

Nukleon-Nukleon WW

(1)

Kernkraft = WW zw. Nucleonen

Reichweite \approx Durchmesser Nucleon $\approx 1 \text{ fm}$

Nucleonen im Kern: Beschreibung freie Nucleonen im Potentialtopf

\Rightarrow nicht möglich, da aus der Eigenschaft des Kerns auf NN-Potential zu schließen.

Bestimmung des Potentials aus Analyse von Zweikörper-Systemen, z. Bsp NN-Streuung bzw. gebundene Proton-Neutron-Zustand (Deuteron)

NN-Streuung

wird: $E_{\text{kin}} < m_{\pi} c^2 \approx 10^2 \text{ MeV}$

\Rightarrow elastische, nichtrelativ. Streuung!

⇒ punktförmige Teilchen ~~die~~ mit Spin, Isospin

(2)

Experimente mit polarisierten Nucleonen

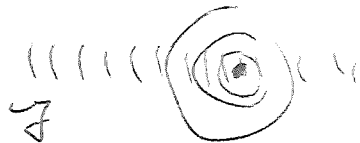
Spins können parallel bzw. anti-parallel zur Streuebene ausgerichtet sein

⇒ Triplett bzw. Singulett Zustände

Streuphasen

Streuung eines „aus den unendlichen“ einlaufende Nucleon mit \vec{p} und Energie E am Potential eines anderen Nucleon.

einlaufende Welle als Ebene Welle und auslaufende Welle als Kugelwelle.

Entscheidend für WQ ist die Phasenbeziehung 

Zwischen diesen Welle. Differentielle WQ ist

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = |f(\Theta)|^2, \quad \text{Streuquerschnitt}$$

Streuung an kurzreichweitige Potential kann
mittels Partialwellenzersetzung, d.h. Entwicklung
der gestreuten Welle nach Anteilen mit festem Drehimpuls l .
für elast. Streuung gilt für große σ vor Streuzentrum

$$f(\Theta) = \frac{1}{k} \sum_{l=0}^{\infty} (2l+1) e^{i\delta_l} \sin \delta_l P_l(\cos \Theta)$$

$$k = \frac{1}{\lambda} = \frac{|\vec{p}|}{\hbar} = \frac{\sqrt{2mE}}{\hbar} \quad ; \quad \text{Wellenzahl des gestreuten Nucleons}$$

δ_l : Phasenverschiebungswinkel

P_l : Eigenfunktionen des Drehimpulses l in

Form der Legendre-Polynome l -ter Ordnung

für Reihwerte des Potentials a gilt

(4)

$$l \leq \frac{|\vec{p}| a}{\hbar}$$

$$a \approx 1 \text{ fm}$$

$$pc \leq 100 \text{ MeV}$$

$$\hbar c \approx 200 \text{ MeV fm}$$

\Rightarrow Maßstab für niederenergetische Streuung

(P-P Streuung) $\Rightarrow l=0 \Rightarrow$ S-Wellen

Legen die Polynom $P_0(\cos\theta) = 1$

$$\Rightarrow l=0 \Rightarrow f(\theta) \approx \frac{1}{k} e^{i\delta_0} \sin\delta_0$$

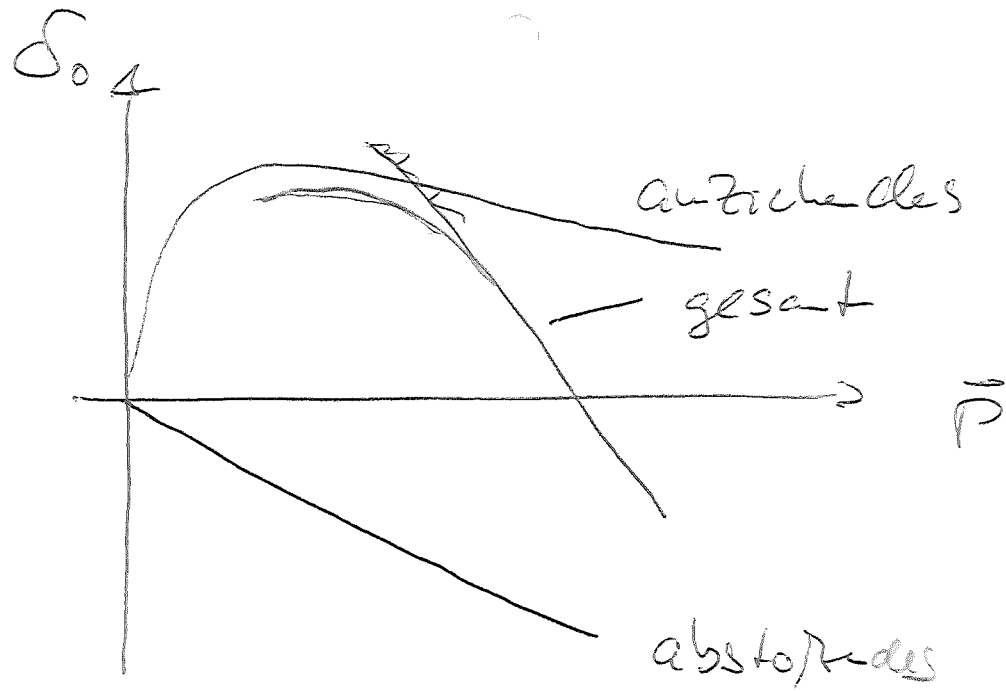
Experiment: Messung von $\frac{d\sigma}{d\Omega} = |f(\theta)|^2$

\Rightarrow Bestimmung der Phasenverschiebung δ_0 aus Experiment

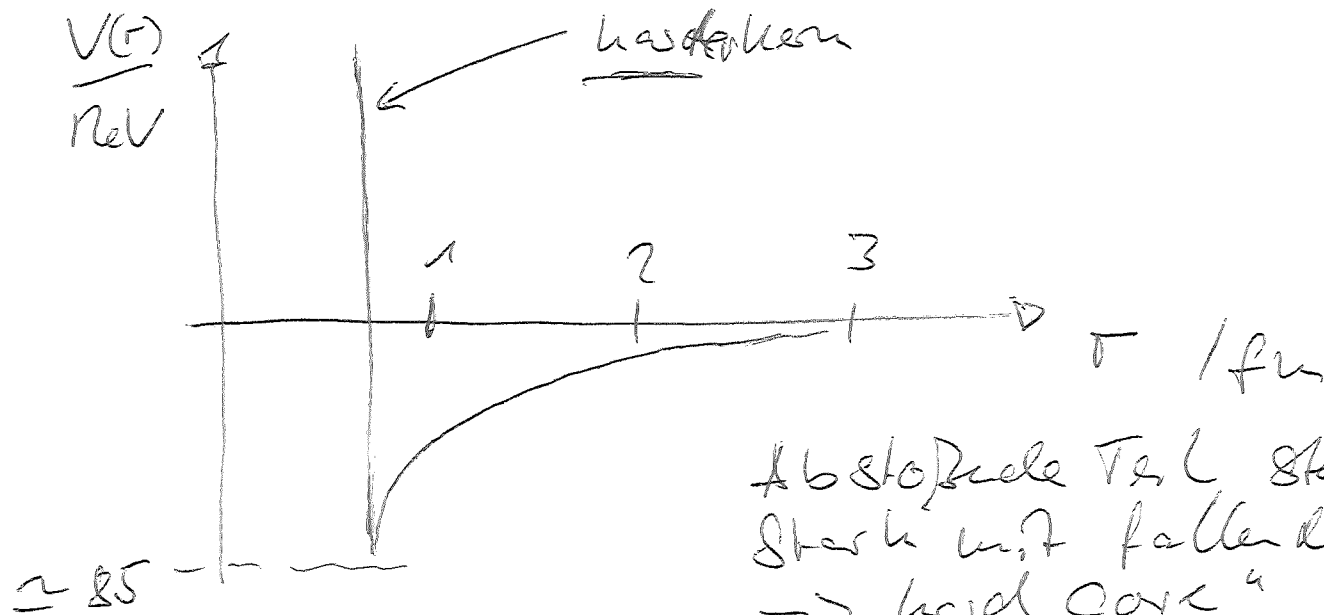
\Rightarrow Vgl. Phasenverschiebung ~~aus~~ berechnet aus

Potentialverlauf (\Rightarrow Reaktion) \Rightarrow die Streuung

in großer Energie Potential



Potential $V(r)$ NN-Steuerung (schwachster)



Abstoßende Teil steigt
 stark mit fallendem r an
 \Rightarrow "hard core"

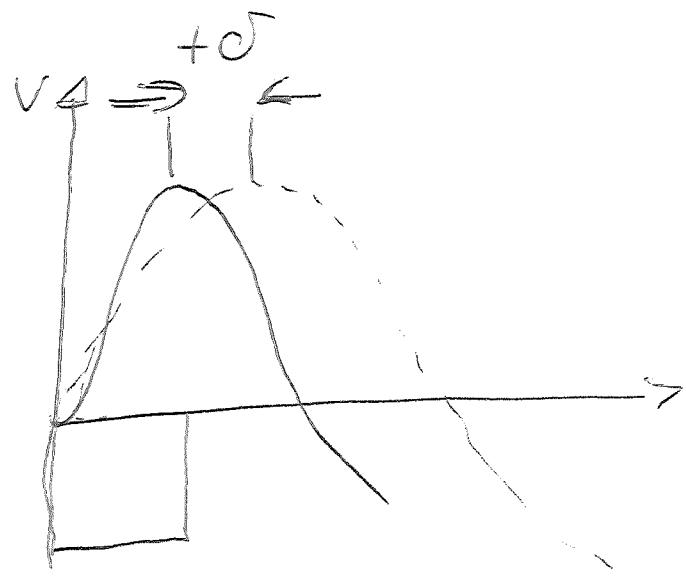
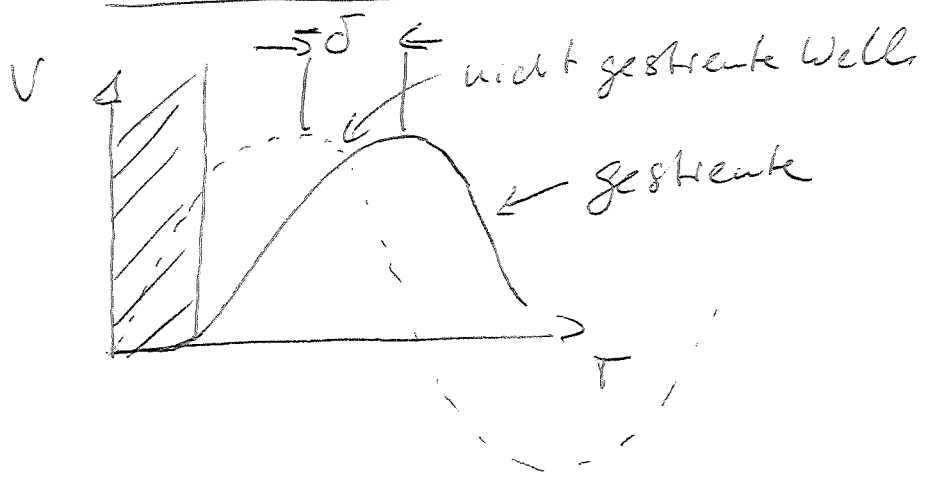
anziehendes Potential : $+\sigma_0$

abstoßendes Potential : $-\sigma_0$

$$\sigma_0 = \arctan \left[\sqrt{\frac{E}{E+|V|}} \tan \frac{\sqrt{2mc^2(E+|V|)} \cdot a}{\hbar c} \right]$$

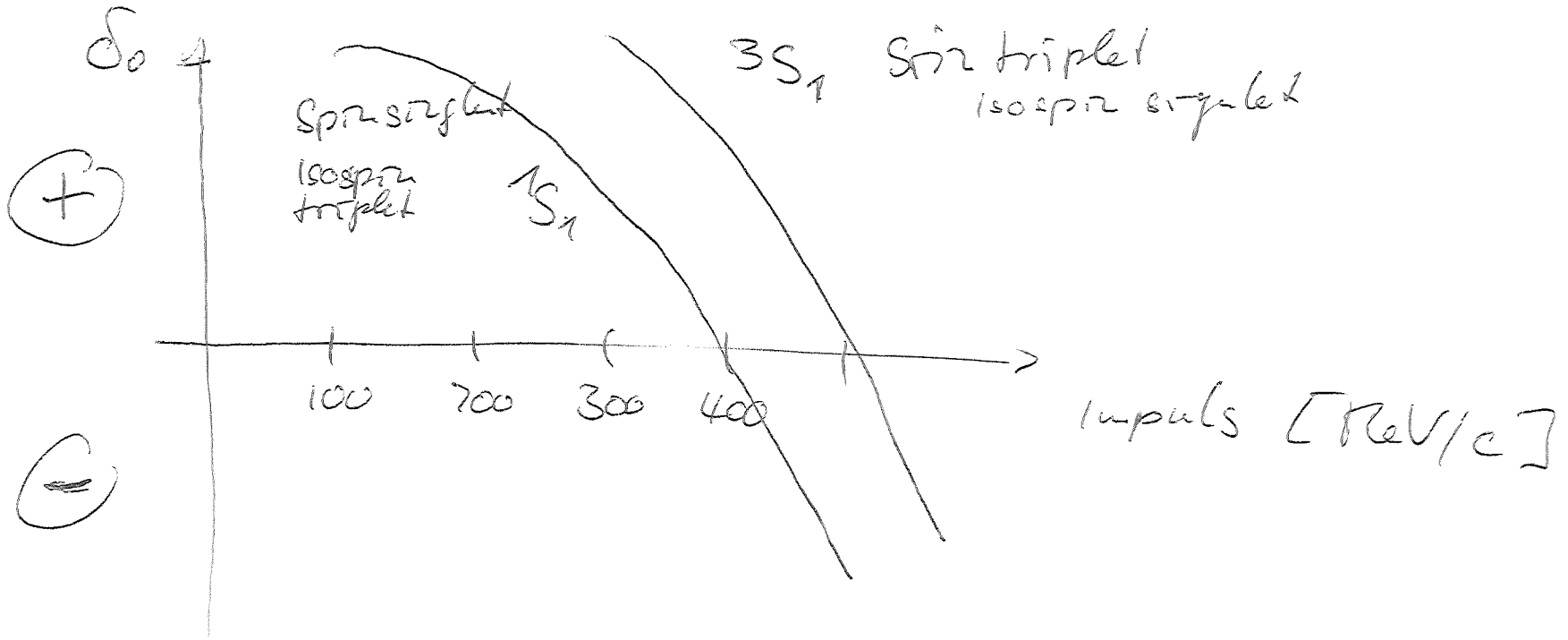
$$= \frac{\sqrt{2mc^2 E} \cdot a}{\hbar c}$$

mit kurzwelligen abstoßenden und langwelligen anziehenden Potential

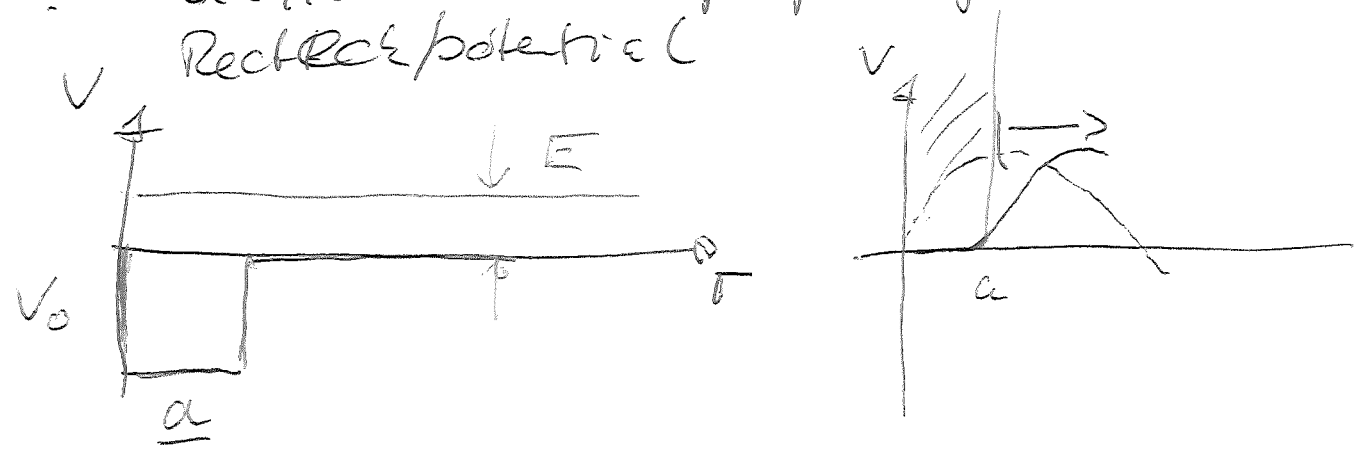


Bsp. Exp. Ergebnisse

5



Lösung d. Schrödinger Gleichung für angenommenes Potential
 einfaches Beispiel: Anziehendes kugelförmiges
 Rechteckpotential



NN Potential

(8)

Größen, die die WW bestimmen

- Abstand \bar{x}
- relat. Impuls \vec{p}
- Gesamtdrehimpuls
- relative Ausrichtung der Spins \vec{S}_1, \vec{S}_2

Potential $V(r)$ skalare Größe \Rightarrow Translations und Rotationsinvariant, symm. unter Teilchenaustausch
Für feste Isospin hat Potential folgende Form

$$\begin{aligned} V(r) &= V_0(r) && \text{gewöhnli. Zentralpotential} \\ &+ V_{SS}(r) \vec{S}_1 \vec{S}_2 / \hbar^2 && \text{Spin-Spin WW} \\ &+ V_T(r) (3 (\vec{S}_1 \cdot \vec{x})(\vec{S}_2 \cdot \vec{x}) / r^2 - \vec{S}_1 \vec{S}_2) / \hbar^2 \\ &+ \frac{1}{2} V_{LS}(r) (\vec{S}_1 + \vec{S}_2) \cdot \vec{L} / \hbar^2 && \text{Tensorpotential (nicht zentrale Kraft)} \\ &+ V_{LS}(r) (\vec{S}_1 \cdot \vec{L})(\vec{S}_2 \cdot \vec{L}) / \hbar^2 && \text{Spin-Bahn WW} \\ &+ V_{PS}(r) (\vec{S}_2 \cdot \vec{p})(\vec{S}_1 \cdot \vec{p}) / (\hbar^2 m^2 c^2) \end{aligned}$$

(9)

Bemerkung: Zentralf potential zu schwach
 $f \sim S' = \vec{S}_1 + \vec{S}_2 = 0$ in gebundenem
 p-p oder n-n System zu bilden.
 $\Rightarrow \underline{S=1}$ Wep V_1 und V_{SS} gebunden
 Zustand des 3D

Eigenschaften des Deuterons

Bindungsenergie $B = 2,225 \text{ MeV}$

Spin u. Parität $J^P = 1^+$

Isospin $I = 0$

magnet. Moment $\mu = 0,857 \mu_N$

elektr. Quadrupolm. $Q = 0,282 e \text{ fm}^2$

$$V \approx B + \frac{\pi}{8} \frac{(\hbar c)^2}{a^2 m c^2} \approx 100 \text{ MeV}$$

Potential Band. kin. Energie

(10)

$$a = 1,2 - 1,4 \text{ fm} \Rightarrow V \approx 50 \text{ MeV}$$

$$V \gg B !$$

Schwarz der WF $u \approx c e^{-kx}$

$$\frac{1}{k} \approx \underline{\underline{4,3 \text{ fm}}}$$

größer als die Reichweite