

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

7. Vorlesung, TU Dresden 27.05.2008

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, 06.05.2008

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

6. Vorlesung, 20.05.2008

- Breit-Wigner-Formel

7. Vorlesung, heute

- Exkurs: Abbremsung schneller Teilchen in Materie
- Messung von Resonanzparametern: Gamma- und Teilchenbreite, Verzweungsverhältnisse

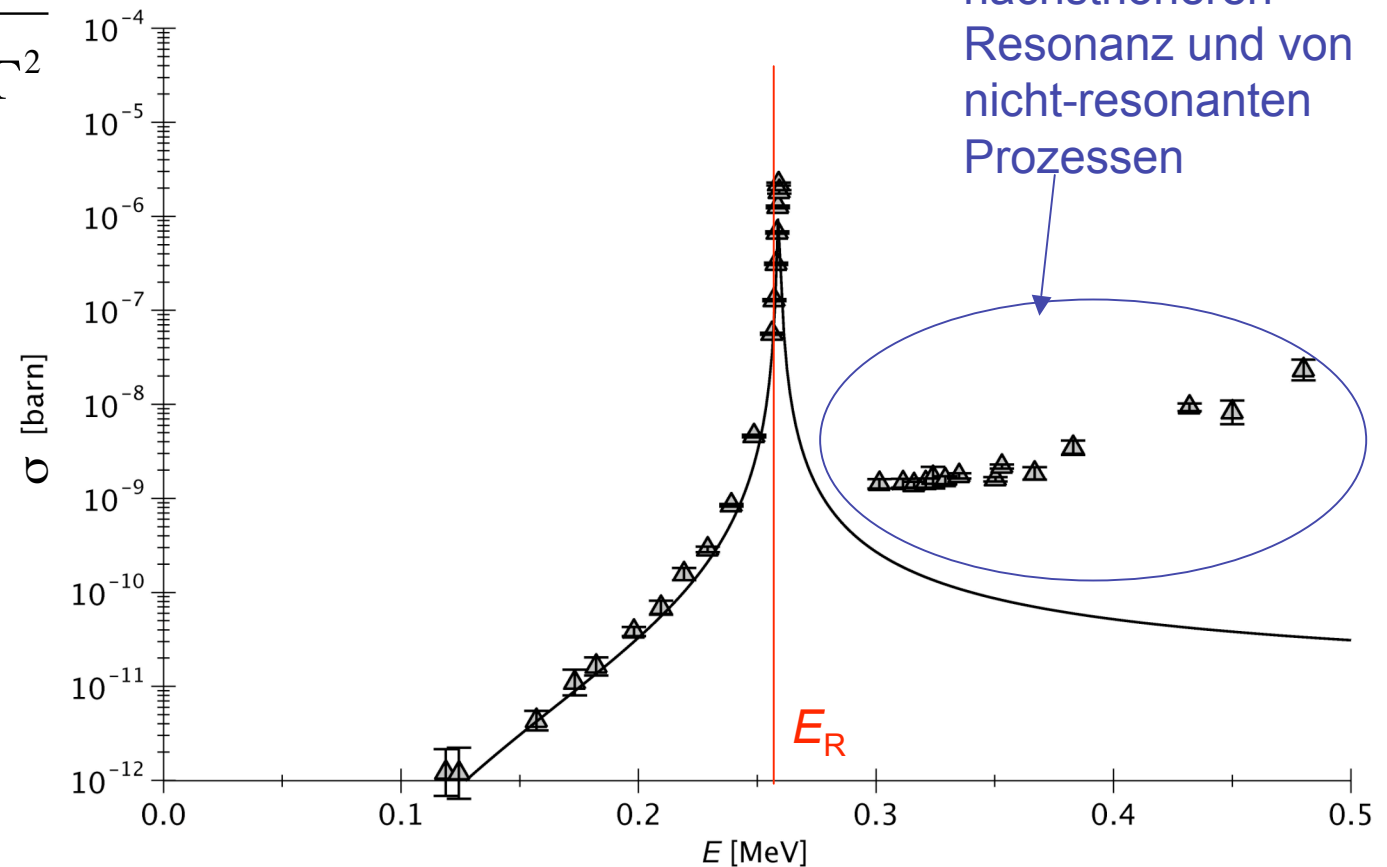
8. Vorlesung, nächste Woche

- Drehimpulse

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

Ein-Niveau-Breit-Wigner-Formel, und Beispiel $^{14}\text{N}(p,\gamma)^{15}\text{O}$

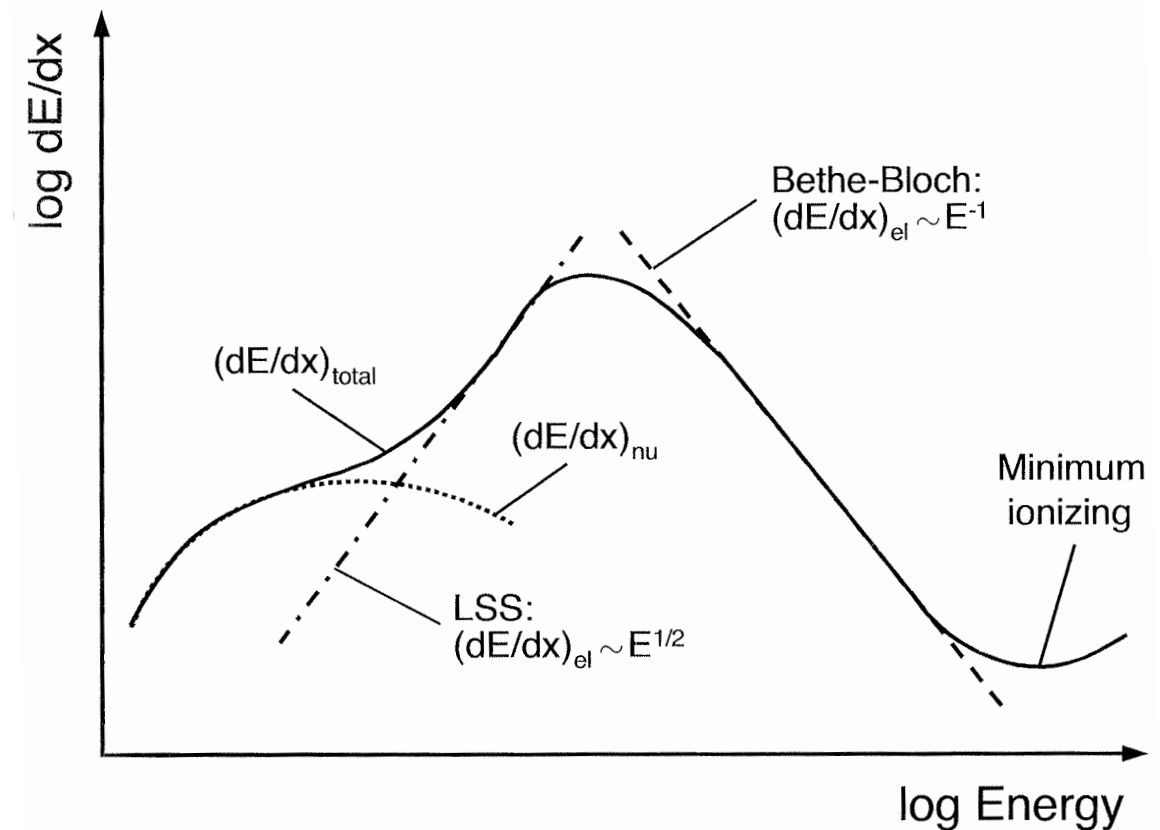
$$\sigma_{tot} = \frac{\pi}{k^2} \frac{\Gamma_\alpha \Gamma}{(E - E_R)^2 + \frac{1}{4} \Gamma^2}$$



Exkurs: Abbremsung schneller geladener Teilchen

- Wechselwirkung des schnellen Teilchens (Projektil) mit Elektronen Targets
- Meist ausgedrückt in

$$\frac{dE}{d\tilde{x}} = - \frac{1}{n} \frac{dE}{dx} \left[\frac{\text{eV}}{\frac{10^{15} \text{ atoms}}{\text{cm}^2}} \right]$$



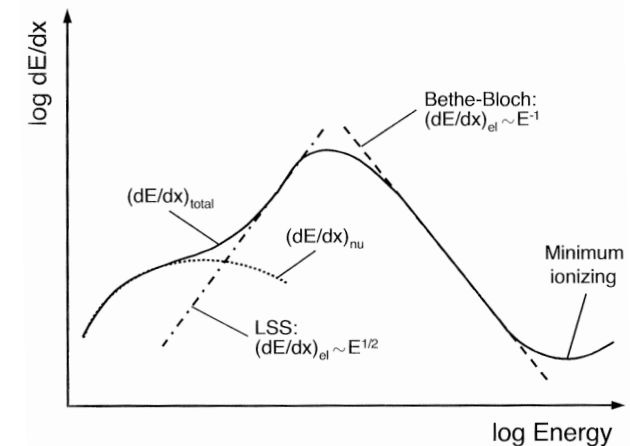
Iliadis: Nuclear Physics of Stars 2007

Bethe-Bloch-Formel

$$-\frac{dE}{dx} = \frac{Z_p^2}{v^2} \frac{4\pi e^4}{m_e} \left(N_A \rho \frac{Z_t}{M_t} \right) \left[\ln \left(\frac{2m_e v^2}{E_B^e} \right) - \ln(1 - \beta^2) - \beta^2 \right]$$

Projektil

Targetelektronen



Bei niedrigen Energien:

Umladungseffekte, niedrigere effektive Ladung Z_p

Bei sehr niedrigen Energien:

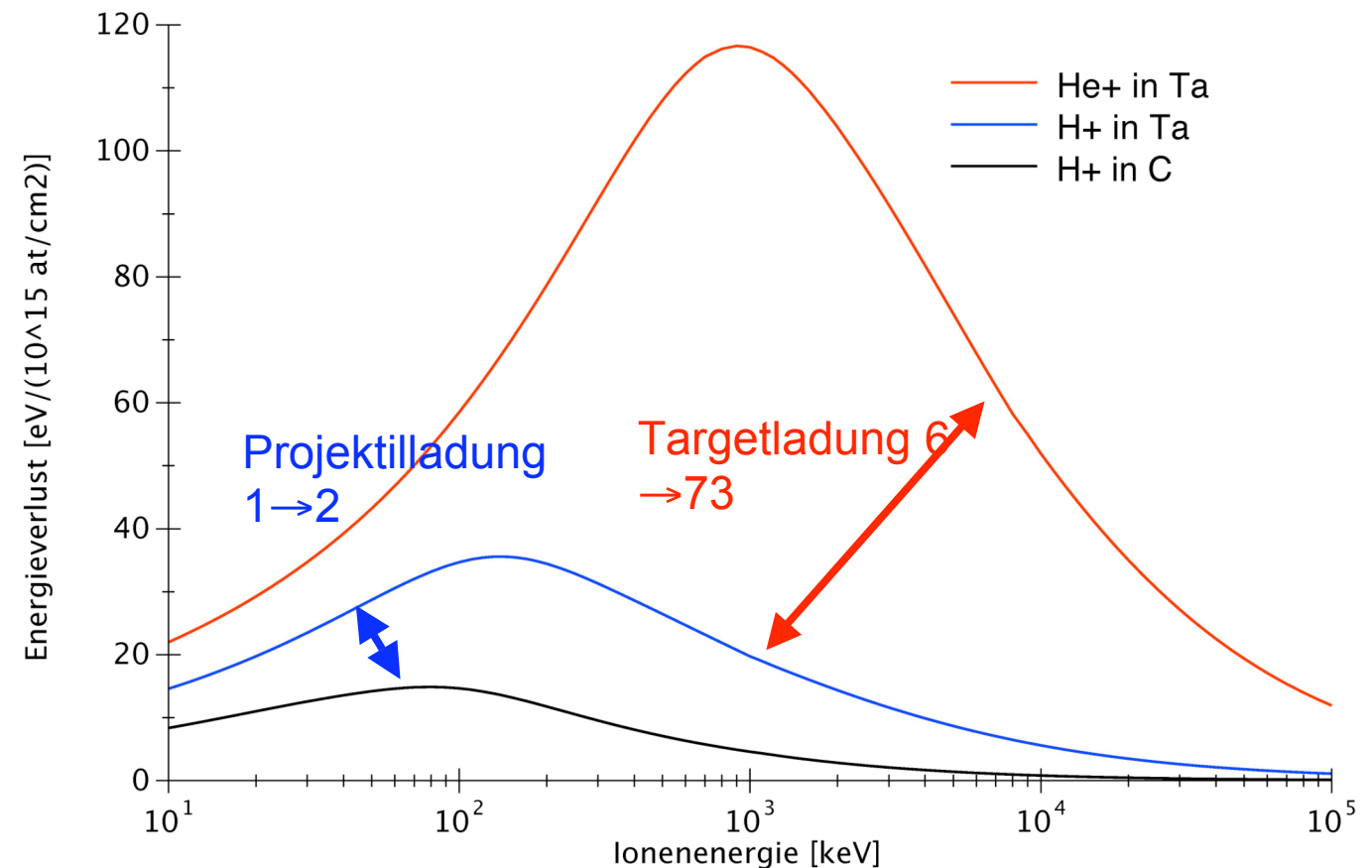
Stöße mit den Target-Kernen spielen eine Rolle: „nuclear stopping“, $m_e \rightarrow m_{\text{Kern}}$

Bei hohen Energien:

Relativistische Effekte, Energieverlust steigt wieder

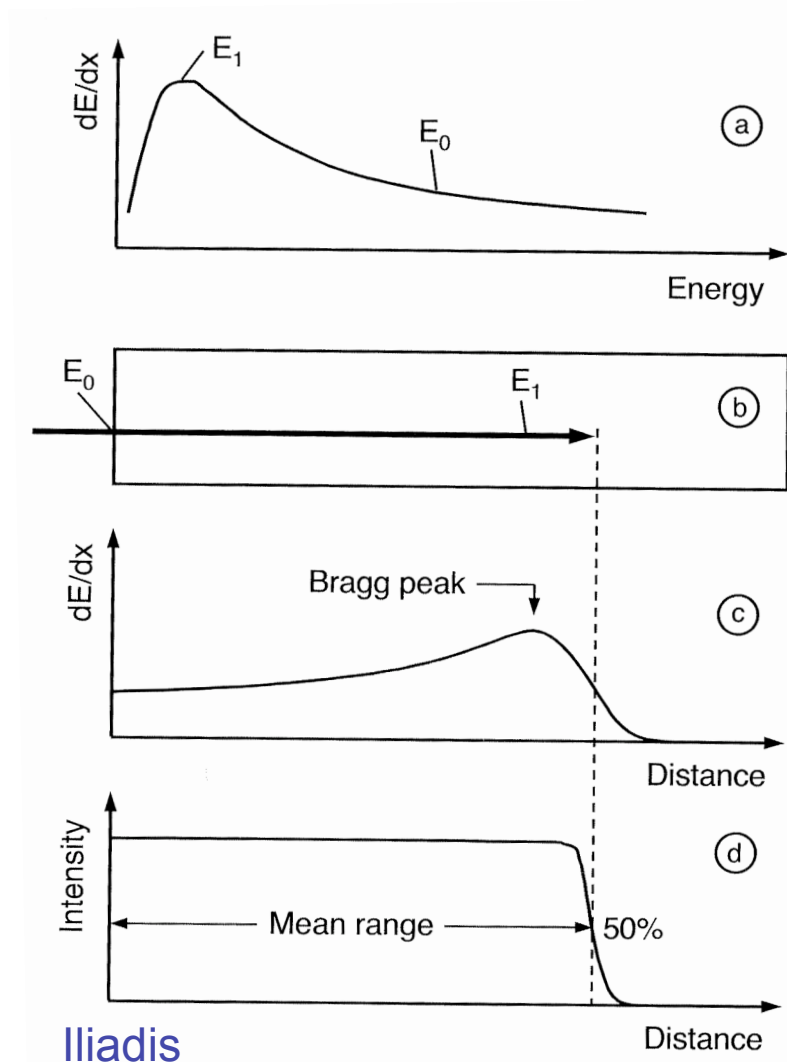
Energieverlust unterhalb der „minimum ionizing energy“

- Experimentelle Daten tabelliert und parametrisiert
- www.srim.org
- Maximum des Energieverlusts bei ca. 0.1 – 1 MeV



$$-\frac{dE}{dx} = \frac{Z_p^2}{v^2} \frac{4\pi e^4}{m_e} \left(N_A \rho \frac{Z_t}{M_t} \right) \ln \left(\frac{2m_e v^2}{E_B^e} \right)$$

Folgen des Energieverlusts



Iliadis

1. Energieverlust („stopping power“) wie vorhin beschrieben
2. Energie am Ort x
3. Energieverlust am Ort x (wichtig z.B. für Krebstherapie)
4. Noch nicht gestoppte Projektile am Ort x (range straggling)

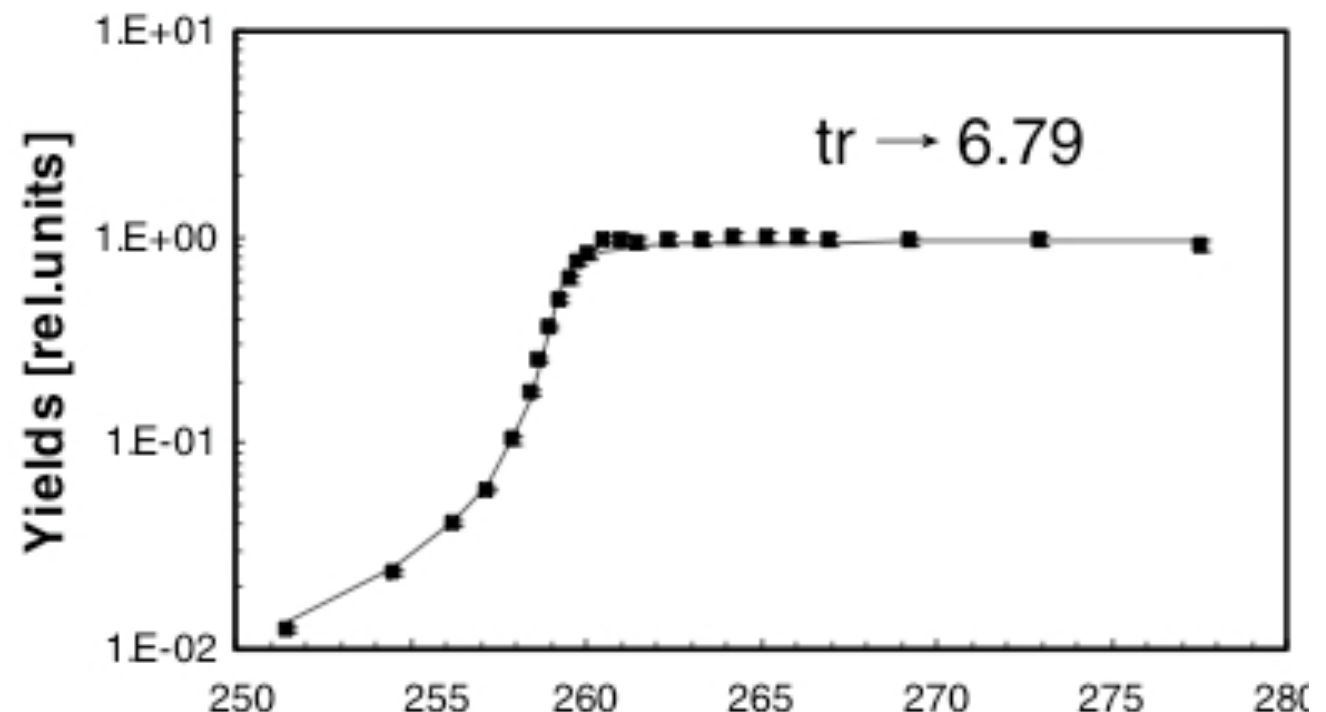
Messung der Resonanzbreite

- Änderung der Projektilenergie in kleinen Schritten
- Messung der Resonanz-Ausbeute
- Breit-Wigner:

$$\sigma_{tot} = \frac{\pi}{k^2} \frac{\Gamma_{\alpha} \Gamma}{(E - E_R)^2 + \frac{1}{4} \Gamma^2}$$

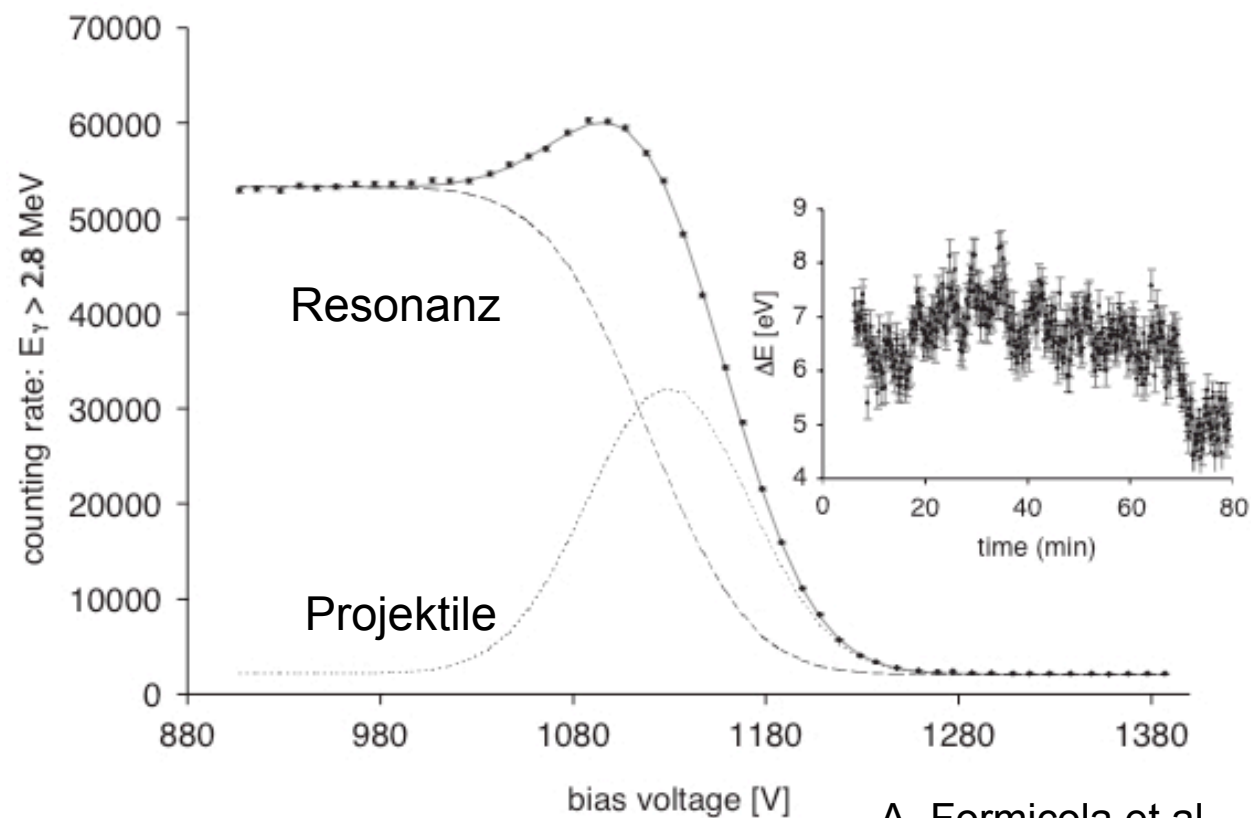
- Resonanz-Ausbeute (*thick target yield*)

$$Y_{max} = \frac{\lambda_r^2}{2\pi} \frac{\varpi \gamma}{dE}$$



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

Bei niedriger Resonanzbreite und niedriger energetischer Breite des Strahls: Lewis-Effekt



A. Formicola et al.,
Nucl. Inst. Meth. A 507, 609 (2003)

Messung der Lebensdauer von Zuständen $^{14}\text{N}(p,\gamma)^{15}\text{O}^*$ Doppler Shift Attenuation Method

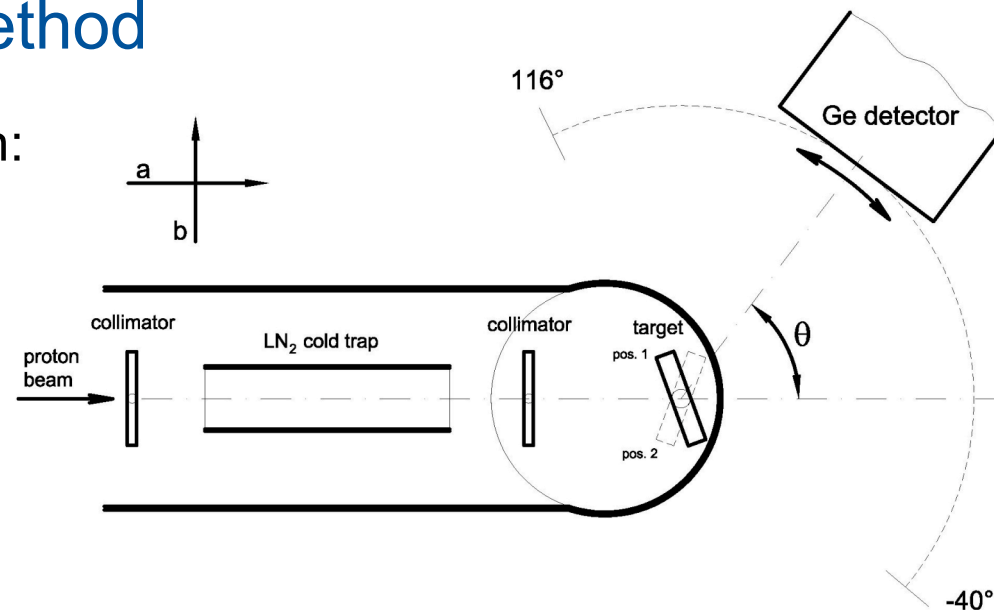
- Dopplerverschiebung relativistisch:

$$E_\gamma = E_\gamma^0 \left(1 + \frac{v}{c} \cos \theta \right)$$

- Mit effektiver Geschwindigkeit:

$$v = Q \frac{1}{\tau} \int_0^\infty \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \overline{v(t) \cos \phi} dt$$

- τ = Lebensdauer
- ϕ = Bewegungswinkel des Energie verlierenden Restkerns ^{15}O
- $Q \approx 1$ Korrekturfaktor für Detektorgroße

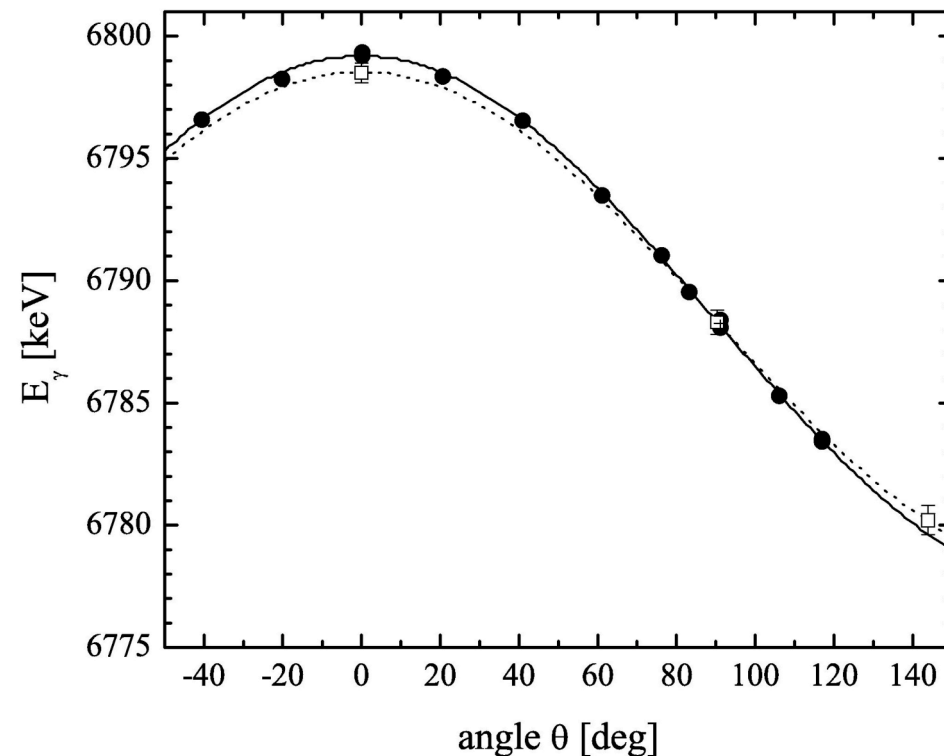
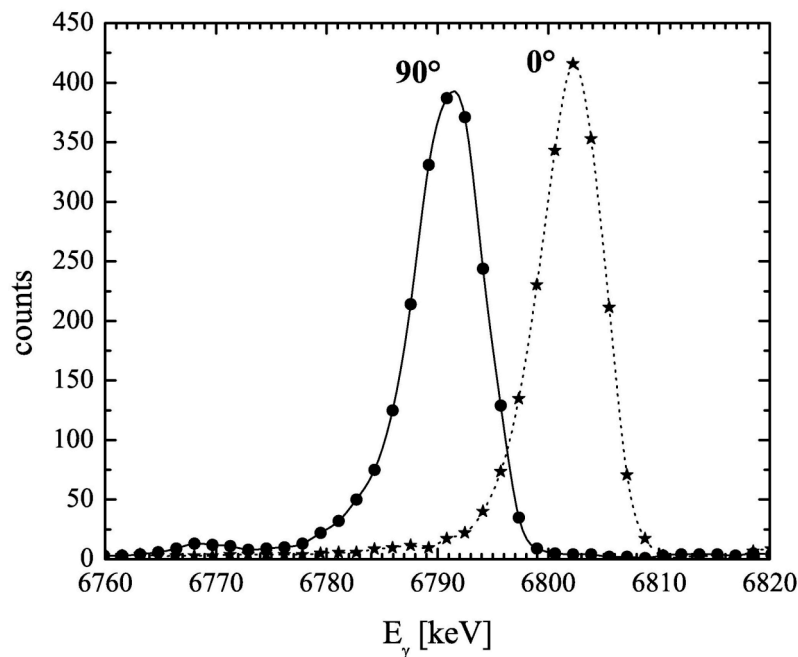


<http://arxiv.org/abs/0804.1934>

Messung der Lebensdauer von Zuständen $^{14}\text{N}(p,\gamma)^{15}\text{O}^*$ Doppler Shift Attenuation Method

$$E_\gamma = E_\gamma^0 \left(1 + \frac{v}{c} \cos \theta \right)$$

$$v = Q \frac{1}{\tau} \int_0^\infty \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \overline{v(t) \cos \phi} dt$$



<http://arxiv.org/abs/0804.1934>

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, 06.05.2008

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

6. Vorlesung, 20.05.2008

- Breit-Wigner-Formel

7. Vorlesung, heute

- Exkurs: Abbremsung schneller Teilchen in Materie
- Messung von Resonanzparametern: Gamma- und Teilchenbreite, Verzweungsverhältnisse

8. Vorlesung, nächste Woche

- Drehimpulse, Auswahlregeln
- Spin-Zuordnungen, Winkelkorrelationen

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