

ILCにおけるタウ崩壊モードを用いたヒッグス粒子のCP決定について

2013/07/23

ILC夏の学校 @富山 呉羽ハイツ
東京大学 山下研究室 M2 横山晴道

動機

CPの破れているヒッグスセクター

(125GeVヒッグスがCP evenとCP odd の混合状態である)

を考えるモチベーションは？

標準理論ではヒッグスのCPはeven

→ 宇宙に存在するバリオン-反バリオンの非対称性はCKM行列だけでは説明できない。
ヒッグスセクターのCPの破れがバリオン数生成過程を説明できる可能性あり

本研究は**モデルに依存せず**、ヒッグス-タウ結合のCP混合度の決定することが目標。

ヒッグスとタウの結合について

有効な湯川結合を仮定する。

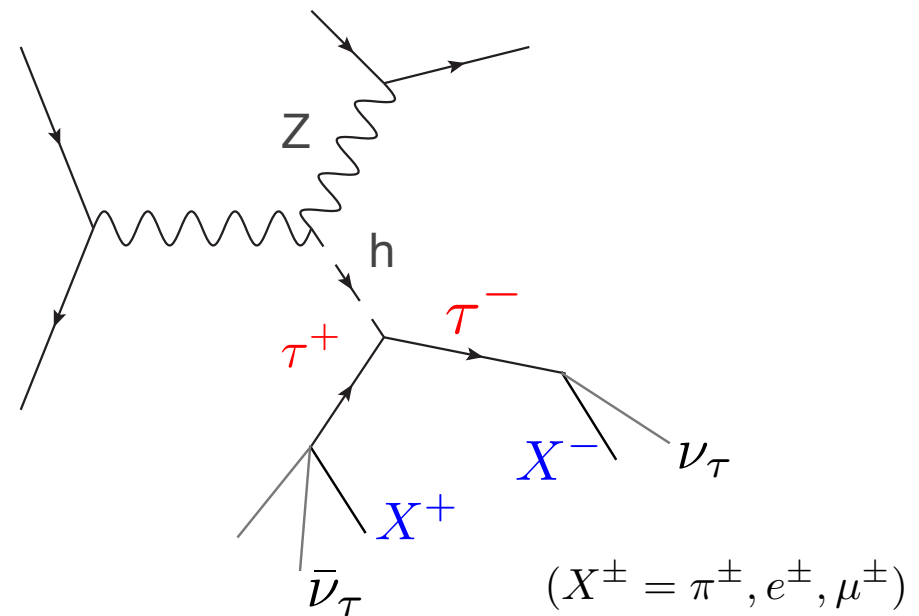
その他の物理量についてはSMと同じ。

$$\tau(\cos\alpha + i\sin\alpha\gamma^5)\bar{\tau}\phi \quad \alpha = 0 : \text{CP even}, \quad \alpha = \pi/2 : \text{CP odd}$$

以上を実装したGeneratorは完成した。

CP mixing angleを変えて、

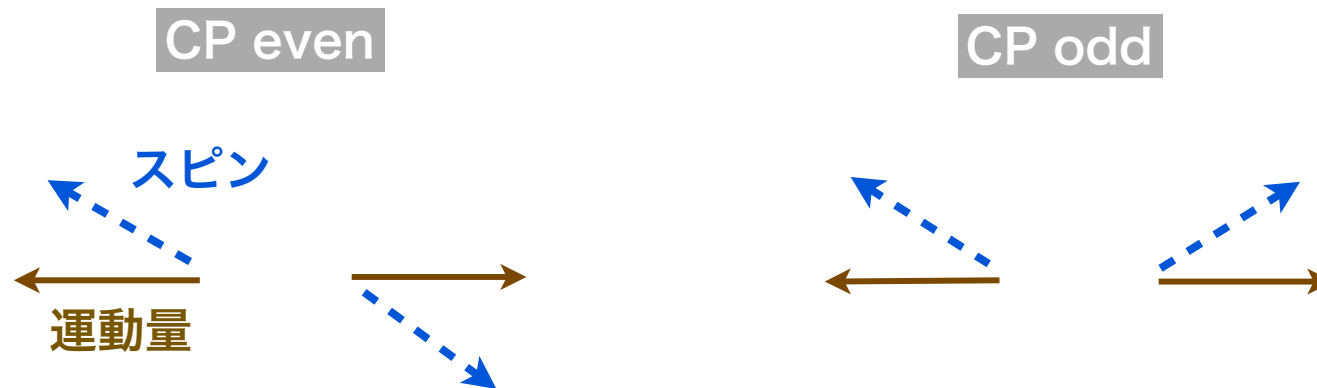
$\sqrt{s} = 250 \text{ GeV}$ のILC測定器環境でシミュレーション
生成過程は Higgs strahlung



X[±]: Charged prong

CPによるスピン相関

- スピン0のヒッグス → タウ粒子は**等方的に崩壊**
- タウの進行方向に対して**垂直な方向のスピンに相関**



- [TAUOLA] 密度行列(親粒子によって決まる) → 偏極ベクトルを確率的にだす

$$\text{weight} = \sum_{i,j}^{x,y,z} R_{ij} h_i^- h_j^+ \quad \text{タウの進行方向がz方向}$$

密度行列 偏極ベクトル

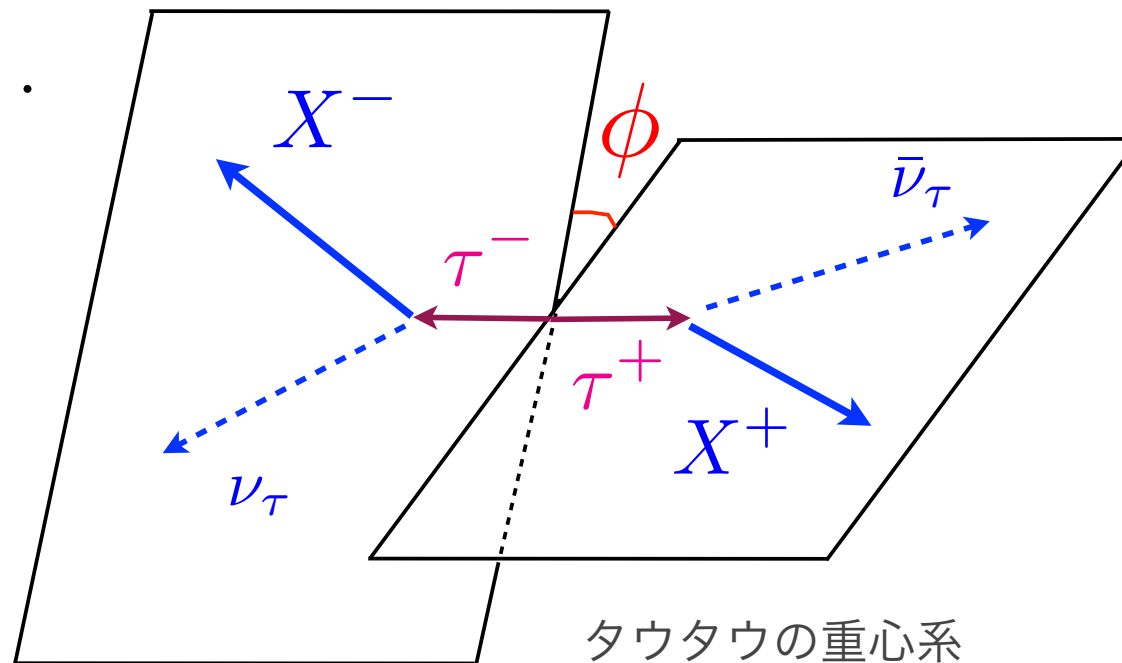
スピン相関による分布

横方向スピンの相関 →

Charged prongとタウの崩壊面のなす角(Acoplanarity angle, Φ)の分布

$$\tau^- \rightarrow X^- + \nu_\tau + \dots$$

($X = \pi, \rho, e, \mu, \dots$)



これらを実験室系で観測するためには

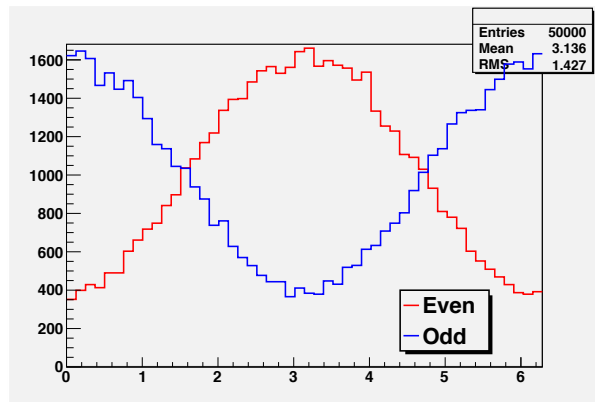
- タウとCharged prong の崩壊面(ニュートリノあり)
- タウ粒子の重心系
がわかる必要あり

崩壊粒子の分布

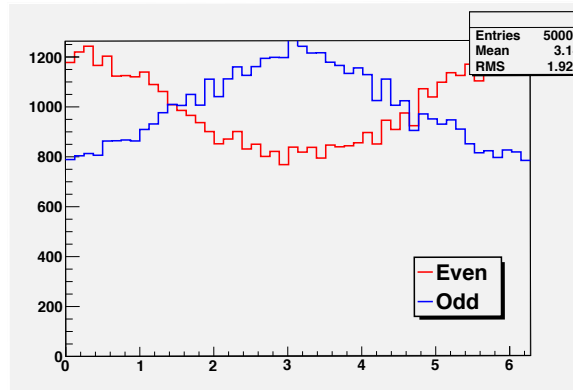
- すべてのタウ崩壊モードが使えるわけではない
- 崩壊する粒子が重い → 分布に違いがなくなる
- $\tau \rightarrow \pi^\pm + \nu$ が最もいい(ブランチ小さい ~10%)

Acoplanarity angleの分布

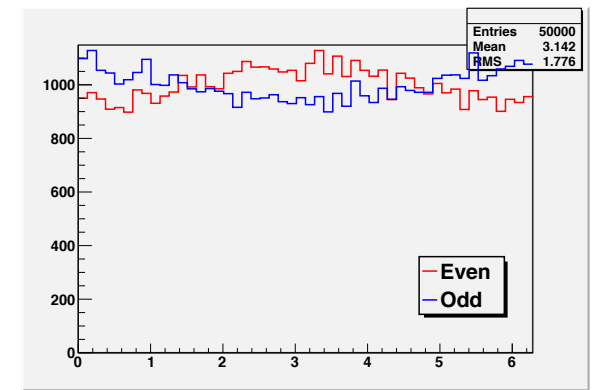
$$\pi^- \pi^+ + 2\nu$$



$$e^- \pi^+ + 3\nu$$

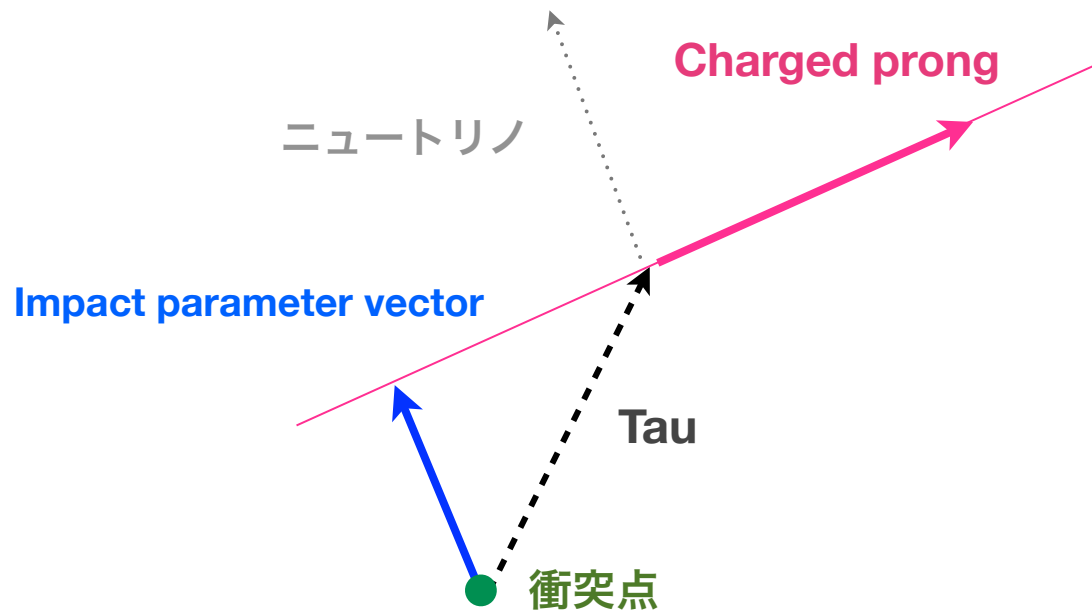


$$e^- e^+ + 4\nu$$



崩壊面の決定

Impact parameter vector を使い、崩壊面を決定する。



タウの方向はわからないが、Charged prongとタウがある面を決めることができる。

タウ重心系の決定

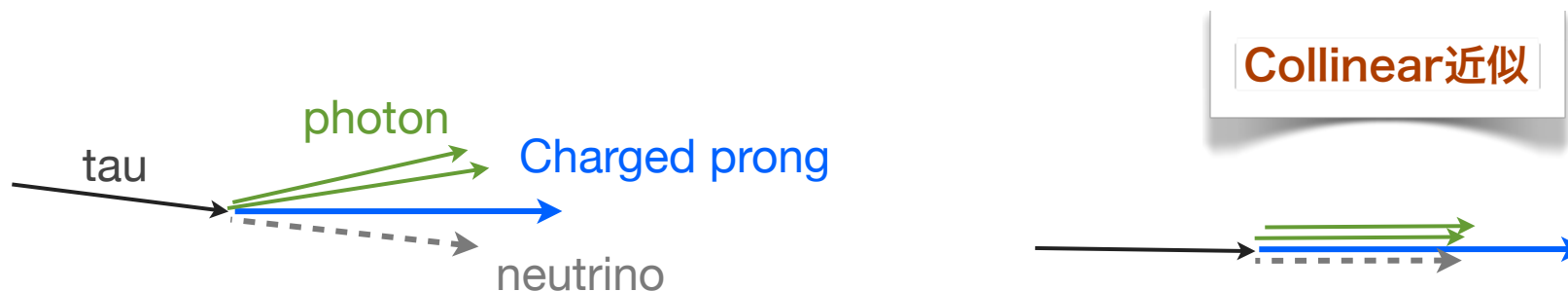
タウはmissing energyを出す。

→

Collinear近似 (タウの崩壊粒子がすべてcharged prongと同じ方向にでる)

を用いてタウの運動量を計算する。

Zやヒッグスの質量がタウの質量(1.7GeV)よりはるかに重くブーストされているので、妥当な仮定であるこの近似は親粒子の質量を組むときに使われる。



■ Impact parameter vectorを用いた崩壊面の決定

■ Collinear近似を用いた重心系の決定

測定器シミュレーション, 再構成をした後でも、CPによる分布の違いがみえるのか今後確認する

まとめ、課題、目標

- * generatorの準備は完了
- * 測定器シミュレーションの後、シグナルの分布を確認する
- * 分布を損なわないようにsignal選別
- * まずは、CP evenとCP oddの純粋状態を区別できることを目指す
- * 最終目標はCP混合状態でmixing angleを決めること

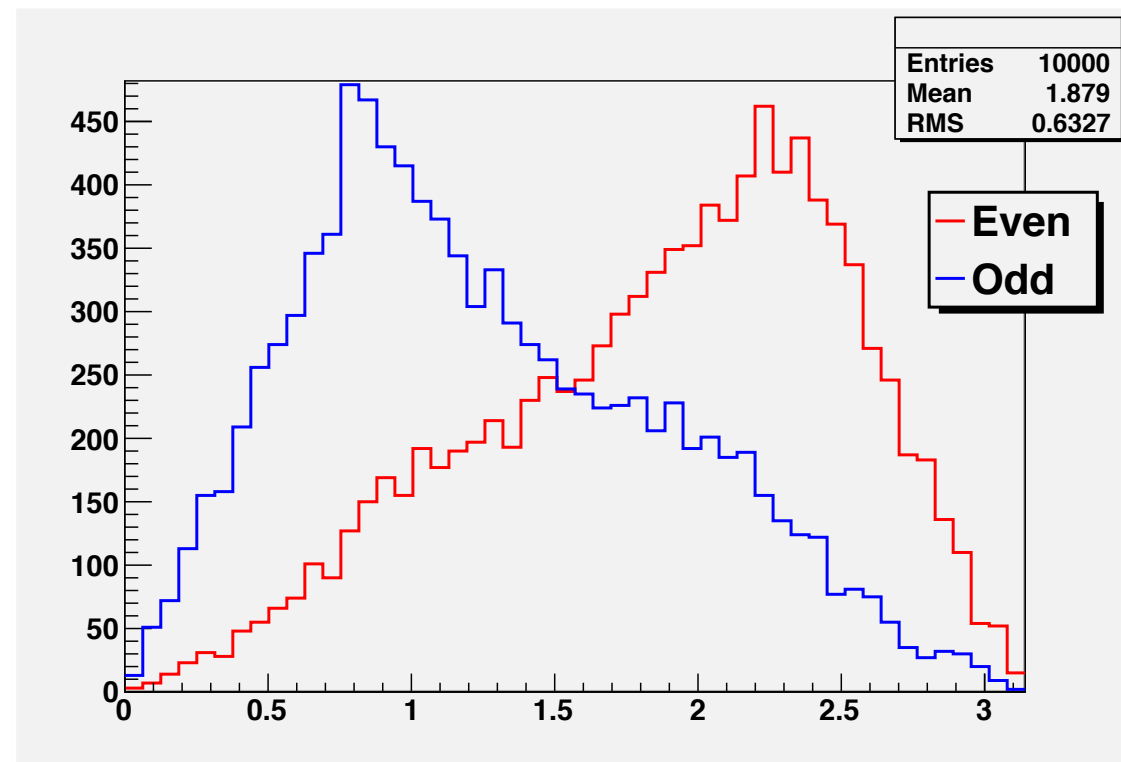
Back up

Acoplanarity angleに関する測定量

Impact parameter vector

charged prongsのCM系にブースト

$$\vec{v}_+, \vec{v}_- \longrightarrow \phi = \arccos(\vec{v}'_+ \cdot \vec{v}'_-)$$



スピンの密度行列

Higgs(CP:even) $R = \begin{pmatrix} & x & y & z \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \end{pmatrix}$



Higgs(CP:odd) $R = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \end{pmatrix}$



H/A mix

$$R = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{(\beta \cos \phi)^2 - \sin^2 \phi}{(\beta \cos \phi)^2 + \sin^2 \phi} & -\frac{2\beta \cos \phi \sin \phi}{(\beta \cos \phi)^2 + \sin^2 \phi} & 0 \\ 0 & \frac{2\beta \cos \phi \sin \phi}{(\beta \cos \phi)^2 + \sin^2 \phi} & \frac{(\beta \cos \phi)^2 - \sin^2 \phi}{(\beta \cos \phi)^2 + \sin^2 \phi} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \end{pmatrix}$$

$$\bar{\tau} (\cos \phi + i \gamma^5 \sin \phi) \tau h$$

$$\beta = \sqrt{1 - \left(\frac{2M_\tau}{M_{A^0/H^0}}\right)^2}$$

予想イベント数、タウ崩壊分岐比

$$\sigma(ee \rightarrow ZH) \cdot \text{Br}(H \rightarrow \tau\tau) \int \mathcal{L} dt$$

$$\approx 300 \text{ fb} \times 6.3 \% \times 250 \text{ fb}^{-1}$$

$$\approx 4700$$

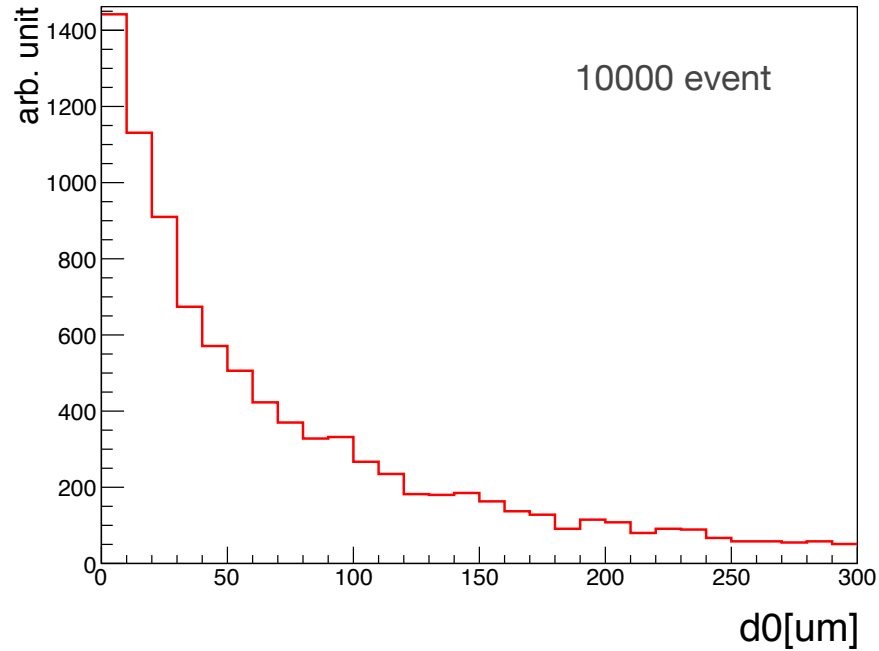
タウ 崩壊分岐比

$e^\pm 2\nu$	$\mu^\pm 2\nu$	$\pi^\pm \nu$	$\pi^\pm \pi^0 \nu$	$\pi^+ 2\pi^- \nu$
17.9%	17.4%	10.9%	25.5%	9.0%

Z 崩壊分岐比

e^+e^-	$\mu^+\mu^-$	had.
3.36%	3.36%	69.9%

Impact parameter distribution



impact parameterの分解能のため
小さいものは除く必要がある

Impact parameter resolution for single muon events

