

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

5. Vorlesung, TU Dresden 06.05.2008

Dr. Daniel Bemmerer



**Forschungszentrum
Dresden** Rossendorf

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

- 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

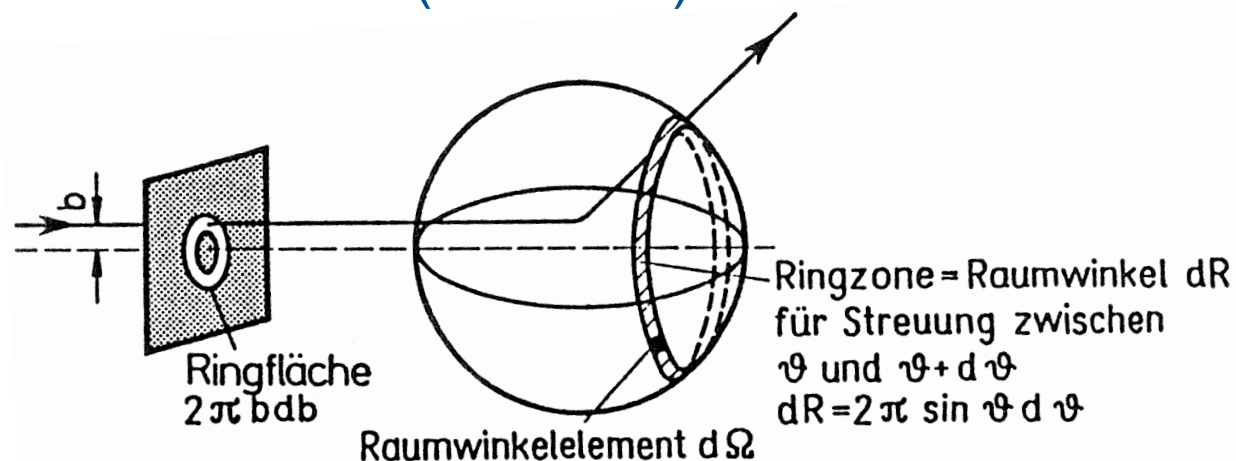
- Rutherford-Streuung (klassisch)
- Optisches Modell, elastische Streuung

5. Vorlesung, heute

- Rutherford-Streuung (quantenmechanisch)
- Resonanzen

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

Die Rutherford-Streuformel (klassisch)

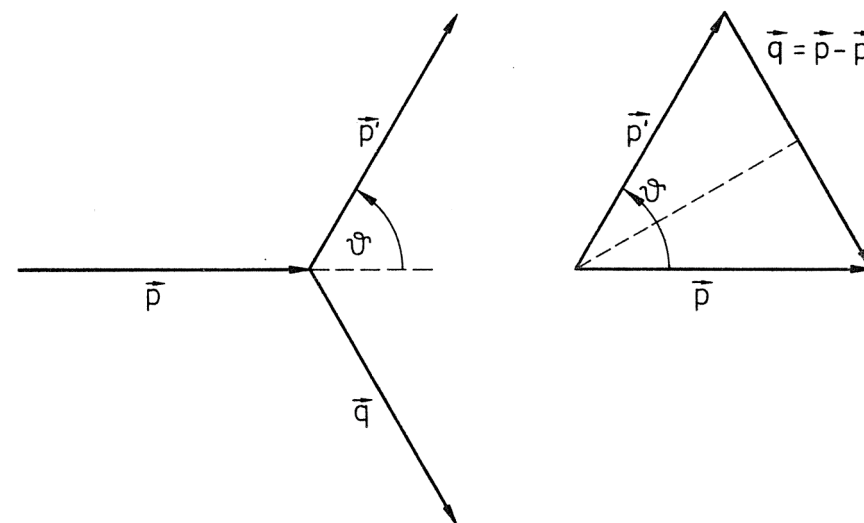
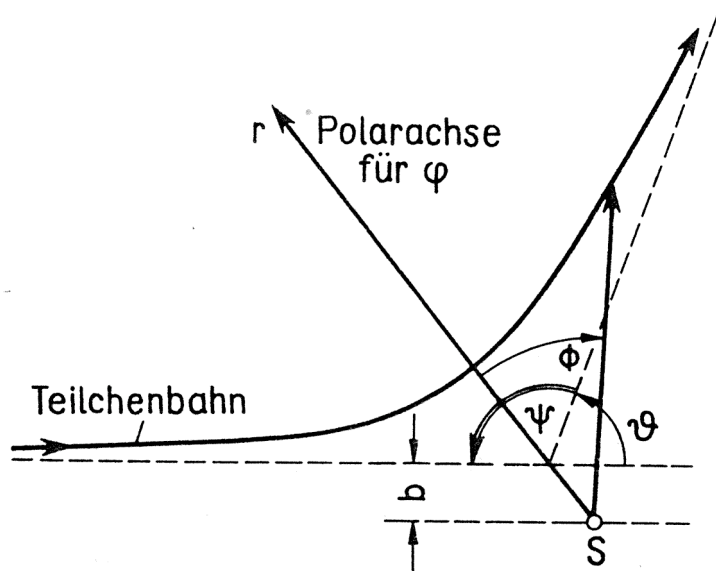


Mayer-Kuckuck

- Streuparameter b
= Abstand Projektil-Target, projiziert senkrecht zur Einschussrichtung
- Streuwinkel ϑ
- Coulomb-Potenzial

$$V(r) = \frac{Z_{\text{Projektil}} Z_{\text{Target}} e^2}{r} = \frac{C}{r}$$

Die Rutherford-Streuformel (klassisch)



Mayer-Kuckuck

- Ergebnis (Rutherford-Streuformel):

$$\left. \frac{d\sigma}{d\Omega} \right|_{\theta} = \left(\frac{Z_{\text{Projektil}} Z_{\text{Target}} e^2}{4E} \right)^2 \frac{1}{\sin^4 \frac{\theta}{2}}$$

- Ausgedrückt mit Impulsübertrag q :

$$\left. \frac{d\sigma}{d\Omega} \right|_{\theta} = \left(2m Z_{\text{Projektil}} Z_{\text{Target}} e^2 \right)^2 \frac{1}{q^4}$$

Streuung, parametrisiert in auslaufende Kugelwellen (Huygens)

Wirkungsquerschnitt:

$$\begin{aligned}\frac{d\sigma}{d\Omega} &= |f(\theta)|^2 \\ &= \frac{1}{4k^2} \sum_{\ell=0}^{\infty} \sum_{\ell'=0}^{\infty} (2\ell+1)(2\ell'+1)(e^{2i\delta_{\ell}} - 1)(e^{2i\delta_{\ell'}} - 1) P_{\ell} P_{\ell'}\end{aligned}$$

Dies ist eine kohärente Überlagerung von Partialwellen.

$$\text{mit } \int_{-1}^1 dx P_{\ell}(x) P_{\ell'}(x) = \frac{2}{2\ell+1} \delta_{\ell\ell'}$$

$$\begin{aligned}e^{2i\delta_{\ell}} - 1 &= e^{i\delta_{\ell}} (e^{i\delta_{\ell}} - e^{-i\delta_{\ell}}) \\ &= 2ie^{i\delta_{\ell}} \sin^2 \delta_{\ell}\end{aligned}$$

$$\Rightarrow \sigma_{sc} = \frac{\pi}{k^2} \sum (2\ell+1) |e^{2i\delta_{\ell}} - 1|^2 = \frac{4\pi}{k^2} \sum (2\ell+1) \sin^2 \delta_{\ell}$$

Bornsche Näherung: Auslaufende ebene Wellen

Übergangsrate:

Fermis Goldene Regel

(Störungsrechnung)

$$W_{i \rightarrow f} = \frac{2\pi}{\hbar} |M_{fi}|^2 \frac{dn}{dE} \propto \left. \frac{d\sigma_{i \rightarrow f}}{d\Omega} \right|_{\vartheta}$$

Einlaufende ebene Welle:

$$\frac{1}{\sqrt{\tau}} \exp(i[\vec{k} \cdot \vec{r}])$$

Auslaufende ebene Welle:

$$\frac{1}{\sqrt{\tau}} \exp(-i[\vec{k}' \cdot \vec{r}])$$

Zustände pro
Energieintervall dE:

$$\frac{dn}{dE} = \frac{\tau p^2}{(2\pi\hbar)^3 v}$$

Bornsche Näherung: Auslaufende ebene Wellen

Plain wave Born approximation (PWBA)

$$\left. \frac{d\sigma}{d\Omega} \right|_{\vartheta} = \frac{m^2}{4\pi^2 \hbar^4} \left| \int V(r) \exp(i[\vec{k} - \vec{k}'] \cdot \vec{r}) d\tau \right|^2$$

Zentralpotenzial, also kann $d\tau$ - Integration auf dr - Integration zurückgeführt werden.

Zudem Einführen des Impulsübertrags $q = \hbar(\vec{k} - \vec{k}')$

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \left| \frac{m}{2\pi\hbar^2} \int V(r) \frac{\sin \frac{qr}{\hbar}}{\frac{qr}{\hbar}} 4\pi r^2 dr \right|^2$$

Bornsche Näherung, angewendet auf Rutherford-Streuung

Plain wave Born approximation (PWBA)

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \left| \frac{m}{2\pi\hbar^2} \int V(r) \frac{\sin \frac{qr}{\hbar}}{\frac{qr}{\hbar}} 4\pi r^2 dr \right|^2$$

Rutherford-Streuung mit Coulomb-Potenzial

$$V(r) = \frac{Z_{\text{Projektil}} Z_{\text{Target}} e^2}{r} = \frac{C}{r}$$

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = (2mZ_{\text{Projektil}} Z_{\text{Target}} e^2)^2 \frac{1}{q^4}$$

Das ist identisch mit dem klassisch hergeleiteten Ergebnis!

Resonanzen

Noch einmal:

Fermis Goldene Regel

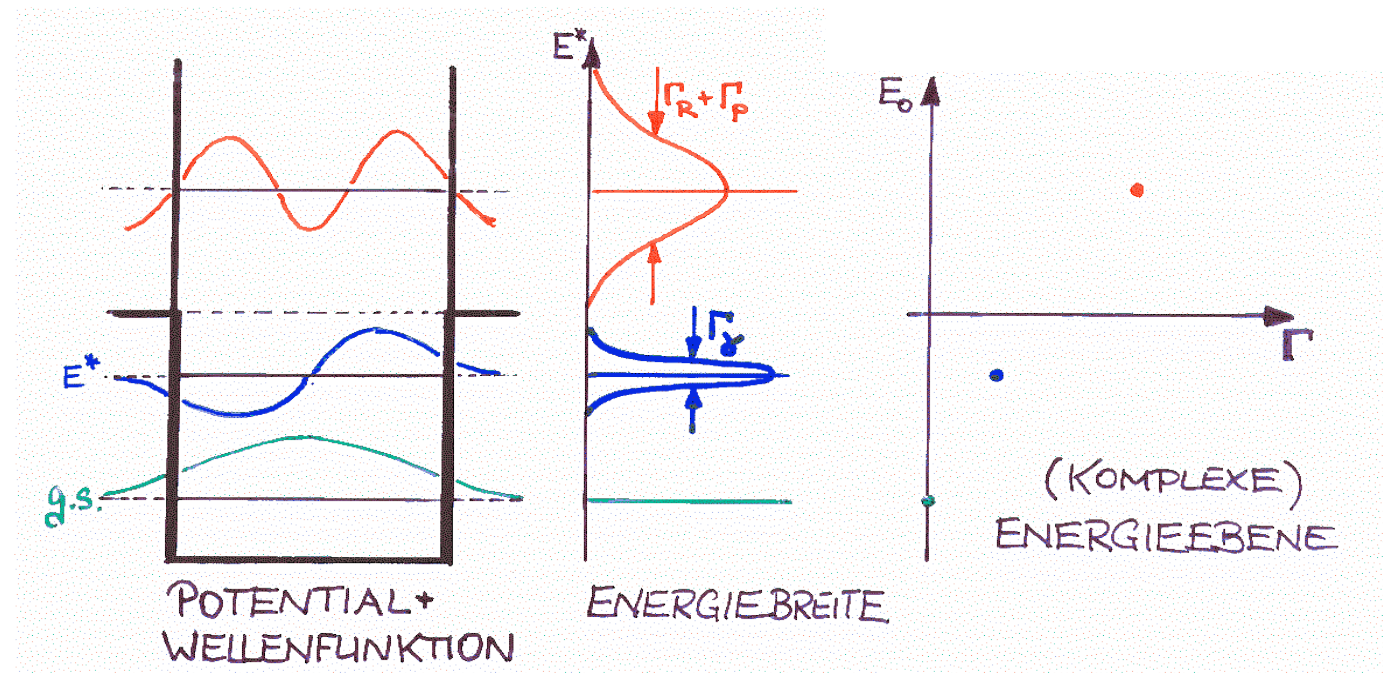
(Störungsrechnung)

Mit Übergangsmatrixelement

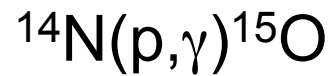
$$W_{i \rightarrow f} = \frac{2\pi}{\hbar} |M_{fi}|^2 \frac{dn}{dE} \propto \left. \frac{d\sigma_{i \rightarrow f}}{d\Omega} \right|_{\vartheta}$$

$$M_{fi} = \langle f | \mathbf{H} | i \rangle = \int \psi_f^* \mathbf{H} \psi_i d^3r$$

Betrachtung von H_{fi} :
Energieabhängigkeit
im Bereich von
Resonanzen ?

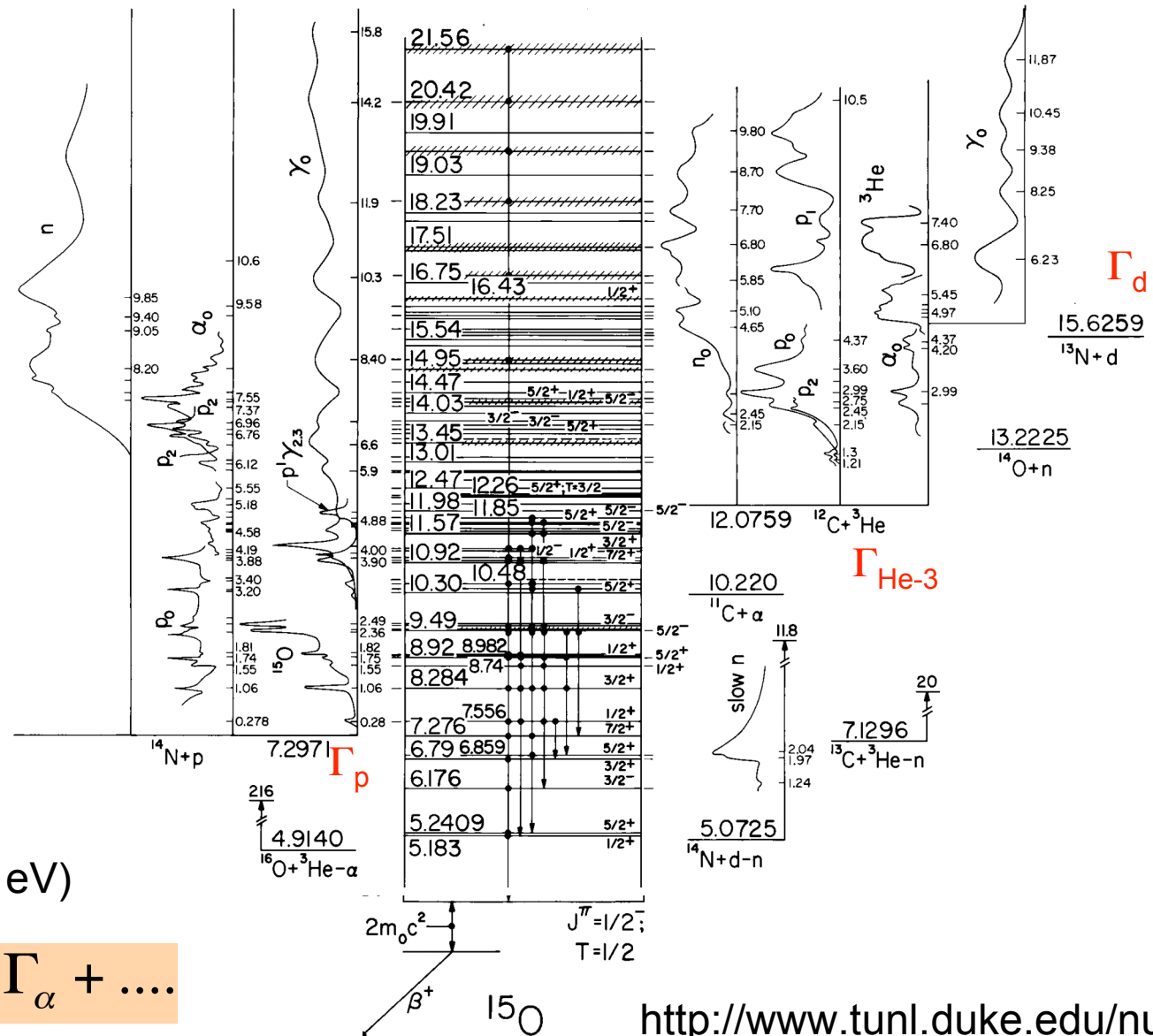


Resonanz = Energieniveau



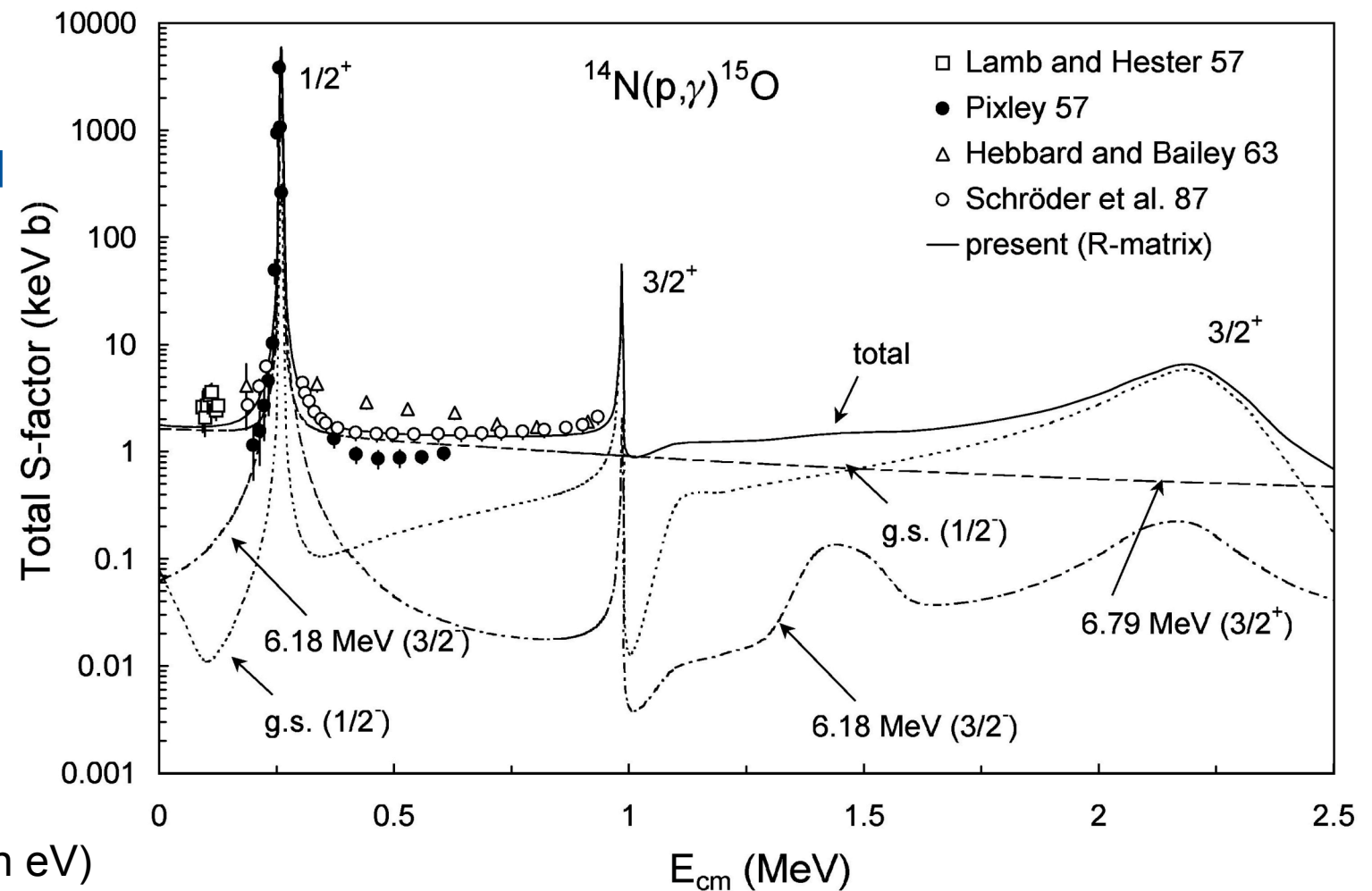
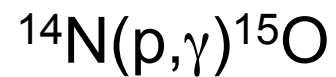
Energetische Breite (in eV)

$$\Gamma = \Gamma_p + \Gamma_\gamma + \Gamma_n + \Gamma_\alpha + \dots$$



<http://www.tunl.duke.edu/nucldata/>

Resonanz = Energieniveau

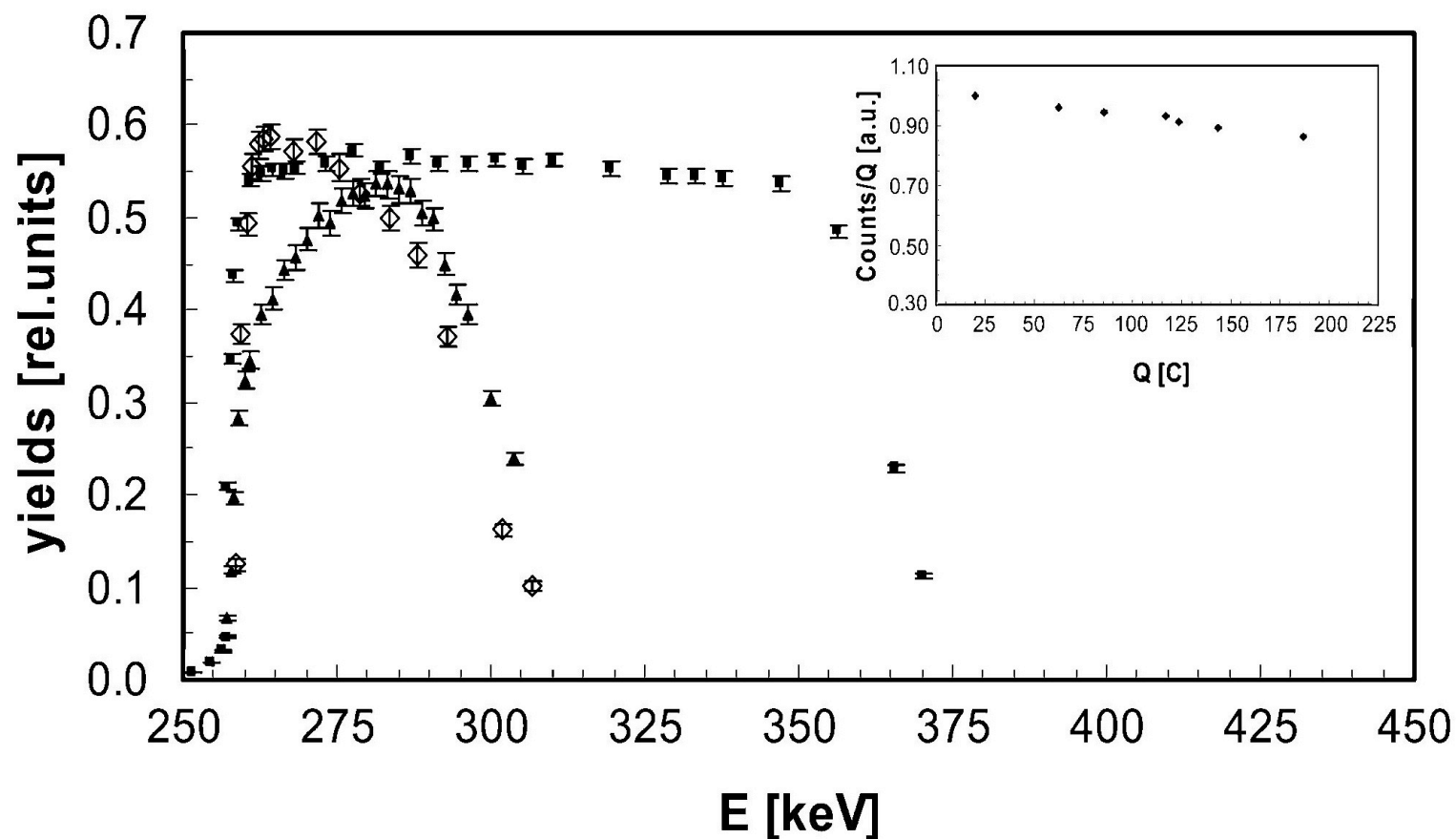


Energetische Breite (in eV)

$$\Gamma = \Gamma_p + \Gamma_\gamma + \Gamma_n + \Gamma_\alpha + \dots$$

C. Angulo, P. Descouvemont, Nucl. Phys. A 690, 755 (2001)

Wie sieht eine Resonanz im Experiment aus?



<http://arxiv.org/abs/nucl-ex/0509005>

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

- 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, heute

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

6. Vorlesung, 20.05.2008

- Resonanzen

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

Schöne Ferien!