

J-PARC K1.8BR ビームラインにおける $d(K^-, N) \pi \Sigma^+$ 反応を用いた $\Lambda(1405)$ の精密分光実験の解析結果

井上謙太郎 for the J-PARC E31 Collaboration

阪大 核物理研究センター

日本物理学会 第 73 回年次大会 2018/3/24

- ▶ インTRODクシヨN
- ▶ 前回からの変更点
 - ▶ 分解能を反映したビン幅
- ▶ スペクトラム
- ▶ 理論計算との比較
- ▶ まとめ

$\Lambda(1405)$ への物理的興味

$\Lambda(1405) \quad I=0, S=-1$

$mass = 1405.1_{-1.0}^{+1.3} \text{ MeV}$

$\Gamma = 50.5 \pm 2.0 \text{ MeV}$

PDG, Chin. Phys. C, 40, 100001 (2016)

カイラルユニタリー模型

▶ $\bar{K}N$ と $\pi\Sigma$ の 2 極構造

▶ $\bar{K}N$ を強く反映した K^-d 反応による $\bar{K}N \rightarrow \pi Y$ 散乱の測定

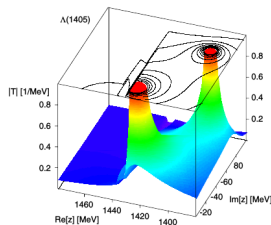
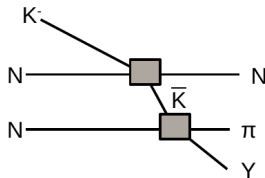
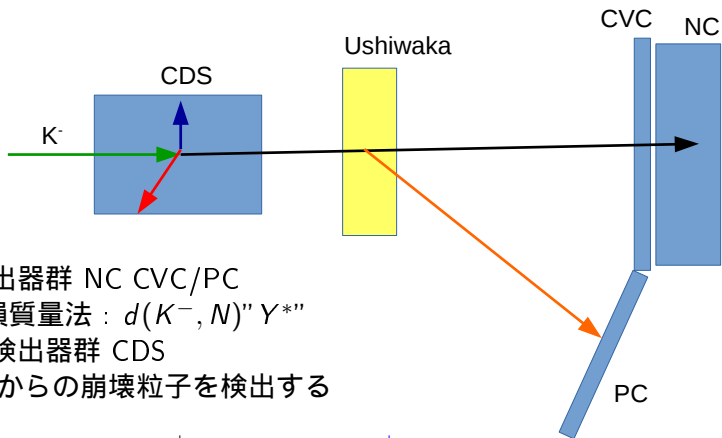


Fig 1. カイラルユニタリー模型による $\Lambda(1405)$ の 2 極構造



実験装置



前方検出器群 NC CVC/PC
 欠損質量法 : $d(K^-, N) Y^{*}$

円筒形検出器群 CDS
 Y^* からの崩壊粒子を検出する

$$K^- + d \rightarrow n + \pi^\pm + \Sigma^\mp \rightarrow \mathbf{n} + \pi^\pm + \pi^\mp + n \quad l = 0, 1$$

$$K^- + d \rightarrow p + \pi^- + \Lambda \rightarrow \mathbf{p} + \pi^- + \pi^- + p \quad l = 1$$

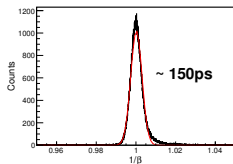
$$K^- + d \rightarrow p + \pi^- + \Sigma^0 \rightarrow \mathbf{p} + \pi^- + \pi^- + p + \gamma$$

NC/PC CDS 欠損質量法

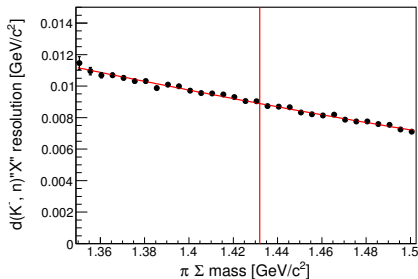
$d(K^-, n) \pi^+ X^-$ の分解能の評価

中性子検出器の時間分解能 γ 線で 150ps と評価
 $\bar{K}N$ 閾値上での $d(K^-, n) \pi^+ X^-$ 分解能が約 $10 \text{ MeV}/c^2$ と見積もられる。

$d(K^-, n) \pi^+ X^-$ の質量スペクトルのビン幅として $10 \text{ MeV}/c^2$ にする。



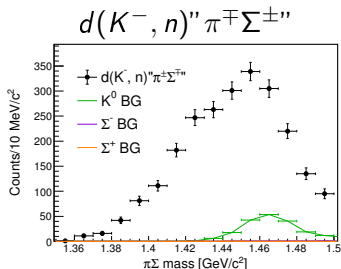
γ 線による NC の分解能の評価



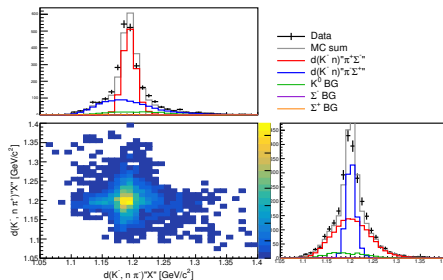
MC による $d(K^-, n) \pi^+ X^-$ の分解能

$\pi^+\Sigma^-$ と $\pi^-\Sigma^+$ の分離のためのフィッティング

シミュレーションから予測される $d(K^-, n\pi^\pm)\Sigma^\mp$ スペクトルを用いて $\pi^-\Sigma^+$ モードと $\pi^+\Sigma^-$ モードの成分に分離する。

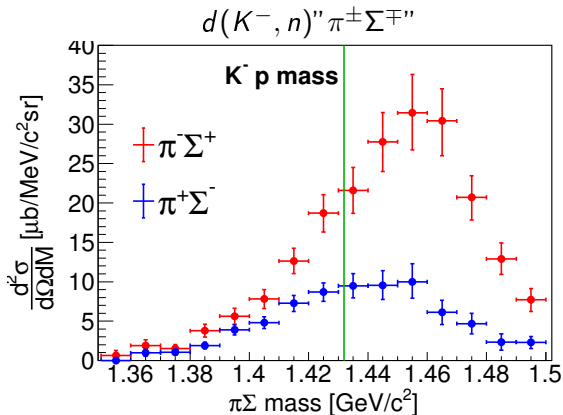


$d(K^-, n)\pi^\pm\Sigma^\mp$ スペクトラム、
色線は K^0 と Σ_{forward} の混入を示している。



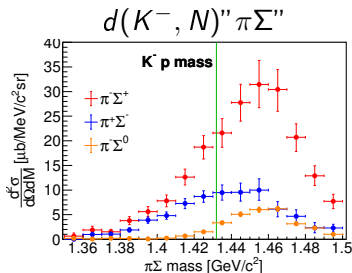
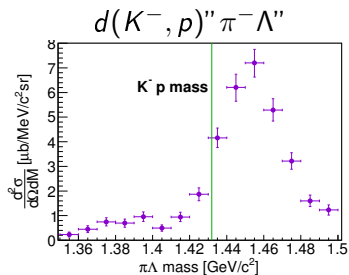
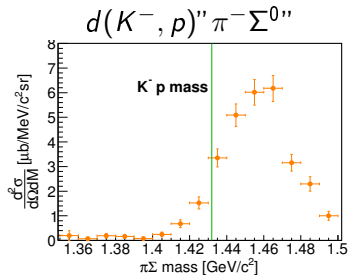
$d(K^-, n) \pi^\pm \Sigma^\mp$ の断面積

$\bar{K}N$ の閾値以下でも生成断面積が観測される。
 $l = 0$ と $l = 1$ の干渉項が確認できる。



$d(K^-, p) \pi^- \Sigma^0$ と $d(K^-, p) \pi^- \Lambda$ との断面積

$I = 1$ の $\bar{K}N$ 閾値の以下の生成は $d(K^-, n) \pi^\pm \Sigma^\mp$ に比べて抑制されている。

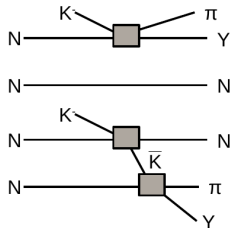


生成断面積が求められたので
理論計算と比較する。

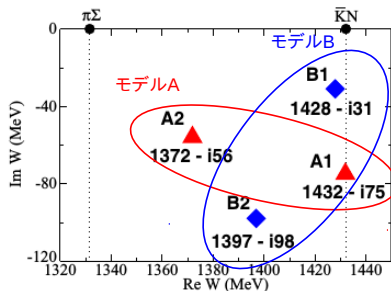
鎌野らによる $\bar{K}N$ 閾値以下の Λ^* の構造

幅広いエネルギー領域の $K^-p \rightarrow \bar{K}N, \pi\Sigma, \pi\Lambda, \eta\Lambda, K\Xi$ 散乱データを用いた部分波解析による $K^-d \rightarrow \pi YN$ 過程を計算

$\bar{K}N$ 閾値以下に2ポールが存在する。



$K^-d \rightarrow \pi YN$ 計算のダイアグラム。



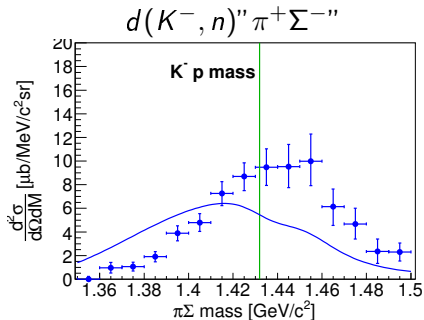
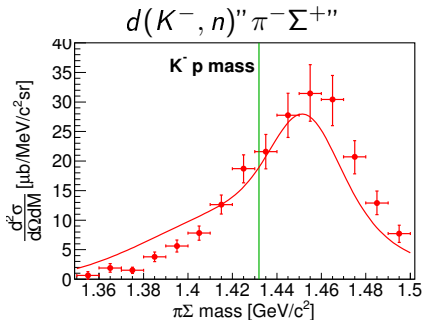
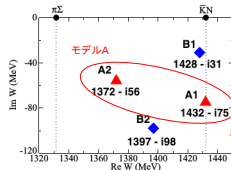
鎌野らの理論計算による $\Lambda(1405)$ の2極構造

H. Kamano and T.-S. H. Lee, Phys Rev. C, 94065205 (2016)

鎌野らの計算との比較 Model A

観測されたスペクトルに比べて計算結果は束縛領域に長いテールを持っているように見える。

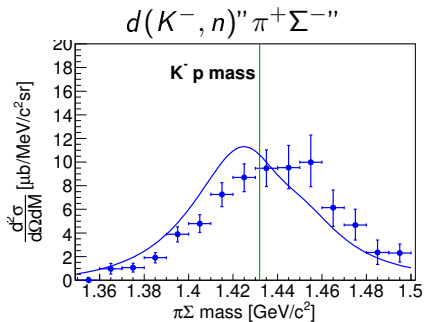
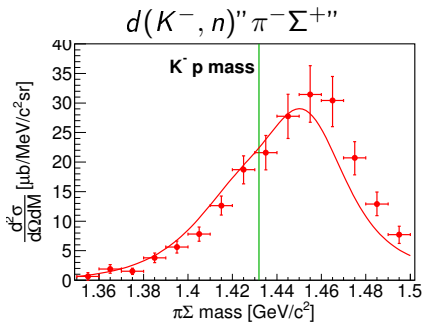
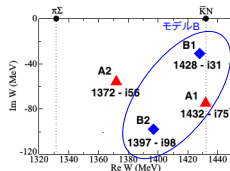
$\pi^+\Sigma^-$ は非束縛領域で計算より大きな強度が観測された。



実線は鎌野らの計算結果を検出器の分解能で畳み込んだ結果を示している

鎌野らの計算との比較 Model B

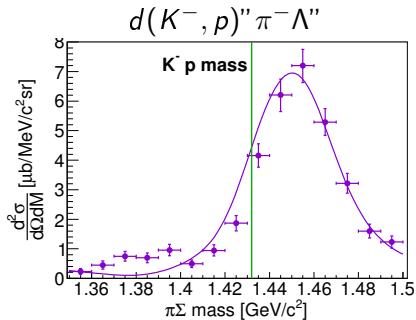
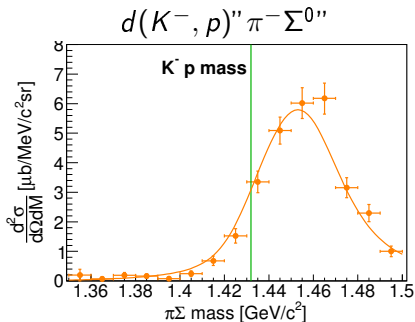
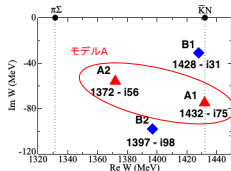
$\pi^\pm \Sigma^\mp$ とともに全体にわたりモデル A よりもモデル B により近いスペクトラムが観測されている。



実線は鎌野らの計算結果を検出器の分解能で畳み込んだ結果を示している

鎌野らの計算との比較 Model A / = 1

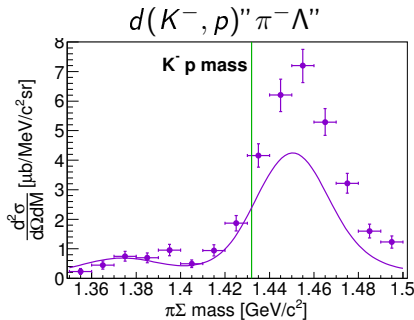
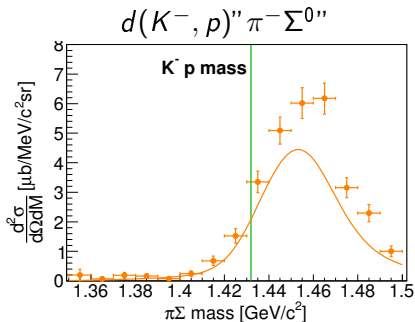
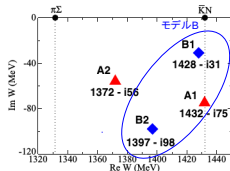
観測されたスペクトルは非束縛領域で
理論計算と合っている。
 $\pi^- \Lambda$ スペクトルは $\Sigma^*(1385)$ 付近で合わない。



実線は鎌野らの計算結果を検出器の分解能で畳み込んだ結果を示している

鎌野らの計算との比較 Model B / = 1

観測されたスペクトラムは非束縛領域で
理論計算よりも大きい。
 $\pi^- \Lambda$ スペクトルは $\Sigma^*(1385)$ 付近で合っている。



実線は鎌野らの計算結果を検出器の分解能で畳み込んだ結果を示している

- ▶ $d(K^-, n) \pi^\pm \Sigma^\mp$ と $d(K^-, p) \pi^- \Sigma^0 / \pi^- \Lambda$ の生成断面積を求めた。
 - ▶ $d(K^-, n) \pi^\pm \Sigma^\mp$ スペクトラムから $l = 0$ と $l = 1$ の干渉項が観測された。
 - ▶ $l = 1$ である $d(K^-, p) \pi^- \Sigma^0 / \pi^- \Lambda$ スペクトラムでは束縛領域の生成断面積が抑制されている。
 - ▶ $d(K^-, n) \pi^\pm \Sigma^\mp$ スペクトラムに観測された束縛領域の生成断面積は $l = 0$ の寄与が支配的である。
- ▶ $\bar{K}N \rightarrow MB$ 反応の部分波解析による $\bar{K}N \rightarrow \pi YN$ 散乱振幅を用いた理論計算と比較した。
 - ▶ $d(K^-, n) \pi^\pm \Sigma^\mp$ はモデル A よりもモデル B に近いスペクトラムが観測されている。
 - ▶ $d(K^-, p) \pi^- \Sigma^0 / \pi^- \Lambda$ の準弾性散乱の強度はモデル A に近い値が観測されている。
 - ▶ $d(K^-, p) \pi^- \Lambda$ の $\Sigma^*(1385)$ 付近の強度はモデル B に近いスペクトラムが観測されている。

Thanks your attention

For the J-PARC E31 collaboration

S. Ajimura¹, G. Beer², M. Bragadireanu⁴, P. Buehler⁴, L. Busso⁵, M. Cargnelli⁴, S. Choi³, C. Curceanu⁸, S. Enomoto¹⁴, D. Faso⁵, H. Fujioka¹³, Y. Fujiwara¹², T. Fukuda¹¹, C. Guaraldo⁸, R. S. Hayano¹², T. Hashimoto⁹, T. Hiraiwa¹, M. Iio¹⁴, M. Iliescu⁸, K. Inoue¹, N. Ishibashi⁷, Y. Ishiguro¹³, T. Ishikawa¹², S. Ishimoto¹⁴, T. Ishiwatari⁴, K. Itahashi⁹, M. Iwai¹⁴, M. Iwasaki^{9,10}, S. Kawasaki¹, P. Kienle¹⁵, H. Kou¹⁰, Y. Ma⁹, J. Marton⁴, Y. Matsuda¹², Y. Mizoi¹¹, O. Morra⁵, T. Nagae¹³, H. Noumi¹, H. Ohnishi⁹, S. Okada⁹, H. Outa⁹, K. Piscicchia⁸, L. Poli Lener⁸, A. Romero Vidal⁸, Y. Sada¹, A. Sakaguchi⁷, F. Sakuma⁹, M. Sato⁹, M. Sekimoto¹⁴, H. Shi¹², K. Shirotori¹, D. Sirghi⁸, F. Sirghi⁸, S. Suzuki¹⁴, T. Suzuki¹², H. Tatsuno⁸, M. Tokuda¹⁰, D. Tomono⁹, A. Toyoda¹⁴, K. Tsukada¹⁶, E. Widmann⁴, O. Vazquez Doce⁸, T. Yamaga¹, T. Yamazaki^{9,12}, K. Yoshida⁷, H. Yim³, J. Zmeskal⁴ .

1. Research Center for Nuclear Physics, Osaka University, Japan
2. University of Victoria, Canada, 3. Seoul National University, South Korea
4. Stefan Meyer Institut fur subatomare Physik, Austria,
5. INFN Sezione di Torino, Italy , 6. Universita' di Torino, Italy
7. Osaka University, Japan, 8. Laboratori Nazionali di Frascati dell'INFN, Italy
9. RIKEN, Japan, 10. Tokyo Institute of Technology, Japan
11. Osaka Electro-Communication University, Japan, 12. University of Tokyo, Japan
13. Kyoto University, Japan, 14. High Energy Accelerator Research Organization (KEK), Japan
15. Technische Universitat Munchen, Germany, , 16. Tohoku University, Japan

Back up

誤差の評価

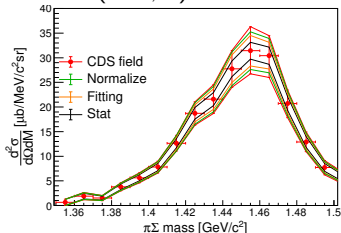
- ▶ $d(K^-, n)'' \pi^\pm \Sigma^\mp$ のイベント数による統計誤差
- ▶ $\pi^+ \Sigma^-$ と $\pi^- \Sigma^+$ モードとの分離のフィッティングによる各 $\pi^\pm \Sigma^\mp$ モードの割合に対する誤差
- ▶ ビームの数や DAQ 効率、検出効率、アクセプタンスによる誤差

———— これら 3 つの誤差は 2 乗平方根で評価 ————

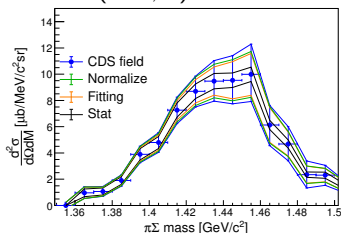
- ▶ CDS の磁場の誤差によるシミュレーションで作られるテンプレートの分布の違いによる誤差
新たに加える

———— 上の 3 つの誤差とは独立に評価 ————

$d(K^-, n)'' \pi^- \Sigma^+$



$d(K^-, n)'' \pi^+ \Sigma^-$



誤差の評価 $d(K^-, p)''\pi^-\Sigma^0/\Lambda''$

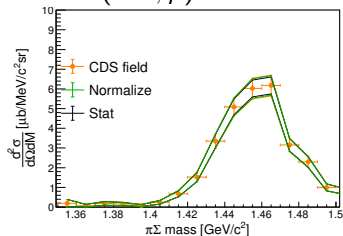
- ▶ $d(K^-, n)''\pi^+\Sigma^\mp''$ のイベント数による統計誤差
- ▶ $\pi^+\Sigma^-$ と $\pi^-\Sigma^+$ モードとの分離のフィッティング
- ▶ イベント数から断面積への変換のための系統誤差

———— 各要素を 2 乗平方根で評価 ————

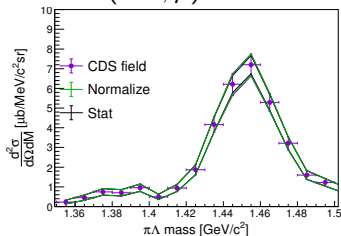
- ▶ CDS の磁場の誤差によるアクセプタンスの違いによる系統誤差

———— 上の 3 つの誤差とは独立に評価 ————

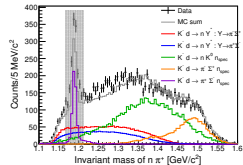
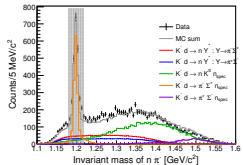
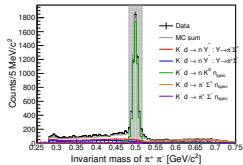
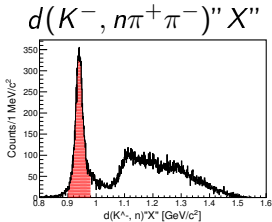
$d(K^-, p)''\pi^-\Sigma^0''$



$d(K^-, p)''\pi^-\Lambda''$



$d(K^-, \pi^\pm) \Sigma^\mp$ 終状態の特定



- ▶ $K^- + d \rightarrow (\Sigma^\pm \pi^\mp)_{Backward} + n$ **Signal**
- ▶ $K^- + d \rightarrow n + K^0 + n$ BG
- ▶ $K^- + d \rightarrow n + (\Sigma^\pm \pi^\mp)_{Forward}$ BG

K^0 や $\Sigma_{forward}$ によるバックグラウンドは不変質量から特定し取り除く。
シミュレーションによりバックグラウンドの染み出しを評価する。

$\pi^+\Sigma^-$ と $\pi^-\Sigma^+$ の分離のためのフィッティング

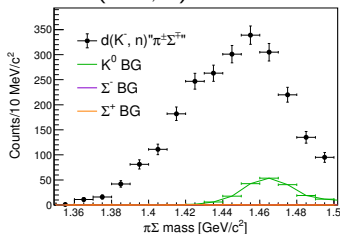
シミュレーションから予測される $d(K^-, n\pi^\pm)\Sigma^\mp$ スペクトルを用いて $\pi^-\Sigma^+$ モードと $\pi^+\Sigma^-$ モードの成分に分離する。

テンプレートフィットは「拡張された最尤法」を用いて行った。

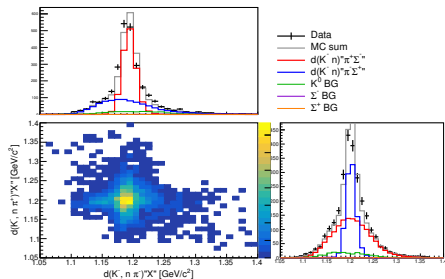
R. Barlow and C. Beeston, Comp. Phys. Comm. 77 (1993) 219-228,

A. Nappi, Comp. Phys. Comm. 108 (2009), 269-275

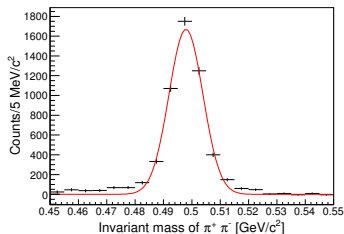
$$d(K^-, n)\pi^\mp\Sigma^\pm$$



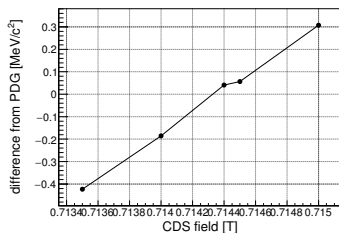
K^0 と $\Sigma_{forward}$ を取り除いた $d(K^-, n)\pi^\mp X$ 、
色線は K^0 と $\Sigma_{forward}$ の混入を示している。



CDS の磁場は K^0 のピークを使ってデータから校正されている。

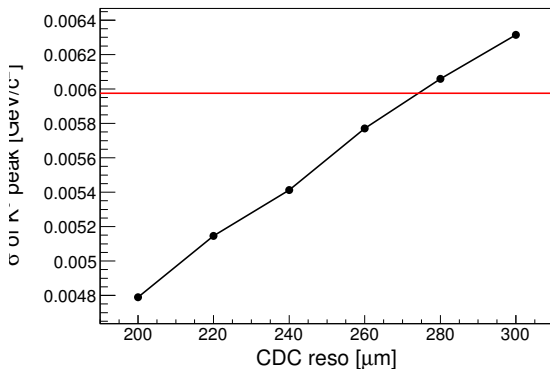


K^0 のピーク構造、データからシミュレーションにより見積もられたバックグラウンド引いている。



CDS の磁場と K^0 のピーク位置の関係。

CDCの分解能は K^0 のピークを用いて評価する。



モンテカルロシミュレーションによる CDC の位置分解能と K^0 のピークの幅の関係。
赤線がデータのフィットの結果を示している。