第７回　講義内容　　2026/11/2

配布物

- 07_Cosmology_contents.pdf　　このファイル　　Google classroom, web
  これまで話した内容の確認事項と，第 3 章でのまとめスライドを載せています.
- 07_Cosmology2026_Viewgraph.pdf スライド　　Google classroom, web
  スライドファイルは当日朝に配布します.
- 202108_Newton タイムトラベル.pdf雑誌コピー　　Google classroom
  Newton 2021 年 8 月号から．Google Classroom で配布のみ.
- 202207_Newton_SF 映画.pdf　　雑誌コピー　　Google classroom
  Newton 2022 年 7 月号から．Google Classroom で配布のみ.

講義内容（予定）

- §3.2 特殊相対性理論
  $E = mc^2$．核分裂反応と核融合反応，星の一生，超新星爆発のしくみ.

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.

- 原子力発電は，放射線漏れの危険を伴うが，それ以外にも「放射性廃棄物問題」がある．これは何が問題なのか.（ミニッツペーパーの質問の１つ）
- フェルメールの絵の贋作問題．絵の年代測定方法.

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.

- 次回は，いよいよ，ブラックホール・宇宙膨張・重力波の理論となる一般相対性理論

(特殊) 相対性理論(1905年)

- **発端：**
  電磁気学の式に出てくる「光速c」は誰から測った速さなのか．光は真空でも伝わるのか．
- **当時の考え：**
  光はエーテル中を伝わる．「光速c」は座標系によって変化するはずだ．ただし，エーテルは未発見．．．．
- **アインシュタインの考え：**
  光速度は誰から見ても一定，光は真空でも伝わり，物理法則は座標系によらず不変のものでなければならない．

超新星爆発のしくみ

- **星の内部で原子核融合が進む：**
  水素　H →ヘリウム　He →リチウム　Li
  ····· →鉄　Fe
- **質量を失って，膨張する．** 放射の力＞重力
- **核融合が生じなくなる．** 放射の力＜重力
  急速に潰れる．
- **星の内部は押しつぶされて，**
  原子核　は　中性子の固まり　に
- **大爆発：**
  外から降り積もってきた物質が中性子核ではね返る

3. 現代物理1:相対性理論 》3.2 特殊相対性理論　教科書 p73

3.2.6 最も有名な物理の公式

4次元時空としてエネルギー保存則を考えると，．．．

特殊相対性理論を使ってエネルギーを計算すると，

$$E = m\frac{c^2}{\sqrt{1-(v/c)^2}} = mc^2 + \frac{1}{2}mv^2 + \frac{3}{8}m\frac{v^4}{c^2} + \cdots \qquad (3.10)$$

となることがわかった．第２項は運動エネルギーだが，第１項は物体が静止しているときにももつ**質量エネルギー**である．第３項以下は相対論的補正項といえる．

静止質量エネルギー（エネルギーと質量の等価性）

$$E = mc^2 \qquad (3.11)$$

41

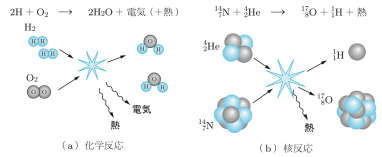
$E = mc^2$

- **発端：**
  相対性理論の考えにより，運動法則をどの座標から見ても同じ形になるように書き換えると登場した．
- **意味するもの：**
  質量とエネルギーは同じ． 原子核反応により，世の中から質量がわずかでもなくなれば，莫大なエネルギーが得られる．
- **応用：**
  核融合反応：星の輝く原理，水素爆弾
  核分裂反応：原子爆弾，原子力発電

3. 現代物理1:相対性理論 》3.2 特殊相対性理論　教科書 p74

3.2.7 原子核反応

分子どうしの組み替えは，化学反応
原子核の組み替えは，核反応



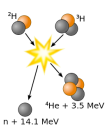
（a）化学反応　（b）核反応

図 3.14: 化学反応は実験室レベル，核反応は，原子爆弾や水素爆弾，原子力発電や太陽の中心．エネルギーレベルがまったく異なる．

44

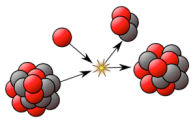
3. 現代物理1:相対性理論 》3.2 特殊相対性理論　教科書 p74

核融合 と 核分裂



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

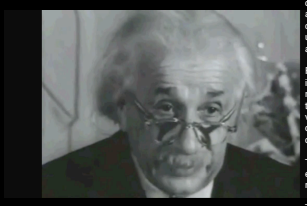
核融合
(nuclear fusion)
合体した方が安定
(エネルギー放出)



$^{235}_{92}U + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{236}_{92}U \rightarrow {}^{144}_{56}Ba + {}^{89}_{36}Kr + 3\,{}^{1}_{0}n$

核分裂
(nuclear fission)
分裂した方が安定
(エネルギー放出)

45



Einstein 自身による $E = mc^2$ の説明

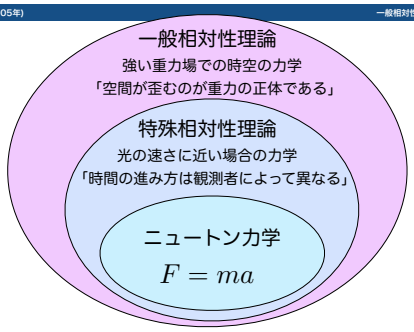
It followed from the special theory of relativity that mass and energy are both but different manifestations of the same thing — a somewhat unfamiliar conception for the average mind.

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.

特殊相対性理論 (1905年)　一般相対性理論 (1915年)



99