リニアコライダー(LC)の物理

田内利明 (高エネ研)

広島大、物理学集中講義,1995年12月6日(水) ~ 12月8日 (金)

(I) 物理の動機

1. Standard Model (SM)とは？

ここでは、Electroweak interactionを主に議論する。

1-1) 基礎

1-2) Higgs

2. SMの不満足な所

3. SMを越える新しい物理

3-1) SUSY(Super Symmetry)理論

3-2) テクニカラーモデル

4. まとめ

(II) LC実験

1. LEPとTevatron-$P\bar{P}$colliderによるtopとHiggsの現状

2. LHCでのHiggs探索

3. LC1実験 (top, W/Z, Higgs, SUSY etc.)

4. LC2実験 (SUSY粒子 の質量上限、W/Zの強い相互作用)

5. まとめ

1. SMとは？

1-1) 基礎

ゲージ対称性：

U(1): QED(量子電磁力学);著しい成功->ゲージ理論の手本

SU(2): Weak(弱い力)

SU(3): QCD(量子色力学)

ゲージ不変から、ゲージボゾンの質量は 0 である。

W/Zボゾン質量？

EWSB:

Electroweak theory: $SU(2)_L$ x $U(1)_Y$ ----------> $U(1)_{EM}$

Higgs mechanismによる自発的対称性の破れ

ゲージボゾン：

質量 0 の光子

重いW/Zボゾン

量子数による粒子の分類

	色	T	T_3	Y	B	L
	SU(3)	$SU(2)_L$		$U(1)_Y$	重・軽粒子数	
レプトン：スピン1/2						
ν_e ν_μ ν_τ	1	1/2	+1/2	−1/2	0	1
e_L μ_L τ_L	1	1/2	−1/2	−1/2	0	1
e_R μ_R τ_R	1	0	0	−1	0	1
クォーク：スピン1/2						
u_L c_L t_L	3	1/2	+1/2	+1/6	1/3	0
d_L s_L b_L	3	1/2	−1/2	+1/6	1/3	0
u_R c_R t_R	3	0	0	+2/3	1/3	0
d_R s_R b_R	3	0	0	−1/3	1/3	0
ゲージボゾン：スピン1						
g	8	0	0	0	0	0
W^+	1	1	+1	0	0	0
W^o	1	1	0	0	0	0
W^-	1	1	-1	0	0	0
B	1	0	0	0	0	0
γ	1	0	0	0	0	0
Higgs（ヒッグスボゾン）:スピン0						
H	1	1/2	−1/2	+1/2	0	0

ここで、電荷：$Q = T_3 + Y$

SU(n) group

$U = \exp(-iT^a\theta^a)$,　$a = 1 \sim n^2-1$

$[T^a,T^b] = f^{abc}T^c$

	degree of freedom
	$2n^2$
$U^+U = 1$ -> $T^{a+} = T^a$	$-n^2$
det U = 1 -> Tr T^a = 0	-1

フェルミオンをn次元のベクターψで表わすと、自由粒子のラグランジアンは、

$$\overline{\psi}(i\gamma^\mu\partial_\mu - M)\psi = 0$$

ゲージ理論へ

θ^aをローカル変数に取ると、すなわち$\theta^a(x)$とすると、非アベルのゲージ理論となる。このとき$U(x) = \exp(-iT^a\theta^a(x))$

ゲージボゾンとの相互作用を示すゲージ不変のラグランジアンは、次式で表わされる。

$$\mathcal{L} = -1/4\ F^a_{\mu\nu}\ F^{a\,\mu\nu} + \overline{\psi}(i\gamma^\mu D_\mu - M)\psi$$

$D_\mu = \partial_\mu + igT^aA^a_\mu$;covariant derivative

$F^a_{\mu\nu} = \partial_\mu A^a_\nu - \partial_\mu A^a_\mu - g\, f^{abc}A^b_\mu A^c_\nu$;ゲージ場のkinematic term

ここで、gはSU(n)のcoupling定数、f^{abc}に比例する項はゲージ場の自己相互作用を誘起する。

このラグランジアンは、明らかにゲージ場の質量項（$A_\mu A^\mu$に比例する項）をもたない。

Weinberg Salam 理論：$SU(2)_L \times U(1)_Y$

1960, Glashow
'62, Salam
'67, Weinburg

$D_\mu = \partial_\mu + igT^iW^i_\mu + ig' YB_\mu$

$T^i = 1/2\ \sigma^i,\ [T^i, T^j]=ie^{ijk}T^k$

$$\sigma^1 = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} \qquad \sigma^2 = \begin{pmatrix} 0 & -i \\ i & 0 \end{pmatrix} \qquad \sigma^3 = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}$$

$$W^{\pm\mu} = \frac{1}{\sqrt{2}}\left(W^1 \mp iW^2\right)$$

$T^{\pm} = T^1 \pm iT^2$ 電荷：$Q = Y + T^3$

$$\begin{pmatrix} Z^\mu \\ A^\mu \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\theta_W & -\sin\theta_W \\ \sin\theta_W & \cos\theta_W \end{pmatrix} \begin{pmatrix} W^{3\mu} \\ B^\mu \end{pmatrix}$$

θ_W:ワインバーグ角

$$\cos\theta_W = \frac{g}{\sqrt{g^2+g'^2}} \qquad \sin\theta_W = \frac{g'}{\sqrt{g^2+g'^2}}$$

結合定数：$g = \dfrac{e}{\sin\theta_W}$ $[SU(2)_L]$ $\quad g' = \dfrac{e}{\cos\theta_W}$ $[U(1)_Y]$

実際の粒子で表わすと、

$D_\mu =$

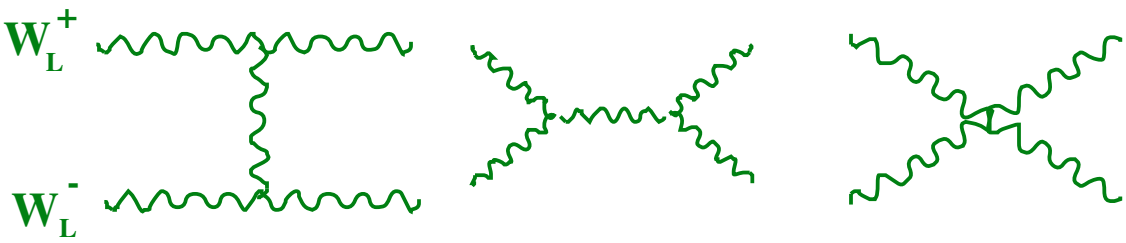
$$\partial_\mu + i\frac{g}{\sqrt{2}}\left(T^+W^{+\mu} + T^-W^{-\mu}\right) + i\frac{g}{\cos\theta_W}\left(T^3 - Q\sin\theta_W\right)Z_\mu + ieQA_\mu$$

上式にすべての相互作用が含まれている。

1-2) Higgs

(a) スカラー粒子の必要性

縦方向に偏極した 2 つのWボゾン衝突の仮想実験



この散乱振幅は次式のE_{cm}^2で増大する項とそうでない項との和で表わされる。$s\to\infty$ で、

$$A=\frac{g^2 s}{8M_W^{\,2}}\left(1+\cos\theta^*\right)$$

このs波の振幅は次式である。

$$A^{1=0}=\frac{g^2 s}{128\pi M_W^{\,2}}\approx\left(\frac{\sqrt{s}}{2.5TeV}\right)^2$$

2.5TeV付近でユニタリティーを破ることを示している。

このエネルギーまでにEWSBを引き起こす力学が必ずある。一般にTeV以下のエネルギー領域に、

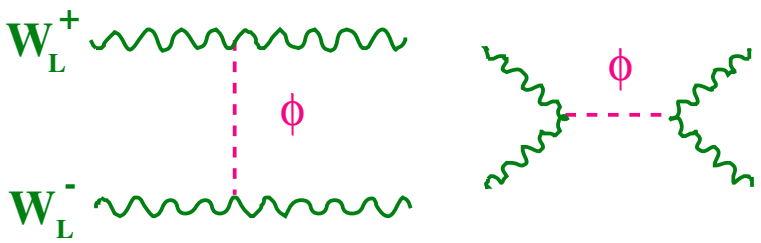
(1) スカラー粒子の存在

(2) W / Zボゾン間の強い相互作用の存在

(3) 上の 2 つが同時に存在

の 3 つの可能性がある。

実際に、スカラー粒子（ϕ）の交換の散乱振幅を計算すると、$E_{cm} >> M_{\phi}$ ($s \to \infty$)のとき、



$$\to A = -\frac{g^2 s}{8 M_W{}^2}\left(1+\cos\theta^*\right)$$

となり、$E_{cm}{}^2$で増大する項を正確に相殺する。

(b) Higgs機構

自発的対称性の破れ

物理法則（ラグランジアン）の対称性が真空期待値により破れる。（真空は非対称である。）

グローバル対称性が破れると、その数分の質量 0 のゴールドストーンボゾンが出現する。

<-ゴールドストーンの定理

ゲージ対称性が破れると、ゴールドストーンボゾンがゲージボゾンの縦波成分となり、ゲージボゾンが質量を持つ。

<-Higgs機構

SM: $SU(2)_L \times U(1)_Y \rightarrow U(1)_{EM}$

自由度： 4 -> 1

3ゴールドストーンボゾン χ_1, χ_2, χ_3

ゲージボゾンの縦波成分 -> W_L^+, W_L^-, Z_L

Higgs二重項（　$SU(2)_L$　）

$$\Phi=\begin{pmatrix}\phi^+\\ \phi^0\end{pmatrix} \qquad Y=\frac{1}{2}$$

ゲージ不変のラグランジアン

$$L=\left(D^\mu\Phi\right)^+\left(D_\mu\Phi\right)-V(\Phi^+\Phi)-\frac{1}{4}W^{i\mu\nu}W_{i\mu\nu}-\frac{1}{4}B^{\mu\nu}B_{\mu\nu}$$

$$V(\Phi^+\Phi)=\lambda\left(\Phi^+\Phi-\frac{v^2}{2}\right)=\mu^2\Phi^+\Phi+\lambda(\Phi^+\Phi)^2$$

$$v^2=-\frac{\mu^2}{\lambda}$$

スケーラーの質量項は
ゲージ不変である。

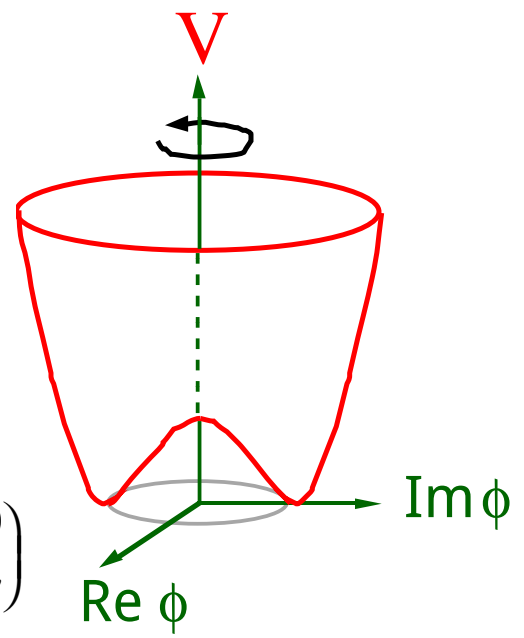
一般に

$$\Phi=\frac{1}{\sqrt{2}}\begin{pmatrix}\phi_1+i\phi_2\\ \phi_3+i\phi_4\end{pmatrix}$$

$$\Phi^+\Phi=\frac{1}{2}\left(\phi_1{}^2+\phi_2{}^2+\phi_3{}^2+\phi_4{}^2\right)=\frac{v^2}{2}$$

SU(2)のphaseの自由度により、

$$\phi_3{}^2=v^2,\phi_1{}^2=\phi_2{}^2=\phi_4{}^2=0\text{K}\Rightarrow\Phi_0=\frac{1}{\sqrt{2}}\begin{pmatrix}0\\ v\end{pmatrix}$$



Φ_0という真空期待値は$SU(2)_L$x$U(1)_Y$に不変でないが、次のように$U(1)_{EM}$不変性を持つ。

$$e^{-iT^3\theta}\bullet e^{-iY\theta}\Phi_0=e^{-i(T^3+Y)}\Phi_0=e^{-iQ}\Phi_0=\Phi_0$$

すなわち、$SU(2)_L$ x $U(1)_Y$ -> $U(1)_{EM}$が誘起された。

Higgs, W そしてZの質量

Higgs場を真空期待値の付近で展開し、ユニタリーなゲージ変換をする。

$$\Phi=\frac{1}{\sqrt{2}}\begin{pmatrix} i\chi_1+\chi_2 \\ v+h-i\chi_3 \end{pmatrix}=\frac{1}{\sqrt{2}}e^{i\frac{T^i\chi^i}{v}}\begin{pmatrix} 0 \\ v+h \end{pmatrix}\rightarrow\frac{1}{\sqrt{2}}\begin{pmatrix} 0 \\ v+h \end{pmatrix}$$

$$\left(D^\mu\Phi\right)^+\left(D_\mu\Phi\right)-V(\Phi^+\Phi)=\frac{1}{2}(\partial_\mu h)(\partial^\mu h)-\frac{1}{2}{m_h}^2h^2\left(1+\frac{h}{v}+\frac{h^2}{4v^2}\right)$$

$$+{m_W}^2{W^+}_\mu{W^-}_\nu\left(1+\frac{2h}{v}+\frac{h^2}{v^2}\right)+\frac{1}{2}{m_Z}^2Z_\mu Z^\mu\left(1+\frac{2h}{v}+\frac{h^2}{v^2}\right)$$

ここで、

$${m_h}^2=2\lambda v^2$$

$$m_W=\frac{1}{2}gv$$

$$m_Z=\frac{1}{2}\frac{g}{\cos\vartheta_W}$$

1983年　**UA1/UA2　W/Z発見**　　ルビア　ノーベル賞

Weinberg より16年後、Glashowより23年後。

フェルミオンの質量

SMでは左巻きと右巻きのフェルミオンは違った相互作用をし、独立な粒子と見られる。ところが、その質量項はこれら 2 つの積の形で現われるため、SMゲージ対称性を破っている。左巻きのものは$SU(2)_L$の 2 重項であり、右巻きは 1 重項であるため。

$SU(2)_L$の 2 重項であるHiggsとの湯川相互作用を導入すれば、ゲージボゾンのときと同様に自発的対称性の破れの結果として、質量を持つことができる。

レプトンの場合

ゲージ不変な湯川相互作用のラグランジアン

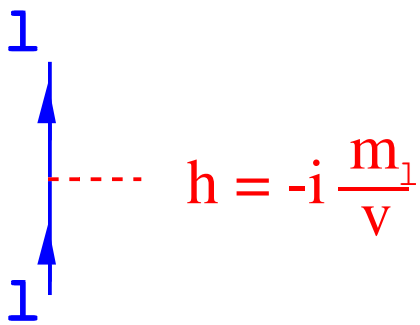
$$L_Y = -f_l \bar{L} \Phi l_R - f_R^{*} \overline{l_R} \Phi^{+} L$$

$$Y=\frac{1}{2}+\frac{1}{2}-1=0 \qquad Y=1-\frac{1}{2}-\frac{1}{2}=0$$

ユニタリーゲージで：

$$L_Y = -f_l \left(\nu_{lL}, \overline{l_L}\right) \begin{pmatrix} 0 \\ \frac{v+h}{\sqrt{2}} \end{pmatrix} l_R + c.c. = -m_l \bar{l} l \left(1+\frac{h}{v}\right)$$

$$m_l = \frac{|f_l|}{\sqrt{2}} v$$



クォークの場合

ゲージ不変な湯川相互作用のラグランジアン

$$L_Y = -\sum_{i,j}\left\{ f_{ij}^{(D)}\left(\bar{u}_{iL}, \bar{d}_{iL}\right)\Phi d_{jR} + f_{ij}^{(U)}\left(\bar{u}_{iL}, \bar{d}_{iL}\right)\tilde{\Phi} u_{jR}\right\}$$

$$Y=-\frac{1}{6}+\frac{1}{2}-\frac{1}{3}=0 \qquad Y=-\frac{1}{6}+Y_{\tilde{\Phi}}+\frac{2}{3}=0\rightarrow Y_{\tilde{\Phi}}=-\frac{1}{2}$$

i,j：世代数（１～３）

$\tilde{\Phi}$のminimalな解は、Weinbergによって与えられた。

$$\tilde{\Phi} = i\sigma^2\Phi^* = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{pmatrix}\Phi^* \rightarrow \frac{1}{\sqrt{2}}\begin{pmatrix} v+h \\ 0 \end{pmatrix}$$

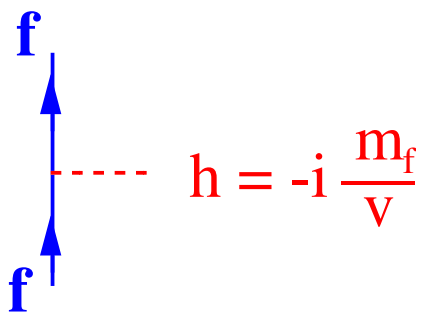
ユニタリーゲージで：

$$L_Y = -\frac{v}{\sqrt{2}}\left\{\bar{u}_{iL} f_{ij}^{(U)} u_{jR} + \bar{d}_{iL} f_{ij}^{(D)} d_{jR} + c.c.\right\}\left(1+\frac{h}{v}\right)$$

ここで、$f_{ij}^{(U)}$と$f_{ij}^{(D)}$は任意の複素数であるが、ユニタリー変換により正数に対角化できる。したがって、

$$L_Y = -\sum_{f=u,d,s,c,b,t} m_f \bar{f} f\left(1+\frac{h}{v}\right)$$

$$m_f = \frac{f_f}{\sqrt{2}}v$$



$SU(2)_L$と質量（湯川相互作用）の固有状態は違う。

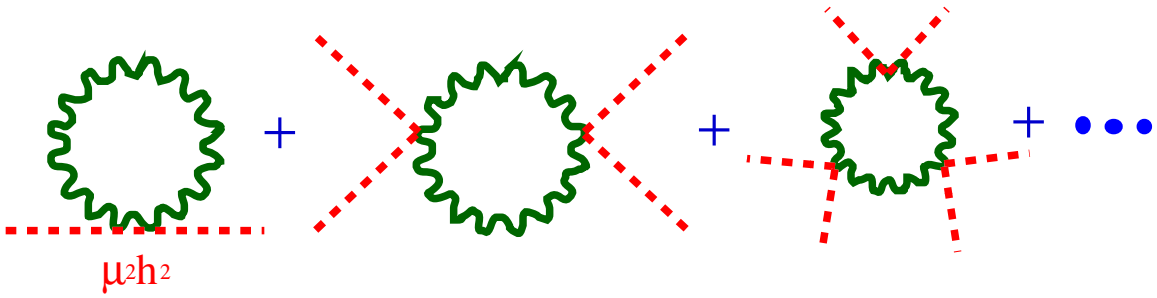
k　KM（小林・益川）マトリックス

Higgsの質量

(1) 質量の下限

Lowest order(tree level)では、Higgsの４点結合定数λを０にするとその質量が０になると思われる。しかしながら、次のorder(1-loop)の量子補正の結果、λは有限値を持つ。

$\lambda \to 0$ で $m_h > 7$ GeV



(1) 質量の上限

(a) Perturbationで計算できる範囲

$\frac{\lambda^2}{4\pi^2} \le 1$ 又は $\lambda < 8$ 又は $m_h < 4v \sim 1$ TeV

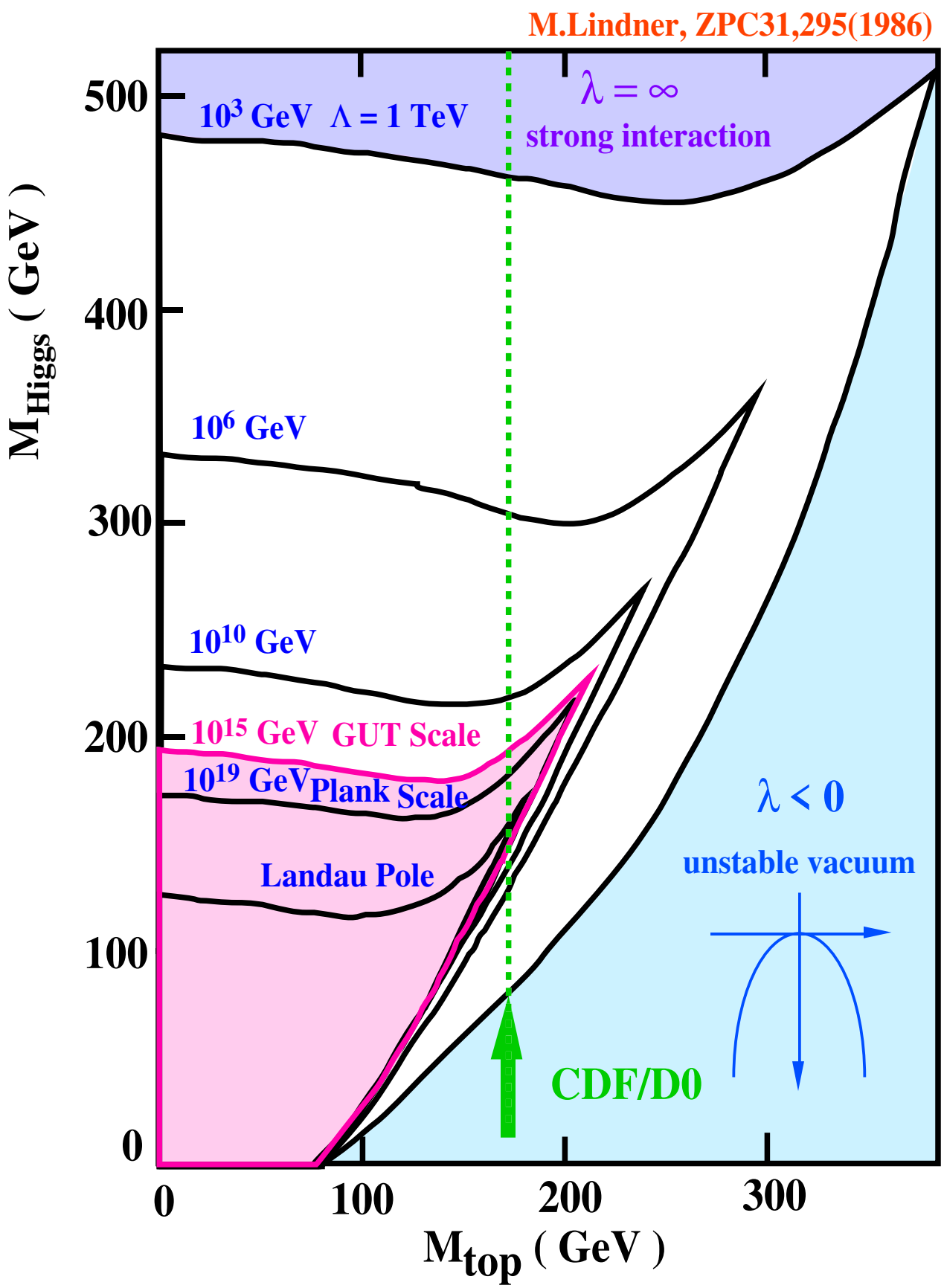
(b) Higgsの自己相互作用定数でもあるλの繰り込み群方程式による高エネルギーでの非漸近自由の振る舞い

$$\lambda(\Lambda) = \frac{\lambda(m_h)}{1 - \frac{3\lambda(m_h)}{4\pi^2}\log\frac{\Lambda^2}{m_h{}^2}}$$

λ(Λ)はΛ_∞で発散する。

$$\Lambda_\infty = m_h \exp\left(\frac{4v^2\pi^2}{3m_h{}^2}\right)$$

$\Lambda_\infty \sim 10^{16}$GeVとすると$m_h < 160$ GeVである。

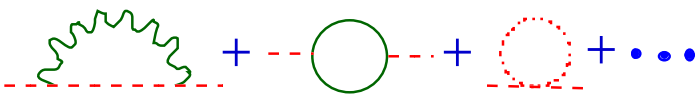

M.Lindner, ZPC31,295(1986)
10^3 GeV Λ = 1 TeV
λ = ∞
strong interaction
10^6 GeV
10^{10} GeV
10^{15} GeV GUT Scale
10^{19} GeV Plank Scale
Landau Pole
λ < 0
unstable vacuum
CDF/D0
M_{Higgs} (GeV)
M_{top} (GeV)
0
100
200
300
400
500

自然さの問題

SMでの一番の困りもの

Higgs質量の量子補正：

$$\mu\frac{\partial}{\partial\mu}m_h(\mu)=m_h(\mu)\left\{cg^2\ln\frac{\mu^2}{m_h^2(\mu)}+\mathrm{L}\right\}$$



$$\therefore \delta m_h^2 \equiv m_h^2(m_X)-m_h^2(m_W)=cg^2\left(m_X^2-m_W^2\right)+\mathrm{L}$$

$$\therefore m_h^2(m_W)\sim m_h^2(m_X)-cg^2m_X^2+\mathrm{L}$$

10^4　　10^{30}　　10^{30}

よって、不自然な10^{-26}の相殺が必要である。

ただし、m_Xのエネルギー（GUTスケール）まで Perturbationによる計算が正しく行えることを前提にしている。ゲージボゾンとフェルミオンの質量はゲージ対称性、カイラル対称性のそれぞれで守られている。

2. SMの不満足な所

(1) どうしてレプトン、クォークには、三世代あるのか。

(2) 質量の期限は何か。
Higgs機構そして湯川相互作用が手で入れられている。これらに対応する対称性もしくは力学（dynamics）がない。

(3) CPの破れの原因は、小林・益川マトリックスの位相で説明されるのか。その大きさの原因は何か。

(4) 自然さの問題

(5) 電磁、弱い、強い相互作用の３つの結合定数が独立に存在している。

SMは新しい物理の低エネルギーでの有効理論ではないか。

3. SMを越える新しい物理

3-1) 超対称性（SUSY）理論

動機

(a) 純理論的動機（美学）

Haag-Lopuszanski-Sohnius(HLS)の定理,NP-B88,257(1975)

自由場の理論とならないで場の理論が持つことのできる最大の対称性は、ローレンツ群を含むフェルミオン・ボゾン変換の超対称性と内部ゲージ対称性の直積で表わされる。

例えば、$SU(6) = SU(3)_{フレーバー} \times SU(2)_{スピン}$は分類としてだけ働く。

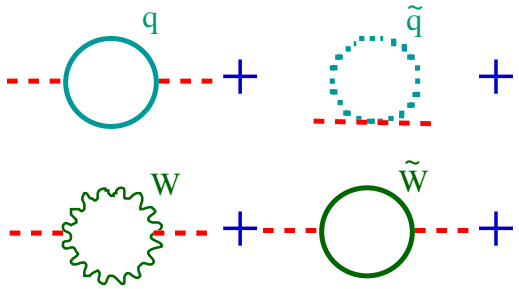
(b) Higgs質量の量子補正に見られた不自然さを取り除く。

Higgsの自己エネルギーに現われた2乗発散を相殺する余分の粒子を導入する。

$$m_h^2(m_W) \sim m_h^2(m_X) \sim 10^2\,\mathrm{GeV},\ c = 0 \ :\text{超対称性}$$

実際には、超対称性は破れている。

$$m_h^2(m_W) \sim m_h^2(m_X) + \int_{m_W}^{m_X} d\mu[$$



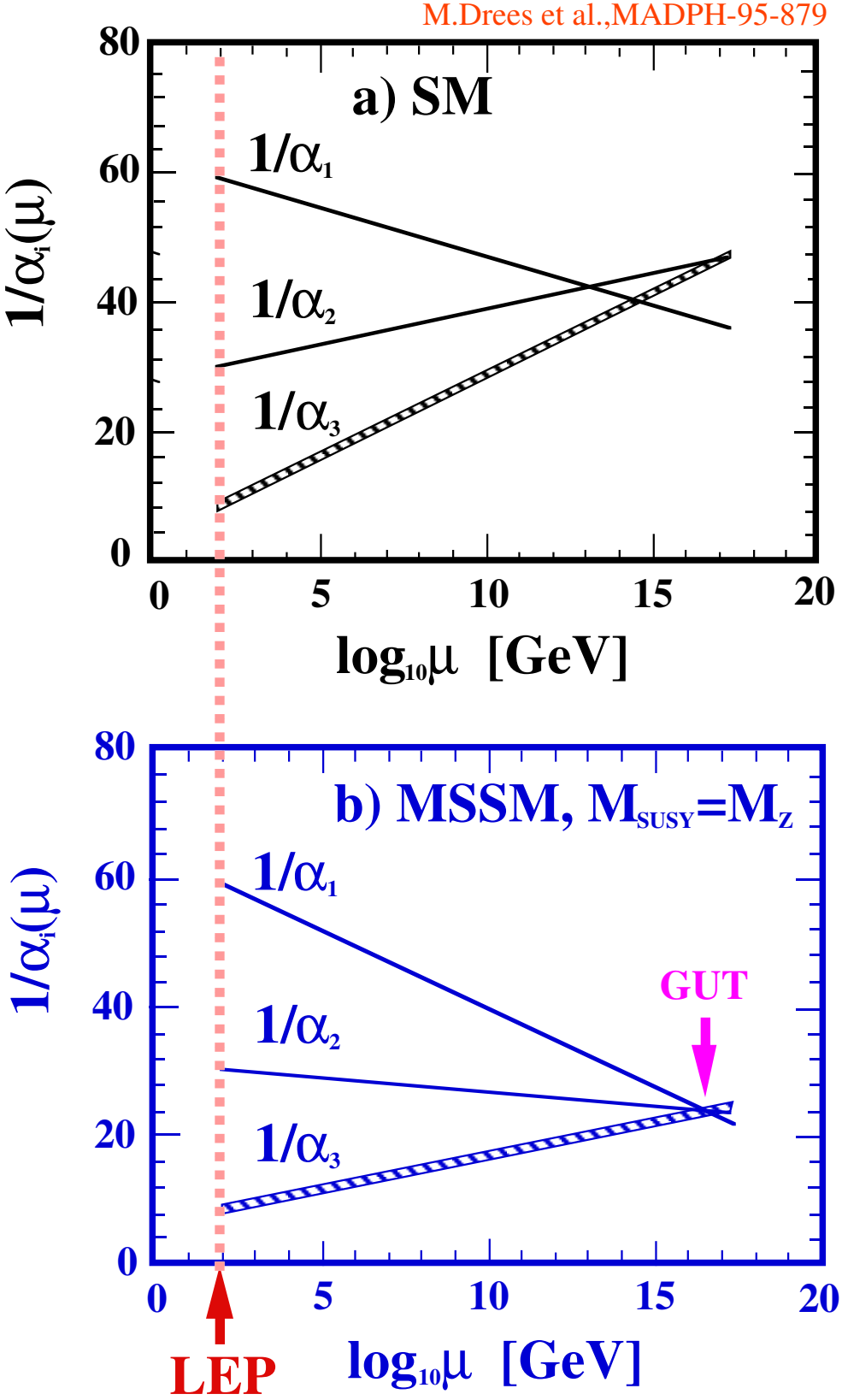
$$L\ ]$$

$$\sim m_h^2(m_X) + \frac{\alpha}{\pi}\left[\tilde{m}^2 - m^2\right] \le 1\ \mathrm{TeV}^2 \Rightarrow \tilde{m} \le (1-10)\ \mathrm{TeV}$$

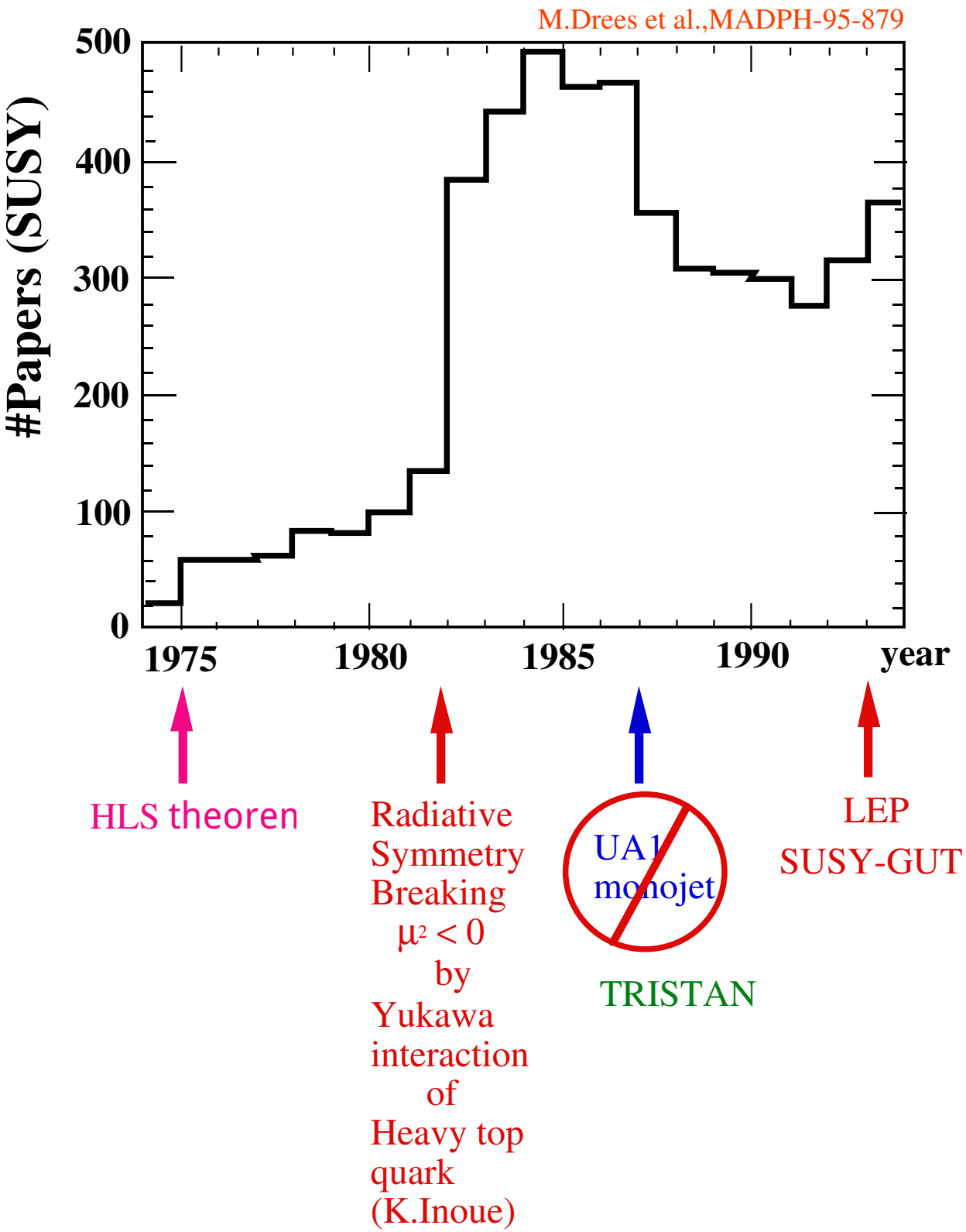
$$\therefore\ \mathbf{m_h^2(m_W) \sim m_h^2(m_x) \le 1\ TeV^2}$$

SUSY理論に基く大統一の可能性

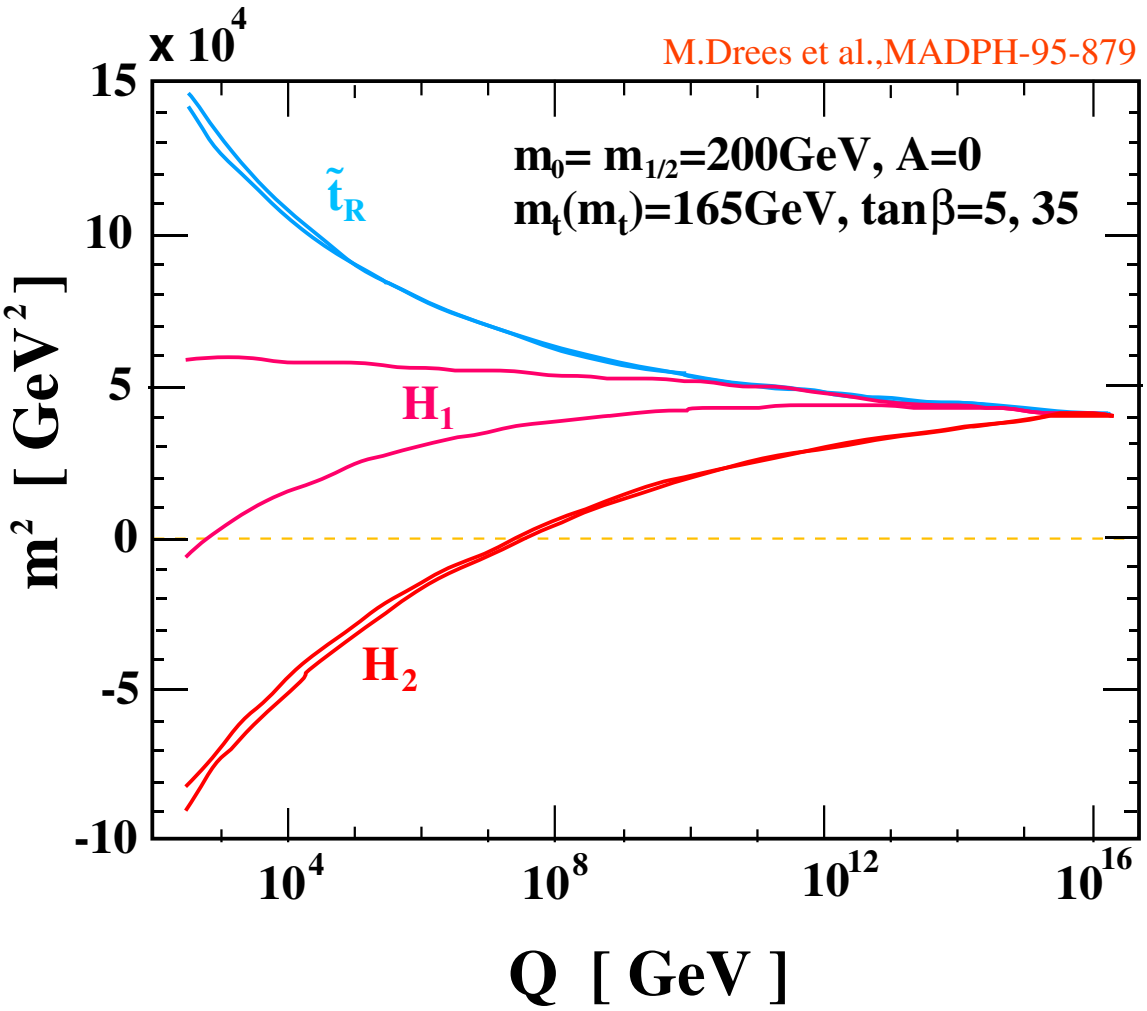
M.Drees et al.,MADPH-95-879



論文数で見るSUSYの歴史



Radiative Symmetry Breaking



note: $m_h^2 = 2\lambda v^2 = -2\mu^2$

$$\begin{pmatrix} h \\ H \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\alpha & \sin\alpha \\ -\sin\alpha & \cos\alpha \end{pmatrix} \begin{pmatrix} H_1 \\ H_2 \end{pmatrix}$$

量子数による粒子の分類：MSSM

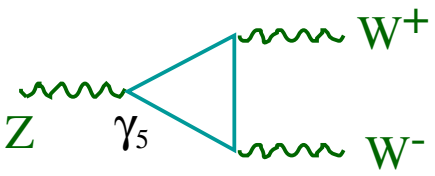
	色	T	T_3	Y	B	L
	SU(3)	$SU(2)_L$		$U(1)_Y$	重・軽粒子数	
スレプトン：スピン 0						
$\tilde{\nu}_e$ $\tilde{\nu}_\mu$ $\tilde{\nu}_\tau$	1	1/2	+1/2	−1/2	0	1
$\tilde{e}_L$ $\tilde{\mu}_L$ $\tilde{\tau}_L$	1	1/2	−1/2	−1/2	0	1
$\tilde{e}_R$ $\tilde{\mu}_R$ $\tilde{\tau}_R$	1	0	0	−1	0	1
スクォーク：スピン 0						
$\tilde{u}_L$ $\tilde{c}_L$ $\tilde{t}_L$	3	1/2	+1/2	+1/6	1/3	0
$\tilde{d}_L$ $\tilde{s}_L$ $\tilde{b}_L$	3	1/2	−1/2	+1/6	1/3	0
$\tilde{u}_R$ $\tilde{c}_R$ $\tilde{t}_R$	3	0	0	+2/3	1/3	0
$\tilde{d}_R$ $\tilde{s}_R$ $\tilde{b}_R$	3	0	0	−1/3	1/3	0
ゲージーノ：スピン1/2						
$\tilde{g}$	8	0	0	0	0	0
$\tilde{W}^+$	1	1	+1	0	0	0
$\tilde{W}^0$	1	1	0	0	0	0
$\tilde{W}^-$	1	1	-1	0	0	0
$\tilde{B}$	1	0	0	0	0	0
$\tilde{\gamma}$	1	0	0	0	0	0
ヒグジーノ：スピン1/2						
$\tilde{H}^0_{1L}$	1	1/2	+1/2	−1/2	0	0
$\tilde{H}^-_{1L}$	1	1/2	−1/2	−1/2	0	0
$\tilde{H}^+_{2L}$	1	1/2	+1/2	+1/2	0	0
$\tilde{H}^0_{2L}$	1	1/2	−1/2	+1/2	0	0

ここで、電荷：$Q = T_3 + Y$

SUSY Higgs

2つの二重項が必要

(1) ヒグジーノを含むゲージ異常項(anormalies)の相殺



$$\sum_{f}^{loop} Q_f = 0$$ が必要。

$$(\text{一世代}) = -1 + 3\cdot\left(\frac{2}{3} - \frac{1}{3}\right) + (1\ -1) + (1\ -1)$$

$$e \qquad u \quad d \qquad \tilde{W}^+\ \tilde{W}^- \qquad \tilde{H}^+\ \tilde{H}^-$$

(2) "up-type"クォークと"down-type"クォーク,荷電レプトンに質量を与える。超対称性を破るΦ^*の使用禁止

$$\Phi_1 = \begin{pmatrix} \phi_1^0 \\ \phi_1^- \end{pmatrix} \qquad \langle \Phi_1 \rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} v_1 \\ 0 \end{pmatrix} \qquad Y = -\frac{1}{2} \qquad \text{"up-type"}$$

$$\Phi_2 = \begin{pmatrix} \phi_2^+ \\ \phi_2^0 \end{pmatrix} \qquad \langle \Phi_2 \rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 0 \\ v_2 \end{pmatrix} \qquad Y = \frac{1}{2} \qquad \text{"down-type"}$$

Higgsポテンシャル

$$V = \left(m_1^2 + |\mu|^2\right)|\Phi_1|^2 + \left(m_2^2 + |\mu|^2\right)|\Phi_2|^2 + B\mu(\Phi_1\Phi_2 + h.c.)$$
$$-\frac{g^2 + g'^2}{8}\left(|\Phi_1|^2 - |\Phi_2|^2\right)^2$$

Φ_1, Φ_2の８個の自由度の内３個がゲージボゾンに食われる。

h°, H°, H^+, H^-, A

$v_1^2 + v_2^2 = v^2 \Rightarrow \tan\beta = \frac{v_2}{v_1}, m_A$ の２つの独立変数

特徴

SMの４点結合λに対応するものが、$g^2+g'^2$のゲージ結合で表わされている。

$\lambda = \frac{g^2 + g'^2}{8}$ とすると、

$$m_h = \sqrt{2\lambda}v \le \frac{\sqrt{g^2 + g'^2}}{2} v = m_Z$$

実際には、トップクォークの量子補正によりm_hの上限はさらに上がり、m_{top}=170GeVのときm_h < 150GeVである。

その他

F.C.N.C.(Flavor Changing Neutral Current)過程などから、超対称性粒子（スクォーク、スレプトン）の質量は縮体している。

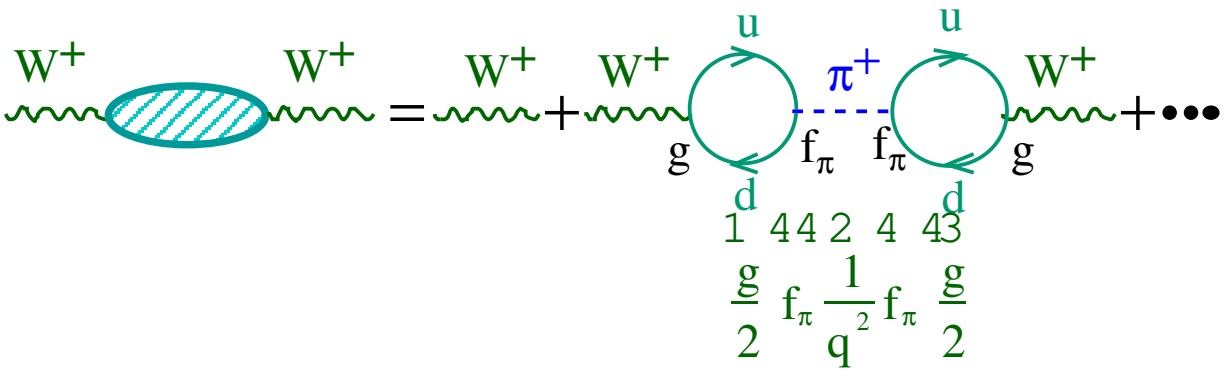
3-2) テクニカラーモデル

TeV領域での新しい強い相互作用（QCD like）

質量０のクォークに対するカイラル対称性$SU(2)_L \times SU(2)_R$をクォーク凝縮$\langle \bar{U}_L U_R \rangle = \langle \bar{D}_L D_R \rangle$により破る。その結果、アイソスピン対称性$SU(2)_{L+R}$が残る。

$$SU(2)_L \times SU(2)_R \to SU(2)_{L+R}$$

このとき現われる３つのゴールドボゾンは$SU(2)_L$ゲージボゾンに質量を与える。○ Dynamical Symmetry Breaking



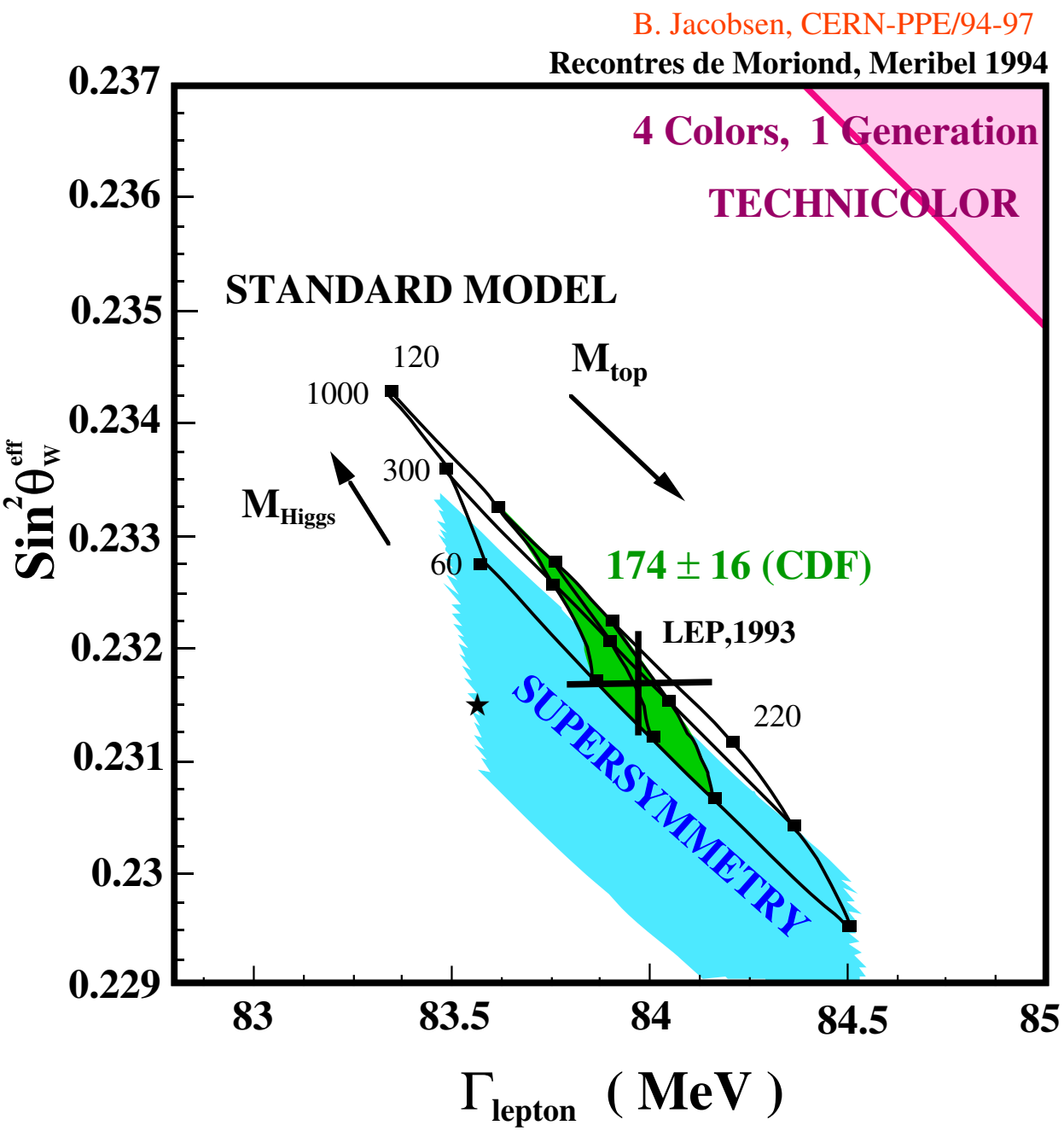
$$\Lambda_{TC} = \Lambda_{QCD} \frac{80GeV}{30MeV} \sim 400GeV$$

$$e^+e^- \to U\bar{U}, D\bar{D} \to \rho_{TC} \to W^+W^- \quad \text{at} \quad \sqrt{s} = m_\rho \frac{\Lambda_{TC}}{\Lambda_{QCD}} \sim TeV$$

２世代以上のテクニクォークがあれば、もっと低い質量にゴールドボゾンが現われる。

LEP実験とF.C.N.C.の困難から瀕死の状態。

LEPデータとテクニカラー



★: the Standard Model expectation without electroweak radiative correction

LC実験

1-1) Overview

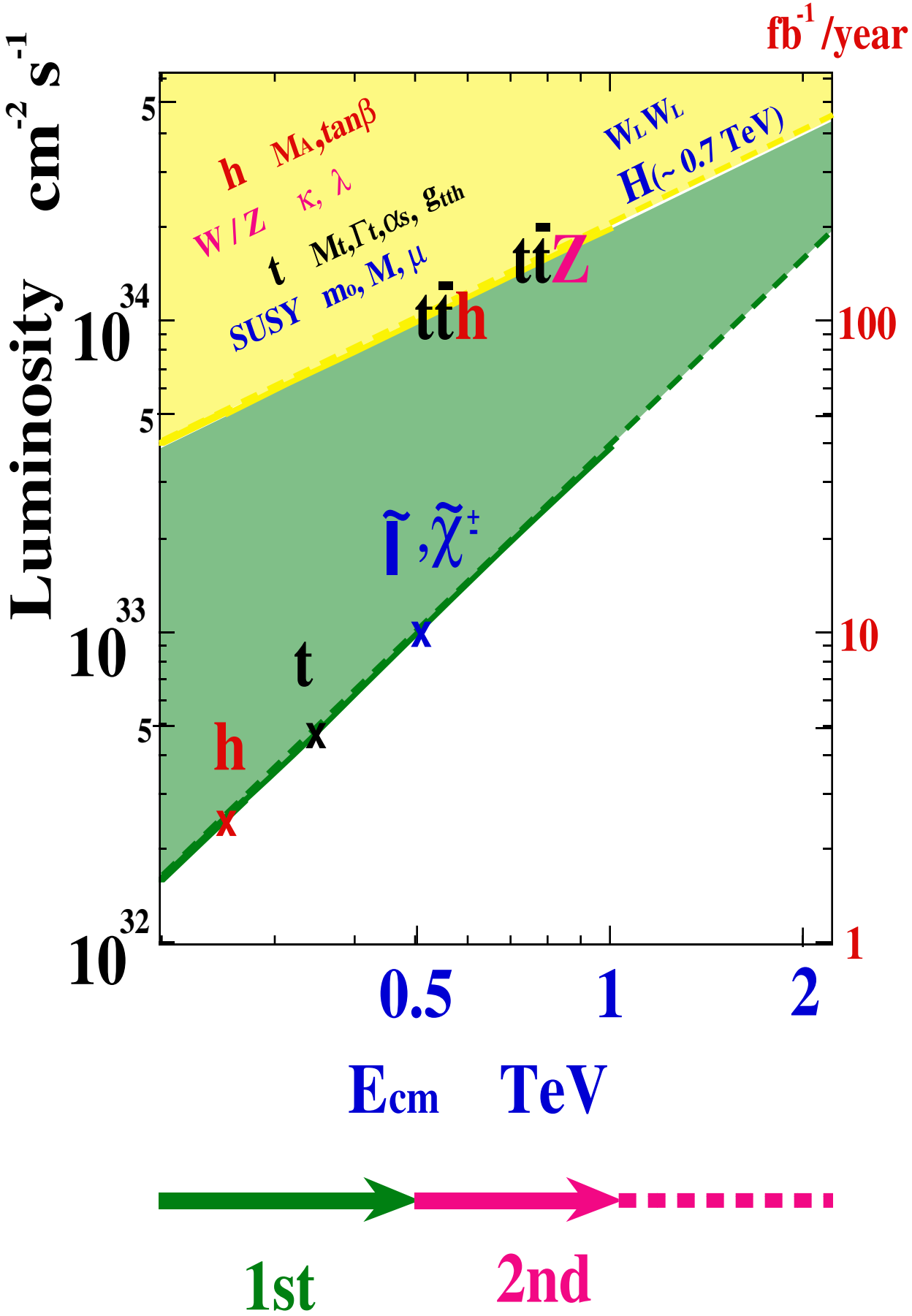
Present Status of Standard Model (LEP/SLD/CDF/D0)

1-2) Top quark Physics

1-3) W boson Physics

1-4) Higgs Physics

1-5) SUSY


fb-1/year
Luminosity cm-2 s-1
5
10^34
5
10^33
5
10^32
100
10
1
h MA,tanβ
W / Z κ, λ
t Mt,Γt,αs, gttH
SUSY m0, M, μ
WLWL
H(~ 0.7 TeV)
ttZ
tth
l̃ ,χ̃±
t
h
0.5
1
2
Ecm TeV
1st
2nd

まとめ

1. Top

Δm_t = 0.2 GeV　　10 fb^{-1}　;精密測定

$\Delta\Gamma_t/\Gamma_t$ =0.05　　100 fb^{-1}　;世代数の制限

$\Delta\alpha_s$=0.002　　100 fb^{-1}　;大統一理論

$\Delta\beta_h$=0.25　　10 fb^{-1}　;湯川相互作用

2. Wの異常結合

$\Delta k_{Z,\gamma} \sim \lambda_{Z,\gamma} \sim$ 1 %　　30 fb^{-1}　$P_{e^-} > 90\%$；SMを超える物理

3. Higgs

$m_h < E_{cm} - M_z$ のすべてのHiggs発見　　4 ~ 30 fb^{-1}

m_h < 150 GeV　　->　　SUSYキラー

質量、分岐比などの精密測定　　100 fb^{-1} ; SM or SUSY

4. SUSY

SUSY粒子発見後は、質量、断面積などの精密測定によりLCの独壇場となる。特に、SUSY-GUTによれば独立なパラメーターの数は 5 である。

m_0（スカラー質量）, M（ゲージーノ質量）,

A（スカラー 3 点結合）, B（Higgs混合）, μ（ヒグジーノ質量）

これらを決定すれば、プランクスケール（大統一）の世界がわかる。