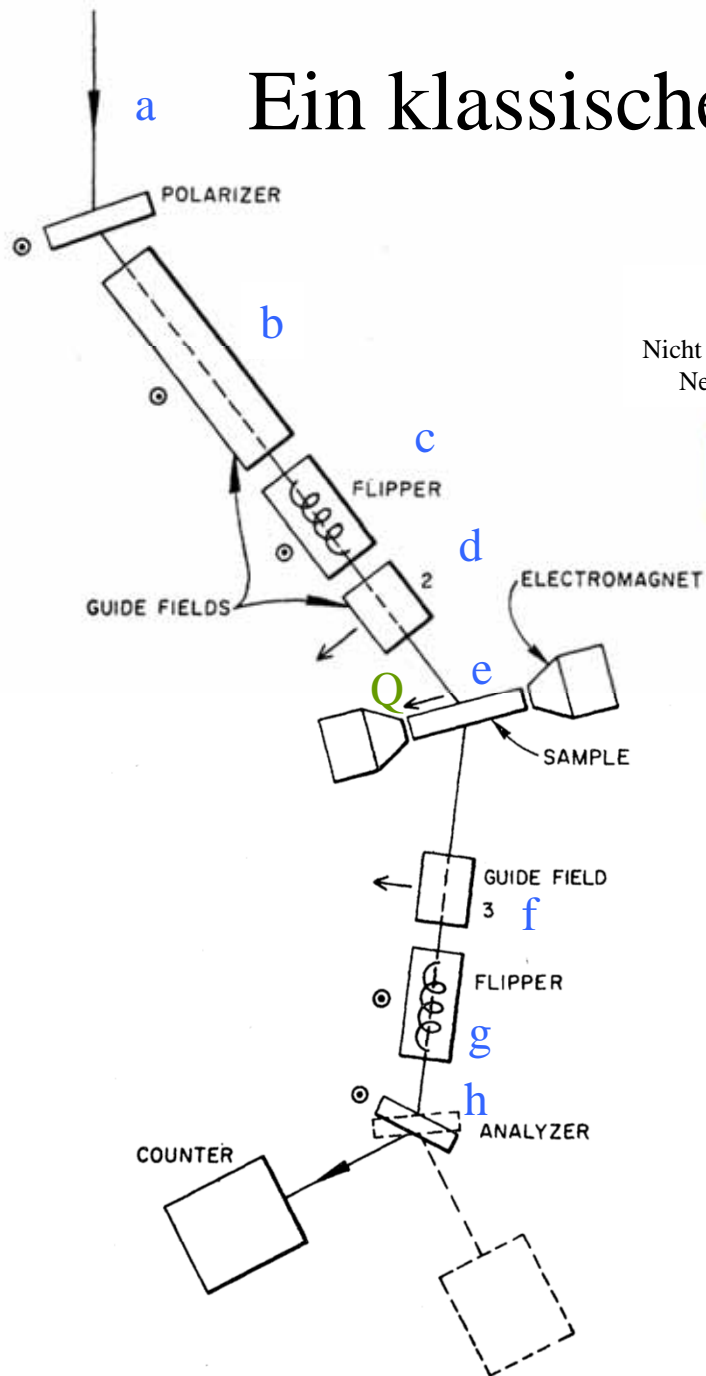
Streuprozesse



Was würde passieren wenn der Neutronspin aus der Tafel zeigen würde.

frei interpretiert nach Vorlesung von W. Schweika, FZ-Jülich

Ein klassischer Aufbau mit Polarisation

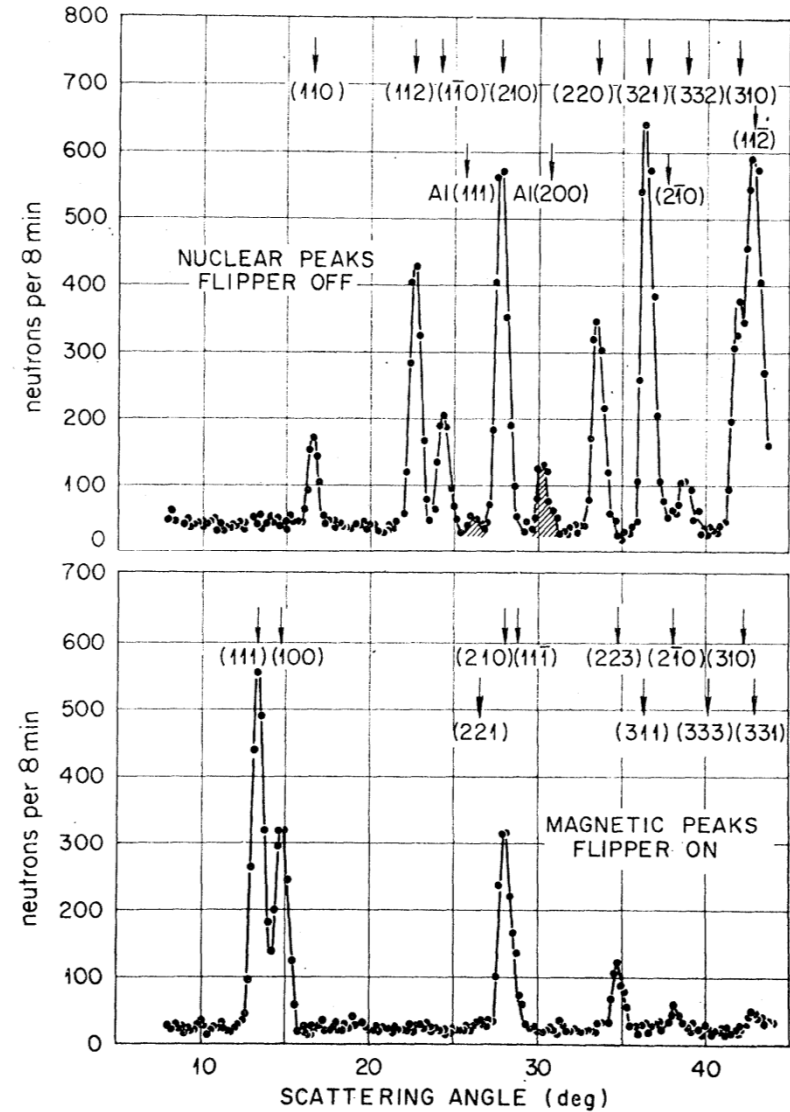
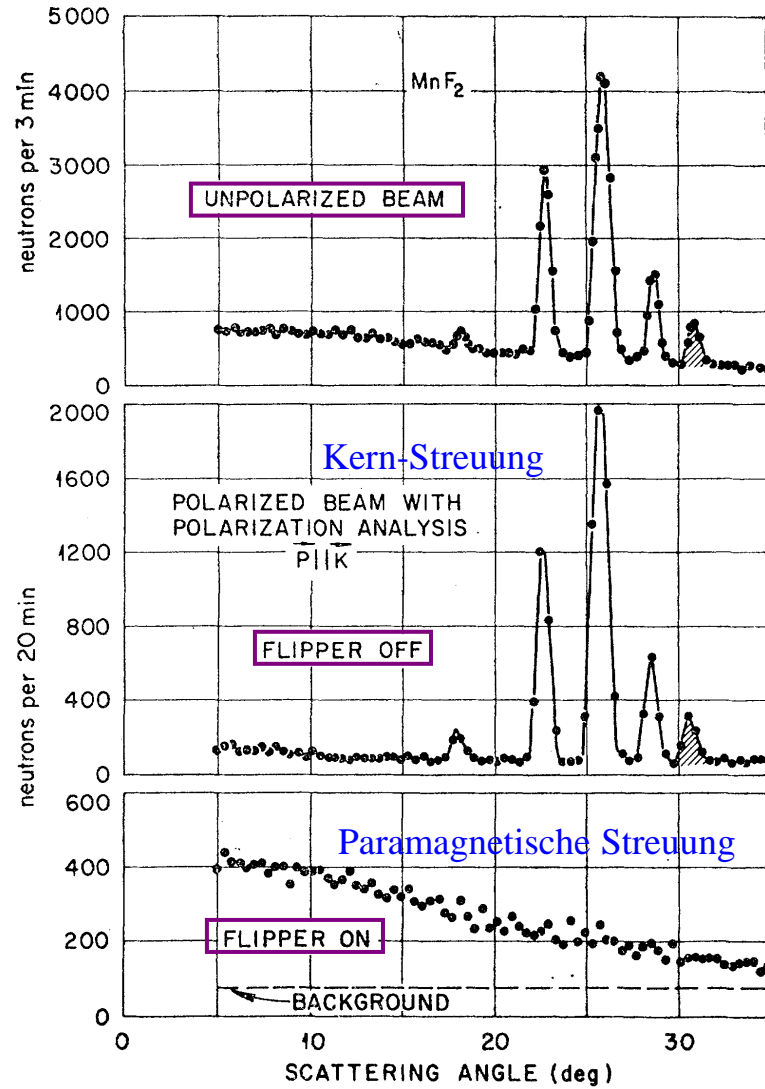


Wenn $P \parallel Q$: Magnetische Streuung ist Spin-Flip (SF)

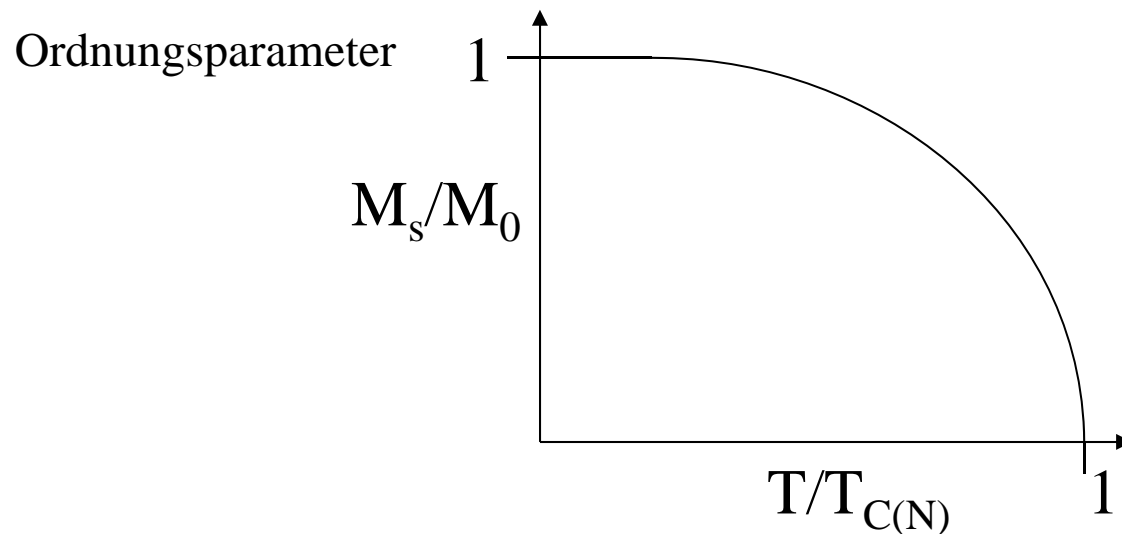
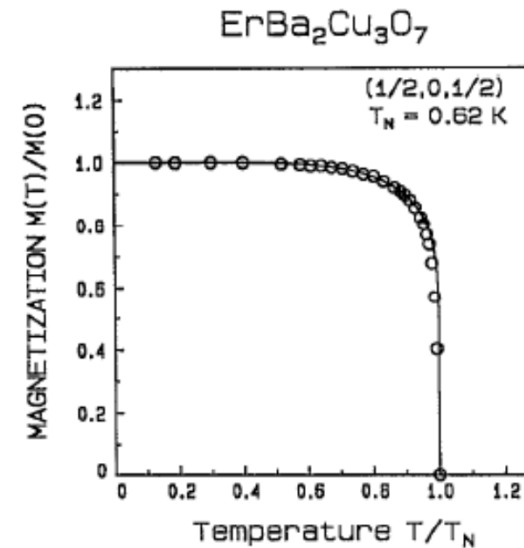
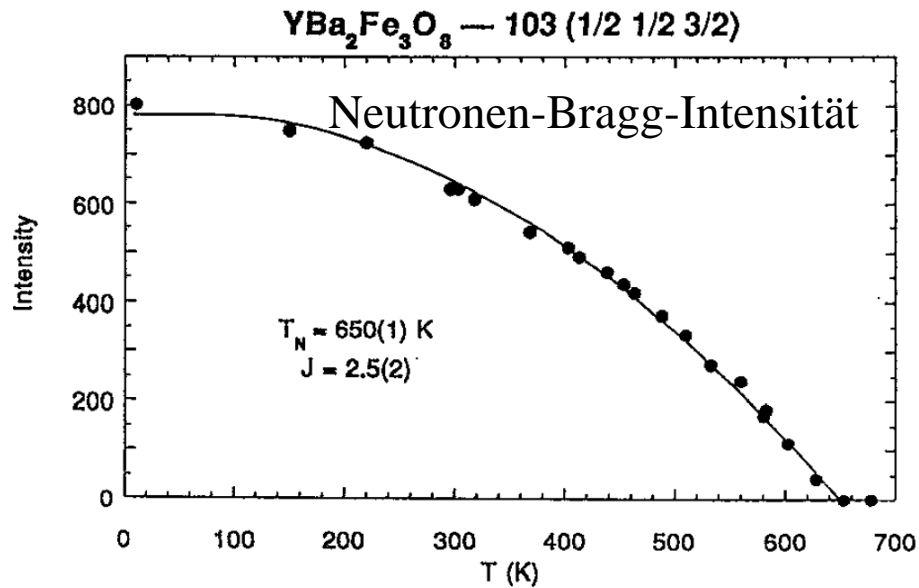
Wenn $P \perp Q$: Magnetische Streuung ist teils

Spin-Flip (SF) teils nicht-Spin-Flip (NSF)

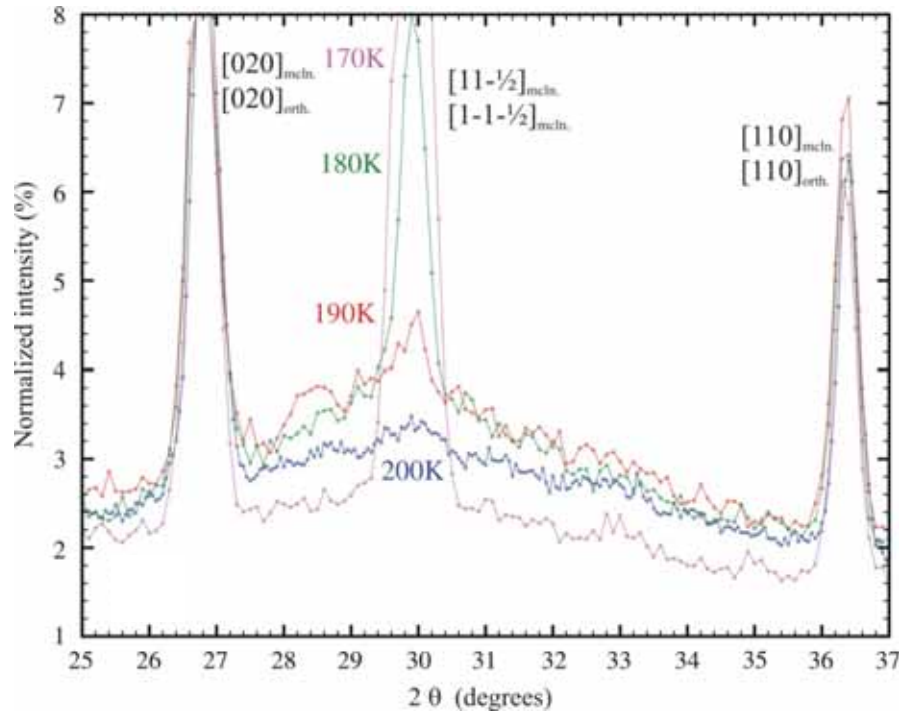
Flipper an/aus



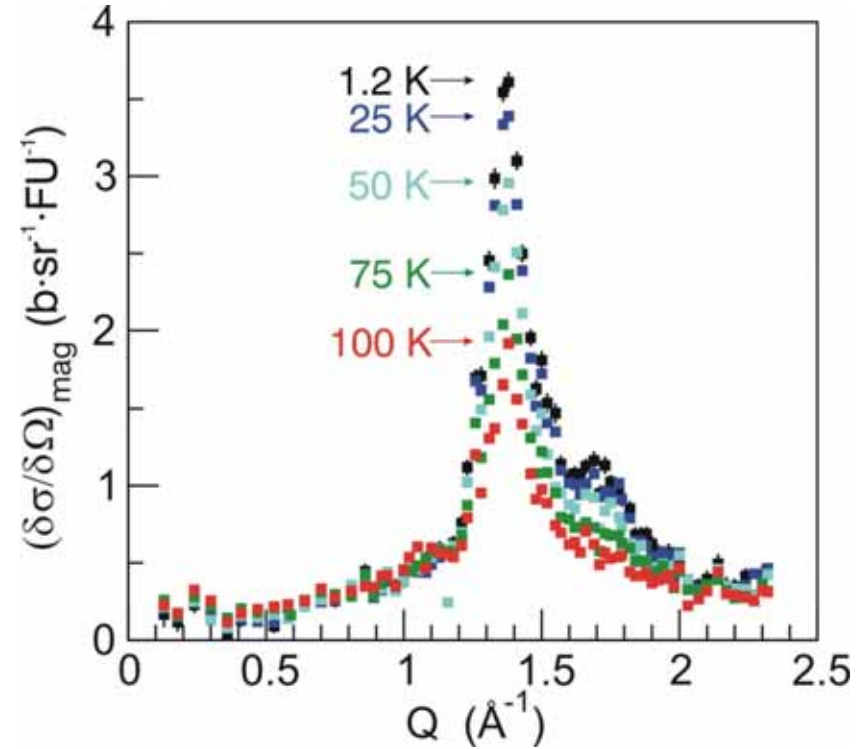
Magnetischer Ordnungsparameter



Diffuse Streuung - Kohärenzlänge



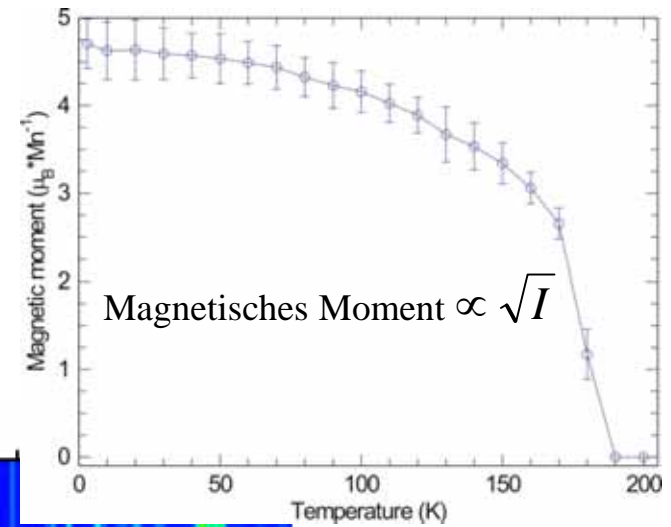
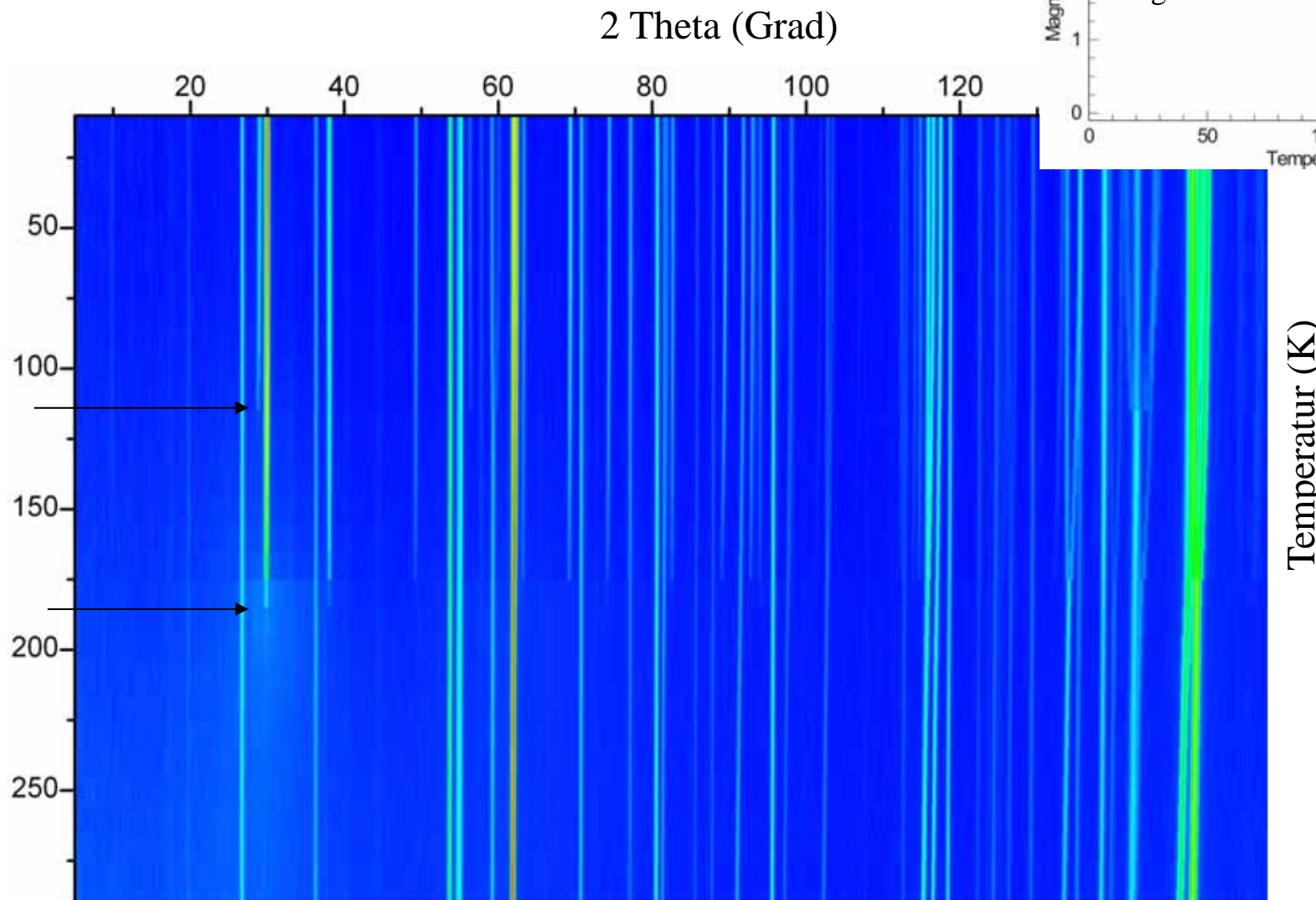
”Untergrund intensität” bündelt sich beim Übergang in Bragg-Peaks – danach ist der Untergrund geringer.



Kurzrechtweiger ordnung
– ”Amorphe Peaks”
Kohärenzlänge $\approx 1/HWHM$

$$\Delta Q = 2\pi/d \approx 0.1 \text{ \AA}^{-1} \approx \text{Koherenz } 10 \text{ \AA}$$

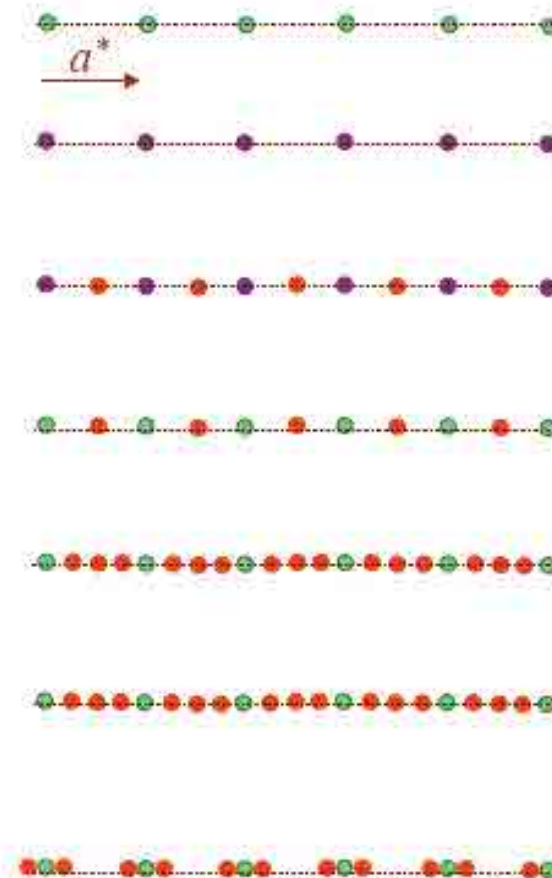
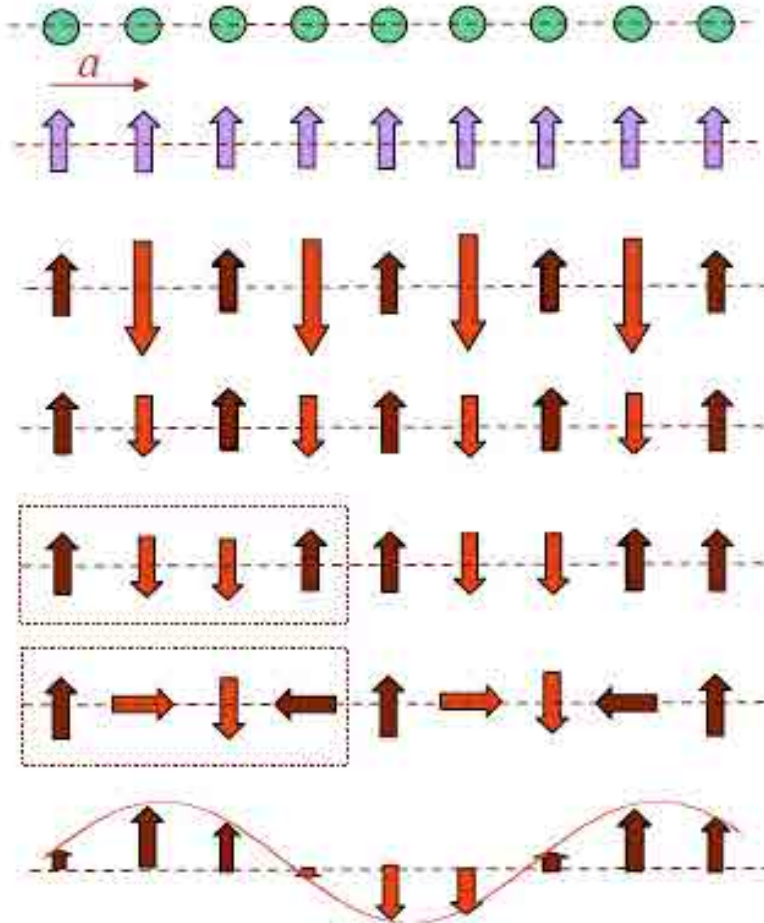
Temperaturabhängigkeit der Neutronendaten



1D-Kristall und sein Streuvermögen

Realer Raum

Reciproker Raum



Kern Bragg Intensitäten

Magnetische Bragg Intensitäten
– überlappen Kernstreuung

Magnetische Bragg Intensitäten
– überlappen Kernstreuung
und erzeugen Überstruktur

Magnetische Bragg Intensitäten
und Kernstreuung

Magnetische Bragg Intensitäten
und Kernstreuung

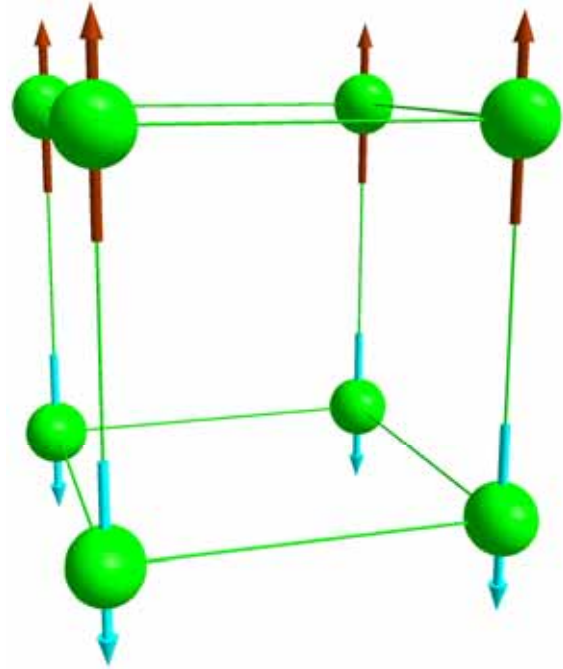
Magnetische Bragg Intensitäten
und Kernstreuung

Magnetische Satellit-Intensitäten
und Kernstreuung

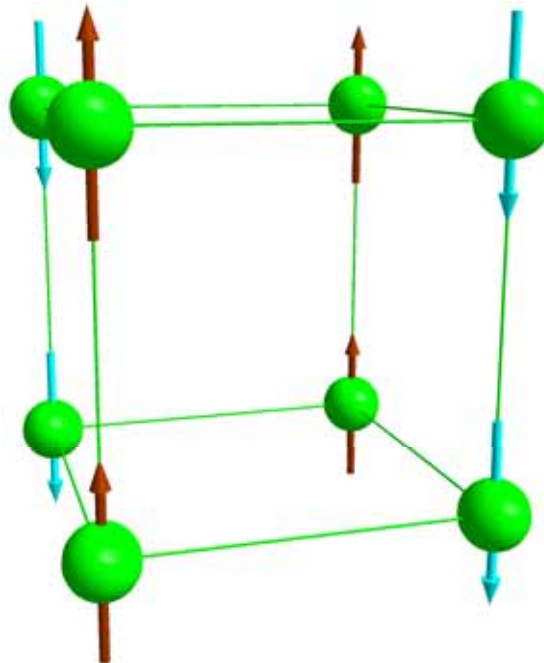
- Nur Kernstreuung
- Magnetische+Kernstreuung
- Nur magnetische Streuung

Einfache Antiferromagnete

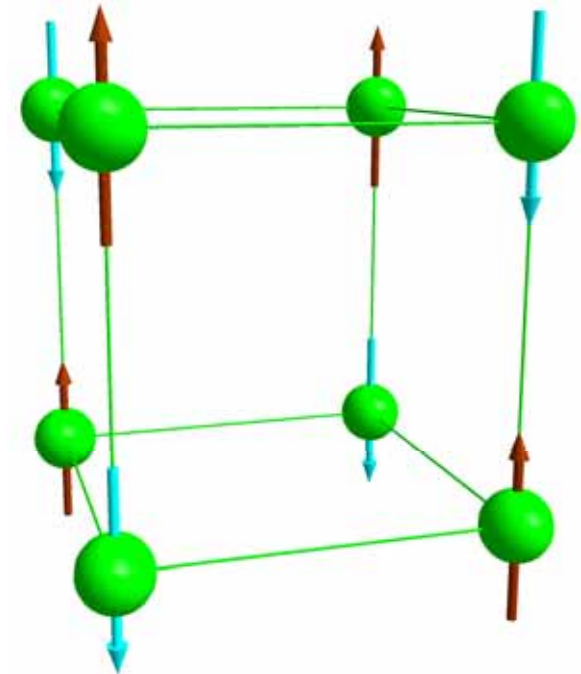
mit k-Vektoren



A-Typ
k-Vektor?



C-Typ
k-Vektor?

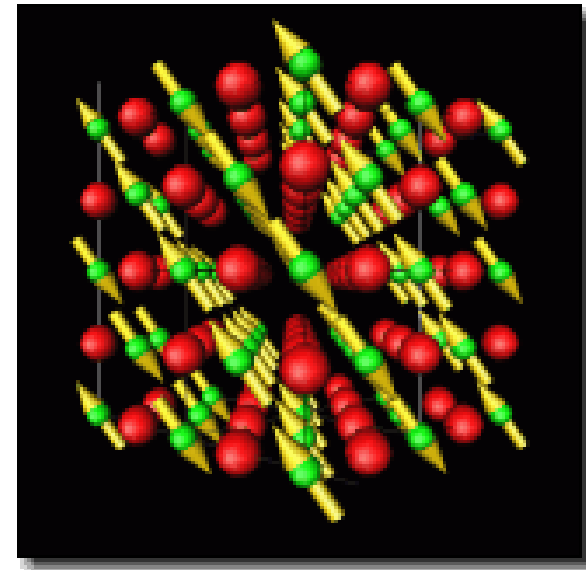
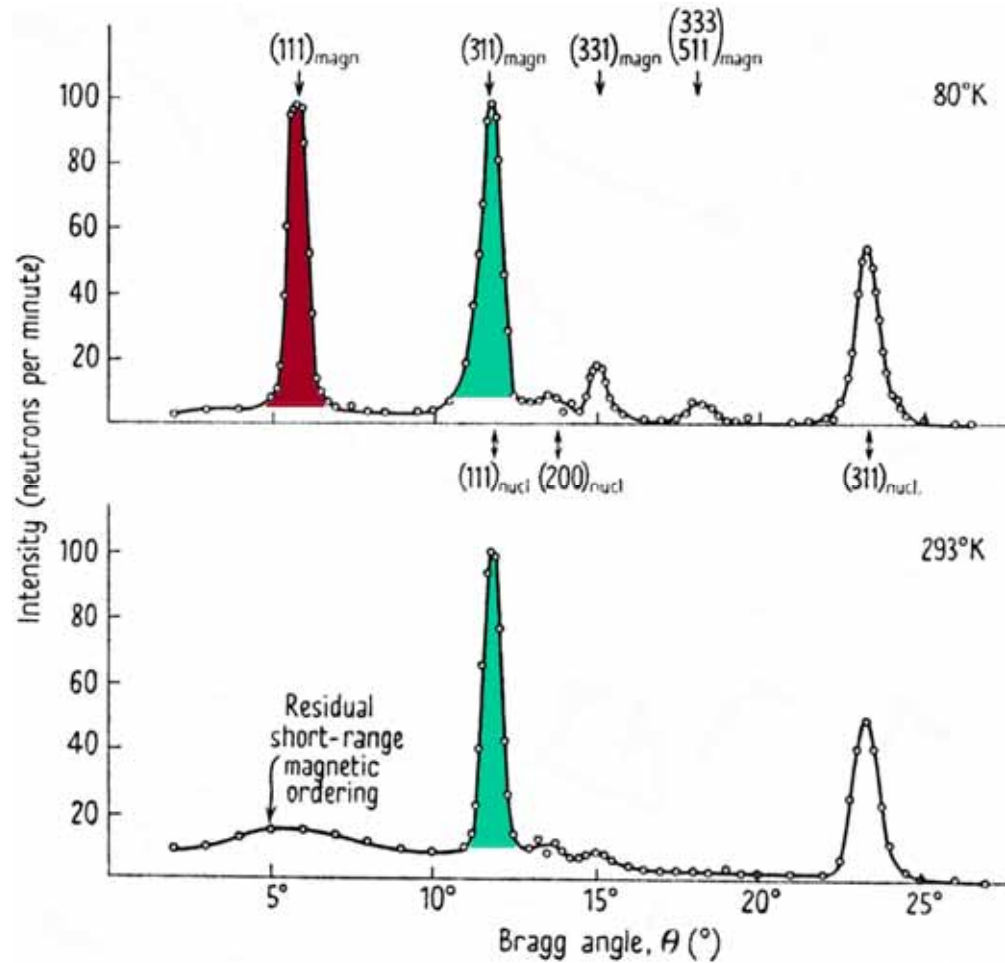


G-Typ
k-Vektor?

Welche Magnetische Intensität wird auf jeden Fall stark sein in der Neutronenbeugung?

Magnetische Strukturen

MnO

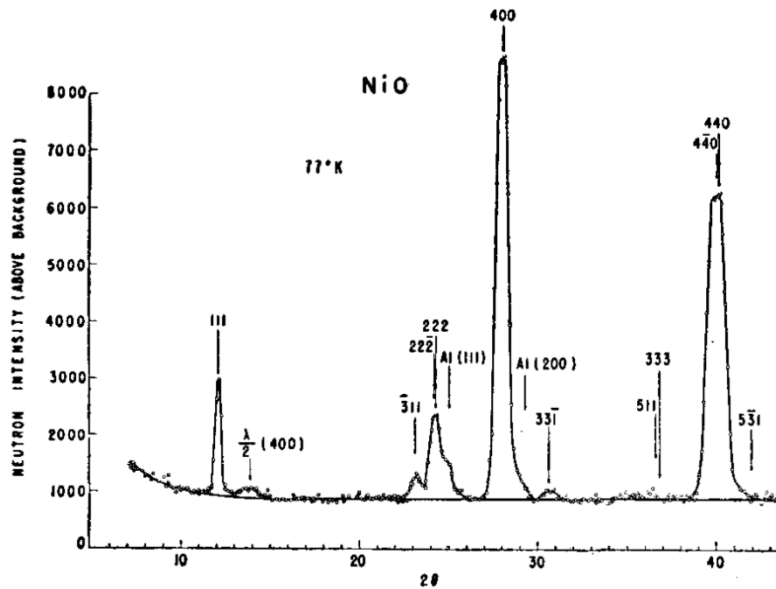
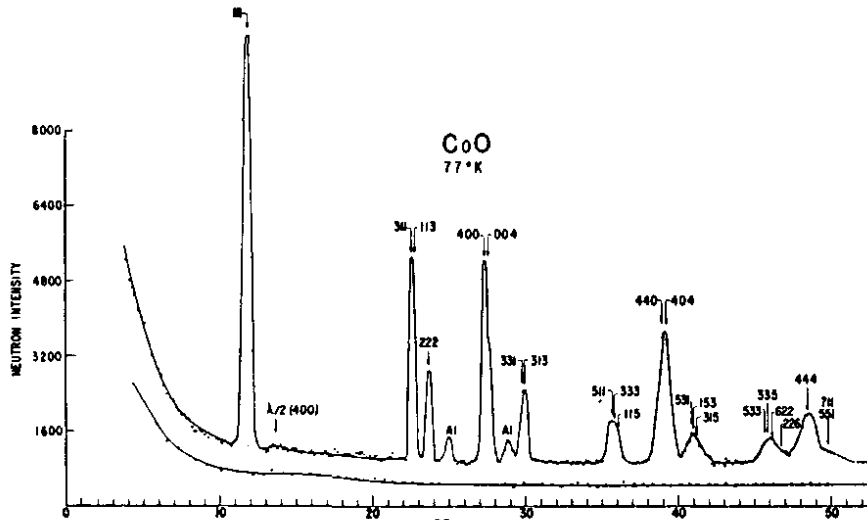


The Nobel Prize in Physics 1994

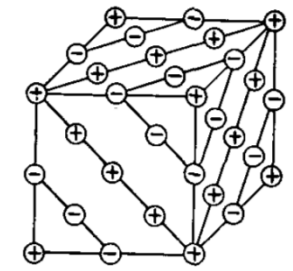
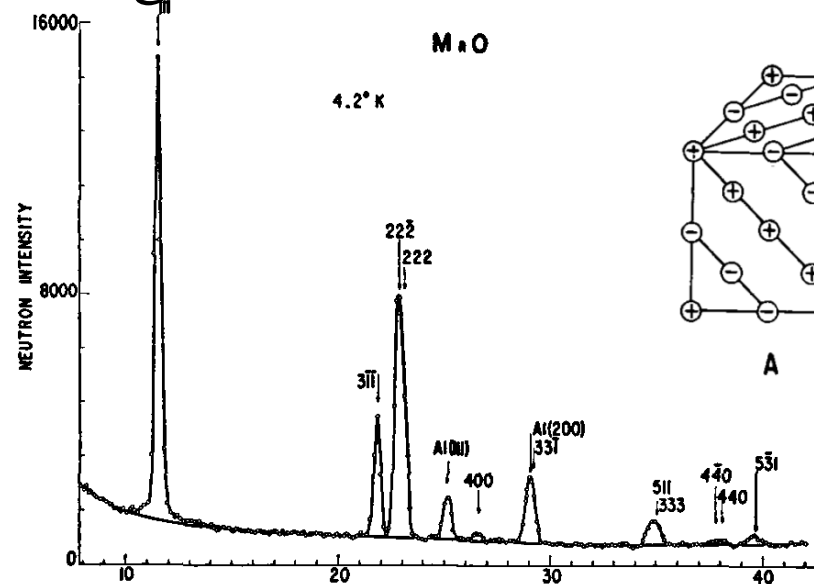
1949 hat Clifford G. Shull Antiferromagnetismus in MnO entdeckt

A,C oder G Typ?

Compound	MnO	FeO	CoO	NiO
Néel temp. °K	122	198	291	523
Symmetry	Rhomb. $\alpha < 60^\circ$	Rhomb. $\alpha > 60^\circ$	Tetr. $c/a < 1$	Rhomb. $\alpha < 60^\circ$
Magnetization				
Shull <i>et al.</i>	[001]	[111]	[001]	[001]
Li	[111]	[111]	[001]	[111]
Kanamori	(111)	[111]	[001]	(111)

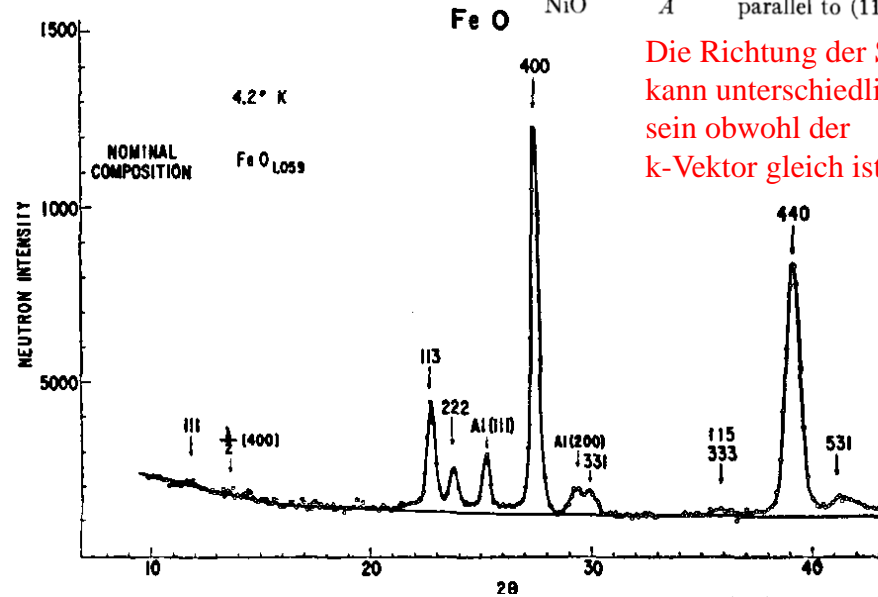


Magnetische Strukturen



G-typ!

Salt	Structure	Magnetic axis
MnO	A	parallel to (111) plane
FeO	A	perpendicular to (111) plane
CoO	A	parallel to $[\bar{1}1\bar{1}]$ direction
NiO	A	parallel to (111) plane



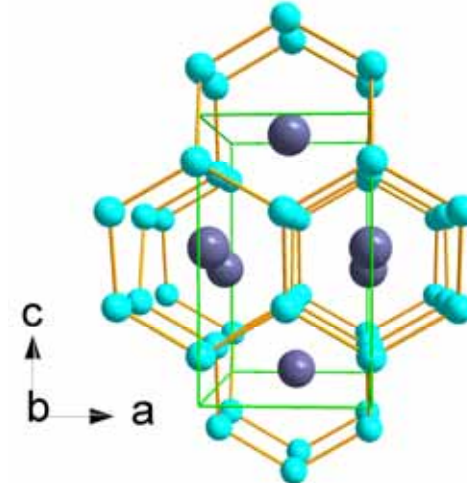
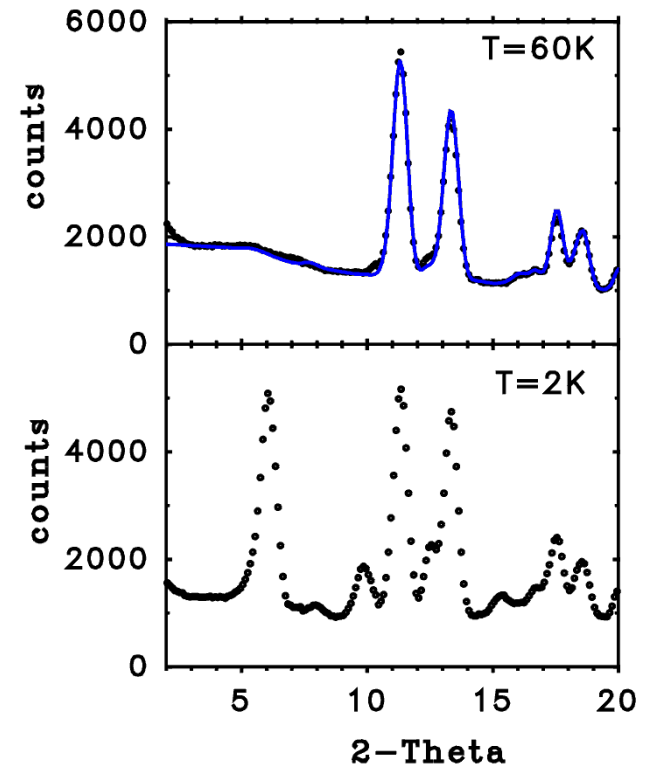
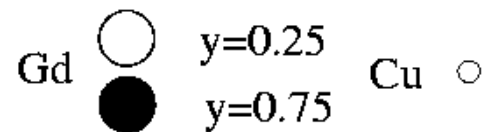
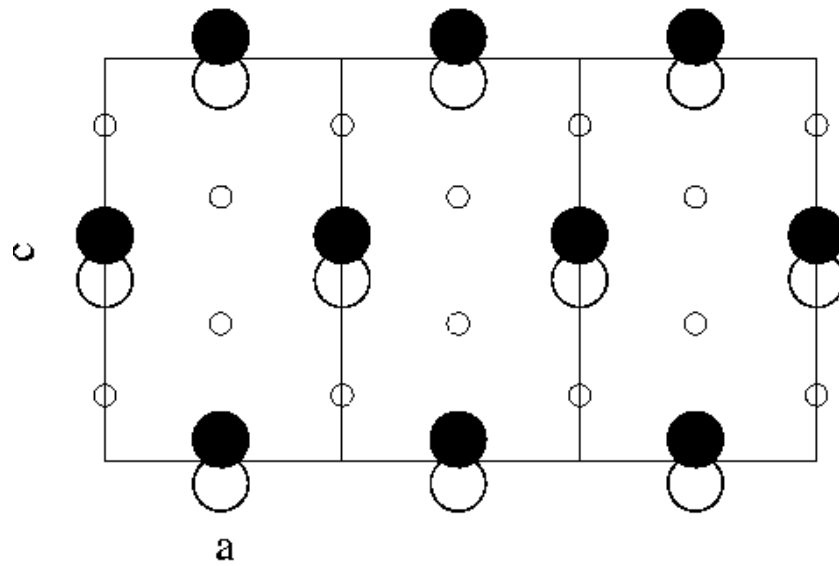
Die Richtung der Spin kann unterschiedlich sein obwohl der k-Vektor gleich ist...

Ein letztes Beispiel

GdCu₂

$T_N = 42 \text{ K}$ $M \perp [010]$
 $k = (2/3 \ 1 \ 0)$

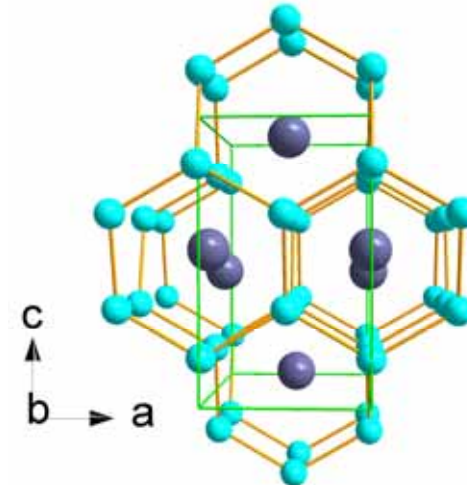
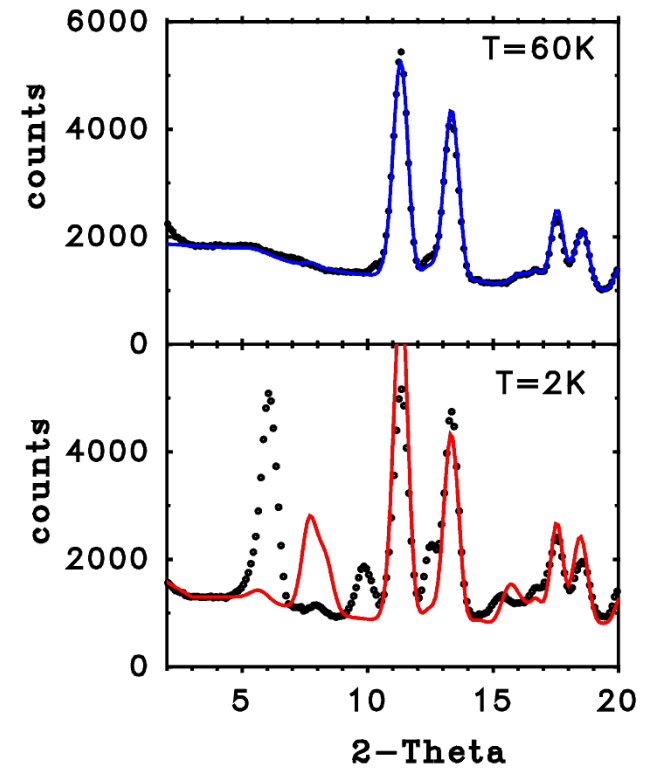
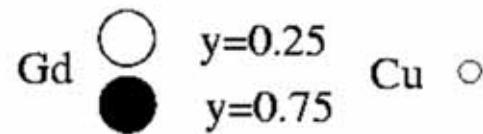
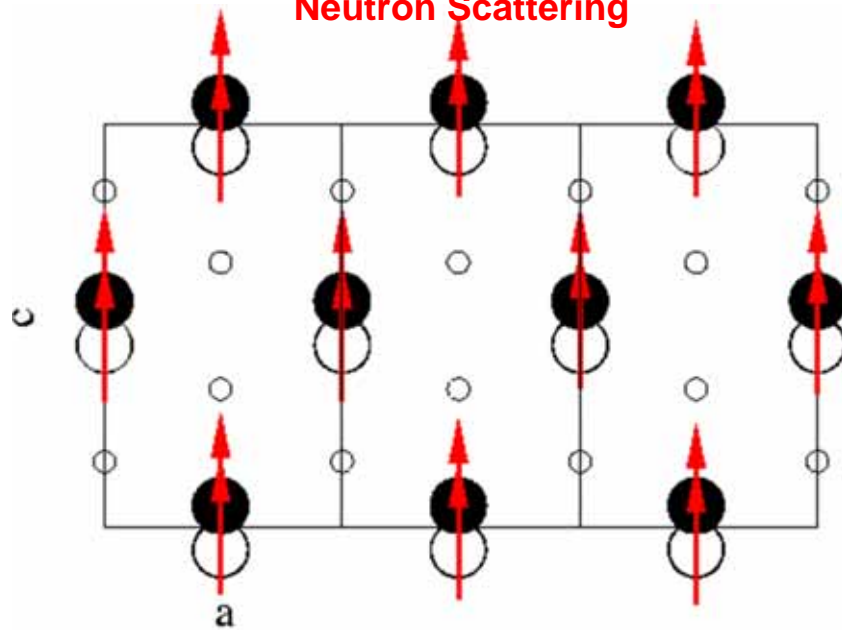
**Magnetic Structure from
Neutron Scattering**



GdCu₂

$T_N = 42 \text{ K}$ $M \perp [010]$
 $k = (2/3 \ 1 \ 0)$

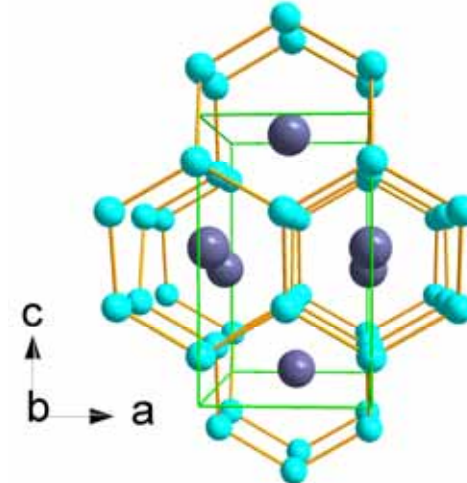
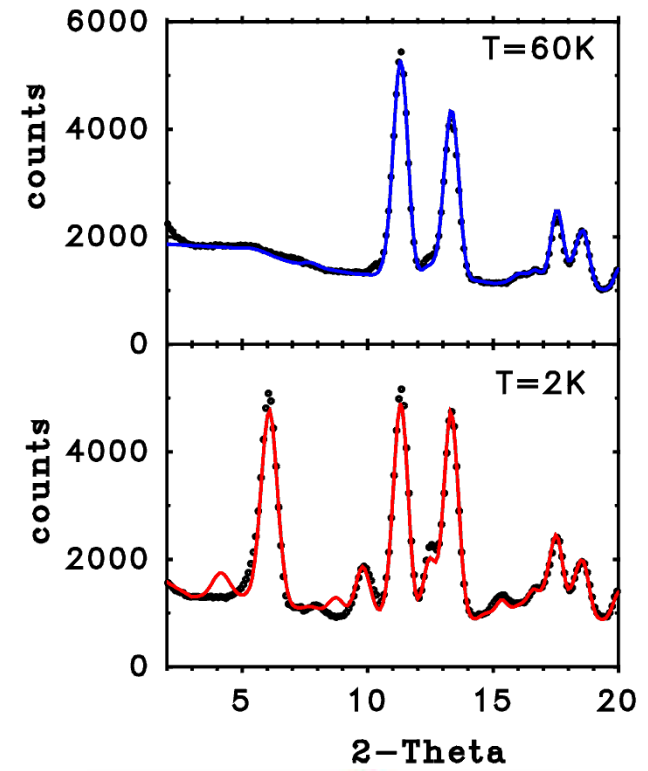
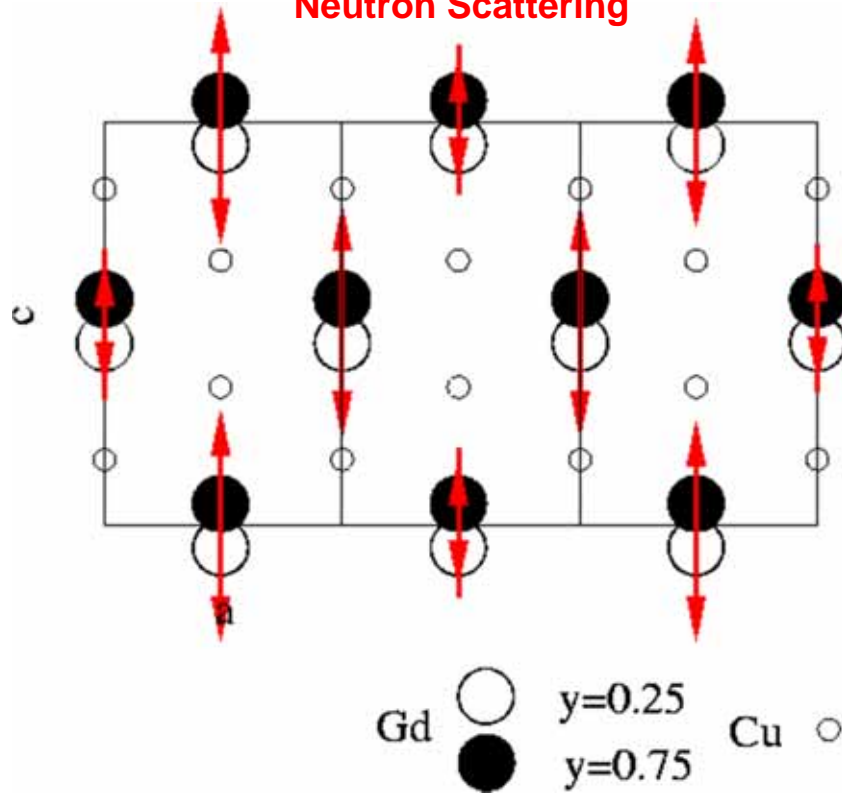
Magnetic Structure from
Neutron Scattering



GdCu₂

$T_N = 42 \text{ K}$ $M \perp [010]$
 $k = (2/3 \ 1 \ 0)$

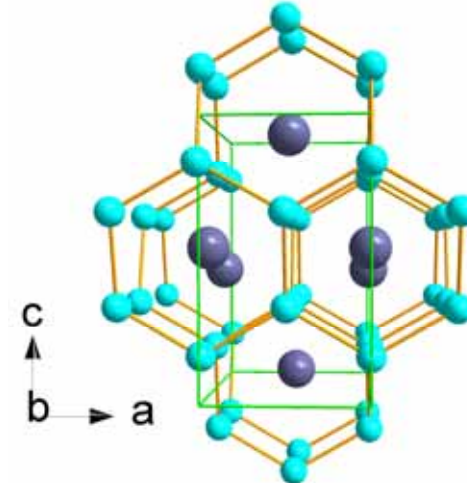
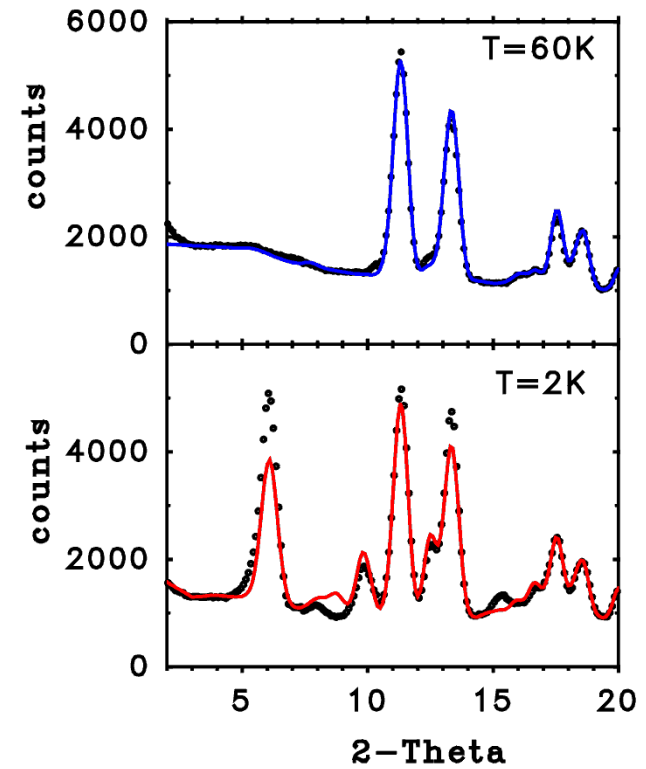
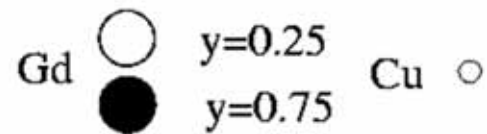
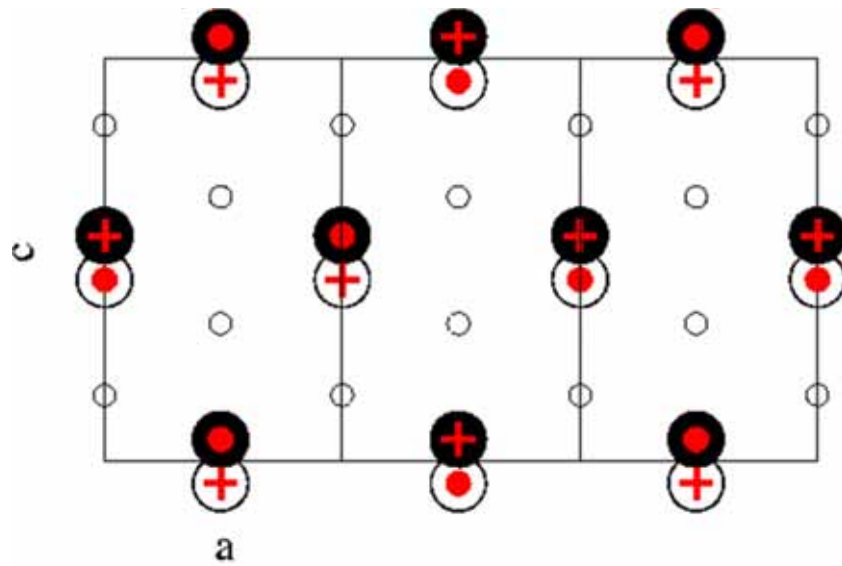
Magnetic Structure from Neutron Scattering



GdCu₂

$T_N = 42 \text{ K}$ $M \perp [010]$
 $k = (2/3 \ 1 \ 0)$

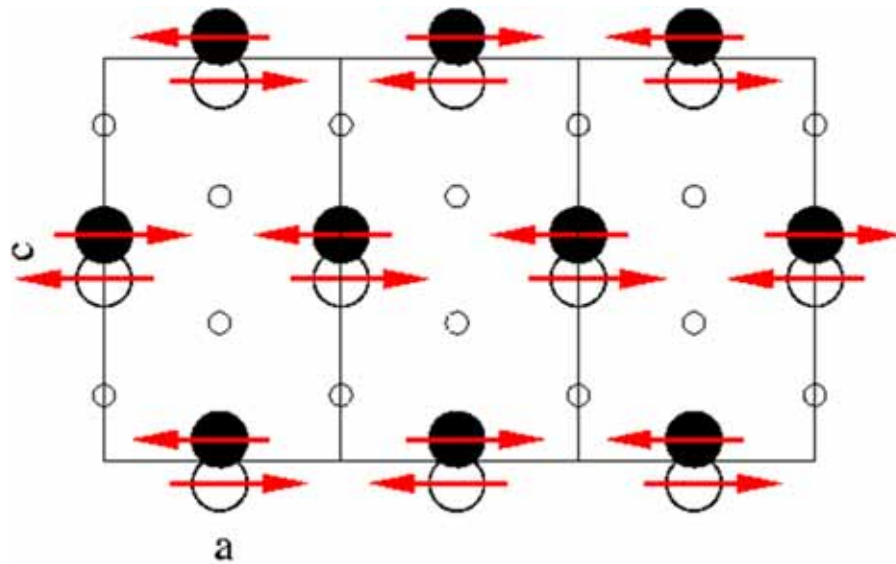
**Magnetic Structure from
Neutron Scattering**






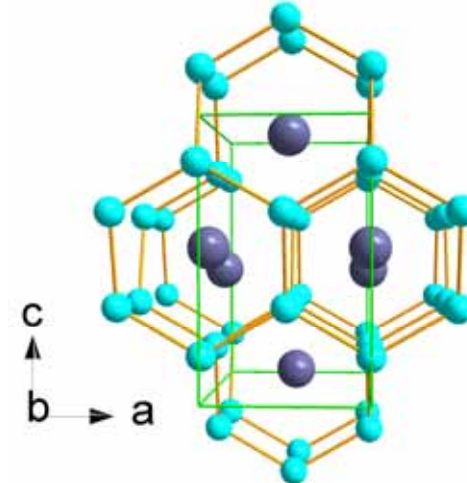
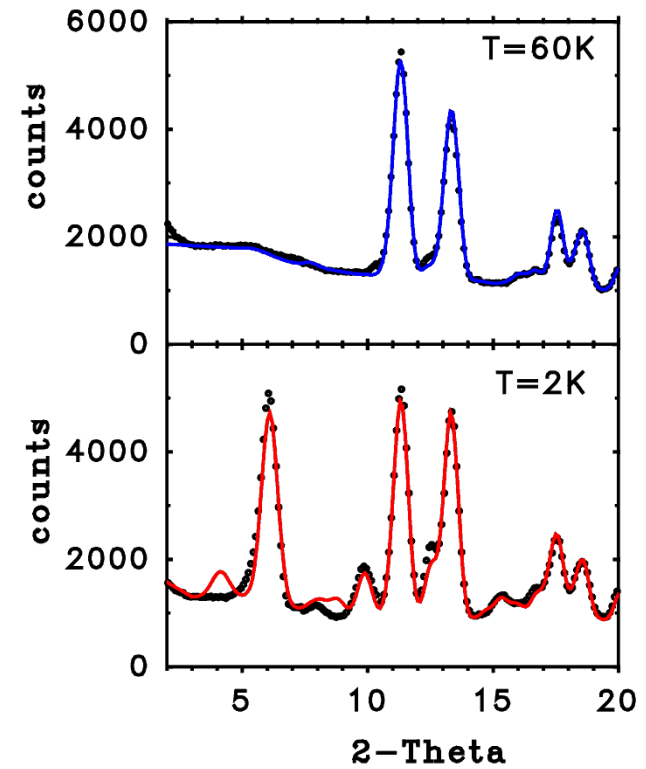
GdCu₂

$T_N = 42 \text{ K}$ $M \perp [010]$
 $k = (2/3 \ 1 \ 0)$

Magnetic Structure from Neutron Scattering



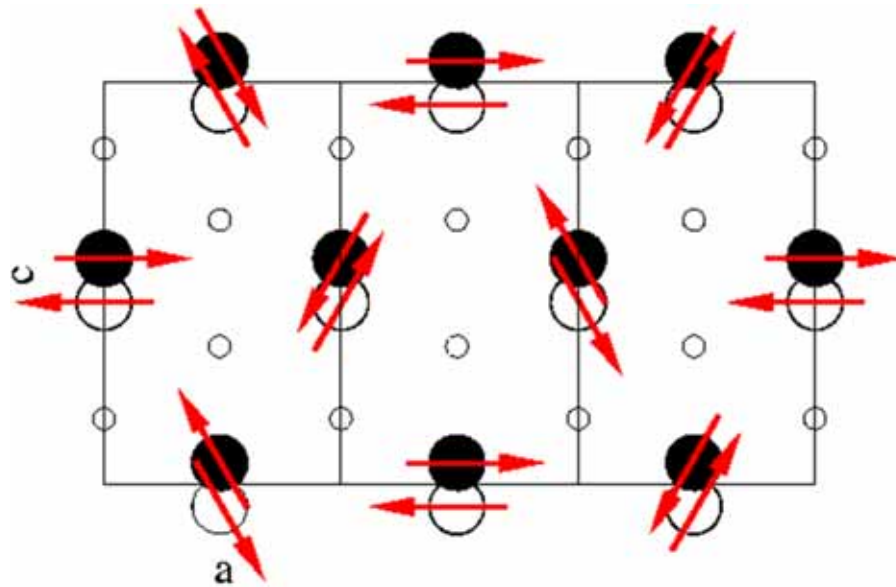
Gd  $y=0.25$ Cu 
 $y=0.75$



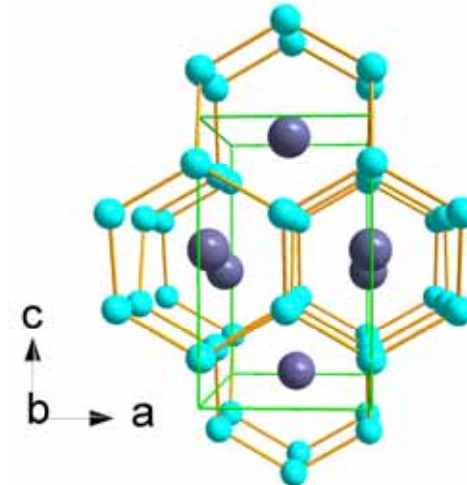
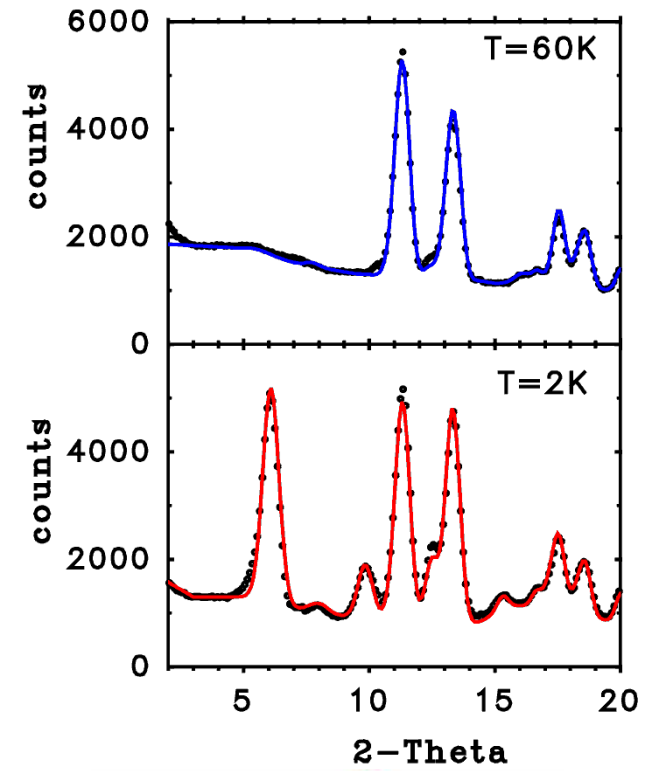
GdCu₂

$T_N = 42 \text{ K}$ $M \perp [010]$
 $k = (2/3 \ 1 \ 0)$

Magnetic Structure from Neutron Scattering



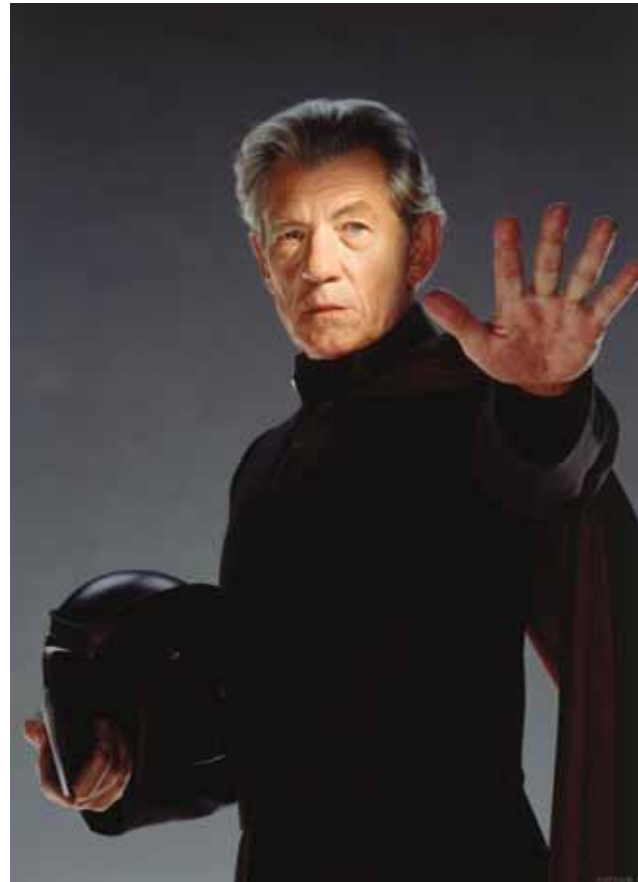
Gd \bigcirc $y=0.25$ \bullet $y=0.75$ Cu \circ



Zusammenfassung

- Neutronen ist der beste Weg um den Magnetismus zu verstehen, zumindest in seinem geordneten oder teilgeordneten Zustand.
- Durch Polarisation von Neutronen ist es möglich Kernstreuung von Magnetstreuung zu trennen.
- Der k -Vektor im reziproken Raum entspricht der Periodizität der Spin-Komponenten im reellen Raum (vergleichbar mit einer magnetischen "Elementarzelle")
- Streuung von magnetischen "Ferro"-Komponenten überlappen mit Kernstruktureflexen. Intensität von "Antiferro"-Komponenten können auch zwischen den Kerstruktureflexen auftreten.
- Der Ordnungsparameter von Neutronstreuung ist der gleiche, der in der magnetischen Suszeptibilität beobachtet wird.
- Aus der Neutronen-Streudaten bekommt man die Grösse, die Richtung, und die Position vom Spin in der Struktur.

Dies ist das Ende vom "Spins-do"



Magneto
© Marvel/Disney

I'll be back in
"Physikalische Aspekte der Festkörperchemie" WS2016-17₂₈