

ハドロノン物理と Θ^+ 粒子



兵藤 哲雄

原子核・クォーク核理論グループ D1

2004年2月22日

★ ハドロン物理の概観

★ 強い相互作用と量子色力学(QCD)

★ カイラル対称性

★ アプローチ、研究対象

★ 有効理論

★ 格子QCD

★ 有限温度／密度系

★ Θ^+ 粒子

★ 理論研究の現状

★ 量子数決定のための試み

物質の構造

原子

電子

原子核

$1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m}$

$1 \text{ fm} = 10^{-15} \text{ m}$

強い力 (核力)
原子核物理

核子 (陽子、中性子)

クォーク

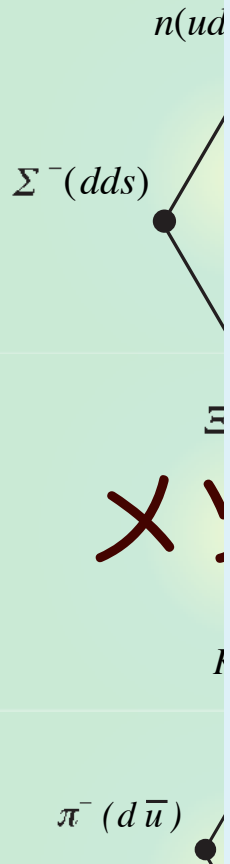
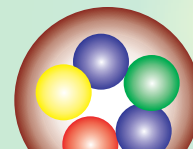
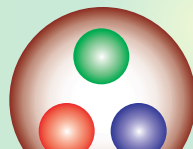
クォーク

クォーク

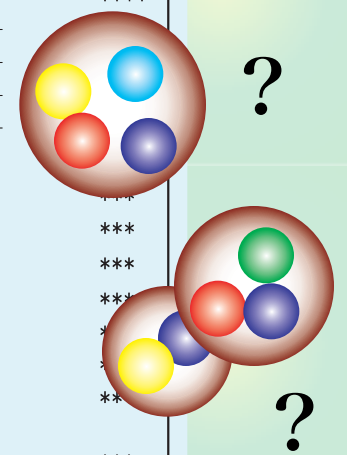
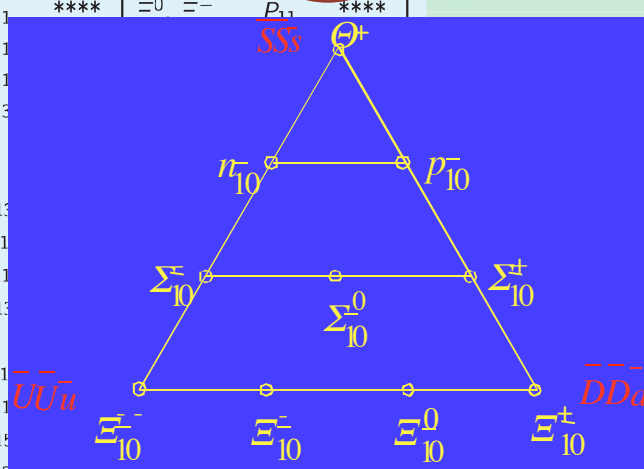
強い相互作用 (QCD)
ハドロン物理

登場人物：ハドロン多重項

バリオン (重粒子)



p	P_{11}	****	$\Delta(1232)$	P_{33}	****	Λ	P_{01}	****	Σ^+	P_{11}	****	Ξ^0	P_{11}	****
n	P_{11}	****	$\Delta(1600)$	P_{33}	***	$\Lambda(1405)$	S_{01}	****	Σ^0	P_{11}	****	Ξ^+	P_{11}	****
$N(1440)$	P_{11}	****	$\Delta(1620)$	S_{31}	****	$\Lambda(1520)$	D_{03}	****	Σ^-	P_{11}	****	Ξ^-	P_{11}	****
$N(1520)$	D_{13}	****	$\Delta(1700)$	D_{33}	****	$\Lambda(1600)$	P_{01}	***	$\Sigma(1385)$	P_{13}	****	$\Xi(1385)$	P_{13}	****
$N(1535)$	S_{11}	****	$\Delta(1750)$	P_{31}	*	$\Lambda(1670)$	S_{01}	****	$\Sigma(1480)$	P_{13}	****	$\Xi(1480)$	P_{13}	****
$N(1650)$	S_{11}	****	$\Delta(1900)$	S_{31}	**	$\Lambda(1690)$	D_{03}	****	$\Sigma(1560)$	P_{13}	****	$\Xi(1560)$	P_{13}	****
$N(1675)$	D_{15}	****	$\Delta(1905)$	F_{35}	****	$\Lambda(1800)$	S_{01}	***	$\Sigma(1580)$	D_{13}	****	$\Xi(1580)$	D_{13}	****
$N(1680)$	F_{15}	****	$\Delta(1910)$	P_{31}	****	$\Lambda(1810)$	P_{01}	***	$\Sigma(1620)$	S_{11}	****	$\Xi(1620)$	S_{11}	****
$N(1700)$	D_{13}	***	$\Delta(1920)$	P_{33}	***	$\Lambda(1820)$	F_{05}	****	$\Sigma(1660)$	P_{11}	****	$\Xi(1660)$	P_{11}	****
$N(1710)$	P_{11}	***	$\Delta(1930)$	D_{35}	***	$\Lambda(1830)$	D_{05}	****	$\Sigma(1670)$	D_{13}	****	$\Xi(1670)$	D_{13}	****
$N(1720)$	P_{13}	****	$\Delta(1940)$	D_{33}	*	$\Lambda(1890)$	P_{03}	****	$\Sigma(1690)$	P_{13}	****	$\Xi(1690)$	P_{13}	****
$N(1900)$	P_{13}	**	$\Delta(1950)$	F_{37}	****	$\Lambda(2000)$	*	*	$\Sigma(1750)$	S_{11}	****	$\Xi(1750)$	S_{11}	****
$N(1990)$	F_{17}	**	$\Delta(2000)$	F_{35}	**	$\Lambda(2020)$	F_{07}	*	$\Sigma(1770)$	P_{11}	****	$\Xi(1770)$	P_{11}	****
$N(2000)$	F_{15}	**	$\Delta(2150)$	S_{31}	*	$\Lambda(2100)$	G_{07}	****	$\Sigma(1775)$	D_{13}	****	$\Xi(1775)$	D_{13}	****
$N(2080)$	D_{13}	**	$\Delta(2200)$	G_{37}	*	$\Lambda(2110)$	F_{05}	***	$\Sigma(1840)$	P_{13}	****	$\Xi(1840)$	P_{13}	****
$N(2090)$	S_{11}	*	$\Delta(2300)$	H_{39}	**	$\Lambda(2325)$	D_{03}	*	$\Sigma(1880)$	P_{11}	**	$\Xi(1880)$	P_{11}	**
$N(2100)$	P_{11}	*	$\Delta(2350)$	D_{35}	*	$\Lambda(2350)$	H_{09}	***	$\Sigma(1915)$	F_{15}	****	$\Xi(1915)$	F_{15}	****
$N(2190)$	G_{17}	****	$\Delta(2390)$	F_{37}	*	$\Lambda(2585)$	*	**	$\Sigma(1940)$	D_{13}	***	$\Xi(1940)$	D_{13}	***
$N(2200)$	D_{15}	**	$\Delta(2400)$	G_{39}	**				$\Sigma(2000)$	S_{11}	*	$\Xi(2000)$	S_{11}	*
$N(2220)$	H_{19}	****	$\Delta(2420)$	$H_{3;11}$	****				$\Sigma(2030)$	F_{17}	****	$\Xi(2030)$	F_{17}	****
$N(2250)$	G_{19}	****	$\Delta(2750)$	$I_{3;13}$	**				$\Sigma(2070)$	F_{15}	*	$\Xi(2070)$	F_{15}	*
$N(2600)$	$I_{1;11}$	***	$\Delta(2950)$	$K_{3;15}$	**				$\Sigma(2080)$	P_{13}	**	$\Xi(2080)$	P_{13}	**
$N(2700)$	$K_{1;13}$	**							$\Sigma(2100)$	G_{17}	*	$\Xi(2100)$	G_{17}	*
									$\Sigma(2250)$		***	$\Xi(2250)$		***
									$\Sigma(2455)$		**	$\Xi(2455)$		**
									$\Sigma(2620)$		**	$\Xi(2620)$		**
									$\Sigma(3000)$		*	$\Xi(3000)$		*
									$\Sigma(3170)$		*	$\Xi(3170)$		*



量子色力学(QCD)

クォーク間の強い相互作用はQCDで記述される。

場の量子論：一般に解けない（解を書き下せない）

-> 結合定数による摂動展開をする。

電磁相互作用、弱い相互作用：OK!

強い相互作用（QCD）では・・・

高エネルギー領域：摂動的QCD OK!

~~低エネルギー領域：ハドロン物理~~

~~1. 非摂動的効果~~

~~2. カラーストレンジネスの閉じ込め~~

QCDでそのままハドロン物理はできない！！

ハドロン物理の目的



カイラル対称性とその破れ

量子色力学(QCD)

QCDのラグランジアン密度：

$$\mathcal{L}_{QCD} = -\frac{1}{2} G_{\mu\nu} G^{\mu\nu} + \bar{q}(i\gamma^\mu D_\mu - m)q$$

クォーク場

$$G_{\mu\nu} = \partial_\mu A_\nu - \partial_\nu A_\mu + ig[A_\mu, A_\nu],$$

$$A_\mu = \sum_a T^a A_\mu^a \quad D_\mu = \partial_\mu + igA_\mu,$$

グルーオン (ゲージ) 場

ゲージ結合定数

カラーSU(3)非可換ゲージ理論

カイラル対称性

クォーク場を右手系と左手系に分ける。

$$q_L = P_L q, \quad P_L = \frac{1}{2}(1 - \gamma_5)$$

$$q_R = P_R q, \quad P_R = \frac{1}{2}(1 + \gamma_5)$$

右手系と左手系各々で回転。

$$q_R \rightarrow R q_R, \quad R = e^{i\theta_R^a t^a} \in SU(N_f)_R$$

$$q_L \rightarrow L q_L, \quad L = e^{i\theta_L^a t^a} \in SU(N_f)_L$$

この回転を両方あわせた

$$g = (R, L) \in SU(N_f)_R \times SU(N_f)_L$$

をカイラル変換という。

クォークの運動項と質量項

運動項：右手系と左手系が**分離**する。

$$\mathcal{L}_{kinetic} = \bar{q}(i\gamma^\mu D_\mu)q$$
$$\rightarrow \bar{q}_L(i\gamma^\mu D_\mu)q_L + \bar{q}_R(i\gamma^\mu D_\mu)q_R$$

カイラル変換のもとで不変

質量項：右手系と左手系が**混ざ**る。

$$\mathcal{L}_{mass} = m\bar{q}q$$
$$\rightarrow m\bar{q}_Lq_R + m\bar{q}_Rq_L$$

カイラル変換のもとで不変でない

自発的な破れとあからさまな破れ

ラグランジアンがクォークの質量項を含む場合

カイラル対称性はあからさまに破れている。現実の世界では、u、dクォークの（カレント）質量が非常に小さいことから、近似的にカイラル対称性が成り立っていると考えられる。

クォーク凝縮の真空期待値が0でない場合
ラグランジアンが対称でも、真空が対称でなければ、カイラル対称性は自発的に破れる。

$$\langle 0 | \bar{q}q | 0 \rangle \neq 0$$

ハドロン物理におけるカイラル対称性

📌 対称性の自発的破れに伴い、南部ゴールドストーン (NG) ボソンとして π 粒子があらわれる。

📌 GT関係式、PCAC、軟パイオン定理・・

A. Hosaka and H. Toki, *Quarks, baryons and chiral symmetry* (World Scientific, Singapore, 2001).

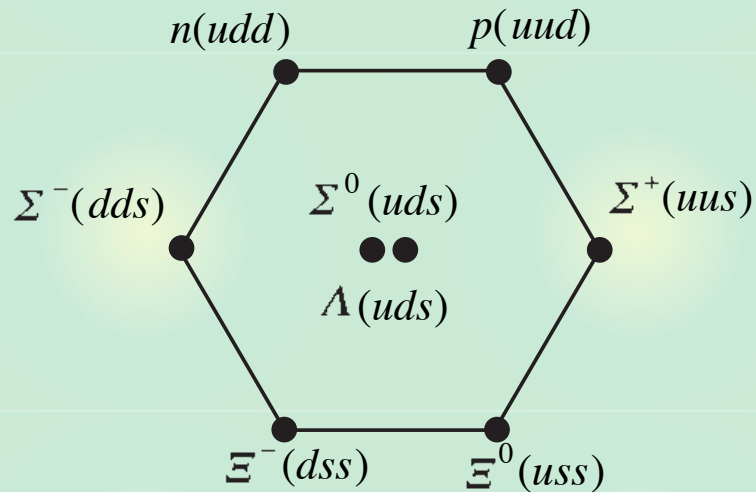
S. Weinberg, *The Quantum theory of fields volume 2: Modern applications* (Cambridge University Press, London, 1996).

B.W. Lee, *Chiral dynamics* (Gordon and Breach science publishers, New York, 1972).

有効模型：構成的クォーク模型 1

QCDの持つ対称性を指針にして模型をつくる。

1. ハドロンはクォークからできている。
2. u、d、sクォーク間にはSU(3)の対称性がある。
3. SU(3)はsクォークが重いことで破れている。



$$\frac{1}{2}(M_{\Xi} - M_N) + \frac{3}{4}(M_{\Sigma} - M_{\Lambda}) = M_{\Sigma} - M_N$$

有効模型：構成的クォーク模型 2

より定量的な計算には

1. 非相対論的な構成的クォーク
2. スピンも含めたSU(6)の対称性
3. 適当な閉じ込めポテンシャル

井戸型、調和振動子、、、

4. 適当な微細構造を出す相互作用

スピン-スピン、スピン-アイソスピン、、、

非相対論的SU(6)クォーク模型

ハドロンの質量スペクトルを体系的によく再現

有効模型：カイラル対称性 1

1. クォークを自由度とした場の理論での取り扱い

南部-Jona-Lasinio(NJL)模型

1. 自由度はクォークのみ
2. 自発的対称性の破れを理論の中でだせる
3. 閉じ込めはない
3. 繰り込み不可能

有効模型：カイラル対称性 2

2. ハドロンを自由度とした場の理論での取り扱い

線形シグマ模型

1. 対称性の破れを結合の強さでコントロールできる
2. 繰り込み可能

非線形シグマ模型（カイラル摂動論）

1. 自発的対称性の破れはラグランジアンで実現
2. NGボソンの運動量で展開
3. 繰り込み不可能

格子QCD：経路積分

コンピュータの力でQCDを計算しよう！

ハドロンの世界では非摂動効果が大きい

-> 摂動しなければいい

経路積分の方法での演算子の期待値

$$\langle \mathcal{O} \rangle = \frac{\int \mathcal{D}\phi \mathcal{O} e^{iS}}{\int \mathcal{D}\phi e^{iS}} \quad S = \int d^4x \mathcal{L}(\phi)$$

積分測度：

$$\mathcal{D}\phi = \prod_i^\infty d\phi(x_i)$$

無限次元の積分

格子QCD：原理

経路積分を実行するために

1. 時空を離散化：格子間隔

本当は0

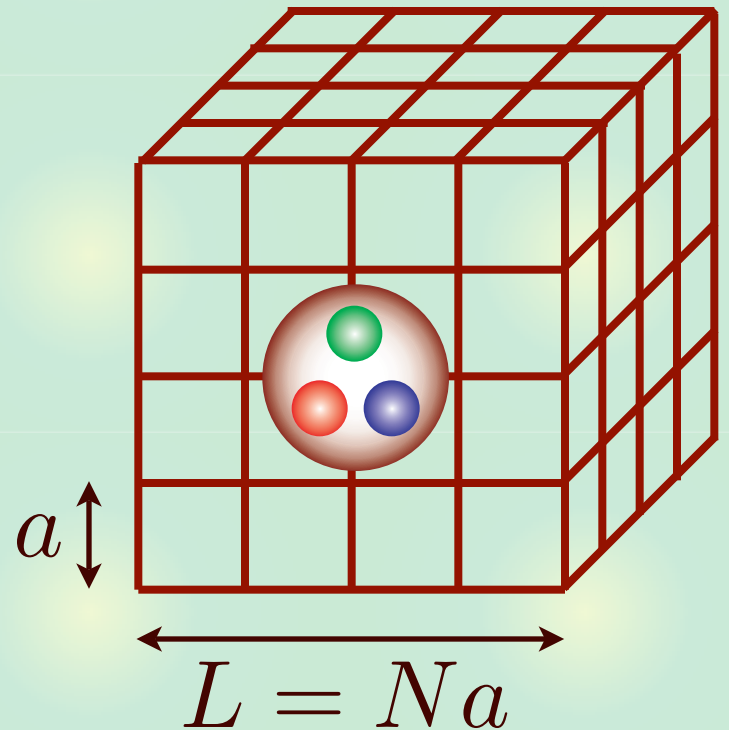
2. 周期境界条件：格子サイズ

本当は ∞

積分 \rightarrow 有限次元 (計算可能)

$$\mathcal{D}\phi = \prod_i^N d\phi(x_i)$$

できるだけ小さい a 、大きい L で計算



格子QCD：実際

研究の現状

- 📌 閉じ込め、カイラル相転移
- 📌 ハドロン質量（基底状態～第一励起状態？）

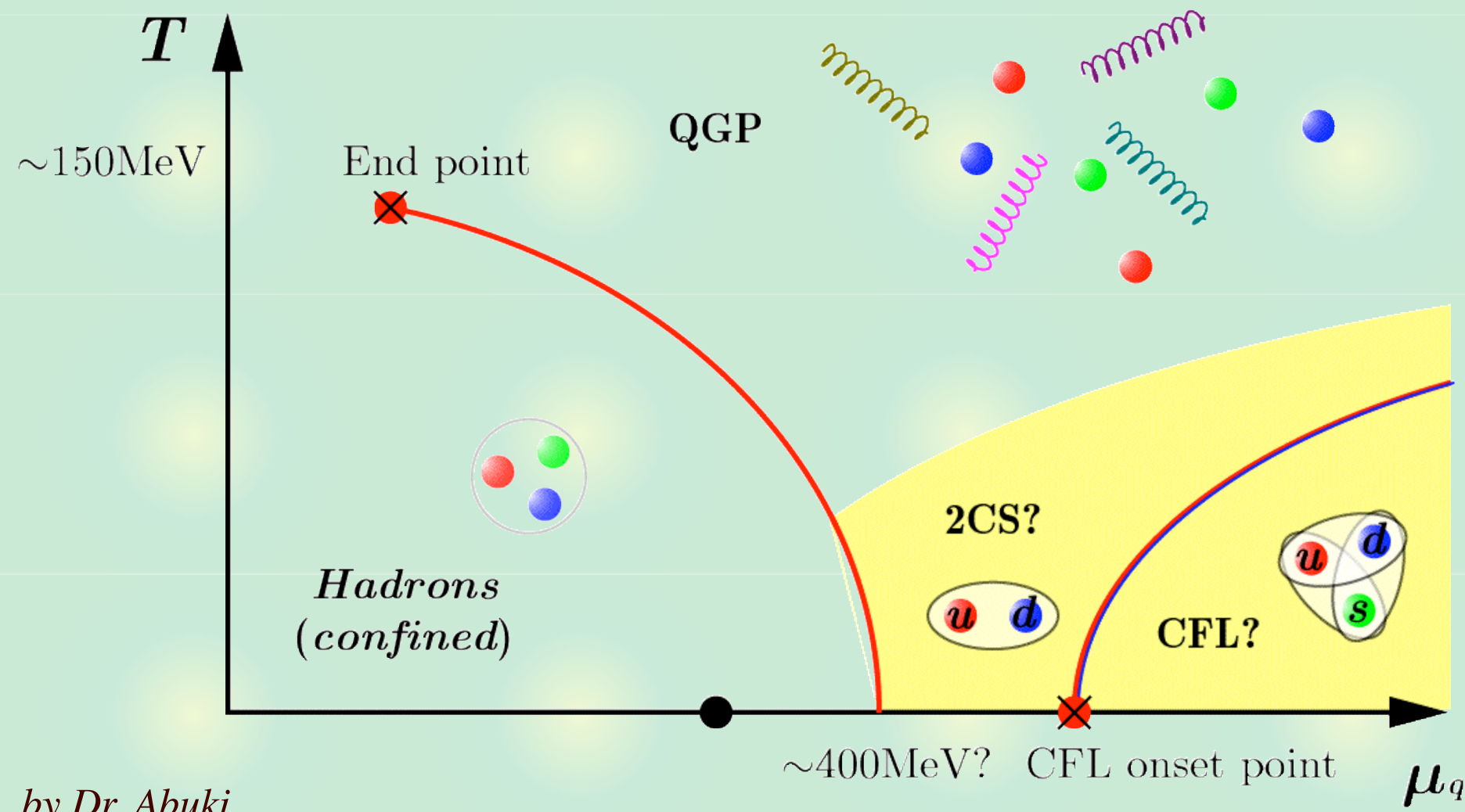
問題点

格子間隔、格子サイズが十分でない
クエンチ近似（クォークの対生成がない）
カイラル外挿（クォーク質量を小さくできない）

計算機の力が解決




時空を離散化したことに起因する対称性の破れ？

有限温度／密度系



by Dr. Abuki

まとめ

-  ハドロン物理の目的は、多様なハドロン現象を、根底にあるQCDから理解することである。
-  カイラル対称性とその破れが重要な役割を果たす。
-  新粒子、状態の発見などに刺激され盛んに研究が行われている。

Toward the determination of quantum numbers of Θ^+



Tetsuo Hyodo

RCNP, Osaka

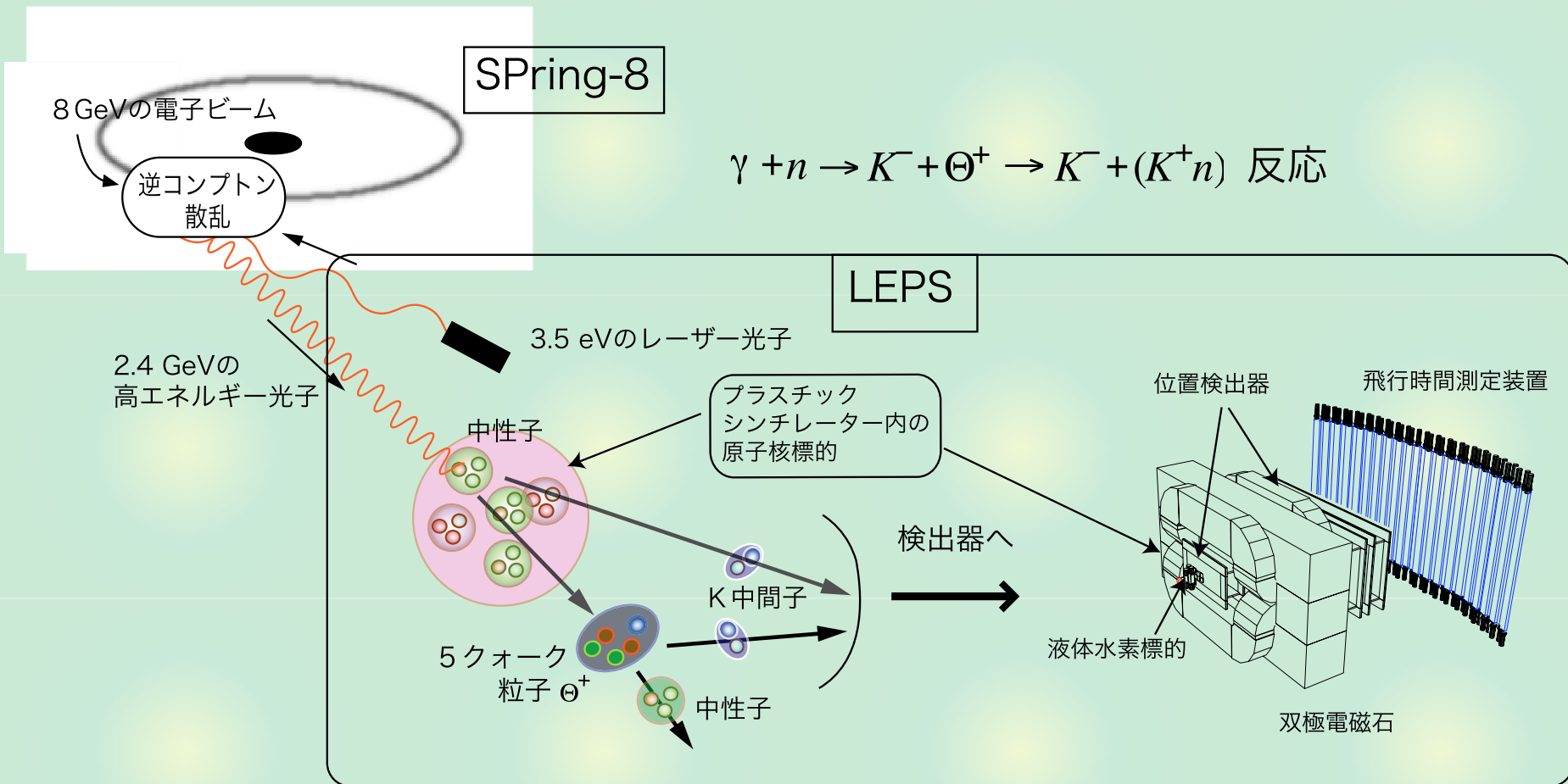
2004, February 13rd

Contents

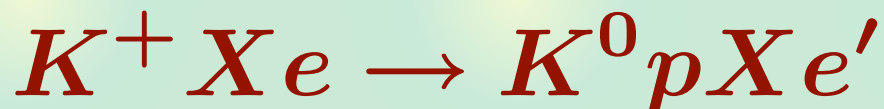
- ★ **Present status of studies**
 - ★ Experiments (what do we know?)
 - ★ Model calculations
 - ★ Analysis based on QCD
- ★ **Production 1 : $K^+ p \rightarrow \pi^+ K^+ n$**
 - ★ Motivation
 - ★ Chiral model for the reaction
 - ★ Spin and parity
 - ★ Numerical results
- ★ **Production 2 : $\vec{p}\vec{p} \rightarrow \Sigma^+ \Theta^+$**
 - ★ Model independent analysis
 - ★ Numerical results

Experiment at SPring-8

LEPS, T. Nakano, et al., Phys. Rev. Lett. 91, 012002 (2003)



Other experiments



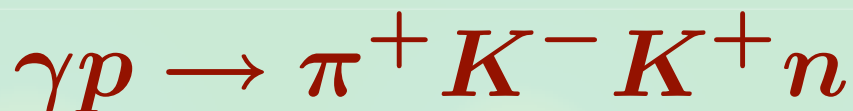
DIANA, V.V. Barmin, *et al.*, Phys. Atom. Nucl. 66, 1715-1718 (2003)



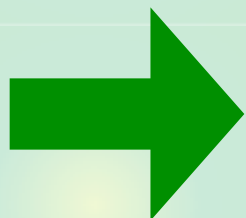
CLAS, S. Stepanyan, *et al.*, Phys. Rev. Lett. 91, 252001 (2003)



SAPHIR, J. Barth, *et al.*, Phys. Lett. B 572, 127-132 (2003)

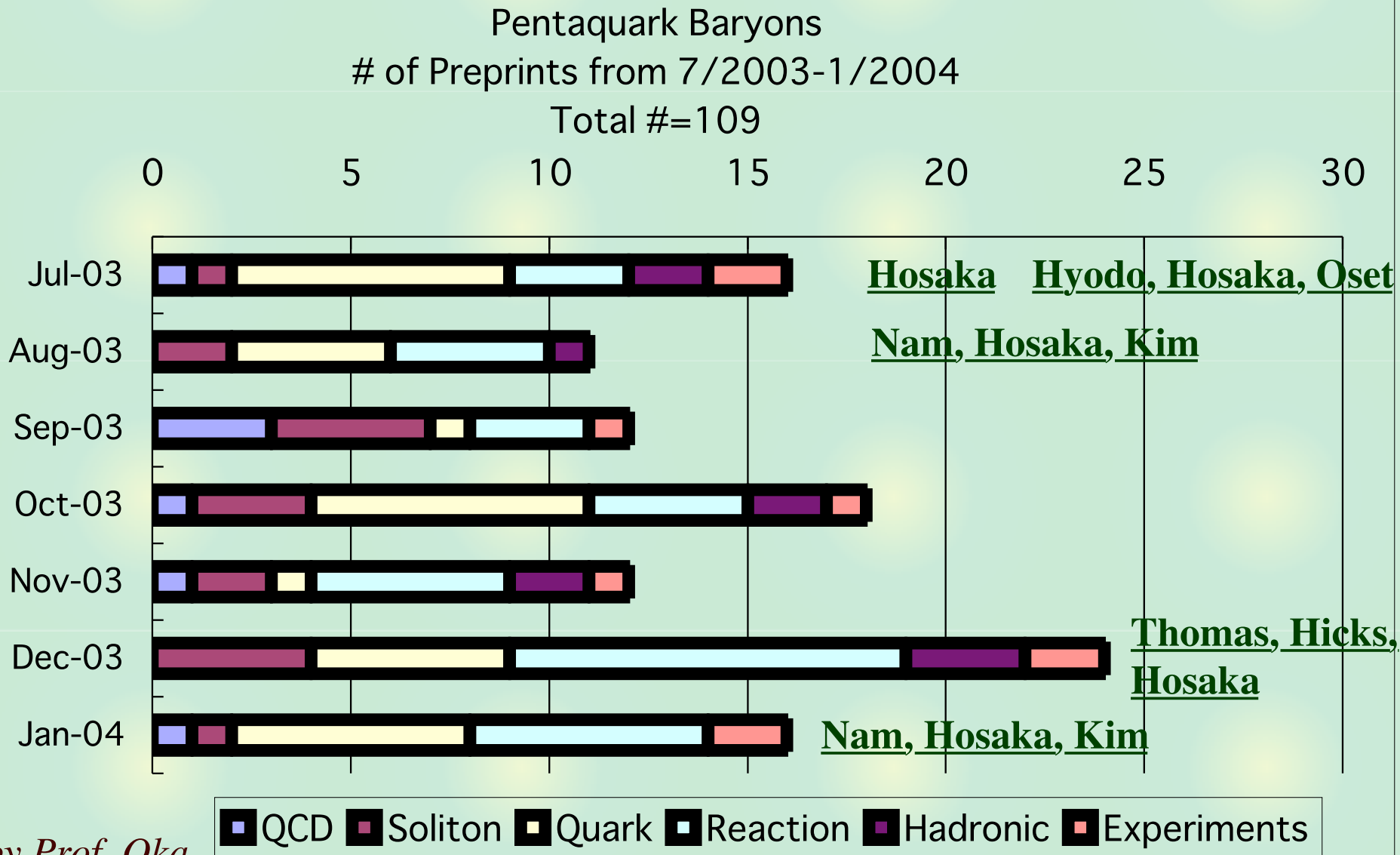


CLAS, V. Kubarovsky, *et al.*, Phys. Rev. Lett. 92, 032001 (2004)



mass ~ 1540 MeV
width < 9 MeV
S = +1 (Y = 2)
Q = +1 (I₃ = 0)

Theory papers



by Prof. Oka

Prejudice?

★ **Pentaquark state?**

★ **It could be 7-, 9-, ... quark state.**

★ P. Bicudo, *et al.*, Phys. Rev. D 69, 011503 (2004)

★ F. J. Llanes-Estrada, *et al.*, nucl-th/0311020

★ T. Kishimoto, *et al.*, hep-ex/0312003

★ **Anti-decuplet?**

★ **It could be a member of 27, 35, ...**

★ $3 \times 3 \times 3 \times 3 \times \bar{3} \sim \{1, 8, 10, \bar{10}, 27, 35\}$

★ **Positive parity?**

Not yet determined experimentally.

Model calculations : Prediction?

D. Diakonov, *et al.*, Z. Phys. A 359, 305 (1997)

Chiral quark soliton model : $1/2^+$, $I=0$

	T	Y	Mass in MeV	Width in MeV	Possible candidate
Z^+	0	2	1530	15	—
$N_{\overline{10}}$	1/2	1	1710 (input)	~ 40	$N(1710)P_{11}$
$\Sigma_{\overline{10}}$	1	0	1890	~ 70	$\Sigma(1880)P_{11}$
$\Xi_{3/2}$	3/2	-1	2070	> 140	$\Xi(2030)?$

PDG estimate : $\Gamma_N \sim 100 (50 - 250) \text{ MeV}$

$\Gamma_\Sigma \sim 80 - 260$

$\Xi_{3/2}$ resonance : $M_\Xi = 1862 \text{ MeV}, \Gamma_\Xi < 18 \text{ MeV}$

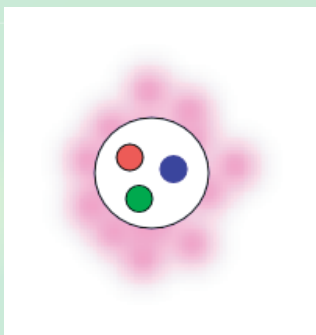
NA49, C. Alt, *et al.*, Phys. Rev. Lett. 92, 042003 (2004)

Miss!! : $\Gamma_\Theta \sim 30 \text{ MeV}$

R.L. Jaffe, hep-ph/0401187

Model calculations

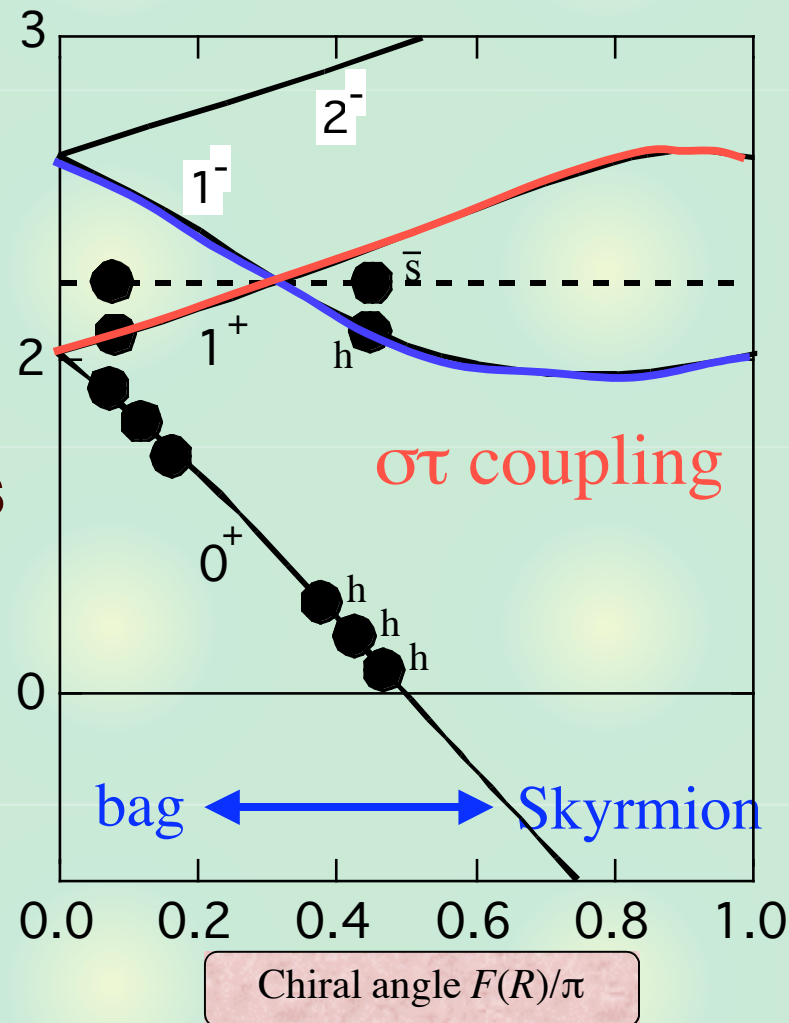
★ Chiral potential



Single particle levels of quarks cross as the strength of pion cloud changes.

Strong π : $1/2^+$

Weak π : $1/2^-$

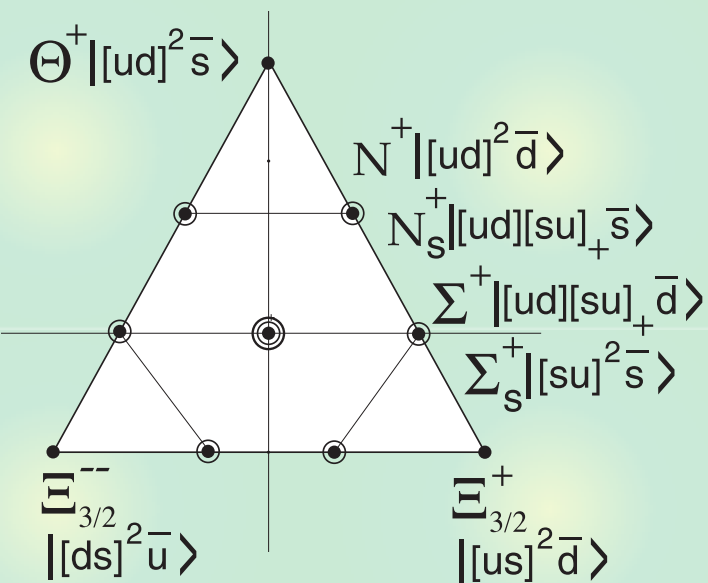
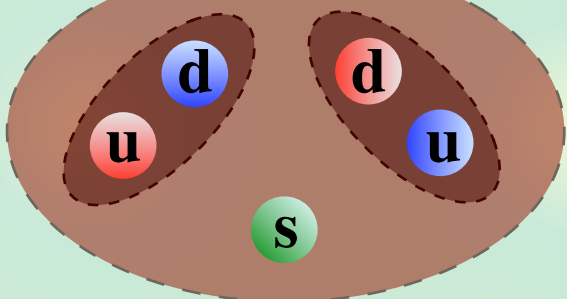


A. Hosaka, Phys. Lett. B 571, 55-60 (2003)

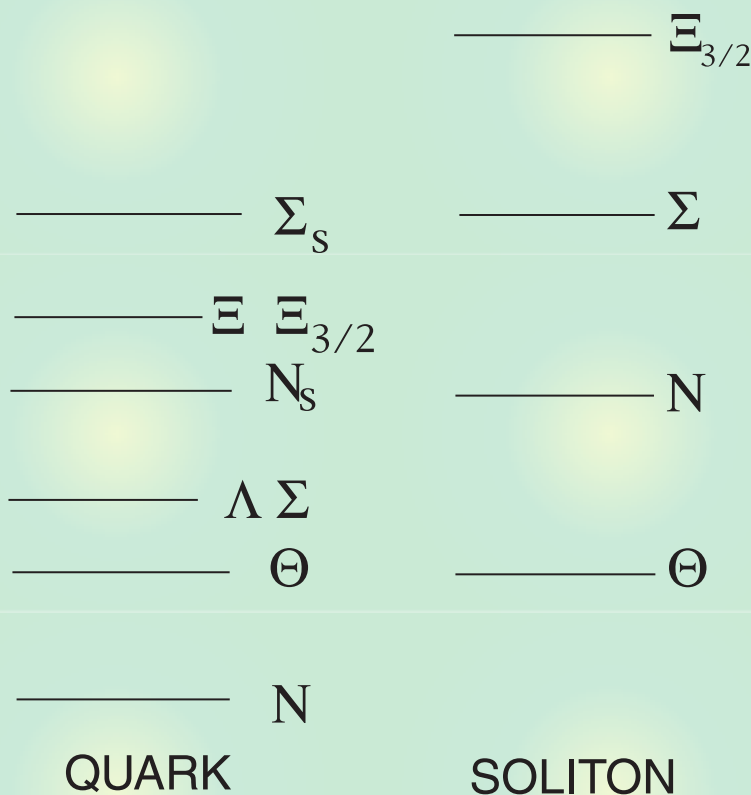
Model calculations

★ Diquark picture / mixing with octet

$L=1 \rightarrow 1/2^+$



MASS ARBITRARY UNITS



R.L. Jaffe, et al., Phys. Rev. Lett. 91, 232003 (2003)

Analysis based on QCD

★ QCD sum rule

★ no parity projection

★ S.L. Zhu, Phys. Rev. Lett. 91, 232002 (2003)

★ R.D. Matheus, *et al.*, Phys. Lett. B 578, 323-329 (2004)

★ parity projection $\rightarrow 1/2^-$

★ J. Sugiyama, *et al.*, Phys. Lett. B 581, 167-174 (2004)

★ Lattice QCD

★ parity projection $\rightarrow 1/2^-$

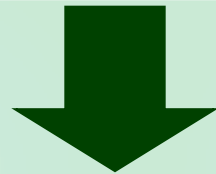
★ F. Csikor, *et al.*, JHEP 0311, 070 (2003)

★ S. Sasaki, hep-lat/0310014

★ F.X. Lee, K.F. Liu, *et al.*, (Kentucky group)

Motivation : Spin parity determination

**No consensus for spin and parity.
It is important to determine the quantum numbers for further theoretical studies.**



Find a reaction where the qualitatively different results depending on the quantum numbers are observed.

Motivation : Photo-production?

● Easy to handle the experiments

W. Liu, <i>et al.</i> ,	Phys. Rev. C 68, 045203 (2003)
S. I. Nam, <i>et al.</i> ,	Phys. Lett. B 579, 43-51 (2004)
W. Liu, <i>et al.</i> ,	nucl-th/0309023
Y. Oh, <i>et al.</i> ,	Phys. Rev. D 69, 014009 (2004)
Q. Zao, <i>et al.</i> ,	hep-ph/0310350
W. Liu, <i>et al.</i> ,	nucl-th/0310087
K. Nakayama, <i>et al.</i> ,	hep-ph/0310350
Y. Oh, <i>et al.</i> ,	hep-ph/0312229
B. Yu, <i>et al.</i> ,	nucl-th/0312075
Q. Zao, <i>et al.</i> ,	hep-ph/0312348

● Model (mechanism) dependence

Initial cm energy ~ 2 GeV ($p_{\text{cm}} \sim 750$ MeV)

not low energy \rightarrow linear or nonlinear?

N^* resonances, K^* exchange, κ exchange, ...

● Form factor dependence

Monopole, dipole, ... , value of Λ , ...

● Unknown parameters

$\gamma_{\Theta\Theta}$ coupling, $K^*p\Theta$ coupling, ...

Motivation : Advantage of hadronic process

We propose



- Low energy model is sufficient ($p_{\text{cm}} \sim 350 \text{ MeV}$)
- Decay is considered \rightarrow background estimation
 \rightarrow Width independent
- Hadronic process : clear mechanism

to extract a qualitative behavior which depends on the quantum numbers of Θ^+ .

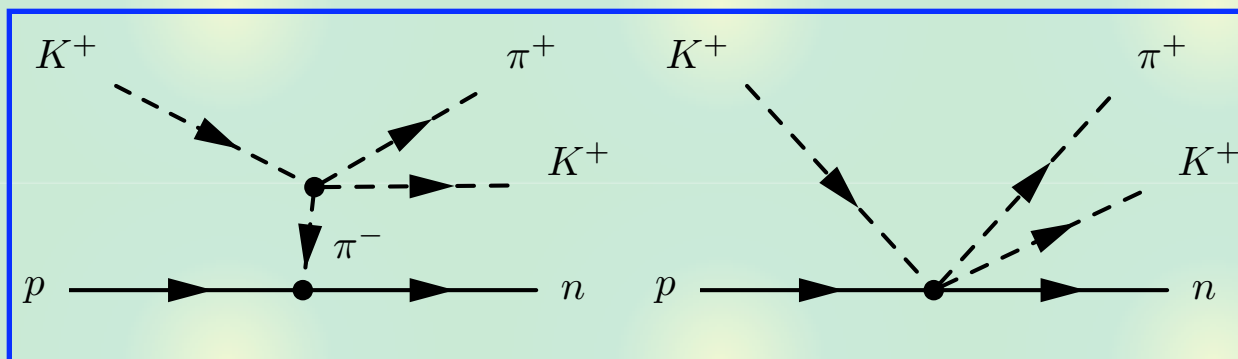


Determination of quantum numbers

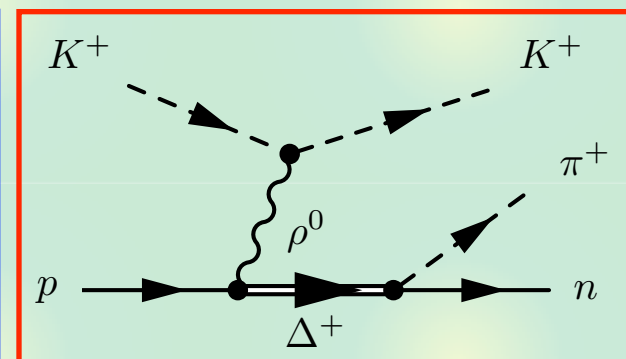
Chiral model for the reaction: Background

E. Oset and M. J. Vicente Vacas, PLB386, 39 (1996)

Vertices \leftarrow chiral Lagrangian



Dominant

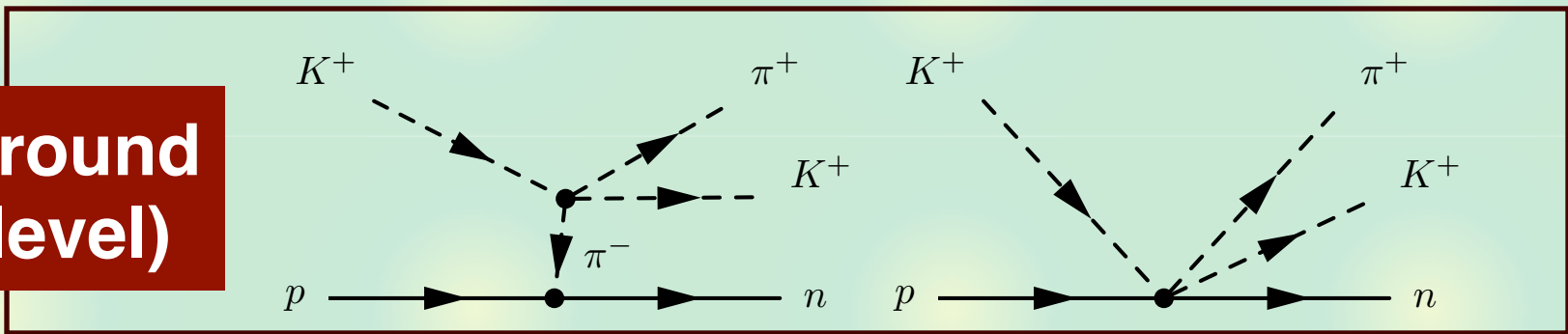


Proportional to $S \cdot p_{\pi^+}$
vanishes

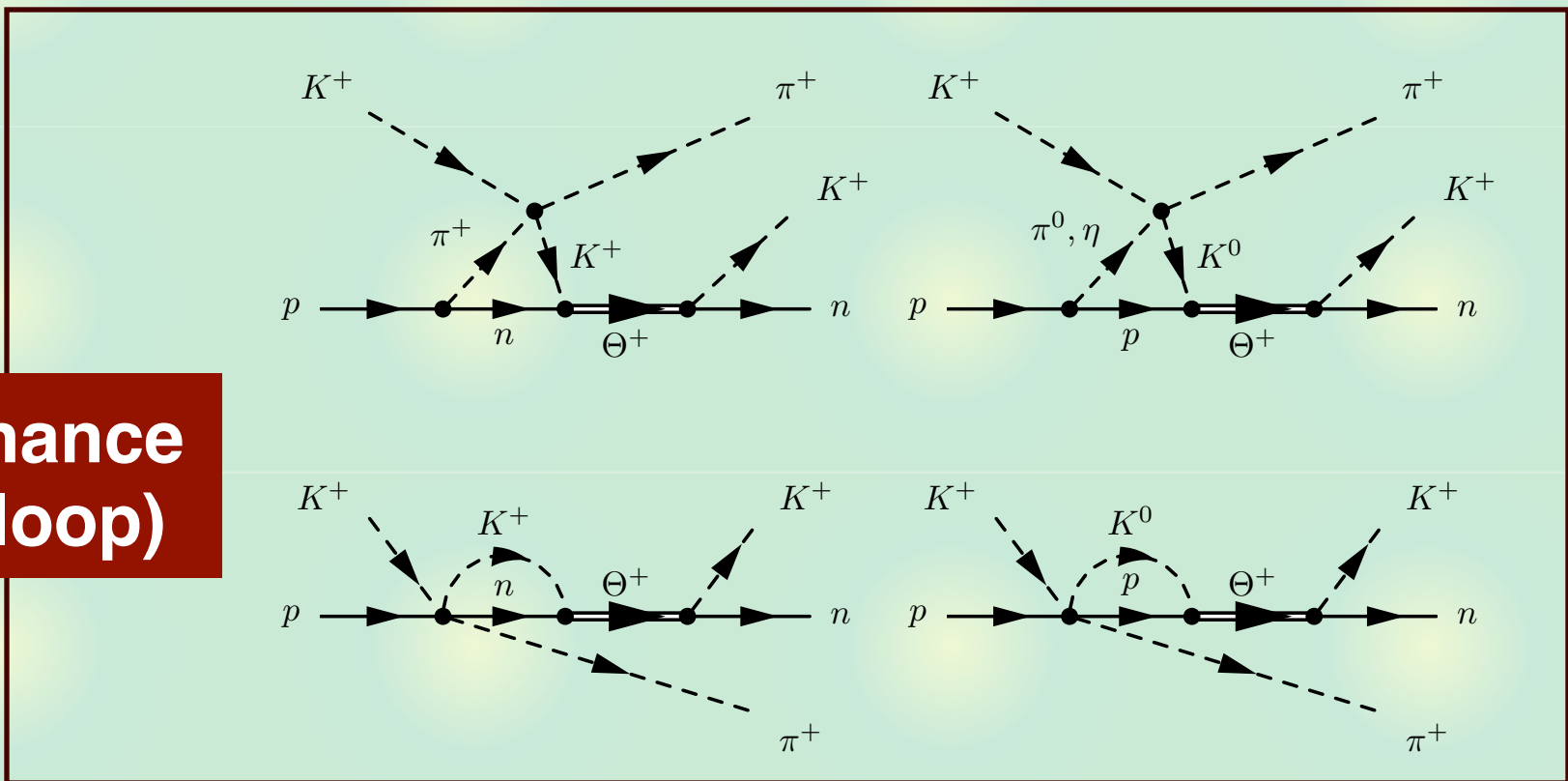
Assume the final π^+ is almost at rest

Chiral model for the reaction: Resonance term

**Background
(tree level)**





**Resonance
(one loop)**



Production 1 : $K^+ p \rightarrow \pi^+ K^+ n$

Spin and parity : $KN \rightarrow \Theta \rightarrow KN$

 $M_R = 1540 \text{ MeV}$
 $\Gamma_R = 20 \text{ MeV}$

$1/2^-$ (KN s-wave resonance)

$1/2^+$, $3/2^+$ (KN p-wave resonance)

$$t_{K^+n(K^0p) \rightarrow K^+n}^{(s)} = \frac{(\pm) g_{K^+n}^2}{M_I - M_R + i\Gamma/2} ,$$

$$t_{K^+n(K^0p) \rightarrow K^+n}^{(p,1/2)} = \frac{(\pm) \bar{g}_{K^+n}^2 (\boldsymbol{\sigma} \cdot \mathbf{q}') (\boldsymbol{\sigma} \cdot \mathbf{q})}{M_I - M_R + i\Gamma/2} ,$$

$$t_{K^+n(K^0p) \rightarrow K^+n}^{(p,3/2)} = \frac{(\pm) \tilde{g}_{K^+n}^2 (\mathbf{S} \cdot \mathbf{q}') (\mathbf{S}^\dagger \cdot \mathbf{q})}{M_I - M_R + i\Gamma/2} ,$$

$$g_{K^+n}^2 = \frac{\pi M_R \Gamma}{Mq} , \quad \bar{g}_{K^+n}^2 = \frac{\pi M_R \Gamma}{Mq^3} , \quad \tilde{g}_{K^+n}^2 = \frac{3\pi M_R \Gamma}{Mq^3} .$$

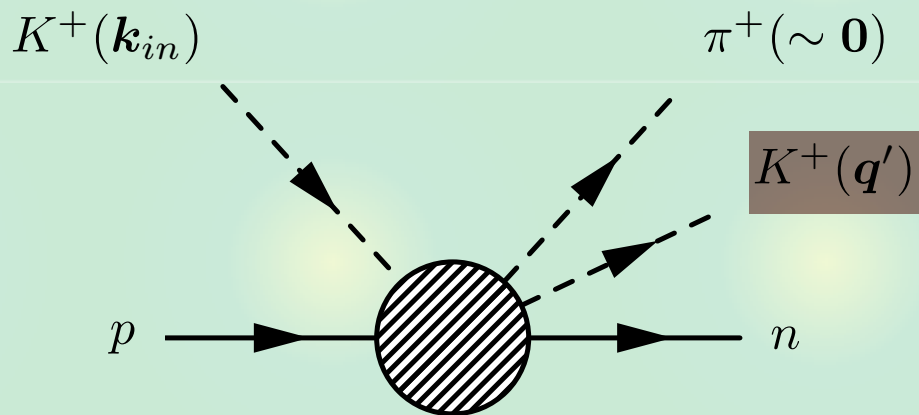
Spin and parity : Resonance amplitude

Resonance term for $K^+ p \rightarrow \pi^+ K^+ n$

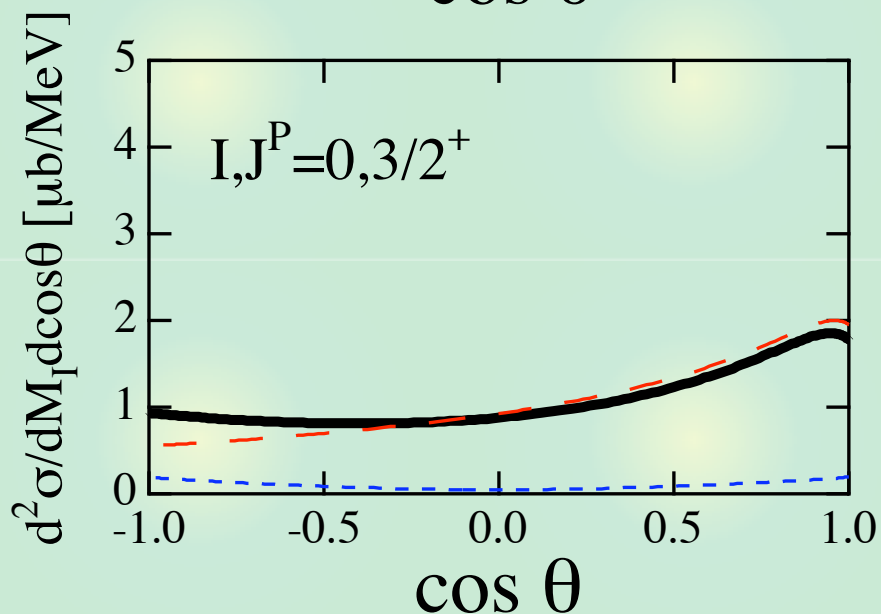
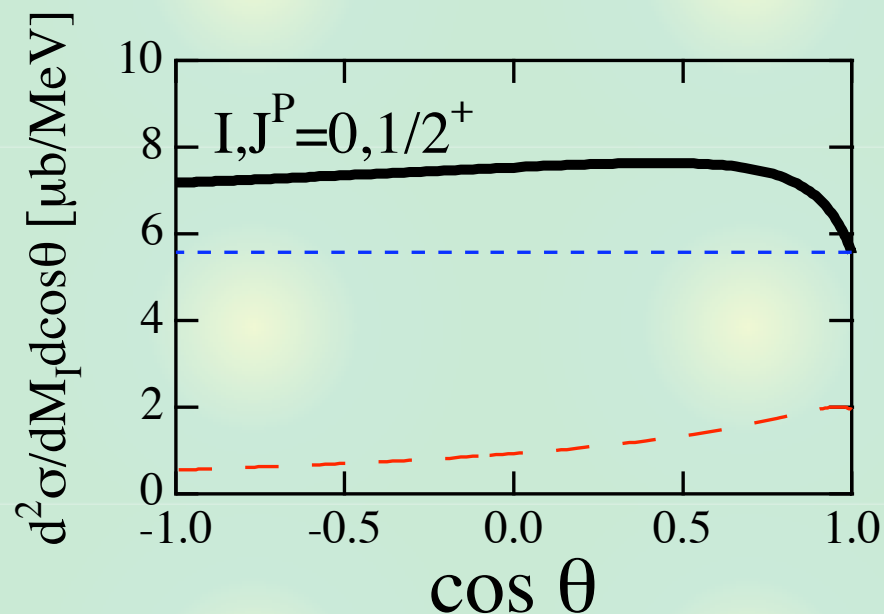
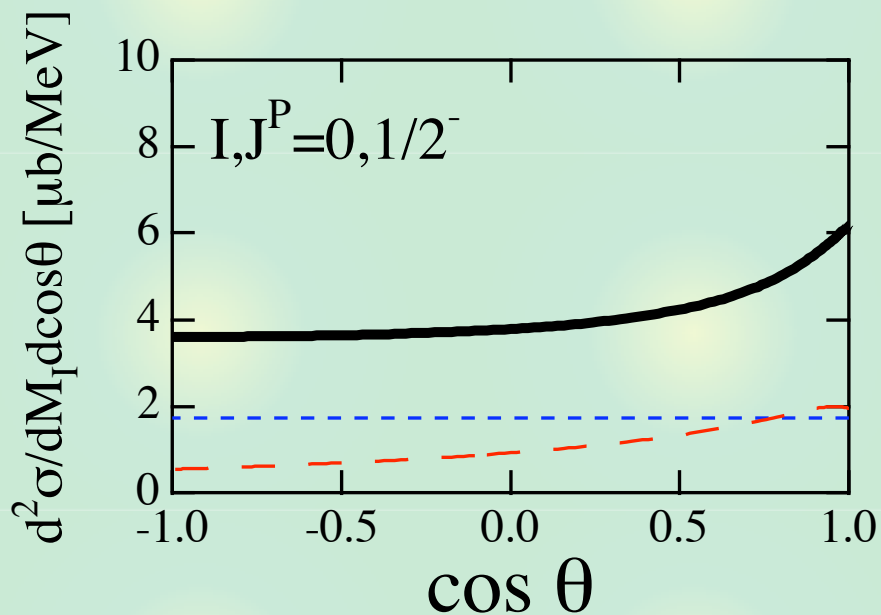
$$-i\tilde{t}_i^{(s)} = \frac{g_{K^+n}^2}{M_I - M_R + i\Gamma/2} \left\{ G(M_I)(a_i + c_i) - \frac{1}{3}\bar{G}(M_I)b_i \right\} \boldsymbol{\sigma} \cdot \mathbf{k}_{in} S_I(i) ,$$

$$-i\tilde{t}_i^{(p,1/2)} = \frac{\bar{g}_{K^+n}^2}{M_I - M_R + i\Gamma/2} \bar{G}(M_I) \left\{ \frac{1}{3}b_i \mathbf{k}_{in}^2 - a_i + d_i \right\} \boldsymbol{\sigma} \cdot \mathbf{q}' S_I(i) ,$$

$$-i\tilde{t}_i^{(p,3/2)} = \frac{\tilde{g}_{K^+n}^2}{M_I - M_R + i\Gamma/2} \bar{G}(M_I) \frac{1}{3}b_i \left\{ (\mathbf{k}_{in} \cdot \mathbf{q}')(\boldsymbol{\sigma} \cdot \mathbf{k}_{in}) - \frac{1}{3}\mathbf{k}_{in}^2 \boldsymbol{\sigma} \cdot \mathbf{q}' \right\} S_I(i) ,$$



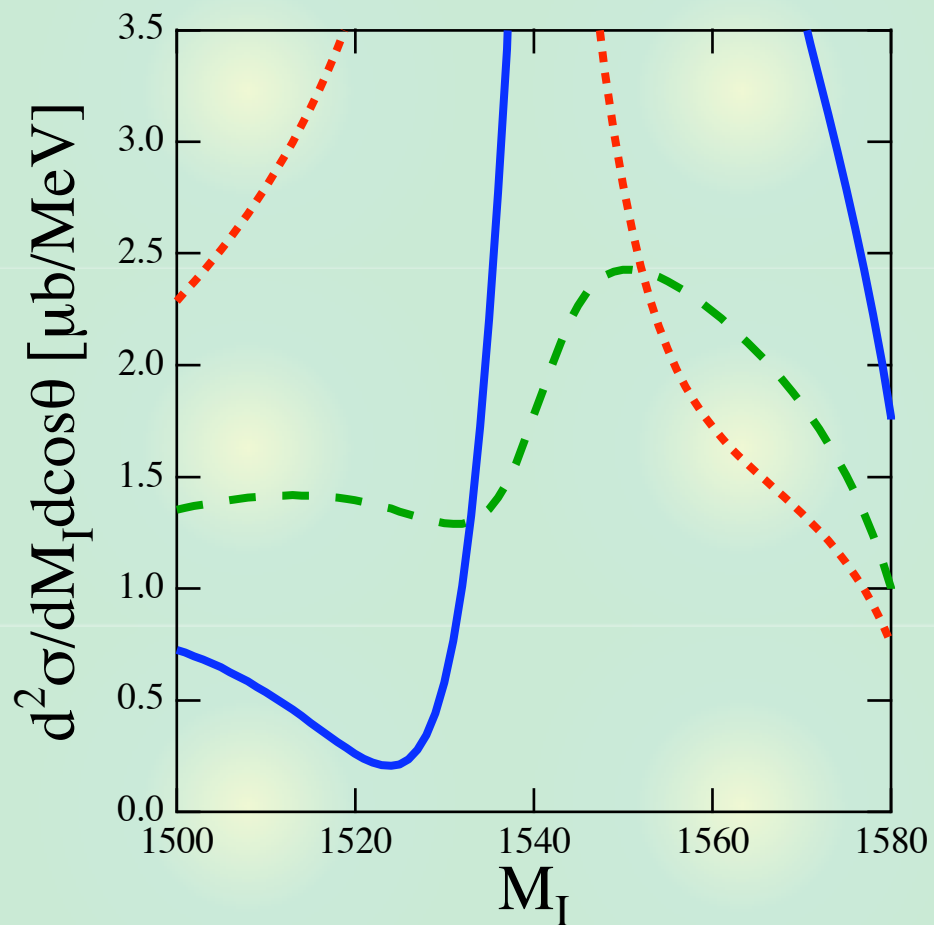
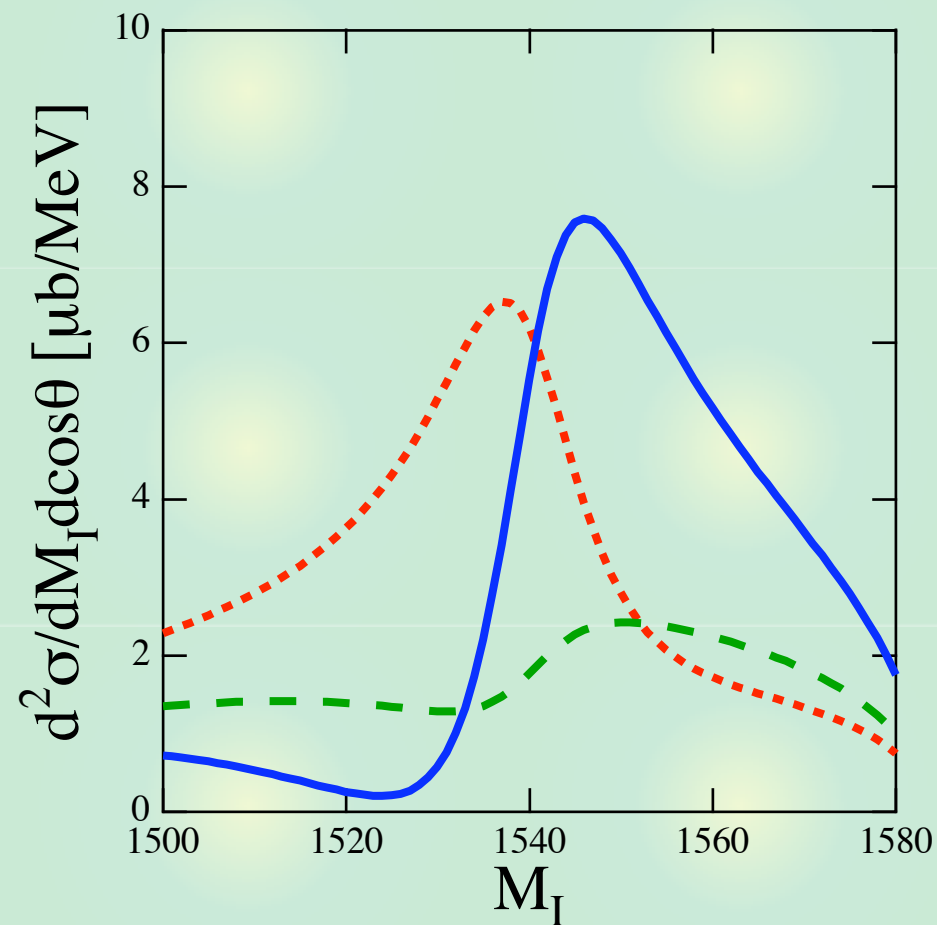
Numerical results : Angular dependence



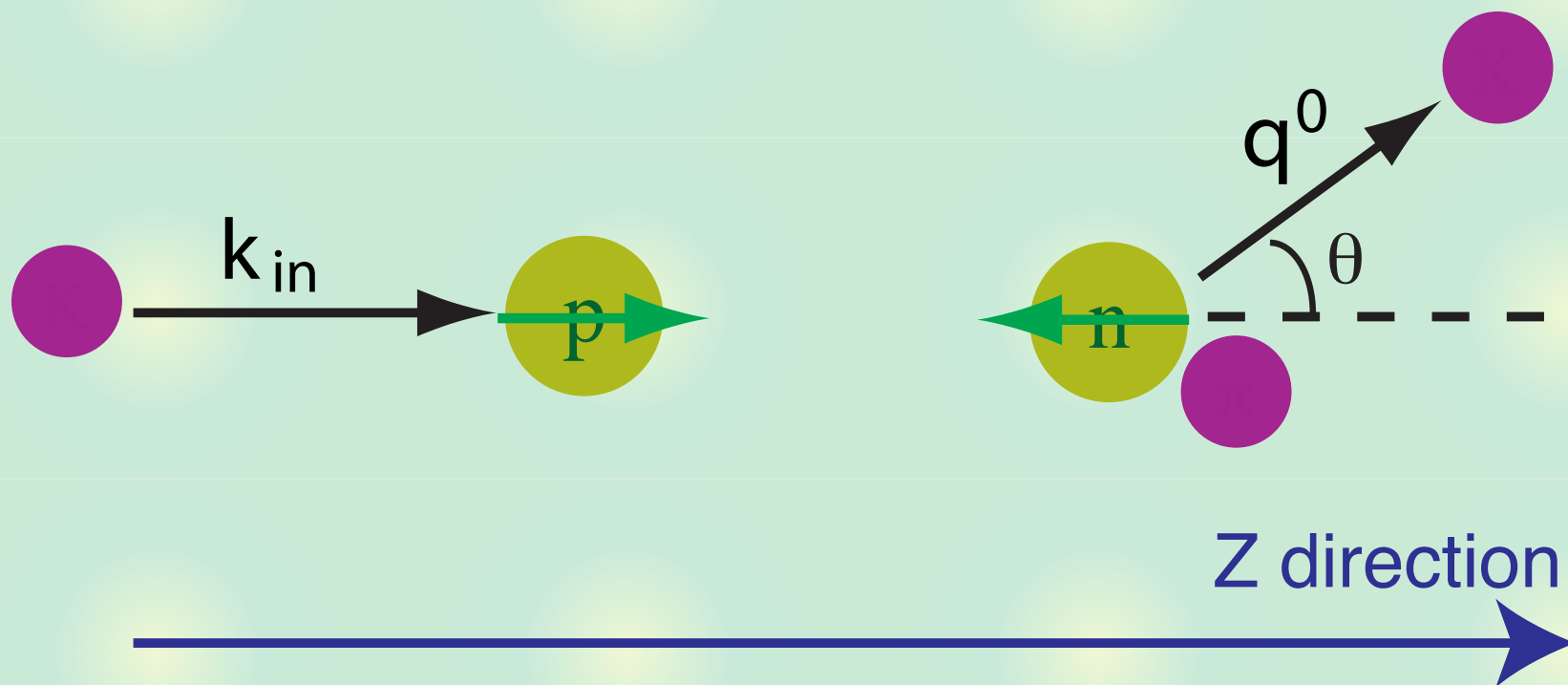
— total
 - - - resonance
 - - - background

Numerical results : Mass distributions

- - - $I, J^P = 0, 1/2^-$
- $I, J^P = 0, 1/2^+$ $k_{\text{in}}(\text{Lab}) = 850 \text{ MeV}/c$
- - - $I, J^P = 0, 3/2^+$ $\theta = 0 \text{ deg}$



Numerical results : Polarization test

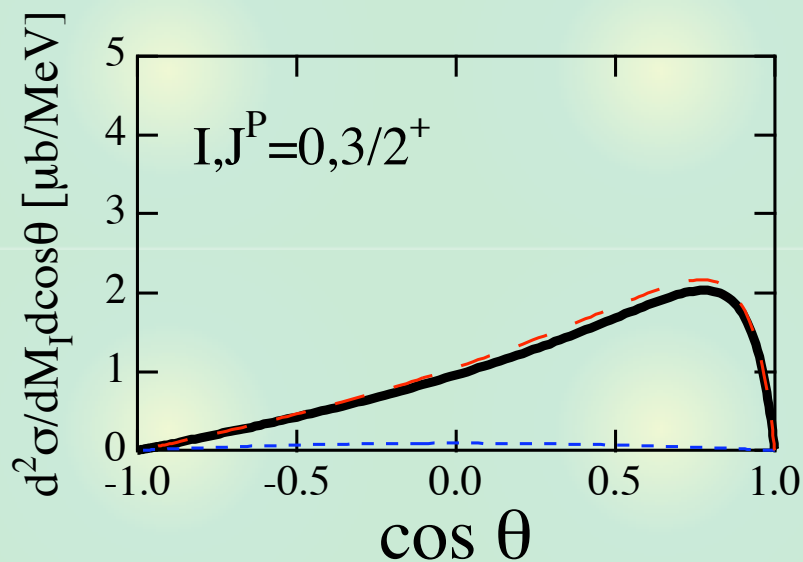
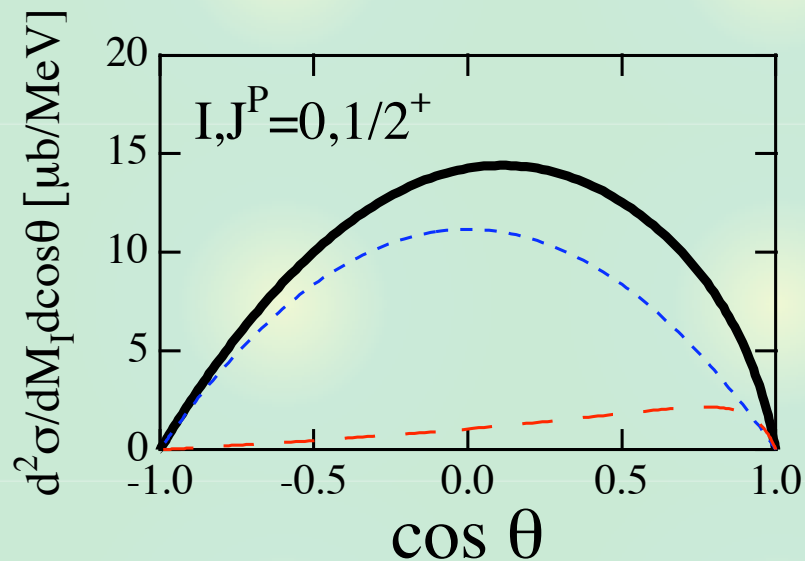
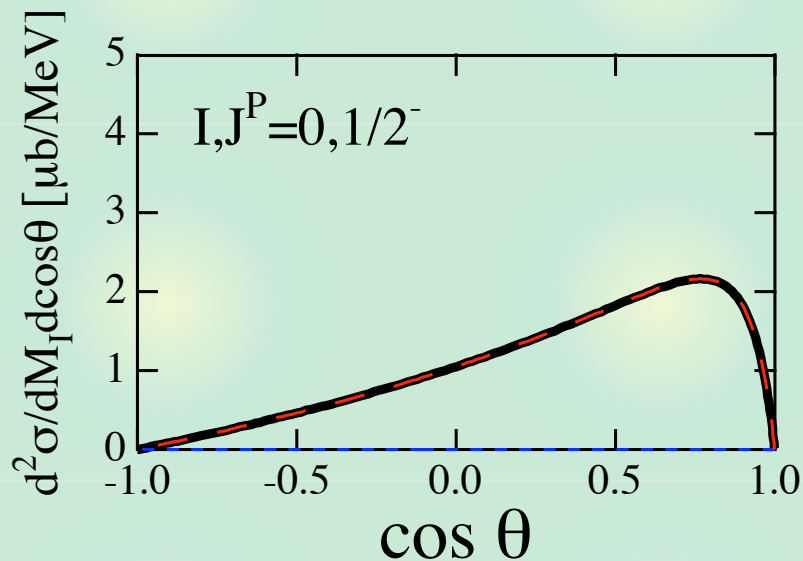


$$\langle -1/2 | \boldsymbol{\sigma} \cdot \mathbf{k}_{in} | 1/2 \rangle = 0$$

$$\langle -1/2 | \boldsymbol{\sigma} \cdot \mathbf{q}' | 1/2 \rangle \propto q' \sin \theta$$

Same result is obtained for final pK^0

Numerical results : Angular dependence 2



— total
 - - - resonance
 - - - background

Polarization test

Numerical results : Mass distributions 2

--- $I, J^P = 0, 1/2^-$

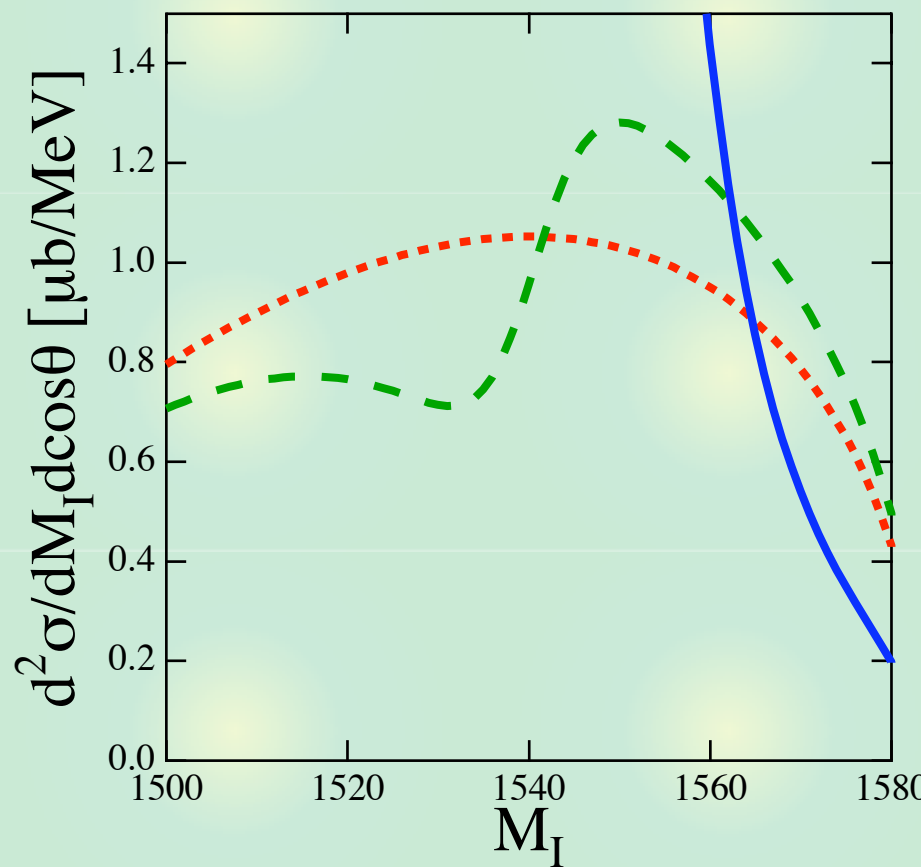
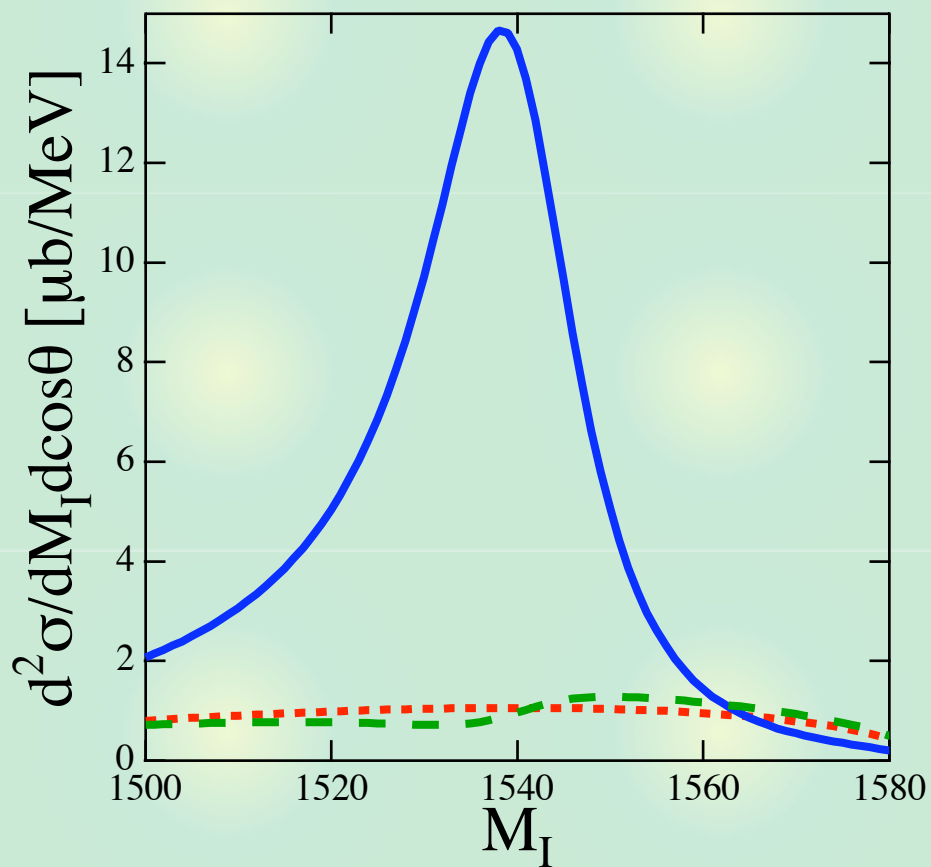
— $I, J^P = 0, 1/2^+$

- - - $I, J^P = 0, 3/2^+$

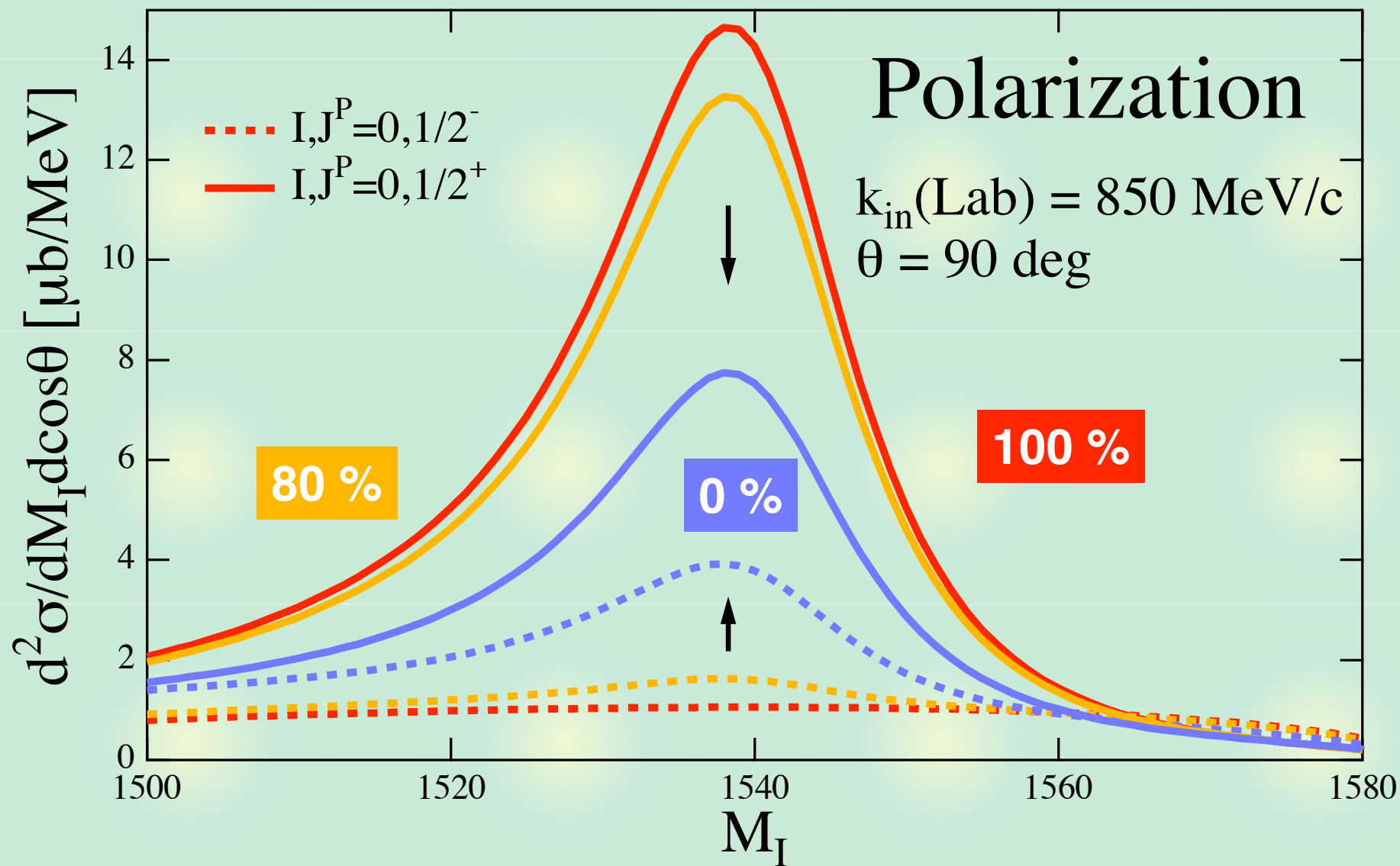
$k_{in}(\text{Lab}) = 850 \text{ MeV}/c$

$\theta = 90 \text{ deg}$

Polarization test



Numerical results : Incomplete polarization



Conclusion

We calculate the $K^+ p \rightarrow \pi^+ K^+ n$ reaction using a chiral model, assuming the possible quantum numbers of Θ^+ baryon.

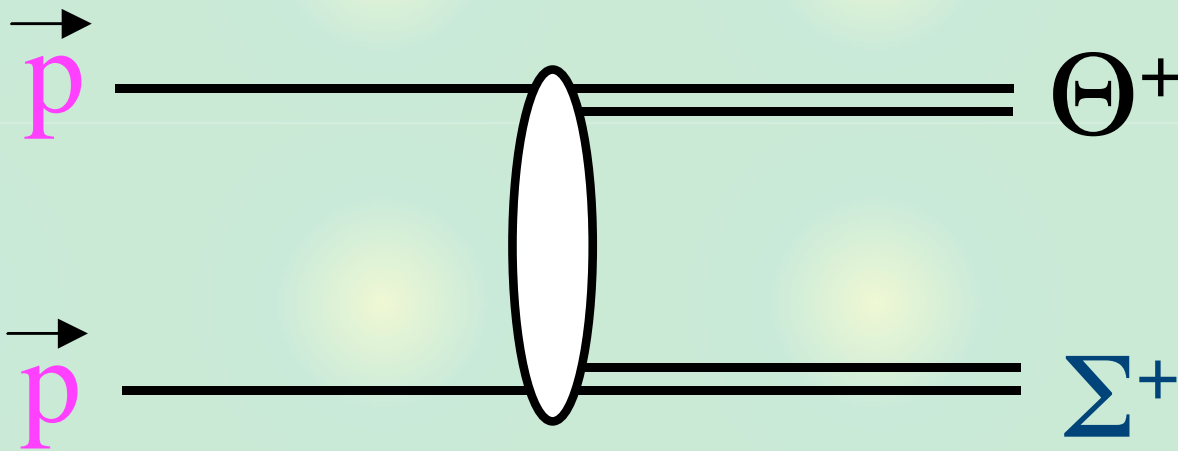


If we find the resonance in the polarization test, the quantum numbers of Θ^+ can be determined as $l=0, J^P=1/2^+$

T. Hyodo, *et al.*, Phys. Lett. B579, 290-298 (2004)

E. Oset, *et al.*, nucl-th/0312014, Hyp03 proceedings

Model independent analysis



At the threshold (final state : s-wave),

S=0 (Spin aligned) $\rightarrow\rightarrow$: $1/2^+$

S=1 (Spin anti-aligned) $\rightarrow\leftarrow$: $1/2^-$

\leftarrow P and J conservations

A.W. Thomas, *et al.*, hep-ph/0312083

Numerical results

Positive parity $1/2^+$

Negative parity $1/2^-$

