

Einführung in die  
Nukleare Festkörperphysik

Teil II. /2.

SS 1991.



16. Vorlesung

20. 6. 1991.



# Neutronenstreuung

Wechselwirkungen:

- starke Wechselwirkung mit Atomkernen
- magnetische Wechselwirkung mit magnetischen Dipolmomenten

Notwendige Energie für Beugungsexperimente an Kristallen:

Photonen

$$E = hc \frac{1}{\lambda}$$

$$\lambda = hc \frac{1}{E}$$

$$\lambda(\text{nm}) = \frac{1.24}{E(\text{keV})}$$

$$0.1 \text{ nm} \div 10 \text{ keV}$$

Neutronen

$$E = \frac{h^2}{2m} \frac{1}{\lambda^2}$$

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2mE}}$$

$$\lambda(\text{nm}) = \frac{0.904}{\sqrt{E(\text{meV})}}$$

$$0.1 \text{ nm} \div 100 \text{ meV}$$

Elementare Anregungen in Festkörpern:

Phononen, Magnonen, u.s.w.:  $E \approx 100 \text{ meV}$ .

Inelastische Streuung an Phononen, Magnonen mit Neutronen leicht zugänglich; mit Photonen kaum (Mössbauer-Rayleigh Streuung).

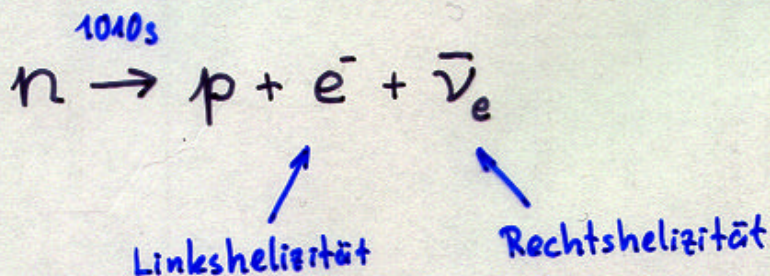


## Bedingungen für Neutronenbeugungsversuche:

- monokromatische Neutronen
- der Streuwinkel muß bestimmt werden können (Bragg-Reflexionen).
- die Energie der gestreuten Neutronen muß bestimmt werden können (inelastische Streuung).

---

## Eigenschaften des Neutrons und Produktion von Neutronenstrahlen



Neutronenquelle: Kerneaktor

Geschwindigkeitsverteilung: Maxwell'sch

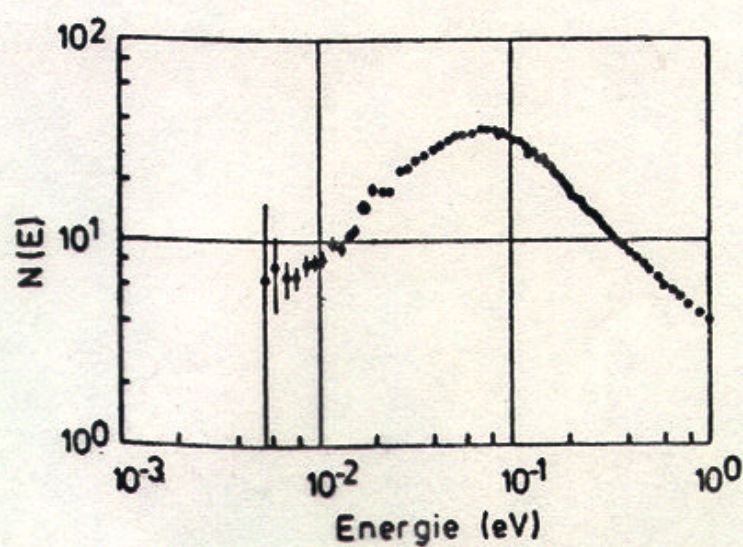
( $T$  = Moderatortemperatur)



Tabelle 10.1: Eigenschaften des Neutrons

|                               |                                                                                                                                                                                      |
|-------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Masse                         | 939,573 MeV/c <sup>2</sup>                                                                                                                                                           |
| Spin                          | 1/2                                                                                                                                                                                  |
| Zerfall                       | Beta-Zerfall: $n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e$                                                                                                                                  |
| Lebensdauer                   | $1,01 \cdot 10^3$ s                                                                                                                                                                  |
| g-Faktor                      | $g_s = -3,82638$                                                                                                                                                                     |
| Wellenlänge                   | $\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{\sqrt{2mE}}; \lambda(\text{nm}) = \frac{0,0286}{E(\text{eV})}$<br>$\lambda = 0,18 \text{ nm}$ für $E = 25 \text{ meV}$ ( $\approx 290 \text{ K}$ ) |
| Wechselwirkung<br>mit Materie | a) Kernwechselwirkung (+ Kernkraft)<br>b) Magnetische Wechselwirkung<br>(+ g-Faktor)                                                                                                 |





**Abb. 10.1:**  
Energiespektrum  $N(E)$  in  
Graphit bei einer Modera-  
tortemperatur von 323 K  
(PAR 62)





**Abb. 10.2:** Wirkungsweise eines mechanischen Monochromators. Nur Neutronen einer bestimmten Geschwindigkeit (Energie) können den rotierenden Festkörperzylinder auf dem durchgehenden Pfad passieren, alle übrigen werden absorbiert. Der Neutronenstrahl ist gepulst

## Gepulster Reaktor

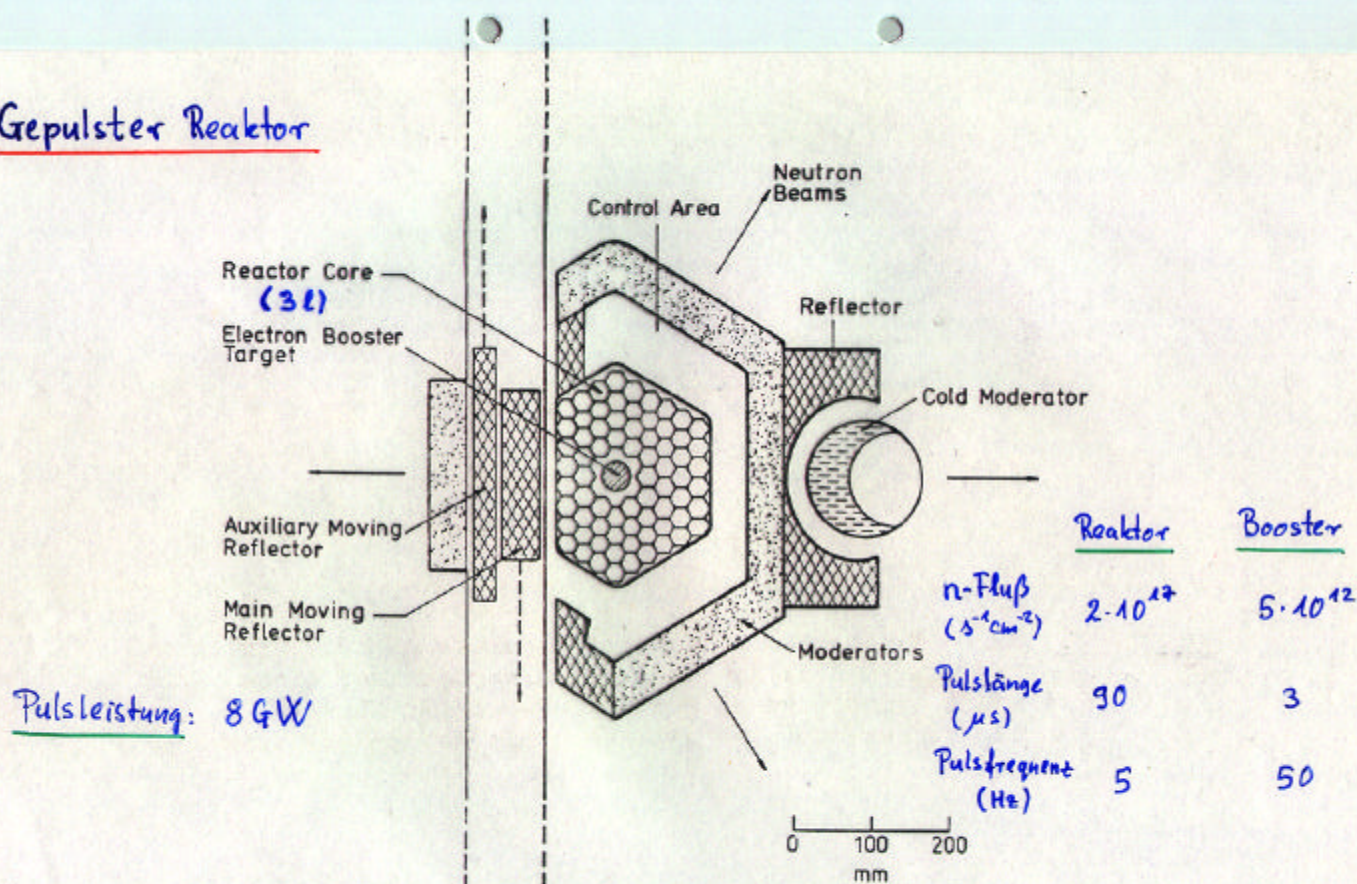


Figure 2.18. The main features of the IBR-2 pulsed reactor at Dubna, USSR. The two moving reflectors modulate the reactivity. Moderators on all sides give a series of beams. At the very centre is an electron target for use in the booster mode.



## Monochromatoren

Zweck: Herausfiltern die Neutronen, deren Wellenlänge in einem bestimmten Intervall liegt

- Mechanische Monochromatoren
- Kristallmonochromatoren

---

## Nachweis von Neutronen

Das Neutron besitzt keine Ladung  $\Rightarrow$  Nachweis nur über geladene Folgeprodukte aus Kernreaktionen möglich.

Häufig verwendete Detektoren für langsame Neutronen:

- $\text{BF}_3$  - Detektor

Füllung:  $^{10}\text{BF}_3$  - Gas (hochangereichert)

$p \geq 1$  bar

Nachwarswahrscheinlichkeit für  $E_n \lesssim 1 \text{ eV}$ :  
 $\sim 50\%$

Wirkungsquerschnitt für thermische Neutronen:

$$\sigma(^{10}\text{B}) = 3840 \text{ b}$$



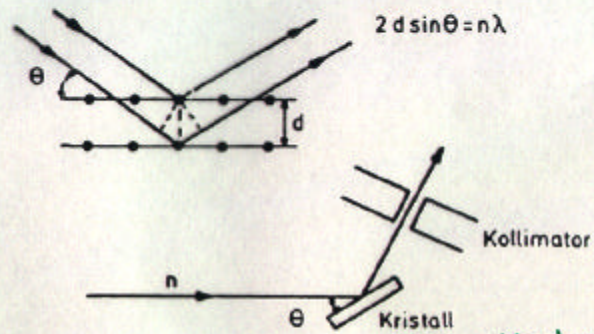
pyrolytischer Graphit

Cu

Ge

Si

Be



(kleine Neutronenabsorptionskoeffizient)

**Abb. 10.3:** Wirkungsweise eines Kristallmonochromators. Ein Neutronenstrahl fällt unter dem Winkel  $\theta$  auf einen Kristall und wird an den Netzebenen mit Abstand  $d$  gebeugt. Für  $2d \sin \theta = n\lambda$  erhält man Bragg-Reflexion



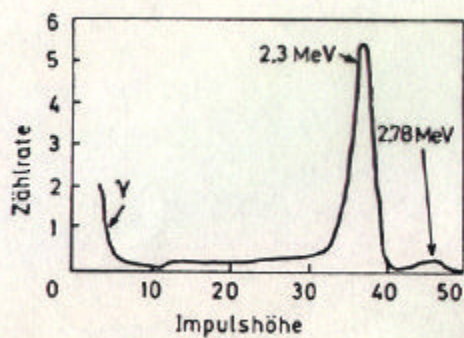
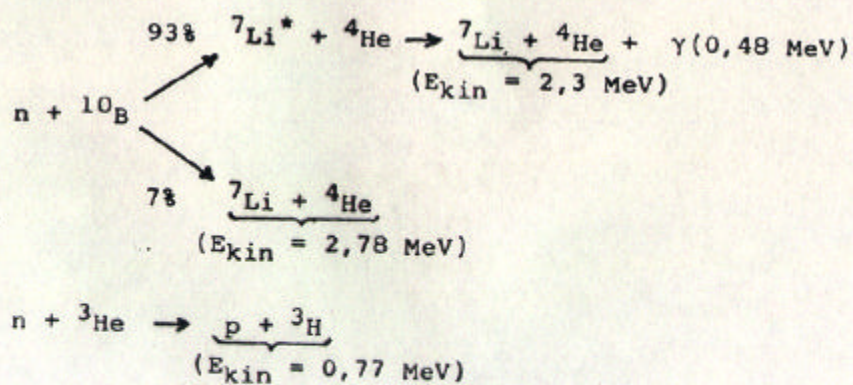


Abb. 10.4:

Impulshöhenspektrum eines  $\text{BF}_3$ -Zählrohres bei Beschuß mit thermischen Neutronen (BEC 64). Die Linien bei 2,3 MeV und 2,78 MeV entsprechen der kinetischen Energie von  ${}^7\text{Li} + {}^4\text{He}$





- $^3\text{He}$  - Detektor

$$\sigma(^3\text{He}) = 5500 \text{ b}$$



kleinere Bauweise als bei  $\text{BF}_3$  - Detektoren



Sammelzeit für freigesetzte Elektronen kürzer



bessere Zeitauflösung

## Energiebestimmung von Neutronen

- Flugzeitspektrometer

Voraussetzung: gepulster Neutronenstrahl

- Kristallspektrometer

Bragg - Bedingung:

$$\lambda = \frac{2d \sin \theta}{n}$$



$$E = \frac{n h^2}{8m d^2 \sin^2 \theta}$$



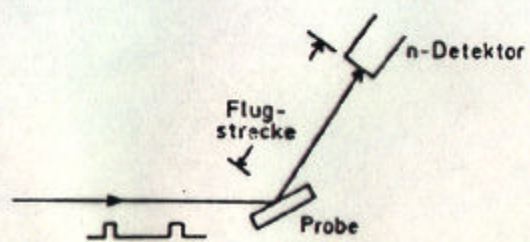


Abb. 10.5: Prinzipielle Anordnung für ein Flugzeitspektrometer



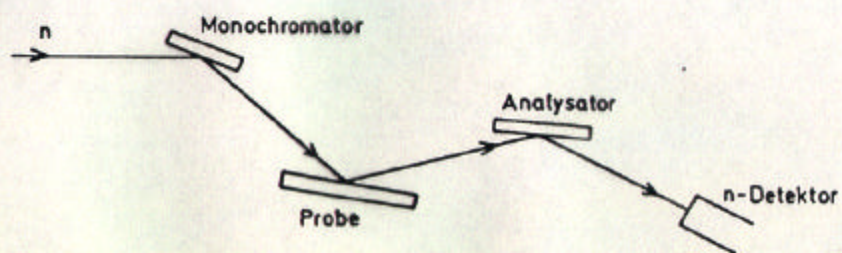


Abb. 10.6: Prinzipielle Anordnung eines Drei-Achsen-Spektrometers