

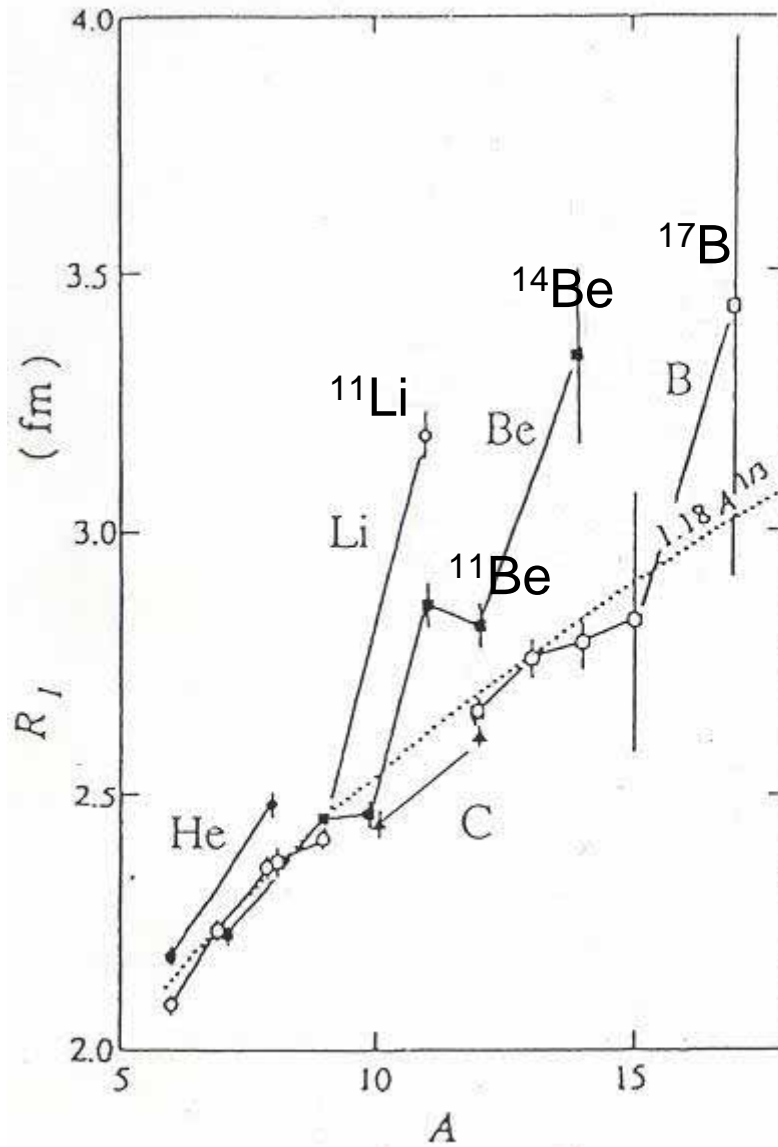
3

中性子八口一核

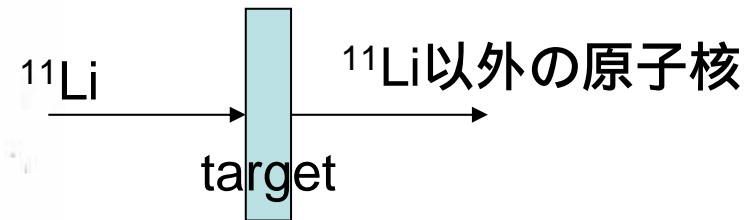
不安定核の核半径の測定

I. Tanihata et al. @ LBL

PRL 55, 2676 (1985)



相互作用断面積 σ_I
(Interaction Cross Section)



$$\sigma_I = \pi [R_I(P) + R_I(T)]^2$$

入射核 (Projectile)
の半径

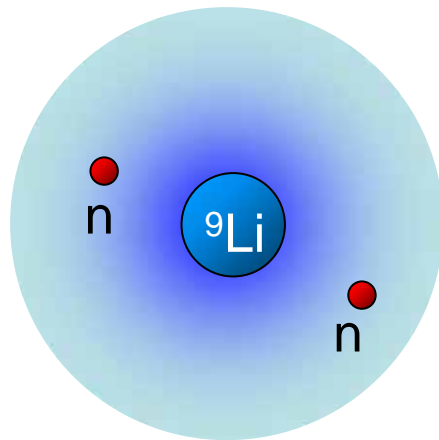
標的核 (Target)
の半径

^{11}Li の半径が大きいのはなぜか？



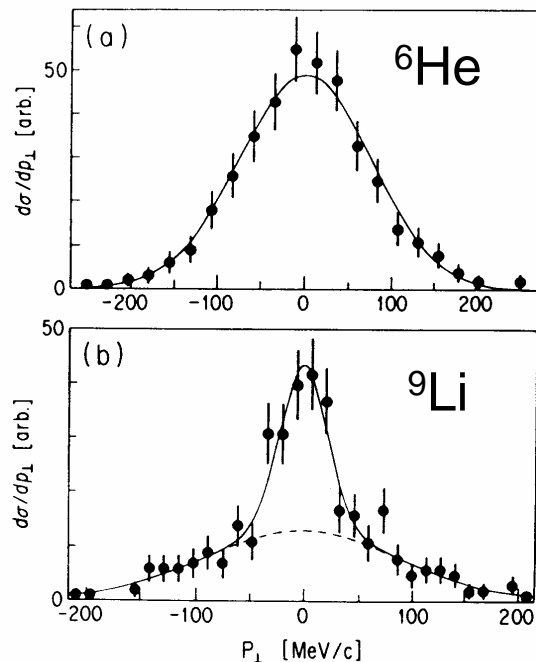
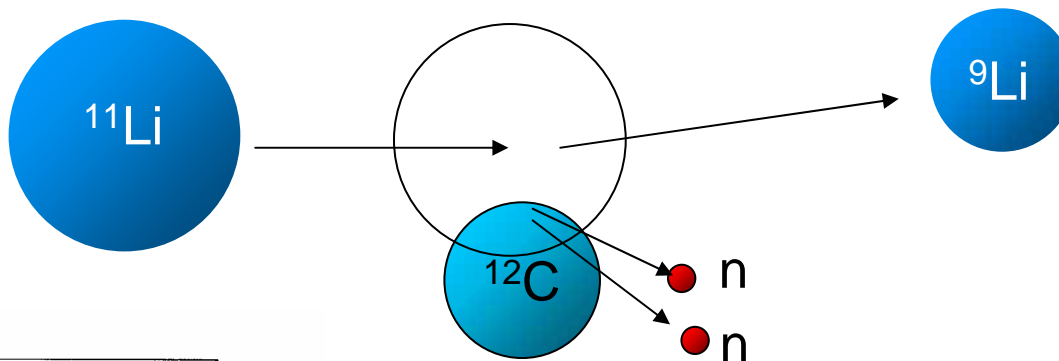
全体として膨らんでいる？

または、



一部の中性子(この場合2個)だけが
広がってハロー状態になっている？

破碎反応における運動量分布



${}^8\text{He} + \text{C}$ の破碎反応で放出される ${}^6\text{He}$ の
横方向運動量分布 $\sigma_0 = 60 \text{ MeV} / c$

${}^{11}\text{Li} + \text{C}$ の破碎反応で放出される ${}^9\text{Li}$ の
横方向運動量分布 $\sigma_0 = 17 \pm 4 \text{ MeV} / c$

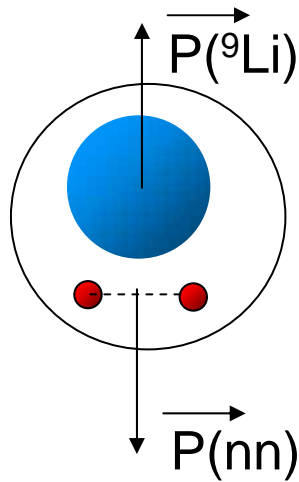
通常の原子核

$$\Delta = \sigma_0 \sqrt{\frac{F(A-F)}{A-1}}$$

$$\sigma_0 \cong 90 \text{ MeV} / c$$

FIG. 1. Transverse-momentum distributions of (a) ${}^6\text{He}$ fragments from reaction ${}^8\text{He} + \text{C}$ and (b) ${}^9\text{Li}$ fragments from reaction ${}^{11}\text{Li} + \text{C}$. The solid lines are fitted Gaussian distributions. The dotted line is a contribution of the wide component in the ${}^9\text{Li}$ distribution.

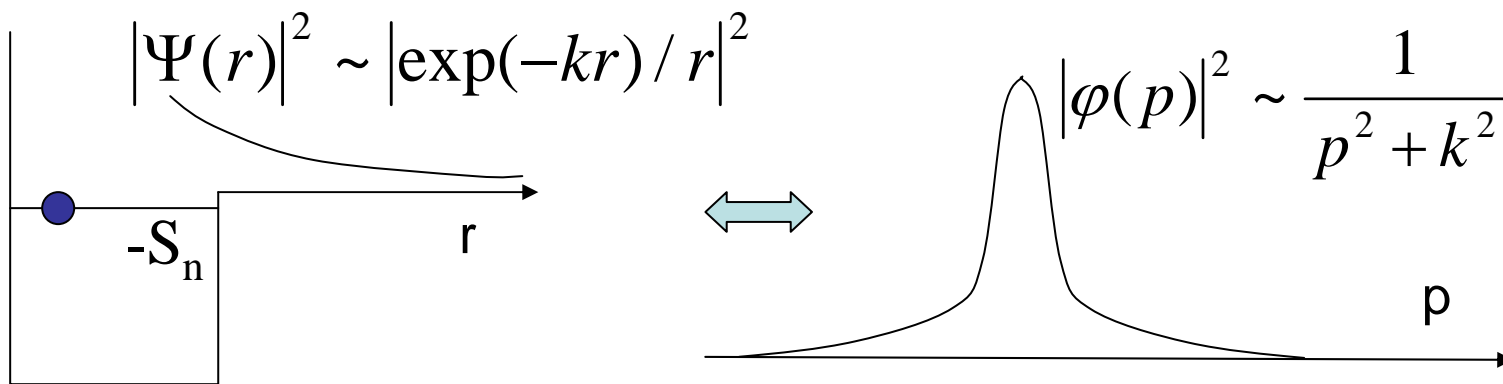
^{11}Li の静止系



$$\vec{P}(^9\text{Li}) + \vec{P}(\text{nn}) = 0$$

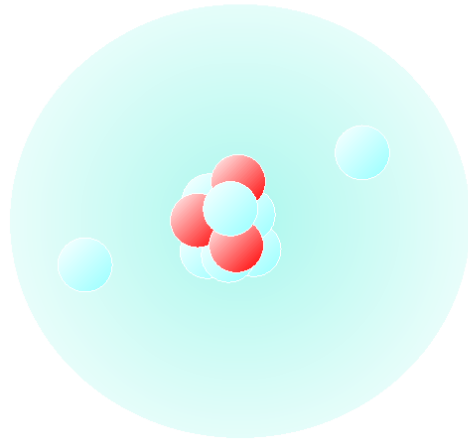
$P(^9\text{Li})$ の分布は $P(\text{nn})$
の分布と同じ

$P(\text{nn})$ の分布が狭いということは
これら2個の中性子の r (空間)分布が
大きくひろがっていることを意味する。
(不確定性原理)

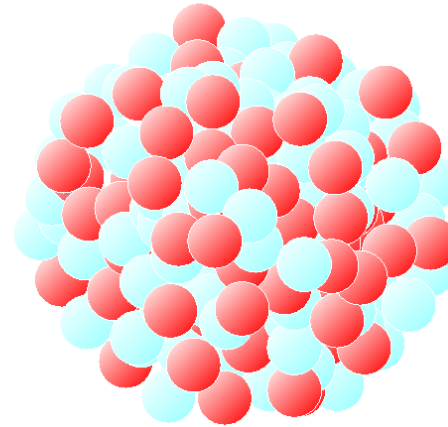


$$k = \sqrt{2\mu S_n} / \hbar$$

非常に小さい、空間的に広がっている



^{11}Li (中性子八口一核)



^{208}Pb (通常の原子核)

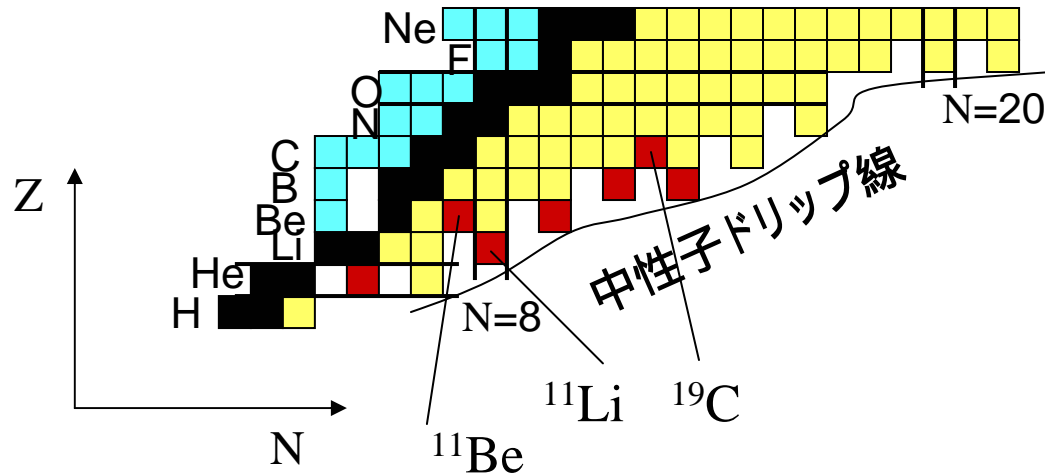
平均自乗半径

$$\langle r^2 \rangle = \frac{\int \rho(r) r^2 d\mathbf{r}}{\int \rho(r) d\mathbf{r}} = \frac{\int \rho(r) r^2 (4\pi r^2) dr}{A} \quad \text{一般}$$

$$\langle r^2 \rangle = \frac{9}{11} \langle r^2 \rangle_c + \frac{2}{11} \langle r^2 \rangle_h \quad \text{八口一の場合}$$

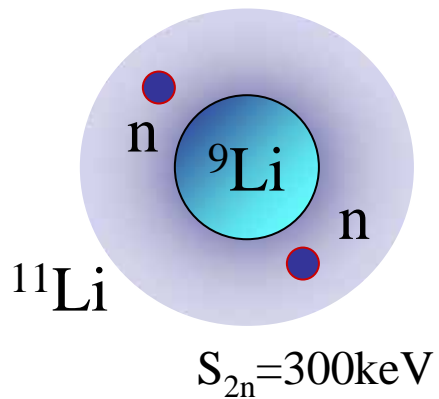
^{11}Li の中性子八口一の半径は鉛208の半径に匹敵！

中性子ハロ一核：束縛限界に位置する原子核

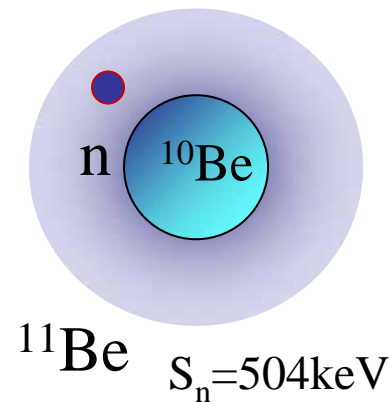


- 安定核
- β⁺崩壊核
- β⁻崩壊核
- 中性子ハロ一核 (Neutron Halo)

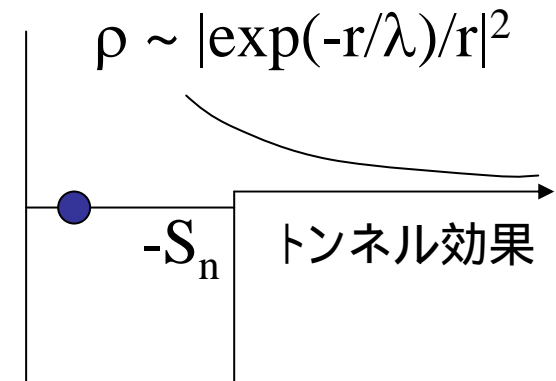
2n ハロ一核



1n ハロ一核



弱束縛 small S_n



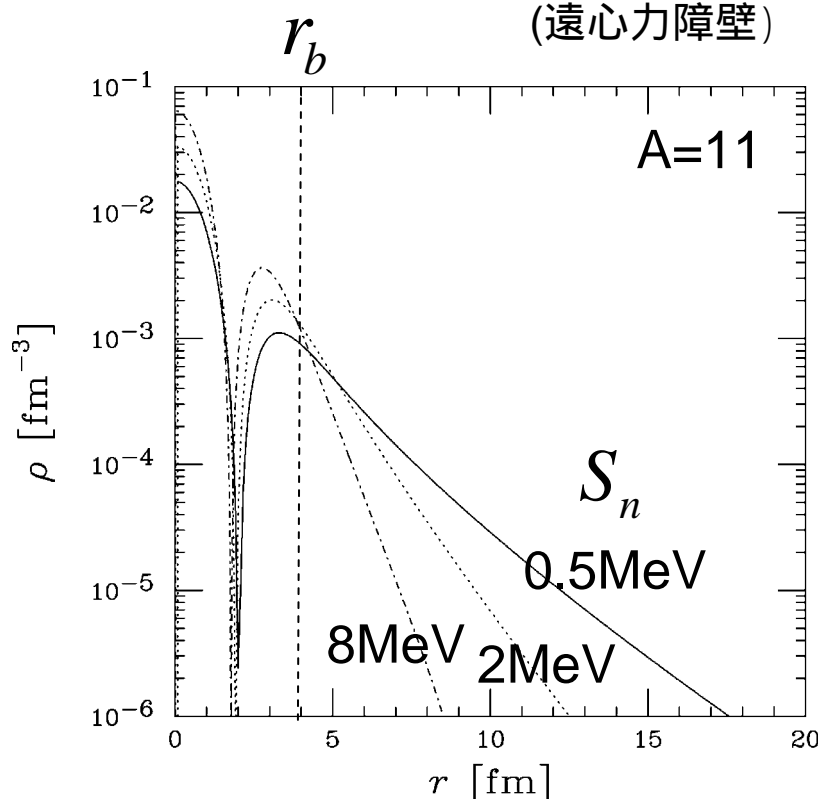
中性子分離エネルギーとハローの発達

一般に3次元のシュレディンガー方程式の動径成分は

$u(r) = rR(r)$ に対し

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2 u}{dr^2} + \left[V(r) + \frac{l(l+1)\hbar^2}{2mr^2} \right] u = Eu$$

Centrifugal Barrier
(遠心力障壁)



$$V(r) = \frac{-V_0}{1 + \exp[(r - R_0)/a]}$$

$$r_b : V(r_b) = \frac{-V_0}{10}$$

これより外を“外側”
と定義しておく。
(この講義での)

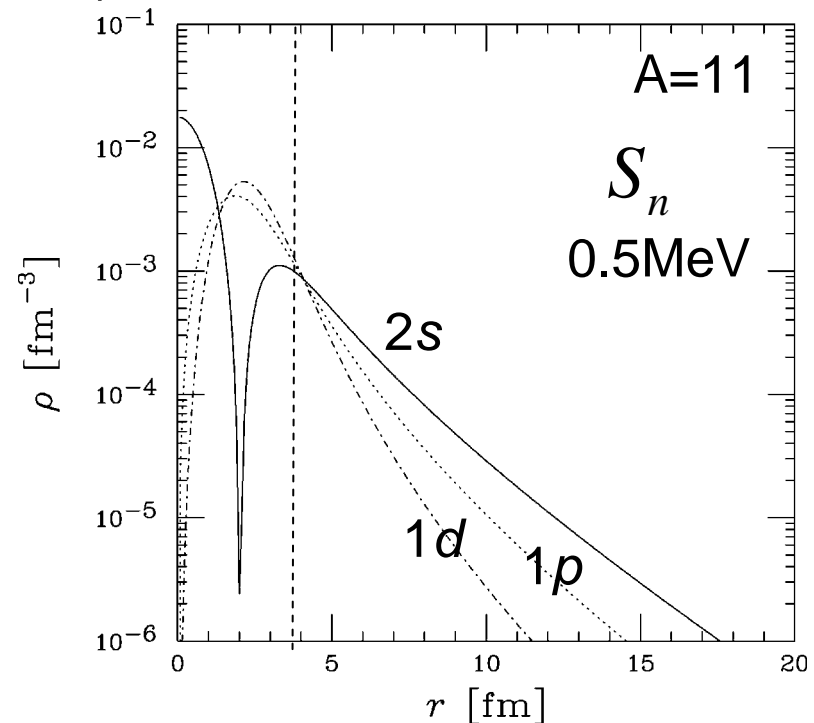
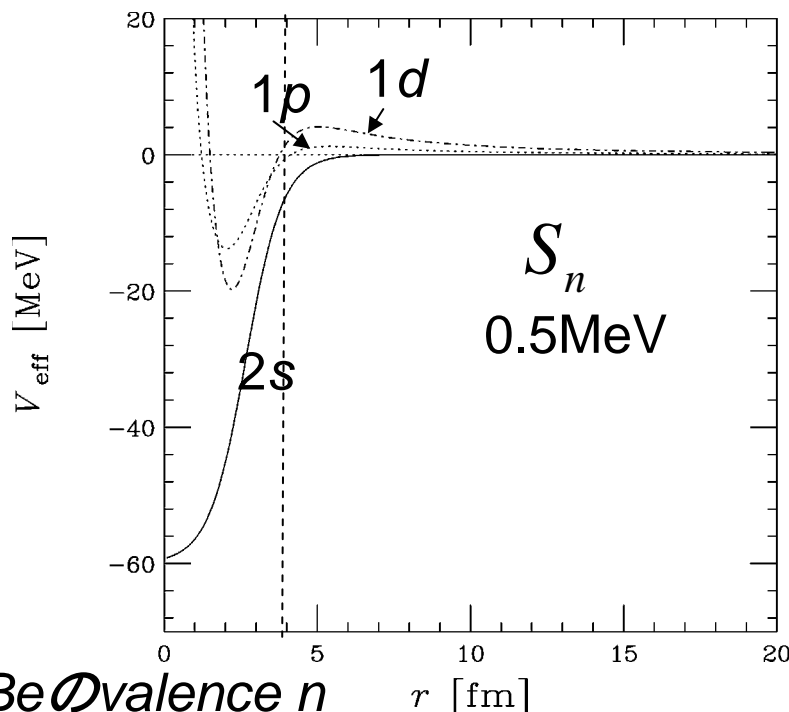
軌道角運動量とハローの発達

一般に3次元のシュレディンガー方程式の動径成分は

$u(r) = rR(r)$ に対し

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2 u}{dr^2} + \left[V(r) + \frac{l(l+1)\hbar^2}{2mr^2} \right] u = Eu$$

Centrifugal Barrier
(遠心力障壁)

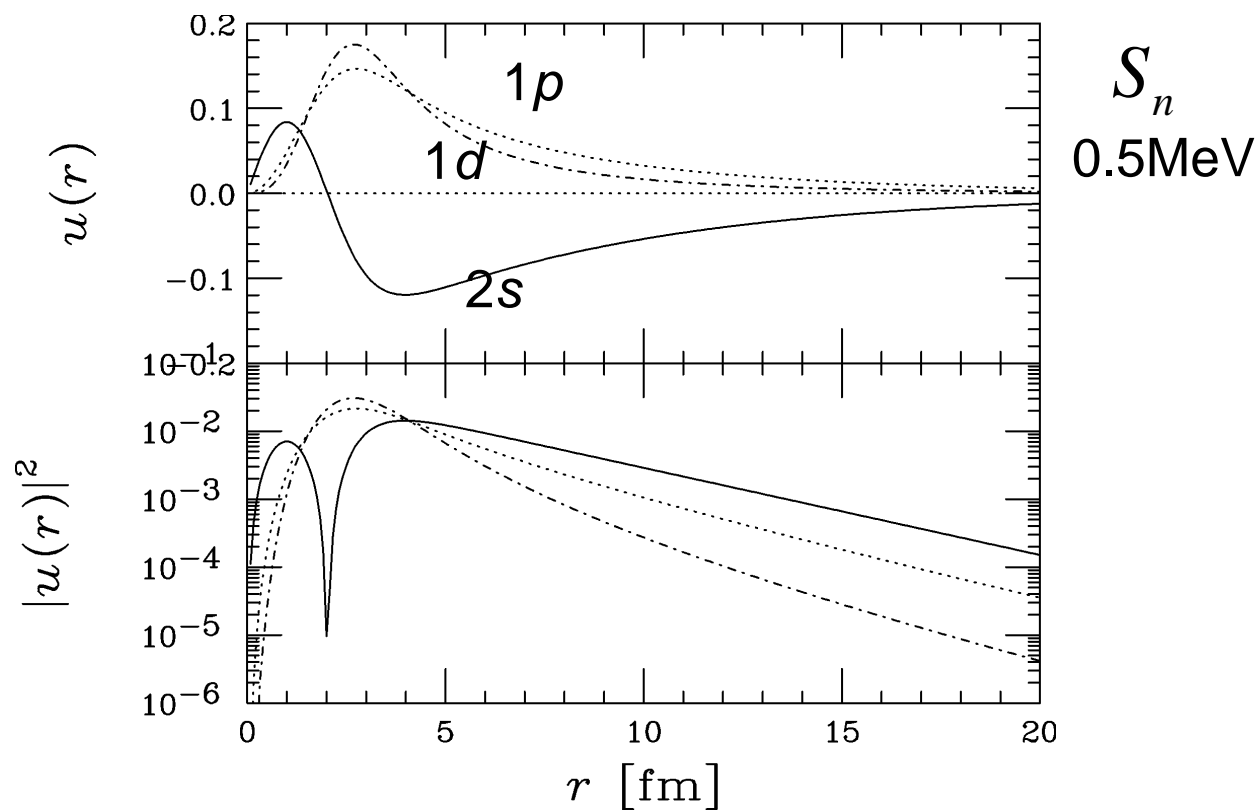


計算: ^{11}Be の valence n
が $2s, 1p, 1d$ の場合

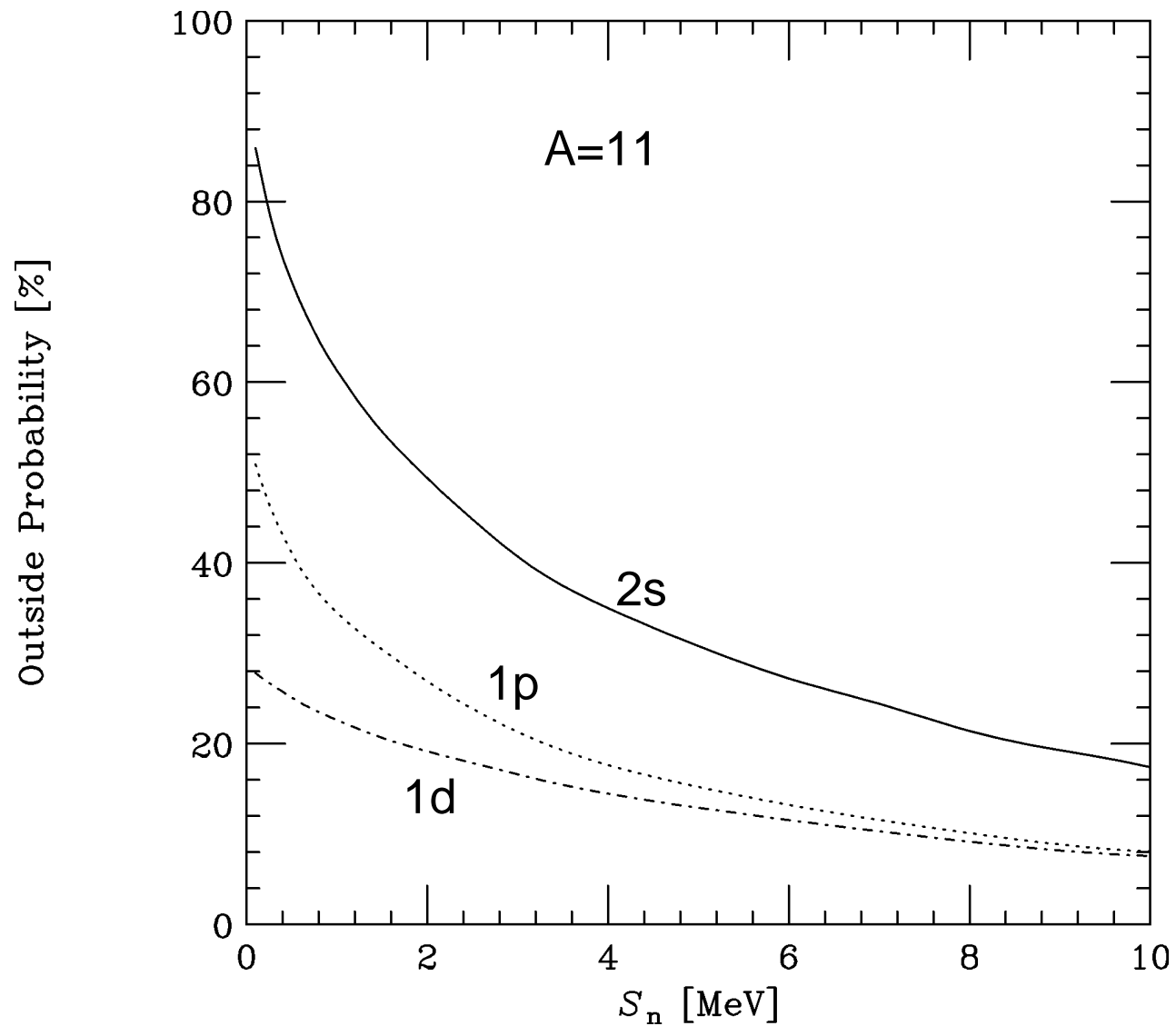
補足

$$u(r) = rR(r)$$

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2 u}{dr^2} + \left[V(r) + \frac{l(l+1)\hbar^2}{2mr^2} \right] u = Eu$$

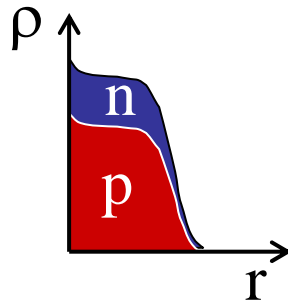


“外側にいる確率” = $\int_{R_0+(\ln 9)a}^{\infty} |R(r)|^2 4\pi r^2 dr$



中性子ハロー核の特徴

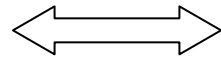
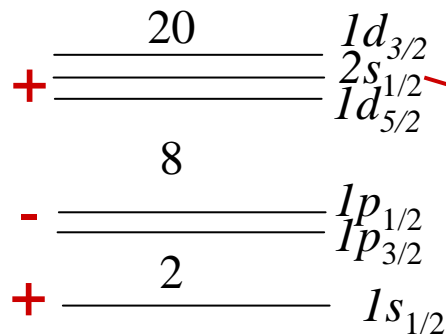
通常の原子核



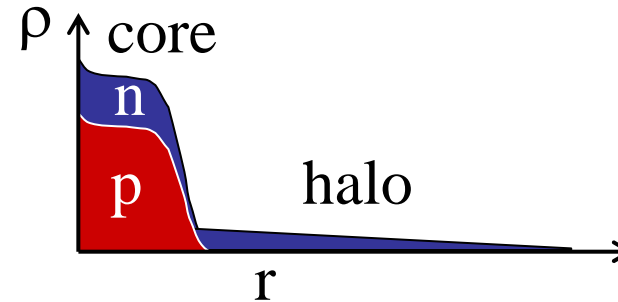
- 密度の飽和性
 $\rho = 0.18 \text{ nucleons/fm}^3$
 $r = r_0 A^{1/3}, r_0 = \sim 1.2 \text{ fm}$

- 中性子と陽子の相似な密度分布

- Shell 構造



中性子ハロー核

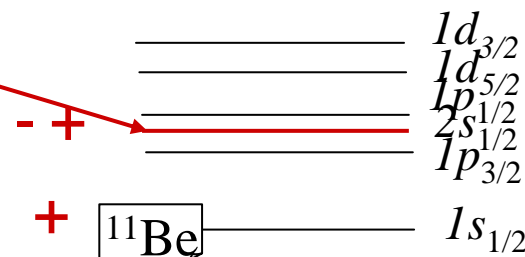


- 飽和したコア + 薄く広がる中性子ハロー
ハローの密度 $\rho \sim 10^{-4} \sim 10^{-6} \text{ nucleons/fm}^3$
 $r \sim 5-7 \text{ fm}$

特殊な“表面”

- コアとハローの二重構造
ハロー: 中性子物質

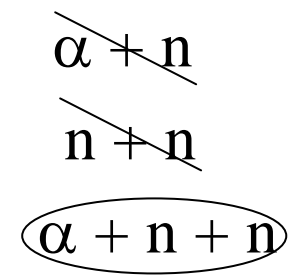
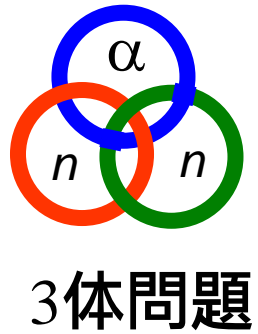
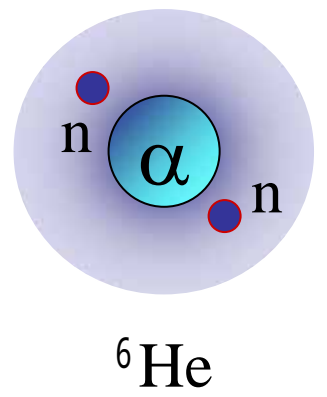
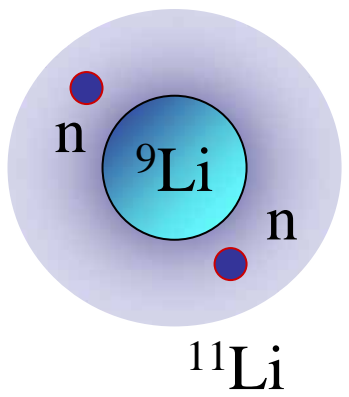
- Shell 構造の破れ



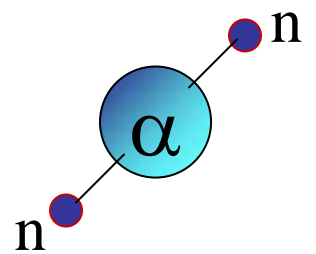
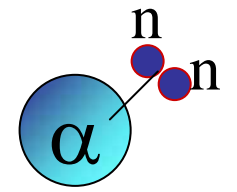
Shell構造のリストラ

⇨ r-process

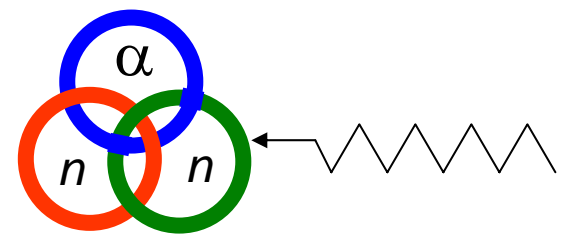
Borromean核 \Rightarrow 三体クラスター



‘di-neutron’ or ‘cigar’ ?



J.M. Bang, M. Zhukov et al.,
Phys.Rep. 264, 27 (1996).



Borromean核特有の励起状態?