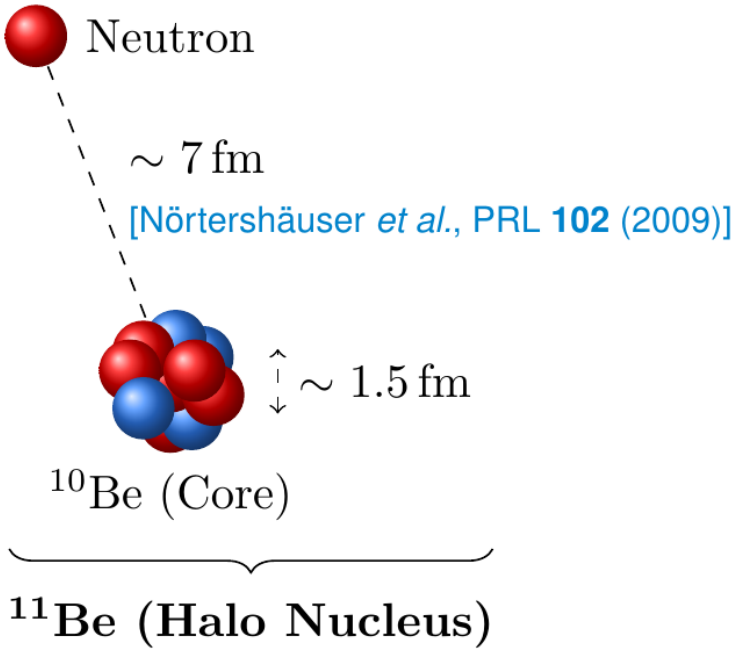
Theorie der Halokerne

Von Yannic Wolf

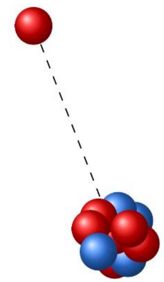


[1]

Gliederung

Motivation

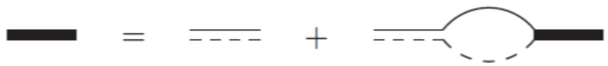
Definition der Streulänge



[1]

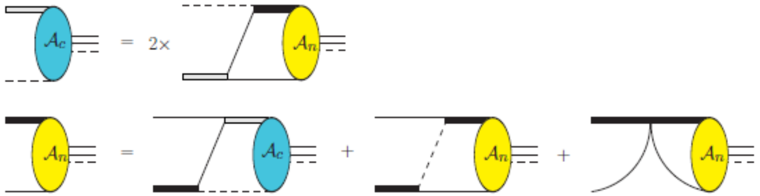
Ein Neutron Halo

- Streulänge
- Abstand Kern Neutron



[2]

Zwei Neutron Halo



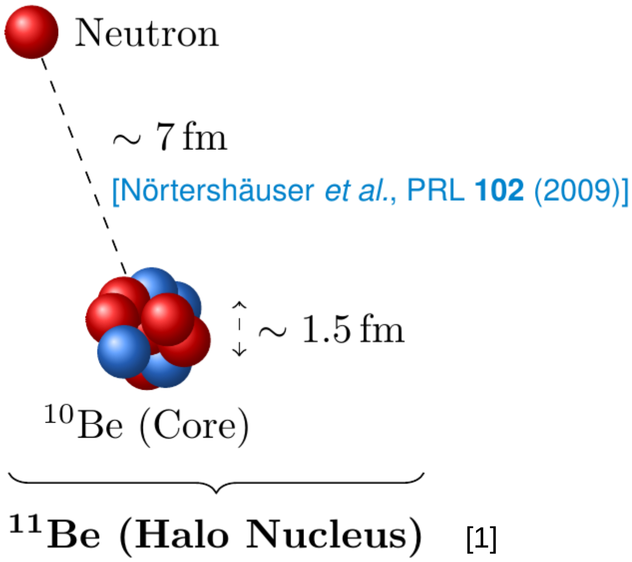
[2]

Zusammenfassung

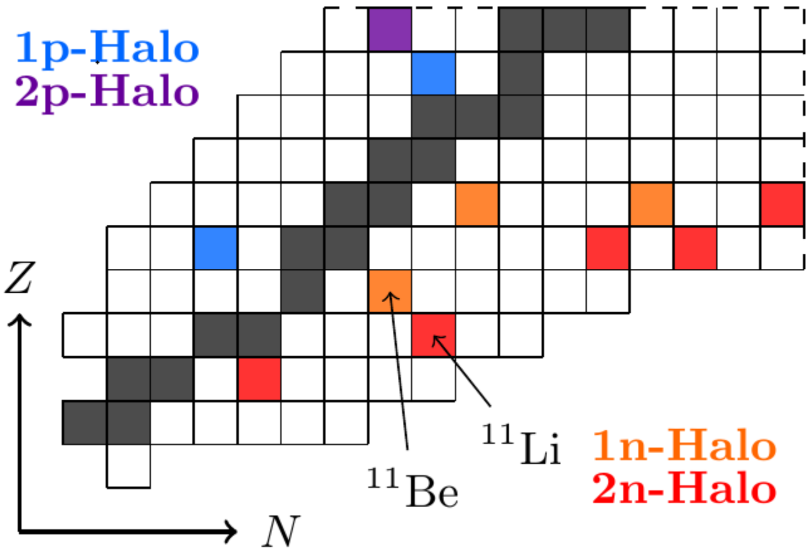
Motivation

Großer Radius im Vergleich zu ähnlichen Kernen

Geringe Bindungsenergie der Valenznukleonen im Vergleich zur Anregungsenergie → Skalenseparation



[1]



[1]

Definition der Streulänge

Streulänge a_0 ist Wert der Streuamplitude bei Relativimpuls $k = 0$

$$t(k = 0) = -\frac{2\pi}{\mu} \cdot a_0$$

Einfachste Darstellung: Zwei-Körper-Bindungszustand

$$B_2 = \frac{1}{m a_0^2} \left(1 + \frac{R}{a_0} + \ ... \right)$$

Ein-Neutron-Halos

In nicht-relativistischer EFT beschrieben

Betrachtung für S-Wellen Halo

Aufstellen der Lagrangedichte und Aufteilung in Ein- und Zweiteilchenkomponente

$$\mathcal{L} = \mathcal{L}_1 + \mathcal{L}_2$$

Lagrangedichten

$$\mathcal{L}_1 = n^+ \left(i\partial + \frac{\nabla^2}{2m_n} \right) n + c^+ \left(i\partial + \frac{\nabla^2}{2m_c} \right) c$$

$$\mathcal{L}_2 = -C_{nc} (nc)^+ (nc)$$

Dimer-Feld

Umformulierung der Lagrangedichte in Dimer-Feld

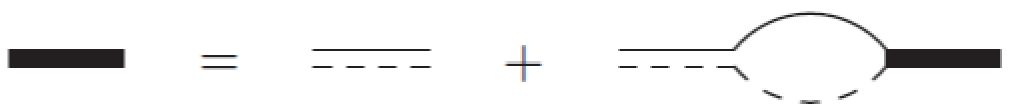
$$L_{nc}^{s} = \sigma^{+}\left[w\left(i\partial + \frac{\nabla^{2}}{2M}\right) + \Delta\right]\sigma \; - g(\sigma^{+}\,(nc) + h.c.)$$

Aufstellen des
Feynman-Propagators

$$iD^{(bare)}(E,P) = \frac{i}{w\left(E - \frac{P^{2}}{2M} + i\epsilon\right) \; + \Delta}$$

Feynman Propagator

Korrektur des Feynman Propagators



[1]

$$iD(E,P) = \frac{i}{w\left(E - \frac{P^2}{2M} + i\epsilon\right) + \Delta - \Sigma(E,P)}$$

Streuamplitude

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Aufstellen der Zwei-Körper Streuamplitude

$$\langle k' | t_0(E) | k \rangle = \frac{2\pi}{\mu} \left[\frac{1}{a_0} - \frac{r_0}{2} k^2 + \cdots + ik \right]^{-1}$$

Streulänge

Streulänge in erster Näherung nur von Bindungsimpuls abhängig

$$\frac{1}{a_0} = \gamma_0 - \frac{1}{2} r_0 \gamma_0^2 + \dots$$

Berechnung des Formfaktors

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Aufstellen der Wellenfunktion

Berechnung des Materieformfaktors des Ein-Neutron-Halos

$$F_{nc}(|q|) = \int d^3r\, |\Psi_0(r)|^2 \exp(iq\, r)$$

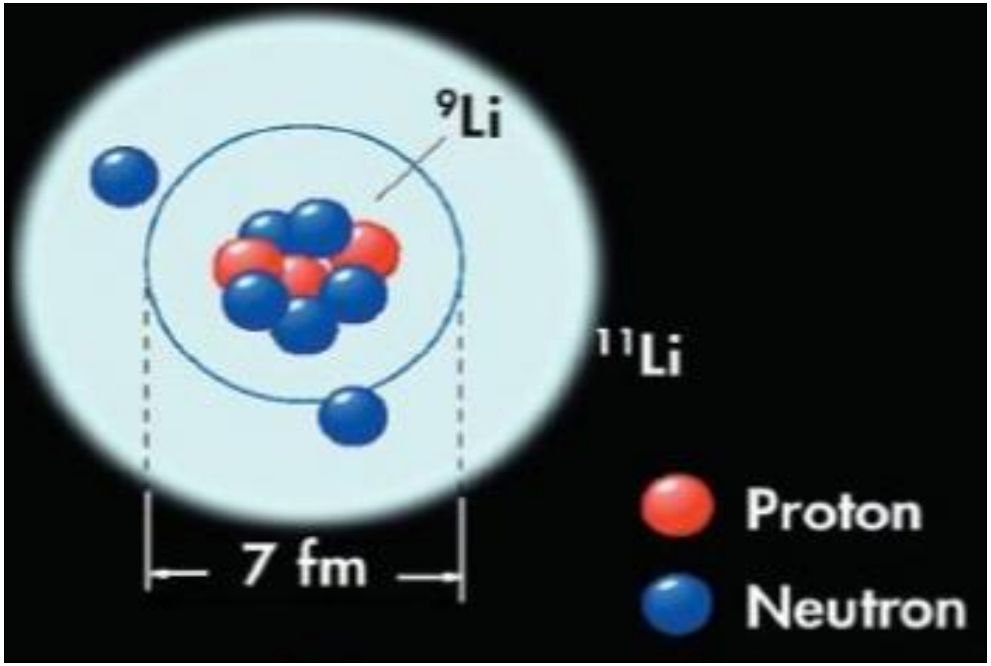
$$F_{nc}(|q|) = 1 - \frac{1}{6}\langle r_{nc}^2 \rangle q^2 + O(q^4)$$

Abstand Kern-Neutron

Abstand Kern-Neutron hängt in erster Näherung nur von dem Bindungsimpuls ab

$$< r_{nc}^2 >^{1/2} = \frac{1}{\sqrt{2}\gamma_0}\left(1 + \frac{r_0\gamma_0}{2} + \ \dots\right)$$

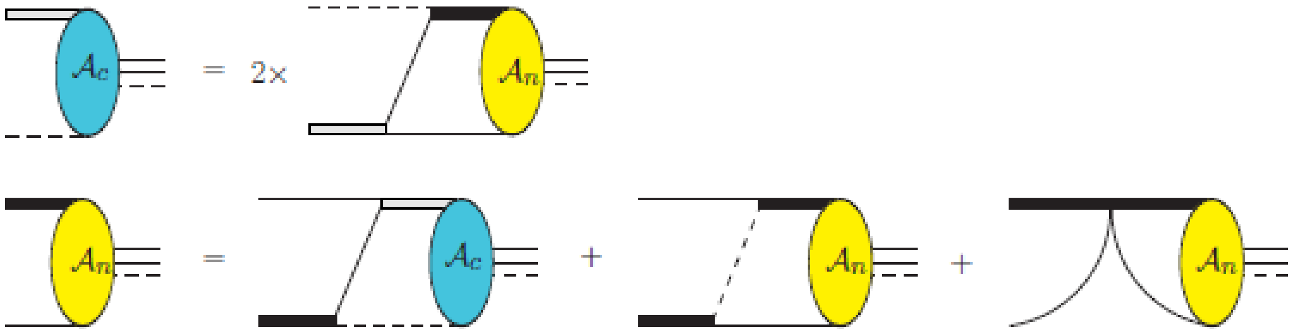
Lithium



[3]

Zwei-Neutron-Halos

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT



[2]

Ergeben gekoppelte Integralgleichungen

Können numerisch gelöst werden

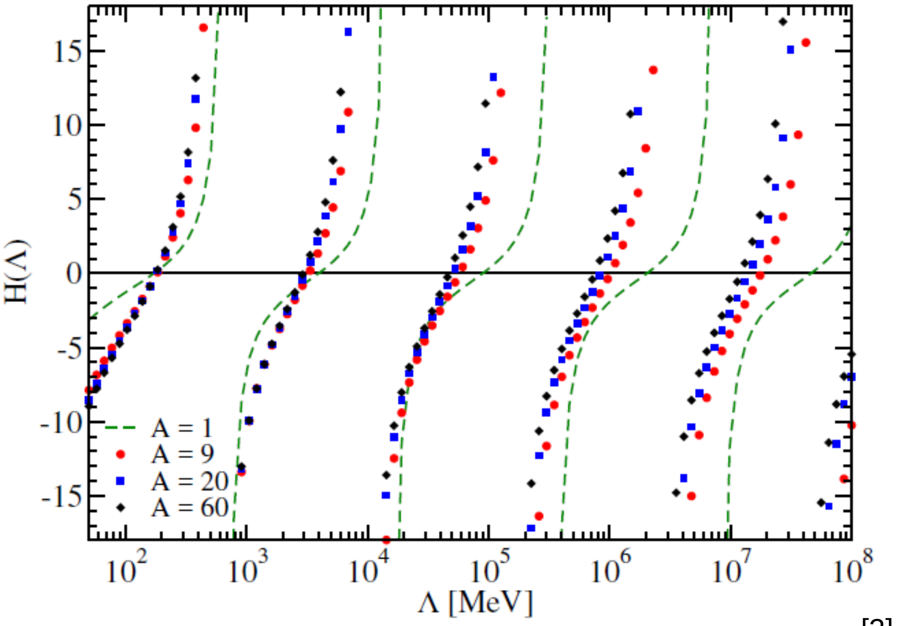
Zwei-Neutron-Halos

Gleichungen divergent →
ultravioletter Cutoff Λ

Renormierung durch $H(\Lambda)$

→ $H(\Lambda)$ ist log-periodische Funktion

Observablen können analog zu Ein-Neutron-Halos berechnet werden



[2]

Zusammenfassung

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Halos lassen sich mit nichtrelativistischer EFT beschreiben

Niedrige Bindungsenergie vs. hohe Anregungsenergie

Ein-Neutron-Halos können analytisch berechnet werden

- Bindungsenergie und $\langle r_{nc}^2 \rangle^{1/2}$ sind in erster Näherung nur vom Bindungsimpuls ab

Zwei-Neutron-Halos können numerisch gelöst werden

Korrekturen können systematisch eingeführt werden

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Quellen

[1] mit Genehmigung von Marcel Schmidt

[2] Effective field theory description of halo nuclei, H.-W. Hammer et al.

[3]: Physics of Atomic Nuclei, Zelevinsky,Volya

Appendix

Clebsch-Gordan-Koeffizient

$$[nc]_{s,\beta} = \sum_{\delta} \left(\frac{1}{2}\, \delta s_c \beta - \delta \middle| s\beta \right) n_\delta c_{\beta-\delta}$$

Appendix

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Selbstenergie des Dimer-Felds

$$\Sigma_\sigma(E,P) = \frac{\mu_\sigma g_\sigma^2}{2\pi}\left[\sqrt{2\mu_\sigma\left(\frac{P^2}{2M_\sigma} - E - i\epsilon\right)} - \Lambda\right]$$

Appendix

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Renormalisierter Dimer Propagator

$$D_\sigma(E,P) = \frac{2\pi}{\mu_\sigma\, g^2}\left[\frac{1}{a_{0,\sigma}} - r_{0,\sigma}\mu_\sigma\left(E - \frac{P^2}{2M_\sigma} + i\epsilon\right) - \sqrt{2\,\mu_\sigma\left(\frac{P^2}{2M_\sigma} - E - i\epsilon\right)}\right]^{-1}$$

Appendix

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Wellenfunktion

Amplitude wird am Pol entwickelt

Daraus wird Wellenfunktion abgeleitet

$$\Psi_0(r) = C_\sigma Y_{00}(\hat{r}) \frac{\exp(-\gamma_{0,\sigma} r)}{r}$$