

はじめに: 低エネルギー原子核物理学のめざすもの

□ 核子多体系としての原子核の振る舞い

← 核子間相互作用から理解する

➤ 静的な振る舞い: 原子核構造論

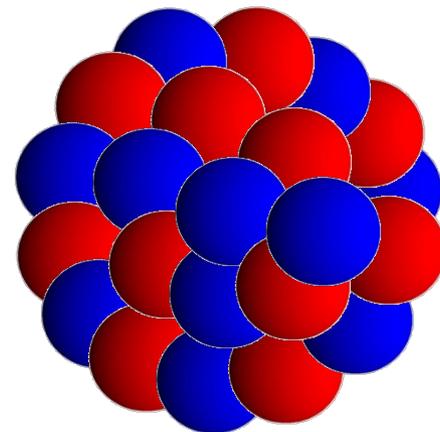
- ✓ 基底状態の性質
(質量、大きさ、形など)
- ✓ 励起状態の性質

➤ ダイナミクス: 原子核反応論

原子核は複合粒子

- ✓ 豊富な反応様式

- 弾性散乱
- 非弾性散乱
- 核子移行反応
- 核融合反応



はじめに: 低エネルギー原子核物理学のめざすもの

□ 核子多体系としての原子核の振る舞い

← 核子間相互作用から理解する

➤ 静的な振る舞い: 原子核構造論

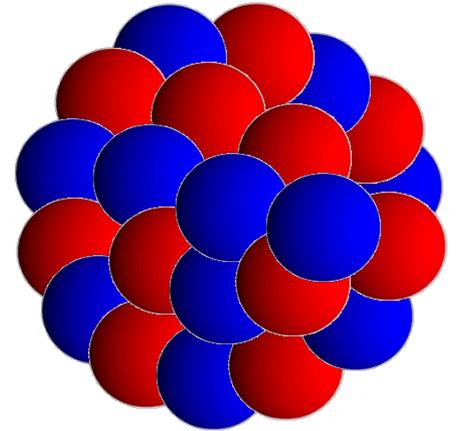
- ✓ 基底状態の性質
(質量、大きさ、形など)
- ✓ 励起状態の性質

➤ ダイナミクス: 原子核反応論

原子核は複合粒子

- ✓ 豊富な反応様式
- ✓ 核構造と核反応
の織り成す様々な
インタープレイ

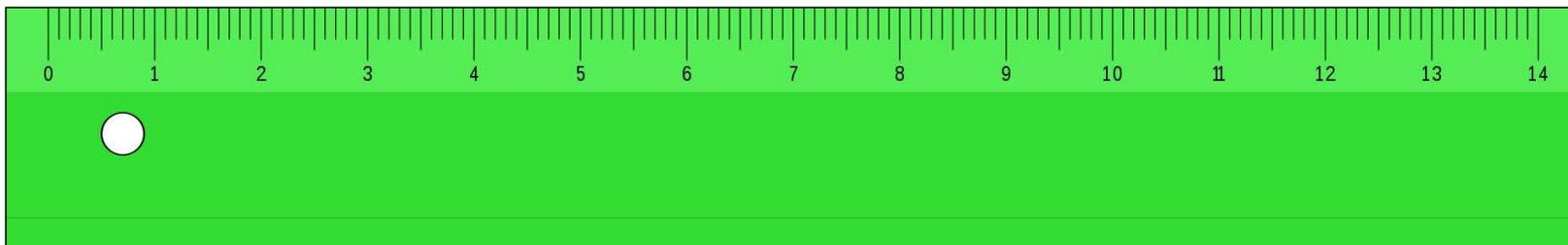
- 弾性散乱
- 非弾性散乱
- 核子移行反応
- 核融合反応



ものの大きさや形をどう測るか？



目で見ると

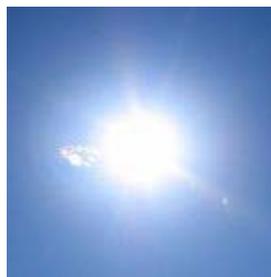
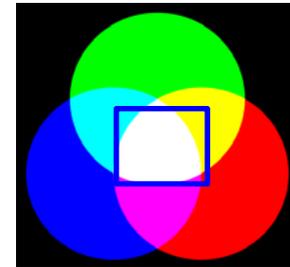


定規で測ると

そもそも、ものが見えるとはどういうことか？

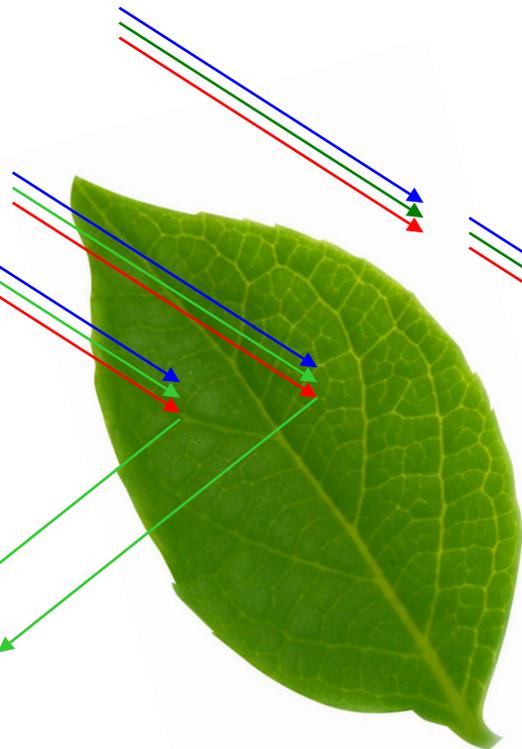


そもそも、ものが見えるとはどういうことか？



太陽

緑色の光だけが
が反射
(他の色は吸収)

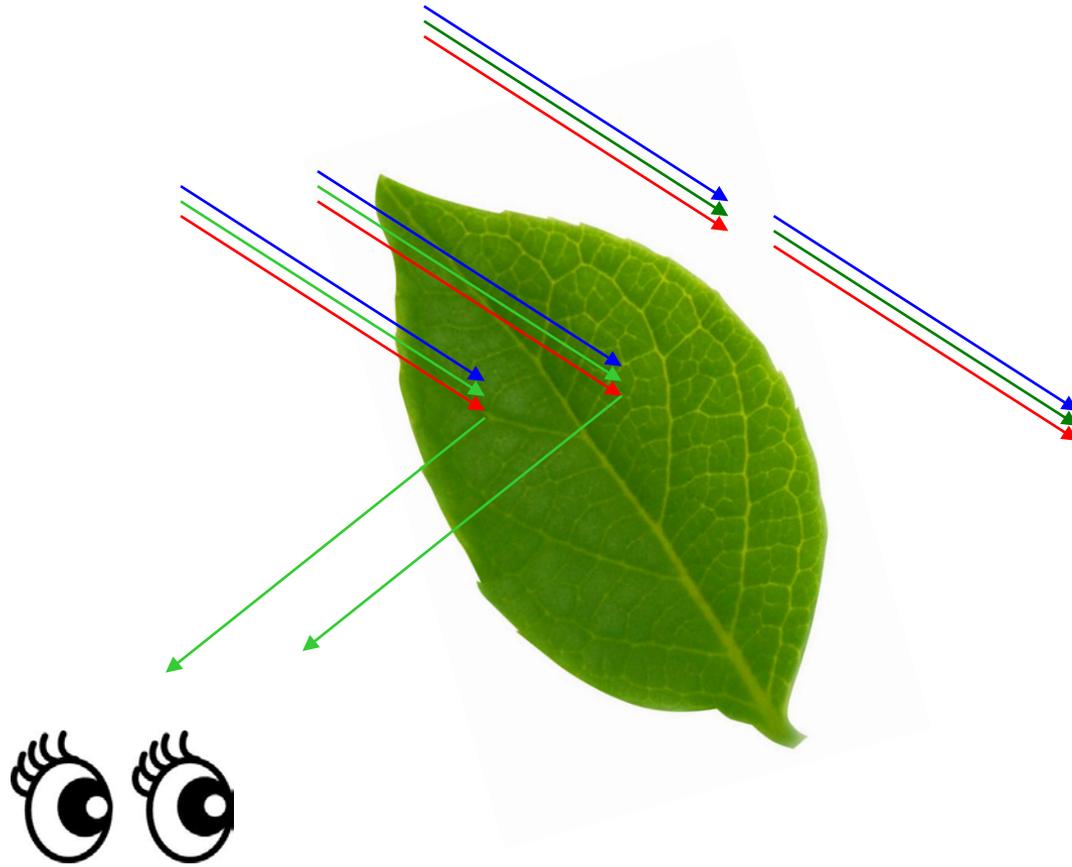


葉に光が当たら
なければ緑は
反射しない



葉の形

そもそも、ものが見えるとはどういうことか？



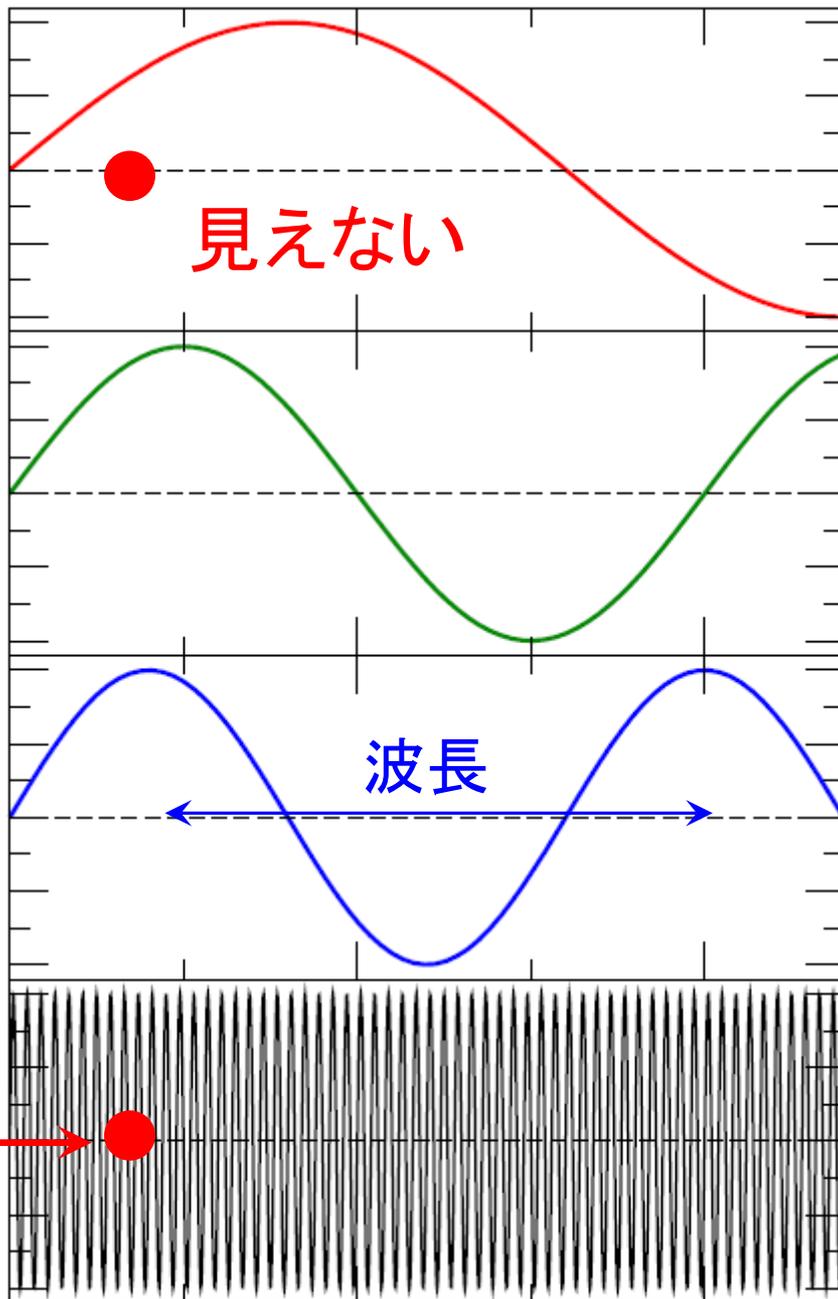
原子核のようなミクロなものの大きさを測るのも基本的には同じ
何かをぶつけて、どのように散乱されるか観測する

光でものを見るためには、その大きさ以下の波長でなければならぬ



小さなものを見るためには、X線やガンマ線が必要。

見える
(細かくスキャンされる)



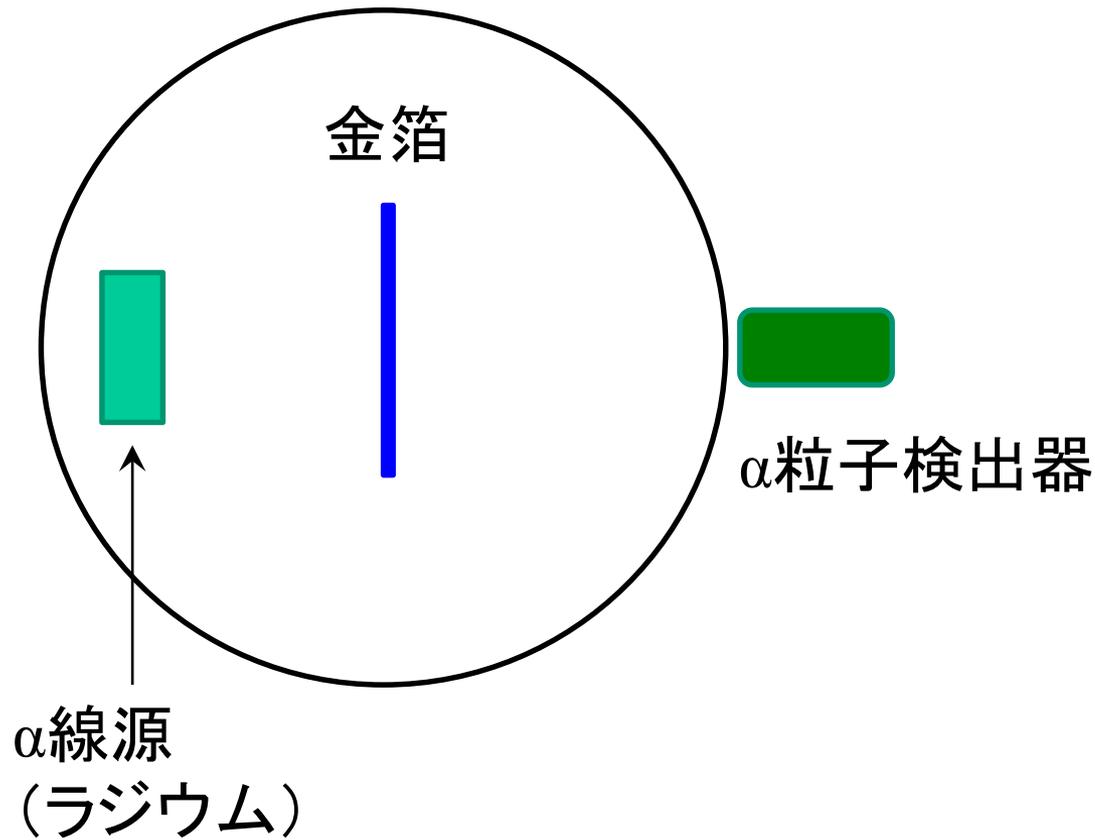
可視光(赤)
~ 800 nm

可視光(緑)
~ 500 nm

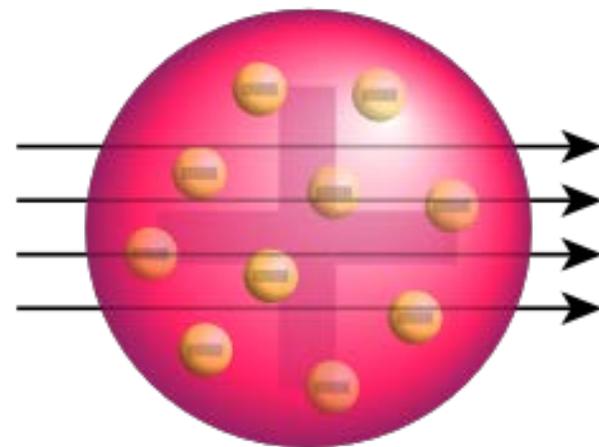
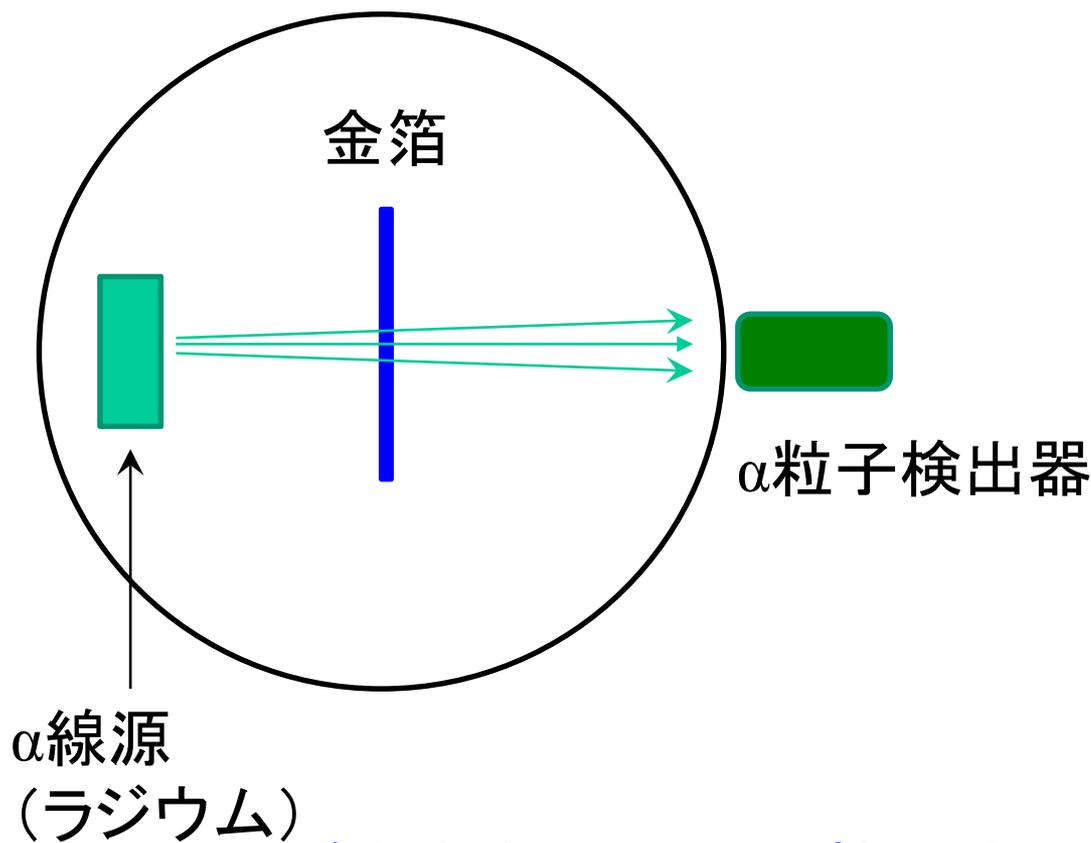
可視光(青)
~ 400 nm

X線
~ 1 pm
- 10 nm

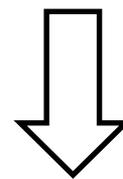
ラザフォード散乱 (ラザフォード、ガイガー、マースデン : 1909年)



ラザフォード散乱 (ラザフォード、ガイガー、マースデン : 1909年)



J.J.トンプソンのブドウパン模型を検証したい

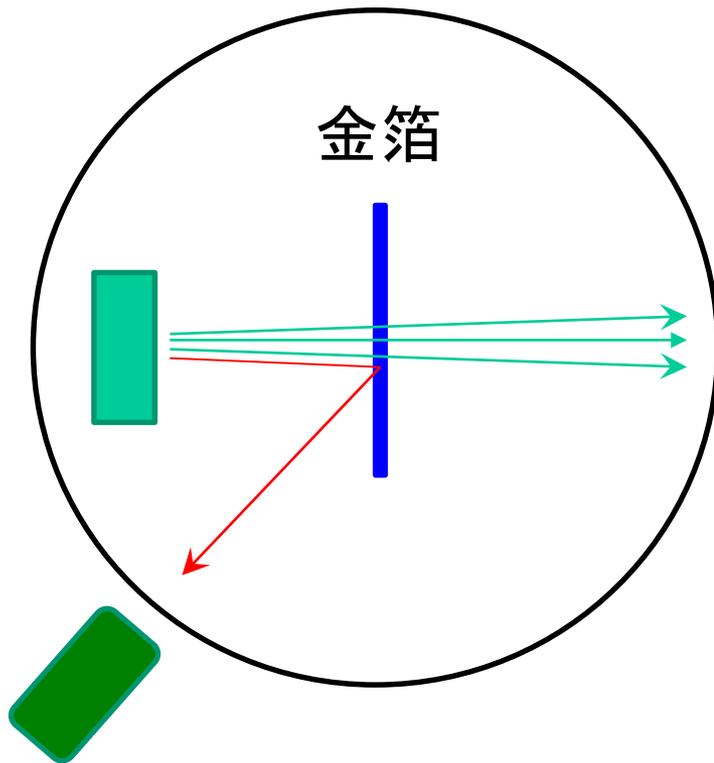


散乱の角度は高々 0.01 度

観測: たいていの α 粒子はほとんど曲げられずに
検出器に入る → ブドウパン模型は正しそうだ(?)

ラザフォード散乱 (ラザフォード、ガイガー、マースデン : 1909年)

試しに検出器を後方角度に置いて見た
(ブドウパン模型が正しければ、何も観測
しないはず)



8千個に1個の割合で後方に跳ね
返ってくる α 粒子を観測
(驚愕の事実)

「砲弾をティッシュペーパーに向かって
撃ったところ、跳ね返されてきた」

α 粒子検出器



S. Kinoshita
(木下季吉)

STAFF AND RESEARCH STUDENTS OF MANCHESTER UNIVERSITY PHYSICS
DEPARTMENT, 1910

W. Eccles S. Kinoshita R. Rossi W. Kay G. N. Antonoff E. Marsder W. C. Lantsberry
 F. W. Whaley H. C. Greenwood W. Wilson W. Borodowsky Miss M. White E. J. Evans H. Geiger T. Tuomikoski
 S. Russ H. Stansfield H. Bateman Prof. Schuster Prof. Rutherford R. Beattie J. N. Pring W. Makower
 R. E. Slade W. A. Harwood

S. Kinoshita
(木下季吉)

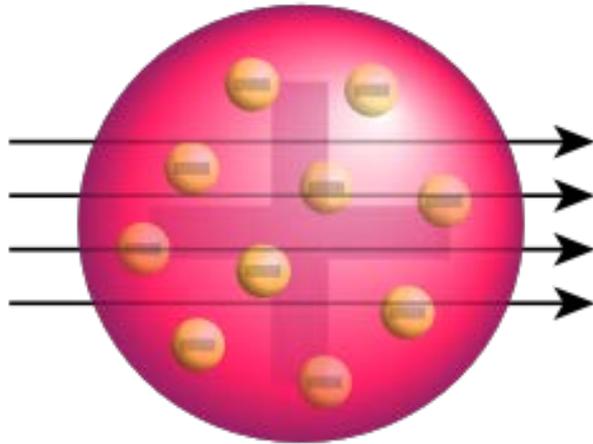


STA

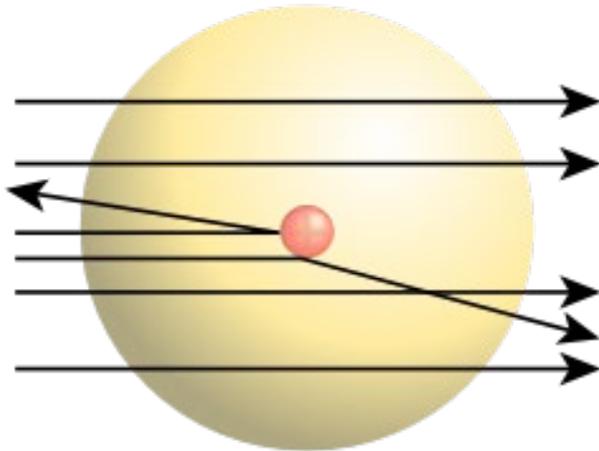
STAFF OF MANCHESTER UNIVERSITY PHYSICS
DEPARTMENT, 1910

W. Eccles S. Kinoshita R. Rossi W. Kay G. N. Antonoff E. Marsden W. C. Lantsberry
F. W. Whaley H. C. Greenwood W. Wilson W. Borodowsky Miss M. White E. J. Evans H. Geiger T. Tuomikoski
S. Russ H. Stansfield H. Bateman Prof. Schuster Prof. Rutherford R. Beattie J. N. Pring W. Makower
R. E. Slade W. A. Harwood

ラザフォード散乱 (ラザフォード、ガイガー、マースデン : 1909年)



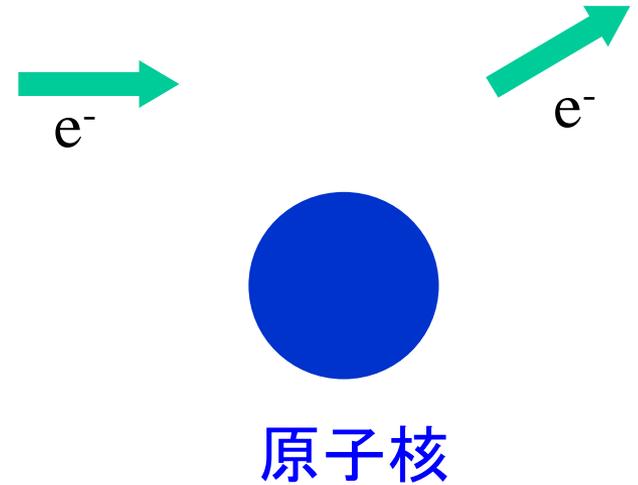
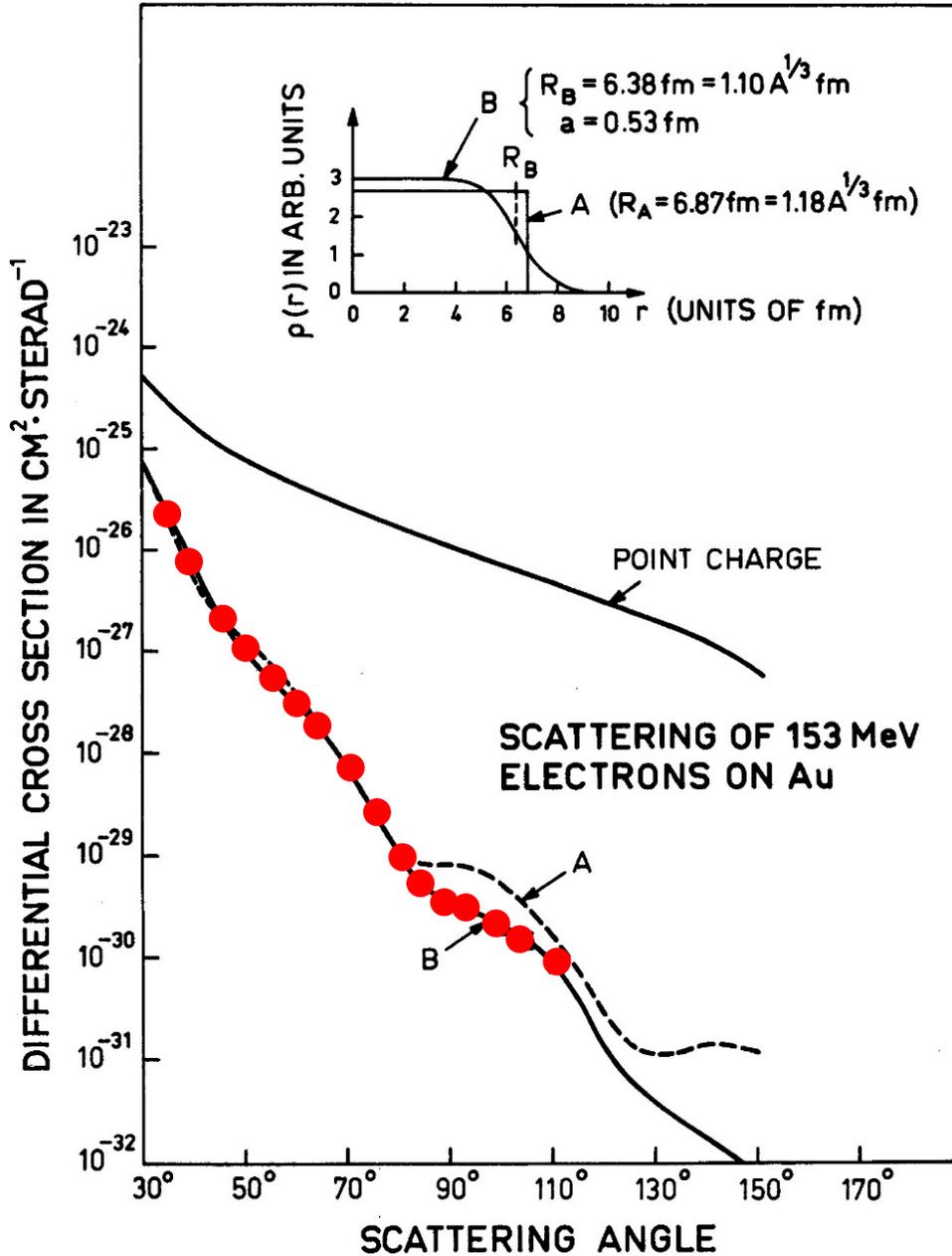
J.J. トムソンのぶどうパン模型



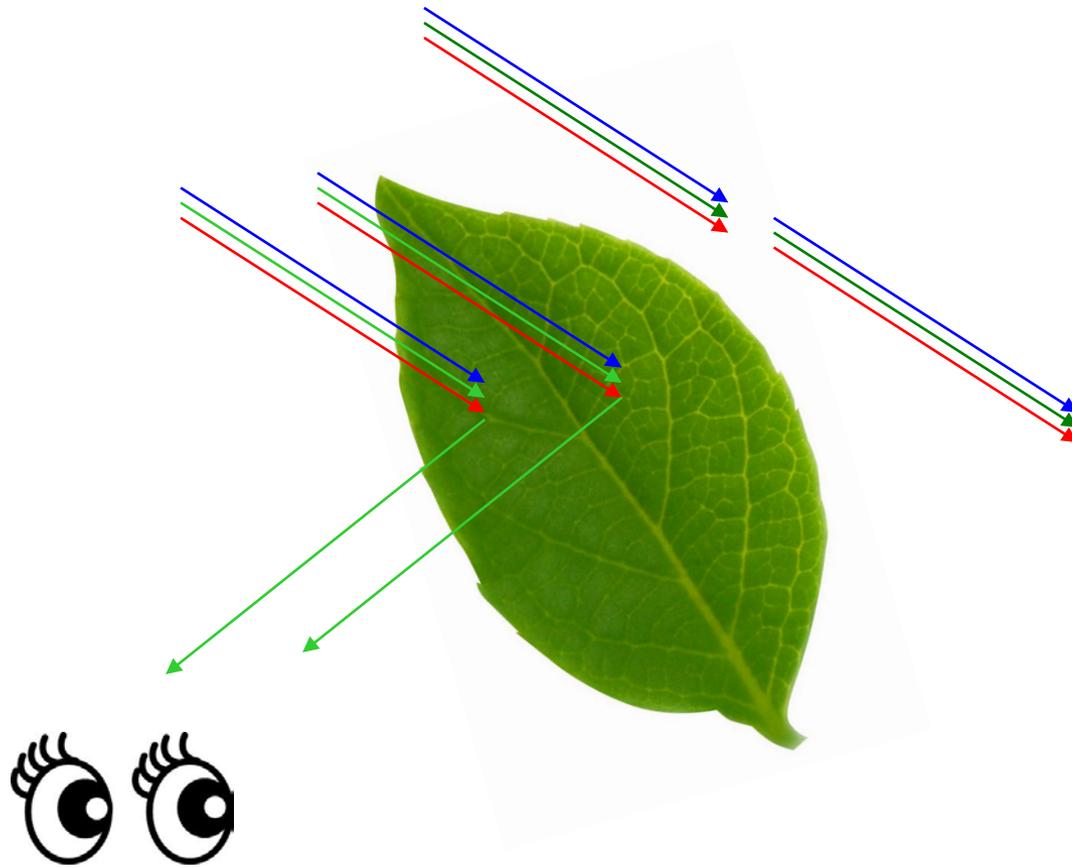
ラザフォードの有核原子模型
(原子核を点状粒子とみなした
解析)

→ 原子核の大きさは約 2×10^{-14} m 以下

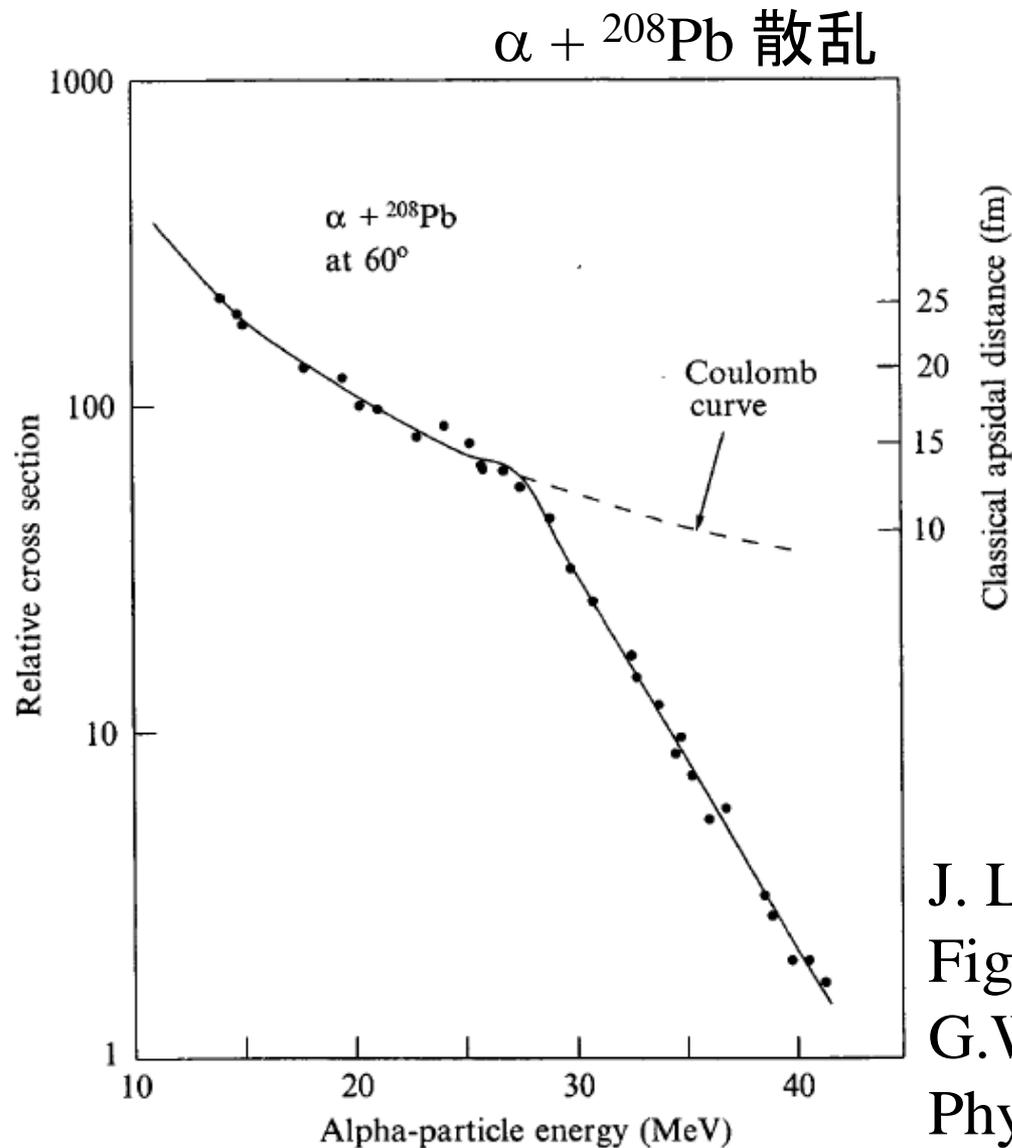
電子散乱



原子核の吸収から原子核の大きさを見る



原子核の吸収から原子核の大きさを見る

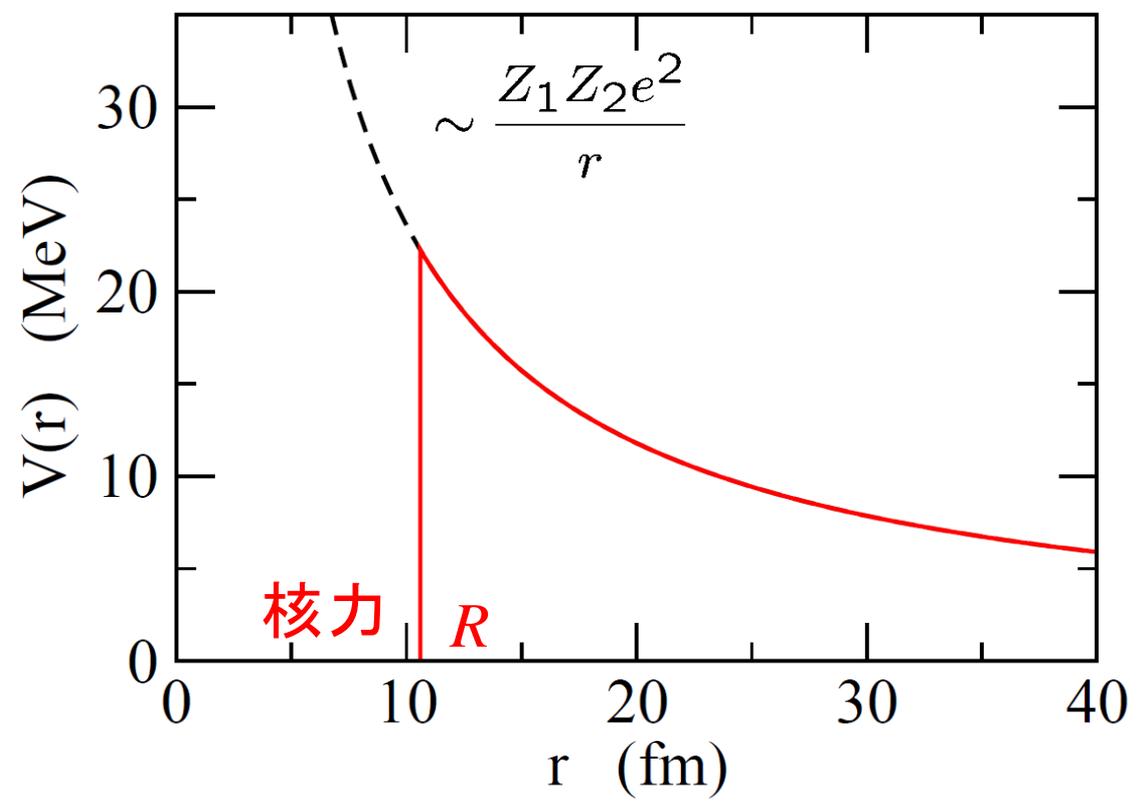
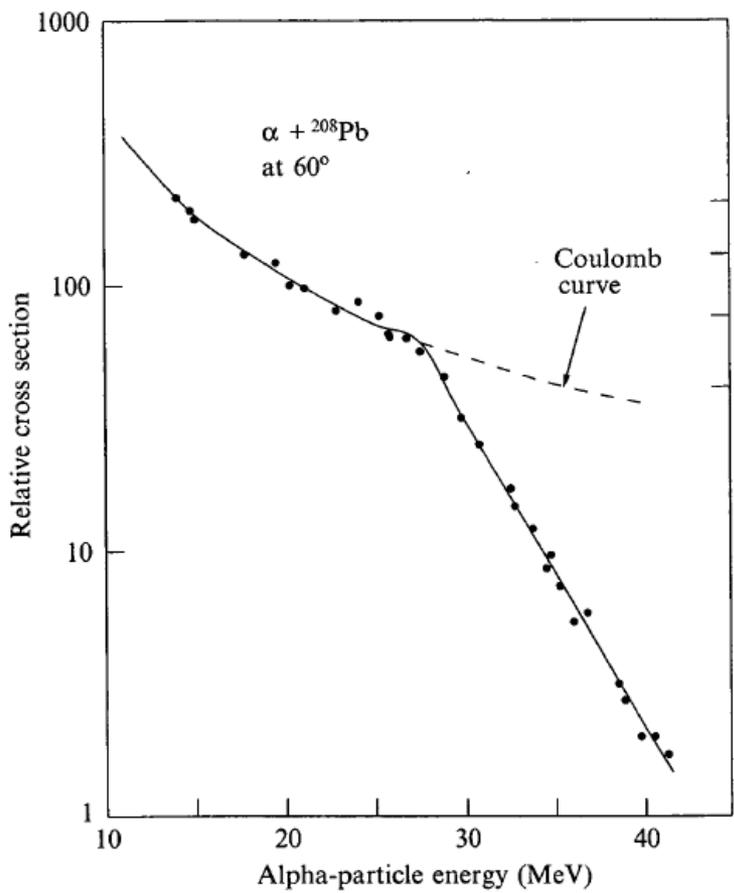


J. Lilley, "Nuclear Physics" (Wiley)
Fig. 1.13.

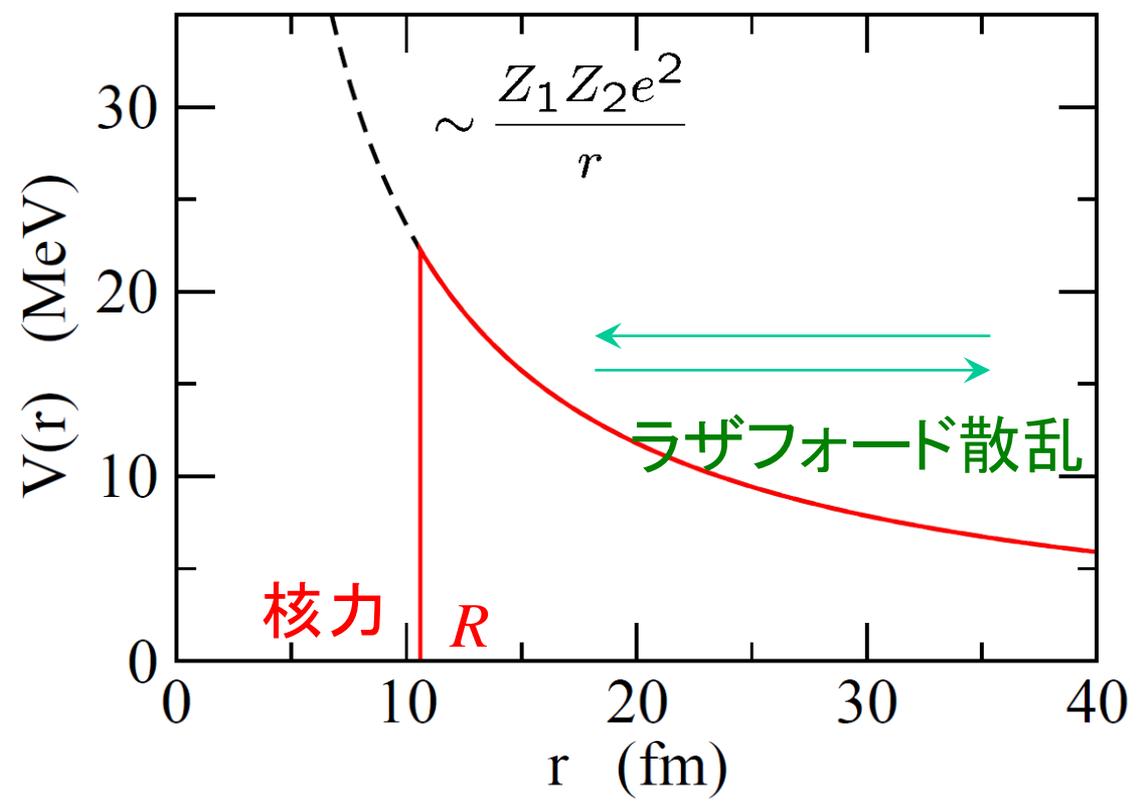
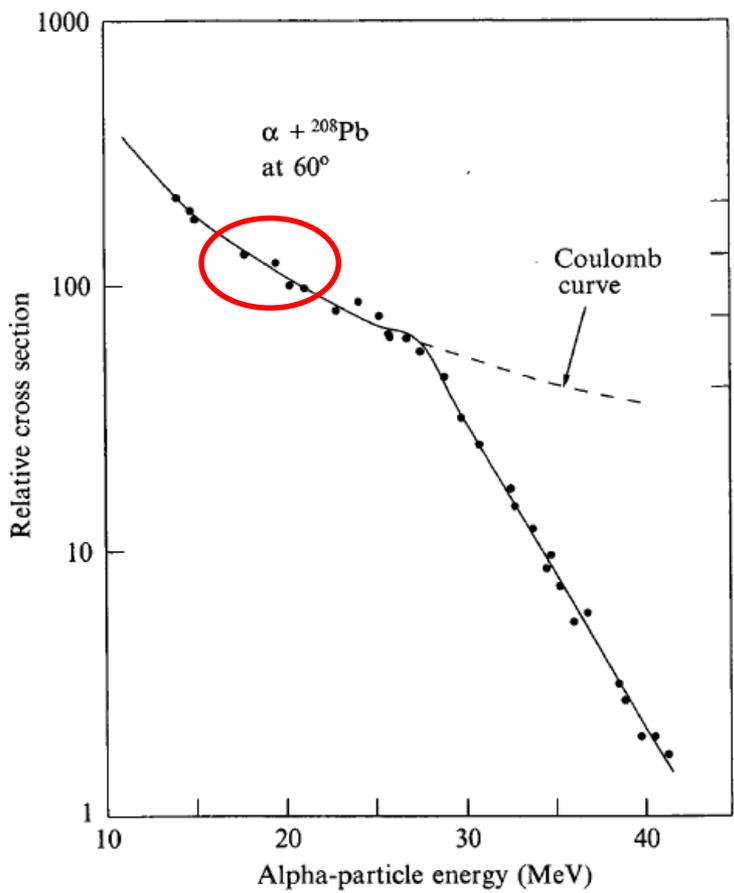
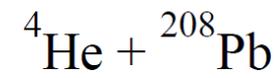
G.W. Farwell and H.E. Wegner,
Phys. Rev. 95 ('54) 1212.

原子核の吸収から原子核の大きさを見る

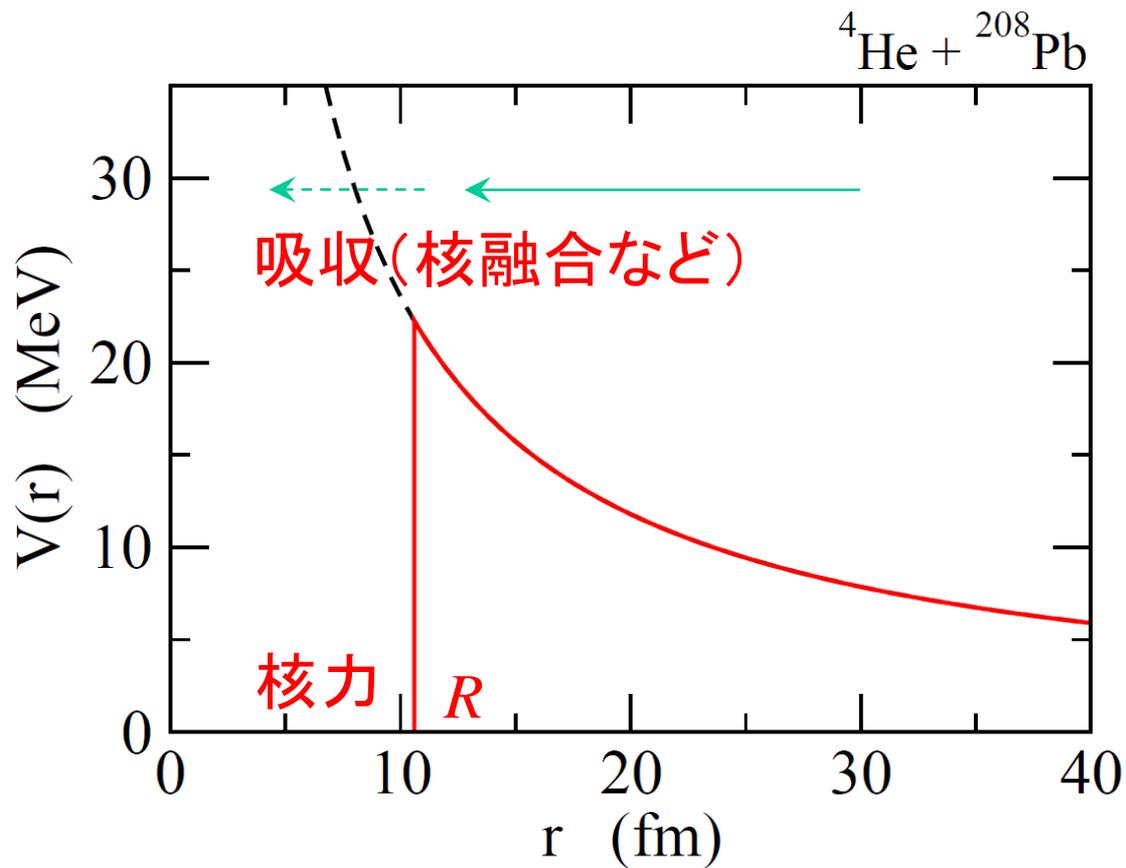
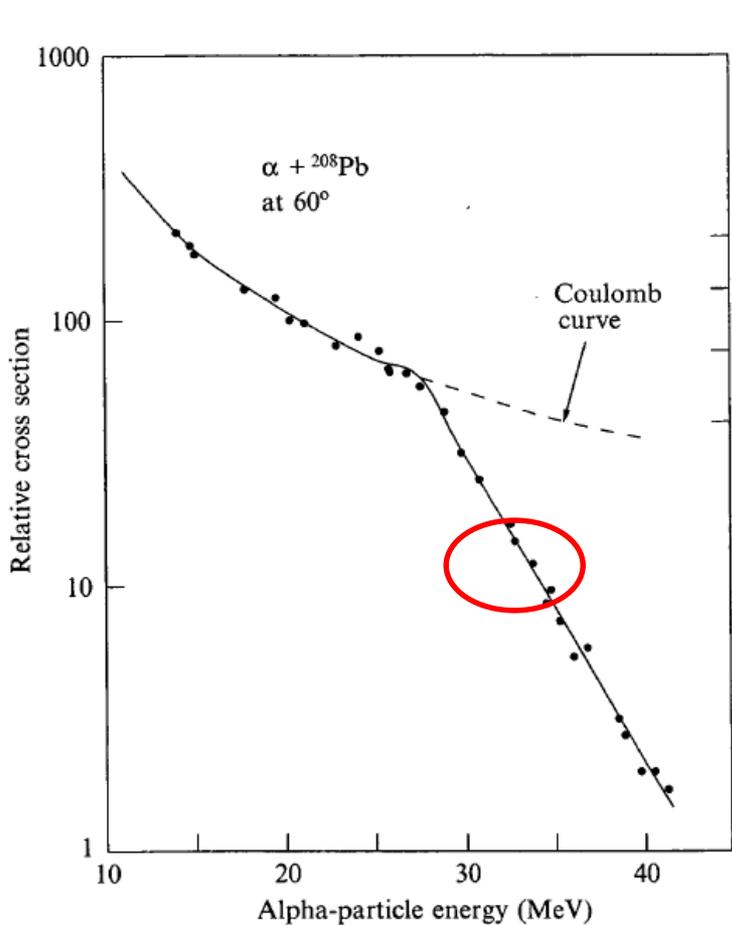
${}^4\text{He} + {}^{208}\text{Pb}$



原子核の吸収から原子核の大きさを見る



原子核の吸収から原子核の大きさを見る

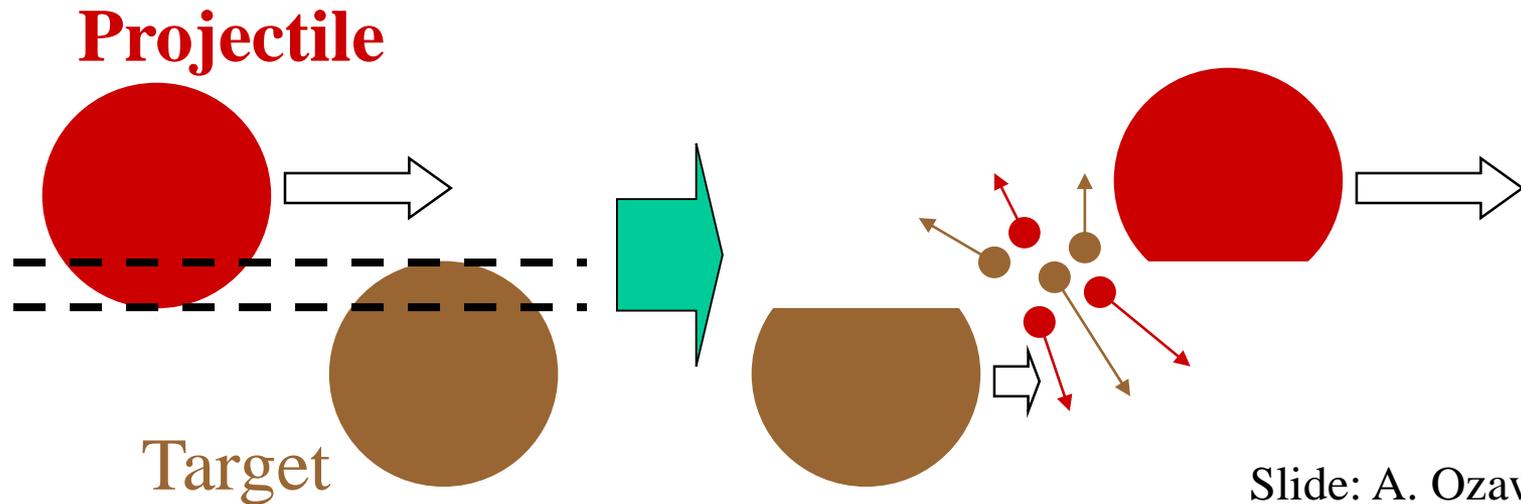
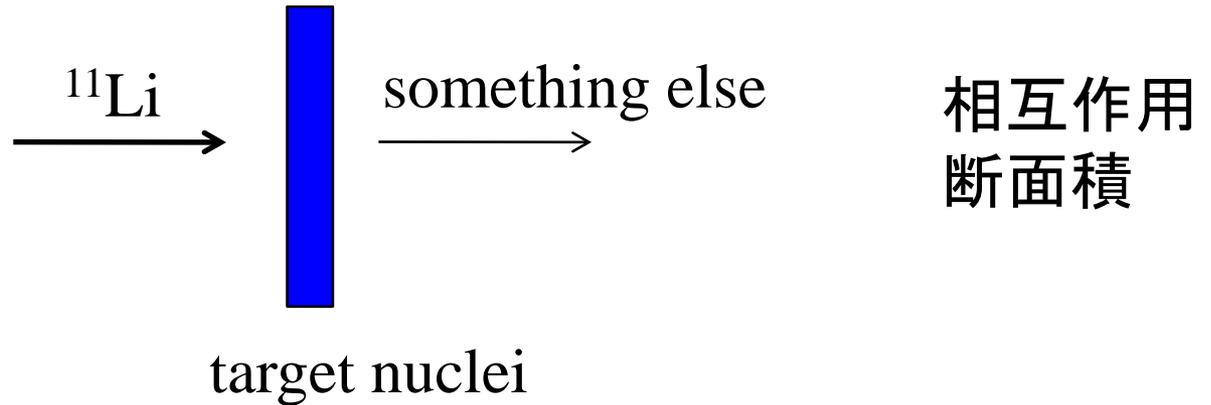


$$\rightarrow R \sim 1.41 A^{1/3} + 2.11 \text{ fm}$$

(核力のレンジや密度分布のテールの効果により
実際の半径はもう少し小さい)

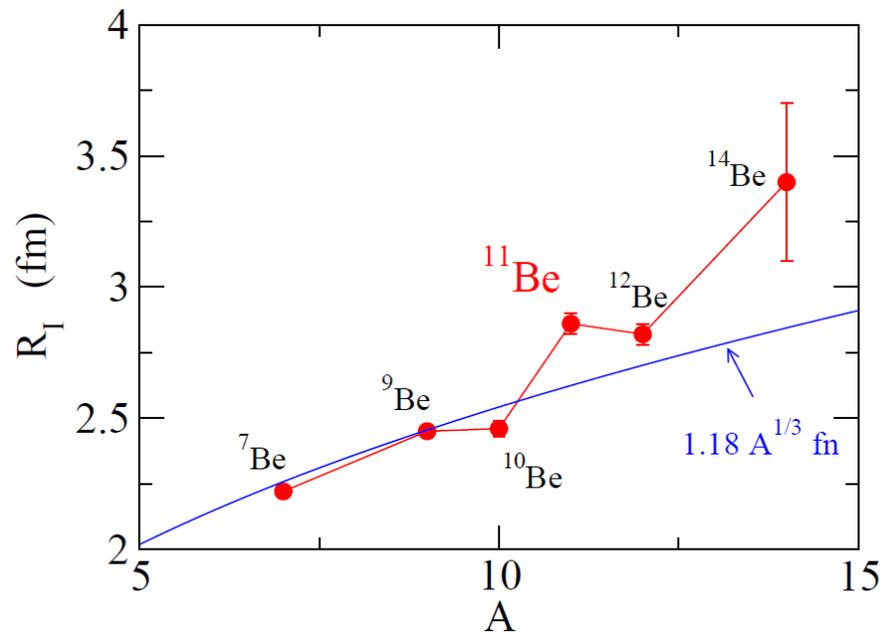
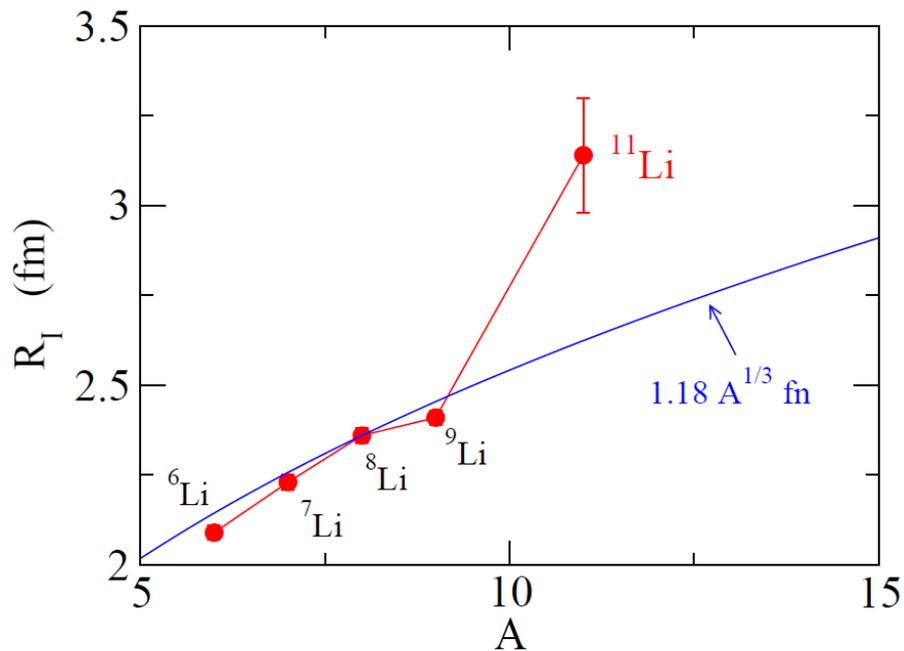
原子核を壊して原子核の大きさを見る

高いエネルギーでぶつけて壊す



2つの原子核が重なった時だけ壊れる → 原子核の半径

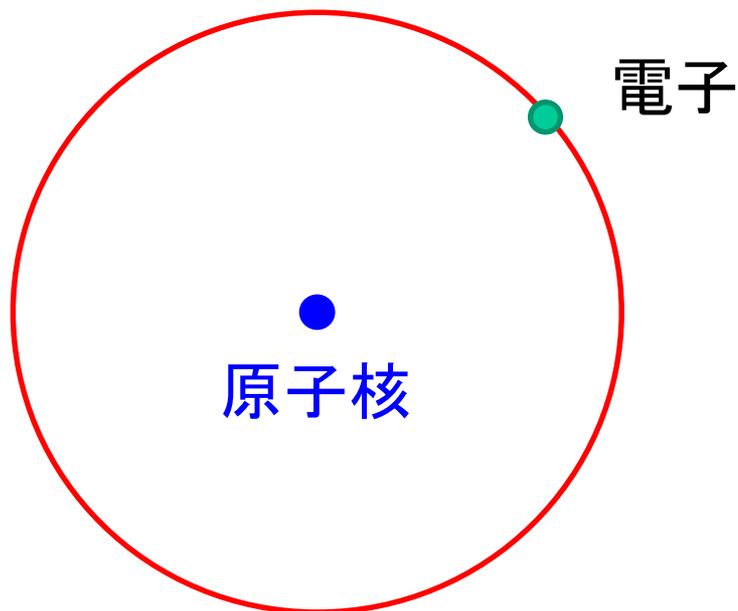
ハロー原子核の発見



I. Tanihata, T. Kobayashi, O. Hashimoto
et al., PRL55('85)2676; PLB206('88)592



分光実験による原子核の大きさ



原子核が点電荷だとすると:

$$V(r) = -\frac{Ze^2}{r}$$

→
$$E_n = -\frac{1}{2}m_e c^2 \frac{(Z\alpha)^2}{n^2}$$

$$n = n_r + l + 1$$

ボーア半径:

$$a_B = \frac{\hbar}{m_e c \alpha}$$

分光実験による原子核の大きさ

実際には原子核は点電荷ではない

➡ スペクトルがずれる

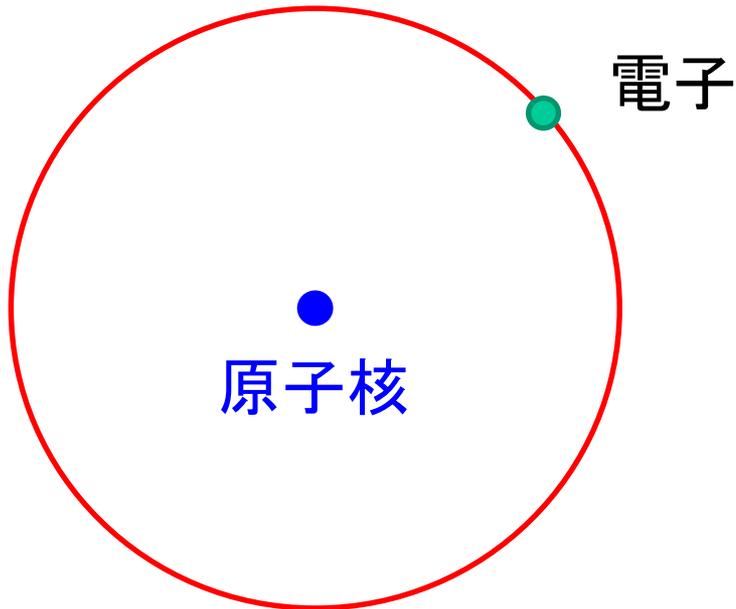
このずれ具合から原子核の大きさを見積もる

ボーア半径:
$$a_B = \frac{\hbar}{m_e c \alpha}$$

→ μ 粒子を使うと電子の場合より軌道が内側に入り、原子核の情報を見やすい

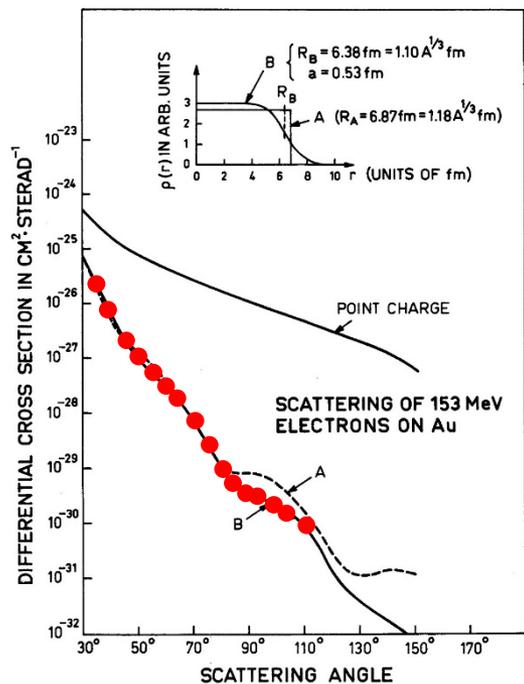
$$m_\mu = 206.7 m_e$$

→ $R \sim (1.2 \pm 0.03) A^{1/3} \text{ fm}$ (八木浩輔「原子核物理学」p.13)

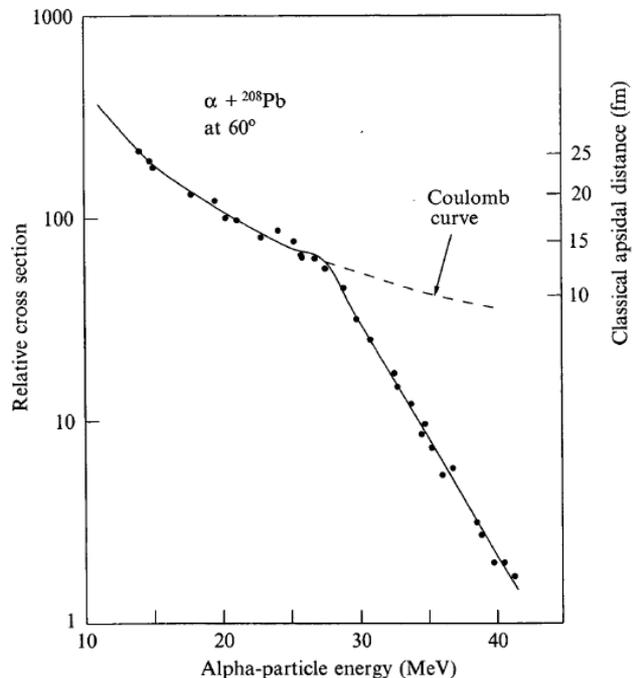


まとめ: 原子核の半径をどう測るか?

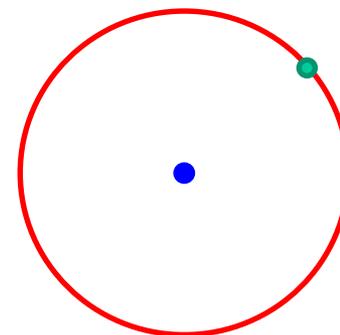
電子散乱



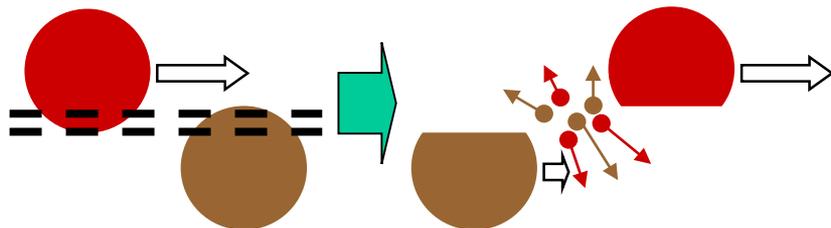
吸収断面積



分光実験



相互作用断面積



陽子半径パズル

