

原子核物理学 II

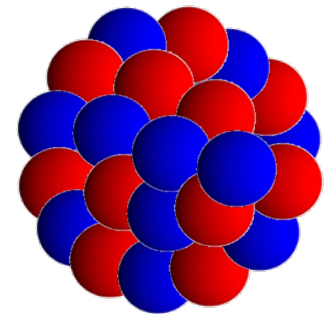
東北大学
原子核理論研究室
萩野浩一

目次

原子核: 核子(陽子、中性子)の複合体

→ *Nuclear Many-Body Problems (多体問題)*

- 原子核物理学 I の復習
- 原子核の液滴模型: 質量公式、振動励起、核分裂
- 殻模型
- 変形と回転
- 原子核の崩壊: α , β , γ 崩壊
- 核反応



講義ノート: <http://www.nucl.phys.tohoku.ac.jp/~hagino/lecture.html>

東北大学

→ 理学部物理

→ 原子核理論研究室

→ 萩野浩一

→ 講義

順次アップデートしていきます。

連絡先: hagino@nucl.phys.tohoku.ac.jp

Subject 欄に「講義」と入れるとより確実です。

居室: 理学総合棟(この建物)1047号室

References

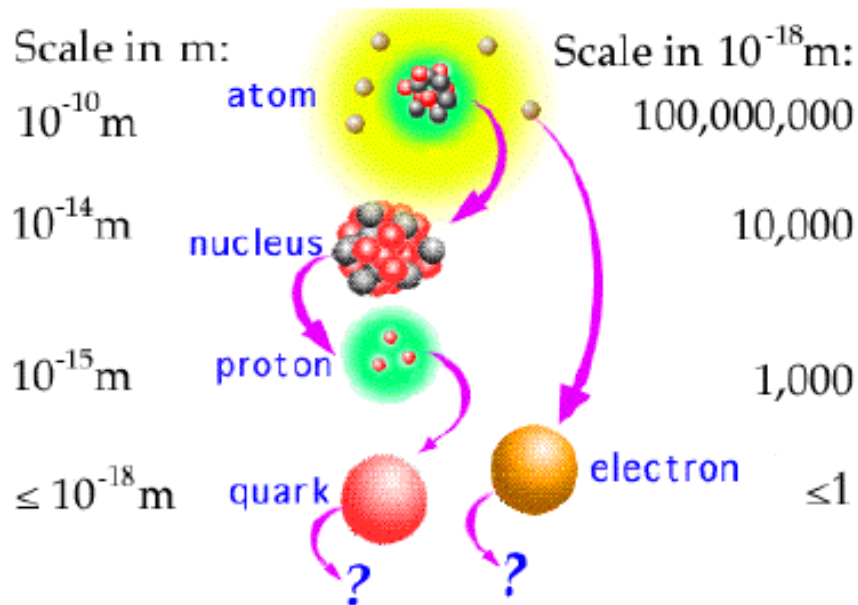
- 高田健次郎 インターネット・セミナー 「原子核の世界」
<http://www2.kutl.kyushu-u.ac.jp/seminar/MicroWorld3/MicroWorld3.html>
- 鷺見義雄 「原子核物理入門」
- 八木浩輔 「原子核物理学」
- 野上茂吉郎 「原子核」 (裳華房シリーズ)

- 市村宗武、坂田文彦、松柳研一 「原子核の理論」
(岩波講座・現代の物理学)
- 高田健次郎、池田清美 「原子核構造論」 (朝倉物理学大系)

- 谷畑勇夫 「宇宙核物理入門」 (ブルーボックス)
- 望月優子 ビデオ「元素誕生の謎にせまる」
<http://rarfaxp.riken.go.jp/~motizuki/contents/genso.html>

原子核の基本的な性質

原子核物理学



$1 \text{ fm} = 10^{-13} \text{ cm}$

原子核: 量子論的多体系

基本構成要素:

	電荷	質量 (MeV)	スピン
陽子	+e	938.256	$\frac{1}{2}+$
中性子	0	939.550	$\frac{1}{2}+$

(note) $n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}$ (10.4 min)

1896 放射線の発見(ベクレル)

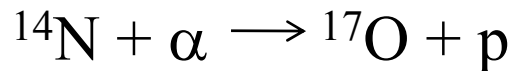
1898 ラジウムの分離に成功(キュリー夫妻)

1900年代初頭 β 線は高速の電子

➡ 電子はどこから？

➡ 当時の人は原子核が陽子と電子からできていると考えていた

1919 初めての原子核反応(ラザフォード)



~1925 量子力学

~1929 ^{14}N のスピン(整数)、統計(ボソン)

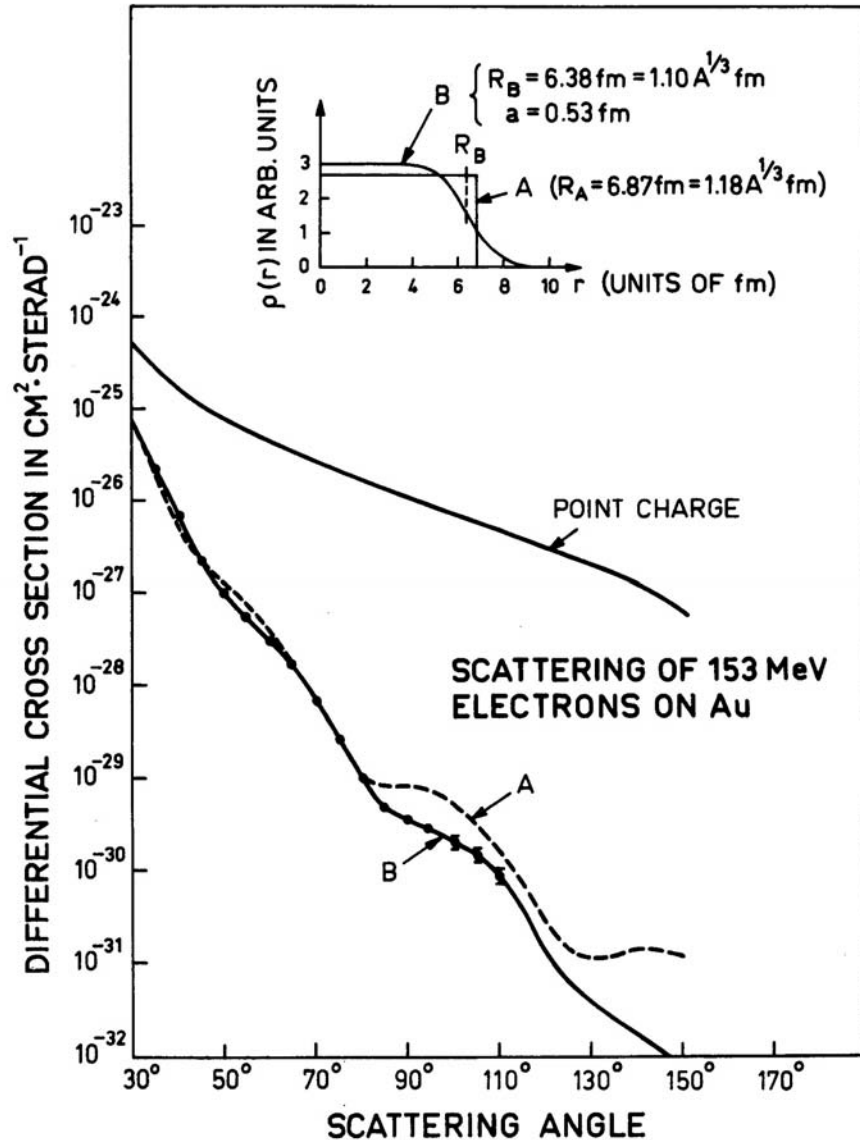
➡ 陽子+電子からは説明できない

(14個の陽子+7個の電子)

電子を閉じ込めるためには 50 MeV くらいの引力が必要: 電磁力では説明不可能

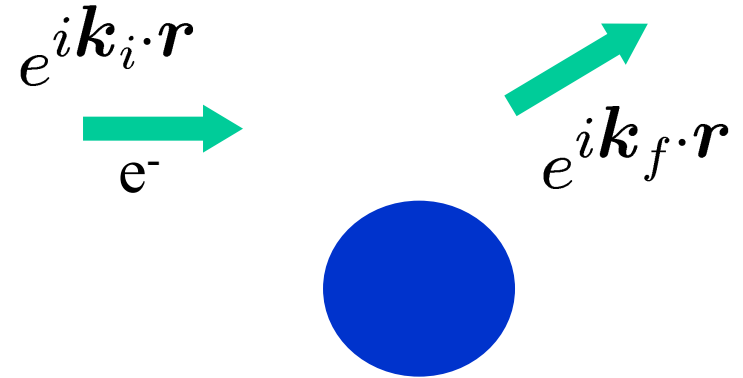
1932 中性子の発見(チャドウィック) ➡ 陽子+中性子の確立
(ただし、当初は中性子=陽子+電子だと思われていた)

電荷分布



高エネルギー電子散乱

ボルン近似:

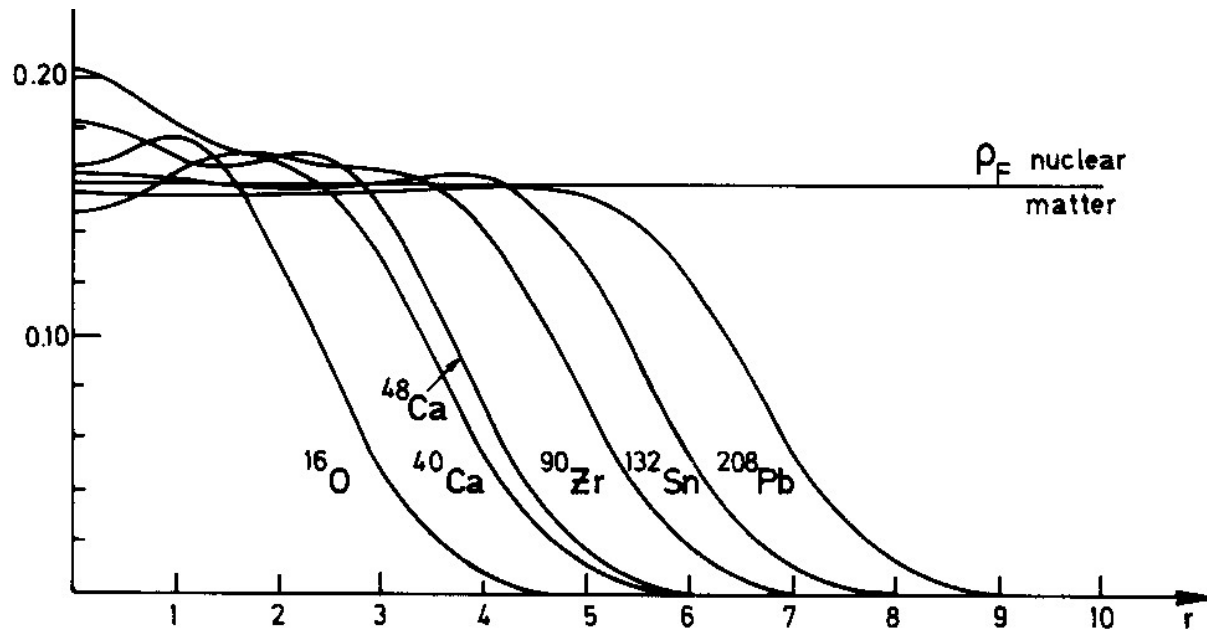


$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{Z_P^2 e^4}{(4E \sin^2 \theta/2)^2} |F(\mathbf{q})|^2$$

形状因子 (form factor)

$$F(\mathbf{q}) = \int e^{-i\mathbf{q} \cdot \mathbf{r}} \rho(\mathbf{r}) d\mathbf{r}$$

(密度のフーリエ変換)



フェルミ分布

$$\rho(r) = \rho_0 / [1 + \exp((r - R_0)/a)]$$

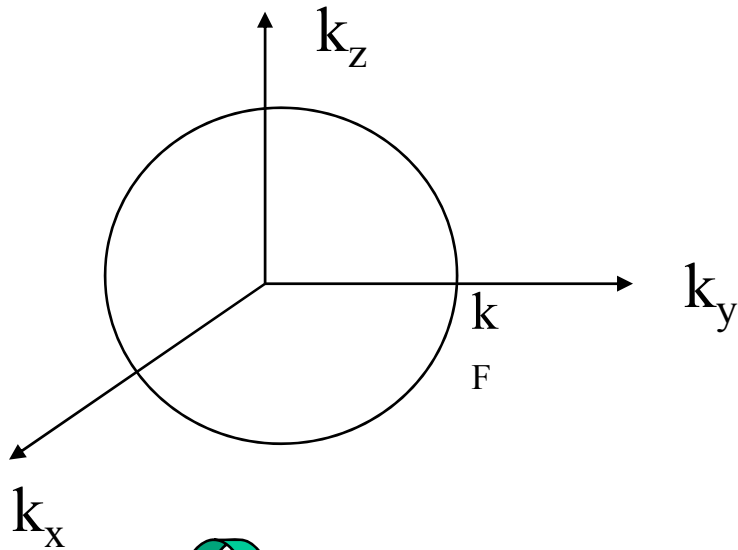
$$\rho_0 \sim 0.17 \text{ (fm}^{-3}\text{)} \quad \leftarrow \text{原子核の飽和性}$$

$$R_0 \sim 1.1 \times A^{1/3} \text{ (fm)}$$

$$a \sim 0.57 \text{ (fm)}$$

運動量分布

フェルミ・ガス近似



$$\begin{aligned}\rho &= 2 \times 2 \times 4\pi \int_0^{k_F} \frac{k^2 dk}{(2\pi)^3} \\ &= \frac{2}{3\pi^2} k_F^3\end{aligned}$$

(note: スピン・アイソスピンに関する縮退度)



$$k_F \sim 1.36 \quad (\text{fm}^{-1})$$

$$\iff \frac{v_F}{c} = \frac{k_F \cdot \hbar c}{mc^2} = 0.285$$

$$\text{フェルミ・エネルギー: } \epsilon_F = \frac{k_F^2 \hbar^2}{2m} \sim 37 \quad (\text{MeV})$$