<u> ヒッグス模型とタウの物理</u>

津村浩二

素粒子論研究室セミナー 2013年12月11日



セミナー

ishimori@gauge.scphys.kyoto-u.ac.jp <ishimori@gauge.scphys.kyoto-u.ac.jp>

2013年12月2日 19:22

To: ko2@gauge.scphys.kyoto-u.ac.jp

津村さん、

急な話になってすみません。 12/11(水)の15時30分からセミナーお願いします。 出張日程とかはいらないのでいるのはタイトルとアブストだけですね。



<u>2013年度(第8回)素粒子メダル奨励賞</u>

Discrimination of models including doubly charged scalar bosons by using tau lepton decay distributions

> H. Sugiyama, K. Tsumura, H. Yokoya Phys. Lett. B717 (2012) 229

> > 広島大学 01-02 津村(B4)、横谷(M2) KEK 07 杉山、津村 トリエステ 07-09 杉山(SISSA)、津村(ICTP) 台北 10-12 津村(NTU)、横谷(NCTS notrh[NTU]) 富山大学 12-13 杉山、横谷

> > > 佐藤丈、菅本晶夫

た。いくつかのやり方を示しているが、最も効率の良い方法は、 $H^{\pm\pm} \rightarrow \tau^{\pm} \tau^{\pm} \rightarrow \pi^{\pm} l^{\pm} \nu \bar{\nu}$ 崩壊におけるパイメソンとレプトンの不変質量の分布 を見ることである、ということを示した。本研究では模型に特徴的な 崩壊過程を実験によって確かめる手段を与えた点を高く評価した。またこ の研究は、著者らがヒッグス粒子やニュートリンに関わる研究を長年にわ たって、精力的かつ包括的に進めてきたなかでなされた仕事であり、この 2点ら/22/でも評価粒をセミナー 津村浩二

<u>CERN Seminars</u>

ATLAS results on Higgs boson searches in fermion final states by Aliaksandr Pranko (LBNL) Nov. 26, 2013

Direct Measurement of the Higgs Boson Fermionic Couplings at CMS by Monica Vazquez Acosta (Imperial College London) Dec. 3, 2013



Back to 2004



ATLASのヒッグス発見能力 by 浅井さん

津村浩二

7月革命(2830)



完全に致



A new boson

July revolution

We found 125 GeV object !!









The Review of Particle Physics (2012)

Higgs Bosons — H^0 and H^{\pm} , Searches for

The July 2012 news about Higgs searches is described in the addendum to the Higgs review in the data listings, but is not reflected here.

The limits for H_1^0 and A^0 refer to the m_h^{max} benchmark scenario for the supersymmetric parameters.

 H^0 Mass m > 115.5 and none 127–600 GeV, CL = 95%

 H_1^0 in Supersymmetric Models $(m_{H_1^0} < m_{H_2^0})$

Mass m > 92.8 GeV, CL = 95%

A⁰ Pseudoscalar Higgs Boson in Supersymmetric Models [/] Mass m > 93.4 GeV, CL = 95% $\tan\beta > 0.4$

 H^{\pm} Mass m > 79.3 GeV, CL = 95%

See the Particle Listings for a Note giving details of Higgs Bosons.

















ヒッグスの崩壊

◆ SM 125GeV 崩壊比 (%)

H→bb	58	$H \rightarrow \gamma \gamma$	0.23					
$H \rightarrow \tau \tau$	6.3	H→WW	22					
$H \rightarrow \mu \mu$	0.022	H→ZZ	2.7					
H→cc	2.7	H→Zγ	0.16					
H→ss	0.044	H→gg	8.6					
全幅は4 MeV								

2013/12/11 京大素粒子セミナー

津村浩二

Higgs Boso Decay	on Subse	Subsequent Sub-Channels					∫ <i>L</i> d [fb ⁻]	lt 1	Ref.		1	増渕さ	2619	<u>hz/a</u>	イド
一役	釵	のモ-				スを	Y	笂				京大き	転粒子 ·──		
$H \rightarrow ZZ^{(*)}$	a) 4	1 <i>ℓ</i>	$\{4e, 2e2\mu, 2\mu 2e, 4\mu, 2\text{-jet VBF}, \ell\text{-tag}\}$				4.6		[8]	H→γγ, ZZ→4	11 <i>,</i> V	vw→	VIV		
$H \to \gamma \gamma$	-	т _н =125.5 GeV						_	[7]	→full-data					
	Dec	ay mode	y mode Expected (σ)		(σ)	Observed (o			[10]	H → bb,ττ					
$H \rightarrow \tau \tau$	ZZ		4.4			6.6	.6	.6		→HCP data(13f	b⁻¹)			
$VH \rightarrow Vb$	νν		4.1			7.4	.7 .7		[11]						
$H \rightarrow ZZ^{(*)}$	WW		3.7			3.8).(7	[8]	CMS					
$\frac{H \to \gamma \gamma}{H \to W W^0}$	bb(ł	HCP data)	~1σ			< 1σ).1).1	7	[7] [9]	$H \rightarrow \gamma \gamma$, $ZZ \rightarrow \phi$	4I, V	ww->) VIvI	, H →	ττ
$H \rightarrow \tau \tau$	ττ(Η	CP data)	1.7			1.1			[10]	→full-data					
$\begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $															
		H decay Prod. tag Exc m _H =			т _н =12	25.	.7 G	eV	D	m _H esolution	Lumi 7 TeV	(fb ⁻¹) 8TeV	Ref.		
		$\gamma \gamma$ $VBF-tag \gamma \gamma$ $VH-tag \gamma \gamma$		Decay	y mode	Expe	cte	ed (σ) Observed (σ)	1-2% <1.5% <1.5%	5.1 5.1	19.6 19.6 19.6	[63]	
		$ZZ \to 4\ell$	$N_{\text{jet}} \le 2$ $N_{\text{jet}} \ge 2$	2 4e, ZZ		7.1		7.1		6.7		1-2%	5.1	19.6	[64]
		WW $\rightarrow \ell \nu \ell \nu$	0/1-jets VBF-tag WH-tag	(DF &/ & 3/3	γ		3.9			3.2		20% 20%	4.9 4.9 4.9	19.5 12.1 19.5	[65] [66] [67]
		ττ	0/1-jet 1-jet VBF-tag	(ет т.т. (ет)	vw		5.3			3.9		15%	4.9	19.6	[68]
			ZH-tag WH-tag	(ee, 7⊮µ b	b(HC	CP data)	2.2			2.0			5.0	19.5	[69]
		bb	VH-tag ttH-tag	(<i>vv</i>) (<i>l</i> w (<i>l</i> w	τ	111 - 2 0 - Migoy, (c)	2.6	2.6		2.8		10%	5.0 5.0	12.1 5.1	[70] [71]



0+(Higgs like)と2+(Massive Graviton)の区別

✓ Gluon fusion と qq 生成の割合でスピンを区別するセンシティビティが異なる



ビーム軸からの角度分布 レプトン対の疑ラピディティ分布 4レプトンから定義される 様々な角度分布 2013/12/11 京大素粒子セミナー 津村浩二

The Review of Particle Physics (2013)



加速器実験におけるタウ





+ ハドロンはさらにジェットを作る + v (or DM) は運動量の消失として見る

例えば、







常に v を含む (←LHCでは運動量の再構成が難しい) ハドロンコライダーでは v は縦方向の運動量保存則が使えない (分からない) 2013/12/11 京大素粒子セミナー 津村浩二 2013/12/11 京大素粒子セミナー 20

ハドロンコライダーでタウが<u>見分けられる場合</u> <u>9ウジェットとして見る</u> QCDジェットに比べてアクティビティが小さい ブーストされているのでコーンサイズが小さい "ミニ"ジェットとして見える

2. コリニア近似で運動量を再構成

 ✓ ブーストされているため v は良い近似でタウジェット(もしくは電 子またはミューオン[レプトニック崩壊の場合])と同じ方向に出る
 ✓ 見えない運動量が2個のタウからしか出ない過程ならこの近似のも とで親のタウの運動量が計算できる

2013/12/11 京大素粒子セミナー

津村浩二

標準模型ヒッグスとタウ



22



$h \rightarrow \tau \tau @ LHC$

Vector Boson Fusion (VBF) via qq→qqh

✓2番目に大きい生成断面積





津村浩二

$h \rightarrow \tau \tau @ LHC$

Vector Boson Fusion (VBF) via $qq \rightarrow qqh$

✓ 2番目に大きい生成断面積
 ✓ 区別しやすい終状態 → シグナル!!







h > *て て* @ LHC コリニア近似

<u>基本的なアイデア</u>

✓ 高エネルギーのタウ崩壊から出てくるニュートリノはタウと同じ方向に進む

 $\mathbf{p}_{inv} \simeq (1-x)\mathbf{p}_{\tau}$



h→ τ τ @ LHC コリニア近似

<u>横運動量平面(ハドロンコライダーでは縦方向は使えない)</u>





連立方程式を解いて、4元運動量が再構成できる!!

津村浩二



2013/12/11 京大素粒子セミナー

津村浩二

27

もっと、Zからの背景事象を落としたい



or







B.K. Bullock, K. Hagiwara, A.D. Martin, PLB(1991)



ブーストされたタウの微分崩壊幅 (エネルギー分布) $rac{1}{\Gamma_{ m tot}}rac{d\Gamma_{\pi}}{dz}$ $= \mathcal{B}_{\pi}[1 + P_{\tau}(2z - 1)] \left(= \mathcal{B}_{\pi}F_X^{\pi}(z)\right)$ $F_L^{\pi}(x) = 2(1-x)$ $F_R^{\pi}(x) = 2x$ $\tau_L^ \tau_R^+$) 0.4 1 or $(\mathbf{b}) \tau_{\mathbf{R}}^{-}$ for $\tau_{\mathbf{L}}^{+}$ (0) 0.4 $d\Gamma_{\tau}$ 0.3 0.3 μ,е dza_{1T} a_{1L} 0.2 0.2 π μ,e 0.1 a_{1T} 0.1 0 0.2 0.6 0.8 0.8 0.4 0.2 0.4 0.6 0 Soft Soft Hard Hard $|E_{ au}|$ E_{τ} \boldsymbol{z}

2013/12/11 京大素粒子セミナー 津村浩二

ブーストされたタウの微分崩壊幅(エネルギー分布)

レプトンへの崩壊でもOK

 $\frac{1}{\Gamma_{\rm tot}} \frac{d\Gamma_{\ell}}{dz} = \mathcal{B}_{\ell} \frac{1-z}{3} [5 + 5z - 4z^2 + P_{\tau}(1+z-8z^2)]$



B.K. Bullock, K. Hagiwara, A.D. Martin, NPB(1993)

タウ崩壊の生成物のエネルギー分布を 見ることで、相互作用が分類出来る!

 A^{-}/B^{+}

π/π+

津村浩二

検出器内で崩壊しない e, U では区別出来ない!! l^{-}/π^{+}



New Results

シグナル候補の生成過程



Back to Back にジェットを要請

津村浩二

New Results

圧倒的にBG



"Others":

Dibosons & $H \rightarrow WW^*$ modeled by MC; $Z \rightarrow ee/\mu\mu$ & top modeled by MC and normalized to data

津村浩二



拡張ヒッグス模型とタウ



<u>もっともポピュラーな拡張ヒッグス</u>

・SUSY ヒッグスセクター

2HDM(two Higgs doublet model) w/ SUSY 関係式

◆ スーパーポテンシャルの正則性
◆ u と d の質量生成
◆ アノーマリーキャンセレーション
◆ (ゲージ結合の統一)

 $V_{H} = \overline{m}_{1}^{2}(|H_{1}^{0}|^{2} + |H_{1}^{-}|^{2}) + \overline{m}_{2}^{2}(|H_{2}^{0}|^{2} + |H_{2}^{+}|^{2}) - \overline{m}_{3}^{2}(H_{1}^{-}H_{2}^{+} - H_{1}^{0}H_{2}^{0} + \text{h.c.})$ + $\frac{g_{2}^{2} + g_{1}^{2}}{8}(|H_{1}^{0}|^{2} + |H_{1}^{-}|^{2} - |H_{2}^{0}|^{2} - |H_{2}^{+}|^{2})^{2} + \frac{g_{2}^{2}}{2}|H_{1}^{-*}H_{1}^{0} + H_{2}^{0*}H_{2}^{+}|^{2}.$

4点結合はゲージ結合 $\rightarrow m_h < m_Z$ @ tree level

1

<u>もっともポピュラーな拡張ヒッグス</u>

・ SUSY ヒッグスセクター

H₁, H₂: 複素2重項 x 2 = 8 自由度 → 5個の物理的ヒッグス (f, H, A, H+, H) (3つはヒッグス機構で W+, W⁻, Z に吸われる)

電荷を持ったスカラー(New) 付加的な中性スカラー(New) $m_{H^{\pm}}^{2} = m_{A}^{2} + m_{W}^{2}$ $V_{H} = \overline{m}_{1}^{2}(|H_{1}^{0}|^{2} + |H_{1}^{-}|^{2}) + \overline{m}_{2}^{2}(|H_{2}^{0}|^{2} + |H_{2}^{+}|^{2}) - \overline{m}_{3}^{2}(H_{1}^{-}H_{2}^{+} - H_{1}^{0}H_{2}^{0} + \text{h.c.})$ $+ \frac{g_{2}^{2} + g_{1}^{2}}{8}(|H_{1}^{0}|^{2} + |H_{1}^{-}|^{2} - |H_{2}^{0}|^{2} - |H_{2}^{+}|^{2})^{2} + \frac{g_{2}^{2}}{2}|H_{1}^{-*}H_{1}^{0} + H_{2}^{0*}H_{2}^{+}|^{2}.$ $\binom{h_{1}}{h_{2}} = R(\alpha)\binom{H}{h}, \binom{z_{1}}{z_{2}} = R(\beta)\binom{z}{A}, \binom{\omega_{1}^{+}}{\omega_{2}^{+}} = R(\beta)\binom{\omega_{1}^{+}}{H^{+}}, R(\theta) = \binom{\cos\theta - \sin\theta}{\sin\theta \cos\theta}$

津村浩二

H+ あるところには W+ あり (W+の縦波モードはヒッグス2重項の成分)

- 例えば、e⁺e⁻ \rightarrow W⁺W⁻, H⁺H⁻ @ LEP - 例えば、pp \rightarrow tt \rightarrow bbW⁺W⁻, bbW⁺H⁻, … @ LHC

Wが常に背景事象となるため解析が難しい $\begin{pmatrix} W^{\mu}\overline{\ell_L}\gamma_{\mu}(1-\gamma_5)\nu_L \\ H^{-}\overline{\ell_R}(1-\gamma_5)\nu_L \end{pmatrix}$ B.K. Bullock, K. Hagiwara, A.D. Martin, **PRL**(1991)

<u>タウのカイラリティで区別できる</u>



<u>タウのパートナー(スタウの場合)</u>

Nojiri (1994) • スタウ混合(@JLC)をタウで測る (リニアコライダーで対生成し、その角分布を見る) →さらにニュートラリーノ混合の情報に関係 $\mathcal{L} = \sum_{i=1,2} \tilde{\tau}_i \bar{\tau} (P_L a_{ij}^R + P_R a_{ij}^L) \chi_j^0 + \sum_{i=1,2} \tilde{\tau}_i \bar{\nu}_{\tau} P_R b_{ij} \chi_j^+$

津村浩二





j = 1, 2

2013/12/11 京大素粒子セミナー

j=1,..,4





<u>タウのパートナー(KKタウ[UED]の場合)</u>

Choi et.al. (2008)



2013/12/11 京大素粒子セミナー



他に例はないか?

2013/12/11 京大素粒子セミナー



<u>レプトンと結合するスカラー</u>

 $L = \begin{pmatrix} \nu_L \\ \ell_L \end{pmatrix} = 2_{-1/2} \quad \ell_R = 1_{-1}$



津村浩二

<u>ニュートリノ質量模型</u>







津村浩二

これらの2つの相互作用を区別したい





目標:模型に依存せず観測可能量だけで区別する





興味が有るのは分布 二重荷電ヒッグスのレプトン崩壊は 同符号レプトンを要求することでBGフリー

多少細かいことを言うとレプトンのエネルギーが 高過ぎると曲がらないので電荷の測定に失敗する

→イベントが少なくても分布が綺麗に見える

電弱相互作用でしか作れないので数が少ない



H⁺⁺ 崩壊からのタウ LFV崩壊モード (H⁺⁺ → eτ, μτ)



見える不変質量 = タウ崩壊の生成物 のエネルギー割合 z $M_{\ell\pi}^2 = (p_{\ell} + p_{\pi})^2 \simeq (p_{\ell} + z \, p_{\tau})^2 = z \, m_{H^{\pm\pm}}^2$ コリニア近似: m_r << m_{H++} $m_{H^{\pm\pm}}^2 = M_{\ell\tau}^2 = (p_\ell + p_\tau)^2 \simeq 2p_\ell \cdot p_\tau$ 津村浩二

京大素粒子セミナー 2013/12/11



H⁺⁺ 崩壊からのタウ LFV崩壊モード (H⁺⁺ → eτ, μτ)

タウのパイオンへの崩壊

パイオンへの崩壊っぽい事象を抽出 (1prong, 狭いコーンサイズ)





p_⊤の小さい部分を除いて良い近似

H⁺⁺ 崩壊からのタウ LFV崩壊モード (H⁺⁺ → eτ, μτ)

津村浩二

タウのパイオンへの崩壊

パイオンへの崩壊っぽい事象を抽出 (1prong, 狭いコーンサイズ)

コメント

 背景事象は電荷が同符号のレプトン またはタウジェットを要求して落とせる。

 背景事象は不変質量が m_{H++} 程度である ことを反対側のレプトンペアに要求しても 落とせる。





p_Tの小さい部分を除いて良い近似





津村浩二

全て使うと事象の数が稼げる

H⁺⁺ 崩壊からのタウ LFV崩壊モード (H⁺⁺ → eτ, μτ)



より一般のタウジェット



津村浩二

H⁺⁺ 崩壊からのタウ LFV崩壊モード (H⁺⁺ → eτ, μτ) タウ崩壊のエネルギー分布 タウの軽いレプトンへの崩壊





H⁺⁺ 崩壊からのタウ フレーバー保存崩壊モード(H⁺⁺ → ττ)



見える不変質量 = タウ崩壊の生成物 のエネルギー割合 z $M_{\pi\pi}^2 = (p_{\pi 1} + p_{\pi 2})^2 \simeq (z_1 p_{\tau 1} + z_2 p_{\tau 2})^2 \equiv z m_{H^{\pm \pm}}^2$ 介 コリニア近似: m_t << m_{H++}

2013/12/11 京大素粒子セミナー

津村浩二

H⁺⁺ 崩壊からのタウ フレーバー保存崩壊モード(H⁺⁺ → ττ) パイオン的事象の抽出 より一般のタウジェット





 $F_L^{\pi}(x) = 2(1-x)$ $F_R^{\pi}(x) = 2x$ まとめ



まとめ

加速器におけるタウ タウは検出器内で崩壊、故に取り扱いが面倒、 しかし情報も多い

 ・二重荷電ヒッグスとニュートリノ シーソー模型のバラエティの一つ 例として H++ を含むものがある、SU(2)の表現で分類

津村浩二





2013/12/11





59



• タウを通じた崩壊で相互作用の分類が可能

ブーストされたタウの崩壊物のエネルギー分布 → タウのカイラリティの良い指標

津村浩二

 $\overline{(\ell_B)^c} \ell'_B k^{++}$

◆二重荷電ヒッグスの崩壊はBGフリー (少数でも分布が見れる) ◆いろんな崩壊モードが使える LFV or フレーバー保存 レプトニック or ハドロニック



 $\overline{(L_{\ell})^c}\,i\sigma_2\Delta L_{\ell'}$