Osaka Workshop 2017 地上実験で検証可能な新物理

Nov.11-13, 2017, Osaka Univ.

なぜ 私は
荷電レプトンの質量値に
こだわるのか

小出義夫（大阪大･理）

古い話の蒸し返しで
申し訳ござんせんが. . .

話の流れ

1. なぜこのようなタイトルで トークをやろうと思ったか？

（たんなる言い訳）

2. なぜ荷電レプトンなのか？

（基本姿勢の表明）

3. では荷電レプトン式での (m_e, m_μ, m_τ) は何を意味するのか？

（復習：関係式の Derivation）

4. 今後の課題

5. だめ押しのコメント（まとめ）

1. なぜこのようなタイトルでトークをやろうと思ったか？

荷電レプトン質量式と言えば

$$K(m_{ei}) \equiv \frac{m_e + m_\mu + m_\tau}{\left(\sqrt{m_e} + \sqrt{m_\tau} + \sqrt{m_\tau}\right)^2} = \frac{2}{3}.$$

Y K, LNC 34, 201 (1982); PLB 120, 161 (1983)

を思い浮かべる人が多い.

未だにこの式での (m_e, m_μ, m_τ) は観測値のことだと思っている人が多い. (特に物理屋以外の人々に)

不幸にして観測値がこの式とぴったり合っていることが原因の1つであろう.

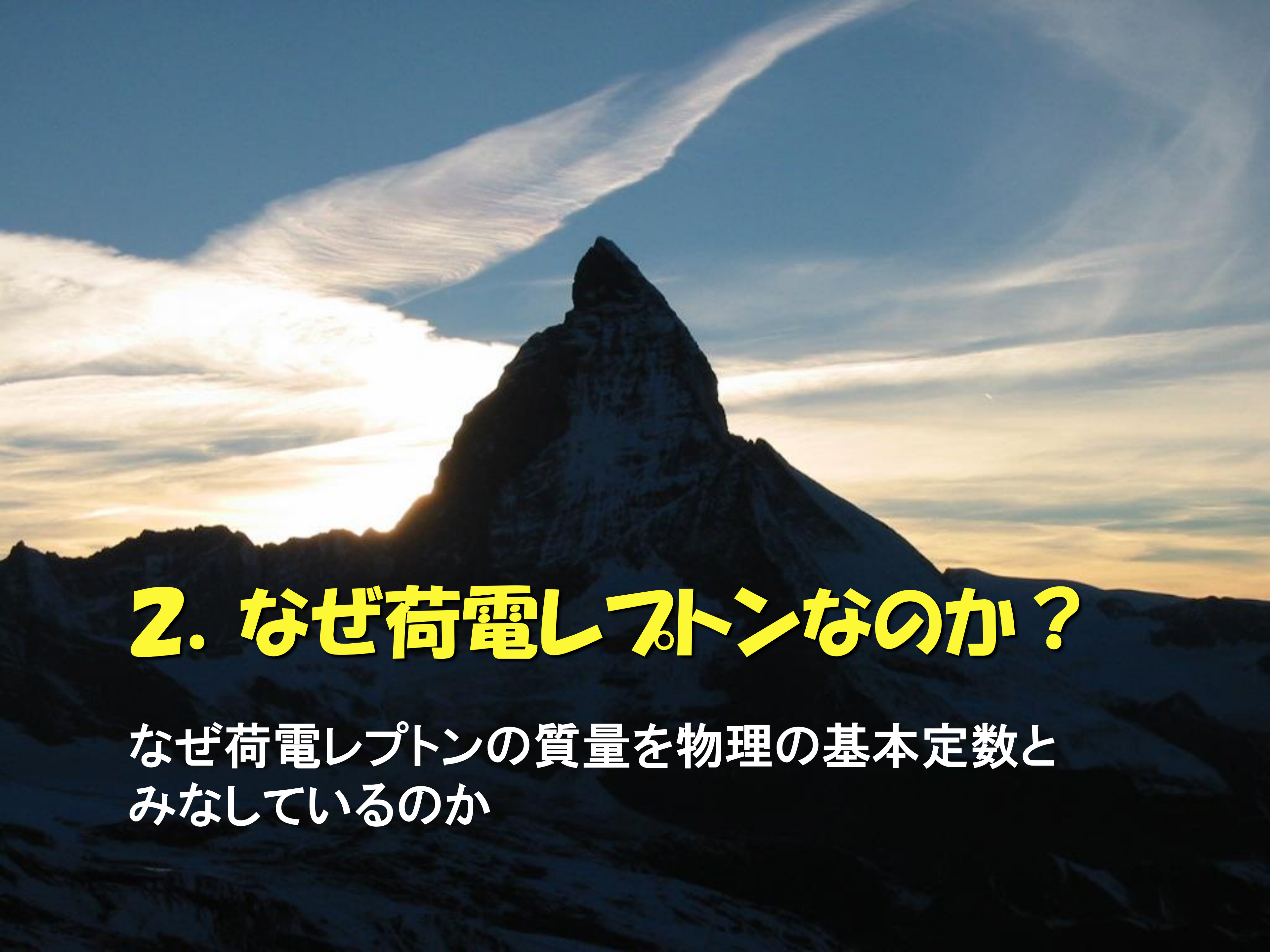
$$K(m_{ei}^{pole}) = \frac{2}{3} \times (0.999989 \pm 0.000014)$$

(m_e, m_μ, m_τ) は荷電レプトンの質量の観測値をあらわしているのではない!

ということをこの機会に強く主張したい.

さらなる不満

＊ 「質量」についての式である.
にもかかわらず「質量」という物理量を意識しない
シナリオで, この式を理解しようとする人たちがいる.
例えば, 「幾何学的解釈」などもってのの外！
　　ケプラーの時代でもあるまいに.
＊ 観測値があの式をとてもよい精度で満たすので,
多くの人が本質を見失ってしまっている.
何をやっても, 「そんなシナリオでは, あんなに良い
精度で一致していることを説明できない」と,
そこで思考停止をしてしまっている.



2. なぜ荷電レプトンなのか？

なぜ荷電レプトンの質量を物理の基本定数と
みなしているのか

最近の仕事での例： U(3)×U(3)' Model

YK and H.Nishiura, PRD 92, 111301(R) (2015) , IJMPA(32, 1750085 (2017)

$$(\bar{f}_L^i \quad \bar{F}_L^\alpha) \begin{pmatrix} (0)_i{}^j & (\Phi_f)_i{}^\beta \\ (\bar{\Phi}_f^T)_\alpha{}^j & -(S_f)_\alpha{}^\beta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} f_{Rj} \\ F_{R\beta} \end{pmatrix}$$

$$(M_f)_i{}^j = \langle \Phi_f \rangle_i{}^\alpha \langle S_f^{-1} \rangle_\alpha{}^\beta \langle \bar{\Phi}_f \rangle_\beta{}^j \qquad (\Lambda \ll \Lambda')$$

Since **U(3)' is broken into S_3,**

the VEVs of Φ_f take a form (unit matrix + democratic matrix)

$$\langle \hat{S}_f \rangle = v_{Sf}(1 + b_f X_3),$$

$$1 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \qquad X_3 = \frac{1}{3} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}.$$

Since $b_e=0$

$$\langle \Phi_f \rangle \propto \mathrm{diag}(\sqrt{m_e}, \sqrt{m_\mu}, \sqrt{m_\tau})$$

YK and H.Fusaoka, Z.Phys. C 71, 1160 (1996)

b_f を与えることによって, masses と mixings が完全に決定される！

私見：Bohr の業績からの教訓

Bohr が正しく量子条件にたどりつけたのも,
もっとも簡単な構造を持つ水素原子の出すスペクトル
に注目したからである.

➡ 素粒子においてもっとも簡単な構造をもつものは
荷電レプトンである.

➡ よって, **荷電レプトンの研究にこそ**
素粒子理解への最も重要な手がかりがあるはず！

（D1 のころの基研研究会での発言）

QCDのような複雑な計算には手が出ない！

信用できる量は荷電レプトンの質量だけだ！

$$\tan\theta_c = \frac{\sqrt{3}(\sqrt{m_\mu} - \sqrt{m_e})}{2\sqrt{m_\tau} - \sqrt{m_\mu} - \sqrt{m_e}}$$

YK, PRL 47, 1241 (1981)

Adjustable parameters を含まなく, Clebsh-Gordan係数だけが登場する議論をやりたい.

3. では荷電レプトン式での (m_e, m_μ, m_τ) は何を意味するか？

そのためには，

あの公式はどうやって導かれるのか
を見てみよう

公式の誘導（復習）

"Charged lepton mass sum rule from U(3)-family Higgs potential model"

YK, MPL A5, 2319 (1990)

(i) 荷電レプトンの質量 (Yukawa coupling constant) は

U(3) family nonet scalar Φ のVEV <Φ> によって

$$Y_e^{eff} \propto \langle \Phi_e \rangle \langle \Phi_e \rangle$$

の形で与えられる.（以後, < > を略す.）

(ii) そのVEVの値は次のポテンシャルにより与えられる:

$$V = \mu^2 [\Phi\Phi] + \lambda [\Phi\Phi]^2 + \lambda' [\Phi]^2 [\Phi_8 \Phi_8]$$

$$\Phi: \ \mathbf{8}+\mathbf{1} \text{ of } \mathrm{U}(3)$$

$$\Phi_8 \equiv \Phi - \frac{1}{3}\mathrm{Tr}[\Phi]\mathbf{1} \ : \ \mathbf{8} \text{ of } \mathrm{U}(3)$$

（ここで，Tr[...] は，簡単のため，単に [...] と書く.）

$$V = \mu^2[\Phi\Phi] + \lambda[\Phi\Phi]^2 + \lambda'[\Phi]^2[\Phi_8\Phi_8]$$

第3項は U(3) inv を破る項.
しかし, SU(3) inv であることに注意！

λ' 項は $\Phi_8 = \Phi - \frac{1}{3}\mathrm{Tr}[\Phi]1$: **8** of U(3)

$$[\Phi]^2\left([\Phi\Phi] - \frac{1}{3}[\Phi]^2\right) = \left([\Phi]^2[\Phi\Phi] - \frac{1}{3}[\Phi]^4\right)$$

と書けることに注意すれば $\frac{\partial[\Phi^n]}{\partial\Phi} = n\Phi^{n-1}$ $\frac{\partial[\Phi]}{\partial\Phi} = 1$

$$\frac{\partial V}{\partial\Phi} = \mu^2 2\Phi + \lambda 2[\Phi\Phi]2\Phi + \lambda'\left([\Phi]^2 2\Phi + [\Phi\Phi]2[\Phi]1 - \frac{4}{3}[\Phi]^3 1\right)$$

$$= \left(\mu^2 + \lambda[\Phi\Phi] + \lambda'[\Phi]^2\right)\Phi + 2\lambda'\left([\Phi\Phi] - \frac{2}{3}[\Phi]^2\right)[\Phi]1$$

$\langle\Phi\rangle = \mathrm{diag}(v_1, v_2, v_3)$ の3つの固有値が，すべて互いに異なり，かつ，いずれもゼロでないことを要求するなら，

Φ および 1 の係数は各々ゼロであるべき.

Φの係数

$$\mu^2 + \lambda[\Phi\Phi] + \lambda'[\Phi]^2 = 0$$

1 の係数

$$[\Phi\Phi] - \frac{2}{3}[\Phi]^2 = 0$$

よって，「**1 の係数 = 0** 」より 望みの **荷電レプトンの質量式**

$$\frac{m_e + m_\mu + m_\tau}{(\sqrt{m_e} + \sqrt{m_\mu} + \sqrt{m_\tau})^2} = \frac{v_1^2 + v_2^2 + v_3^2}{(v_1 + v_2 + v_3)^2} = \frac{\mathrm{Tr}[\langle\Phi_e\rangle\langle\Phi_e\rangle]}{(\mathrm{Tr}[\langle\Phi_e\rangle])^2} = \frac{2}{3}$$

が得られる.

結論は λ' の具体的大きさには無関係であることに注意；

どれだけ小さな値でも構わない．ゼロでさえなければよい．

結論

荷電レプトン関係式に登場する(m_e, m_μ, m_τ) は

複雑な相互作用の結果である荷電レプトンの「観測値」ではなく,

「U(3) family symmetry limit での荷電レプトン質量」

である. (正確には, それを与えるスカラーのVEV)

U(3) family symmetry limit：

U(3) family の相互作用以外(photonなど)をすべて

スイッチオフしたとき

(U(3) ×U(3)' model での数値計算では, 近似的に

「荷電レプトンの観測値」を代用してはいるが.)

(補足) なぜ, 観測値がU(3)式をよく満たしているかについては

See: Y. Sumino, PLB 671, 477 (2009); JHEP 05, 075 (2009).

私にもよくわかっていない問題

　この式はU(3) family violated term
(しかし, still SU(3) family conserved)
から得られた.
　この式は U(3) family limit での式といってよいか？
それとも SU(3) family の式と言うべきか？

4. 今後の課題

(i)　いかに Φ の実験的検証を行うか？その方法の探索

Higgs だって見えたのだから Φ だって見えるはず！

（悲観論）Energy scale が異なる．現存・計画中の装置では無理

(ii)　3つの■ (m_e, m_μ, m_τ)　→2つの独立した関係式.

その1つが

$$\frac{m_e + m_\mu + m_\tau}{(\sqrt{m_e} + \sqrt{m_\mu} + \sqrt{m_\tau})^2} = \frac{\mathrm{Tr}[\langle\Phi_e\rangle\langle\Phi_e\rangle]}{(\mathrm{Tr}[\langle\Phi_e\rangle])^2} = \frac{2}{3}$$

なら，残る1つは

$$\frac{\sqrt{m_e m_\mu m_\tau}}{(\sqrt{m_e} + \sqrt{m_\mu} + \sqrt{m_\tau})^3} = \frac{\det\langle\Phi_e\rangle}{(\mathrm{Tr}[\langle\Phi_e\rangle])^3} =?$$

であろう．それを導くポテンシャル　V(Φ) の形やいかに！

(iii)「それって，おもしろいね．見事だね．」で終わってはならない．

(i) の話に戻って，その相互作用の実在を検証したい．

5. だめ押しのコメント

荷電レプトンの family 数は3

⟶ U(3) family を考えることは自然の成り行き

⟶ 観測値とは無関係に例の式がでてしまう！

$$K(m_{ei}) \equiv \frac{m_e + m_\mu + m_\tau}{(\sqrt{m_e} + \sqrt{m_\tau} + \sqrt{m_\tau})^2} = \frac{2}{3}.$$

観測値に拘る限り，物理を進めることはできなくなる！

ご静聴ありがとうございました