

Belle II 実験における $B^0 \rightarrow K_S \pi^0 \gamma$ 崩壊の再構成の ための K_S finderの開発

東北大学 素粒子実験グループ
蔭塚昌大

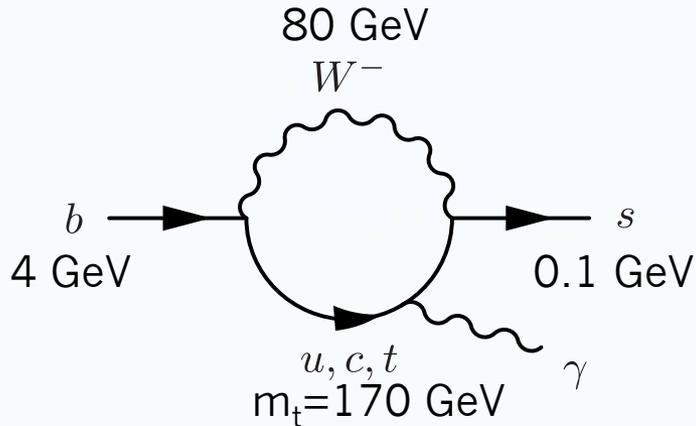


目次

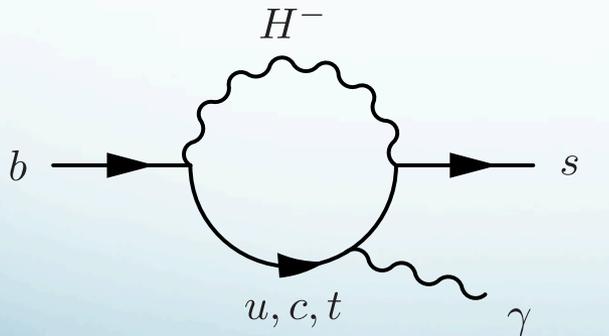
- 導入
 - $b \rightarrow s \gamma$ 崩壊
 - Belle II 実験
 - Belle II 検出器
 - $B^0 \rightarrow K_S \pi^0 \gamma$ の再構成
 - $K_S \rightarrow \pi^+ \pi^-$ の選別方法
 - Belle II での K_S 選別
- 解析
 - B崩壊モードでの $K_S \rightarrow \pi^+ \pi^-$ 選別
 - drによるカット
 - 結果
- まとめ

導入

$b \rightarrow s \gamma$ 崩壊



ペンギンダイアグラム; 数字はおおよその質量



charged Higgsが飛ぶ場合のダイアグラム

Flavor Changing Neutral Current

- クォークの電荷が変化しない過程
- 標準模型(SM)では、ツリーレベルで禁止

ループの中は重い粒子も存在できる

Wと結合する(反)クォークは左(右)巻き

→ 放出する γ は左(右)巻き

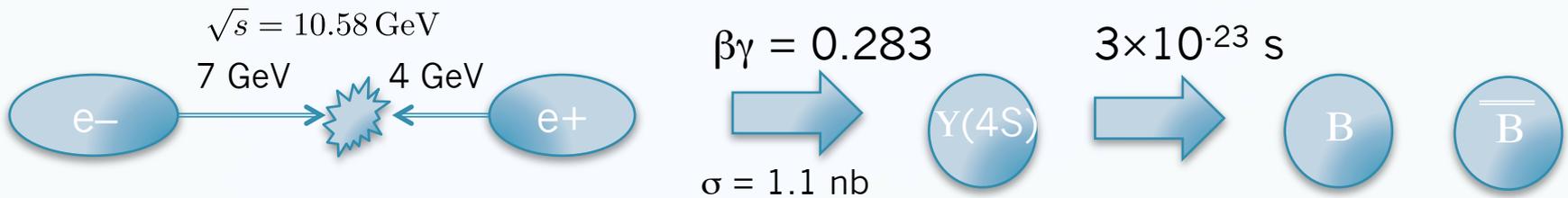
→ 時間依存CPVが強く抑制される

Beyond SMの効果

- ループの中を新粒子が飛ぶ (例: charged Higgs)
- 右巻きの γ も許される i.e. CPモードが存在

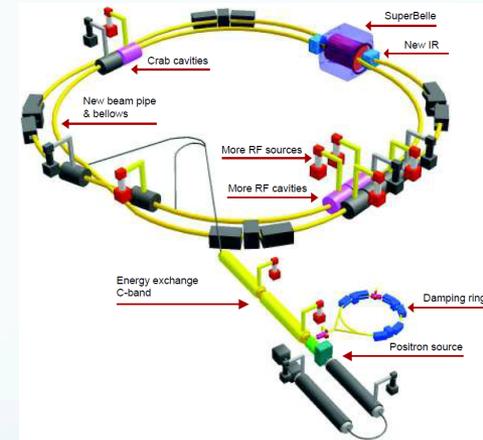
最も崩壊分岐比の大きい $B^0 \rightarrow K_S \pi^0 \gamma$ によって、時間依存CPVの効果を測定する

Belle II 実験



時間依存CPVの測定

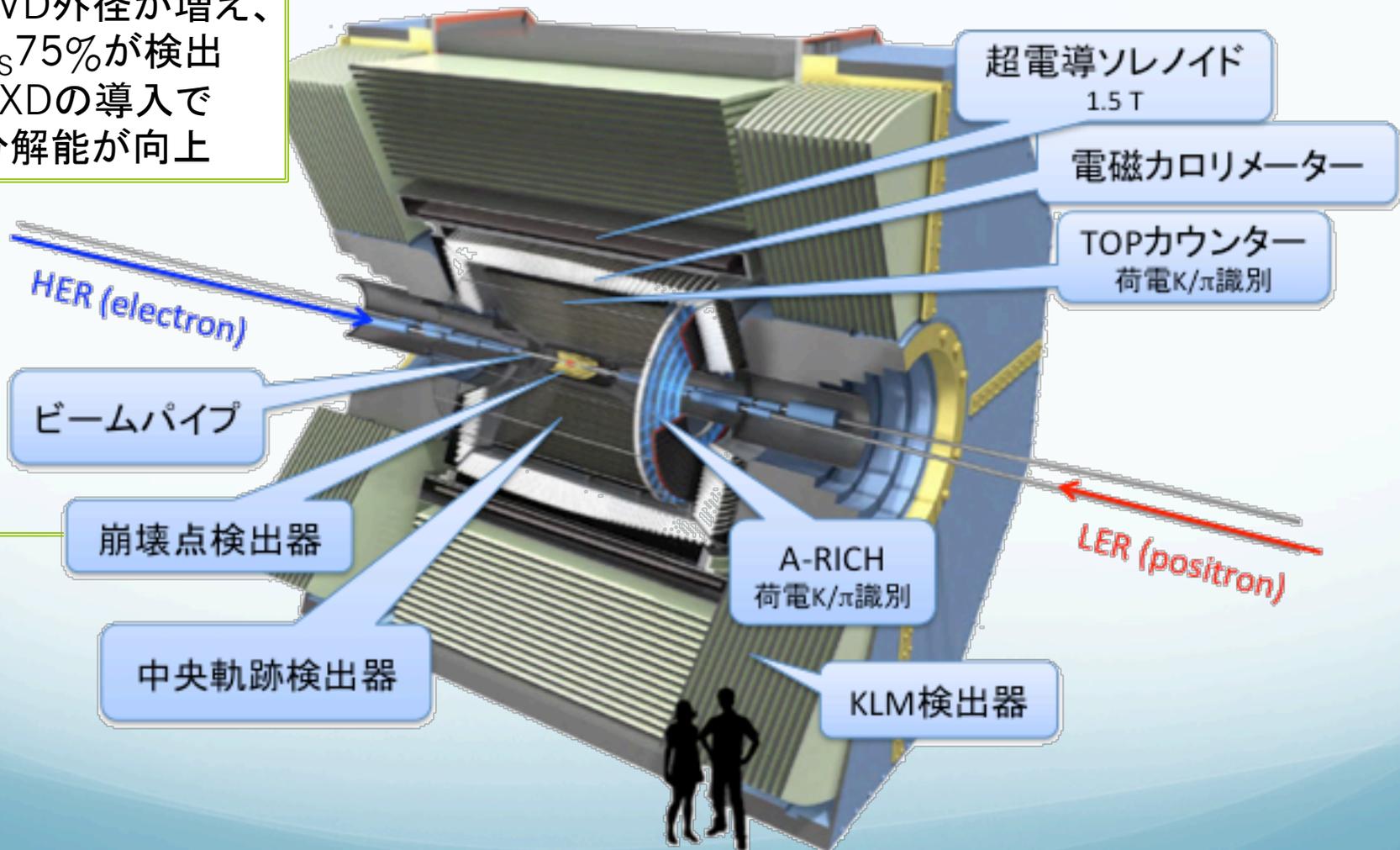
- 非対称衝突
 - Bの崩壊位置から崩壊時間差が求まる
$$\Delta t = \Delta z / \beta\gamma c$$
- Belle実験(~2010年)からマシンをアップグレード
- 目標ルミノシティ $800 \text{ nb}^{-1}\text{s}^{-1}$: Belleの40倍
 - 物理量の精密測定
 - 稀崩壊の観測



SuperKEKB加速器

Belle II 検出器

- SVD外径が増え、 K_S 75%が検出
- PXDの導入で分解能が向上



$B^0 \rightarrow K_S \pi^0 \gamma$ の再構成

検出器でヒットした情報から粒子を再構成し、組み合わせる。

- K_S の再構成

π^+ と π^- を組み合わせる

今回のテーマ

- π^0 の再構成

2つの γ を組み合わせる

- B^0 から直接崩壊した γ の選択

高いエネルギーをもつ

	崩壊分岐比	親粒子寿命
$B^0 \rightarrow K^{*0} \gamma$	4×10^{-5}	$1.52 \times 10^{-12} \text{ s}$
$K^{*0} \rightarrow K_S^0 \pi^0$	33%	$1.4 \times 10^{-23} \text{ s}$
$\pi^0 \rightarrow \gamma \gamma$	98.8%	$8 \times 10^{-17} \text{ s}$
$K_S^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$	69.2%	$8.95 \times 10^{-9} \text{ s}$

$K_S \rightarrow \pi^+ \pi^-$ の選別方法

1. 重い中性粒子(V粒子)を見つける

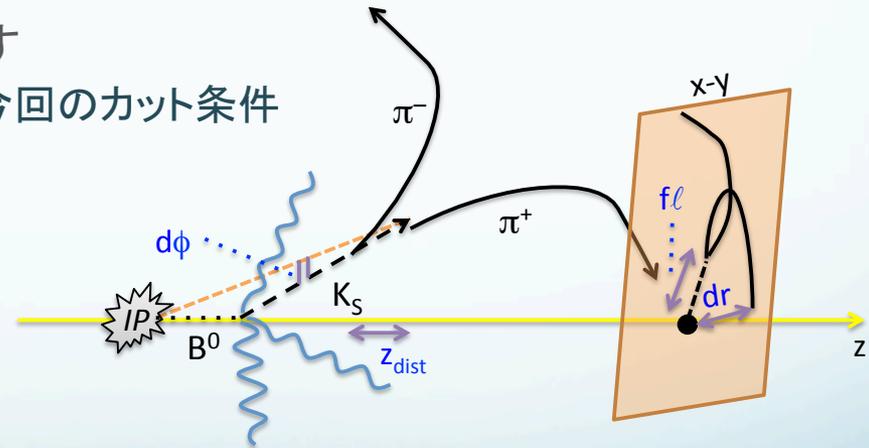
特徴

- 2つの π が1点から生成する
 - 崩壊点z成分の差 z_{dist} は小さい
- 衝突点(IP)から離れて崩壊する
 - xy平面での飛距離 fl をもつ
- 崩壊した粒子は運動量を持って飛び出す
 - xy平面での軌跡までの距離 dr をもつ 今回のカット条件
- IPから見た崩壊点と運動量は同じ向き
 - 間の角度 $d\phi$ は小さい

V粒子	K_S	Λ
質量	497.6 MeV	1115.7 MeV
$c\tau$	2.68 cm	7.89 cm
崩壊モード	$\pi^+\pi^-$ 69% ($\pi^0\pi^0$ 31%)	$p\pi^-$ 64% ($n\pi^0$ 36%)

2. V粒子の中から K_S を選別

- K_S とBGの変数分布の差異を利用する
 - significanceが最大となるようにカット
 - 多変数解析を使ってカット位置を選ぶ



F.Fang(ハワイ大学)

$$\text{significance} = \frac{N_{sig}}{\sqrt{N_{sig} + N_{bg}}}$$

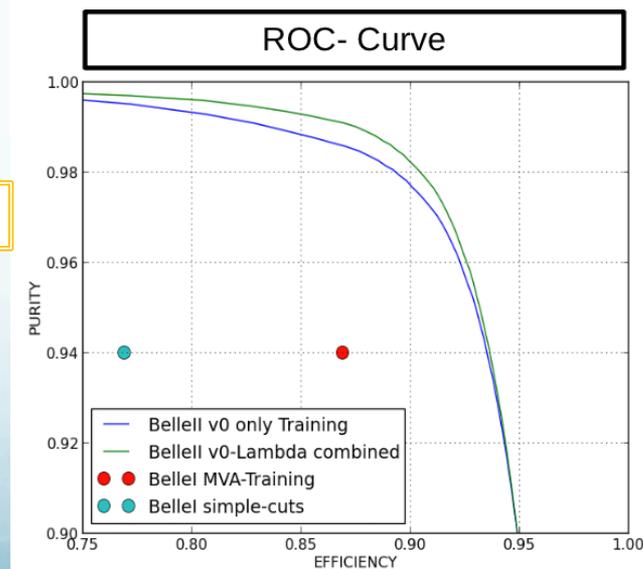
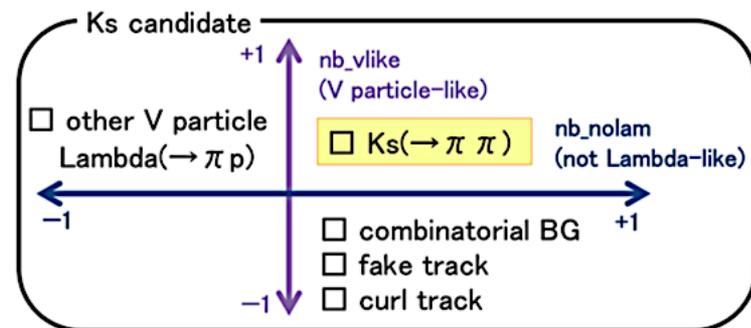
Belle II での K_S 選別

中野(東北大)、石川(同)、
住澤(KEK)

- Belleのfinder: NIS K_S finder
 - 9変数を追加: 合計13個 → V粒子らしさ
 - 運動量
 - 遠崩壊点までの空間距離
 - K_S 運動量と π 運動量との角度
 - π のSVDヒット判定
 - CDCワイヤーヒット数(軸方向/ステレオ)
 - 7変数 → non- Λ らしさ
 - p/π 識別値
 - $\Lambda(p\pi)$ 仮定質量
 - 娘粒子の運動量、方向

P. Jaeger(メルボルン大学)

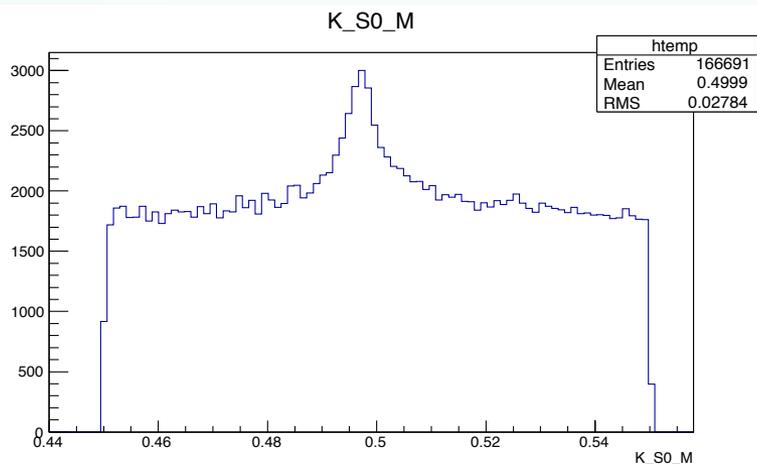
- Belle II への実装
 - ほぼ完了して組み込み待ち
 - さらなる改善: **研究目標**
 - データ誤差を考慮して精度を向上



解析

B崩壊モードでの $K_S \rightarrow \pi^+ \pi^-$ 選別

- 中性B中間子対のMCサンプルから K_S の選別を試みた
 - signal side: $B^0 \rightarrow K^{*0}(\rightarrow K^+ \pi^-) \gamma$ ※ K_S は全てtag side
 - 10万個のイベント
- 不変質量が $0.450 < M \text{ [GeV]} < 0.550$ を満たす荷電粒子対をとった



質量分布(GeV)

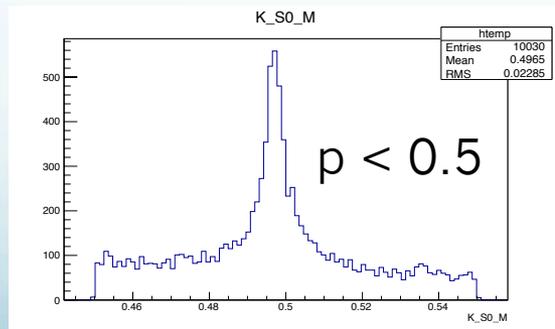
drによるカット

- dr: ビーム軸に垂直な平面での、IPから $\pi^{+/-}$ 軌跡までの距離(impact parameter)のうち小さい方
- BGのdrは0.1mm程度より低い値に分布
 - 系の運動量pが大きいほど低い値に分布する
- p [GeV]に応じてカットをかけた

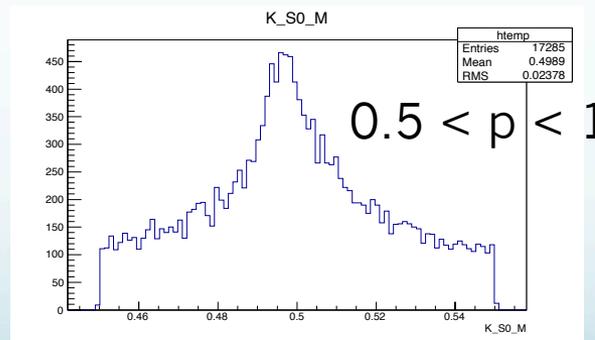
```
# cut condition is same to stdKshorts() from stdV0.py
reconstructDecay('K_S0:pi0 -> pi+:all pi-:all', '0.450<M<0.550')
cutAndCopyList('K_S0:p1', 'K_S0:pi0', 'p<0.5')
cutAndCopyList('K_S0:p2', 'K_S0:pi0', '0.5<p<=1.5')
cutAndCopyList('K_S0:p3', 'K_S0:pi0', 'p>1.5')

# cut by approach from IP to track of pi in x-y plane
applyCuts('K_S0:p1', 'daughter(0,dr)>0.05 and daughter(1,dr)>0.05')
applyCuts('K_S0:p2', 'daughter(0,dr)>0.03 and daughter(1,dr)>0.03')
applyCuts('K_S0:p3', 'daughter(0,dr)>0.02 and daughter(1,dr)>0.02')
```

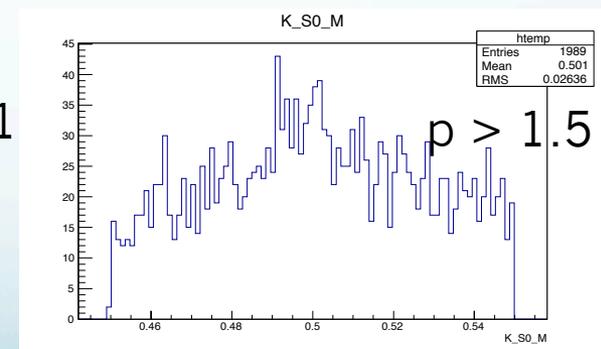
dr > 0.5 mm



dr > 0.3 mm

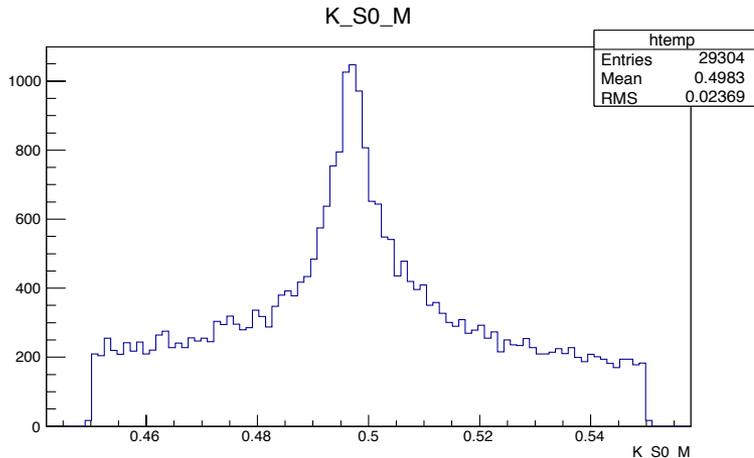


dr > 0.2 mm



図はカット後の質量分布

結果



	$N_{\text{sig}}+N_{\text{bg}}$	purity	N_{sig}	Sig.
カット前	166691	0.0908	15140	37.1
カット後	29304	0.4574	13400	78.3

効率 88%

K_S 候補の質量分布 [GeV]

- $\text{purity} = N_{\text{sig}} / (N_{\text{sig}} + N_{\text{bg}})$ は、再構成した粒子に対応するMC粒子が存在する割合 (isSignalの平均)で求めた
- drによるカットで、BGの約90%が取り除かれた
- BGの除去により、significanceが2倍まで向上した
- $p > 1.5\text{GeV}$ のシグナル数が少なく、分布が他と比べ乱れた
 - Belle IIではBelleよりboostが小さい($\beta \gamma: 0.425 \rightarrow 0.283$)
 - 実験室系での運動量分布がより低い領域に変化する
 - 運動量範囲の調整が必要

まとめと今後

- NIS K_S finderはBelle IIで実装され、性能を検討しつつ向上させる段階にある
- drによるカットはBelle IIにおいてもV粒子から K_S を選別するのに役立つことが確かめられた
- 多変数解析の手法により、他の変数も用いて K_S 選別を行う
- $B^0 \rightarrow K_S \pi^0 \gamma$ のモードを研究し、崩壊点の再構成とCPVの測定を目指す

解析：崩壊事象の再構成

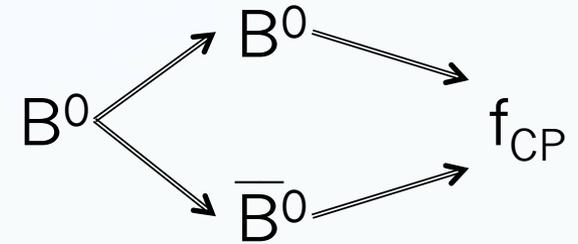
- MDST→終状態粒子(FSP)
- カットによるFSPの絞り込み
- 親粒子へ結合
- カットによる親粒子の絞り込み
- neural net:multivarから効率よく



繰り返す

時間依存CPV

- CP対称なモードが干渉して起こる



- 崩壊時間差からCPV変数S,Aを求める

- tag Bの崩壊率

$$P(\Delta t) = \frac{\exp(-|\Delta t|/\tau_{B^0})}{4\tau_{B^0}} [1 + q\{S \sin(\Delta m_d \Delta t) + A \cos(\Delta m_d \Delta t)\}]$$

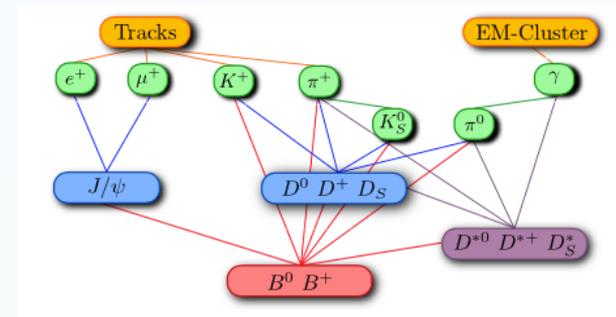
q: bフレーバー荷

τ_{B^0} : Bの平均寿命

Δm_d : Bの質量差

再構成手順

- 検出器の測定データ読み込み
 - Track, ECLCluster
 - Monte Carlo法でシミュレーション
- 終状態から順番に
 - 粒子選別(カット)
 - 崩壊点と4元運動量を再構成
- →Bを再構成
- 他方のB(Bsig)
 - Bsigの軌跡=Btagの残りの軌跡
 - Bsigの4元運動量 = $P_{\text{beam}} - P_{\text{btag}}$
 - Bのフレーバー、崩壊点



Belleでの再構成イメージ;
NeuroBayesを使って各オブジェクトを関連させる

K_S 中間子

中性K中間子

生成
強い相互作用による
ストレンジネス(S)固有状態
 $S=+1: K^0$
 $S=-1: \overline{K}^0$

崩壊
弱い相互作用による
CP固有状態
CP=+1
 $K_S = (K^0 + \overline{K}^0)/\sqrt{2}$
→ $\pi^+\pi^-$ に崩壊
CP=-1
 $K_L = (K^0 - \overline{K}^0)/\sqrt{2}$
→ $\pi^+\pi^-\pi^0$ に崩壊
(正確には、KのCPVにより混合している)

K_S 中間子

質量 497.6 MeV
寿命 $\tau = 0.896 \times 10^{-10}$ s ($K_L: 5.1 \times 10^{-8}$ s) → $c\tau = 2.68$ cm