

第 14 回 講義内容

2025/12/22

お知らせ

- レポート課題（第 2 回）の提出期限は 12 月 28 日 (日) 22:59（あと 6 日）です。
- レポート課題（第 3 回）を出しています。提出期限は 1 月 30 日 (金) 22:59 です。

配布物

- | | | |
|--------------------------------|--------|-----------------------|
| ● 14.Physics_contents.pdf | このファイル | Google classroom, web |
| ● 14.Physics2025_Viewgraph.pdf | スライド | Google classroom, web |
| 月曜朝に配布します。 | | |
| ● 14.Planets2026.pdf | 別のファイル | Google classroom |
| クリスマスプレゼント。2026 年の天体観測の見どころ。 | | |

講義内容（予定）

- §6.3 電気と磁気
磁気の性質，電磁誘導，電磁波
- §6.4 電気製品いろいろ
- §7.1 原子核と放射線

本日の復習課題例

こんなことを観たり，調べたり，考えてもらったら面白いかな，という程度のおまけ。

- 第 5 世代 (5G) 携帯電話
- 放射性炭素年代測定法
- フェルメールの贋作問題

次回の予習項目

こんなことを調べてもらったら面白いかな，という程度の課題。

- 原子核融合反応と原子核分裂反応。それぞれが生じる原因と応用例

良い年末年始を。年明け授業は，1/19（最終回）です。

7. 原子力 7.1 原子核と放射線 資料書 p230

原子核の構造

表 7.1 電子、陽子、中性子のデータ

記号	電気量	質量 [kg]	質量 [u]	質量比
電子 e	-1.602176634 × 10 ⁻¹⁹ C	9.10938356 × 10 ⁻³¹ kg	1/1836.15	1
陽子 p	+1.602176634 × 10 ⁻¹⁹ C	1.6726219 × 10 ⁻²⁷ kg	1.007276	1836.15
中性子 n	0	1.6749272 × 10 ⁻²⁷ kg	1.008665	1838.68

定義 元素記号

元素記号 X は、左上側に質量数 (=陽子数+中性子数)、左下側に原子番号 (=陽子数) を記入して、次のように表す。

$${}_Z^AX$$

質量数 [H, ヘリウムは 3]He, 中性子は [n] となる。本素の原子核は陽子と中性子からなる。ヘリウムの原子核は α 粒子とも呼ばれる。

7. 原子力 7.1 原子核と放射線 資料書 p231

同位体 (isotope)

原子番号が同じでも、中性子数が違う原子が存在する。それらを同位体という。同位体には、安定なものも不安定で他のものに崩壊してゆくものがある。

表 7.2 同位体の例

名称	記号	陽子数	中性子数	質量 [u]	存在比	半減期
水素 1 (軽水素)	${}^1_1\text{H}$	1	0	1.0078	0.999885	
水素 2 (重水素)	${}^2_1\text{H}, \text{D}$	1	1	2.0141	0.000115	
水素 3 (三重水素)	${}^3_1\text{H}, \text{T}$	1	2	3.0160	微量	12.32 年でヘリウム 3 に
炭素 12	${}^{12}_6\text{C}$	6	6	12	0.9893	
炭素 13	${}^{13}_6\text{C}$	6	7	13.0034	0.0107	
炭素 14	${}^{14}_6\text{C}$	6	8	14.0032	微量	5730 年で炭素 14 に
ウラン 234	${}^{234}_{92}\text{U}$	92	142	234.0409	0.000054	25 万 5 千年でトリウム 230 へ
ウラン 235	${}^{235}_{92}\text{U}$	92	143	235.0439	0.007204	7 億 380 万年でトリウム 231 へ
ウラン 238	${}^{238}_{92}\text{U}$	92	146	238.0508	0.992742	44 億 6800 万年でトリウム 234 へ

7. 原子力 7.1 原子核と放射線 資料書 p232

核図表 (table of nuclides)

113 番元素 (Nh), 安定核 (Pb), (U), (Sn) 50, 82, 126, (Ni) 28, (Ca) 20, (He) 2, 8, 20, 28, 50 (魔法数), 中性子数 (同位体の種類), 陽子数 (元素の種類), 超新星爆発で生成されたと考えられている中性子過剰核

7. 原子力 7.1 原子核と放射線 資料書 p232

原子核の崩壊と放射線

■放射線・放射能

自然界には、ウラン ${}^{238}\text{U}$ やラジウム ${}^{226}\text{Ra}$ のように、不安定な原子核があり、崩壊してα粒子やβ粒子などの放射線を出して、別の原子核に変化する。この現象を放射性崩壊という。

定義 放射線・放射能

放射線は物質を透過する力をもった粒子の連続である。放射線は放射能に、α線 (正陽子と陽子核), β線 (電子), γ線 (波長の短い電磁波、光), X線 (波長の短い不可視電磁波) などとよばれる。それぞれ透過力や磁場中での進み方が異なる。放射線を出す性質のことを放射性という。この能力をもった物質のことを放射性物質という。放射線をともなう状態を放射性同位体という。

表 7.3 放射線の種類

放射線	電気量	質量 [kg]	透過力	電離作用
α線	+2e	6.65×10^{-27}	弱	強
β線	-e	9.11×10^{-31}	中	中
γ線	0	0	強	弱

7. 原子力 7.2 核反応 資料書 p233

放射線 (α線, β線, γ線)

表 7.3 放射線の種類

放射線	電気量	質量 [kg]	透過力	電離作用
α線	+2e	6.65×10^{-27}	弱	強
β線	-e	9.11×10^{-31}	中	中
γ線	0	0	強	弱

1898年頃、ラザフォードは、ウランやトリウムなどの天然の放射性物質から出ている放射線には性質の異なる少なくとも2種類のものがあることを明らかにし、透過力の弱い方を「α線」、透過力のより強い方を「β線」と命名した。この他にβ線よりもさらに透過力が大きい放射線も存在することが分り、それを「γ線」と名付けた。

7. 原子力 7.1 原子核と放射線 資料書 p233

半減期 (half-decay time)

原子核

原子核	n	崩壊の型	半減期
中性子	n	単体の中性子 β	10.4 分
炭素 14	${}^{14}_6\text{C}$	自然に存在 β	5.73×10^3 年
リチウム	${}^8_3\text{Li}$	人工に合成 β	14.00 日
カリウム	${}^{40}_{19}\text{K}$	自然に存在 β	1.28×10^9 年
コバルト	${}^{60}_{27}\text{Co}$	人工に合成 β	5.271 年
ストロンチウム	${}^{90}_{38}\text{Sr}$	人工に合成 β	28.78 年
ヨウ素	${}^{131}_{53}\text{I}$	人工に合成 β	8.1 日
セシウム	${}^{137}_{55}\text{Cs}$	人工に合成 β	30.07 年
ラジウム	${}^{226}_{88}\text{Ra}$	自然に存在 α	3.82 日
ウラン	${}^{238}_{92}\text{U}$	自然に存在 α	4.47×10^9 年
ウラン	${}^{235}_{92}\text{U}$	自然に存在 α	7.04×10^8 年
ウラン	${}^{234}_{92}\text{U}$	自然に存在 α	2.45×10^5 年

7. 原子力 7.2 核反応 資料書 p235

化学反応と核反応

(a) 化学反応

$$2\text{H} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + \text{電気} (+ \text{熱})$$

分子どうしの組み替えは、化学反応

(b) 核反応

$${}^1_0\text{n} + {}^4_2\text{He} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^1_1\text{H} + \text{熱}$$

原子核の組み替えは、核反応

7. 原子力 7.2 核反応 資料書 p235

核融合 と 核分裂

核融合 (nuclear fusion)

$$4\text{p} \rightarrow {}^4_2\text{He} + 2\text{e}^+ + 2\nu_e + 2\gamma$$

合体した方が安定 (エネルギー放出)

恒星のエネルギー源

水素爆弾

核分裂 (nuclear fission)

$${}^{235}_{92}\text{U} + {}^1_0\text{n} \rightarrow {}^{144}_{54}\text{Ba} + {}^{89}_{36}\text{Kr} + 3{}^1_0\text{n}$$

分裂した方が安定 (エネルギー放出)


原子爆弾

原子力発電

7. 原子力 7.2 核反応 教科書 p235

最も有名な物理の公式: 質量とエネルギーの等価性

4次元時空としてエネルギー保存則を考えると、...



$$E = mc^2$$

エネルギー 質量×光速×光速

エネルギーは質量と等価である！
質量はエネルギーに変換できる！


世の中からわずかも質量が失われるならば、
莫大なエネルギーが発生する

アインシュタイン (1905, 特殊相対性理論)

27

7. 原子力 7.2 核反応 教科書 p235

最も有名な物理の公式: 質量とエネルギーの等価性



.....本の中に数式を1つ入れるたびに、売れ行きは半減すると教えてくれた人がいる。そこで、数式はいっさい入れない決心をした。しかし、とうとう一つだけは入れることになってしまった。アインシュタインの有名な式

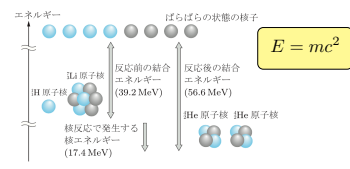
$$E = mc^2$$

である。この式が私の本の潜在的な読者をおびえさせ、半分に減らさないことを願っている。.....

30

7. 原子力 7.2 核反応 教科書 p237

結合エネルギー

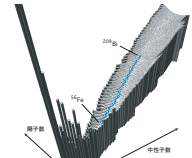


ばらばらでいるより、結合している方が、エネルギーが低い

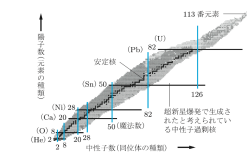
34

7. 原子力 7.2 核反応 教科書 p232

核融合も核分裂もどちらもおきる理由は何か？

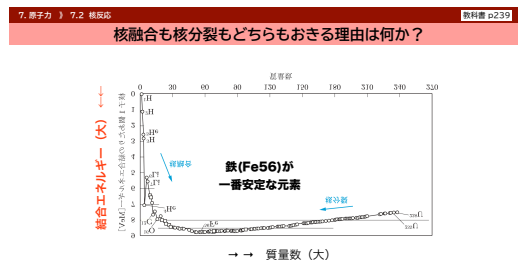


核図表



◀ 結合エネルギーの大きなモノが下になるように描いた核図表

37



39

星が燃える話: 星の一生

鉄まで核融合が進むと燃え終わる

水素HからヘリウムHeへ (pp chain)

中心部がHeになると、核融合止まる。
冷却し、収縮し、温度上昇して、次の核融合に点火

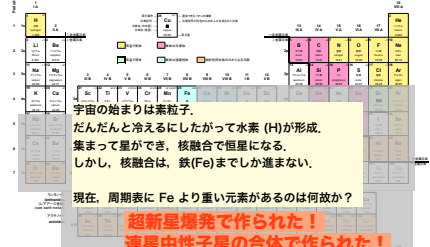
ヘリウムHeからCNOへ (pp chain)

中心部がCNOになると、核融合止まる。
冷却し、収縮し、温度上昇して、次の核融合に点火

中心部がFeになると、...

40

周期表 (periodic table) 教科書 VI-VII



宇宙の始まりは素粒子。
だんだんと冷えるにしたがって水素 (H) が形成。
集まって星ができ、核融合で恒星になる。
しかし、核融合は、鉄(Fe)までしか進まない。

現在、周期表に Fe より重い元素があるのは何故か？

超新星爆発で作られた！
連星中性子星の合体で作られた！

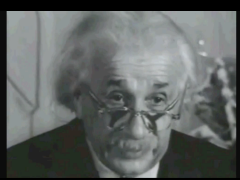
46

It followed from the special theory of relativity that mass and energy are both but different manifestations of the same thing — a somewhat unfamiliar conception for the average mind.

Furthermore, the equation $E = mc^2$, in which energy is put equal to mass, multiplied by the square of the velocity of light, showed that very small amounts of mass may be converted into a very large amount of energy and vice versa.

The mass and energy were in fact equivalent, according to the formula mentioned before.

This was demonstrated by Cockcroft and Walton in 1932, experimentally.



Einstein 自身による $E = mc^2$ の説明