$d(K^-, n)$"$\pi^{\mp}\Sigma^{\mp}$" 反応による $\Lambda(1405)$ の研究

井上謙太郎 for the J-PARC E31 Collaboration

$d(K^-, n)\pi^0\Sigma^0$ 反応による $\Lambda(1405)$ の研究

川崎新吾 for the J-PARC E31 Collaboration

$d(K^-, n)\pi\Sigma_{I=0}$ スペクトルの解析

野海博之 for the J-PARC E31 Collaboration

K^-d 反応の異なる運動量移行領域での $\pi^{\pm}\Sigma^{\mp}$ 不変質量分布

浅野秀光 for the J-PARC E31 Collaboration

イントロダクション

Λ(1405)

$S=-1$、$I=0$、$J^P=(\frac{1}{2})^-$

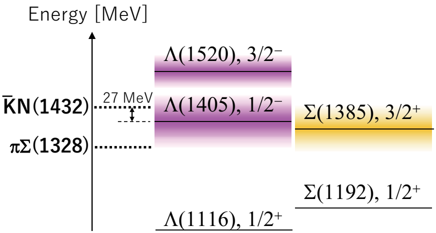
$m=1405.1^{+1.3}_{-1.1}$ MeV

$\rightarrow \bar{K}N$ 閾値のすぐ下

$\Gamma = 50.5 \pm 2$MeV

PDG (R.L. Workman et al.,

PTEP. 2022, 083C01 (2022))

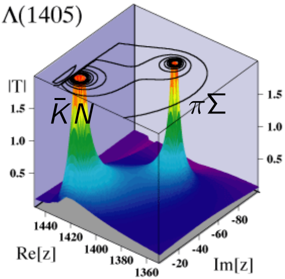


カイラルユニタリー模型

動力学的状態

2 つの極構造

D. Jido et al., Nucl. Phys. A 725(2003)181.

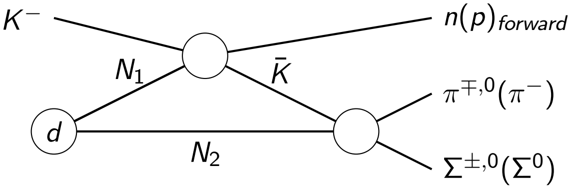


$\bar{K}N$ 閾値付近での $\bar{K}N \rightarrow \pi\Sigma$ 散乱データが必要

2 ステップ反応

$\bar{K}N$ 閾値以下での $\bar{K}N \to \pi\Sigma$ 散乱の直接測定

反跳 $\bar{K}$ の運動量 $\sim$ 250MeV $\Rightarrow$ S 波が支配的



前方 n 前方 p	$\pi^\mp\Sigma^\pm$ $\pi^-\Sigma^0$	$I = 0, 1$ $I = 1$	$\Lambda(1405)$、$\Sigma(1385)$ $\Sigma(1385)$	本講演
前方 n	$\pi^0\Sigma^0$	$I = 0$	$\Lambda(1405)$	川崎

$I = 0$ の 2 ステップ、$K^-N_1 \to \bar{K}N_{前方}$、$\bar{K}N_2 \to \pi\Sigma$ 反応の解析 野海

J-PARC E31 実験

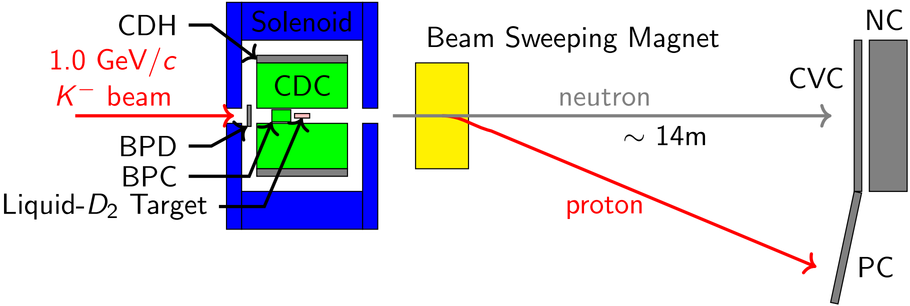
4 つすべての $\pi\Sigma$ モードを測定し
アイソスピン $I = 0, 1$ を分離
アイソスピン関係を確認する。

$$\frac{d^2\sigma_{\pi^0\Sigma^0}}{d\Omega dM} = \frac{1}{2}\left(\frac{d^2\sigma_{\pi^-\Sigma^+}}{d\Omega dM} + \frac{d^2\sigma_{\pi^+\Sigma^-}}{d\Omega dM} - \frac{d^2\sigma_{\pi^0\Sigma^-}}{d\Omega dM}\right)$$

前方 n 前方 p	$\pi^\mp\Sigma^\pm$ $\pi^-\Sigma^0$	$I = 0, 1$ $I = 1$	$\Lambda(1405)$、$\Sigma(1385)$ $\Sigma(1385)$	本講演
前方 n	$\pi^0\Sigma^0$	$I = 0$	$\Lambda(1405)$	川崎

$I = 0$ の 2 ステップ、$K^- N_1 \to \bar{K} N_{前方}$、$\bar{K} N_2 \to \pi\Sigma$ 反応の解析 野海

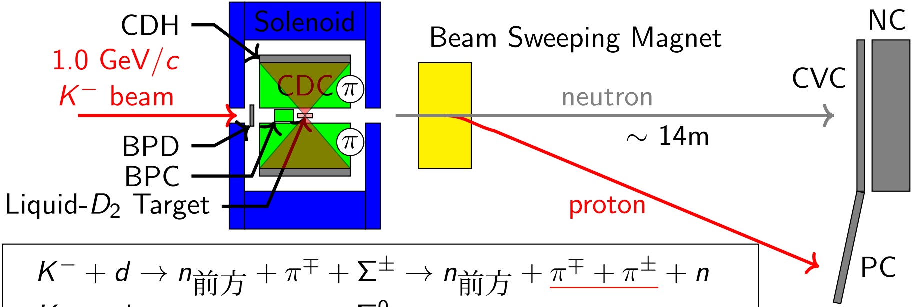
実験セットアップ



前方 n 前方 p	$\pi^{\mp}\Sigma^{\pm}$ $\pi^{-}\Sigma^{0}$	$I=0,1$ $I=1$	$\Lambda(1405)$、$\Sigma(1385)$ $\Sigma(1385)$	本講演
前方 n	$\pi^{0}\Sigma^{0}$	$I=0$	$\Lambda(1405)$	川崎

$I=0$ の 2 ステップ、$K^-N_1 \to \bar{K}N_{\text{前方}}$、$\bar{K}N_2 \to \pi\Sigma$ 反応の解析 野海

実験セットアップ



$$K^- + d \to n_{\text{前方}} + \pi^\mp + \Sigma^\pm \to n_{\text{前方}} + \underline{\pi^\mp + \pi^\pm} + n$$

$$K^- + d \to p_{\text{前方}} + \pi^- + \Sigma^0 \to p_{\text{前方}} + \underline{\pi^- + \pi^-} + p + \gamma$$

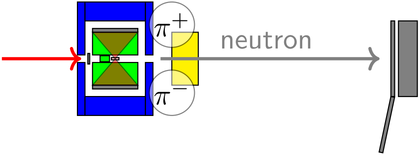
CDS で検出

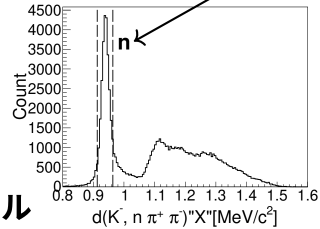
前方 n 前方 p	$\pi^\mp\Sigma^\pm$ $\pi^-\Sigma^0$	$I = 0, 1$ $I = 1$	$\Lambda(1405)$、$\Sigma(1385)$ $\Sigma(1385)$	本講演
前方 n	$\pi^0\Sigma^0$	$I = 0$	$\Lambda(1405)$	川崎

$I = 0$ の 2 ステップ、$K^- N_1 \to \bar{K} N_{\text{前方}}$、$\bar{K} N_2 \to \pi\Sigma$ 反応の解析 野海

$d(K^-, n)``\pi^{\mp}\Sigma^{\pm}"$ モードイベントセレクション

$$K^- + d \rightarrow n_{\text{前方}} + \pi^+ + \pi^- + ``n"$$

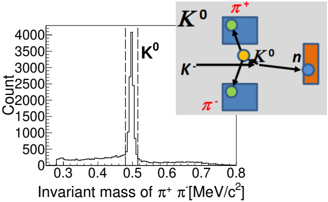


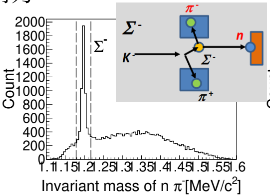


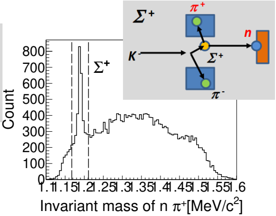
1: $K^- + d \rightarrow n_{\text{前方}}\pi^{\mp}\Sigma^{\pm} \Rightarrow$ **シグナル**

2: $K^- + d \rightarrow n_{\text{前方}} + K^0 + n$

3: $K^- + d \rightarrow \Sigma^{\pm}_{\text{前方}} + \pi^{\mp} + ``n"$



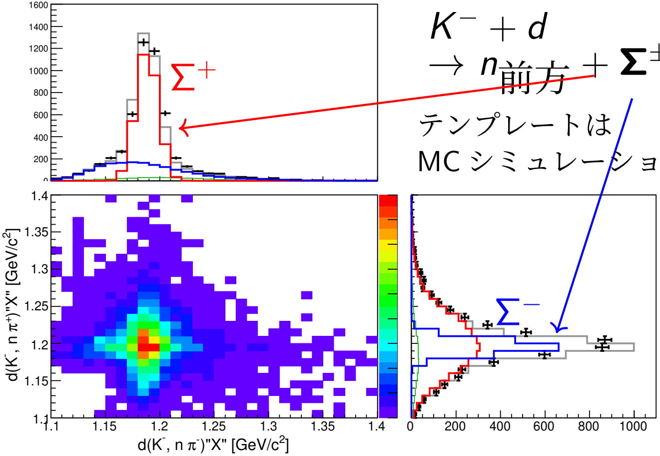




$\pi^-\Sigma^+$ モードと $\pi^+\Sigma^-$ モードの分離は テンプレートフィットで行った。

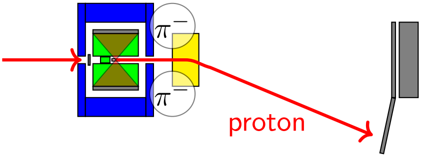
$K^- + d$
$\rightarrow n_{前方} + \boldsymbol{\Sigma}^{\pm} + \pi^{\mp}$

テンプレートは
MC シミュレーションで作った。

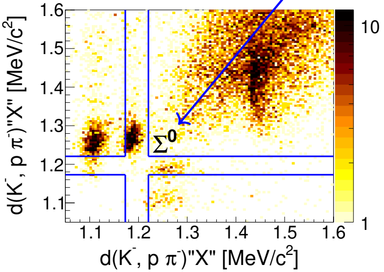


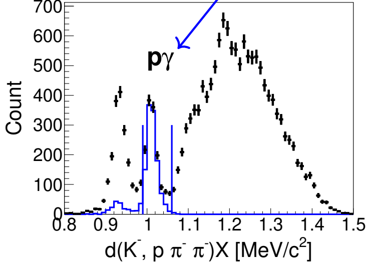
$d(K^-, n)$"X" のビン毎のフィットの合計

$d(K^-, p)$"$\pi^-\Sigma^0$" モードイベントセレクション



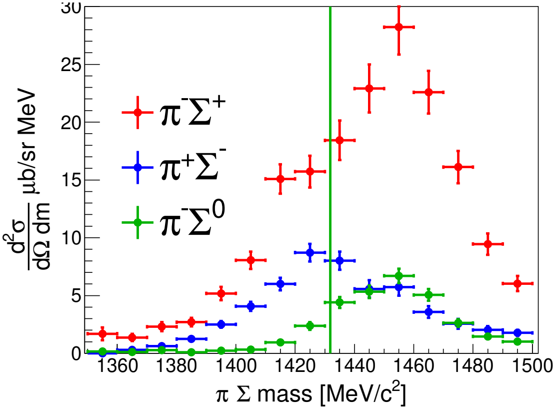
$$K^- + d \rightarrow p_{\text{前方}} + \pi^- + \Sigma^0 \rightarrow p_{\text{前方}} + \pi^- + \pi^- + (p + \gamma)$$





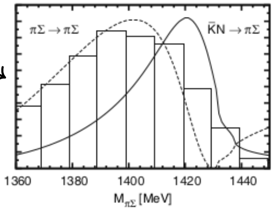
得られたスペクトラム

$d(K^-, n)$"$\pi^\mp\Sigma^\pm$" スペクトルに違いが観測された。
$\Rightarrow I = 0$ と $I = 1$ の干渉
$d(K^-, n)$"$\pi^\mp\Sigma^\pm$" スペクトルの閾値以下に大きな強度
$\Rightarrow \Lambda(1405)$ の貢献

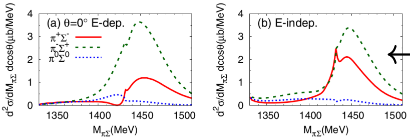


理論計算

D. Jido et. el., Eur. Phys. J. A **42**, 257 (2009).



反応	**相互作用**
2 ステップ反応	カイラルユニタリー模型
1 ステップ反応	



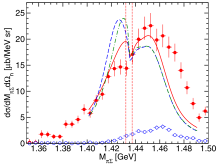
S. Ohnishi et el, Phys. Rev. C **93**, 025207 (2016).

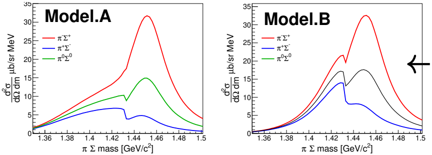
AGS 方程式　　有効カイラルラグランジアン

現象論

K. Miyagawae et el., Phys. ReV. C**97**, 055209 (2018).

ファデーエフ方程式　　様々な $\bar{K}N$ 相互作用



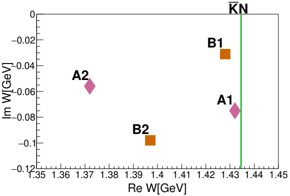


H. Kamano et el., Phys. ReV. C**94**, 065205 (2016).

2 ステップ反応　　ダイナカルチャンネル結合法

1 ステップ反応

ダイナミカルチャンネル結合模型との比較



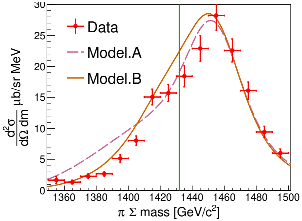
$\bar{K}N$ 閾値以下のデータ不足ため 2 つのモデル

- A1 : $1432 - \boxed{75}i$ MeV
- A2 : $1372 - 56i$ MeV
- B1 : $1428 - 31i$ MeV
- B2 : $1397 - 98i$ MeV

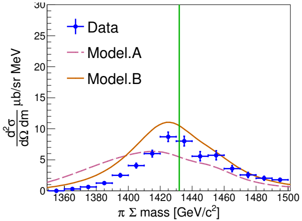
$\Rightarrow$ **モデル.A は $\bar{K}N$ の閾値以下に幅の太い構造**

全体的なスペクトルの形はモデル.B が再現

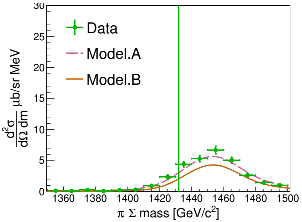
$d(K^-, n)"\pi^-\Sigma^+$



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



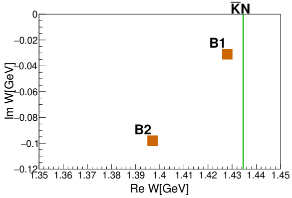
$d(K^-, p)"\pi^-\Sigma^0$



理論計算は分解能を畳み込んでいる

モデル.A $\chi^2/NDF \sim 109$
モデル.B $\chi^2/NDF \sim 37$

ダイナミカルチャンネル結合模型との比較(モデル.B)



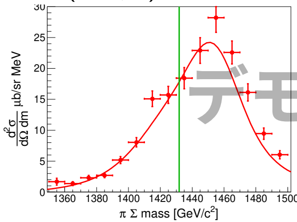
$\bar{K}N$ 閾値以下のデータ不足ため 2 つのモデル

- B1 : $1428 - 31i$ MeV
- B2 : $1397 - 98i$ MeV

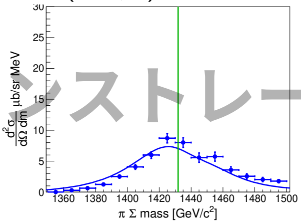
$I = 0$、$I = 1$ と干渉項の強度を
フリーパラメーターとしたフィット

$I = 1$ の強度を強くし $I = 0$ の強度を弱くし
干渉項を弱めるように相対位相の調整が必要。

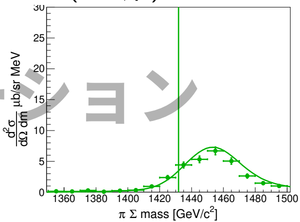
$d(K^-, n)"\pi^-\Sigma^+$



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



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



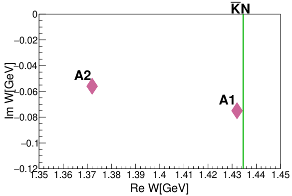
理論計算は分解能を畳み込んでいる

モデル.B $\chi^2/NDF \sim 15.4$

まとめ

- J-PARC E31 実験で
  $d(K^-, n)$"$\pi^\mp\Sigma^\pm$", $d(K^-, p)$"$\pi^-\Sigma^0$" スペクトルを測定した。
  - $d(K^-, n)$"$\pi^-\Sigma^+$" と $d(K^-, n)$"$\pi^+\Sigma^-$" に違い
    $\Rightarrow I = 0$ と $I = 1$ の干渉が観測された。
  - $d(K^-, n)$"$\pi^\mp\Sigma^\pm$" に $\bar{K}N$ 閾値以下に構造
    $\Rightarrow \Lambda(1405)$ の寄与が観測された。
- DCC 模型との比較のデモンストレーションを行った
  $\Rightarrow$ 本データを用いて理論計算の改善を期待

ダイナミカルチャンネル結合模型との比較(モデル.A)

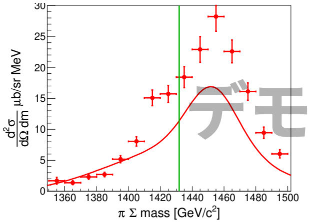


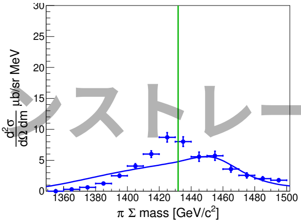
$\bar{K}N$ 閾値以下のデータ不足ため 2 つのモデル

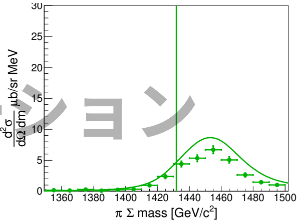
- A1 : 1432 − 75i MeV
- A2 : 1372 − 56i MeV

$I = 0$、$I = 1$ と干渉項の強度を
フリーパラメーターとしたフィット

$\bar{K}N$ 閾値以下の構造のため合わない



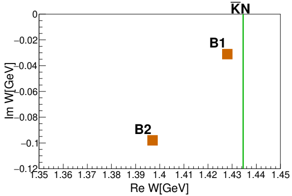




理論計算は分解能を畳み込んでいる

モデル.B $\chi^2/NDF \sim 53.7$

ダイナミカルチャンネル結合模型との比較 (モデル.B)



$\bar{K}N$ 閾値以下のデータ不足ため 2 つのモデル

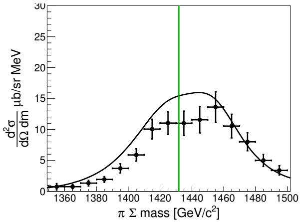
- B1 : $1428 - 31i$ MeV
- B2 : $1397 - 98i$ MeV

$I = 1$ の強度は不足

$I = 0$ は閾値以下で超過

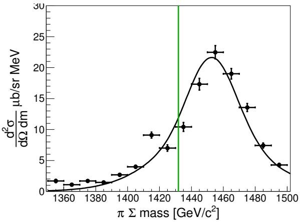
$\Rightarrow I = 1$ の強度を改善する余地

$I = 0$

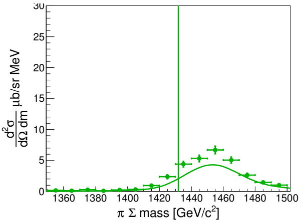


干渉項

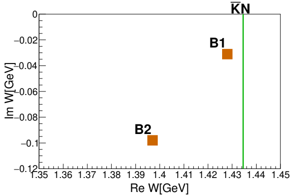
$\sim \mathbf{Re}(T_{I=0} T^*_{I=1})$



$I = 1$



ダイナミカルチャンネル結合模型との比較 (モデル.B)

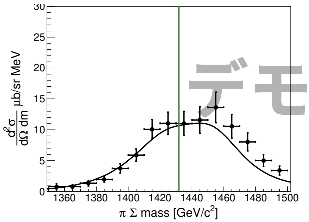


$\bar{K}N$ 閾値以下のデータ不足ため 2 つのモデル

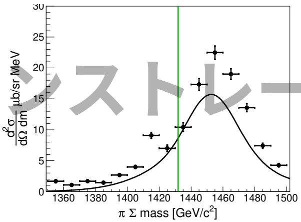
- B1 : $1428 - 31i$ MeV
- B2 : $1397 - 98i$ MeV

$I = 0$、$I = 1$ と干渉項の強度を
フリーパラメーターとしたフィット

$I = 0$



干渉項
$\sim$ **Re**$(T_{I=0} T^*_{I=1})$



$I = 1$