

ニュートリノ

YMAP 秋の研究会 ナビゲータトーク 2018 Oct. 06

水越 隼太 大阪大学

ニュートリノとは

- ・ ニュートリノは素粒子
(レプトン)の一種
- ・ 電荷ゼロ
- ・ 断面積極小
 - ・ 原子炉 ν の典型的断面積 10^{-42}cm^2
 - ・ 水1トンで 10^{29} 個の陽子($N_A=6\times 10^{23}$)

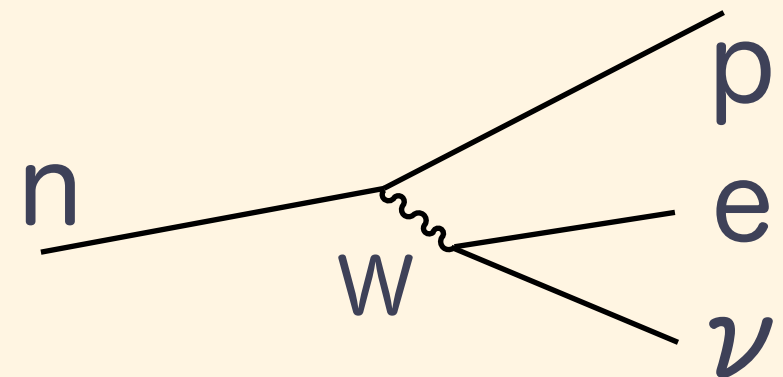
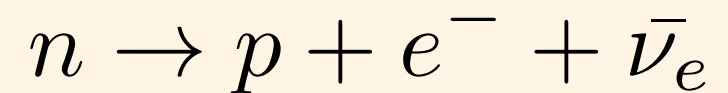
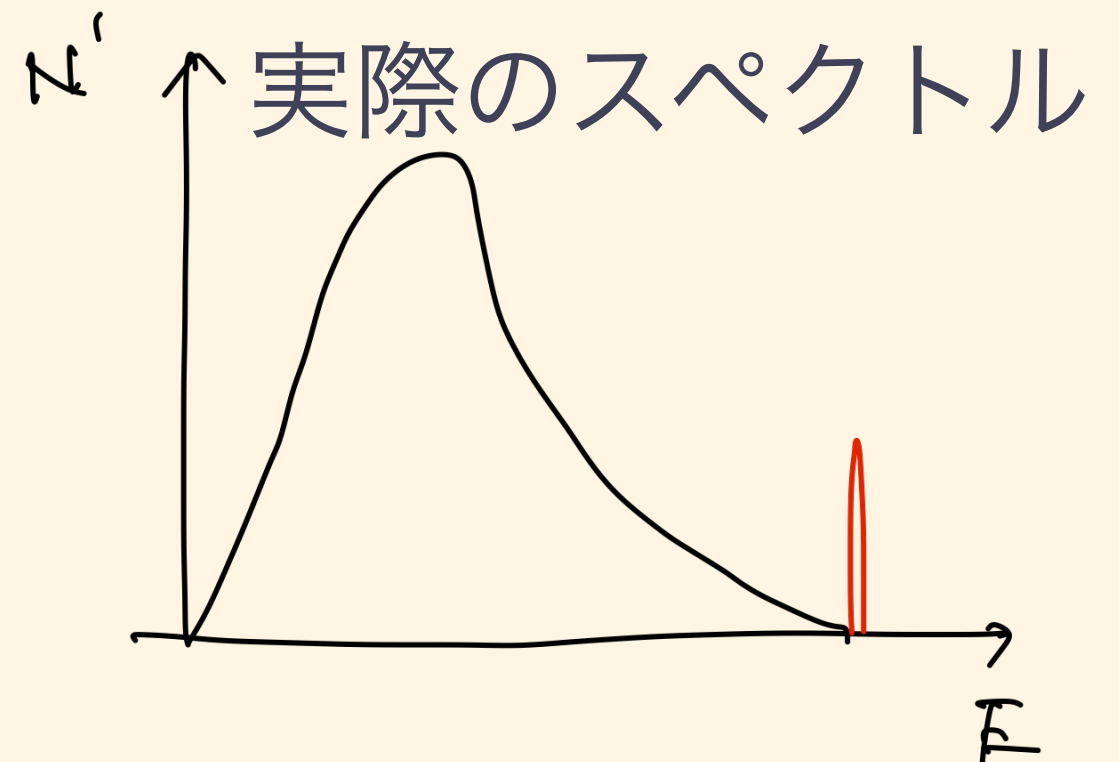


弱い力のみで反応

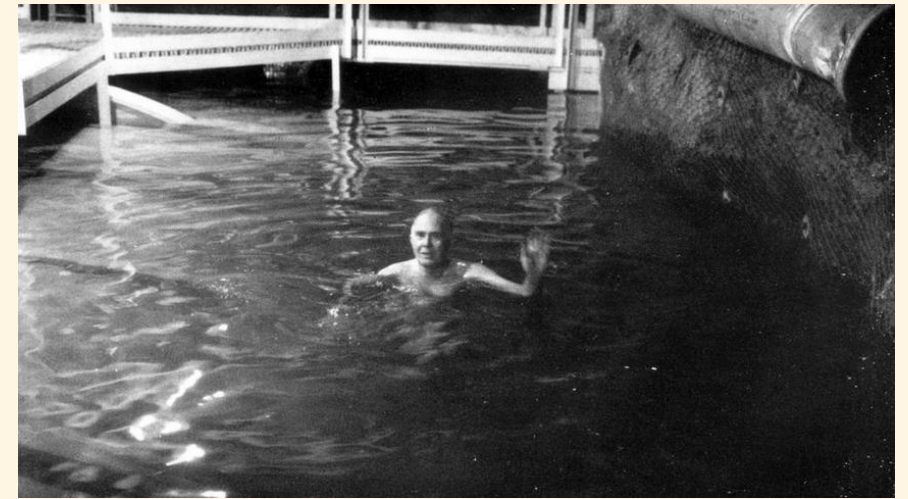


ニュートリノの予測と発見

- ・ β 崩壊のeスペクトルを説明するためパウリが存在が予言(1930)
- ・ ライネスとコーワンが原子炉を使った実験
(=いっぱい作って数で勝負)
で発見(1956)



太陽ニュートリノ

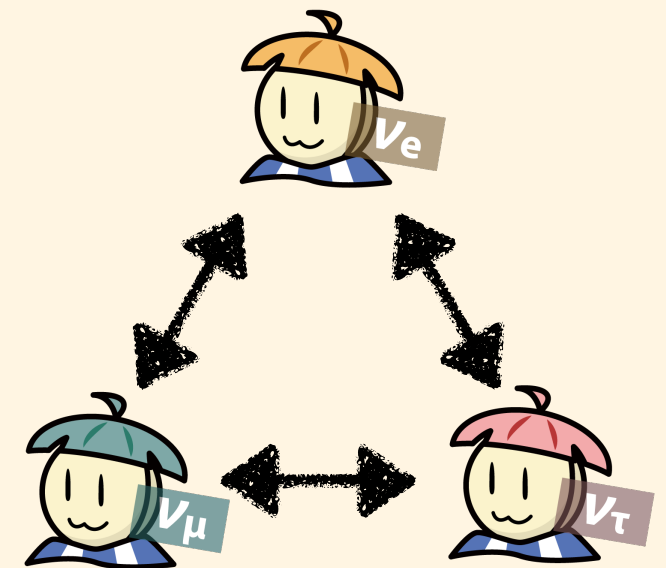
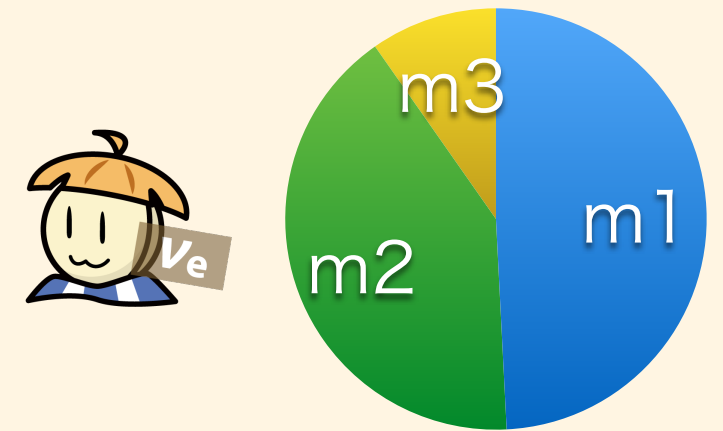


- ・ デイビスが太陽ニュートリノを測定(1965)
- ・ Homestake実験：大量の ^{37}Cl を用意,
電子ニュートリノと反応して ^{37}Ar になることを測定した.
- ・ ニュートリノは見つかったものの…
モデルから計算された数の $1/3$ しか検出されない.
 - ・ 太陽の熱源は核融合,
ニュートリノの数はかなり正確に見積もることができる.
- ・ →実験がおかしい? 理論がおかしい?

ニュートリノ振動

$$P[\bar{\nu}_e \rightarrow \bar{\nu}_e] \sim 1 - \sin^2 2\theta_{13} \sin^2 \left(\frac{1.27 \Delta m_{13}^2 L}{E_\nu} \right)$$

- ・ ν は振動し, フレーバーが変わる!
 - ・ 質量とフレーバーの固有状態が異なる
 - ・ $P[\nu_e \rightarrow \nu_e]$:
電子 ν が電子 ν のままある確率 $\neq 1$
 - ・ Δm_{13} :
ニュートリノの固有質量の差 $\neq 0$
 - ・ θ_{13} : 振動の混合比(測定値)
 - ・ L : ニュートリノの飛距離



振動実験

$$P[\bar{\nu}_e \rightarrow \bar{\nu}_e] \sim 1 - \sin^2 2\theta_{13} \sin^2 \left(\frac{1.27 \Delta m_{13}^2 L}{E_\nu} \right)$$

- ・ 様々なL/Eに対して実験が行われ ν 振動の存在が確認された。

- ・ 大気 ν (Super-Kamiokande 1998)

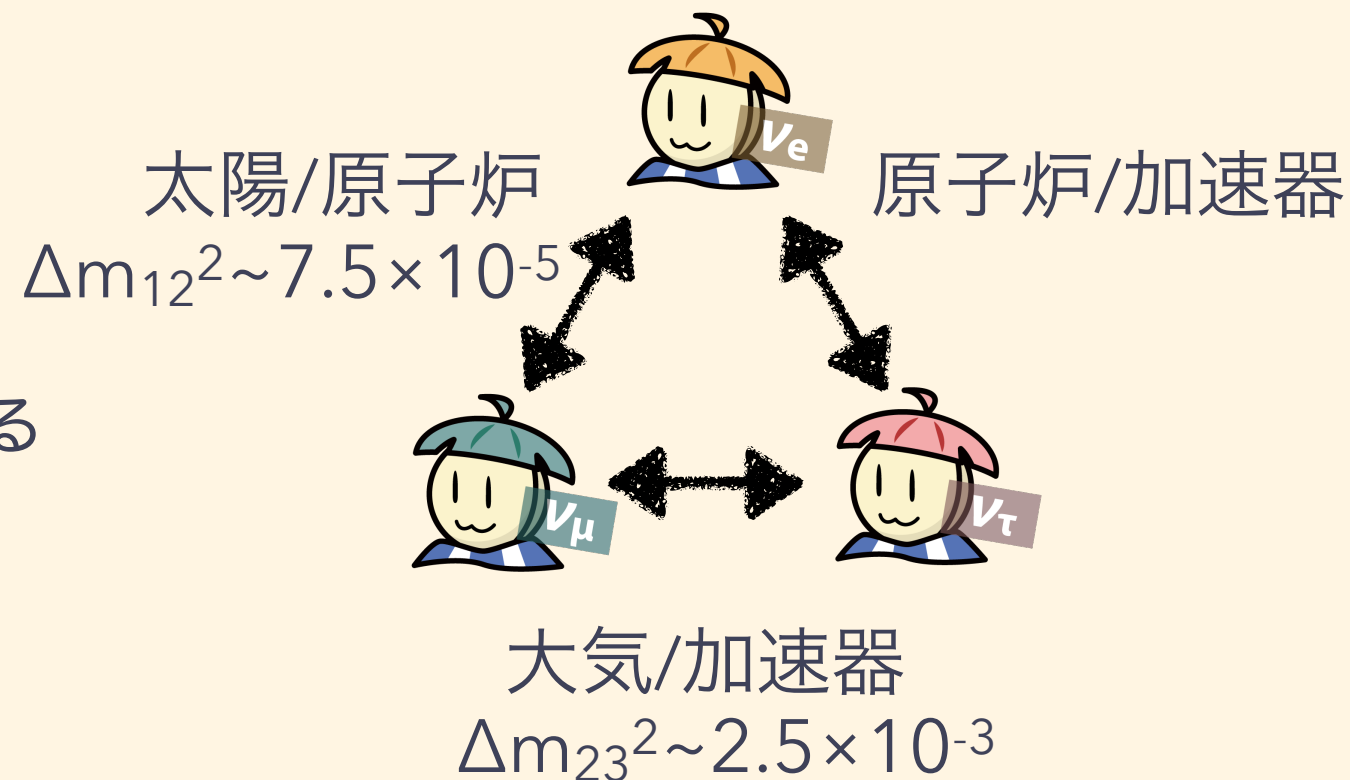
- ・ 大気で作られた ν を地球の裏側からくる ν と比較する

- ・ 原子炉 ν (KamLand)

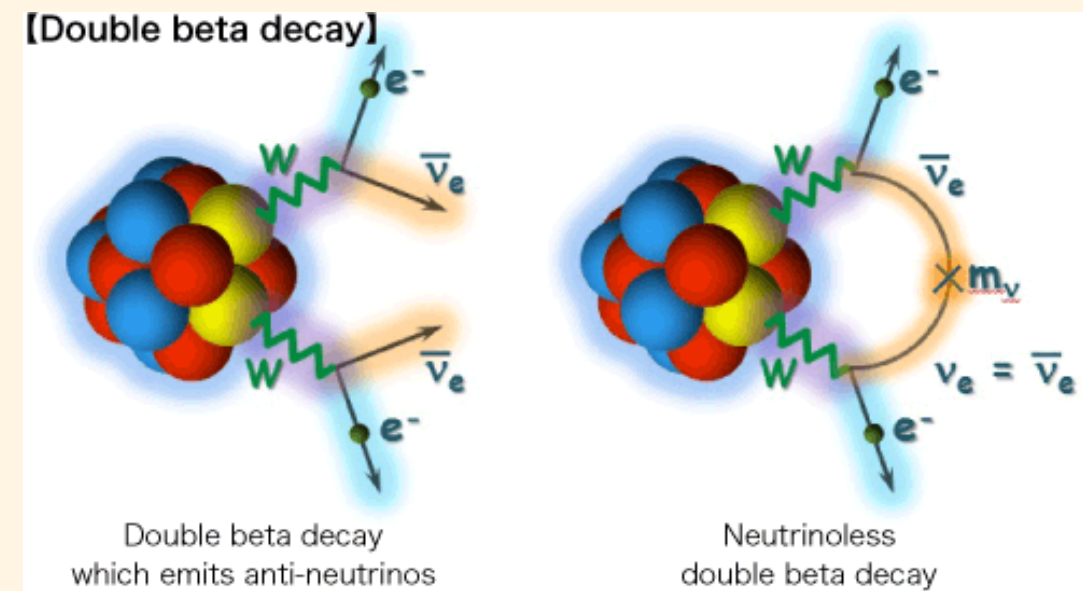
- ・ 原子炉で作られる半電子 ν を調べる

- ・ 加速器 ν (K2K 2004)

- ・ 加速器で作った ν を離れた検出器に打ち込む。



Double- β 崩壊



- Double- β 崩壊：原子核内で2つの中性子が2つの陽子に転換する反応
- ニュートリノを放出しない $\beta\beta$ 崩壊 ($0\nu\beta\beta$) は未検出。
 - ニュートリノが Majorana (粒子反粒子が同一) なら $0\nu\beta\beta$ が起こりうる
 - 超稀少事象 (現在の上限値 $>10^{26}$ year 90% c.l.)
- Front runners : KamLand-Zen, GELDA
- これから : CANDLES, AXEL

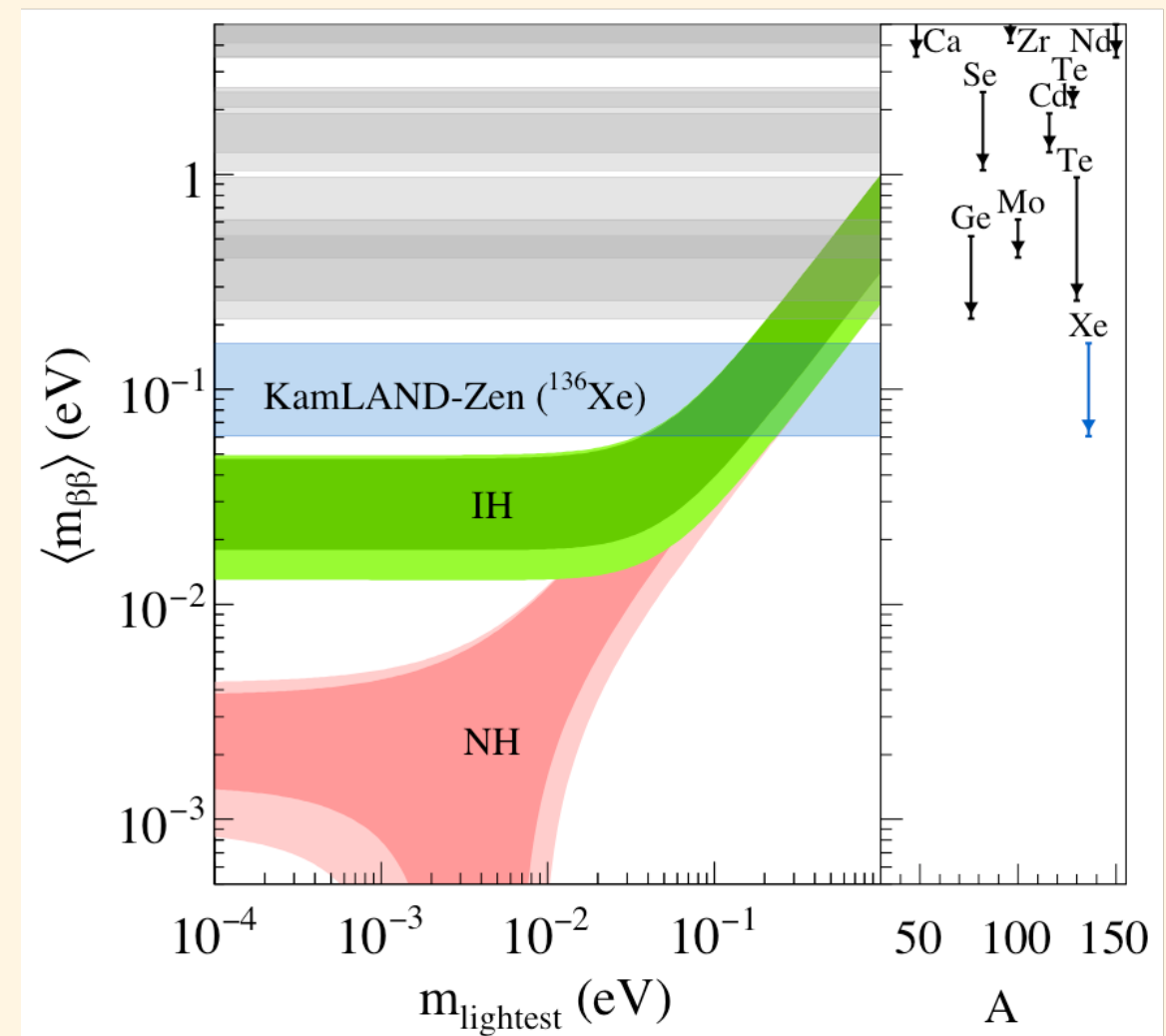
ニュートリノ質量

$$h = \frac{S \cdot p}{|p|}$$

h: ヘリシティ
S: スピン
p: 運動量

ν が光速でなければ, ($m \neq 0$)
pが逆に見える慣性系が存在する. $\rightarrow$ hが逆転

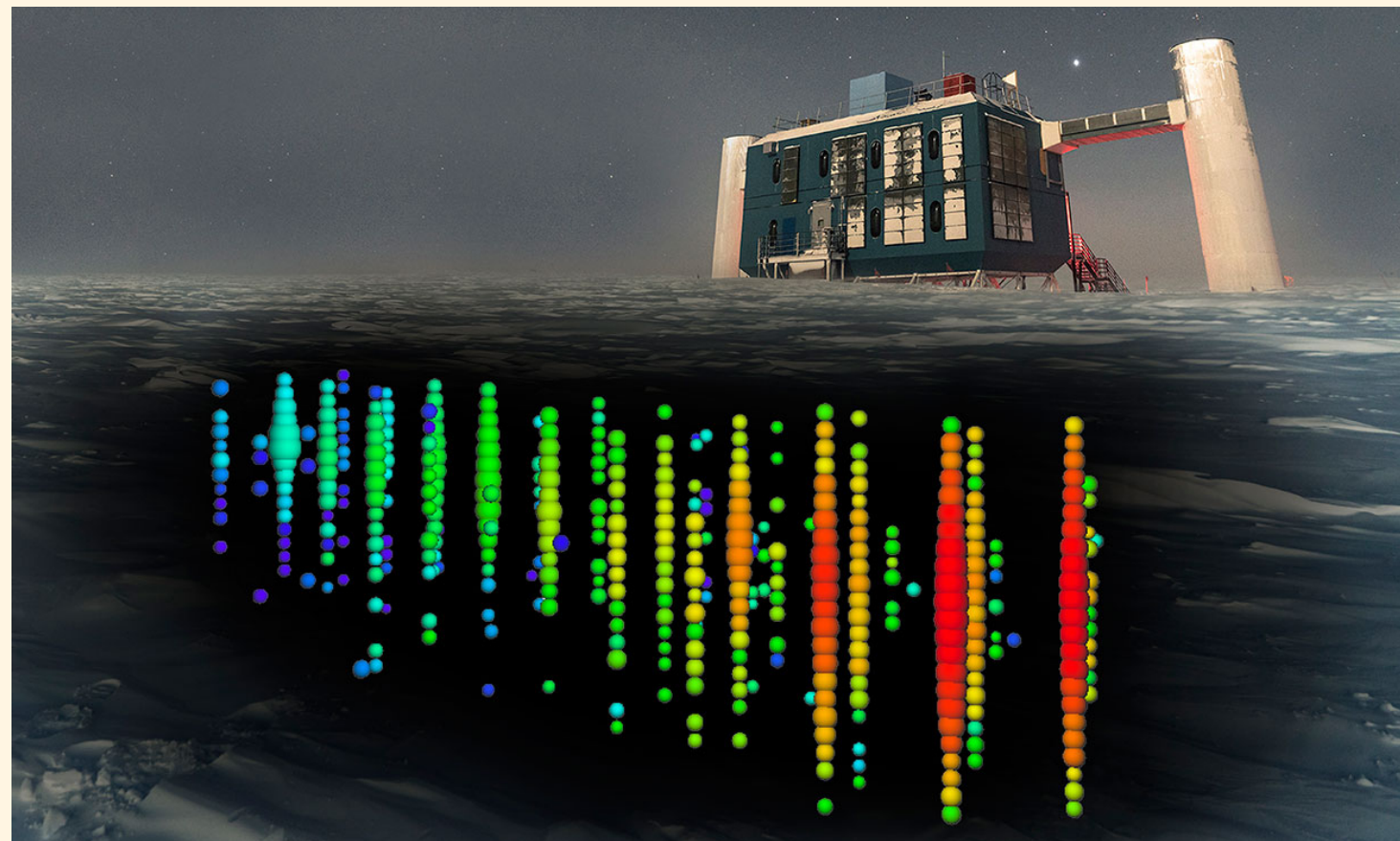
- $0\nu\beta\beta$ は ν の質量の絶対値と強く関連.
 - 振動実験でわかるのはあくまで質量の差
 - $0\nu\beta\beta$ 崩壊はヘリシティの転換確率によるため,
時定数で ν の質量がわかる.
- 稀少事象に対して大型化, 低バックグラウンド化の国際競争が激化している.
- $m_1 < m_2 < m_3$ の場合(赤), これからの感度向上は厳しいか



質量

超高エネルギーニュートリノ

- ・ Icecube実験が超高エネルギー ν の存在を確認
 - ・ 南極のきれいな氷にPMTを埋めこみ、エネルギーの高いニュートリノの発光をみる.
- ・ 大きなVolumeを確保できるため、高エネルギーに感度がある.



ニュートリノの深まる謎

- ・ ニュートリノの質量は？
 - ・ 現在は上限値のみ
- ・ ニュートリノはそもそもMajorana or Dirac?
- ・ ニュートリノは3世代のみ？
 - ・ Sterile neutrinoが予想されているが...
- ・ 超高エネルギーニュートリノがある？
- ・ ニュートリノ天文学？ マルチメッセンジャーで新時代
- ・ CP対称性の破れ (今回話してない)
 - ・ 発見から性質解明の時代へ, まだ基礎的な性質も不明
 - ・ 標準理論を修正する物理が期待される

Backup

振動実験ニュートリノ源のEとL

ν Source	E (GeV)	L (km)	Δm^2 (eV ²)
加速器	0.1 - 10 ²	1 - 10 ³	10 ⁻³ - 10 ²
原子炉	- 10 ⁻²	10 ⁻¹ - 10 ²	10 ⁻³ - 10 ⁻¹
大気	1 - 10 ²	10 - 10 ⁴	10 ⁻⁴
太陽	- 10 ⁻³	10 ⁸	10 ⁻¹¹

水越メモ

- 宇宙背景ニュートリノ 実験の提案すらなし
- ダブルベータの有効ニュートリノ
- ミキシングを通して質量を引っ張ってくる
- フェーズの不定性あり
- 一番軽いものがミキシングしてる