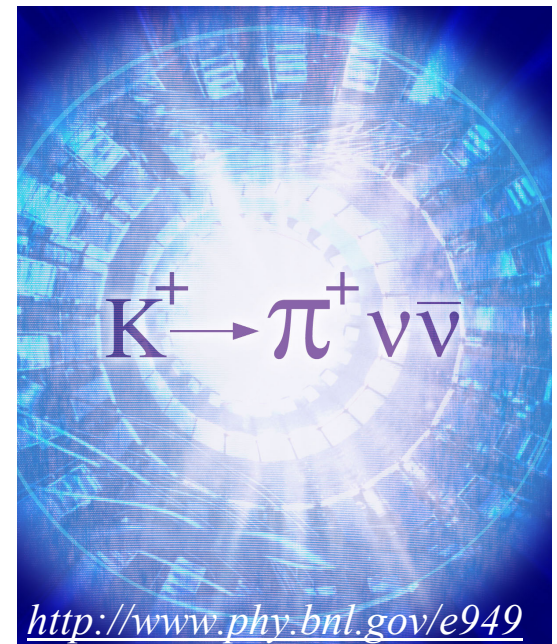


$K^+ \rightarrow \pi^+ \gamma\gamma$ 崩壊の研究

吉岡 瑞樹

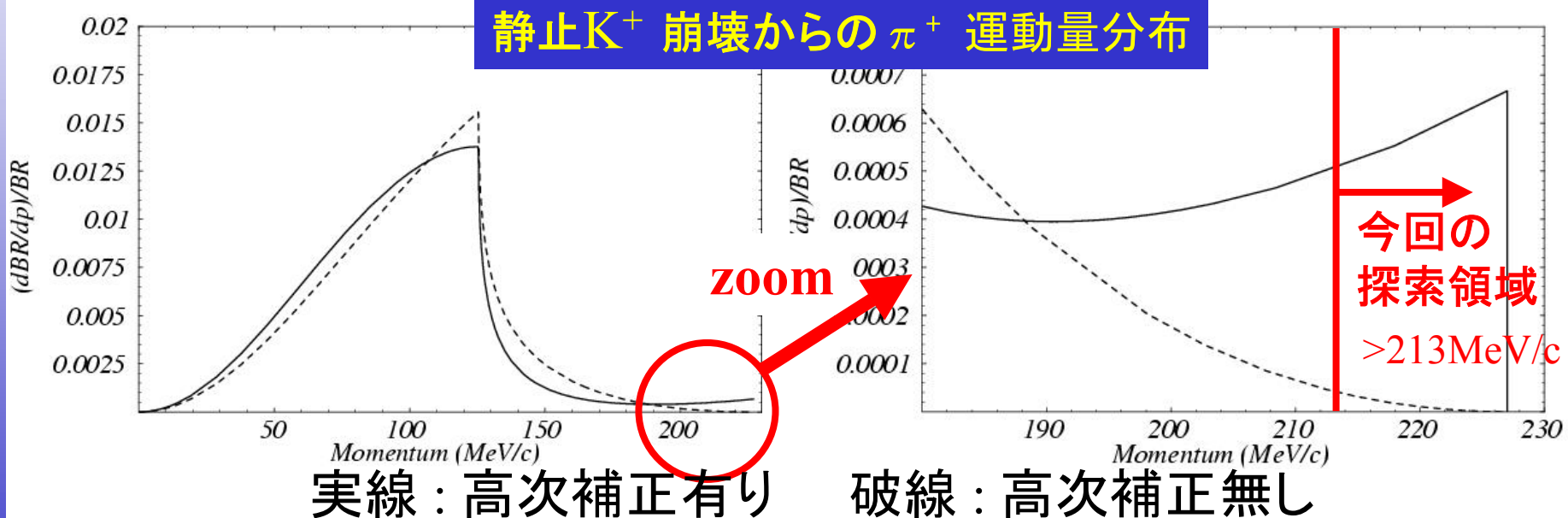
Contents :

- Introduction
- BNL-E949 Experiment
- Offline Analysis
- Results
- Conclusion



Physics Motivation

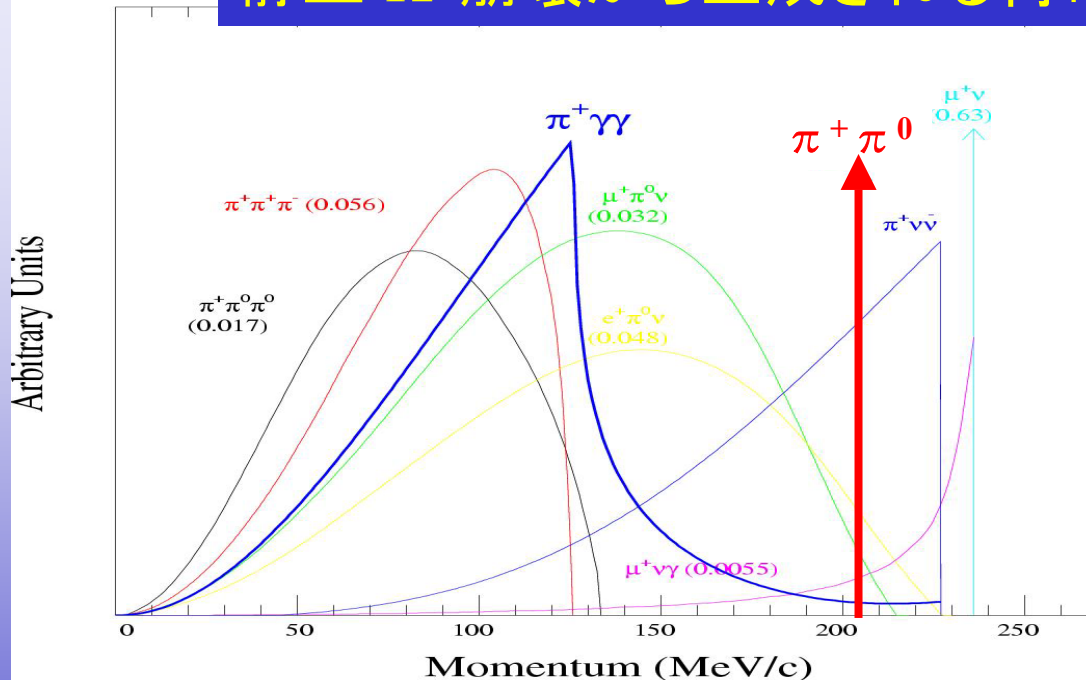
- カイラル摂動理論(低エネルギーQCDの有効場理論)の実験的検証。
 - 特異な運動量分布 (confirmed by previous experiment)
 - 高次の補正の有無 (not confirmed yet)



- $P_{\pi^+} > 213\text{MeV}/c$ は高次補正の有無を確認するのに良い領域。

Experimental Status

静止 K^+ 崩壊から生成される荷電粒子の運動量分布



- バックグラウンド

$K^+ \rightarrow \pi^+ \pi^0; \pi^0 \rightarrow \gamma \gamma$
($K_{\pi 2}$ 崩壊)

- 終状態が同一
- 分岐比 21%

- E787(前実験): 探索領域を2つに分割

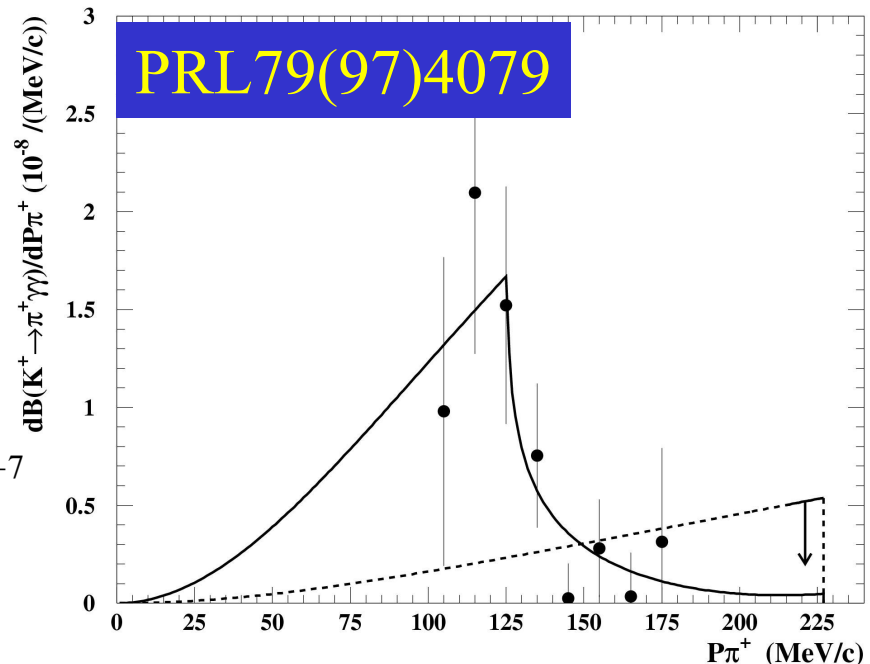
- $\pi^+ \gamma\gamma(1)$: $K_{\pi 2}$ peak より上の領域
- $\pi^+ \gamma\gamma(2)$: $K_{\pi 2}$ peak より下の領域

Experimental Status(Cont.)

• Results from E787

– $Br(\pi^+ \gamma\gamma(1)) < 5.0 \times 10^{-7}$ (90% C.L.)
No event was observed.

– $Br(\pi^+ \gamma\gamma(2))$
 $= (6.0 \pm 1.5(stat.) \pm 0.7(syst.)) \times 10^{-7}$
31 events with background 5.1 ± 3.3 .



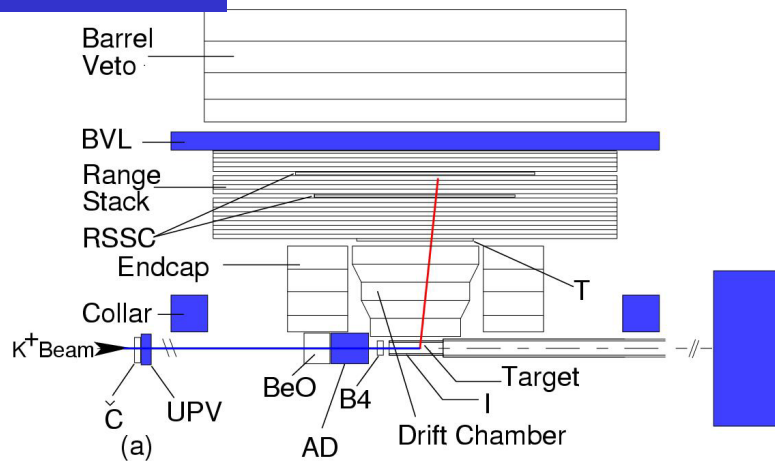
観測された31事象はカイラル摂動論を支持。

しかしながら、高次補正なしと矛盾しない。

→ $K_{\pi 2}$ peak より上の領域で探索を続行 (BNL-E949実験)

BNL-E949 Experiment

側面図



- 稀崩壊 $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$ とそれに付随する崩壊モードの研究。

- Stopped Kaon Experiment

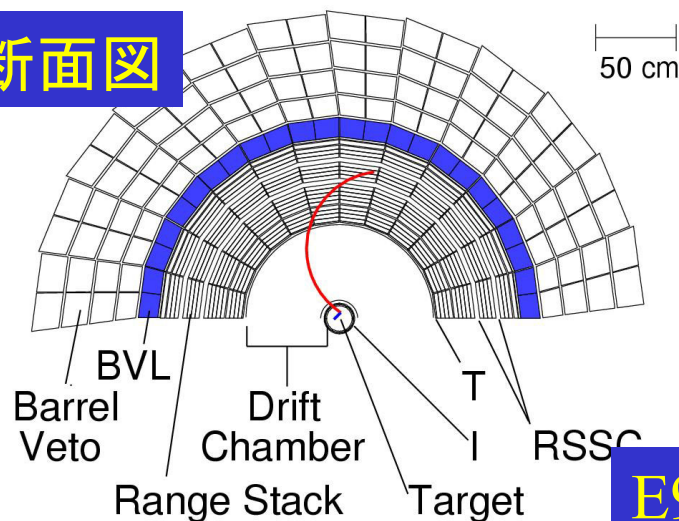
K^+ を測定器中で**静止**させ、その崩壊を観測する。

- E949検出器

円筒形、1-テスラの磁場中に設置 (図: 側面図、断面図の**上半分**)

- 2002年度に収集したデータより新しい $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$ の候補を1事象発見。

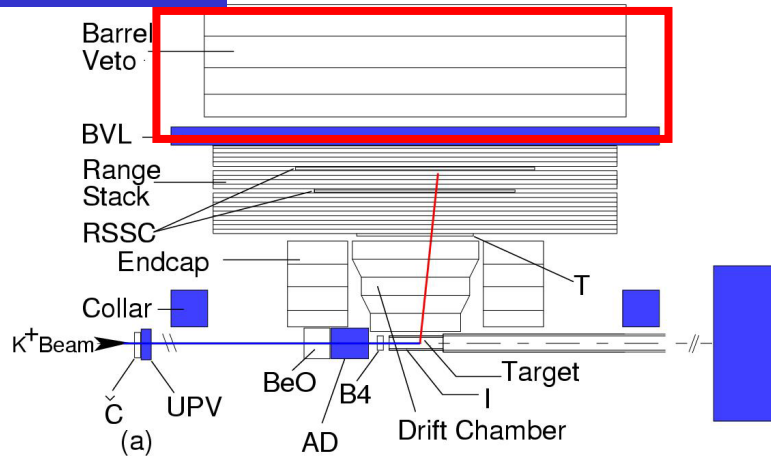
断面図



E949 Collaboration, PRL 93, 031801 (2004)

Barrel Photon Detectors

側面図



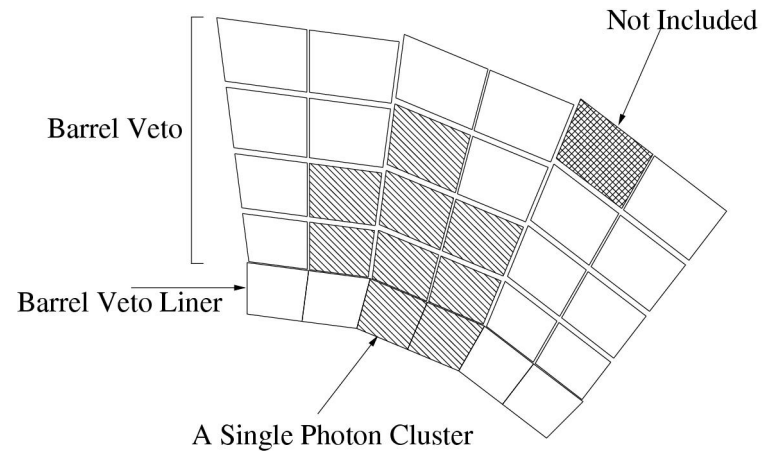
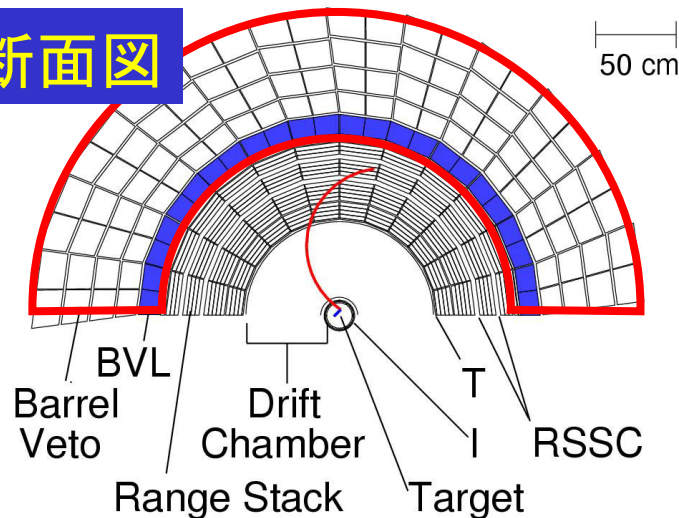
- Barrel Veto Liner

サンプリング・カロリメター。48セクターにセグメント。

- Barrel Veto

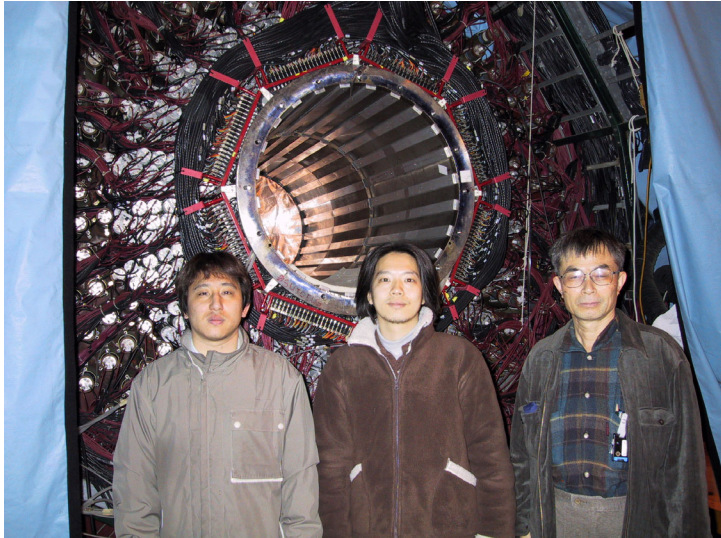
サンプリング・カロリメター。4層、48セクターにセグメント。

断面図

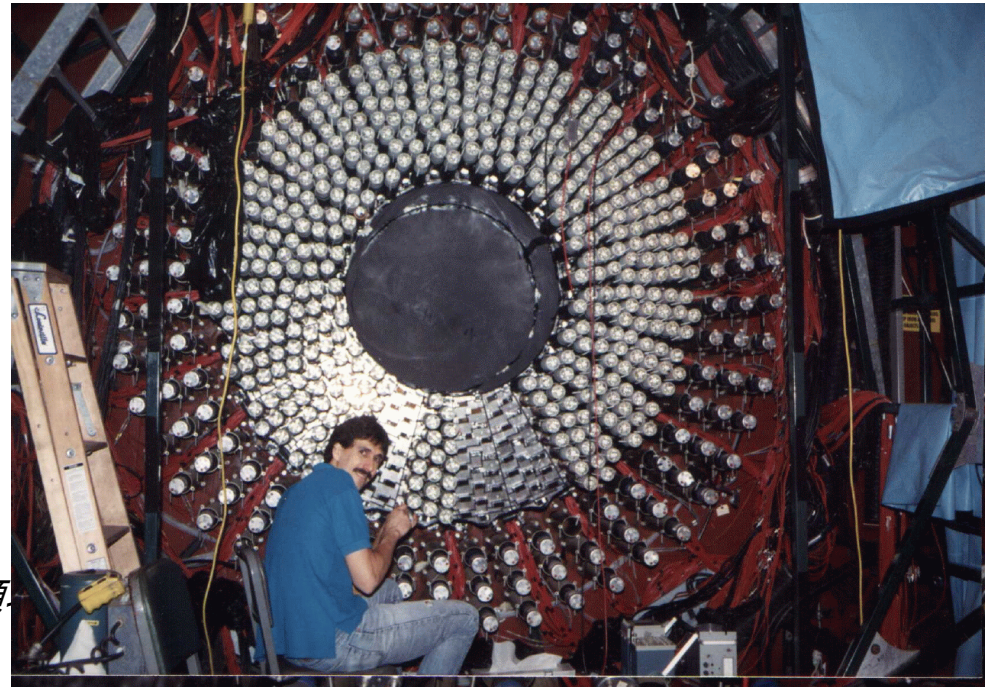


オフライン解析で**フォトンの再構成**
(**クラスタリング**)に使われる。

E949 Detector



領定特定費



Collected Data

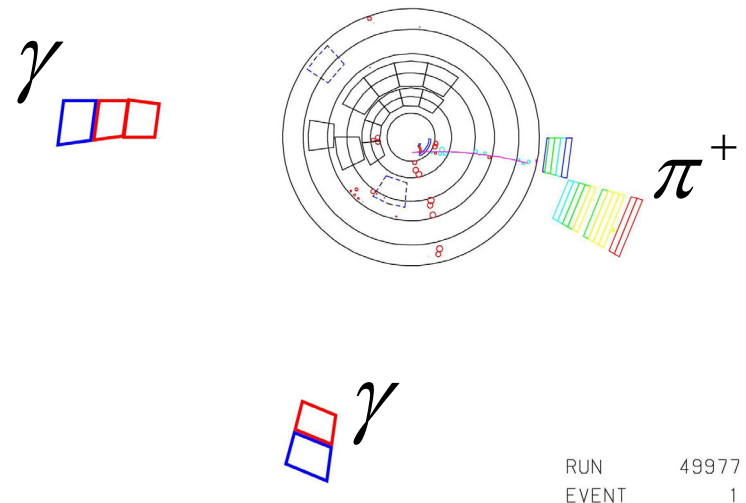
- E949-2002年のランで、 π^+ 運動量のエンドポイント付近でのシグナルの観測を目的としたトリガーを新たに導入。

トリガー

- ターゲット中で K^+ が静止/崩壊。
- 荷電粒子のレンジが $K_{\pi 2}$ 崩壊のものより長い。
- バレル領域でフォトンの検出。
- 荷電粒子に同期したactivityが他にない。

- $\sim 25\text{ev/spill}$, no prescale.
- Accumulated Kaons : $\sim 1.192\text{e}12$.

Online Event Display



RUN 49977
EVENT 1

高次補正があれば
信号の観測が期待。

Offline Signal Identification

(1) 荷電粒子に対する要求

- 運動学的パラメータ(運動量・レンジ・運動エネルギー)が $K^+ \rightarrow \pi^+ \pi^0$ 崩壊の π^+ より高い($P_{\pi^+} > 213\text{MeV}/c$)。
- 荷電粒子が π^+ である(Particle ID)。

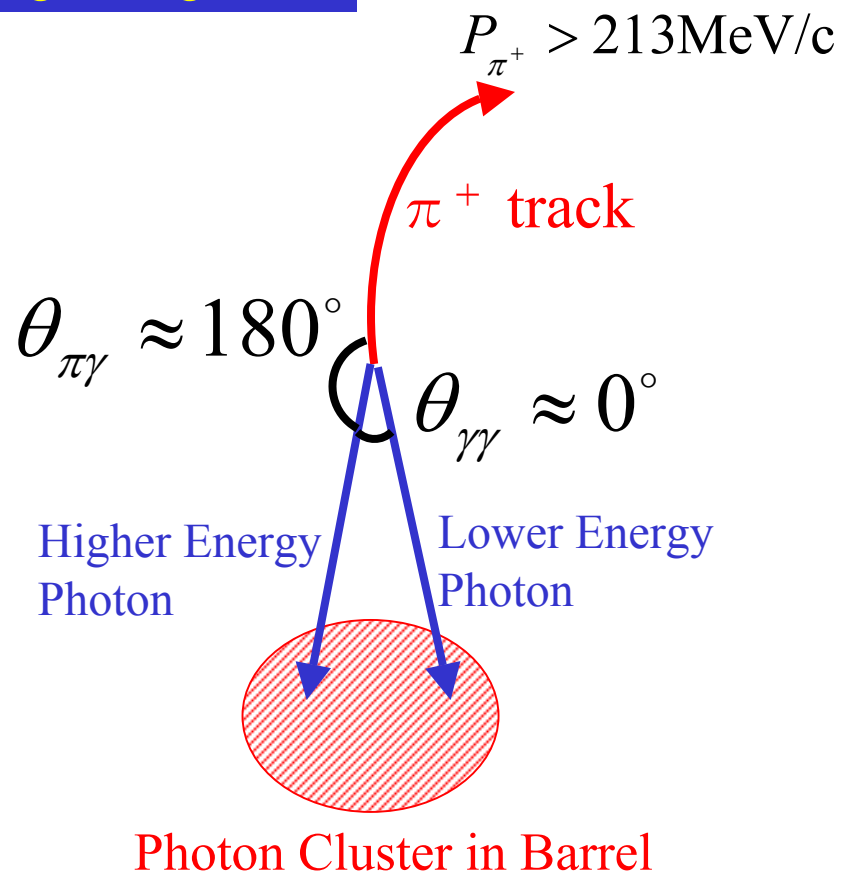
(2) フォトンに対する要求

- バレル領域で再構成されたフォトン・クラスターの数1個、または2個。
- エネルギーが高い方のフォトンは π^+ に対して反対側で検出される。

(3) 入射ビームに対する要求

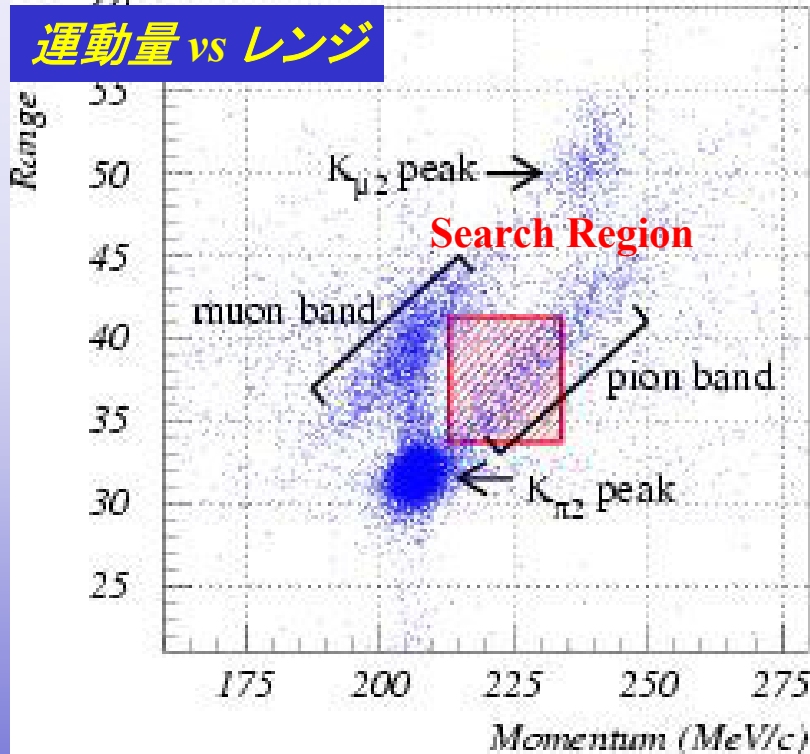
- ターゲット中で K^+ が静止・崩壊した。
- 他の入射ビームが K^+ の崩壊時間にBeamline 検出器で同時計測されない。


Signal Signature



Background Estimation

運動量 vs レンジ

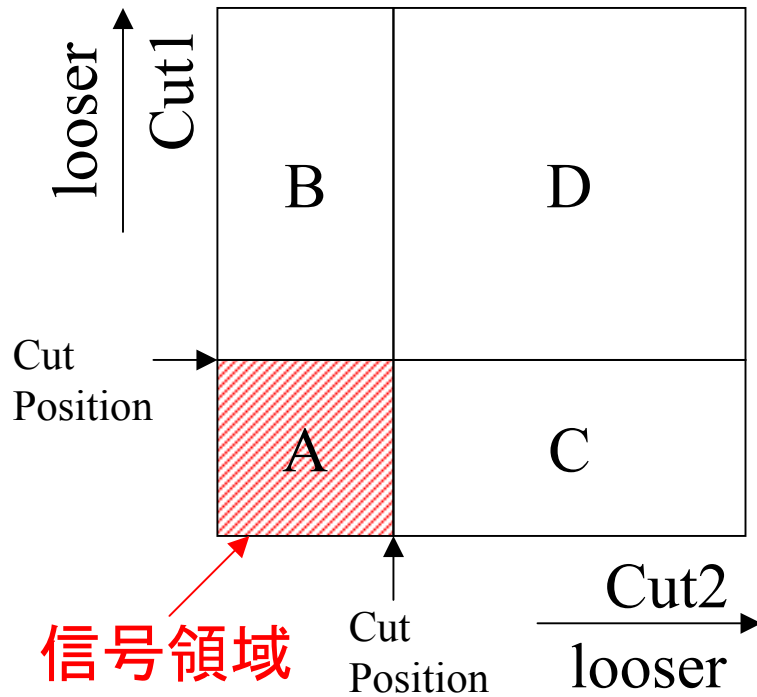


イベント再構成後の荷電粒子の運動量・レンジの2次元分布
 図中  は信号領域。

- バックグラウンドをそのメカニズムにより分類。
- 各バックグラウンドレベルを Bifurcation Method(二股分割法)を用いて評価。

source	Background Level
Kpi2	0.017 ± 0.006 events
Overlap	0.065 ± 0.065 events
Muon	0.090 ± 0.020 events
1Beam	0.025 ± 0.014 events
2Beam	$< 0.006(90\% \text{ C.L.})$ events
Total	0.197 ± 0.070 events

Bifurcation Method (Example)



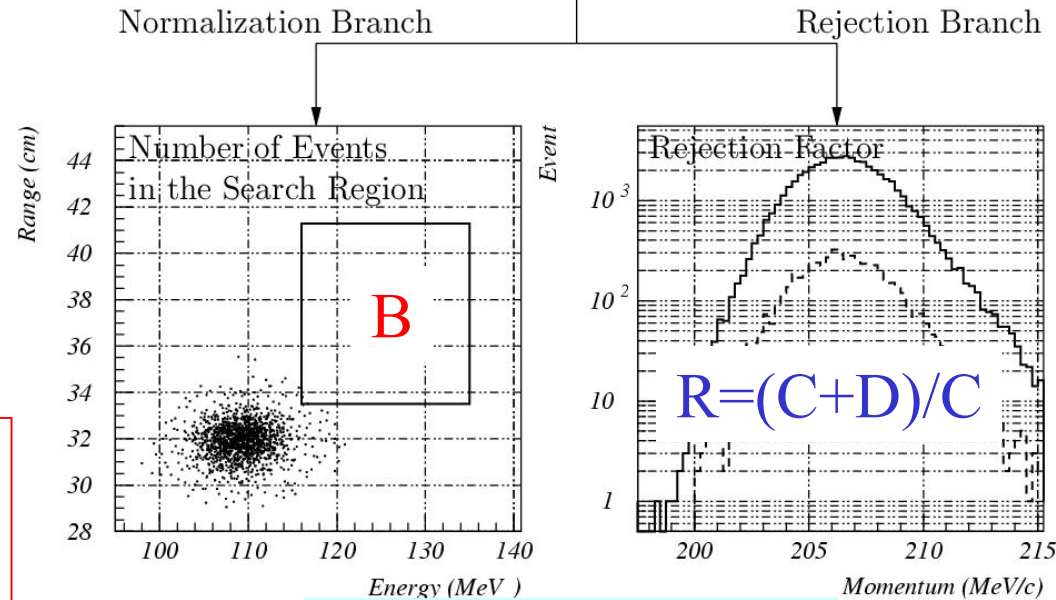
2つのカットが独立ならば、
 $A : B = C : D$
 $\leftrightarrow A = B \times C/D$
 が成り立つ。

Example : $K^+ \rightarrow \pi^+ \gamma \gamma$ background

Cut1 = フォトンに対するカット

Cut2 = 荷電粒子に対するカット

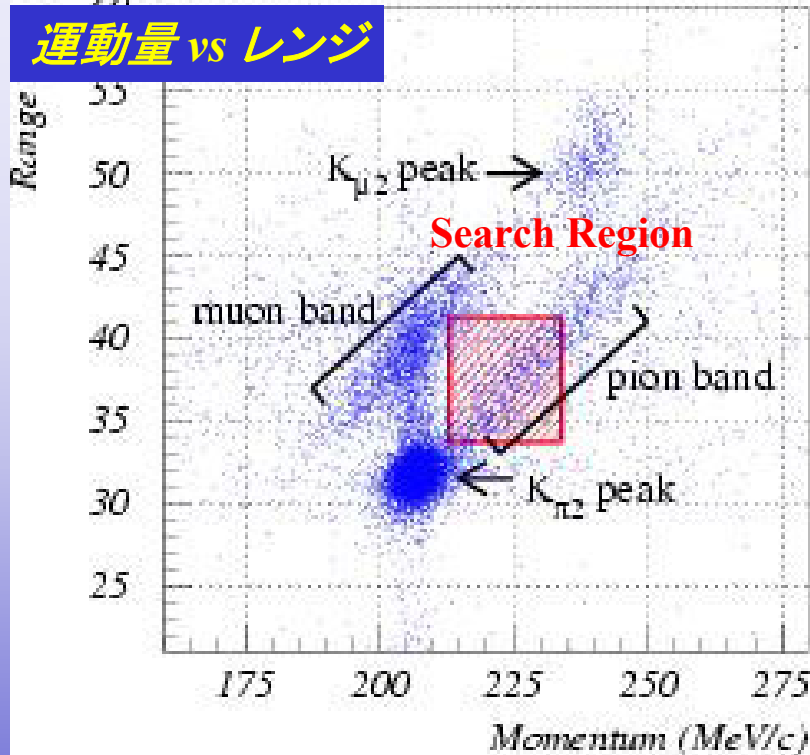
- $K^+ \rightarrow \pi^+ \gamma \gamma$ Data
- Setup Cus : Remove other backgrounds




$$N_{BG} = B \times \frac{C}{D} = \frac{B}{R-1}$$

Background Estimation

運動量 vs レンジ



イベント再構成後の荷電粒子の運動量・レンジの2次元分布
 図中  は信号領域。

- バックグラウンドをそのメカニズムにより分類。
- 各バックグラウンドレベルを Bifurcation Method(二股分割法)を用いて評価。

source	Background Level
Kpi2	0.017 ± 0.006 events
Overlap	0.065 ± 0.065 events
Muon	0.090 ± 0.020 events
1Beam	0.025 ± 0.014 events
2Beam	$< 0.006(90\% \text{ C.L.})$ events
Total	0.197 ± 0.070 events

Correlation Check

- Bifurcation Method で用いた2つのカットの独立性の確認

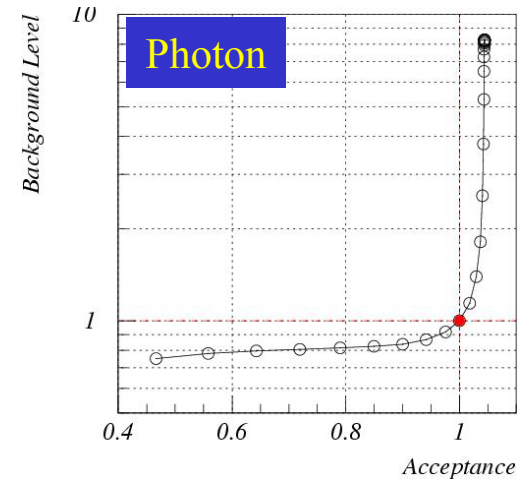
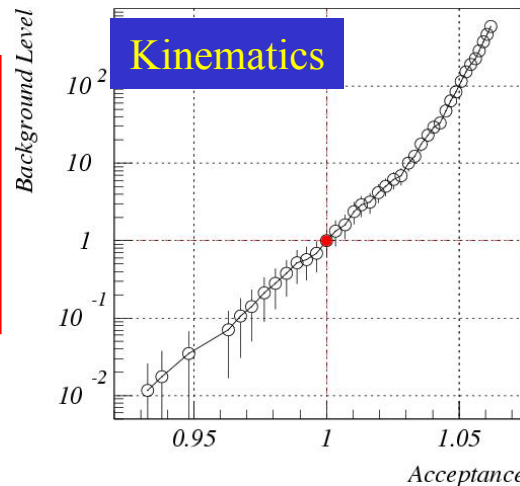
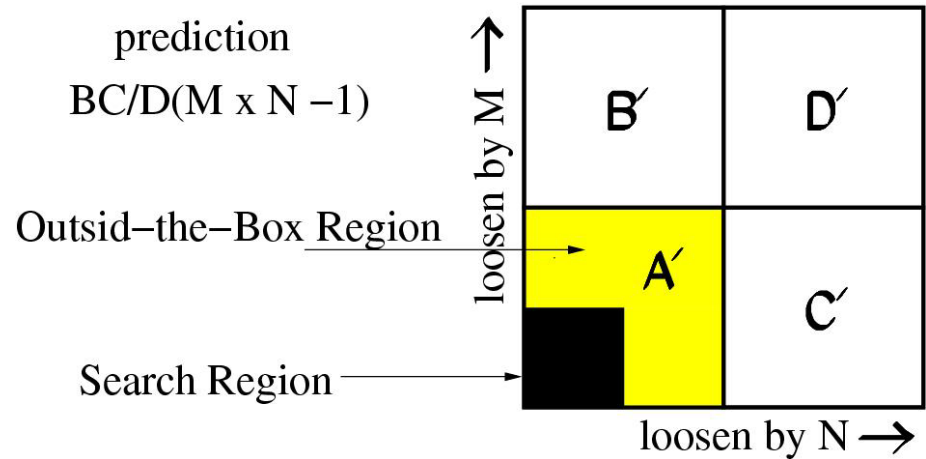
- 2つのカットを同時に緩める。
 - Background functionによる予測と信号領域の外側で実際に観測されたイベント数を比べる。

- Prediction

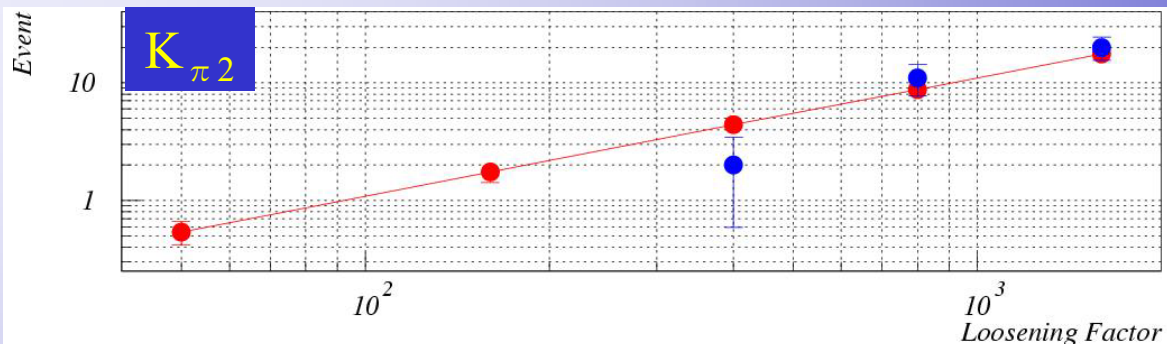
$$N(\text{outside}) = BC/D(M \times N - 1)$$

- Background function

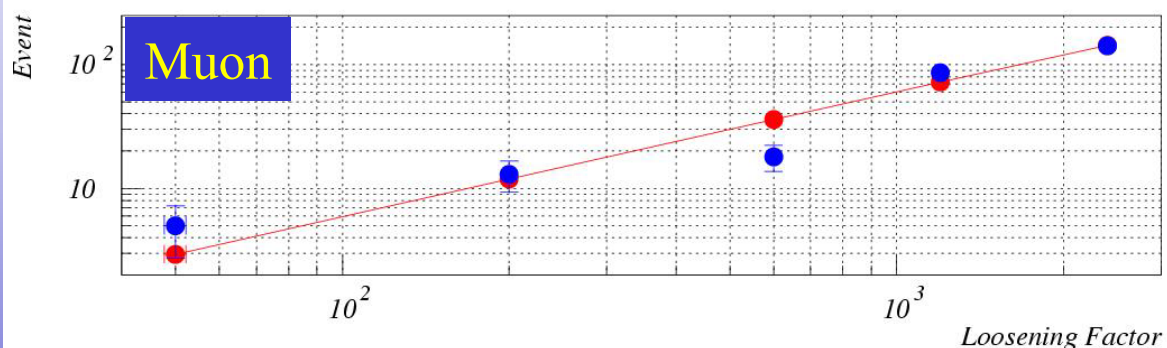
→ カットポジションを変えて、各点でバックグラウンドとアクセプタンスを再評価する。



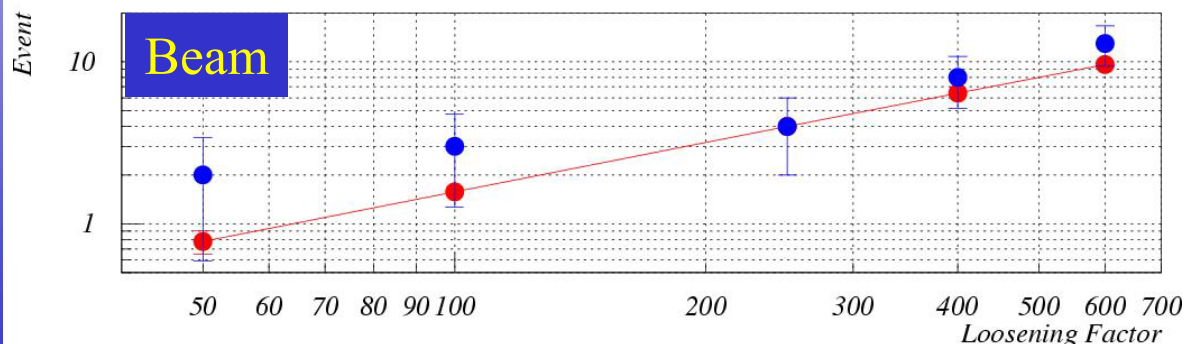
Correlation Check



- : prediction
- : observation

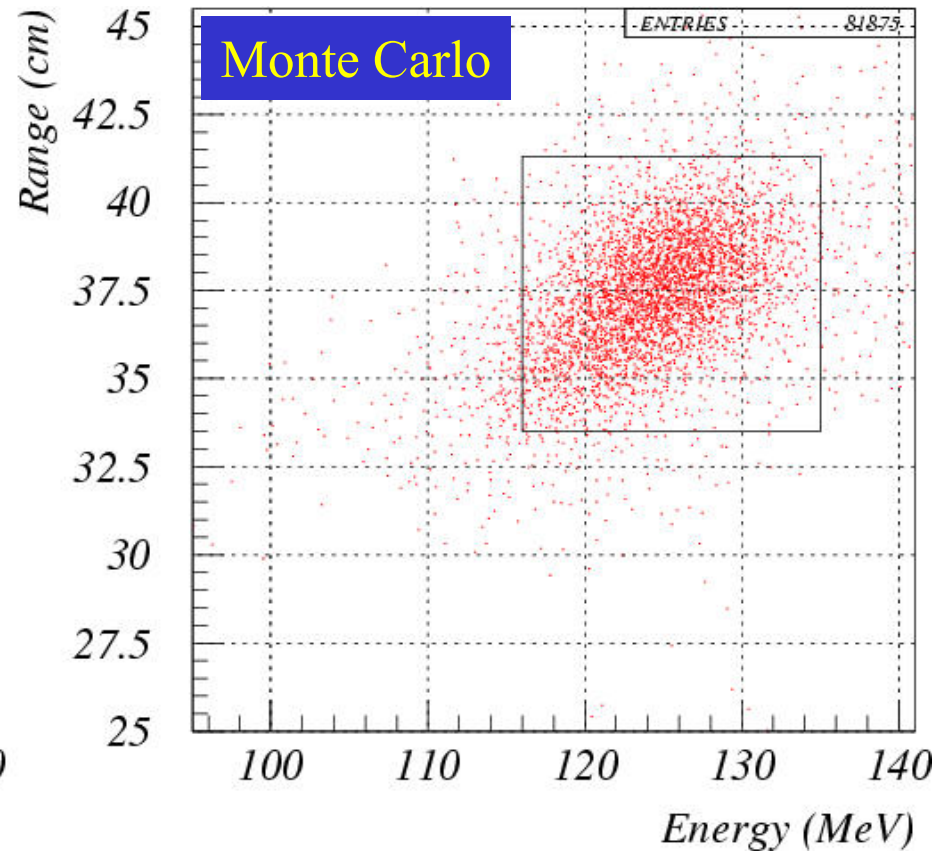
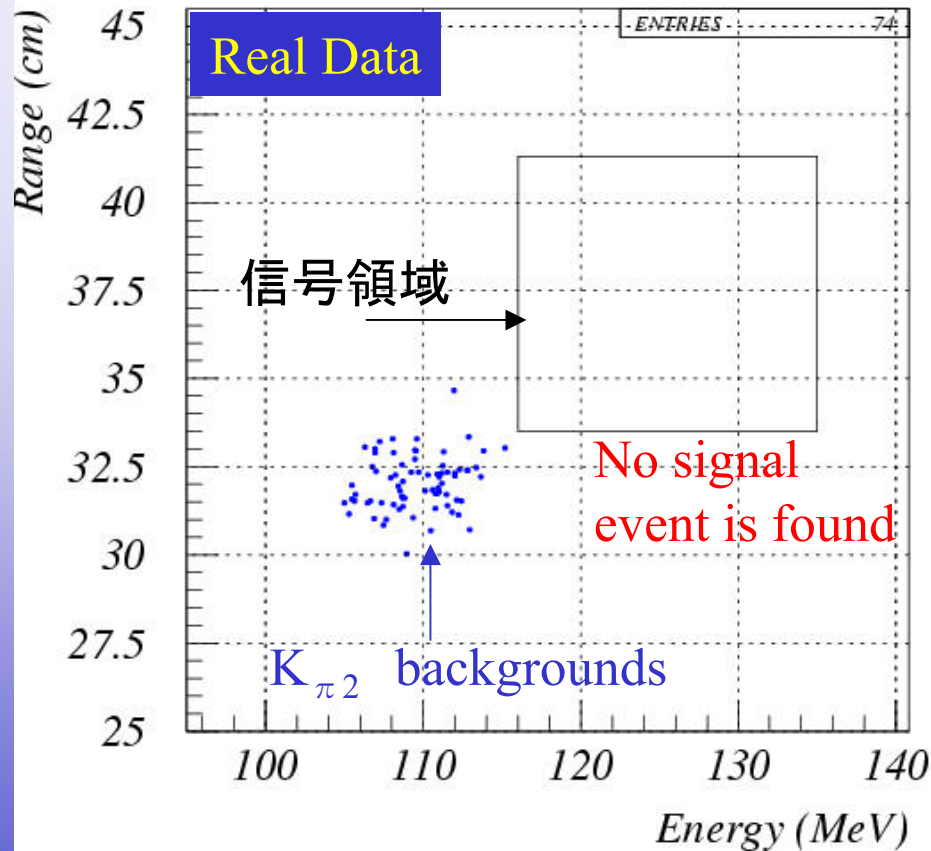


- 観測されたイベント数は background function の予測と良く一致している。



→ Bifurcation Method で用いた2つのカットの独立性が確認された。
 = 評価されたバックグラウンドは reliable.

Opening-the-Box



- 全選択条件を課した後の荷電粒子のレンジ・運動エネルギー分布

Single Event Sensitivity

• Single Event Sensitivity (S.E.S)

- Acceptance : 1.655×10^{-5} (補正無し)、 1.550×10^{-4} (補正有り)
- Target中での K^+ の静止効率 : 0.7541
- # of K^+ beam : 1.192×10^{12}

	$Br(\text{Theory}) (10^{-9})$	S.E.S (10^{-9})	Expected(events)
補正無し	3.50	67.2	0.05
補正有り	11.8	7.18	1.64

カイラル摂動理論の高次補正が存在すれば、S.E.S は予言値に達しており、1.64イベント観測が期待できた。

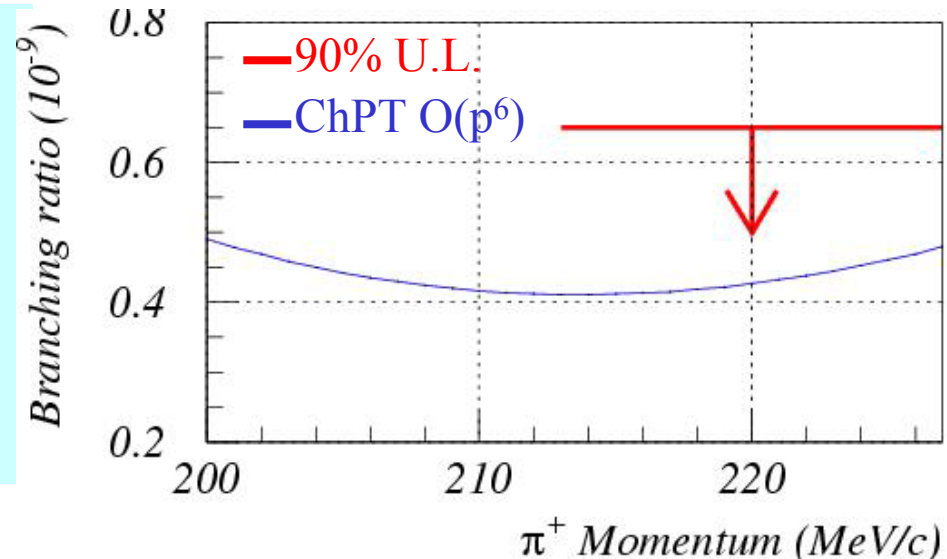
Results

- カイラル摂動論及びPhase Spaceを仮定した場合各々について90% Confidence Levelの上限値を得た。

$$BR(K^+ \rightarrow \pi^+ \gamma\gamma, P_{\pi^+} > 213 \text{ MeV}/c) < 9.08 \times 10^{-9} \text{ (for ChPT } O(p^6))$$
$$< 2.29 \times 10^{-8} \text{ (for ChPT } O(p^4))$$
$$< 9.90 \times 10^{-9} \text{ (for Phase Space)}$$

信号領域の下限値

- 高次補正の有無によらず、いずれもカイラル摂動論の予言値と矛盾しない結果となった。
- 前実験より7.6倍厳しい上限値を与えた。



Conclusion

- カイラル摂動理論の高次補正の有無を確認するため、BNL-E949実験が2002年に収集したデータを用いて $K^+ \rightarrow \pi^+ \gamma\gamma (P_{\pi^+} > 213\text{MeV}/c)$ の探索を行った。
- 信号領域でのバックグラウンドを評価するため、“Bifurcation Method” が用いられ、バックグラウンドの合計は 0.197 ± 0.070 イベントと見積もられた。

- $K^+ \rightarrow \pi^+ \gamma\gamma$ 崩壊分岐比に対する上限値(90% C.L.)は、

$$BR(K^+ \rightarrow \pi^+ \gamma\gamma, P_{\pi^+} > 213\text{MeV}/c) < 9.08 \times 10^{-9} \text{ (for ChPT } O(p^6))$$

となり、この崩壊モードに対して最も厳しい上限値を得た。