

NeutronenStreuung

- Grundlagen
 - Eigenschaften & Vorteile
 - Messgrößen
- Aufbau
 - Historie
 - Erzeugung
 - Präparation
 - Detektoren
 - Diffraktometer

Einführung

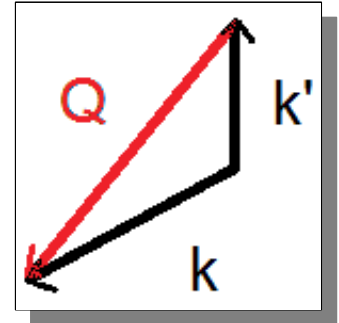
- detaillierte Eigenschaften auf atomarer Ebene
- n- & Röntgen-Streuung wichtigste Methoden
- Vorteile n-Streuung:
 - reagieren mit Atomkern
 - leichtere Atome: stärkere Resonanz als Röntgen
 - unterscheidet: ähnliche Ordnungszahlen
 - unterscheidet: Isotope
 - n kleine Energie ~ elementare Anregung → Dynamik
 - kleine Schäden (Bio)

Einführung

- Vorteile ...
 - hohe Eindringtiefe
 - magnetisches Moment
- langsame n
- $m = 1,675 * 10^{-27}$ kg
- $1 \text{ meV} = 0,242 \text{ THz} = 8,07 \text{ cm}^{-1} = 11,6 \text{ K} = 17,3 \text{ T}$
- $\vec{p} = \hbar \vec{k}$
 - $|k| = \frac{2\pi}{\lambda}$

Grundlegende Prinzipien

- Messgröße: Wahrscheinlichkeit $P(\vec{k} - \vec{k}')$
- Streuvektor: $\Delta \vec{p} = \hbar \vec{Q} = \hbar(\vec{k} - \vec{k}')$
- Energieübertrag: $\Delta E = \hbar \omega = \frac{\hbar^2}{2m}(k^2 - k'^2)$
 - elastische Streuung: $\hbar \omega = 0 \rightarrow |\vec{k}| = |\vec{k}'|$
$$\vec{Q} = (\vec{k} - \vec{k}') = \vec{\tau}$$
 - inelastische Streuung: $\vec{Q} = \vec{\tau} + \vec{q}$
 - q: elementare, zu bestimmende Anregung
- genaueste exp. Methode, um $\hbar \omega(\vec{q})$ zu vermessen



WirkungsQuerschnitt

- $\sigma \sim \frac{\text{Anzahl der auslaufenden } n \text{ innerhalb } [\omega, \omega + d\omega]}{\text{Anzahl der einlaufenden } n} \cdot \frac{1}{(\text{Zeit}) \cdot (\text{Raumwinkel})}$
- Fermis Goldene Regel
- Größenordnung: $10^{-24} \text{ cm}^2 = 1 \text{ barn}$
- komplexe Größe, $\text{Im} \rightarrow \text{Absorption}$

Historie

- erste n Quelle: natürliche α -Strahler und Be
- Kernreaktoren
- gepulste Quellen
 - Zyklotron
 - e^- - Beschleuniger
- heute: ProtonenBeschleuniger (10^{17} n / cm² / s)
- Zukunft: vielleicht Fusion

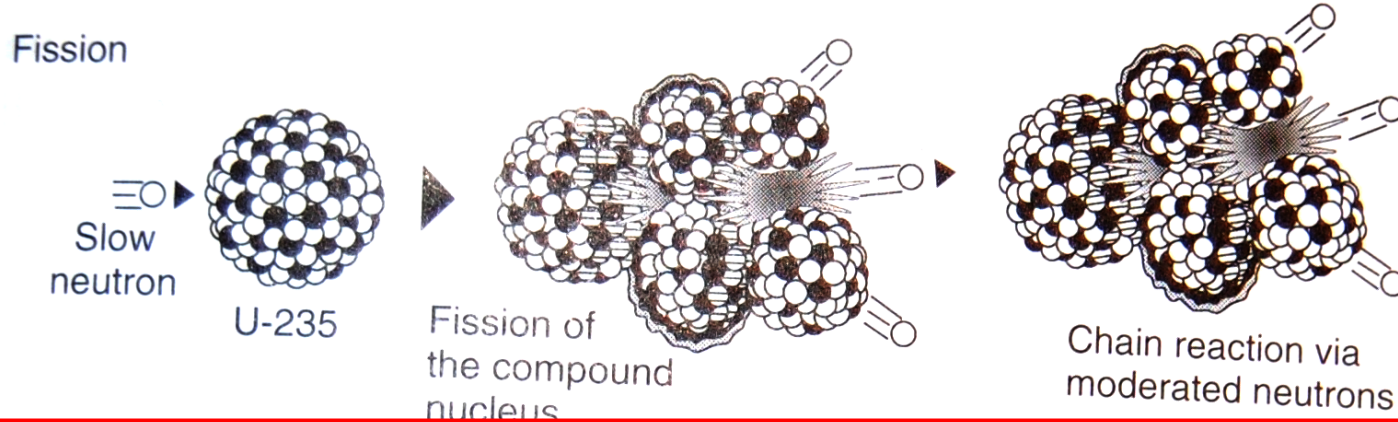
Qualität des Experiments

- Fluss, Luminosität ($\text{N} / \text{cm}^2 / \text{s}$)
- Wärmeentwicklung

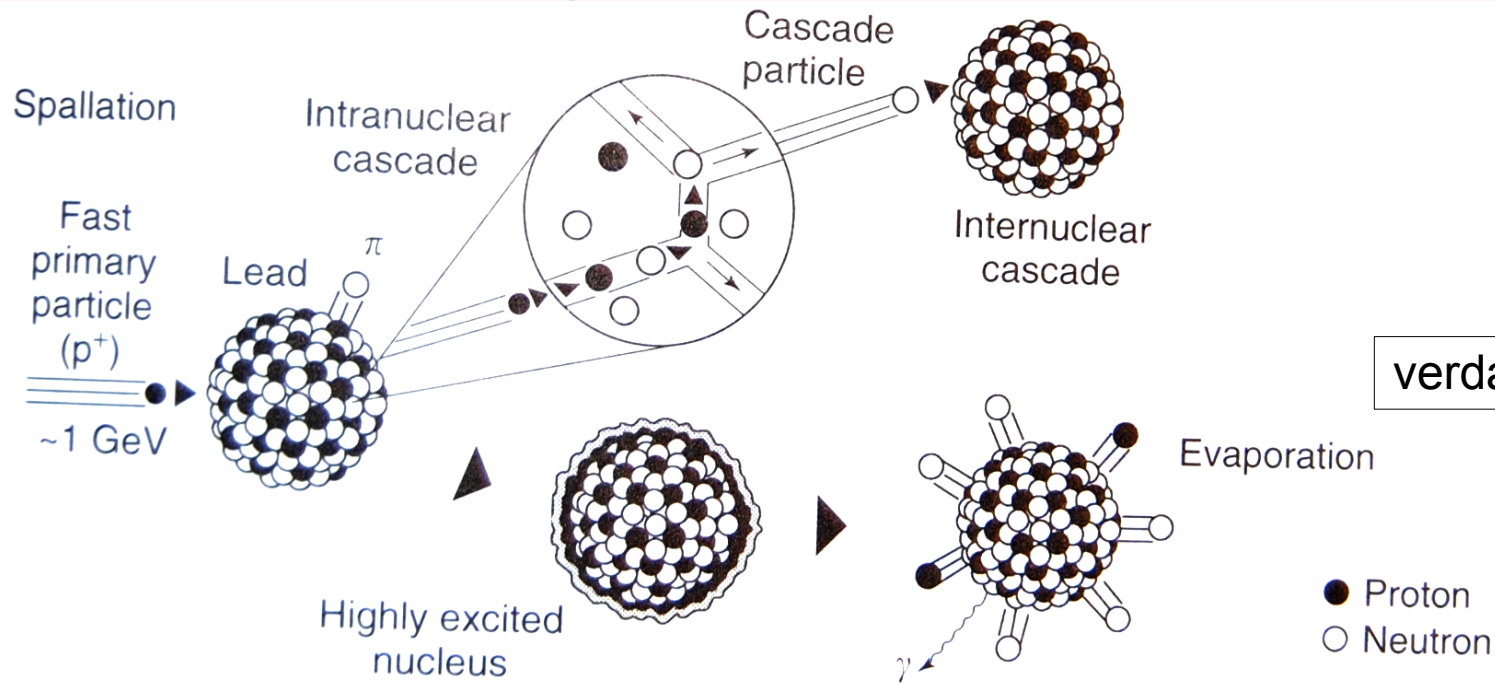
Reaction	Energy/Event	Yield (n/event)	Deposited heat (MeV/n)
T(d,n)	0.2 MeV	$8 \cdot 10^{-5}$ n/d	2500
W(e,n)	35 MeV	$1.7 \cdot 10^{-2}$ n/e	2000
$^9\text{Be}(d,n)$	15 MeV	$1.2 \cdot 10^{-2}$ n/d	1200
$^{235}\text{U}(n,f)$	fission	~ 1 n/fission	200
(T,d)	fusion	~ 1 n/fusion	3
Pb spallation	1 GeV	~ 20 n/p	23
^{238}U spallation	1 GeV	~ 40 n/p	50

KernAufsplitterungs-Quellen

Spaltung



angeregter
Zerfall



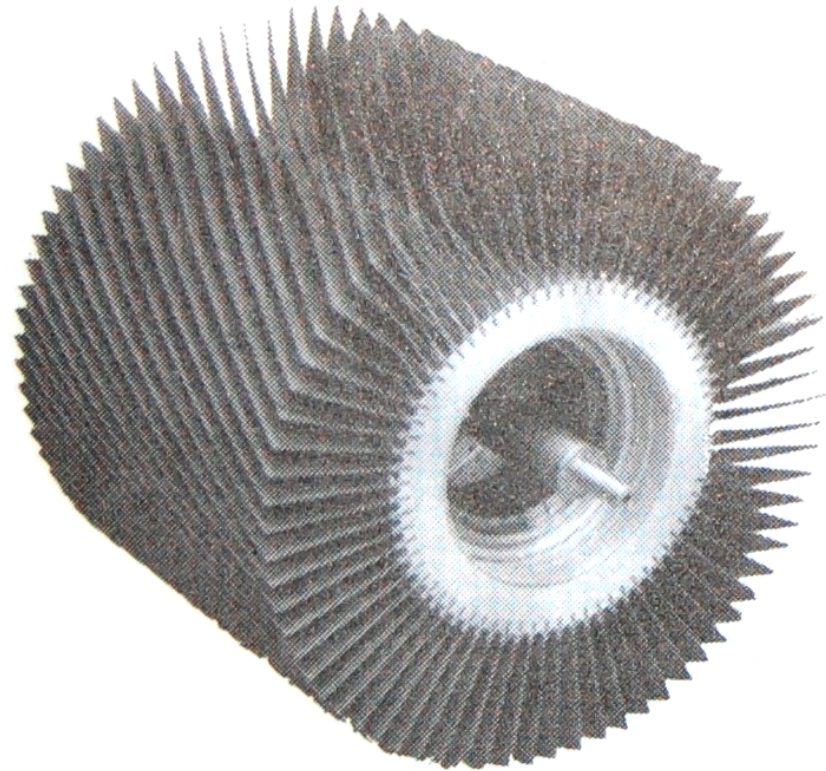
verdampfen

Spallations-Quellen

- H^-
- Linac $\sim \beta = 0,9$
- Kohlenstoffschicht $\rightarrow p$
- in Ring gespeichert \rightarrow Bunches
 - 10 – 100 Hz
- Target (flüssiges Metall) $\rightarrow n$
 - $P \sim MW$
- Moderator: MeV \rightarrow meV (H_2O, D_2O)
 - $RT \sim 1 \text{ \AA}$

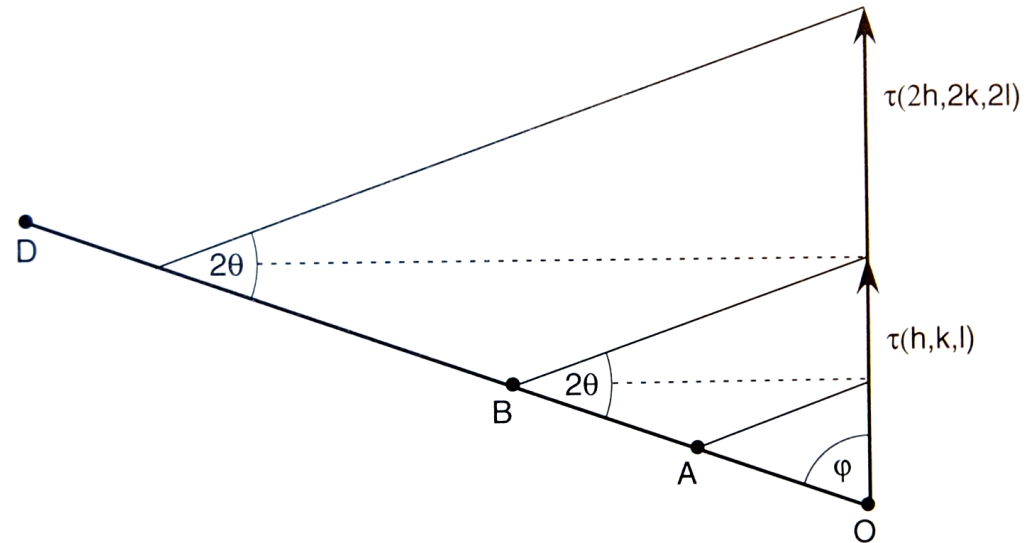
Instrumente

- n werden isotrop abgestrahlt
 - Schirmung, Blende
 - Neutronen-Reflektor
- Monochromator
 - time of flight
 - Kristall
 - drehender Kristall
- n haben Spin
 - müssen polarisiert werden



Instrumente

- n haben Spin...
 - Bragg-Reflexion: magnetische Streuamplitude
 - Kristalle, z.B. Cu_2MgAl \rightarrow 95 % polarisiert
 - Spiegel \rightarrow > 95 %
 - Filter
 - ^3He \rightarrow bis zu 80 %
 - benötigt B-Feld
 - Spin-Flip
- alle Mechanismen zur Präparation können auch zur Analyse verwendet werden



Detektoren

- Detektion von Neutronen durch Kernreaktionen
- Ionisierungsstrahlung
- Ionisierung von Teilchen
- Gasrohr mit ^3He -Isotop
- Anliegende Spannung $\sim 1800\text{V}$
 - Gain 10^5
- Langsame Antwortzeiten Nicht gut für hohe Zählraten

Detektoren

- Scintillatoren

ZnS dotiert mit ${}^6\text{Li}$

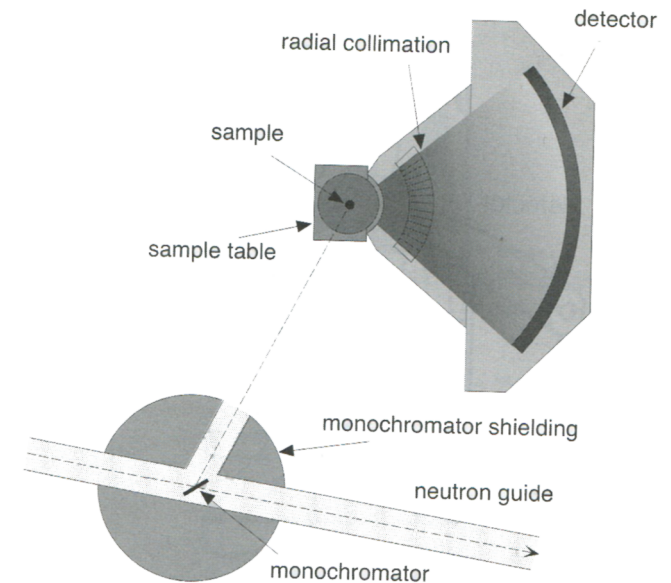
Bei eindringen von Neutronen Photoemission

Messung durch Photomultiplier

Diffraktometer

Pulverdiffraktometrie

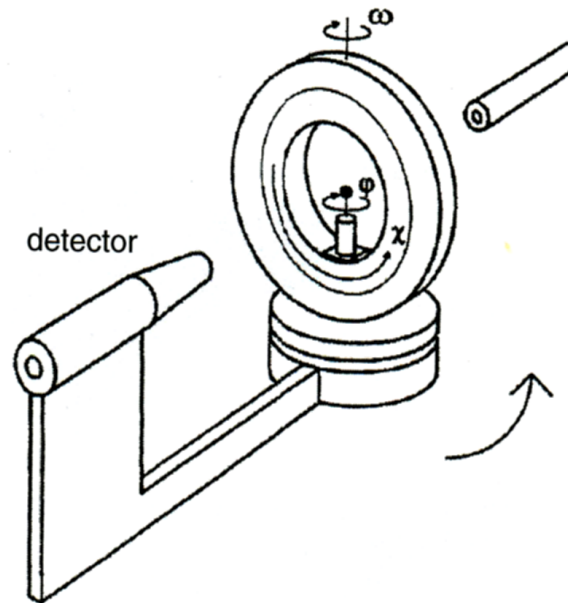
- Streuung der Neutronen an dem zu untersuchenden Pulver
- Alle möglichen Orientierungen der Netzebenen
- ADP (angular dispersive method)
- EDP (Energy dispersive method)



Diffraktometer

Einkristall-Diffraktion

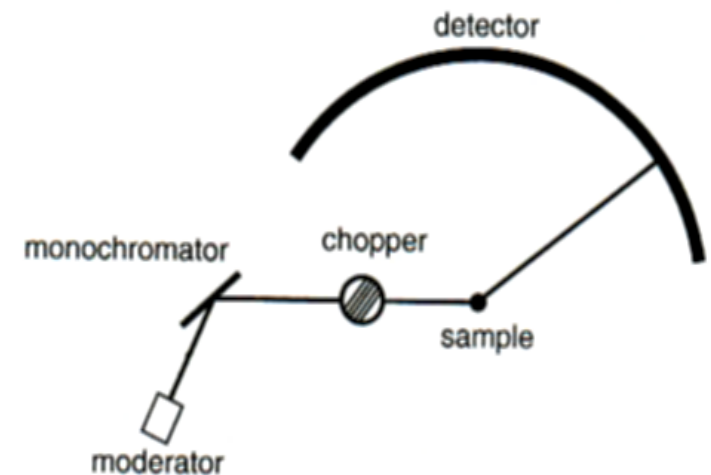
- Mehr Informationen als bei Pulverdiffraktometer
- Probe kann kontrolliert mit allen drei Eulerwinkeln ausgerichtet werden (Bragg-Bedingung)



Diffraktometer

Flugzeitdiffraktometer (Time-of-Flight)

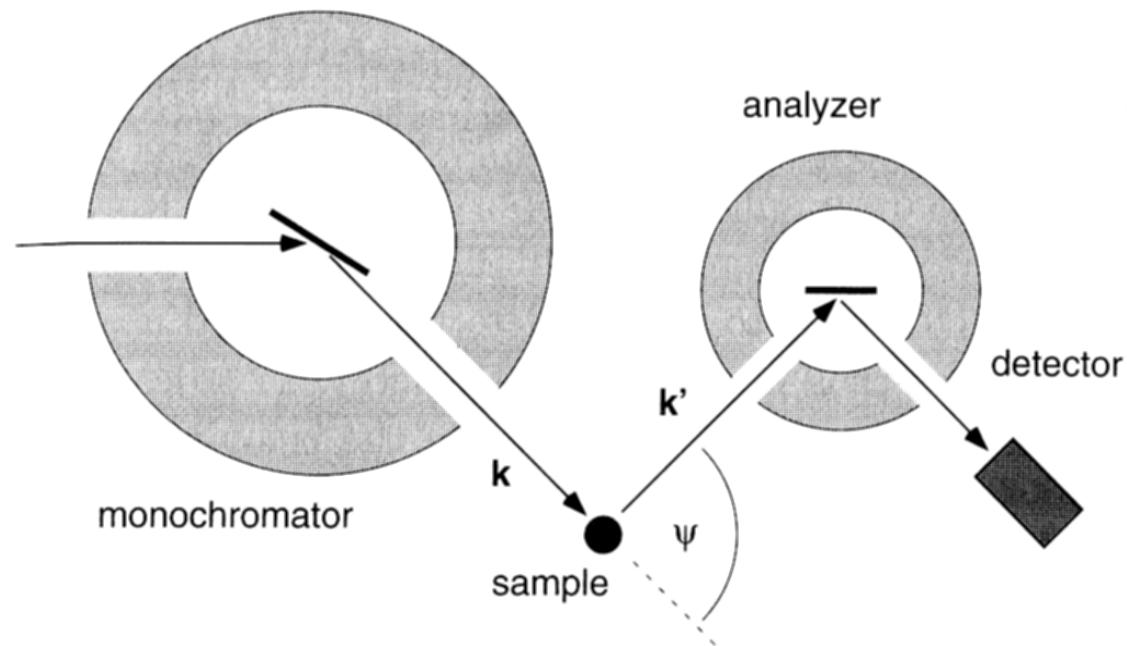
- Monochromatische Neutronen werden in Pakete „gehakt“
- Flugzeit + Winkel werden gemessen
- Informationen über Streuprozesse höherer Ordnung



Diffraktometer

Triple-Axis-Spectrometer

- Genaue Einstellung der Wellenvektoren
- Kontrollierte Aufnahme der Dispersionsrelation möglich



Diffraktometer

Weitere

- Backscattering Spectrometer
- Small Angle Scattering
- Spin-Echo Spectrometer
- Reflectometer

Diffraktometer

Weitere Variablen

- Temperatur
- Äußeres Magnetfeld
- Druck
- Äußeres Elektrisches Feld

Strukturfaktor

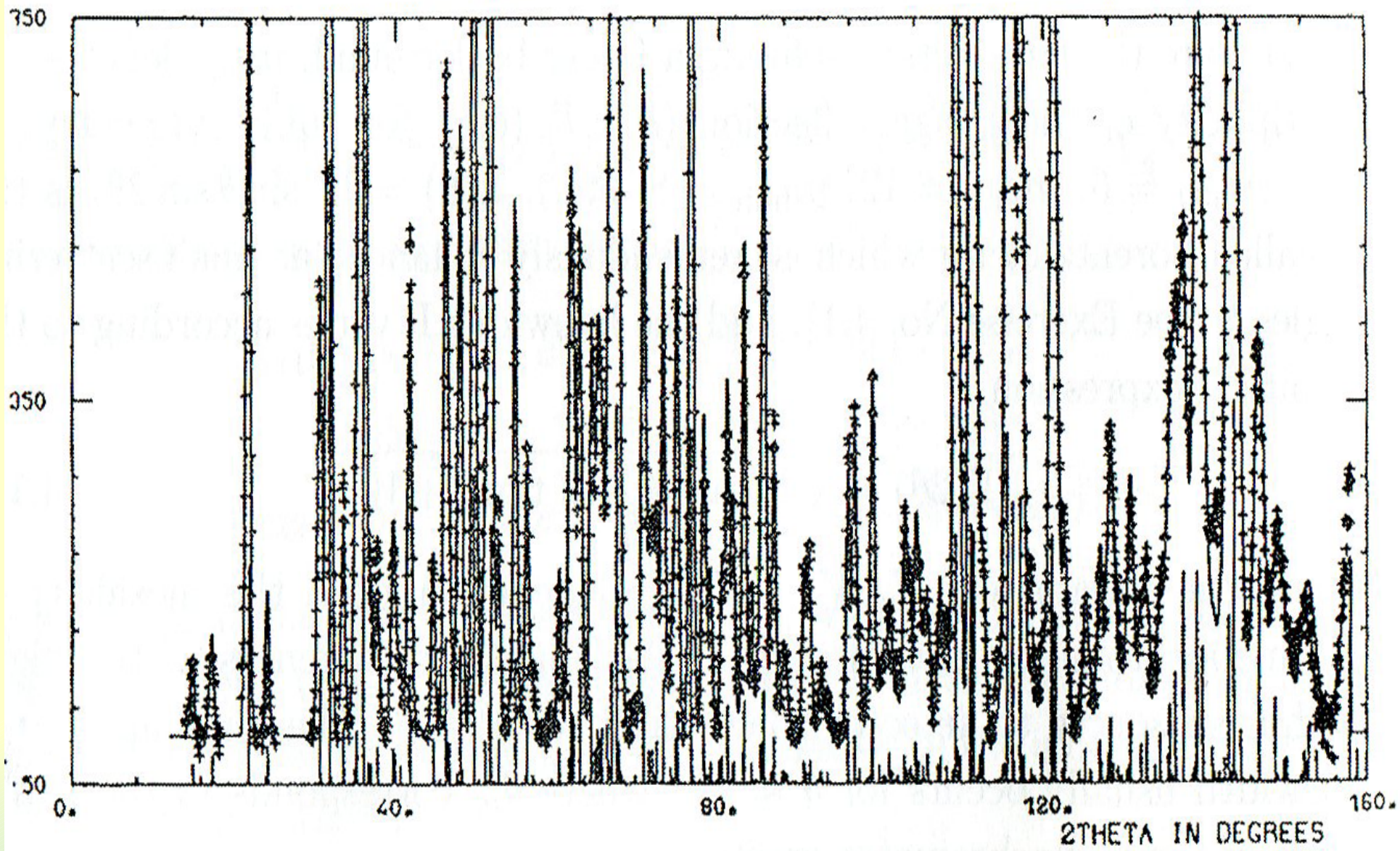
Wirkungsquerschnitt

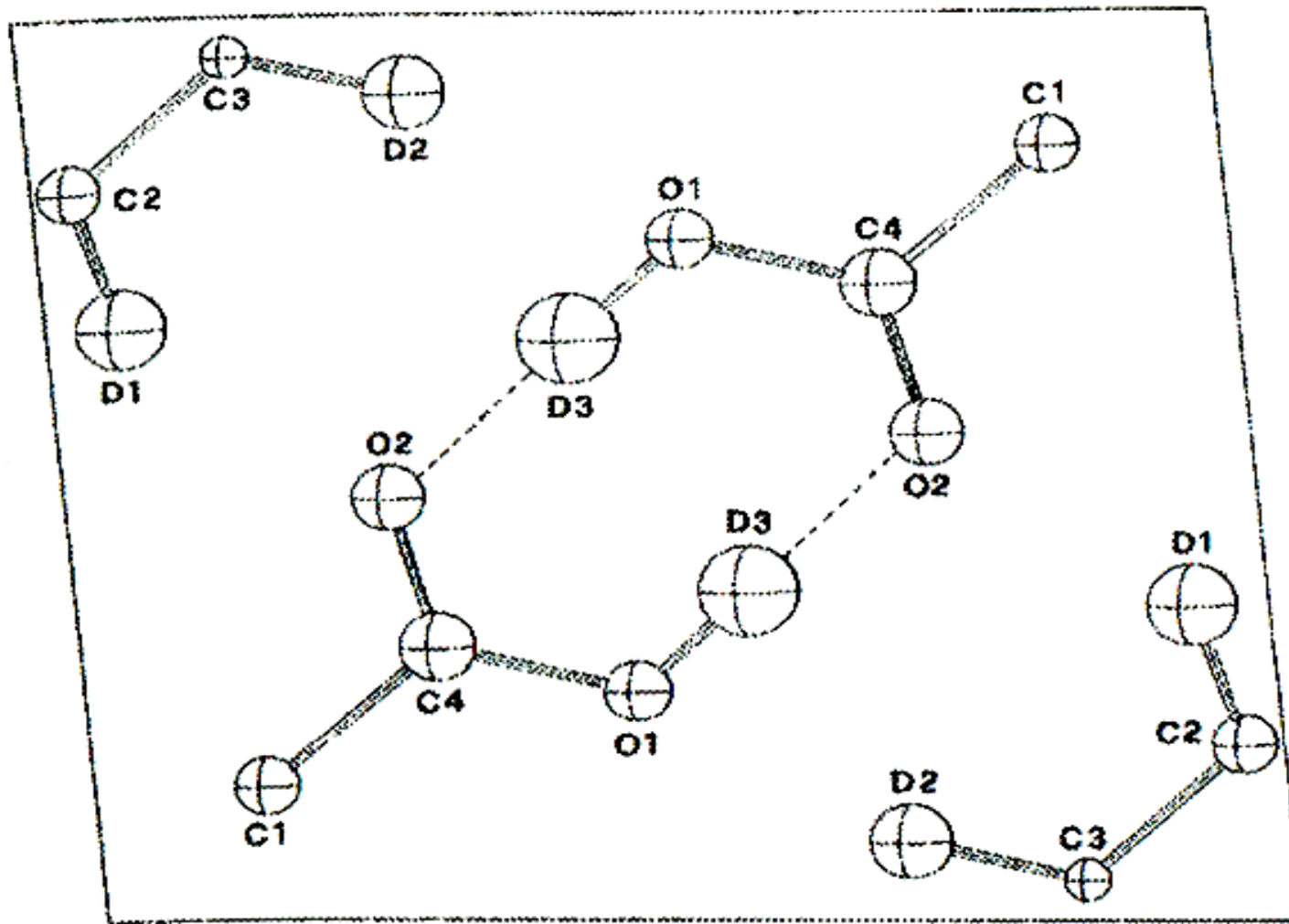
Einatomige Basis

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = N_0 \frac{(2\pi)^3}{V_0} \langle b \rangle^2 \sum_{\tau} \delta(Q - \tau)$$

Mehratomige Basis

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = N_0 \frac{(2\pi)^3}{V_0} \langle b \rangle^2 \sum_{\tau} |S_{\tau}|^2 \delta(Q - \tau)$$
$$S_{\tau} = \sum_d b_d e^{i\tau d}$$





Mit Deuterium versetzte Terephthalsäure

Strukturfaktor

Resultate der Neutronendiffraktion

- Größe, Form der Einheitszelle
- Informationen über Position der Atome in einer Einheitszelle
- Auslenkung der Atome

Quellen

- Neutron Scattering in Condensed Matter Physics, Furrer, World Scientific

