

**第 14 回 講義内容**

2024/12/23

**お知らせ**

- レポート課題（第 2 回）の提出期限は 12 月 29 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 27 日 (月) 22:59 です。

**配布物**

- 14\_Physics\_contents.pdf                      このファイル  
次のページに本講義後半のまとめ事項あり。                      Google classroom, web
- 14\_Physics2024\_Viewgraph.pdf              スライド  
月曜朝に配布します。                      Google classroom, web
- 14\_Planets2025.pdf                          別のファイル  
クリスマスプレゼント、2025 年の天体観測の見どころ。                      Google classroom

**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

## 講義の要点 (後半)

本講義を振り返り、理解しておいて欲しいことを問題形式でまとめておきます。

### 第4章 熱と気体 — 熱エネルギー

- 温度とは何か。何故、絶対零度が存在するのか。高温に限界はあるか。
- 物質の3態を図を用いて説明せよ。
- 放射冷却とは何か。
- 気圧と沸点の関係を説明せよ。また、「圧力なべ」はどういう原理か説明せよ。
- 気圧と飽和水蒸気圧の関係を説明せよ。また、霧や雲ができるしくみを説明せよ。
- 熱機関とは何か説明せよ。また、冷蔵庫やエアコンのように温度を下げる機関の原理を説明せよ。
- 永久機関とは何か説明せよ。また、永久機関ができない理由を説明せよ。
- 閉め切った室内で冷蔵庫を開け放しにした。1時間後、部屋の温度はどうか。理由をつけて説明せよ。

### 第5章 波 — 水・音・光

- 例を挙げて縦波・横波の違いを説明せよ。
- 波の干渉とは何か。図を用いて説明せよ。
- 固有振動数とは何か。共振とは何か。原理と例を説明せよ。
- 両端の開いたチューブをたたいたときと、片方だけ開いたチューブをたたいたときの音の高さの違いを説明せよ。
- 音のドップラー効果と光のドップラー効果について説明せよ。
- 我々の銀河系の隣にあるアンドロメダ銀河は青方偏移している。これは何を意味しているか。
- 虹が発生するしくみを説明せよ。
- 光ファイバーのしくみを説明せよ。
- 「光は波である」と結論できる実験または現象を述べよ。

### 第6章 電気と磁気 — 電磁誘導

- 静電気の正体は何か。対処法は何か。静電気の発生しやすい服の組み合わせ・発生しにくい服の組み合わせがある理由を説明せよ。
- 電気にプラスとマイナスの2種類があることはどのようにしてわかったか。
- 電流の正体が電子であることはどのようにしてわかったか。
- エレベーターの中で携帯電話の電波が途切れる理由を説明せよ。
- 1階と2階の両方で階段の電気を on/off できる回路を説明せよ。
- オーロラのできるしくみを説明せよ。
- 磁石を近づけると鉄のクリップが吸い付くのはなぜか。
- 電気と磁気の関係について説明せよ。
- 電磁誘導について、日常使われる例を挙げて説明せよ。

### 第7章 原子力 — 核エネルギー

- 放射能と放射線の違いは何か。
- 放射性物質取り扱いの利点と欠点を挙げよ。
- 放射性物質の半減期とは何か。
- 炭素を用いた年代測定について説明せよ。
- 原子力発電の放射性廃棄物が問題とされる理由は何か。
- 酸素のない宇宙で太陽が燃えているのは何故か。

7.原子力 7.1 原子核と放射線 教科書 p230

### 原子核の構造

質量数 A (核子の数)  
原子番号 Z (陽子の数)

陽子 Z個  
中性子 N個  
原子核(核子)  
質量数 A = Z + N  
約 10<sup>-15</sup>m  
約 10<sup>-10</sup>m

表 7.1 電子、陽子、中性子のデータ

記号	電気量	質量 [kg]	質量 [e]	質量比
電子 e <sup>-</sup> electron	-1.602176634 × 10 <sup>-19</sup> C	9.1093837015 × 10 <sup>-31</sup> kg	1/1836.15267343	1
陽子 p <sup>+</sup> proton	+1.602176634 × 10 <sup>-19</sup> C	1.67262192369 × 10 <sup>-27</sup> kg	1.00727646688	1836.15267343
中性子 n <sup>0</sup> neutron	0	1.674927351 × 10 <sup>-27</sup> kg	1.00866491588	1838.68412727

**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。  
 ${}^A_Z X$  (質量数, 原子番号, 元素記号) (7.1)

水素は  ${}^1_1\text{H}$ 、ヘリウムは  ${}^4_2\text{He}$ 、中性子は  ${}^1_0\text{n}$  となる。水素の原子核は陽子そのものである。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 教科書 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	陽子の数	中性子の数	質量 [u]	存在比	半減期
水素 1 (軽水素)	${}^1_1\text{H}$	1	0	1.007825	99.9885%	
水素 2 (重水素)	${}^2_1\text{H}$	1	1	2.014102	0.0115%	
水素 3 (三重水素)	${}^3_1\text{H}$	1	2	3.016049	微量	12.32 年でヘリウム 3 に
炭素 12	${}^{12}_6\text{C}$	6	6	12.000000	98.93%	
炭素 13	${}^{13}_6\text{C}$	6	7	13.003355	0.0107%	
炭素 14	${}^{14}_6\text{C}$	6	8	14.003242	微量	5730 年で炭素 12 に
ウラン 234	${}^{234}_{92}\text{U}$	92	142	234.040954	0.000054%	25 万 5 千年でトリウム 230 へ
ウラン 235	${}^{235}_{92}\text{U}$	92	143	235.0439299	0.007204%	7 億 380 万年でトリウム 231 へ
ウラン 238	${}^{238}_{92}\text{U}$	92	146	238.0507882	99.992792%	44 億 6800 万年でトリウム 232 へ

7.原子力 7.1 原子核と放射線 教科書 p232

### 核図表 (table of nuclides)

陽子数 Z  
元素の種類  
安定核  
113 番元素 (U)  
82 (Pb)  
50 (Sn)  
28 (Ni)  
20 (Ca)  
2 (He)  
28 (魔法数)  
50 (魔法数)  
82  
126  
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  
中性子数 (同位体の種類)

7.原子力 7.1 原子核と放射線 教科書 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  ${}^{238}_{92}\text{U}$  やラジウム  ${}^{226}_{88}\text{Ra}$  のように、不安定な原子核があり、放置しておくとうるや電磁波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光線である。放射線はα線、β線 (正体は He 原子核)、γ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。それぞれ透過力や電離能での差が大きい。  
放射線を出す性質のことを放射能という。この能力をもった物質のことを放射性物質という。放射能をもつ同位体を放射性同位体という。

表 7.3 ウランの崩壊連鎖 (放射能) ウラン 238 ( ${}^{238}_{92}\text{U}$ ) は、崩壊してトリウム 234 ( ${}^{234}_{90}\text{Th}$ ) に変化する。その後、崩壊してウラン 234 ( ${}^{234}_{92}\text{U}$ ) に変化する。その後、崩壊して鉛 206 ( ${}^{206}_{82}\text{Pb}$ ) に変化する。

7.原子力 7.1 原子核と放射線 教科書 p233

### 放射線 (α線, β線, γ線)

表 7.3 放射線の種類

放射線	正体	電気量	質量 [kg]	透過力	電離作用
α線	${}^4_2\text{He}$ 原子核	+2e	6.65 × 10 <sup>-27</sup>	弱	強
β線	電子 (e <sup>-</sup> )	-e	9.11 × 10 <sup>-31</sup>	中	中
γ線	電磁波 (γ)	0	0	強	弱

薄い金属板  
厚い鉛の板  
α線  
β線  
γ線, X線  
中性子  
ホウ酸水

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 教科書 p233

### 半減期 (half-decay time)

はじめの量  
時間  
半減期

原子核	n	崩壊の型	半減期
中性子	n	β <sup>-</sup>	10.4 分
炭素	${}^{14}_6\text{C}$	β <sup>-</sup>	5.73 × 10 <sup>3</sup> 年
リン	${}^{32}\text{P}$	人工に合成 β <sup>-</sup>	14.26 日
カリウム	${}^{40}\text{K}$	自然に存在 β <sup>-</sup>	1.28 × 10 <sup>9</sup> 年
コバルト	${}^{60}\text{Co}$	人工に合成 β <sup>-</sup>	5.271 年
ストロンチウム	${}^{90}\text{Sr}$	人工に合成 β <sup>-</sup>	28.78 年
ヨウ素	${}^{131}\text{I}$	人工に合成 β <sup>-</sup>	8.1 日
セシウム	${}^{137}\text{Cs}$	人工に合成 β <sup>-</sup>	30.07 年
ラジウム	${}^{226}\text{Ra}$	自然に存在 α	3.82 日
ウラン	${}^{238}\text{U}$	自然に存在 α	1.60 × 10 <sup>9</sup> 年
ウラン	${}^{235}\text{U}$	自然に存在 α	7.04 × 10 <sup>8</sup> 年
ウラン	${}^{234}\text{U}$	自然に存在 α	4.47 × 10 <sup>4</sup> 年

7.原子力 7.2 核反応 教科書 p235

### 化学反応と核反応

(a) 化学反応  
 $2\text{H} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + \text{電気 (+熱)}$   
分子どうしの組み替えは、**化学反応**

(b) 核反応  
 ${}^1_1\text{H} + {}^1_1\text{H} \rightarrow {}^2_2\text{He} + \text{熱}$   
原子核の組み替えは、**核反応**

7.原子力 7.2 核反応 教科書 p235

### 核融合 と 核分裂

(a) 核融合 (nuclear fusion)  
 $4p \rightarrow {}^4_2\text{He} + 2e^+ + 2\nu_e + 2\gamma$   
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

(b) 核分裂 (nuclear fission)  
 ${}^{235}_{92}\text{U} + n \rightarrow {}^{141}_{54}\text{Ba} + {}^{91}_{38}\text{Kr} + 3n$   
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 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、...



アインシュタイン (1905, 特殊相対性理論)

$$E = mc^2$$

エネルギー 質量x光速x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！

世の中からわざわざ質量が失われるならば、  
莫大なエネルギーが発生する

27

7. 原子力 7.2 核反応 最も有名な物理の公式：質量とエネルギーの等価性



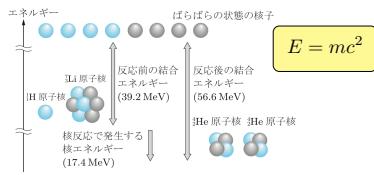
.....本の中に数式を1つ入れるたびに、売れ行きは半減すると教えてくれた人がいる。そこで、数式はいっさい入れない決心をした。しかし、とうとう一つだけは入れることになってしまった。アインシュタインの有名な式

$$E = mc^2$$

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

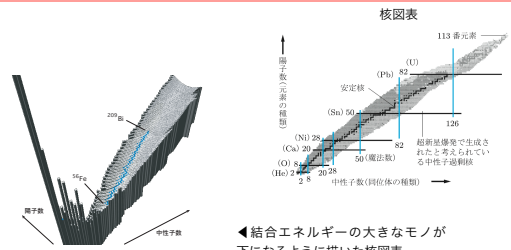
7. 原子力 7.2 核反応 結合エネルギー



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

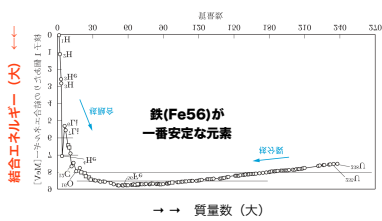
7. 原子力 7.2 核反応 核融合も核分裂もどちらもおきる理由は何か？



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

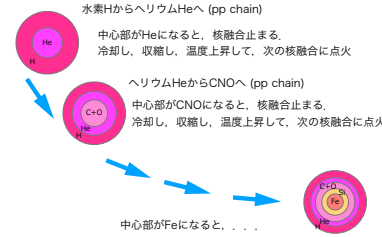
7. 原子力 7.2 核反応 核融合も核分裂もどちらもおきる理由は何か？



→ 質量数 (大)

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



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 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