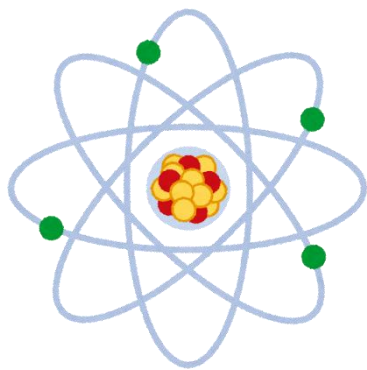


通れないはずの壁を原子核が通りぬける : 星が輝くわけと量子力学のふしぎ



萩野浩一

理化学研究所仁科加速器科学研究センター
京都大学大学院理学研究科



今日のキーワード

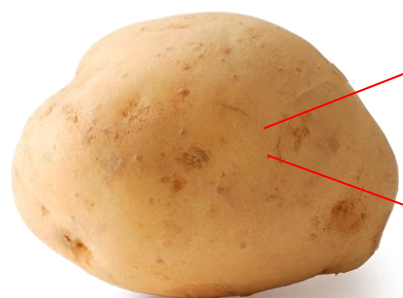
「量子トンネル現象」

原子核で起こるいろいろな量子の不思議をお話したいと思います。

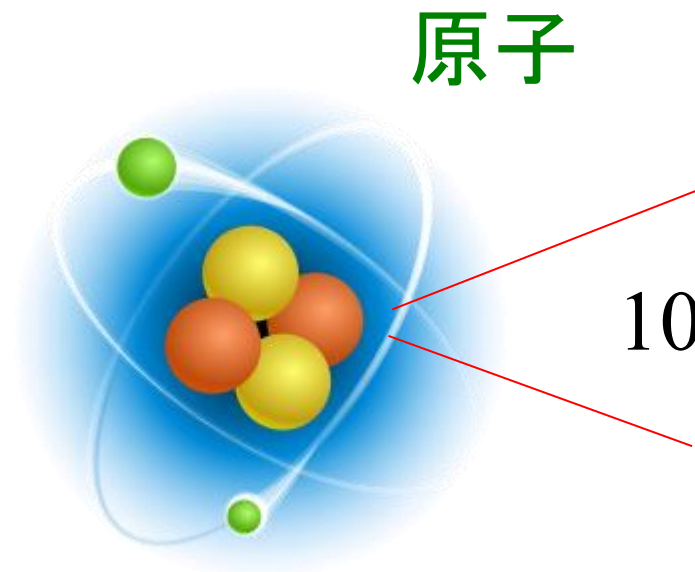
原子核って何？

すべての「もの」は原子からできている

原子核は原子の「核」



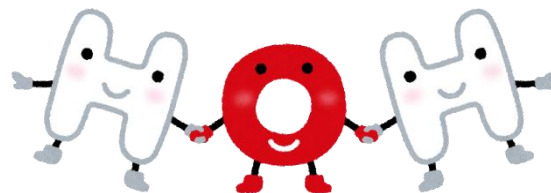
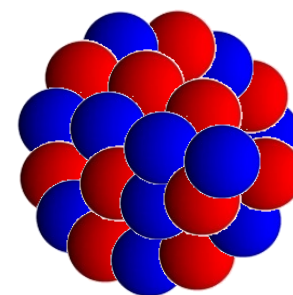
10億倍



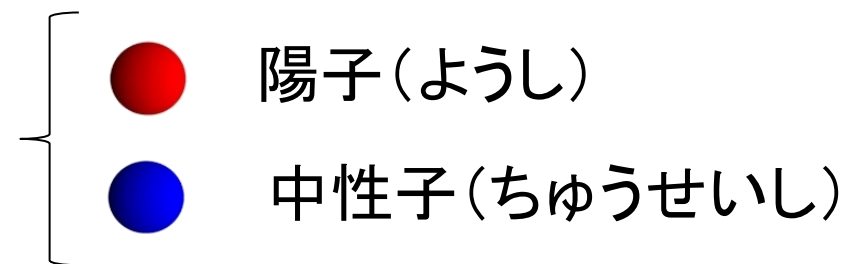
原子

10万倍

原子核



水も H_2O



の2種類の粒子から
出来ています

原子核って何？

原子核の大きさはどのくらい？



原子核は原子の約10万分の1の大きさ



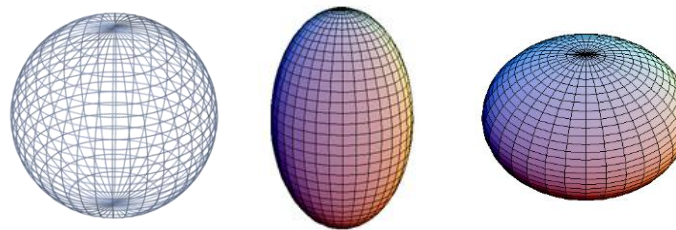
湯川秀樹

どうして陽子や中性子を
こんな小さいところに
閉じ込めておけるのか？

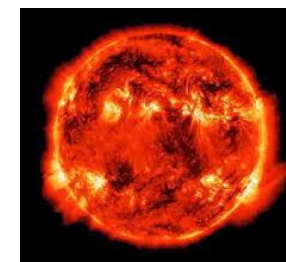


小さくても面白い原子核

いろいろな形



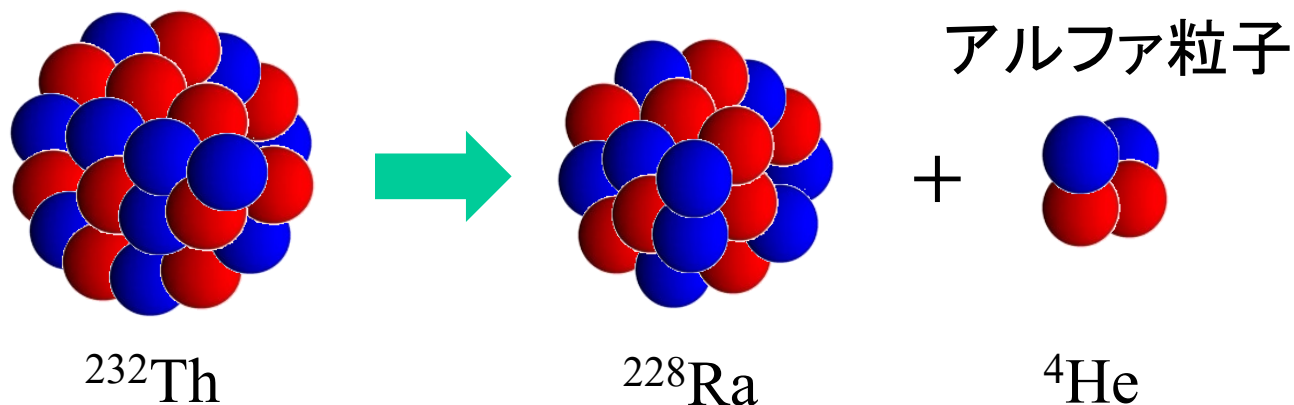
核融合反応



星が光ってるわけ

原子核と量子力学

アルファ崩壊



重い原子核は時間がたつと自然に2つに分かれる

(例えば) ^{232}Th (トリウム232: 陽子90個 + 中性子142個)

約140億年経つと ^{228}Ra (ラドン228) と ^4He (ヘリウム4) に分かれる

【ところが】 ^{230}Th (トリウム230: 陽子90個 + 中性子140個) だと
約7万6千年で分かれる

原子核の寿命

^{232}Th : 約140億年
 ^{230}Th : 約7万6千年

中性子の数がたった2つだけ
変わっただけで、なんで寿命
がこんなに違うのだろう？



大きな謎

原子核と量子力学

ジョージ・ガモフ (1904-1968)



<https://astro-dic.jp/gamow-george/>

1928年、量子力学を使って
この謎を解明



当時、量子力学はできたてホヤホヤ

1925年: ハイゼンベルクの行列力学

1926年: シュレーディンガー方程式

1927年: 不確定性原理

当時、量子力学が実際の現象に
使えるかどうか人々は半信半疑

→ガモフの発見が量子力学の成功の有力な証拠の1つに！

量子力学の発展に原子核が大きな役割を果たした

原子核の寿命

^{232}Th : 約140億年

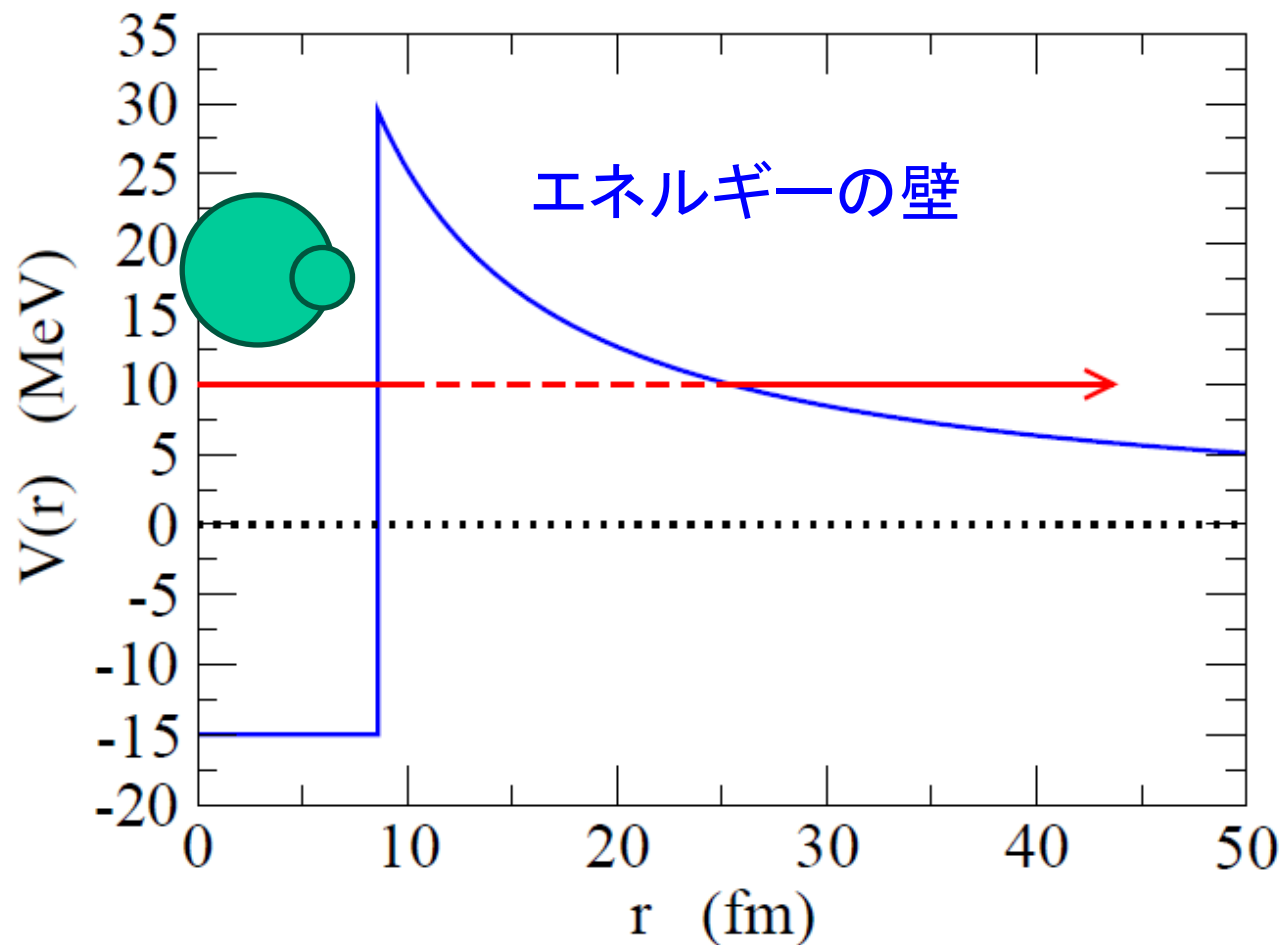
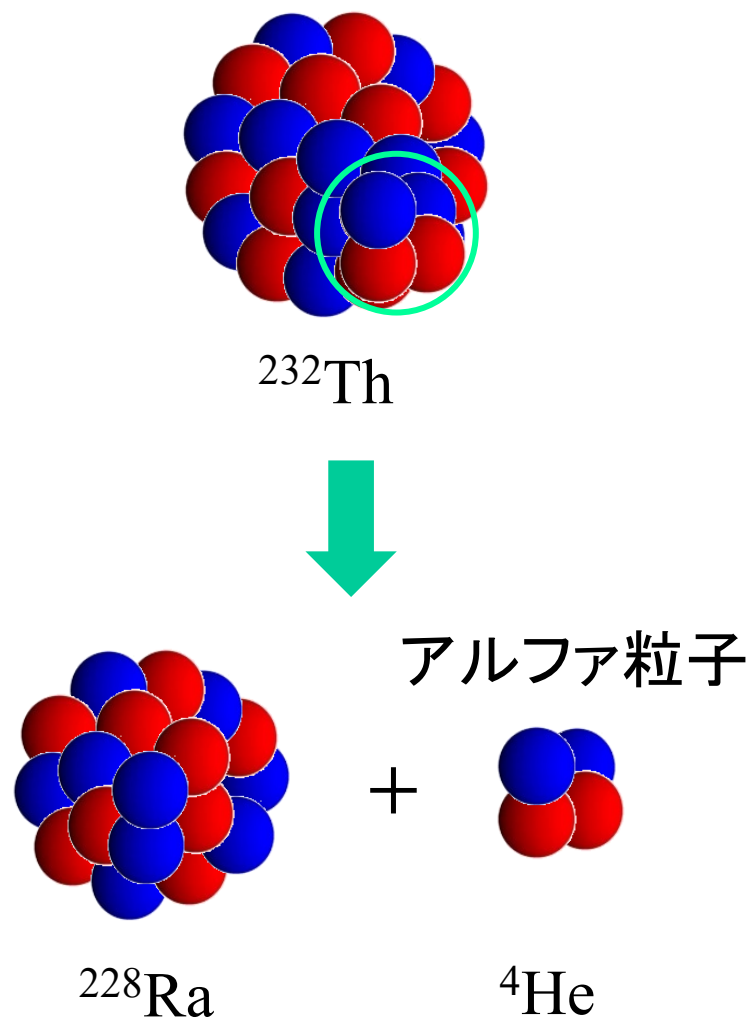
^{230}Th : 約7万6千年

中性子の数がたった2つだけ
変わっただけで、なんで寿命
がこんなに違うのだろう？



大きな謎

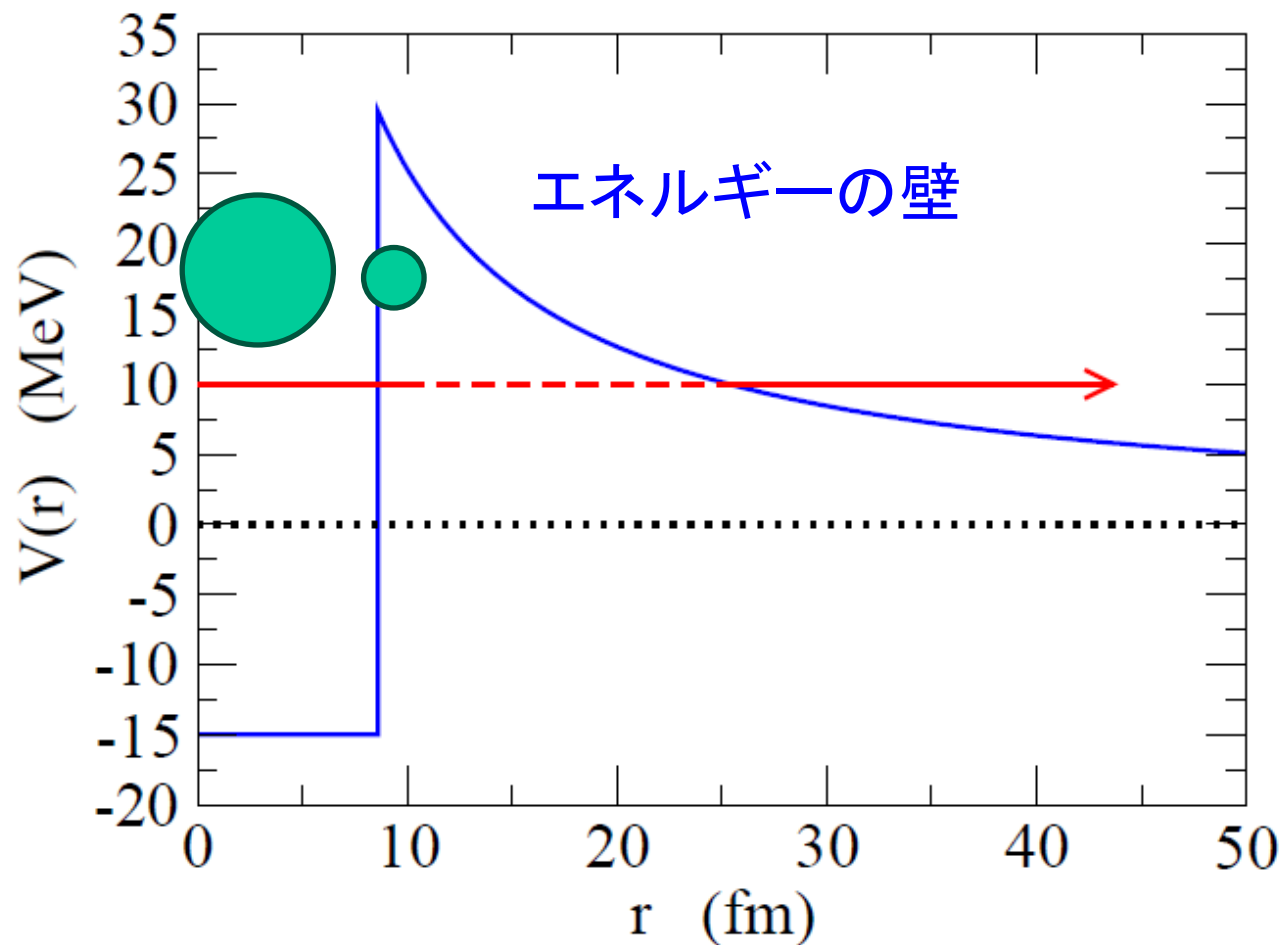
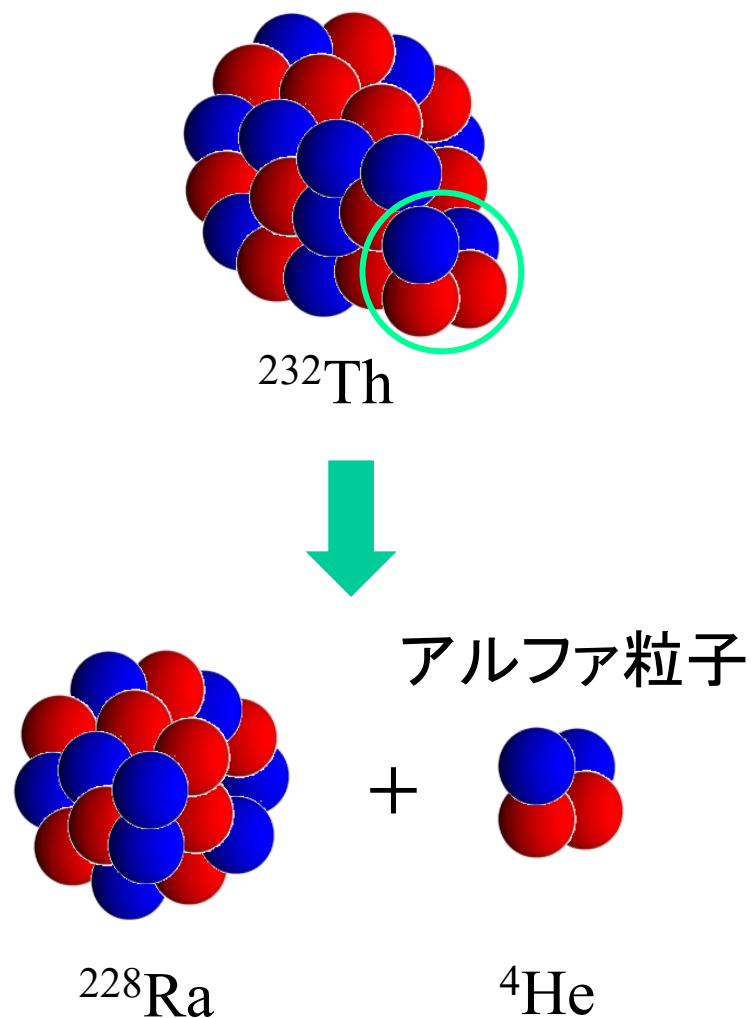
アルファ崩壊



最初、アルファ粒子は原子核のエネルギーの壁に閉じ込められている

→量子力学では、極まれに壁を通り抜けられる

アルファ崩壊



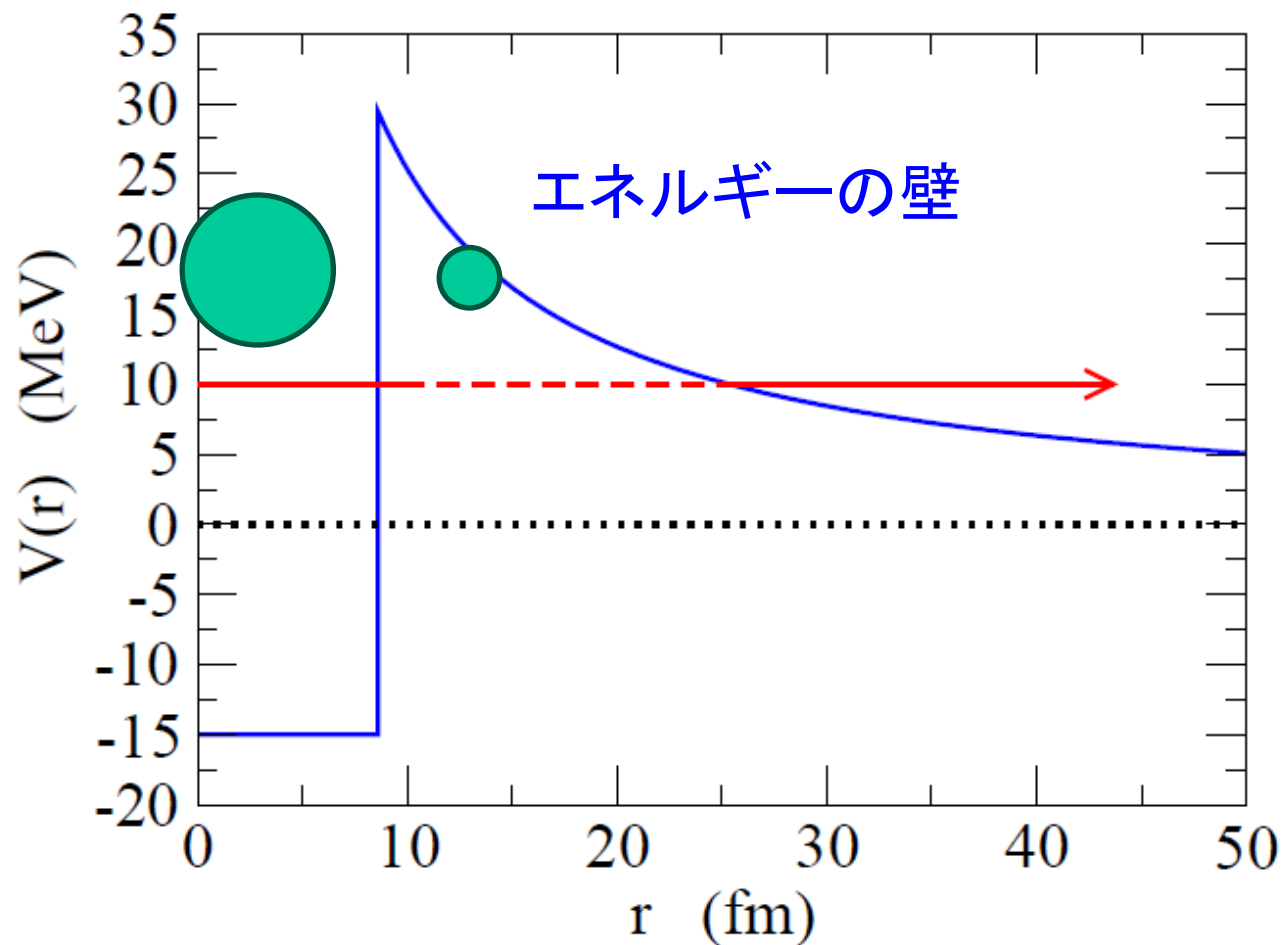
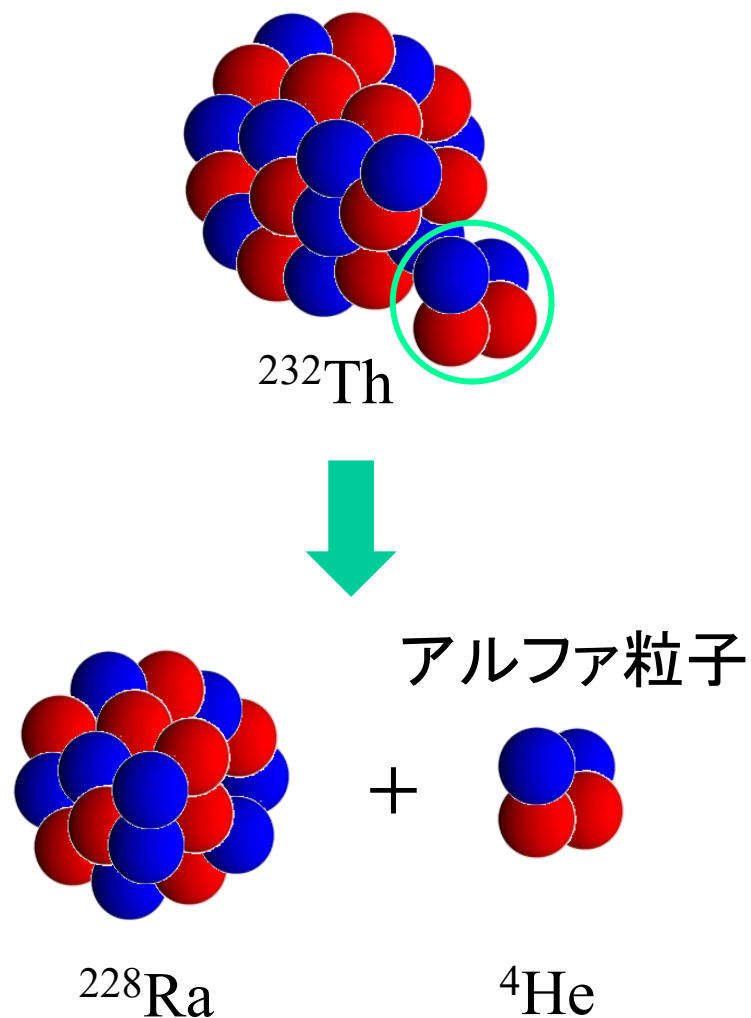
最初、アルファ粒子は原子核のエネルギーの壁に閉じ込められている

→量子力学では、極まれに壁を通り抜けられる

原子核と量子力学

ガモフの考え方

アルファ崩壊



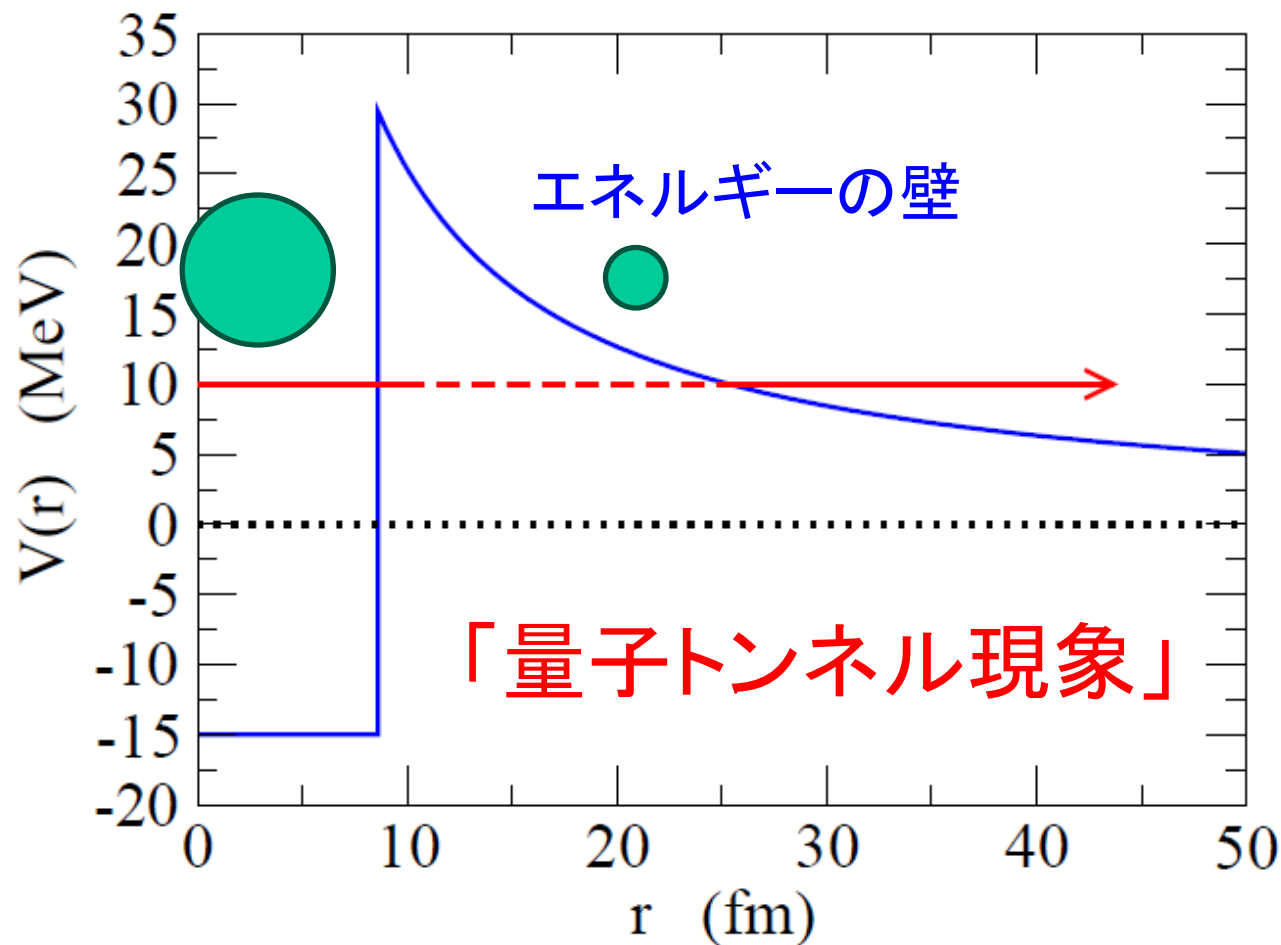
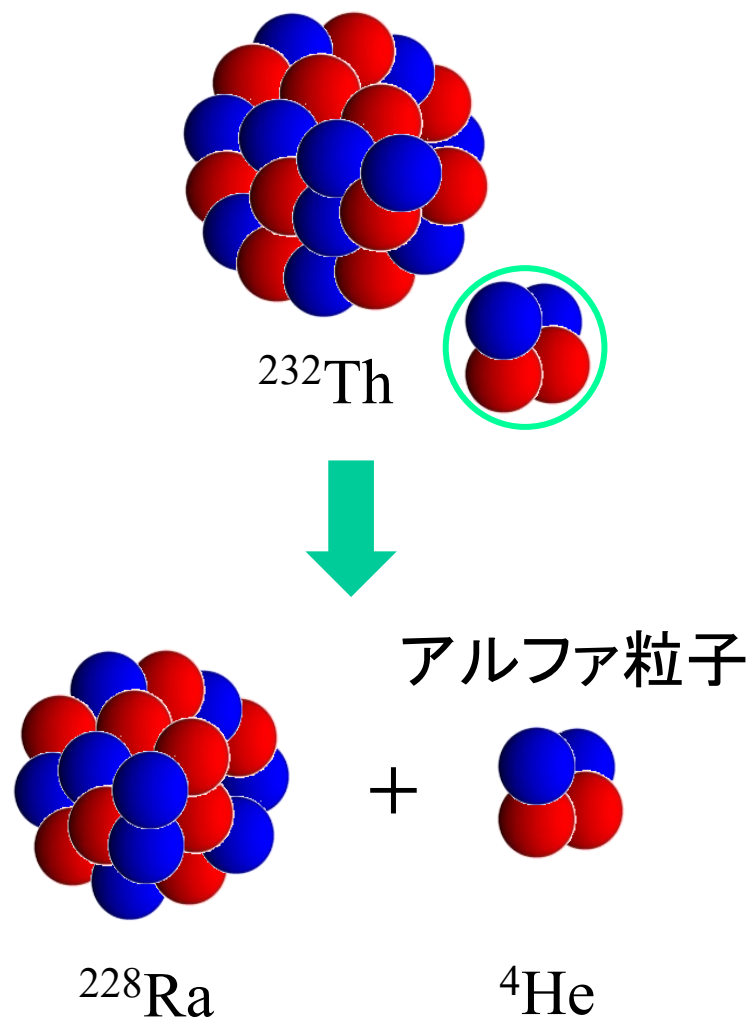
最初、アルファ粒子は原子核のエネルギーの壁に閉じ込められている

→量子力学では、極まれに壁を通り抜けられる

原子核と量子力学

ガモフの考え方

アルファ崩壊



最初、アルファ粒子は原子核のエネルギーの壁に閉じ込められている

→量子力学では、極まれに壁を通り抜けられる

原子核と量子力学

量子トンネル現象

ごく稀にしか起こらない

→条件が少しでも変わると
確率が大きく変化

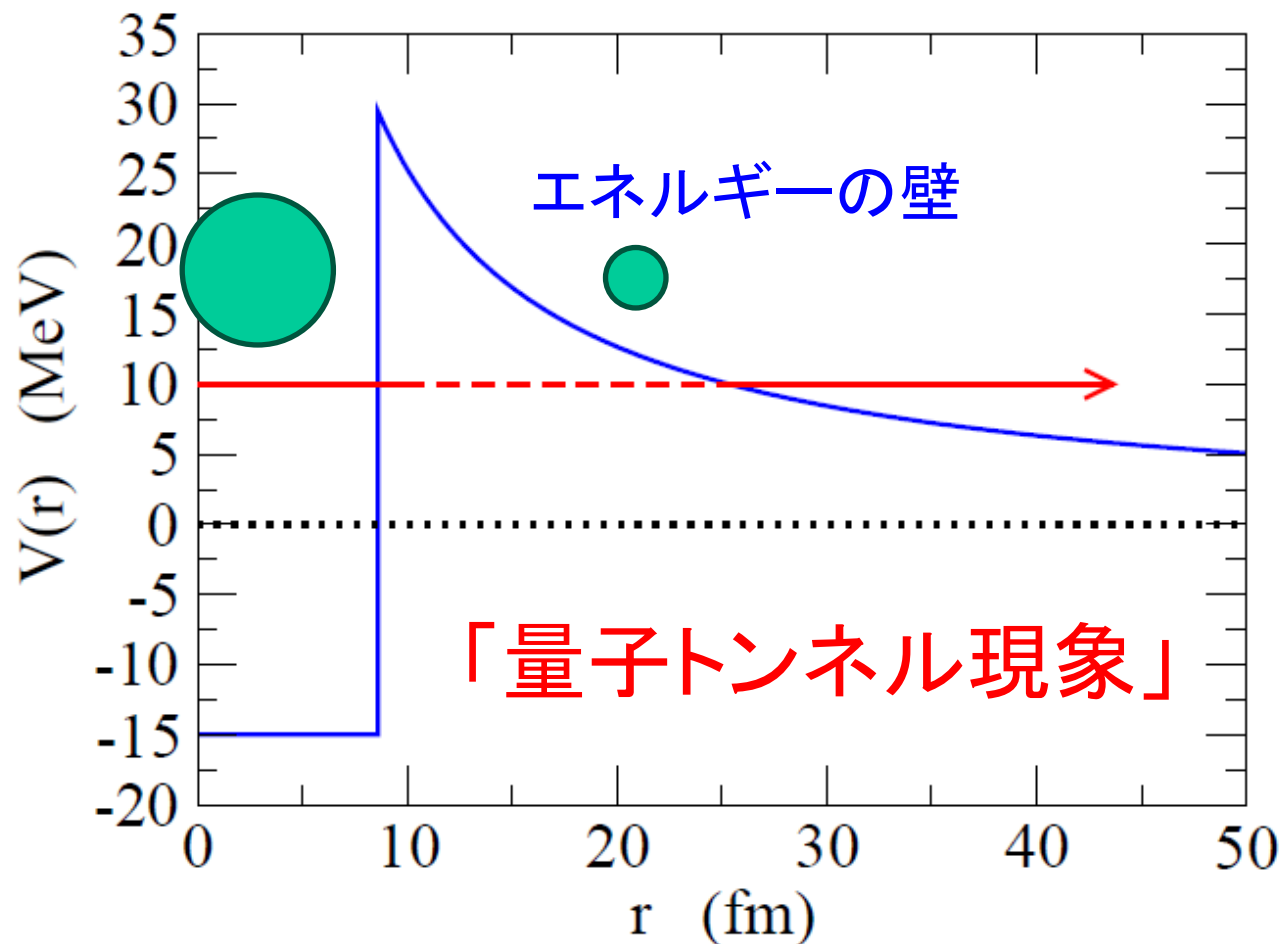
原子核の寿命

^{232}Th : 約140億年

^{230}Th : 約7万6千年

中性子の数が変わると、ほんの
少しだけアルファ粒子の勢い
(エネルギー)が変わる

ガモフの考え方



最初、アルファ粒子は原子核のエネルギーの壁
に閉じ込められている

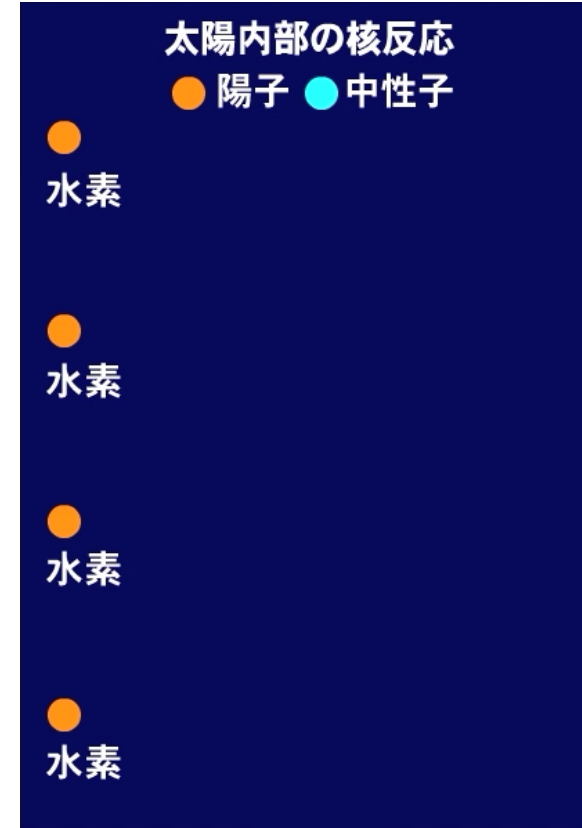
→量子力学では、極まれに壁を通り抜けられる

量子トンネル現象と天体現象

量子トンネル現象は我々の身近なこととも関係している



Wikipedia

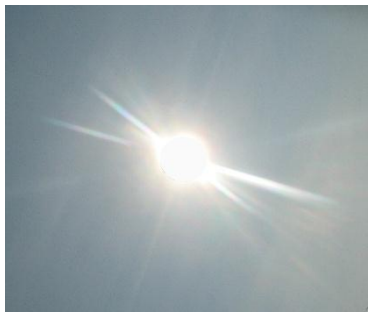


国立科学博物館

<https://www.kahaku.go.jp/exhibitions/vm/resource/tenmon/space/sun/sun01.html>

太陽が輝いているわけ: 太陽の中で陽子と陽子が核融合することで熱が発生

量子トンネル現象と天体現象



陽子は+の電気を持つので、陽子と陽子は反発

→勢いをつけてぶつけないと核融合が起きない(エネルギーの壁がある)



太陽の中でエネルギーの壁を乗り越えるには**1億2千度**以上の高温が必要

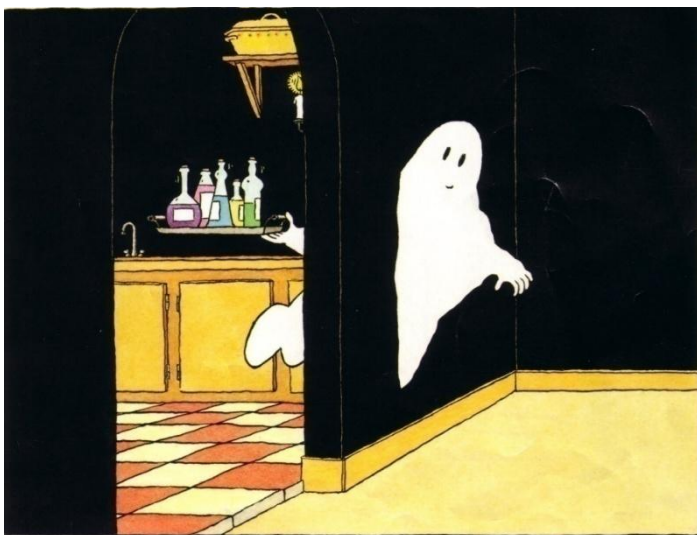
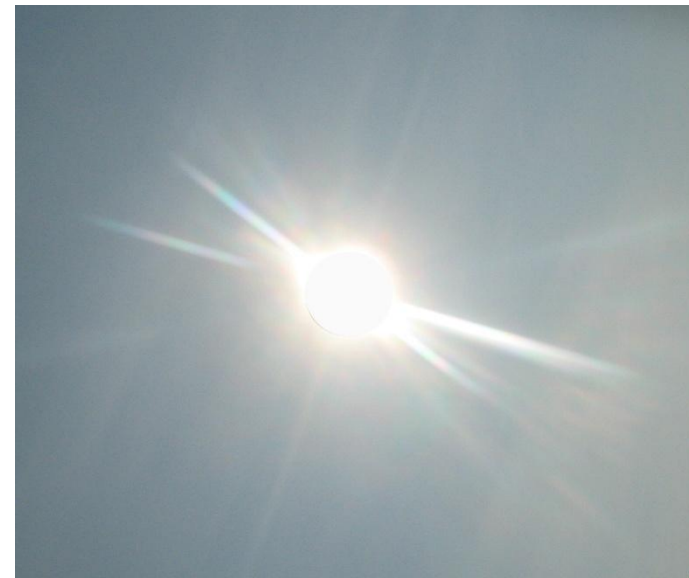
→ 実際には、太陽の中心温度は **1500 万度**

太陽が燃えない!!



**量子トンネル
現象!**

量子トンネル現象と天体現象



ジャック・デュケノワ著「おばけパーティー」(ぽるぷ社)より

量子トンネル現象で越えられないはずの壁を通り抜けて太陽が輝いている!

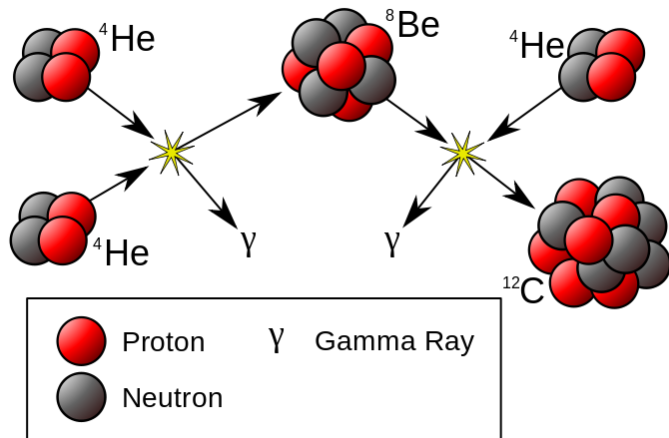
量子トンネル現象と天体現象



量子トンネル現象でエネルギーの壁を越えて太陽が輝いている!

量子トンネル現象は稀にしか起きない

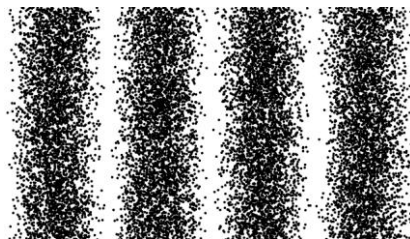
←太陽があつという間に燃え尽きないわけ



星の中で炭素や酸素ができるのも、
量子トンネル現象による核融合反応のため

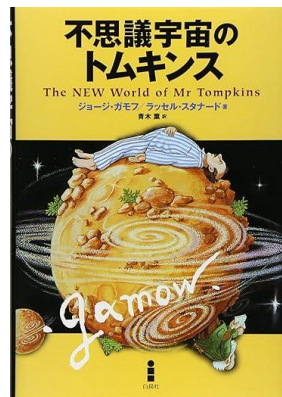
量子トンネル現象

量子力学



ジョージ・ガモフ
「不思議の国のトムキンス」より

* アルファ崩壊の理論と同じ人

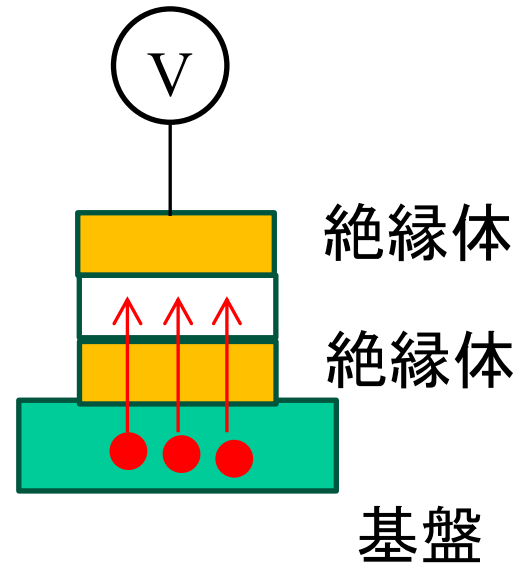


量子トンネル現象と半導体デバイス

もっと身近なところにも量子トンネル現象が使われている



フラッシュメモリ



パソコンや
USBメモリにも

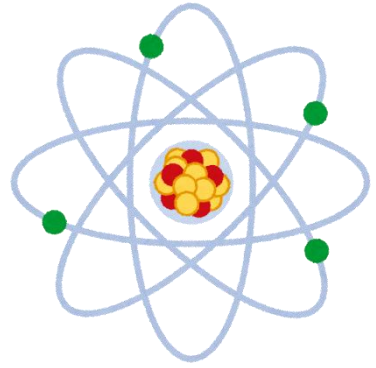
スマートフォンで写真を撮ると：
→ デジタル情報が**量子トンネル現象**でスマートフォン
の中の「フラッシュメモリ」に保存される

電圧をかけると量子トンネル現象
により電子が移動

→ 電子があるかないかで
「1」と「0」を区別

まとめ

原子核は量子現象の宝庫



量子トンネル現象 : アルファ崩壊、核融合、核分裂など。

量子干渉現象 : 原子核の弾性散乱など

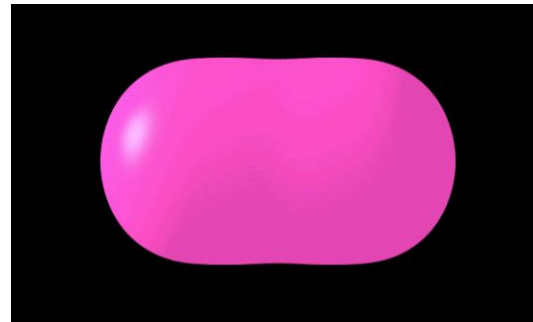
とびとびの状態 : 超重元素が安定になるのも量子力学のため

◆ いまどういう研究が行われている？



量子トンネル現象

「つぶつぶ」としてのトンネル現象
は実はまだよく分かっていない

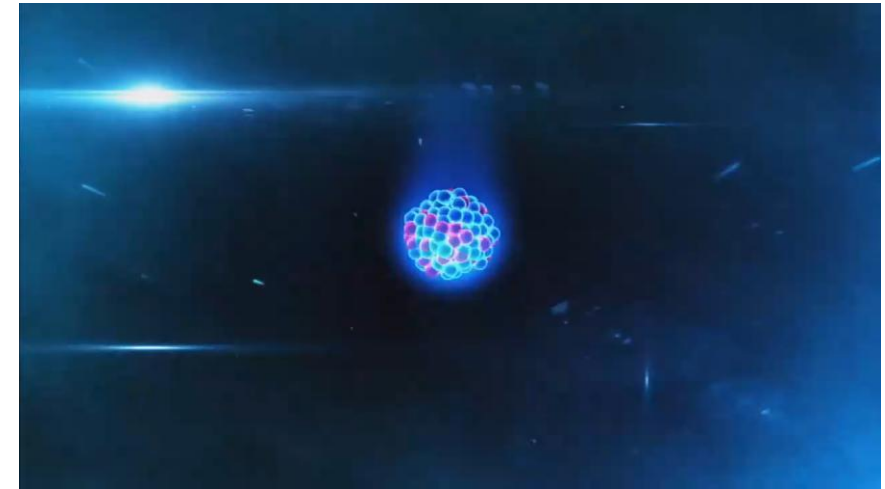
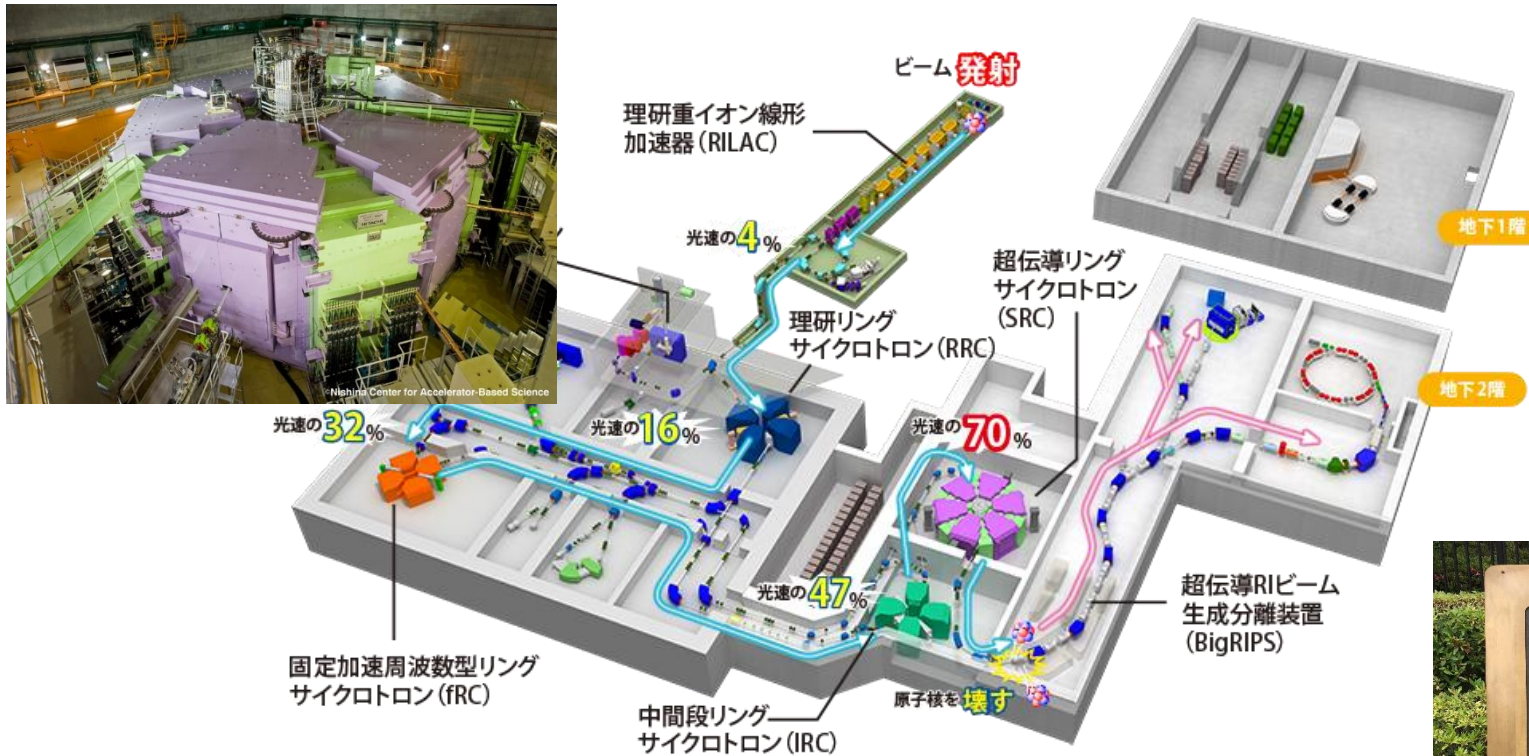


核分裂も「つぶつぶ」
としてはよく分かっていない

これらを解明すること
が原子核物理の
目標の一つ

→「ニホニウム」や
「星の中の元素合成」
でも重要

理化学研究所 仁科加速器科学研究センター(埼玉県和光市) RIBF



量子力学が織りなす原子核の様々な研究

- 地球にない珍しい原子核を作ってみる
- 宇宙で元素がどうやって出来たのかを調べる
- ニホニウムやそれに続く新元素を作る

