第15回B2JS勉強会

BelleII検出器A-RICHで用いる Aerogelのgapサイズに対する性能評価

東邦大学 M2 庵 翔太

BelleII実験について

・CKM行列のパラメータの精密測定

	シグナルモード	バックグラウンドモード
$arphi_1$	$B \rightarrow J/\Psi K_s$	—
φ_2	$B \to \pi \pi$	$B \to K \pi$
$arphi_3$	$B \rightarrow D K$	$B \rightarrow D \pi$

パラメータ決定において K/π 識別が重要

- ・新物理の探究
- ⇒標準理論を超える新しい理論の 糸口を探る



A-RICH (Aerogel Ring Imaging CHerenkov counter) κやπが入射したときに発生するチェレンコフ光のリングイメージからκ/π 識別を行う。



A-RICH (Aerogel Ring Imaging CHerenkov counter) κやπが入射したときに発生するチェレンコフ光のリングイメージからκ/π 識別を行う。



A-RICHのシミュレーション

- ・HAPD → バックグラウンド、磁場の影響、HAPDの配置などのシミュレーション
- ・輻射体 → 構造に関するシミュレーション
- ソフトウェア → 解析プログラムの改良、検証
 ※赤字:私が担当している部分



K/πの識別性能に おけるgapサイズ の影響を調べる



アルミフレームの微小な歪み
ブラックシートの厚さ
(フレーム表面での光の反射防止)



2016年の4月、5月に輻射体を インストールする予定

シミュレーションのセットアップ



シミュレーションのセットアップ



Likelihood の算出方法

K、*π* それぞれのリングイメージを算出し、各ピクセルで検出すると予想される光子数を見積もる。

 $N_{pe}[layer] \approx C \cdot \sin^2 \theta_c \cdot \Lambda \cos \theta_c \left(1 - exp \left(\frac{-d}{\Lambda \cos \theta_c} \right) \right)$ $N \approx N_{pe}[layer1] \cdot exp \left(\frac{-d}{\Lambda \cos \theta_c} \right) + N_{pe}[layer2]$

Nの値とリングイメージ上のピクセル数などを考慮してn_iを算出

$$\log L = -N + \sum_{Hit} n_i + \sum_{Hit} \log(1 - e^{-n_i})$$

実際に hit した場合に足し合わせる

検出する光子のロスが多くなると対数尤度の値が小さくなる

⇒ gap サイズと検出光子数の関係を調べる

C : 定数

A : Aerogelの伝達長

d:荷電粒子がAerogel中を通過する距離(path-length)



gapが大きくなることによる影響

・輻射体であるAerogelが占める面積が小さくなる。
 ・発生したチェレンコフ光が遮られる確率が大きくなる。
 ⇒ HAPDで検出される光子の ^{gag}数が減少する









識別性能の評価方法

対数尤度の差から粒子の識別をする。 今回はシグナルをπとする。 性能を評価するために threshold の値を変化させ、Efficiency と Fake rate を算出する。



gapサイズとefficiencyの関係



gapサイズ0mmにおける検出光子数



gapサイズとefficiencyの関係

Momentum vs Efficiency [fake rate 2%]



14

チェレンコフ角の角度差

$$\Delta \theta_c = \theta_{\pi} - \theta_K \qquad \text{Eff} \cong : n = 1.05$$

Momentum [GeV/c]	Δθ _c [mrad]	
2.0	106.73	
2.5	62.57	
3.0	41.82	
3.5	30.09	
4.0	22.74	い → 諏別性能の

発生光子数

+ チェレンコフ角の角度差 ↓ 運動量と efficiency の関係を形作る

gapサイズとefficiencyの関係





検出光子数の少しのロスが識別に大きな影響を与える

gap の影響が大きく現れる

BelleII実験の測定を想定した場合

gapサイズの影響で K/π の識別性能は低下することがわかったが、その影響は Bellell実験の測定においてどの程度、効いてくるのかを見積もる。

 φ_2 の測定を想定

シグナルモード : $B^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$ バックグラウンドモード : $B^0 \rightarrow K^+ \pi^-$ K/πの識別が測定の S/N に対応しているため、gapサイズの影響を見るには 最適なモード

シミュレーションのセットアップ 特定の粒子を入射させる → 特定のイベントを生成する ※イベント数は実際のBellell実験の測定 (10年間) に合わせる

 $B^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$ の再構成

Likelihood ratio (LR) 終状態の粒子識別 $LR(i:j) = \frac{L_i}{L_i+L_j}$

L_i : シグナル粒子の Likelihood *L_i* : バックグラウンド粒子の Likelihood

ΔE

イベントの識別 (A-RICHの粒子識別とは独立) $\Delta E = E_{Bcan} - E_{beam}$ E_{Bcan} : Bを再構成する粒子のエネルギー和 E_{beam} :本来Bが持っているべきエネルギー • シグナルの場合(—) $\Delta E = 0$ • バックグラウンドの場合(一) $\Delta E \neq 0$ 粒子のエネルギーはシグナル粒子の質量 を用いて算出するため



gapサイズとS/Nの関係





まとめ

CP対称性の破れの精密測定と新物理の探求を目的としてBellell実験が開始する。それに 伴い加速器と検出器をアップグレードしている。 本研究はアップグレードする検出器の1つで、エンドキャップ部における K/π 識別を担う A-RICH検出器について取り扱った。

輻射体の構造に関するシミュレーション

・gapサイズの影響はefficiencyが低い0.5GeV/cから1.0GeV/c、3.5GeV/cから4.0GeV/cの範囲で顕著に見られる。⇒新物理の探求を目的としているため、gapサイズは小さい方が良い
 ・Bellell 実験におけるφ2の測定を想定した場合、gapサイズの影響がみられた。
 また各gapサイズにおけるS/Nを比較することで、gapサイズを1mmにできない場合は gapサイズは3mm以下に抑えた方が良い。

・解析プログラムの改良によりgapサイズの影響を軽減できそうである。



CKM行列

$$V_{CKM} = \begin{pmatrix} V_{ud} & V_{us} & V_{ub} \\ V_{cd} & V_{cs} & V_{cb} \\ V_{td} & V_{ts} & V_{tb} \end{pmatrix} \approx \begin{pmatrix} 1 - \lambda^2/2 & \lambda & A\lambda^3(\rho - i\eta) \\ -\lambda & 1 - \lambda^2/2 & A\lambda^2 \\ A\lambda^3(1 - \rho - i\eta) & -A\lambda^2 & 1 \end{pmatrix} + O(\lambda^4)$$

 $\lambda \approx 0.23, A \approx 0.8, \rho \approx 0.13, \eta \approx 0.34$ $V_{ud}V_{ub}^* + V_{cd}V_{cb}^* + V_{td}V_{tb}^* = 0$ $\frac{V_{ud}V_{ub}^*}{V_{cd}V_{cb}^*} + \frac{V_{td}V_{tb}^*}{V_{cd}V_{cb}^*} + 1 = 0$ (0,0)
(1,0)



※各崩壊のモードは主要なモード

CKM行列のパラメータ決定においてK/π 識別が重要





4 chip \times 36 ch = 144 ch

```
APD の1ピクセル
4.9 × 4.9 mm<sup>2</sup>
↑
光検出の位置分解能
```

1層目のAerogelで発生したチェレンコフ光を 2層目のAerogelで屈折させる



10



Gap size 3mm

ž

35 30

25

20

15

10E

5Ē

ملساه

z

35

30

25 -

20



path Length Radiator [mm]



path Length Radiator [mm]

Gap size 5mm

40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50

path Length Radiator [mm]



path Length Radiator [mm]

path Length Radiator - Number of detected photons [K]

40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50

path Length Radiator [mm]

к

Entries 385912

1.698

500

400

300

200

100

fean x 44.

Mean y 10.88

RMS x

RMS y 4.339 60



40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 path Length Radiator [mm]

27



gapサイズが大きくなると、 減少が顕著に現れるポイント

path-length

42.9 mm

44.4 mm 📃

support plateのヒット分布を確認

46.1 mm

Simulation setup φ2の測定を仮定 して、その影響を 特定のイベントの崩壊 **EvtGen** を定義したファイル イベント生成 調べる (Decay table) ARICHでのデータ解析を行う 検出器内での 反応を計算 (Likelihoodの計算など) Sensitive Detector で感度を持たせた 部分にhit Particleをリストに詰める 欲しい情報 自作の解析 を詰めた Likelihood , pdg code プログラム Rootファイ などの情報を保存 ルを作成 Rootファイルを出力 解析用のmacroに入力 Rootファイルを出力 Cut条件を変えΔEを算出し、 実際の測定でシグナルと MCの情報をもとにシグナル数と なるイベント数を見積もる バックグラウンド数を求める

BelleII実験の測定を想定した場合

gapサイズの影響で K/π の識別性能は低下することがわかったが、その影響は Bellell実験の測定においてどの程度、効いてくるのかを見積もる。

 $arphi_2$ の測定を想定

シグナルモード : $B^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$ バックグラウンドモード : $B^0 \rightarrow K^+ \pi^-$ K/πの識別が測定の S/N に対応しているため、gapサイズの影響を見るには 最適なモード

シミュレーションのセットアップ 特定の粒子を入射させる → 特定のイベントを生成する

⇒ EvtGen を使用する

シミュレーションのセットアップ

EvtGen:以下の一連の流れをシミュレーションし、イベントを生成するジェネレーター

電子·陽電子衝突 (4S)の生成	BBペアの生成
生成するイベント数も Bellell実験の測定に合わせる。 加速器 : SuperKEKB ルミノシティ : $8 \times 10^{35} cm^{-2} \cdot s^{-1}$ 測定期間 : $10 \mp$ $\Rightarrow 約 2.4 \times 10^{11} 個のB \oplus 間子のペアが生成される$ $\frac{5}{7} + 10^{-1} K = (5.15 \pm 0.22) \times 10^{-6}$ バックグラウンドモード $B^{0} \to K^{+}\pi^{-}$ $B = (1.94 \pm 0.06) \times 10^{-5}$	Alias MyB0 B0 Alias Myanti-B0 anti-B0 ChargeConj MyB0 Myanti-B0 # Decay V(4S) Decay Upsilon(4S) # without mixing 0.5 MyB0 anti-B0 VSS; 0.5 Myanti-B0 B0 VSS; Enddecay # Decay of B0 -> K+ pi- , B0 -> pi+ pi- Decay MyB0 0.79 K+ pi- PHSP; back ground 0.21 pi+ pi- PHSP; signal
⇒ イベント数を 3.0 × 10 ⁶ とする	Enddecay CDecay Myanti-B0
	End: 31

 $B^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$ の再構成

Likelihood ratio (LR)

終状態の粒子識別

 $LR(i:j) = \frac{L_i}{L_i + L_j}$ $L_i : シグナル粒子の Likelihood$

L_i: バックグラウンド粒子の Likelihood

一般的にはCDC、TOP、A-RICHで得られた Likelihood の積を用いる $L_i = L_i^{CDC} \times L_i^{TOP} \times L_i^{ARICH}$

今回はA-RICHの性能評価を調べるため L_i^{ARICH} のみを使用し、 $LR(\pi; K)$ を基に粒子を選び出す ※ 運動量の関係から π が2つとも A-RICH に入射するイベントはないので、片方は積を用いる



Φ2-LR

Logl. π , Logl.K = 0 のとき LR = 0.5 となるため、LR = 0.5 は Cut している

entry and LR(π :K) [gap 1mm] rate ⊢<u>∓</u> ∣ Signal background 0.8 0.6 0.4 0.2 0 0.2 0.4 0.6 0.8 LR(π:K)

New calculate program

Likelihood depends on N_{exp} and N_{det} . N_{exp} : number of expected photons N_{det} : number of detected photons

old program : Without considering gap effect , N_{exp} was calculated.





number of ΔN_{π}



Momentum vs Efficiency [fake rate 2%]





Momentum vs Efficiency [fake rate 2%]



tracking performance is important at new method.

No Cut : ΔR cut is not used .





- $P \ge 1.0 \text{ GeV/c}$: current tracking performance is enough .
- P < 1.0 GeV/c : current tracking performance is not enough.

Summary

- The calculate program was updated , and gap size effect is very small .
- but identification performance at new method depends on tracking performance.
- → P \ge 1.0 GeV/c : current tracking performance is enough . P \le 1.0 GeV/c : current tracking performance is not enough .
- ⇒ the calculate program is used appropriately by the momentum.
 P ≥ 1.0 GeV/c : new calculate program
 P ≤ 1.0 GeV/c : old calculate program

X if tracking performance will be up , we can use the new calculate program at all momentum region (?)