

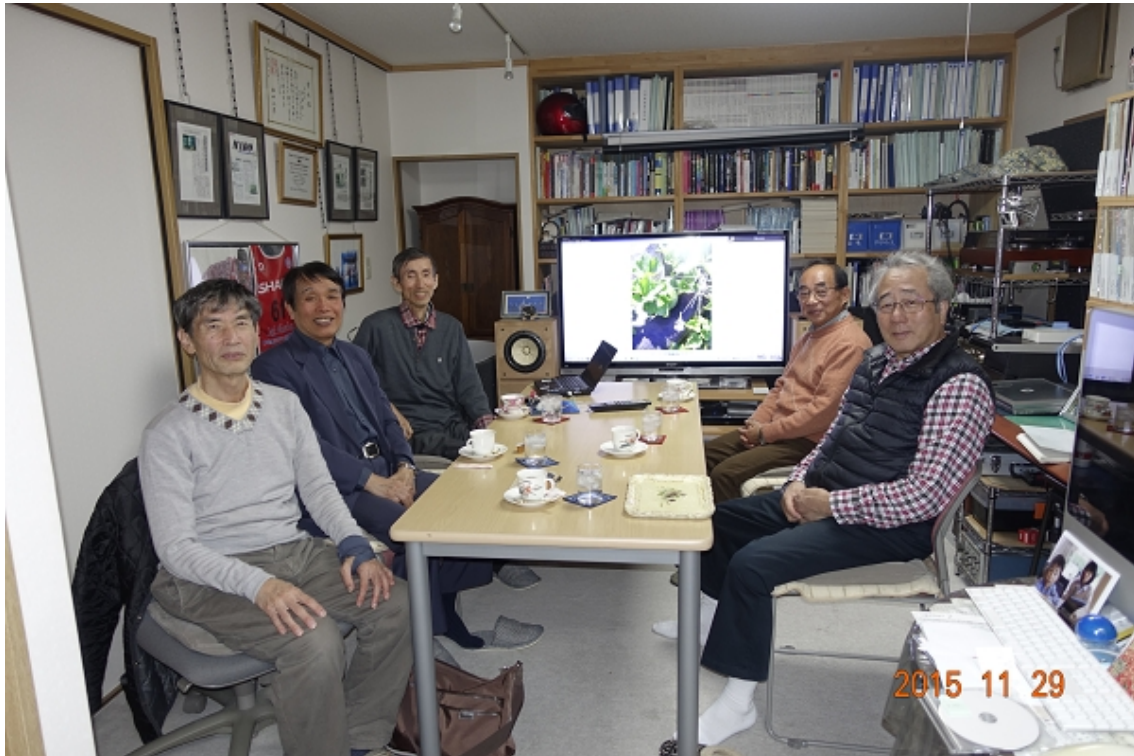
第54回 CIS研究所パートナー会 議事録

日時 2015年11月29日(日) 13時～ 17時

場所 CIS会議室

1) サロン 講師 久米 健次様

テーマー ニュートリノ



会議風景

ニュートリノって何者？

水は水素と酸素からできている。

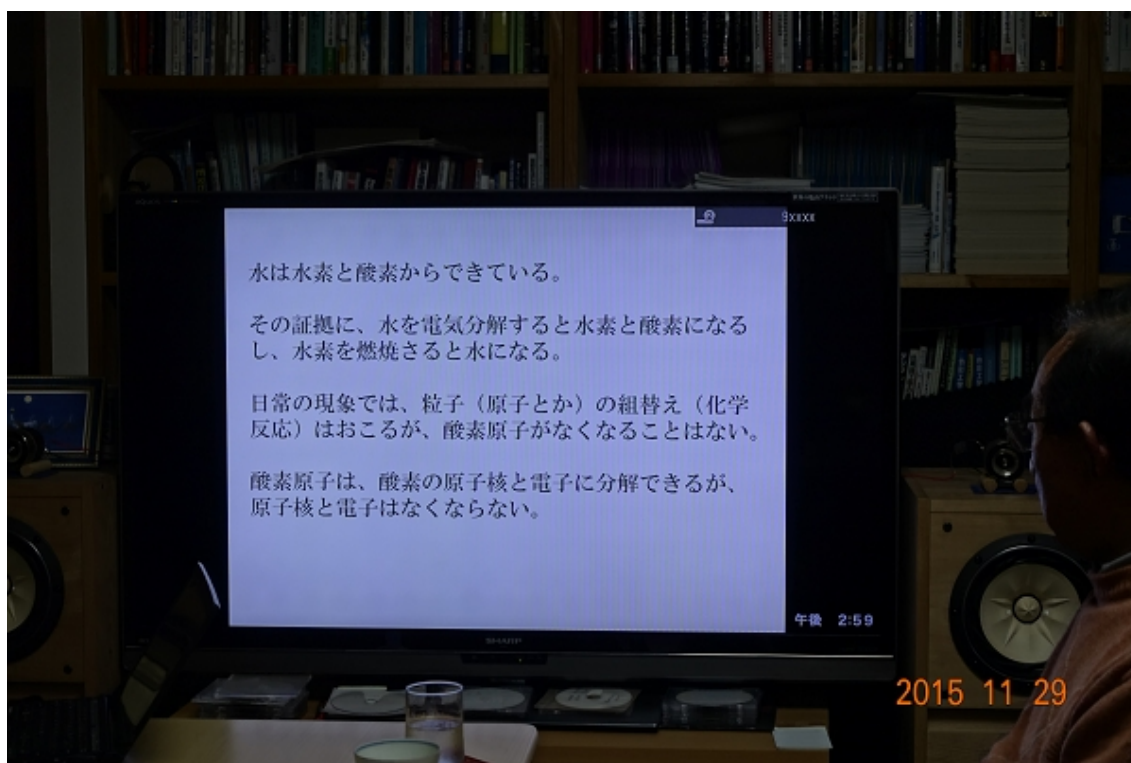
その証拠に、水を電気分解すると水素と酸素になるし、水素を燃焼すると水になる。

日常の現象では、粒子(原子とか)の組替え(化学反応)はおこるが、酸素原子がなくなることはない。

酸素原子は、酸素の原子核と電子に分解できるが、原子核と電子はなくなる。

というわけで、原子や原子核は消えたり新たに生成されることはなく、離合集散がおこるだけである。

と、思われてきた。



ところが、1905 年に Einstein が驚くべき論文を書いた。

(英訳)

Does the inertia of a body depend upon its energy content?

[物体の慣性(質量)は、含まれているエネルギー量に依存するか?]

A. Einstein *Annalen der Physik* 18(1905):639-641

The principle of conservation of motion of the center of gravity and the inertia of energy

[物体の重心の保存原理(力が働かなければ重心の位置は変わらない)とエネルギーの慣性]

A. Einstein *Annalen der Physik* 20(1906)627-633

- もし、物体がエネルギーEを電磁放射の形で失うと、質量が E/c^2 減少する。
- 物体の持つエネルギーが多量に変化する場合を用いて(例えばラジウム塩)、この理論の正否を試すことが可能になるだろう。
- もし、理論と実験とが一致すれば、電磁放射はそれを放射する物体と吸収する物体間で慣性(質量)を移動させる。

20 世紀で最も有名な関係式の一つ

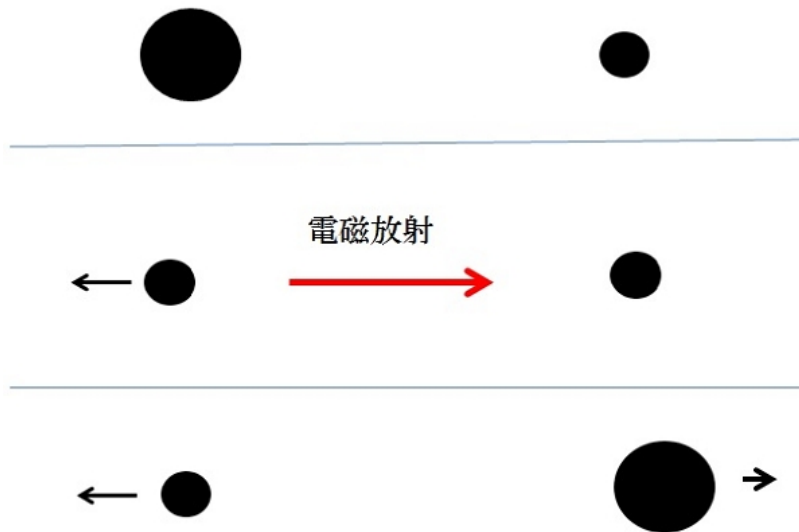
$$E=mc^2$$

とても変な関係式...

左辺はエネルギー(物体の状態)

右辺は物質の質量(物体の固有の性質)

電磁放射で質量が移動 (重心は不動・・・外力ナシ)



素粒子の世界では、離合集散だけではなく、物質が消えたり生成したりする。

いちばん極端な例

電子+陽電子 \Rightarrow 2つの光子(ガンマ線)
 \Rightarrow 光子は熱エネルギーに。

電子 陽電子



物質がなくなって熱になる!



最近では、この反応が PET として、腫瘍の検査に使われている。

腫瘍には糖類が集まりやすい・・・糖類に、陽電子を放出するアイソトープをくっつける。血液内で放出された陽電子は、周囲の電子の海の中に放りだされるので、対消滅が起こってガンマ線が出る。

腫瘍の所が光って見える。

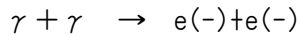
腫瘍によって、見つけ易いのとそうでないのがある。

Q:こんな関係式が、アインシュタイン以前にはなぜ
見つけられなかったか??

A:通常の身近な現象では、関与するエネルギーが小さ
すぎて、素粒子のmを発生させるだけの十分なエネ
ルギーがないので、離合集散のみのように見えていた。

Q:エネルギーさえあればどんな素粒子でも作れるか??

A:保存則を破ってはダメ。



は起こらない。保存則を満たしても、生成割合は結合
の強さによる。



当時は、原子核も核反応も知られておらず、これが莫大なエネルギーの解放につながるとは想像もされていない。

化学反応で、この関係式はどうなるか…もちろん成り立っているが、質量変化が小さすぎて観測されにくいだけ。

太陽が長期間にわたって燃焼できる理由も、このことと原子核エネルギーの発見で説明されることになった。

ニュートリノが発見された経緯

原子核のベータ崩壊で、エネルギーが保存されないように見える

$$n(0) \rightarrow p(+)+e(-)$$

実は、ニュートリノがエネルギーを持ち逃げしていた

$$n \rightarrow p + e + \nu \text{ (ニュートリノ)}$$

1930 年以前 : ボーア エネルギー保存則が破れる? 歴史的な誤り

1930 年 : パウリによって中性微粒子の存在仮説

1934 年 : フェルミがニュートリノ(中性微子)と命名

1953~1959 年 : ライネス and カワシ ニュートリノの検出

1962 年 : $\nu(e) \neq \nu(\mu)$ ニュートリノは1種類ではない

ニュートリノに質量があるのではないかという状況証拠は沢山あったが
その確証は得られなかった。

[β崩壊スペクトルのエンドポイント、太陽ニュートリノ、大気ニュートリノ、…]

現代素粒子理論の物質観

世界は

物質を構成する粒子

+ 構成粒子間の力を媒介する粒子

からできている。

力は4種類(強い順)

強い相互作用、電磁相互作用、弱い相互作用

重力相互作用

物質を構成する粒子

Super Kamiokande の HP より

	第一世代(first)	第二世代(second)	第三世代(third)	
レプトン LEPTON	電子ニュートリノ	ミューニュートリノ	タウニュートリノ	電荷ナシ
	電子	ミューオン	タウ	
クォーク QUARK	アップ	チャーム	トップ	
	ダウン	ストレンジ	ボトム	

力を媒介する粒子

重力相互作用

(グラビトン)

弱い相互作用

電磁相互作用

強い相互作用

ウイークボソン

フォトン

グルオン

身近な物質は、たった3つの素粒子

アップ quark , ダウン quark , 電子
からできている。







[アップ quark + ダウン quark とその反粒子]

⇒ [中性子、陽子、 π 中間子、..]

⇒ [原子核]

[電子] } [原子] ⇒ [分子]

Super Kamiokande の HP より













フレーバー	質量
 電子ニュートリノ	 m_1 ニュートリノ1
 ミューニュートリノ	 m_2 ニュートリノ2
 タウニュートリノ	 m_3 ニュートリノ3

ニュートリノには、「フレーバー」が決まった状態と「質量」が決まった状態があり、お互いはモードの違い。

複数のバネがつながった連成振動の、固有振動のようなもの。

ニュートリノ混合

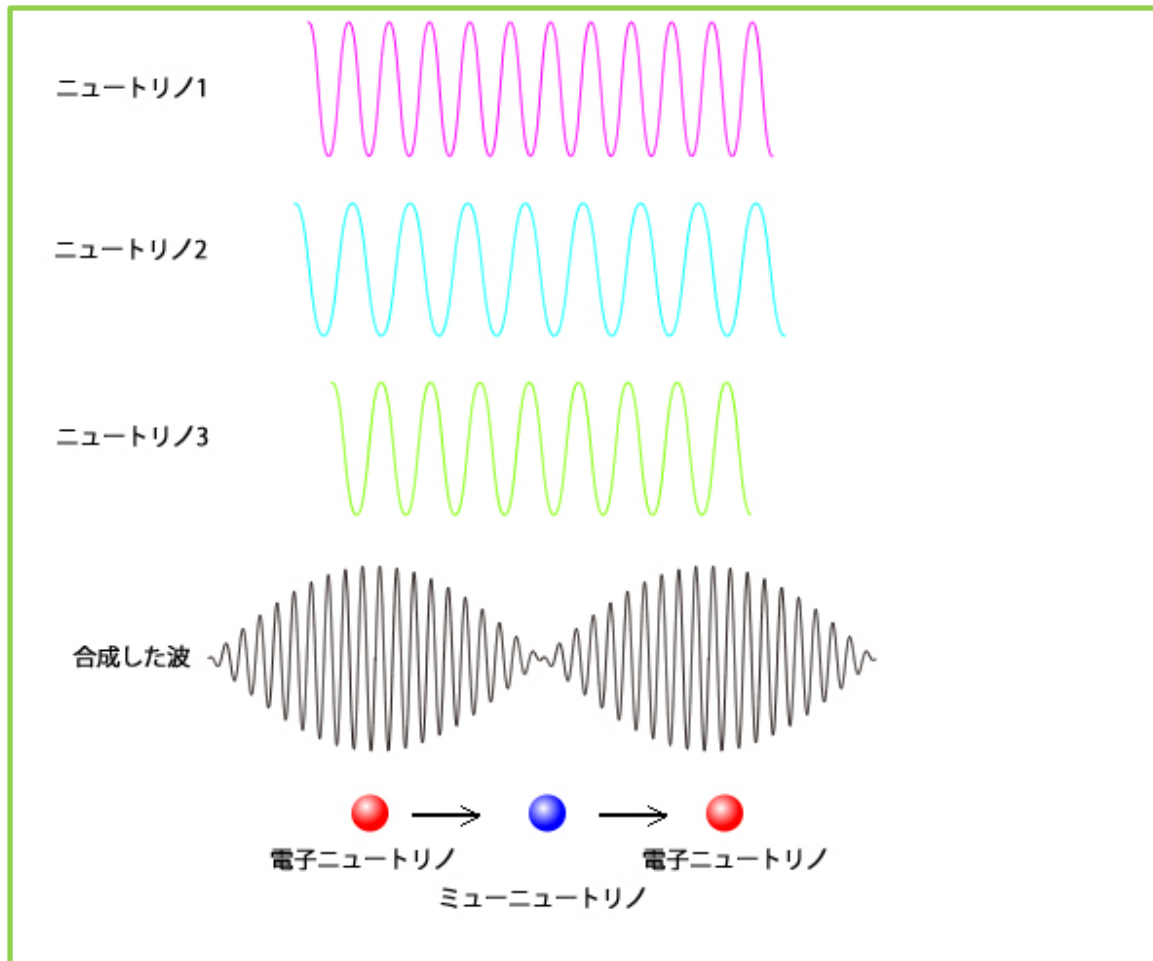
Super Kamiokande の HP より

	=		+		+	
電子ニュートリノ		ニュートリノ1		ニュートリノ2		ニュートリノ3
	=		+		+	
ミューニュートリノ						
	=		+		+	
タウニュートリノ						

ニュートリノ振動

(ニュートリノの「種類の乗り移り」がある..という意味での振動)

Super Kamiokande の HP より



ニュートリノが空間を飛ぶ間に、種類(フレーバー)が移り変わる。

これをニュートリノ振動と呼んでいて、ニュートリノが質量を持ち、かつ、ゼロではないニュートリノ混合があるときに起こる現象。

ニュートリノ振動は、1998年にスーパーカミオカンデ実験で発見された。

宇宙から飛んでくる宇宙線が大気と衝突して生成された大気ニュートリノ(ミューニュートリノ)を観測すると、検出器の下からやってきたミューニュートリノの数は、上からやってきたミューニュートリノの数のおよそ半分。ミューニュートリノが地球の内部を通過して来る間に、タウニュートリノに変化したため。

ニュートリノ振動の発見により、ニュートリノがわずかながら質量を持つことが示された。

ニュートリノ振動はその後、太陽ニュートリノや人工ニュートリノビームでも確認された。

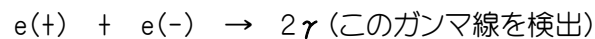
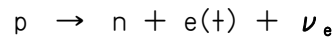
ニュートリノの混合は、3つの混合角 θ_{12} , θ_{23} , θ_{13} と、CP 位相のパラメータで表されます。これまでのニュートリノ振動の研究から、3つの混合角とニュートリノの質量の2乗差 $m_1^2 - m_2^2$, $m_2^2 - m_3^2$ が測定された。(ニュートリノの質量自体はわかっていない)

残る未解明の問題は、CP 位相のパラメータ、ニュートリノ質量の順番、ニュートリノ質量のそれぞれの値です。また、ニュートリノの質量がなぜ電子やクォークの質量に比べて 100 万分の1以下と非常に小さいのかという問題は謎のまま。

我々の日常生活には、ニュートリノや弱い相互作用は全く無縁か？

NO !

- (1) 太陽の燃焼がゆっくりと持続している
- (2) 核分裂(原発)の制御ができる
- (3) 病院の検査(PET では β^+ 崩壊を活用)



ニュートリノ混合...弱い相互作用は柱が傾いている

クォークにも同様なことあり

これがなかったら我々の存在もない

出典: 東北大学ニュートリノ科学研究センター



東北大学

平成23年7月19日

東北大学ニュートリノ科学研究センター

報道機関各位

地球反ニュートリノ観測で判明、「地球形成時の熱は残存している！」



地球内部からのニュートリノの観測によって、地球内部での放射性崩壊由来の熱生成量が推定された。

地球形成時からの原初の残存熱もあることが裏付けられた。

(熱伝導放射モデルと整合的か?)

ニュートリノはまだ、謎に包まれた素粒子

宇宙論にも関係

関連分野の今後の進展はあり得るが、何しろ相互作用が弱いので簡単ではない。

終

(久米さんの資料を転載)

3) 次回

(12月度)第55回 パートナー会議

12月20日(日) 1時～5時

講師: 生駒 篤一 様

4) 次々回

第56回パートナー会議

2016年1月24日(日)

講師 神田 忠起 様

- ・ 同時に新年会を実施します
- ・ 2時より パートナー会議

ホームページ URL

<http://www.cis-laboratories.co.jp/>

以上

(文責 山本 洋一)