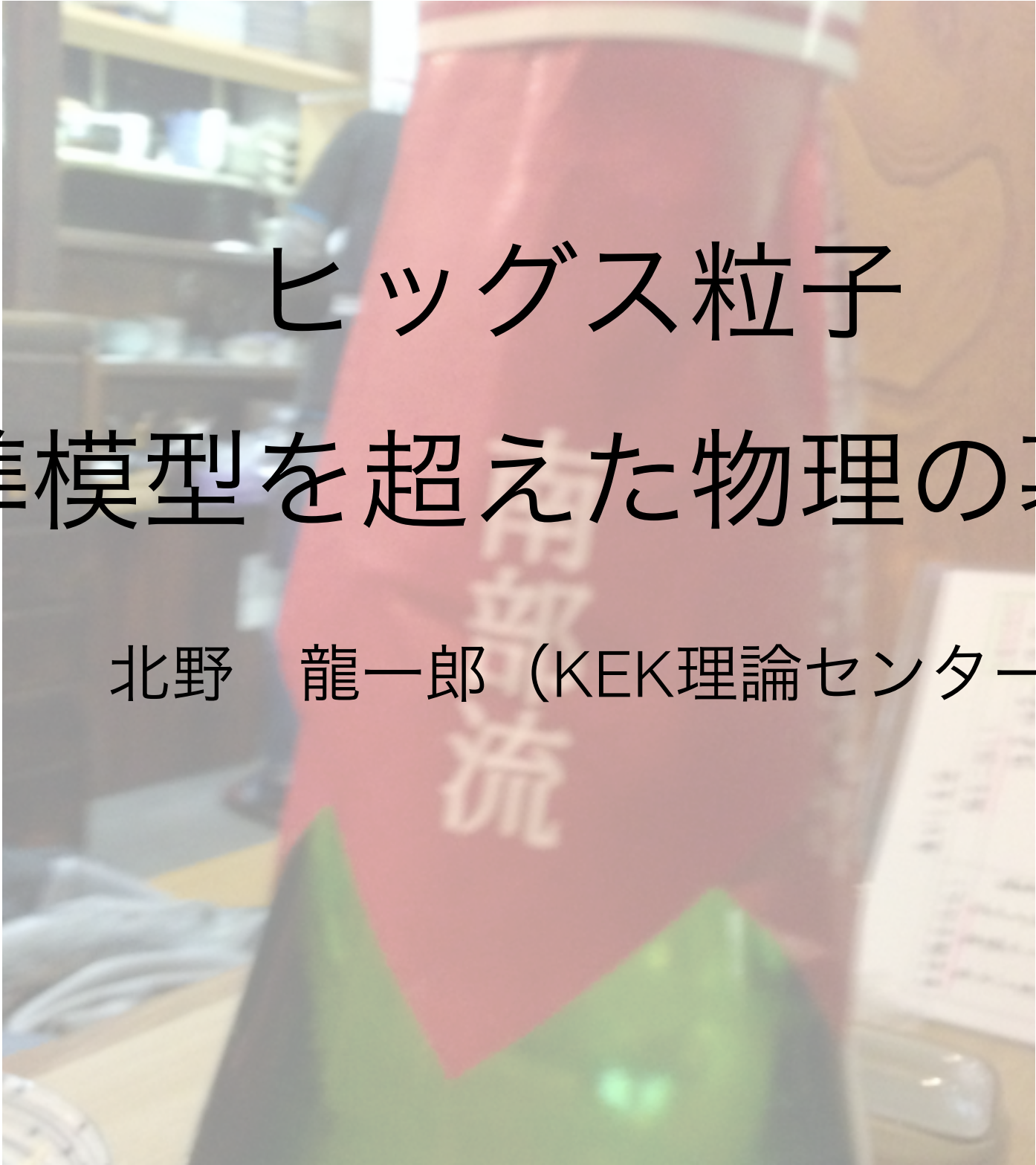




ヒッグス粒子 -標準模型を超えた物理の幕開け-

北野 龍一郎 (KEK理論センター)

ヒッグス粒子は必然か？

南部氏の「自発的対称性の破れ」の模型には
必要のない粒子。

QCDにおけるカイラル対称性の破れにおいて
Higgs粒子に対応するものがあるかどうかは微妙。

$f_0(500)$ or σ
was $f_0(600)$

$$I^G(J^{PC}) = 0^+(0^{++})$$

A REVIEW GOES HERE – Check our WWW List of Reviews

$f_0(500)$ T-MATRIX POLE $\sqrt{s}$

Note that $\Gamma \approx 2 \operatorname{Im}(\sqrt{s_{\text{pole}}})$.

VALUE (MeV)	DOCUMENT ID	TECN	COMMENT
(400–550)–i(200–350)			OUR ESTIMATE

$f_0(980)$

$$I^G(J^{PC}) = 0^+(0^{++})$$

See also the minireview on scalar mesons under $f_0(500)$. (See the index for the page number.)

$f_0(980)$ MASS

VALUE (MeV)	EVTS	DOCUMENT ID	TECN	COMMENT
990 ±20				OUR ESTIMATE

Higgsの予言

VOLUME 13, NUMBER 16

PHYSICAL REVIEW LETTERS

19 OCTOBER 1964

BROKEN SYMMETRIES AND THE MASSES OF GAUGE BOSONS

Peter W. Higgs

Tait Institute of Mathematical Physics, University of Edinburgh, Edinburgh, Scotland

(Received 31 August 1964)

論文の最後の段落

It is worth noting that an essential feature of the type of theory which has been described in this note is the prediction of incomplete multiplets of scalar and vector bosons.⁸ It is to be expected that this feature will appear also in theories in which the symmetry-breaking scalar fields are not elementary dynamic variables but bilinear combinations of Fermi fields.⁹

⁸Tentative proposals that incomplete SU(3) octets of scalar particles exist have been made by a number of people. Such a rôle, as an isolated $Y = \pm 1$, $I = \frac{1}{2}$ state, was proposed for the κ meson (725 MeV) by Y. Nambu and J. J. Sakurai, Phys. Rev. Letters 11, 42 (1963). More recently the possibility that the σ meson (385 MeV) may be the $Y = I = 0$ member of an incomplete octet has been considered by L. M. Brown, Phys. Rev. Letters 13, 42 (1964).

—
⁹In the theory of superconductivity the scalar fields are associated with fermion pairs; the doubly charged excitation responsible for the quantization of magnetic flux is then the surviving member of a U(1) doublet.

実際はかなり微妙

$f_0(500)$ or σ
was $f_0(600)$

$$I^G(J^{PC}) = 0^+(0^{++})$$

A REVIEW GOES HERE – Check our WWW List of Reviews

$f_0(500)$ T-MATRIX POLE $\sqrt{s}$

Note that $\Gamma \approx 2 \operatorname{Im}(\sqrt{s_{\text{pole}}})$.

VALUE (MeV)	DOCUMENT ID	TECN	COMMENT
(400–550)–i(200–350)	OUR ESTIMATE		

$f_0(980)$

$$I^G(J^{PC}) = 0^+(0^{++})$$

See also the minireview on scalar mesons under $f_0(500)$. (See the index for the page number.)

$f_0(980)$ MASS

VALUE (MeV)	EVTS	DOCUMENT ID	TECN	COMMENT
990 ±20	OUR ESTIMATE			

ひよんなところで応用が！

A MODEL OF LEPTONS*

Steven Weinberg†

Laboratory for Nuclear Science and Physics Department,
Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts

(Received 17 October 1967)

This note will describe a model in which the symmetry between the electromagnetic and weak interactions is spontaneously broken, but in which the Goldstone bosons are avoided by introducing the photon and the intermediate-boson fields as gauge fields.³ The model may be renormalizable.

Higgs_他



The effect of all this is just to replace φ everywhere by its vacuum expectation value

$$\langle \varphi \rangle = \lambda \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}. \quad (6)$$

The first four terms in $\mathcal{L}$ remain intact, while the rest of the Lagrangian becomes

$$-\frac{1}{8}\lambda^2 g^2 [(A_\mu^1)^2 + (A_\mu^2)^2] - \frac{1}{8}\lambda^2 (gA_\mu^3 + g'B_\mu)^2 - \lambda G_e \bar{e}e. \quad (7)$$

ここまでくれば必然

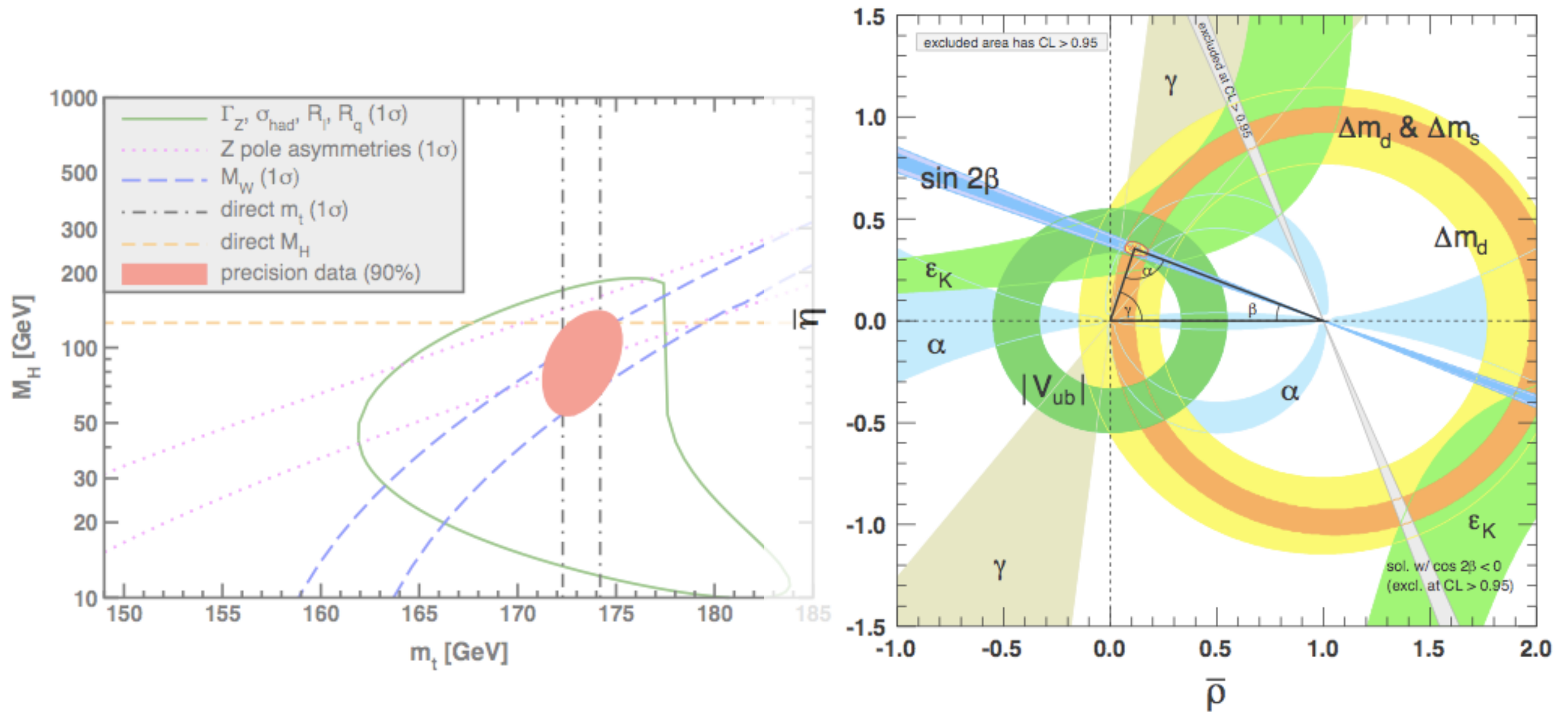


Figure 12.2: Constraints on the $\bar{\rho}, \bar{\eta}$ plane. The shaded areas have 95% CL.

そして、

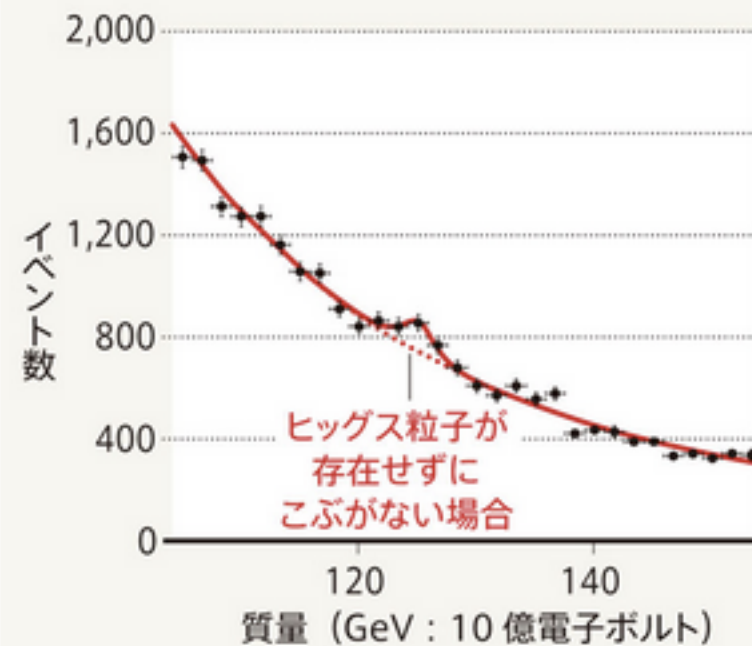
CERNが建設した大型ハドロン加速器（LHC）の主たる目標とされてきた。陽子・陽子衝突型加速器であり、約100億円（100億ユーロ）の費用をかけて建設された。トンネルの長さ、検出器の大きさ、検出器の数を増やすために、以上をかけて取り組んだ。

また、新たな使命を与えることにも貢献した。粒子の性質を明らかにする実験のデータは、標準模型を超えて、詳細に分析されていく。この統一した理解を可能にする。

様々な大発見は、緩やかに傾斜して「こぶ」としてその姿を現している（参照）。ヒッグス粒子を追いかける実験グループが、そのデータを見ると、会場に拍手の嵐が湧き、約125 GeV（ギガ電子ボルト）でヒッグス粒子が存在している明

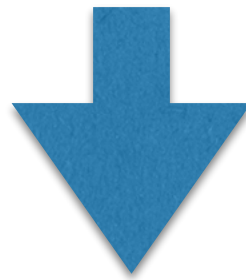
運命のこぶ

ヒッグス粒子を最も明瞭に見いだすことができる過程は、高エネルギーのガンマ線光子対への崩壊だ。その実験結果は、ヒッグス粒子が約125 GeV（ギガ電子ボルト）の質量を持つことを示している。



これでおしまいなのか？

標準模型は完成。



なぜ、標準模型なのか？

やはり、ヒッグス粒子の存在は必然であってほしい。
その必然性の理解なしには、素粒子論を理解したことには
ならないのではなからうか。

なぜ？

$$M_{\text{Pl}} \gg 125 \text{ GeV}$$

$$4\pi v \gg 125 \text{ GeV}$$

ばらばら

e

$$J = \frac{1}{2}$$

$$\text{Mass } m = (548.57990946 \pm 0.00000022) \times 10^{-6} \text{ u}$$

$$\text{Mass } m = 0.510998928 \pm 0.000000011 \text{ MeV}$$

t

$$I(J^P) = 0(\frac{1}{2}^+)$$

$$\text{Charge} = \frac{2}{3} e \qquad \text{Top} = +1$$

$$\text{Mass (direct measurements) } m = 173.21 \pm 0.51 \pm 0.71 \text{ GeV } [a,b]$$

Parameter	best-fit ($\pm 1\sigma$)	3σ
Δm_{21}^2 [10^{-5} eV^2]	$7.54^{+0.26}_{-0.22}$	$6.99 - 8.18$
$ \Delta m^2 $ [10^{-3} eV^2]	2.43 ± 0.06 (2.38 ± 0.06)	$2.23 - 2.61$ ($2.19 - 2.56$)

南部先生だったらどうするだろう？

SPONTANEOUS SYMMETRY BREAKING IN PARTICLE PHYSICS: A CASE OF CROSS FERTILIZATION

Nobel Lecture, December 8, 2008

by

YOICHIRO NAMBU*

Department of Physics, Enrico Fermi Institute, University of Chicago,
5720 Ellis Avenue, Chicago, USA.

.....

Finally I will end this lecture with a comment on the mass hierarchy problem. Hierarchical structure is an outstanding feature of the universe. The masses of known fundamental fermions also make a hierarchy stretching 11 orders of magnitude. Mass is not quantized in a simple regular manner like charge and spin. Mass is a dynamical quantity since it receives contributions from interactions. But we do not see yet a pattern like those in the hydrogen atom, which led to quantum mechanics, or the Regge trajectories, which led to the dual string picture.

The BCS mechanism seems relevant to the problem, as was remarked earlier. It generates a mass gap for fermions, plus the Goldstone and Higgs modes as low-lying bosons. The bosons may act in turn as an agent for further SSB, leading to the possibility of hierarchical SSB or “tumbling” [20]. In fact we already have examples of it [21]:

1. The chain atoms – crystal – phonon – superconductivity. The NG mode for crystal formation is the phonon, which induces the Cooper pairing of electrons to cause superconductivity
2. The chain QCD – chiral SSB of quarks and baryons – π , σ and other mesons – nuclei formation and nucleon pairing – nuclear collective modes. No further elaboration would be required

なるほど。いやいやそうなんだけど、
そのダイナミクスはどんなもので、どのスケールに
あるのでしょうか？

いろいろなシナリオ

まだまだがんばる超対称性

ヒッグスの存在は超対称大統一理論のダイナミクスによるものである。

まだまだがんばる複合粒子

ヒッグス粒子は実は南部ゴールドストーン粒子だ。

最近良く聞くシナリオ

ヒッグス粒子はプランクスケールでゼロ質量となるのだ。

大穴

標準理論と双対な綺麗な理論があるのかも？

例えば、高次元理論とか。

どのシナリオも魅力あふれる本当だったら
ワクワクする可能性。

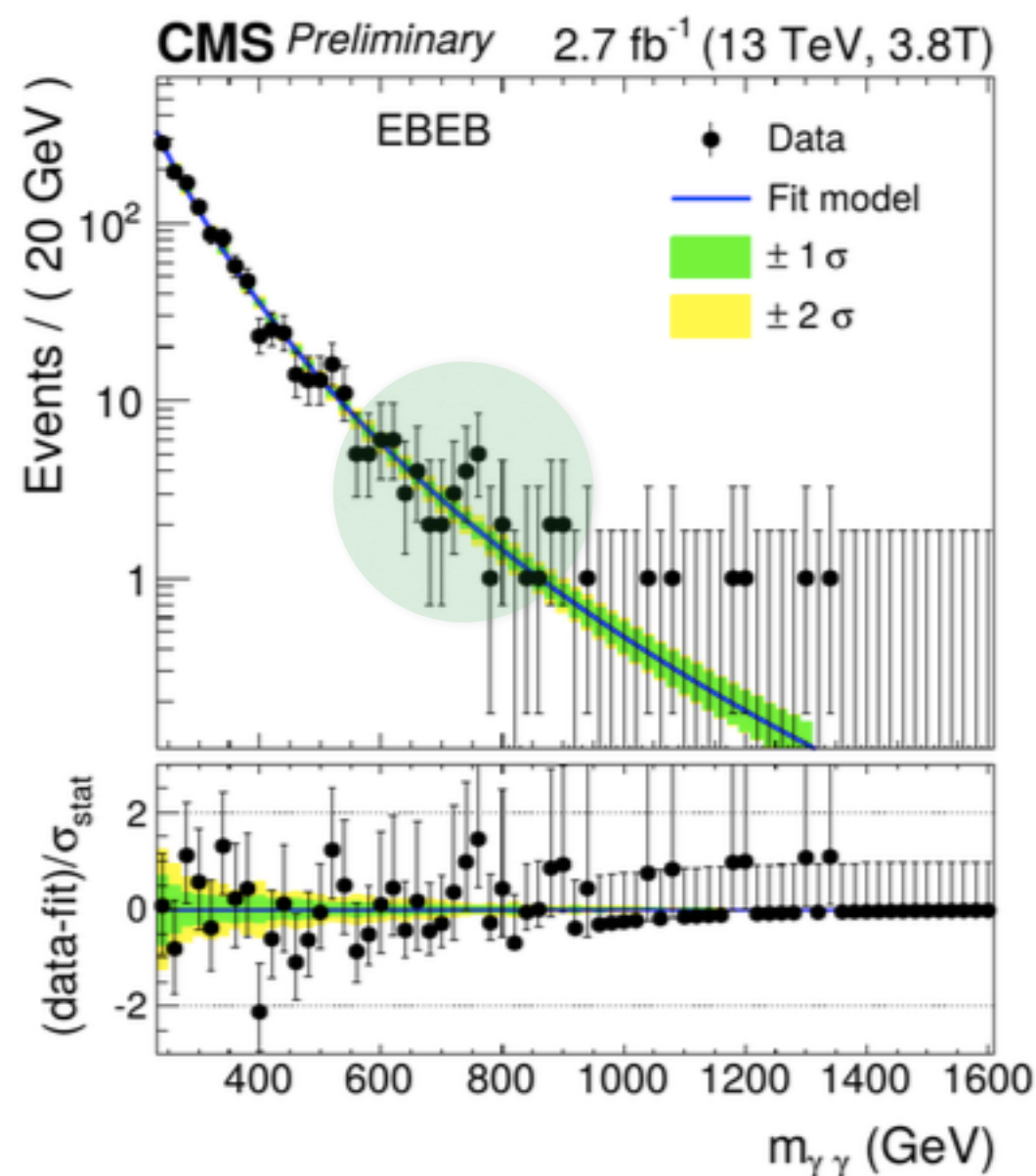
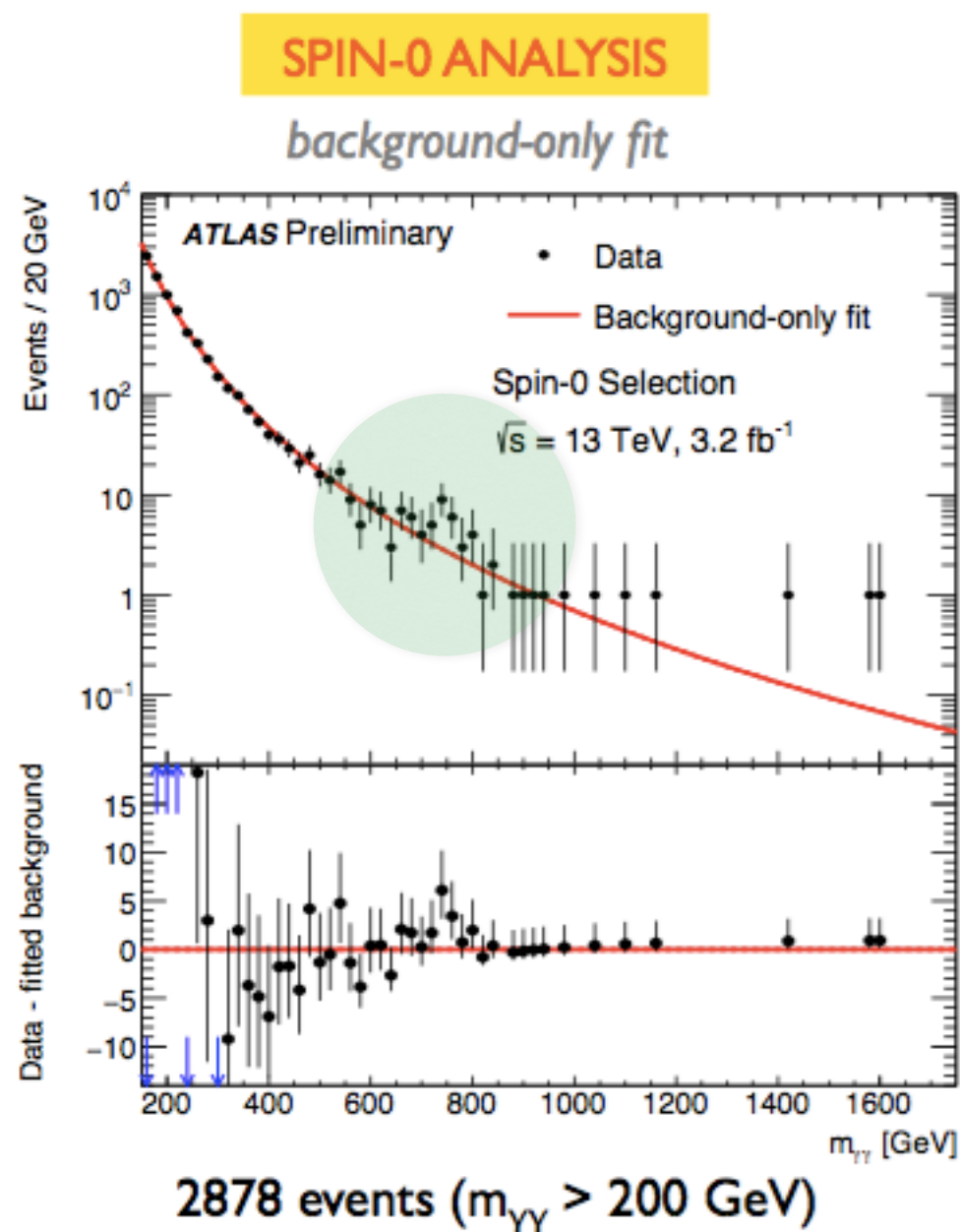
とにかく問いはシンプル。

$$m_h = 125 \text{ GeV} \quad v = 246 \text{ GeV} \quad m_t = 173 \text{ GeV}$$

この3つを実現するダイナミクスは何か？

人類の知識を総動員して考える問題だと思います。

これもヒントかもしれませんね。



電弱ハドロン時代の幕開けか？

という難しい問題はそれはそれとして、

標準模型のわかっているとされている部分にも面白い謎が潜んでいます。

その一つが、

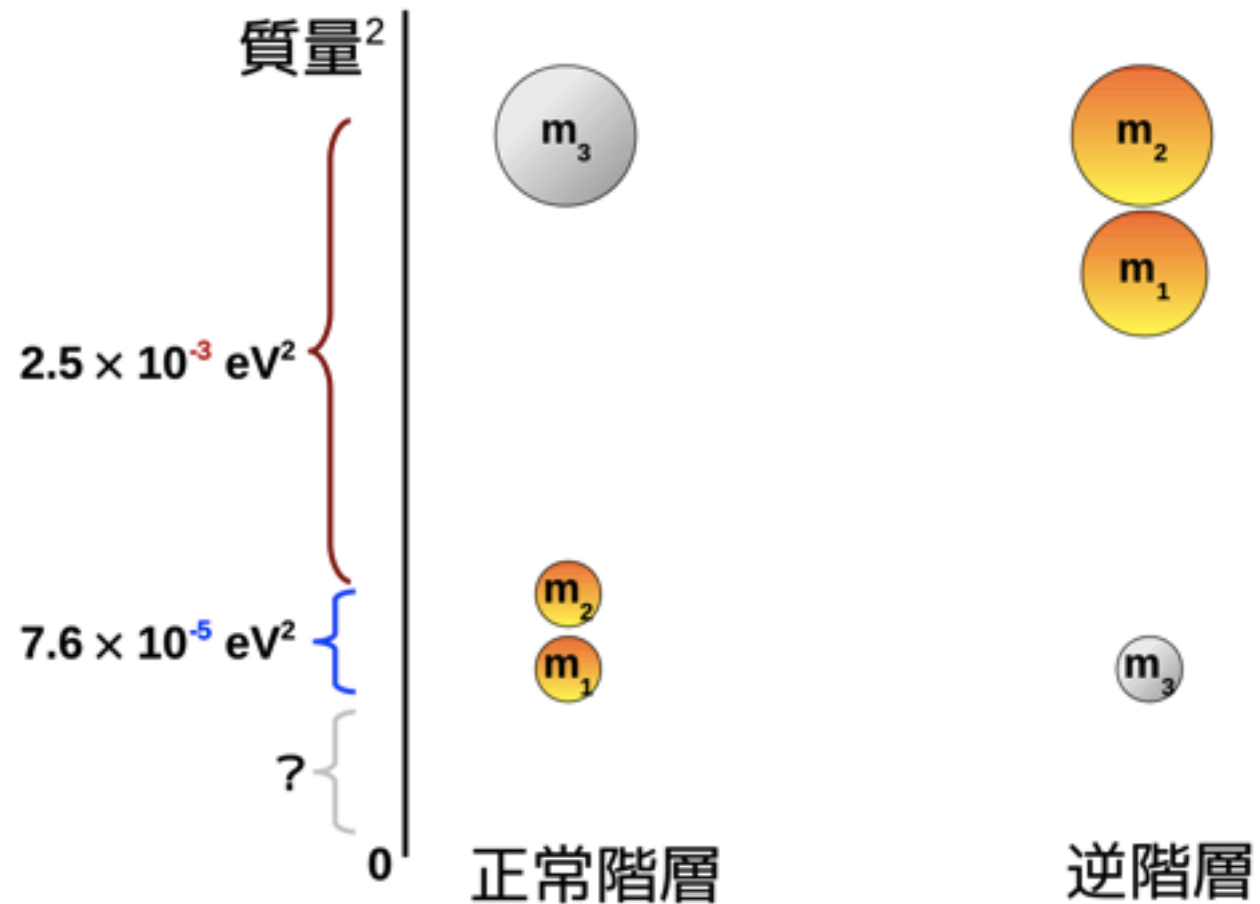
「ヒッグス場はすべてのフェルミオンに質量を与えているのだろうか？」

疑わしい例

1. 最も軽いニュートリノ
2. 最も軽いクォーク

些細なことに聞こえるかもしれませんが、
物理のインパクトは結構大きいです。

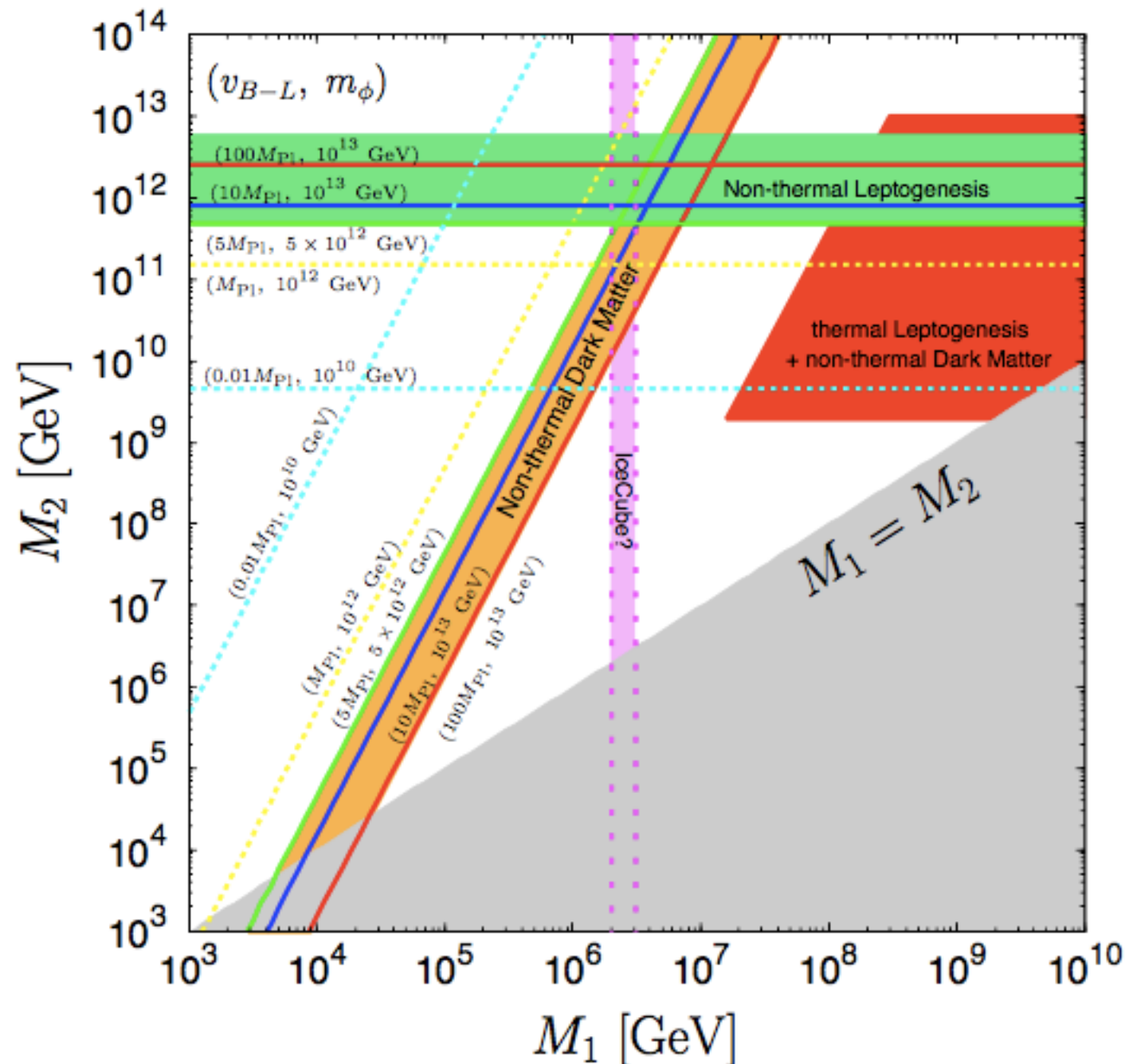
ニュートリノ



例えばシーソー模型で、1つの右巻きニュートリノが結合を持っていないと1つのニュートリノはゼロ質量となる。

Neutrino Universe

[T.Higaki, RK, R.Sato '14]



アップクオーク

u -QUARK MASS

The u -, d -, and s -quark masses are estimates of so-called "current-quark masses," in a mass-independent subtraction scheme such as $\overline{\text{MS}}$. The ratios m_u/m_d and m_s/m_d are extracted from pion and kaon masses using chiral symmetry. The estimates of d and u masses are not without controversy and remain under active investigation. Within the literature there are even suggestions that the u quark could be essentially massless. The s -quark mass is estimated from SU(3) splittings in hadron masses.

We have normalized the $\overline{\text{MS}}$ masses at a renormalization scale of $\mu = 2$ GeV. Results quoted in the literature at $\mu = 1$ GeV have been rescaled by dividing by 1.35. The values of "Our Evaluation" were determined in part via Figures 1 and 2.

VALUE (MeV)	DOCUMENT ID	TECN	COMMENT
$2.3^{+0.7}_{-0.5}$ OUR EVALUATION	See the ideogram below.		
2.36 ± 0.24	¹ CARRASCO	14	LATT $\overline{\text{MS}}$ scheme
$2.15 \pm 0.03 \pm 0.10$	² DURR	11	LATT $\overline{\text{MS}}$ scheme
$2.24 \pm 0.10 \pm 0.34$	³ BLUM	10	LATT $\overline{\text{MS}}$ scheme
.....	⁴	..	

もし実はゼロ質量だったら、

Strong CP問題がなくなる。

なぜなら、アップ・クォーク質量はなぜ実数か？

というのがStrong CP問題だから。

ただし、なぜゼロ質量か問題は残るが。

しかし、この問題は根深い。

クォークの質量とは何か？という問題になってしまう。

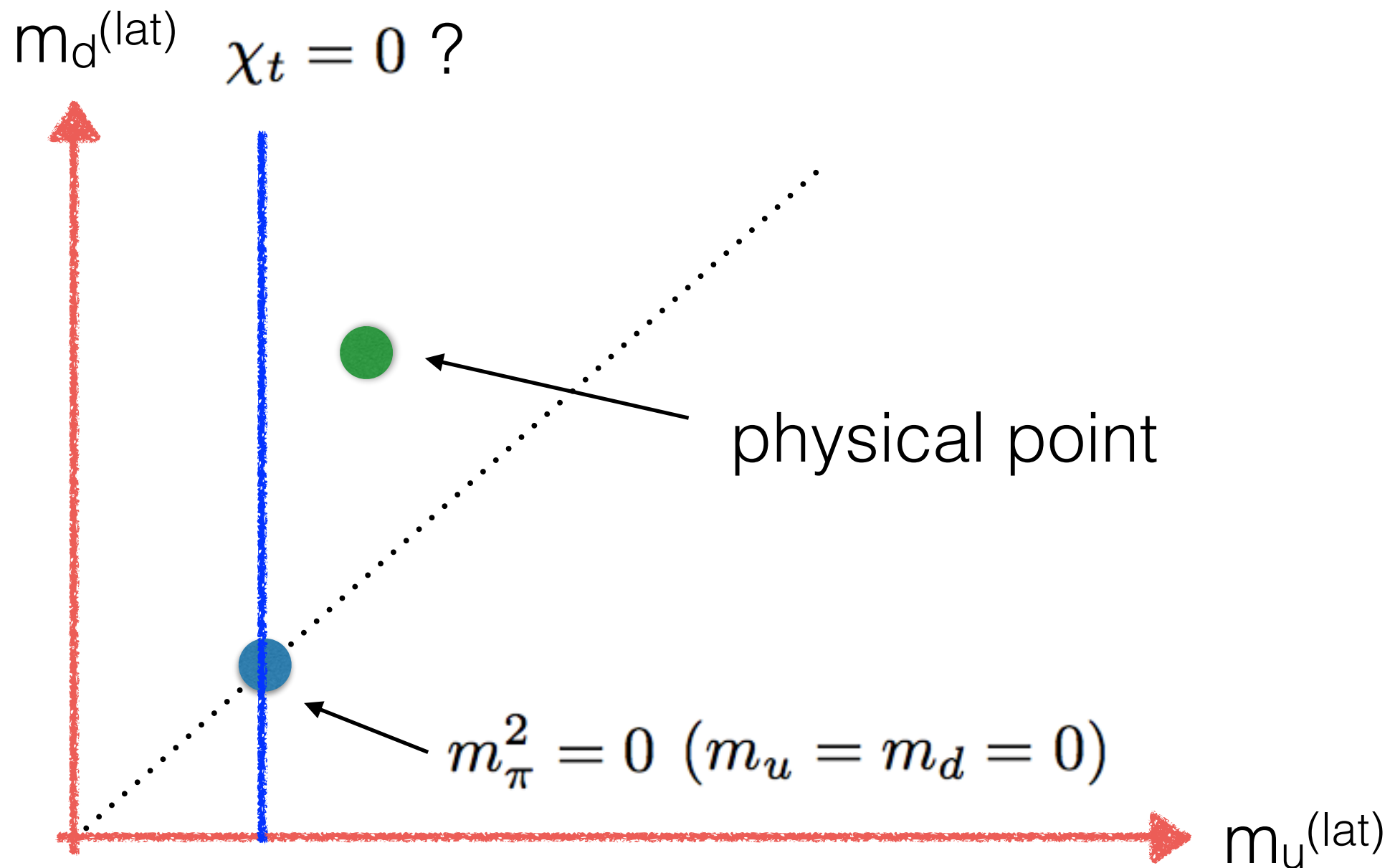
CKM, MNS, Strong CP

$$V_{\text{CKM}} \simeq \begin{pmatrix} 0.97 & 0.23 & 0.004e^{i0.4\pi} \\ * & 0.96 & 0.04 \\ * & * & 1 \end{pmatrix}$$

$$V_{\text{MNS}} \simeq \begin{pmatrix} 0.8 & 0.6 & 0.15e^{i\delta} \\ * & 0.5 & 0.7 \\ * & * & 0.7 \end{pmatrix}$$

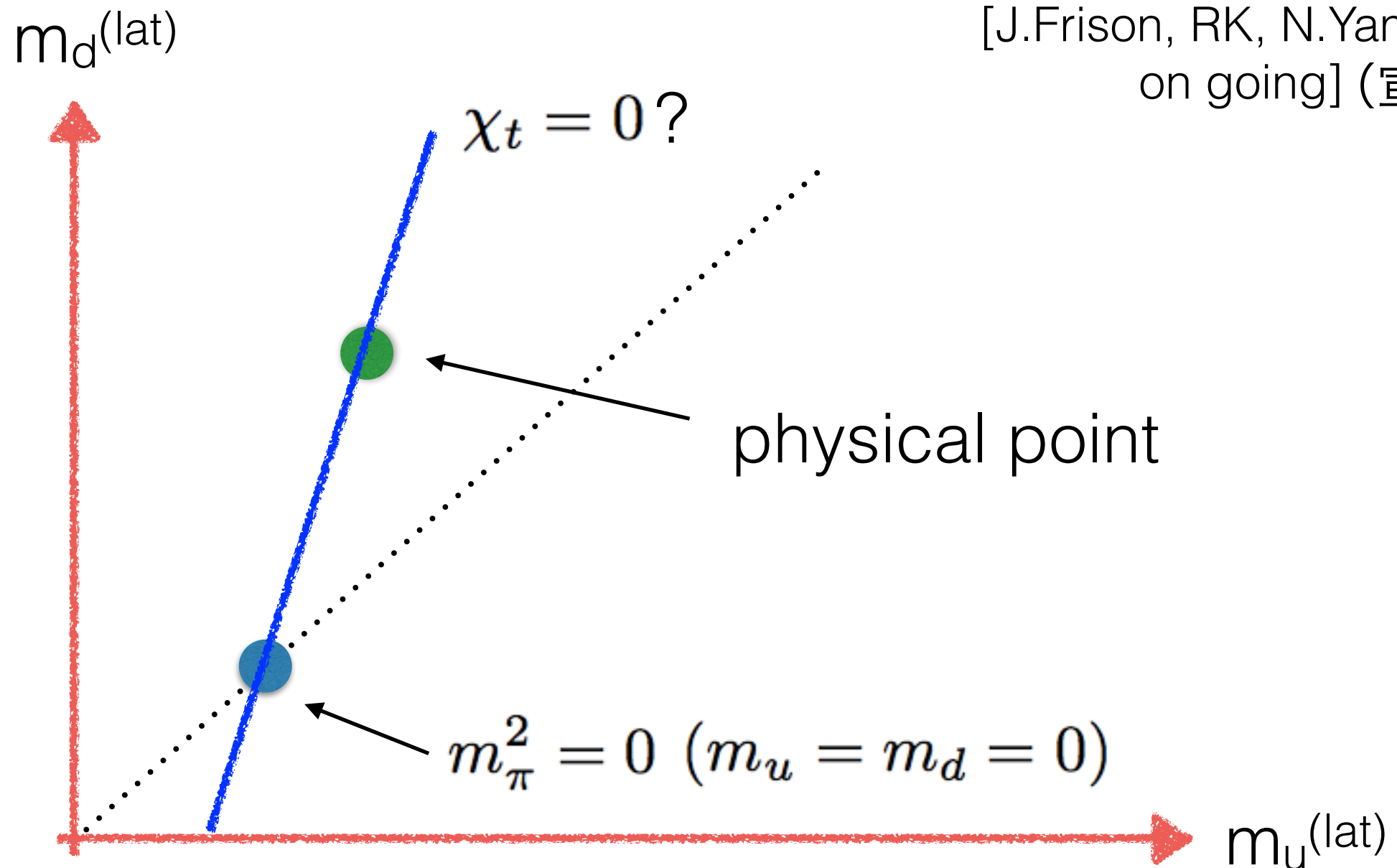
$$m_u m_d m_s m_c m_b m_t = |m_u m_d m_s m_c m_b m_t| e^{i\theta}$$

位相感受率と質量



位相感受率と質量

[J.Frison, RK, N.Yamada
on going] (宣伝)



まとめ

ヒッグス粒子はいた。

今後は、その起源を追い求めていく。

ヒッグス粒子と宇宙の関係が
ヒントかもしれない。

ヒッグス粒子とフェルミオンの関係が
ヒントかもしれない。

ヒッグス粒子と時空の関係が
ヒントかもしれない。