Nukleon-Nukleon-Reaktionen

Eigenschaften des Nukleons

Formalismus zur Beschreibung der elastischen Streuung
(Optisches Modell, Streuphasen) und von Reaktionen

Zwei-Nukleonen-Problem (Streulängen, NN-Potential, NN-Reaktionen)

Reaktionen zwischen Nukleonen und leichten Kernen

10. Vorlesung, TU Dresden 17.06.2008

Dr. Daniel Bemmerer

1. Vorlesung, 08.04.2008

- Starke Wechselwirkung, Ladungsunabhängigkeit, Einführung des Isospins
- Eigenschaften der Nukleonen: Masse und Lebensdauer
- Kinematik nichtrelativistisch

2. Vorlesung, 15.04.2008

- Kinematik relativistisch
- Das Deuteron

3. Vorlesung, 22.04.2008 (Prof. Grosse)

- Das Deuteron im elektromagnetischen Feld
- Reziprozitätssatz (*detailed balance theorem*)
- Synthese und Photodissoziation des Deuterons
- Astrophysikalisches: Bedeutung des Deuterons im Urknall

4. Vorlesung, 29.04.2008

- Rutherford-Streuung (klassisch)
- Optisches Modell, elastische Streuung

5. Vorlesung, 06.05.2008

- Rutherford-Streuung (quantenmechanisch)
- Resonanzen (Einführung)

6. Vorlesung, 20.05.2008

- Breit-Wigner-Formel

7. Vorlesung, 27.05.2008

- Exkurs: Abbremsung schneller Teilchen in Materie
- Mssung von Resonanzparametern: Gamma- und Teilchenbreite

8. Vorlesung, 03.06.2008

- Drehimpulse und Winkelkorrelationen

9. Vorlesung, 10.06.2008 (Prof. Grosse)

- Dipol-Riesenresonanz

10. Vorlesung, heute

- Direkte Reaktionen I:
  Phänomenologie, quantitative Beschreibung

Folien im Internet: http://www.fzd.de/db/Cms?pOid=26617

The Giant Dipole Resonance in ^{197}Au and a fit with the modified Breit-Wigner formula

A. Bohr & B. Mottelson, Nuclear Structure – Dipole Modes

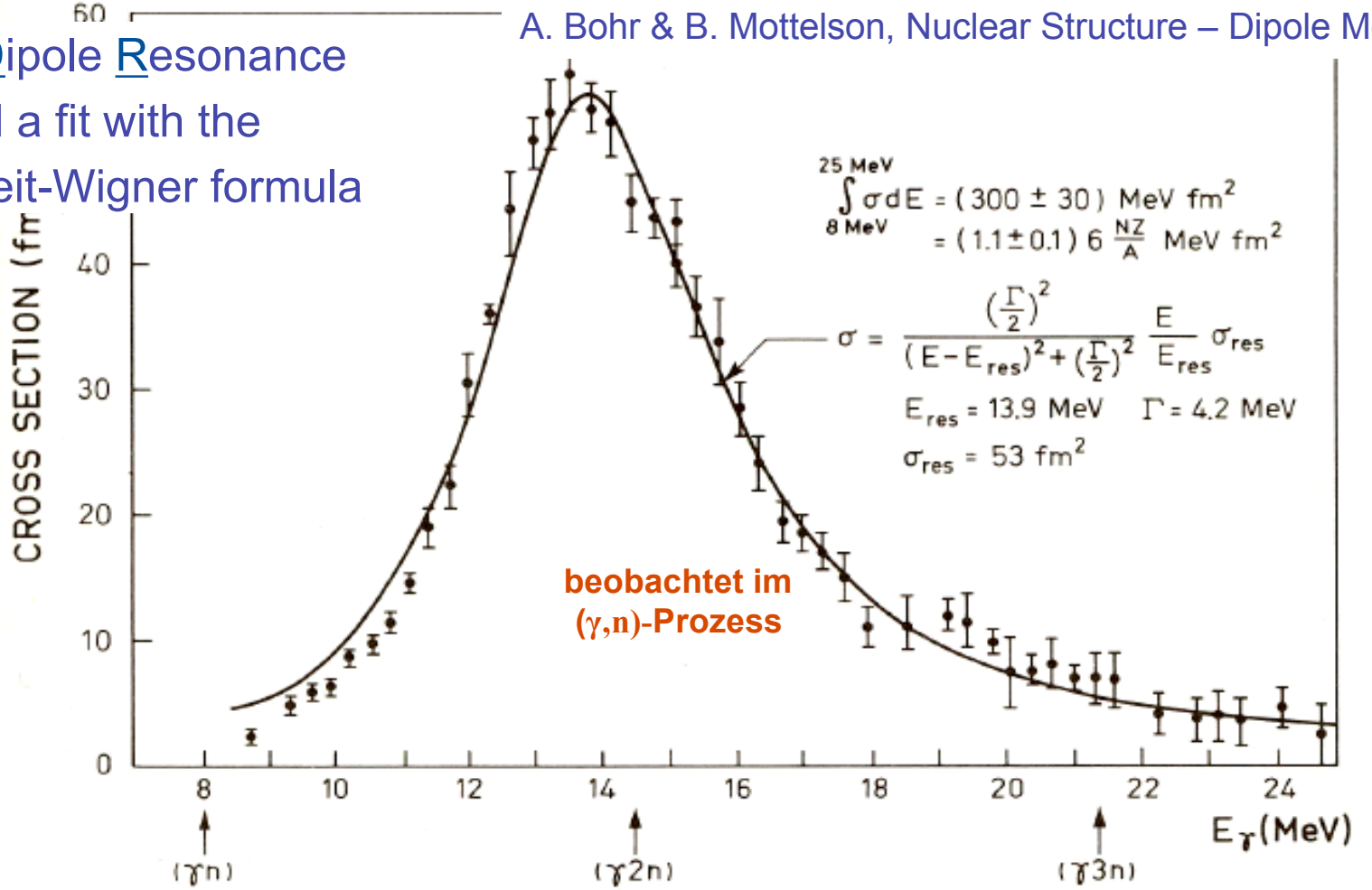
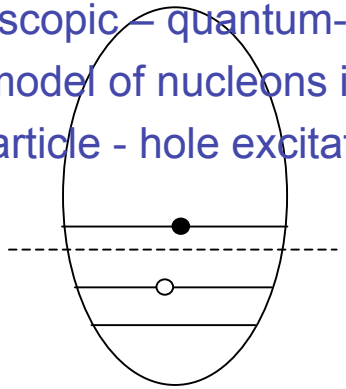


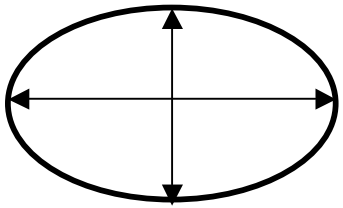
Figure 6-18 Total photoabsorption cross section for ^{197}Au. The experimental data are from S. C. Fultz, R. L. Bramblett, J. T. Caldwell, and N. A. Kerr, *Phys. Rev.* **127**, 1273 (1962). The solid curve is of Breit-Wigner shape with the indicated parameters.

Two ways to look at heavy nuclei and their giant resonances

microscopic – quantum-mechanical:
shell model of nucleons in mean field
particle - hole excitations



macroscopic – phenomenological:
liquid drop model → droplet model
rotations & vibrations

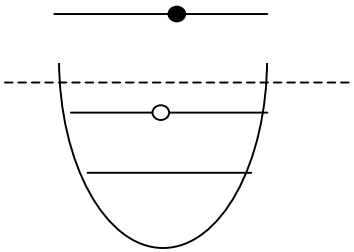


nucleus at low energy

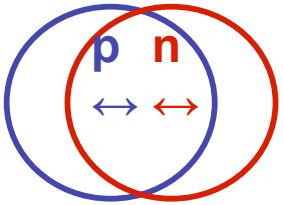
GDR: giant dipole resonance

theory ~ 1950

particle – hole excitations across a major shell ⇒ $J^{\pi} = 1^{-}$



protons and neutrons oscillate against each other

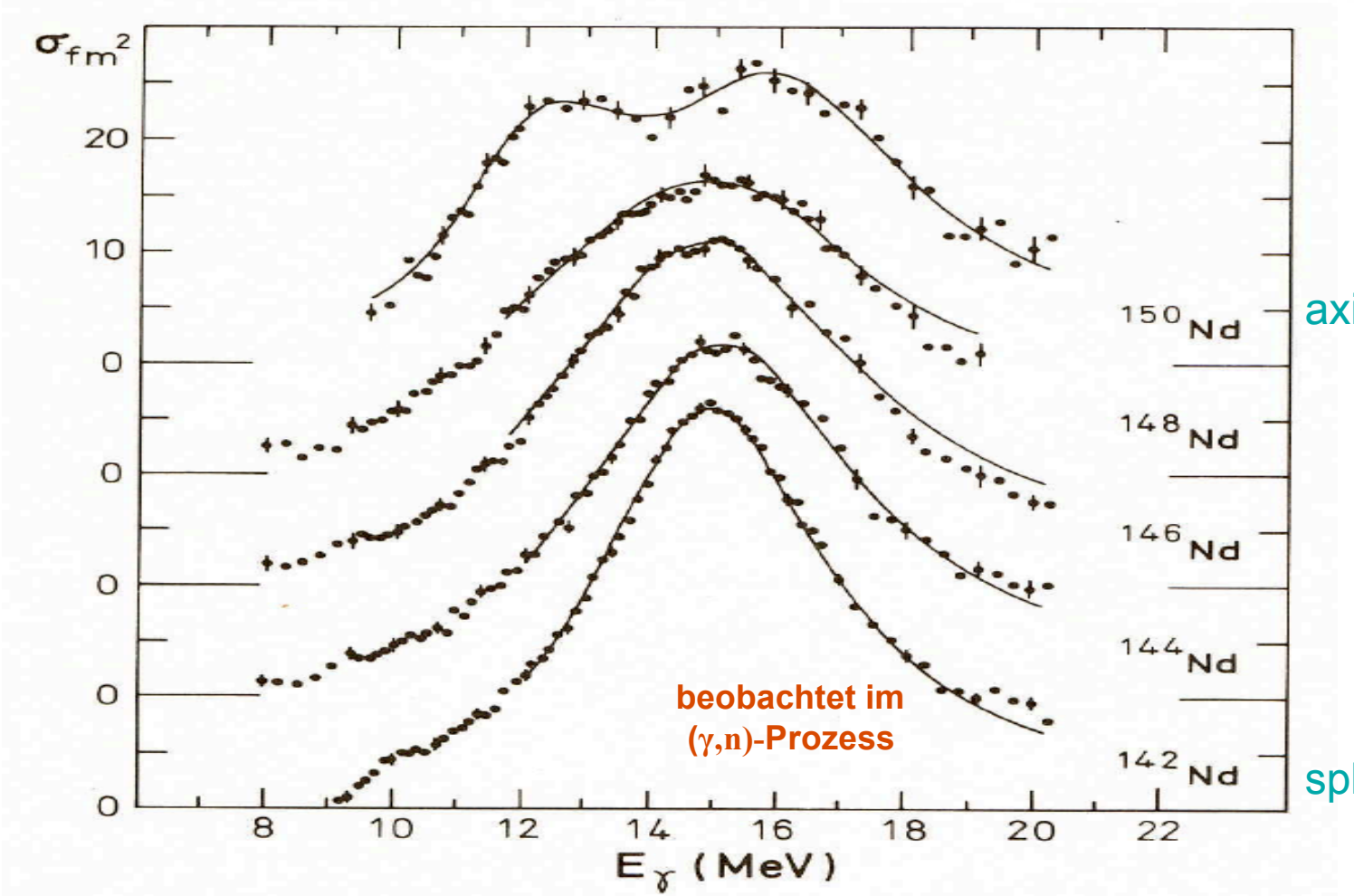


Brown & Bolsterli Steinwedel & Jensen Goldhaber & Teller

Tamm-Dankoff → RPA → QRPA → def'd RPA → QPM → Dynamic Collective Model

Riesenresonanz in Nd-Isotopen

	^{142}Nd	^{144}Nd	^{146}Nd	^{148}Nd	^{150}Nd	
E_0 (MeV)	14.9	15.0	14.8	14.7	12.3	16
σ_0 (fm^2)	36	32	31	26	17	22
Γ (MeV)	4.4	5.3	6	7.2	3.3	5.2



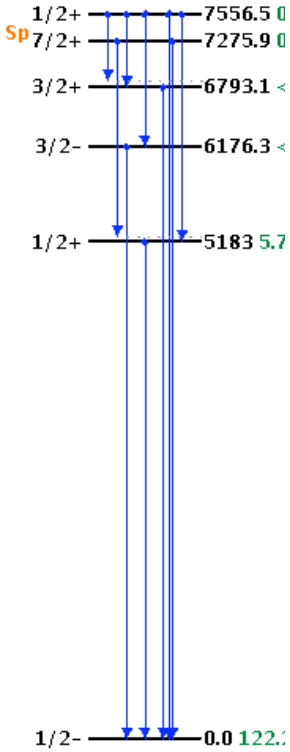
axially deformed

spherical

A. Bohr & B. Mottelson, Structure of Nuclei – Dipole Modes

Resonanter und direkter Reaktionsmechanismus

Resonant



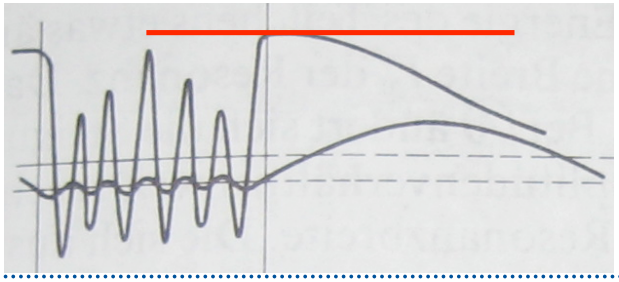
Energieabhängigkeit von scharfen Spitzen (“Resonanzen”) geprägt = Level im Compoundkern

Langsam (~10^{-15} s; Ausnahme Riesenresonanz)

Gesamter Targetkern beteiligt

Winkelverteilung bei Spin=0 - Teilchen isotrop

Beschreibung durch Potenzial des Compoundkerns (6. VL)



Direkt

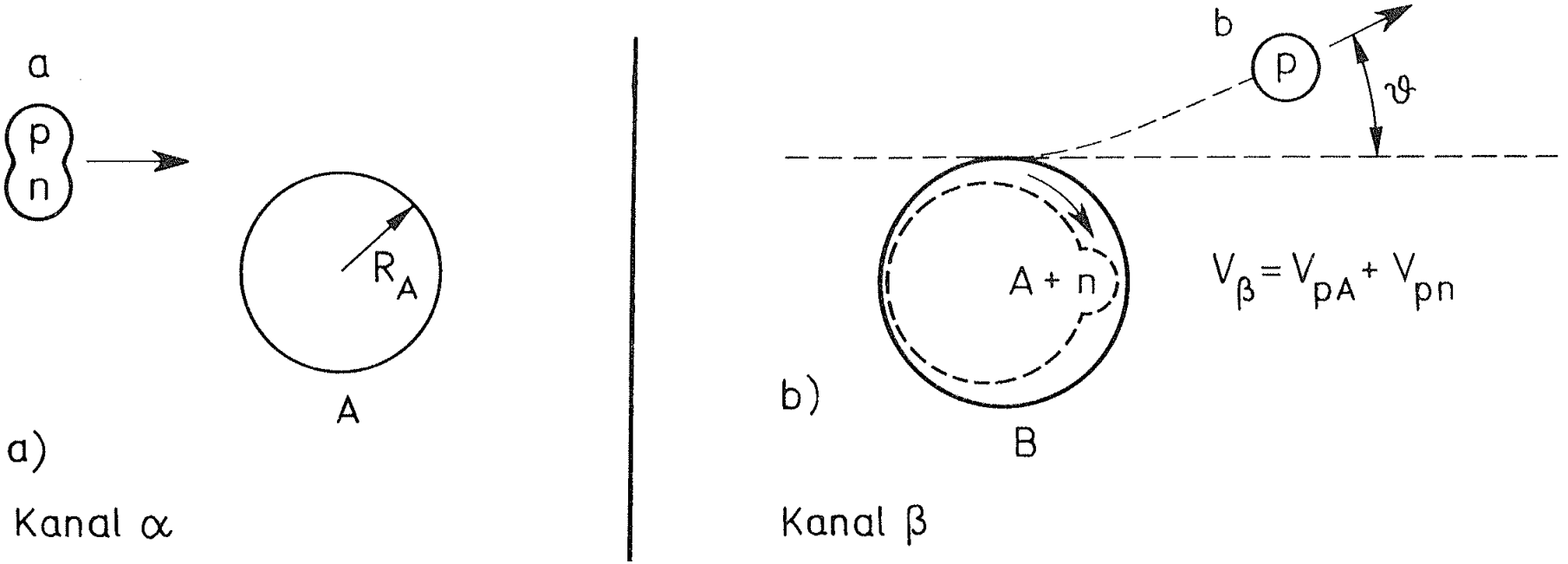
Energieabhängigkeit kontinuierlich

Schnell (~10^{-22} s)

Nur einzelne Nukleonen beteiligt

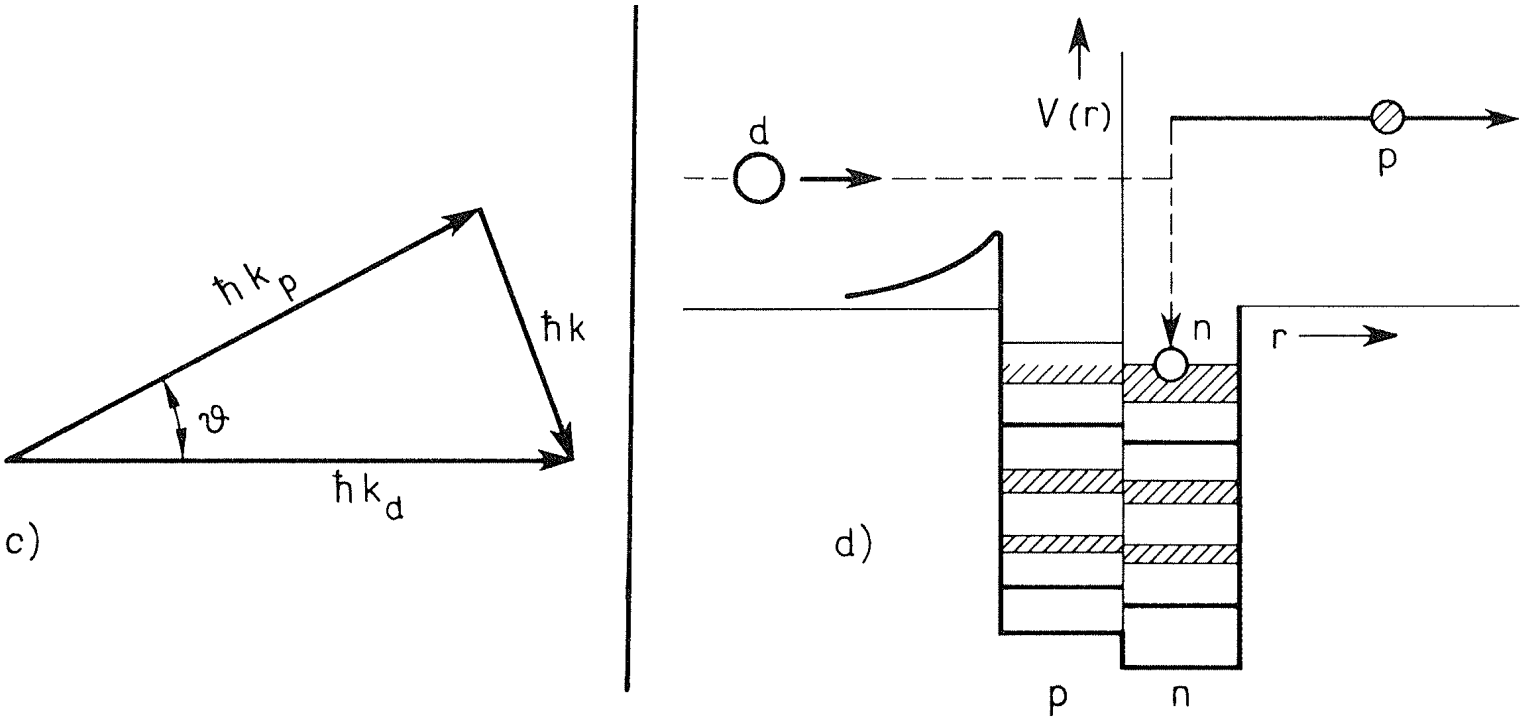
Winkelverteilung regelmäßig anisotrop

Direkte Reaktionen, als Beispiel eine Abstreif-Reaktion (d,p)

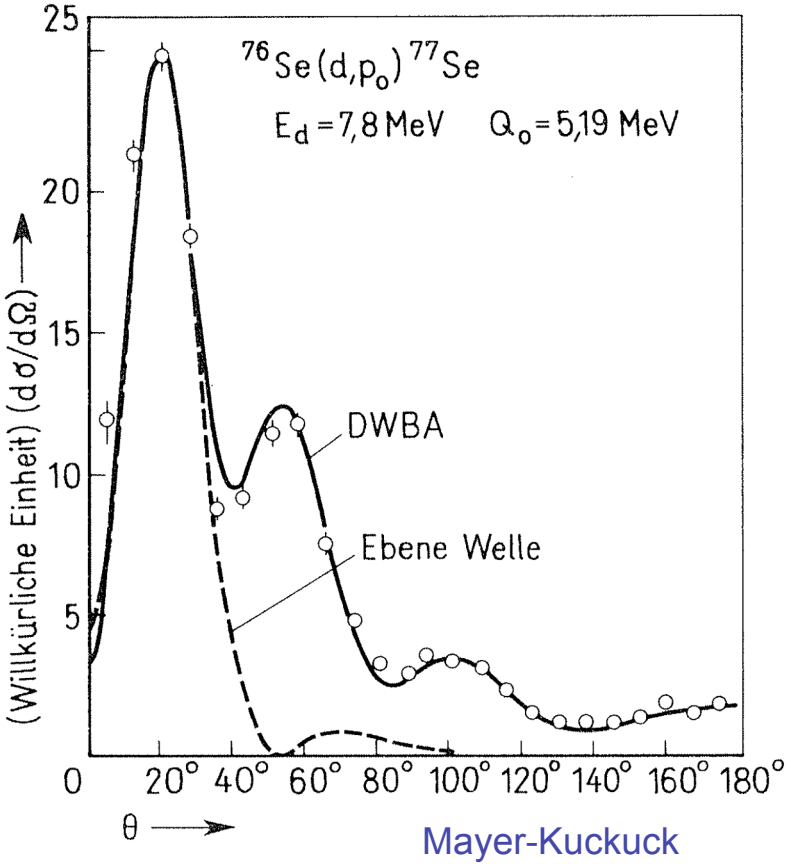


- Reaktion findet an der Peripherie des Targetkerns statt
- Wechselwirkungszeit ~ Vorbeiflugzeit
- Deuteron streift ein Neutron ab
- Proton dringt nicht in den Kern ein

Direkte Reaktionen, zum Beispiel eine Abstreif-Reaktion $^{76}Se(d,p)^{77}Se$



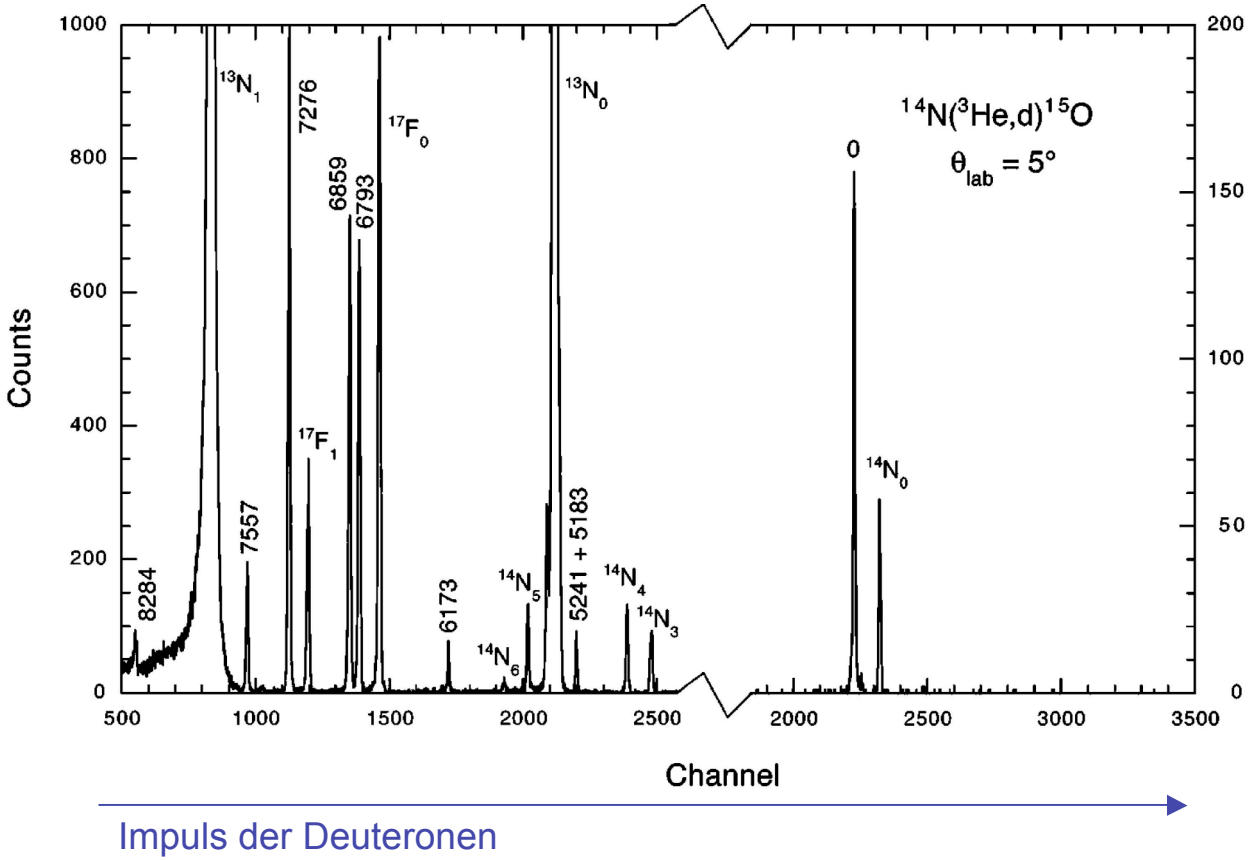
Winkelverteilung einer direkten Reaktion



Mayer-Kuckuck

- Beschreibung mit Bornscher Näherung (=BA, 5. VL): Streupotenzial störungstheoretisch behandelt
- Bornsche Näherung mit ebenen Wellen (PWBA, plain wave Born approximation, 5. VL), ebene Wellen im Eingangs- und Ausgangskanal, reicht nur noch für Hauptmaximum
- Berücksichtigen des Einflusses des effektiven Kernpotenzials auf die einfallenden ebenen Welle, also Streulösungen des optischen Potenzials: DWBA = distorted wave Born approximation
- DWBA sagt Winkelverteilungen und Energieabhängigkeit vorher, keine absolute Wirkungsquerschnitt-Skala!

Energiespektrum einer direkten Reaktion (bei einem Winkel): Stripping (^{3}He,d)

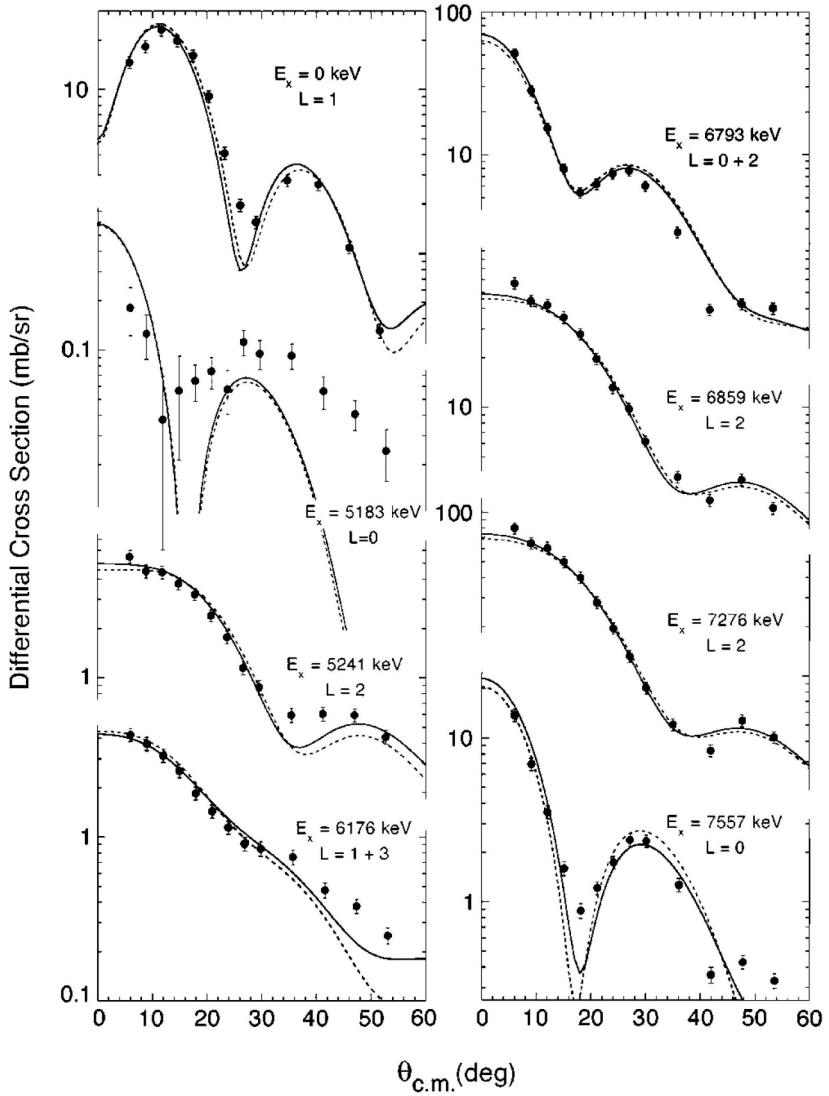


Impuls der Deuteronen

- Einfang mit direktem Mechanismus in diverse angeregte Zustände des Compoundkerns ^{15}O
- Erstellen des Energieniveauschemas

Bertone et al., Phys. Rev. C 66, 055804 (2002)

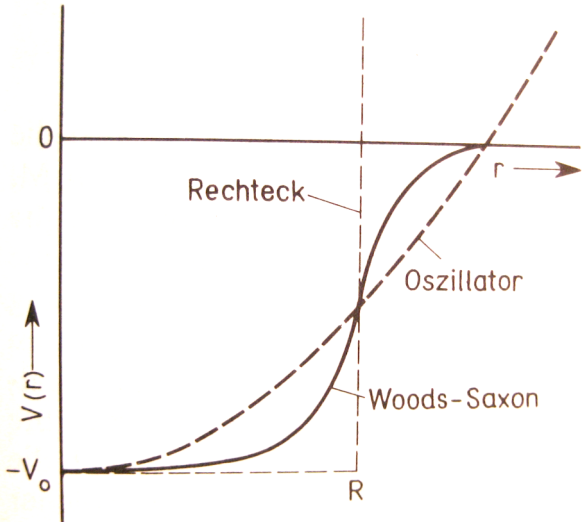
Winkelverteilung einer direkten Reaktion, Stripping $^{14}N(^{3}He,d)^{15}O$



- Winkelverteilung zeigt ein starkes Maximum bei 0° (Vorwärtsrichtung)
- Spin- und Paritätsmessung (mittels Winkelkorrelationen, 8. VL)
- Vergleich mit DWBA-Rechnungen mit verschiedenen Potenzialformen
- Beschreibung des Einfangs in verschiedene Endzustände desselben Kerns

Bertone et al., Phys. Rev. C 66, 055804 (2002)

Winkelverteilung einer direkten Reaktion: DWBA-Rechnungen



- Statt des Rechteckpotenzials Verwendung der realistischeren Woods-Saxon-Potenzialform mit Randunschärfe a

$$V(r) = -V_0 f(r) = \frac{-V_0}{1 + \exp\dfrac{r-R}{a}}$$

- Optisches Potenzial ist tabelliert und besteht aus reellem (Streuung) und imaginärem (Reaktionen) Anteil

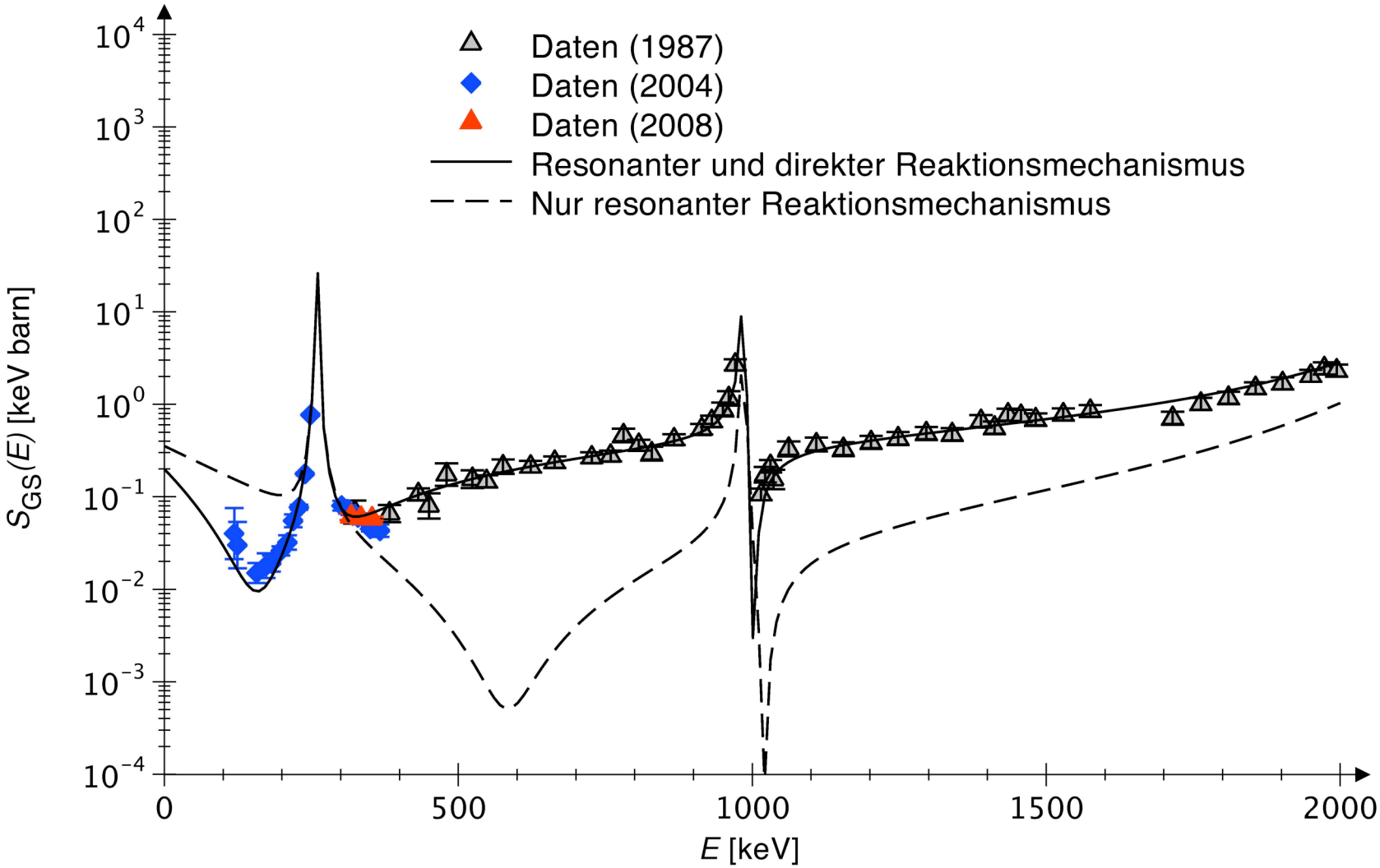
- Berechnung des DWBA-Wirkungsquerschnitts

$$\left(\frac{\mathrm{d}\sigma}{\mathrm{d}\Omega}\right)_{\mathrm{DWBA}}$$

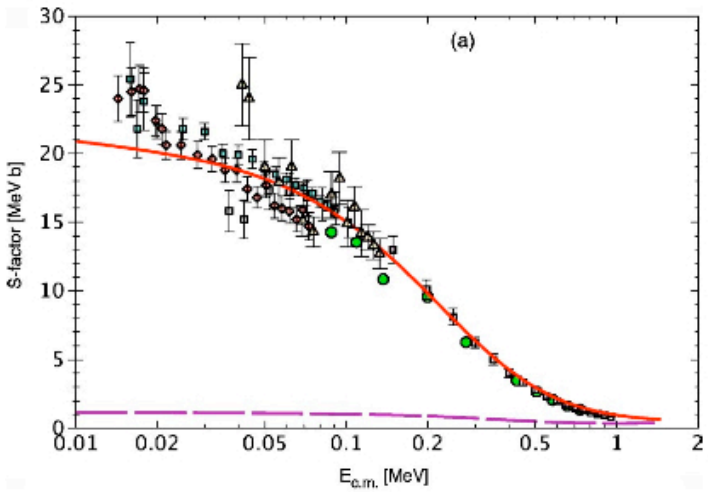
- Anpassung des spektroskopischen Faktors C^2S an Messdaten

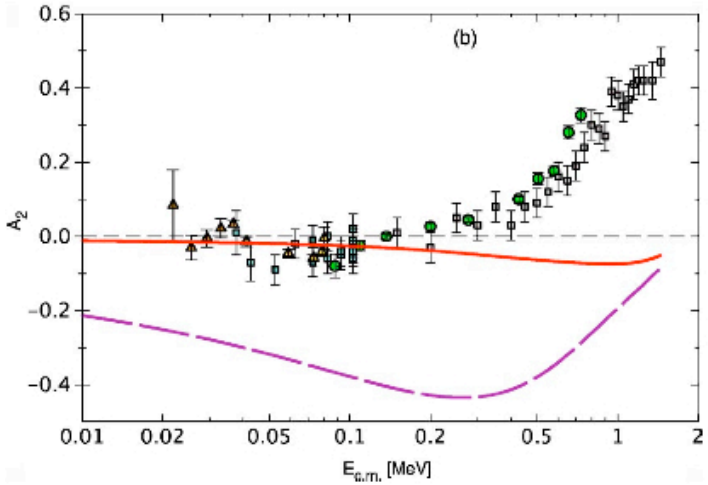
$$\left(\frac{\mathrm{d}\sigma}{\mathrm{d}\Omega}\right)_{\mathrm{exp}} = N\frac{(2J_f+1)}{(2J_i+1)(2j+1)}C^2S\left(\frac{\mathrm{d}\sigma}{\mathrm{d}\Omega}\right)_{\mathrm{DWBA}}$$

Beispiel $^{14}N(p,\gamma)^{15}O^{GS}$, mehrere Resonanzen und zusätzlich direkter Einfang



Interferenz zwischen direktem und resonantem Reaktionsmechanismus





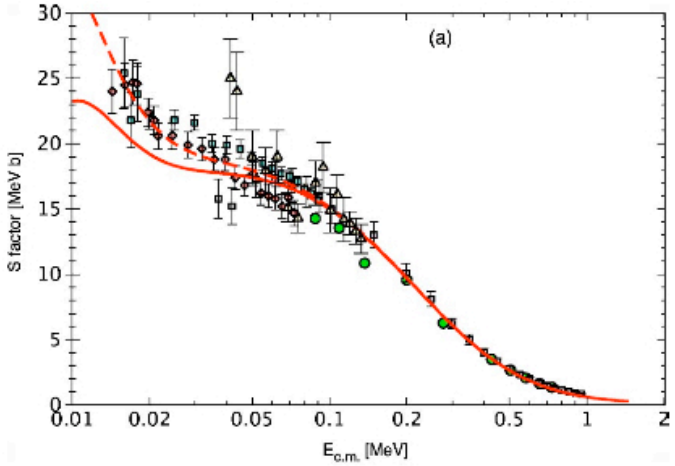
Inkohärent (keine Interferenz)

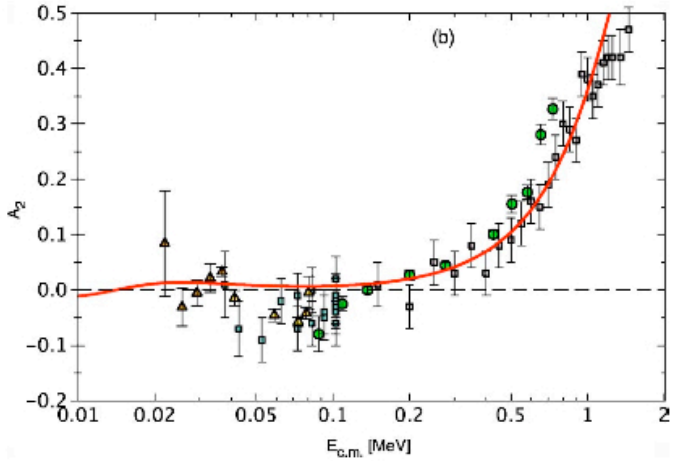
^{6}Li(d,α)^{4}He - Reaktion

G. Ruprecht et al., Phys. Rev. C 70, 025803 (2004)

S-Faktor *S* (Wirkungsquerschnitt)

Legendre-Koeffizient A_2 (Winkelverteilung)





kohärent (Interferenz berücksichtigt)

1. Vorlesung, 08.04.2008

- Starke Wechselwirkung, Ladungsunabhängigkeit, Einführung des Isospins
- Eigenschaften der Nukleonen: Masse und Lebensdauer
- Kinematik nichtrelativistisch

2. Vorlesung, 15.04.2008

- Kinematik relativistisch
- Das Deuteron

3. Vorlesung, 22.04.2008 (Prof. Grosse)

- Das Deuteron im elektromagnetischen Feld
- Reziprozitätssatz (*detailed balance theorem*)
- Synthese und Photodissoziation des Deuterons
- Astrophysikalisches: Bedeutung des Deuterons im Urknall

4. Vorlesung, 29.04.2008

- Rutherford-Streuung (klassisch)
- Optisches Modell, elastische Streuung

5. Vorlesung, 06.05.2008

- Rutherford-Streuung (quantenmechanisch)
- Resonanzen (Einführung)

6. Vorlesung, 20.05.2008

- Breit-Wigner-Formel

7. Vorlesung, 27.05.2008

- Exkurs: Abbremsung schneller Teilchen in Materie
- Mssung von Resonanzparametern: Gamma- und Teilchenbreite

8. Vorlesung, 03.06.2008

- Drehimpulse und Winkelkorrelationen

9. Vorlesung, 10.06.2008 (Prof. Grosse)

- Dipol-Riesenresonanz

10. Vorlesung, heute

- Direkte Reaktionen I:
  Phänomenologie, quantitative Beschreibung

11. Vorlesung, nächste Woche

- Direkte Reaktionen II

Folien im Internet: http://www.fzd.de/db/Cms?pOid=26617