惠州强子谱仪：轻强子物理+中微子束流研究奇特态+K束流物理

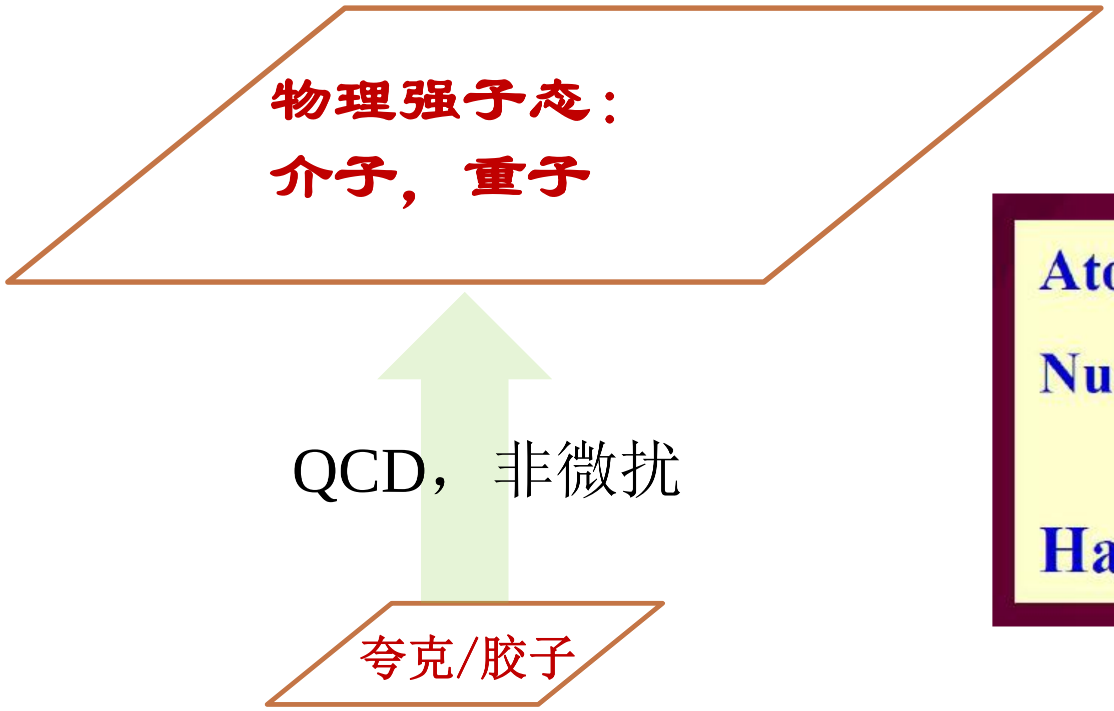
吴佳俊 (中国科学院大学)

目录

- 背景介绍
- p束流
- K介子束流
- 中微子束流
- 小结和展望

背景介绍

强子谱？强子结构---强子内部的成分？



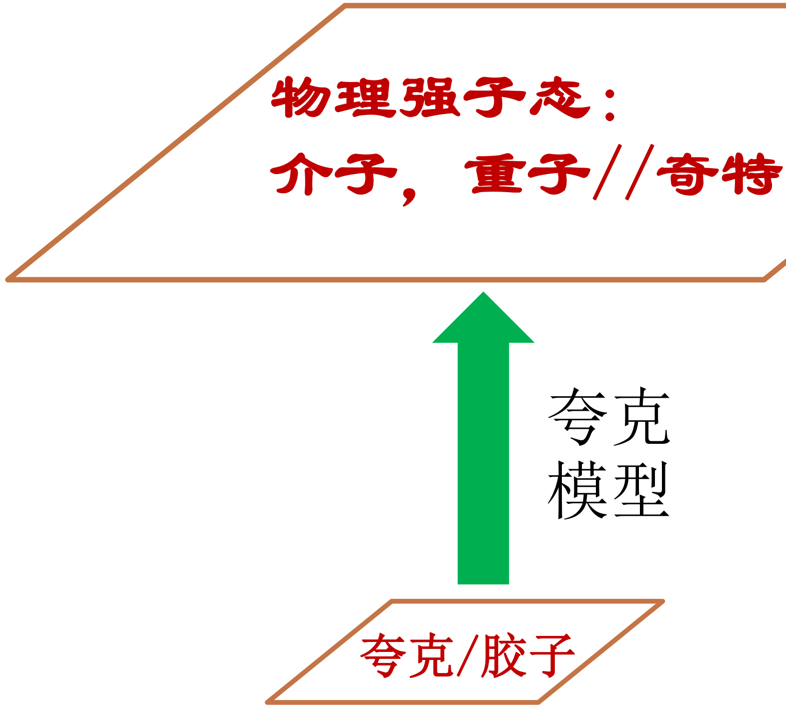
Atomic spectroscopy → Atomic Quantum Theory

Nuclear spectroscopy → Shell Model & Collective motion Model

Hadron spectroscopy → ?

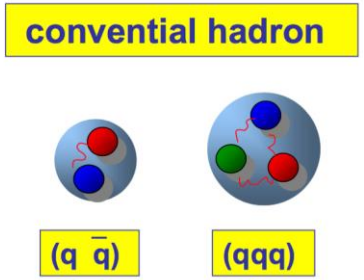
来自邹冰松院士的PPT截图

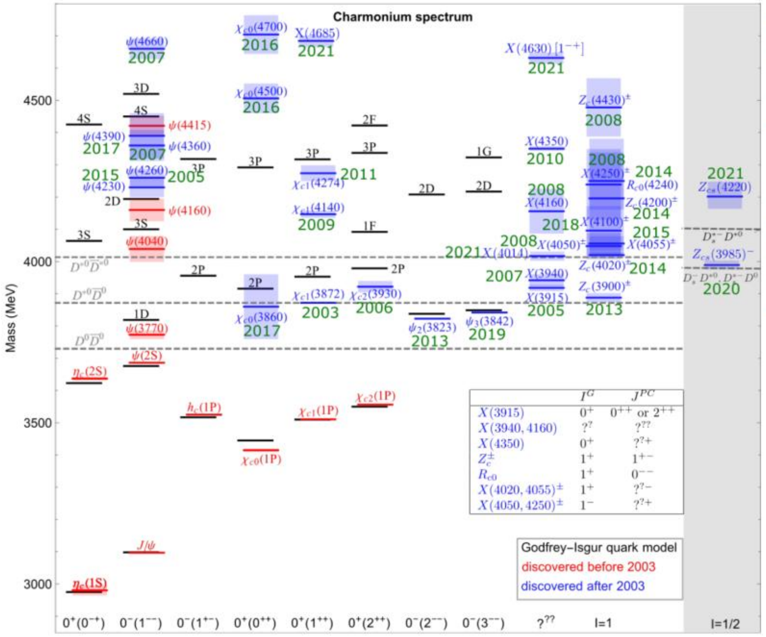
背景介绍



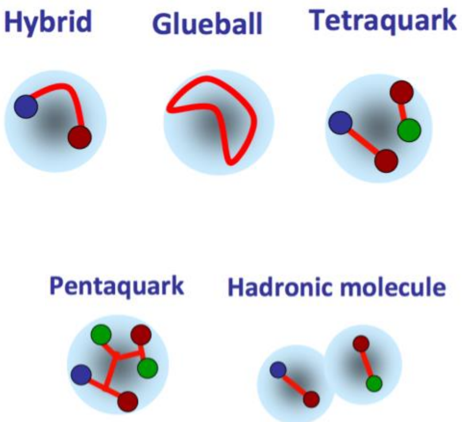
UNQUENCHED quark model
非淬火夸克模型

强子谱？强子结构---强子内部的成分？

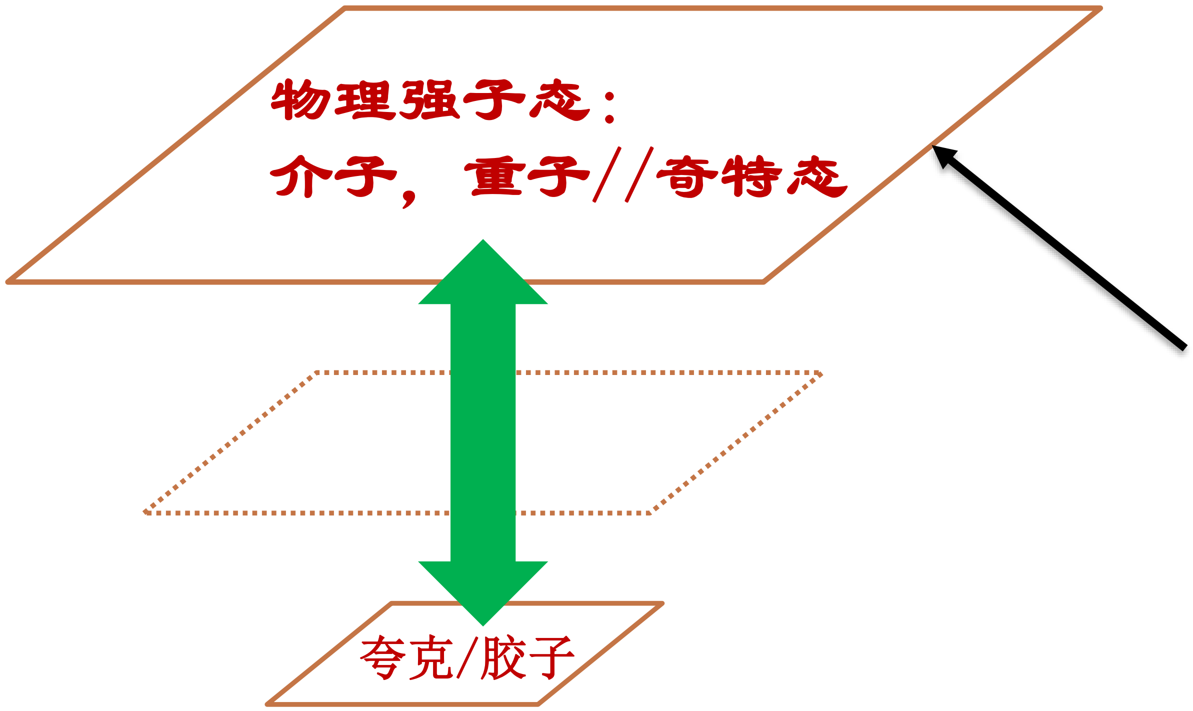




Exotic



背景介绍



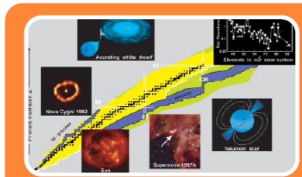
强子谱？强子结构---强子内部的成分？

实验输入！！！
衰变和散射的信息。
需要束流和态的制备！！！

HIAF 可以带来什么？

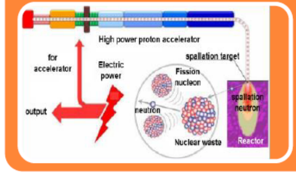
背景介绍

核中心主要研究领域（基于强流加速器）



核科学

- 核物理：*核结构*，*核天体*；核物质，*强子物理*
- 基础物理：超高电场QED、*高能量密度（HEDP）* → *重离子惯性聚变*
- *高亮度前沿*：*μ*、*k*、*反质子*、*中微子*（*π*、*μ*、*β束*）、*EIcC*，*超标准模型*…



能源及相关材料

- *CIADS* → *ADANES燃烧器：燃烧=嬗变+增值(殖)+产能，燃料循环*
- *核燃料研究：裂变嬗变元件、再生乏燃料、贵重同位素，聚变燃料自持*
- *关键核材料：高通量裂变、聚变堆芯材料、包壳材料、冷却材料*

放射生物医疗

- 离子束治癌：定型肿瘤(重离子外辐照)治疗，*β^+束敏感器官外辐照*
- *靶向放药：无定型及轻度扩散肿瘤（α、β带电粒子内辐照）治疗*
- 辐照变异新药研制，辐照诱变育种

核技术应用 → *μ成像*

- 加速器：强流加速器制作（核能、量产同位素）；
- 辐射技术：器件加固、核孔膜制作，辐射消毒、保鲜，等
- 探测技术：高灵敏探测器制作

新的高亮度强子，中微子束流—新炮弹

惠州核中心大科学装置与若干前沿领域进展-2022

詹文龙，中科院/近物所、东江实验室

背景介绍

- **B-Ring上质子束流亮度：1.8×10^{12} pps (fast extraction, FE), 4.5×10^{11} pps (slow extraction, SE)。**
- **9.3GeV质子束流1.8×10^{12} pps (FE)产生不同强子的数目：**

Hadrons	π^+	π^-	K^+	K^-	K_L^0	η	η'	ν_e/ν_μ
L (pps)	2.9×10^9	2.1×10^9	$9.\times10^7$	1.2×10^7	5.0×10^7	4×10^6	1×10^6	1.2×10^9

X100　　　x50

- **对比J-PARC的K介子束流**

- ✓ K_L ： P_K=1.8 GeV/c, L = 10^6 pps
- ✓ K1.8 ： P_K=2.0 GeV/c, L = 10^6 pps / 2×10^{14}ppp (270kW)
- ✓ K1.8BR: P_K=0.8~1.2 GeV/c, expected L <= 5.5×10^6 pps (K/Pi~7.0)
- ✓ K1.1BR ：P_K<=0.8 GeV/c, L unknown

利用中微子研究强子物理

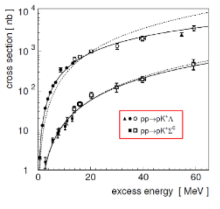
Production of exotic hadrons in pp and nuclear collisions*

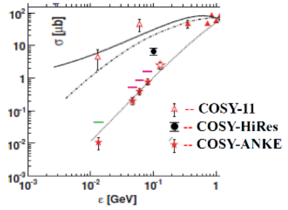
Jinhui Chen[1,2] Feng-Kun Guo[3,4,5,6] Yu-Gang Ma[1,2] Cheng-Ping Shen[1,2]
Qiye Shou[1,2] Qian Wang[7,8,6] Jia-Jun Wu[4] and Bing-Song Zou[9,3,5,6]

Nuclear Science and Techniques

强流质子束流物理

$pp \to pK^+\Lambda, pK^+\Sigma^0,$ $nK^+\Sigma^+$



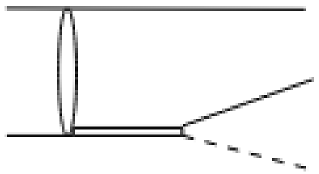


重离子碰撞奇异产生的基本过程，3个量级的不确定性！

COSY探测器局限性典型实例：3个探测器测量结果3个量级

来自邹冰松院士的PPT截图

- **研究重子激发态！** N^*，Δ^* 和 Σ^* J.J.Xie & B.S.Zou, PLB649 (2007) 405

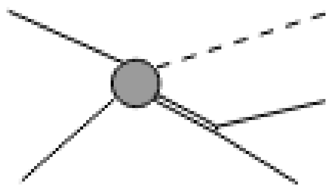


(a)

1. 利用同位旋筛子，$pp \to n\Sigma^+K^+, \Sigma^+K^+$只有$\Delta$共振态。
2. 不同反应道的联合分析，末态任意两个粒子的重散射，$pp \to pp\eta, p\Sigma K, p\Lambda K$，对$p\eta$的结构描述不佳，只考虑$pK$ Q.F. Lyu, D.M. Li, CPC 39(2015) 113104
3. 五夸克重子态，Pc和Ps态的寻找

反应道	阈值束流动能(MeV)
$pp \to pp\pi^0$	280
$pp \to pp\pi^+\pi-$	600
$pp \to pp\eta$	1258
$pp \to pK^+\Lambda$	1580
$pp \to pp\eta\pi^0$	1616
$pp \to pp\omega$	1890
$pp \to pp\eta'$	2405
$pp \to ppK^+K^-$	2494
$pp \to pp\phi$	2592

- **双重子态！** 氘核和d*(2380)



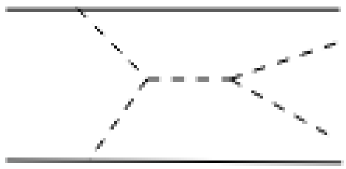
(b)

$pp \to X\pi\pi$，X可以是具有两个重子数的强子态。

$pp \to D_{30}\pi^-\pi^- \to p\pi^+p\pi^+\pi^-\pi^-$，测量$I = I_z = 3$的d*(2380)

$pd \to d_\Lambda K$，超核的研究 J.M.Richard, Q. Wang and Q.Zhao, PRC 91(2015)014003

- **介子激发态！**



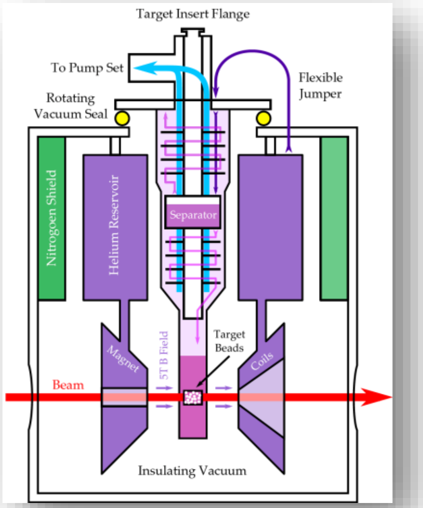
(c)

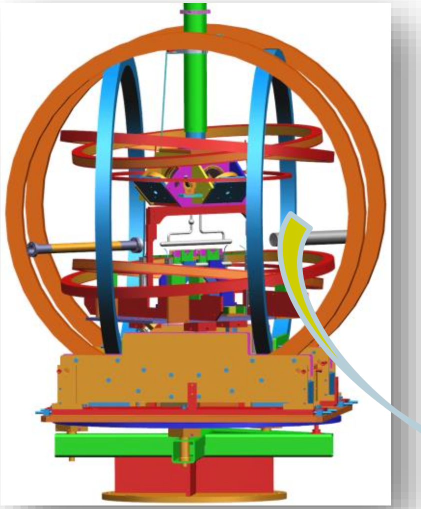
需要高能质子对撞反应

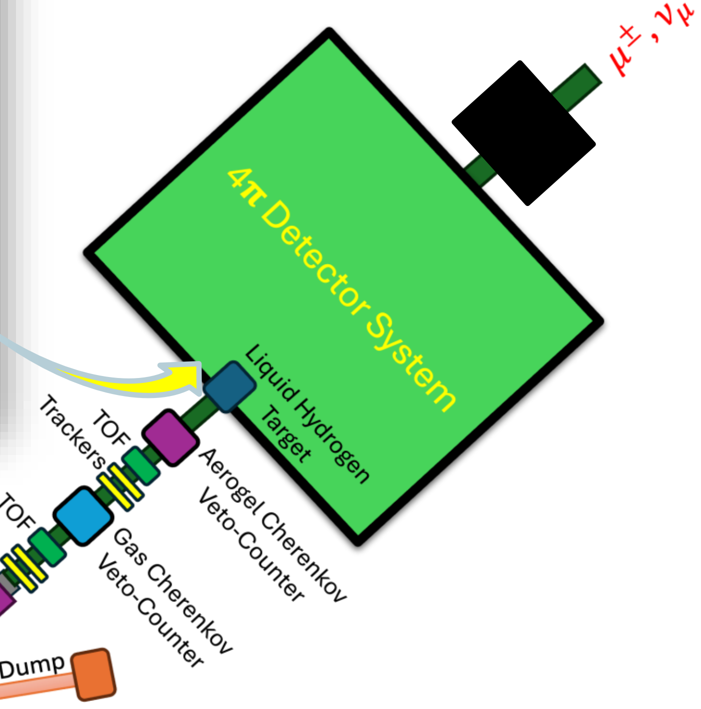
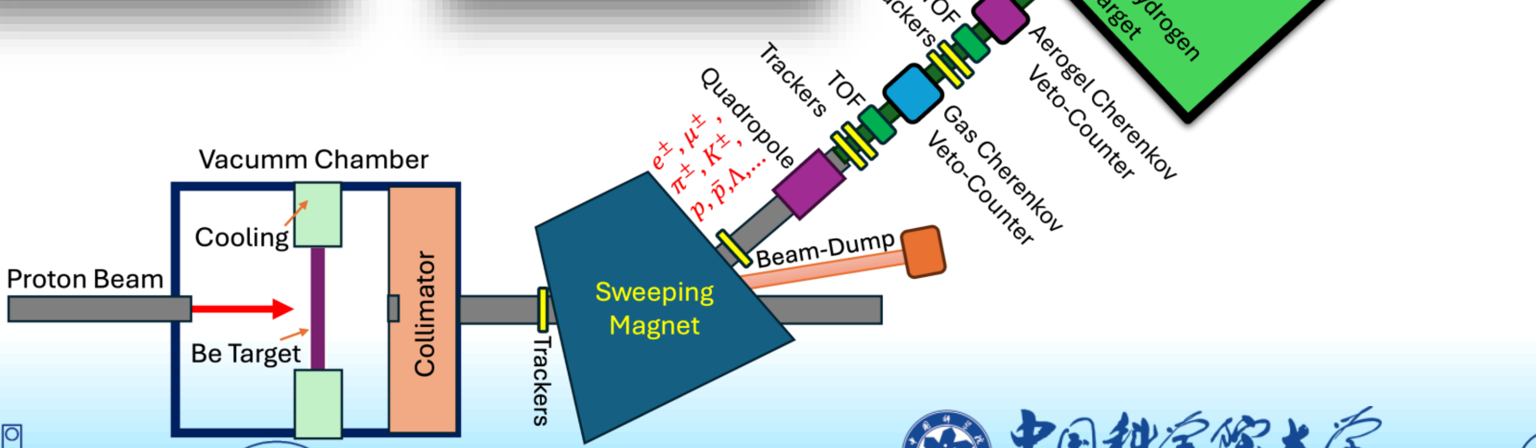
M.G. Albrow, T.D. Coughlin, J.R. Forshaw, Prog. Part. Nucl. Phys. 65(2010)149

强流质子束流物理

- 次级束流反应的“靶”：
  - ✓ 非极化液态氢，固体原子核
  - ✓ 纵向&横向极化质子（NH3）和中子（He3）
  - ✓ 也可测量末态质子的极化方向





总截面

$$\int |T|^2 d\phi$$

微分截面

$$|T|^2 = \sum_{\lambda_i,\lambda_f} \left|T_{\lambda_i,\lambda_f}\right|^2$$

极化观测

$$\left|T_{\lambda_i,\lambda_f}\right|^2$$

强流质子束流物理

✓极化信息的重要性举例

总截面

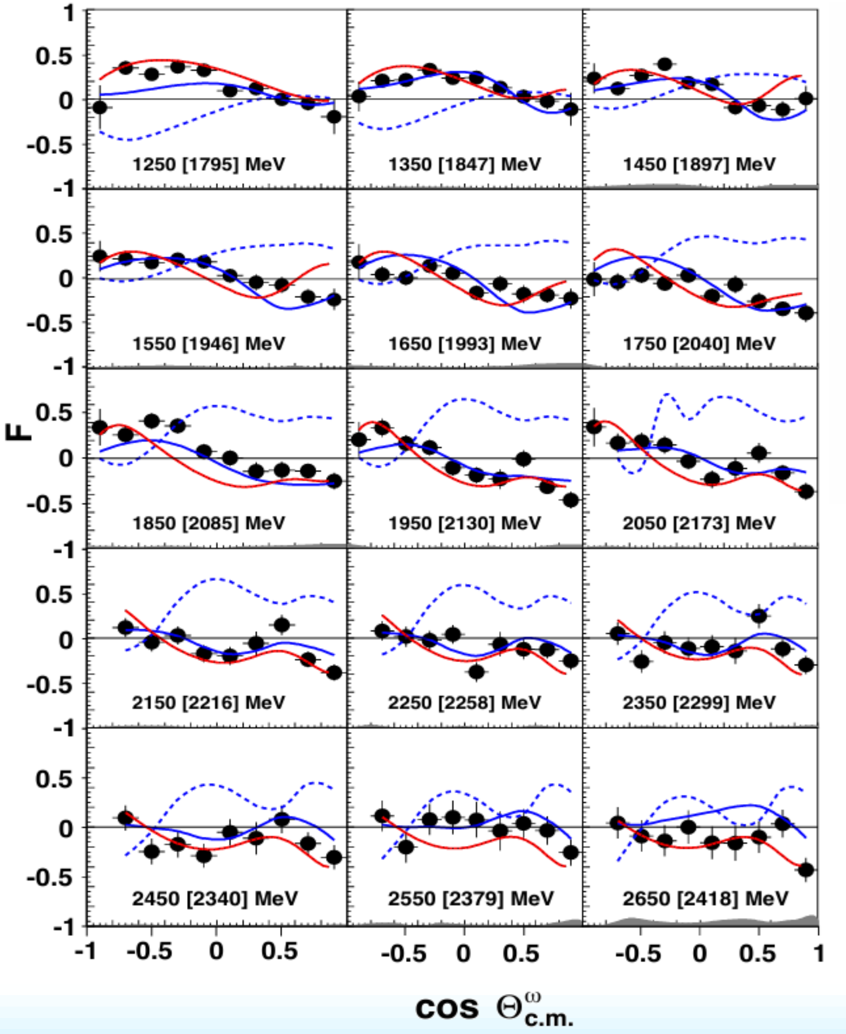
$$\int |T|^2 d\phi$$

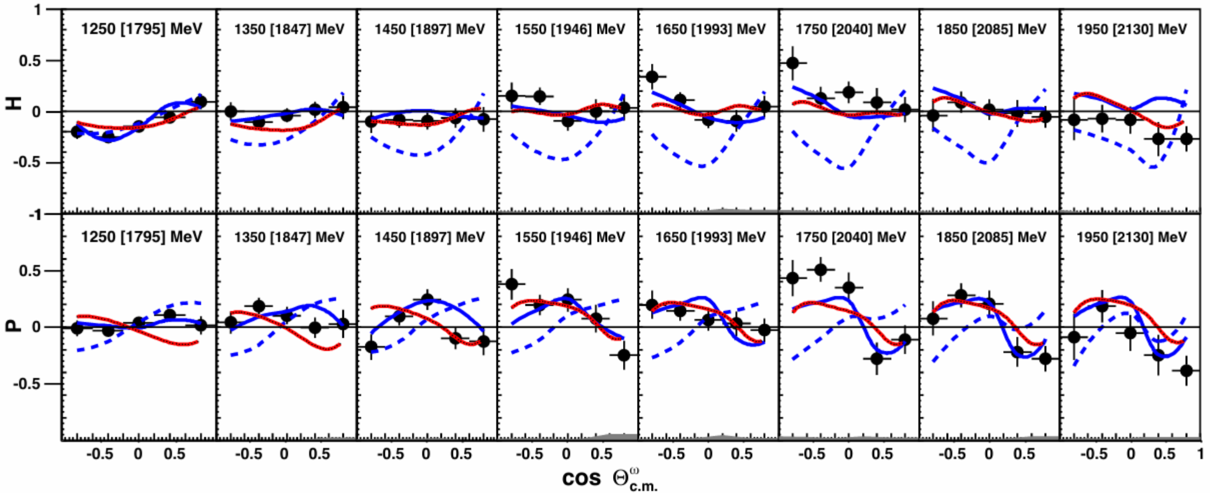
微分截面

$$|T|^2 = \sum_{\lambda_i,\lambda_f} \left|T_{\lambda_i,\lambda_f}\right|^2$$

极化观测

$$\left|T_{\lambda_i,\lambda_f}\right|^2$$





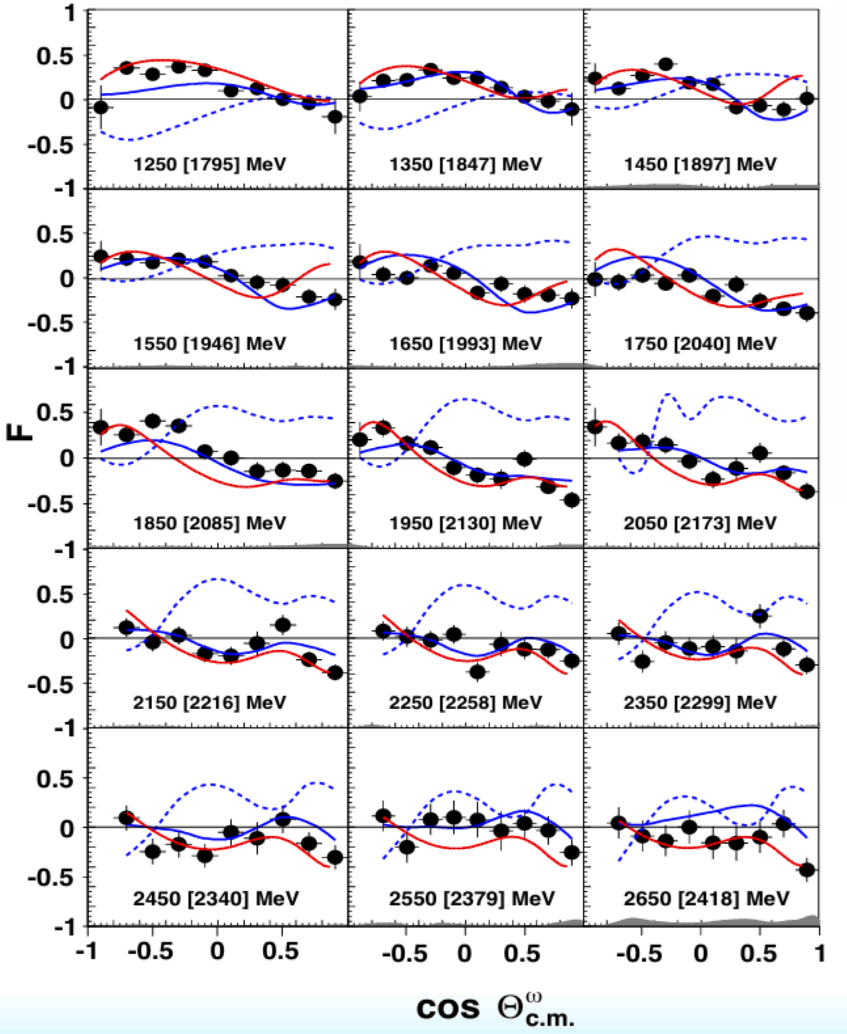
CLAS Collaboration
PRL122(2019)162301

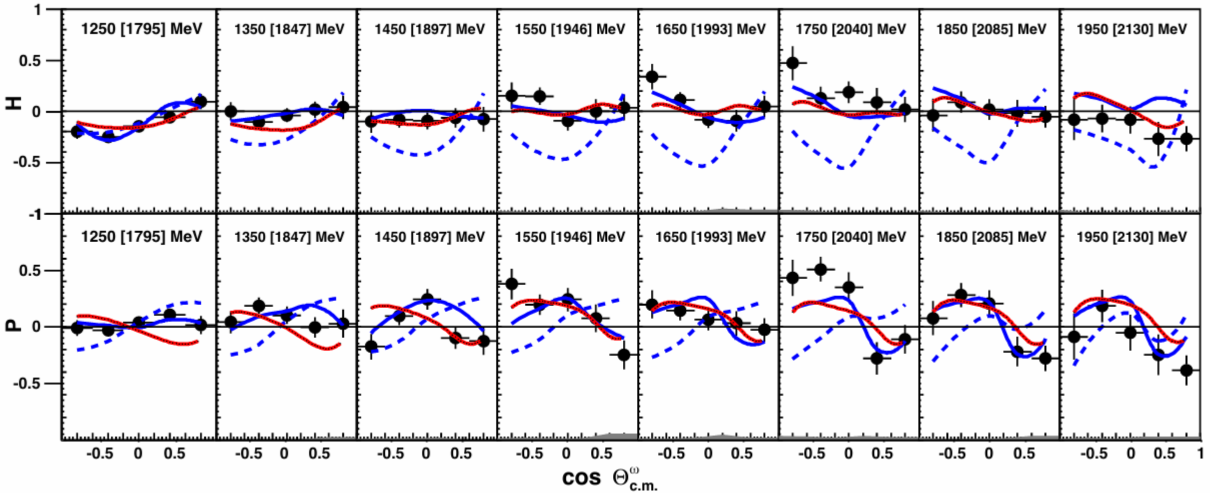
$$\vec{\gamma}\vec{p} \to p\omega$$

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{d\sigma_0}{d\Omega}\{(1 - \delta_l \Sigma \cos 2\beta) + \Lambda \cos\alpha(-\delta_l H \sin 2\beta + \delta_\odot F) - \Lambda \sin\alpha(-T + \delta_l P \cos 2\beta)\},$$

强流质子束流物理

✓ 极化信息的重要性举例





总截面

$$\int |T|^2 d\phi$$

微分截面

$$|T|^2 = \sum_{\lambda_i,\lambda_f} \left|T_{\lambda_i,\lambda_f}\right|^2$$

极化观测

$$\left|T_{\lambda_i,\lambda_f}\right|^2$$

CLAS Collaboration
PRL122(2019)162301

$$\vec{\gamma}\vec{p} \to p\omega$$

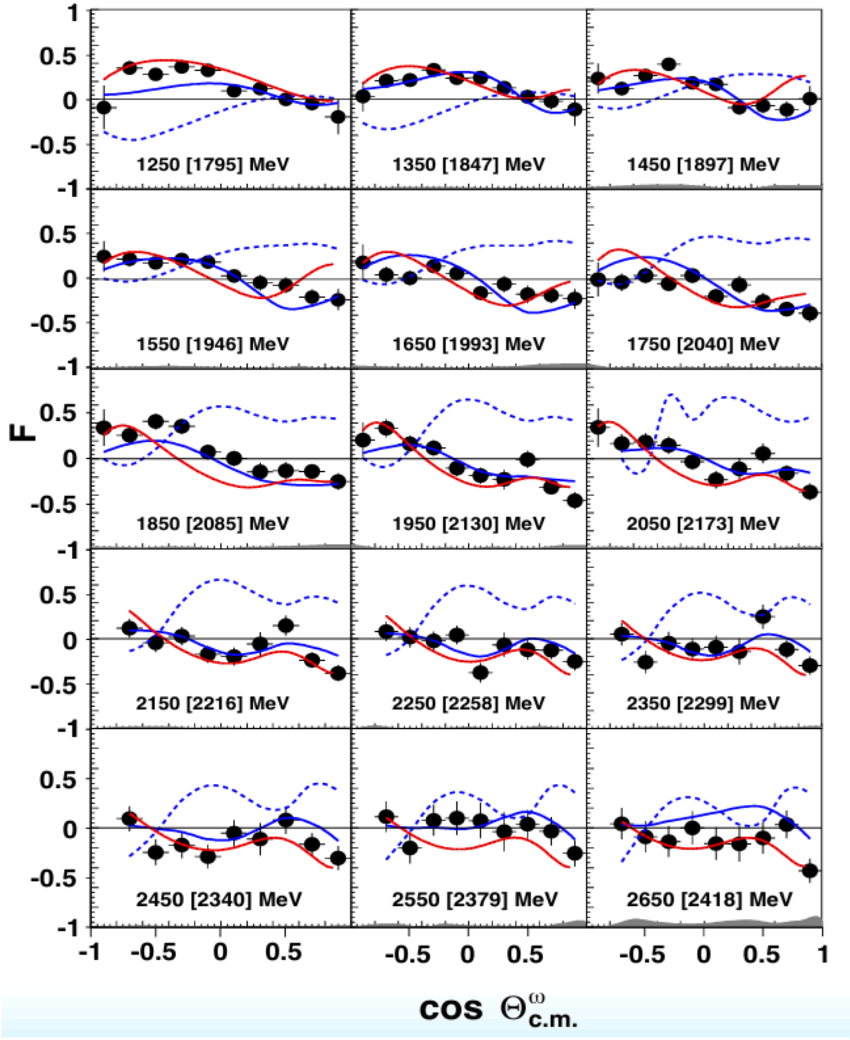
$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{d\sigma_0}{d\Omega}\{(1 - \delta_l \Sigma \cos 2\beta) + \Lambda \cos\alpha(-\delta_l H \sin 2\beta + \delta_\odot F) - \Lambda \sin\alpha(-T + \delta_l P \cos 2\beta)\},$$

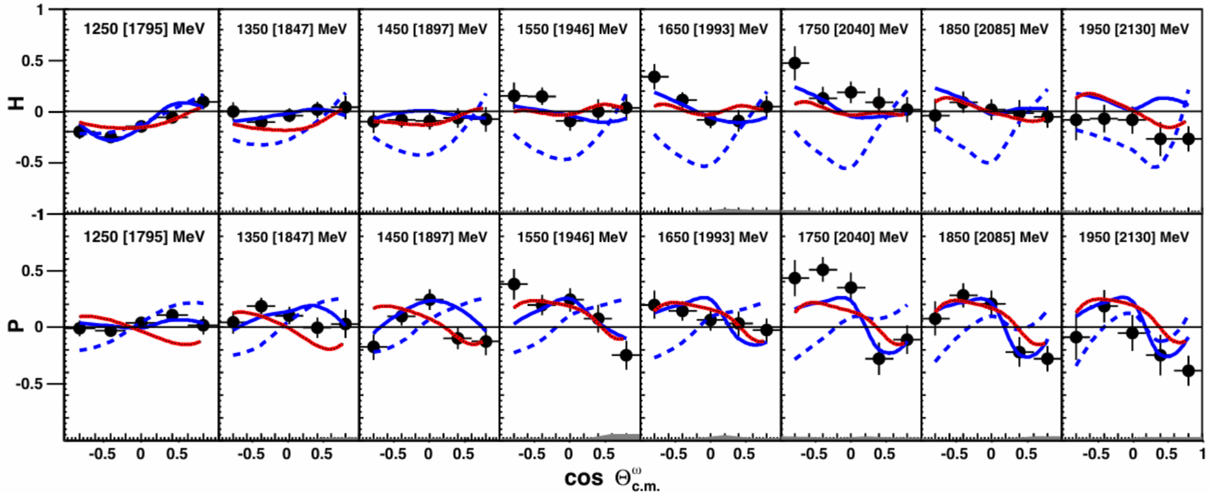
红色和蓝色的实线
N.C.Wei, F.Huang, K.Nakayama，D.M.Li PRD 100(2019)114026
树图阶的有效拉氏量计算

蓝色的虚线
I.Denisenko et al., PLB 755(2016)97
Bonn–Gatchina Group
耦合道模型

强流质子束流物理

✓极化信息的重要性举例





总截面

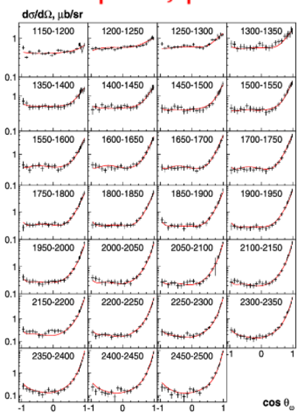
$$\int |T|^2 d\phi$$

微分截面

$$|T|^2 = \sum_{\lambda_i,\lambda_f} \left|T_{\lambda_i,\lambda_f}\right|^2$$

极化观测

$$\left|T_{\lambda_i,\lambda_f}\right|^2$$



CLAS Collaboration
PRL122(2019)162301

$$\vec{\gamma}\vec{p} \rightarrow p\omega$$

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{d\sigma_0}{d\Omega}\{(1-\delta_l\,\Sigma\cos 2\beta) + \Lambda\cos\alpha\,(-\delta_l\,H\sin 2\beta + \delta_\odot\,F) - \Lambda\sin\alpha\,(-T + \delta_l\,P\cos 2\beta)\},$$

红色和蓝色的实线

N.C.Wei, F.Huang, K.Nakayama, D.M.Li PRD 100(2019)114026

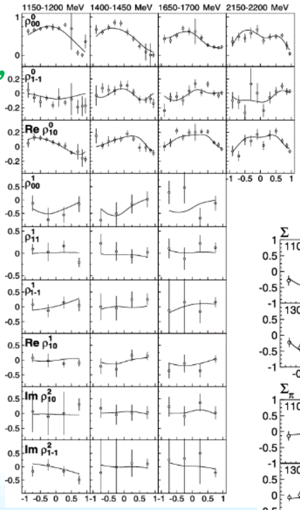
树图阶的有效拉氏量计算

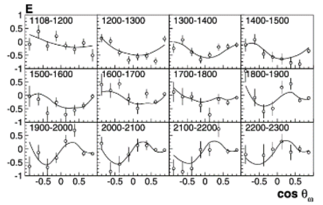
蓝色的虚线

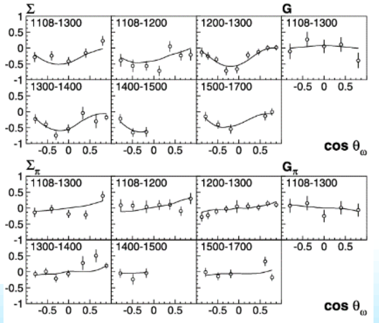
I.Denisenko et al., PLB 755(2016)97

Bonn–Gatchina Group

耦合道模型







K介子束流物理

Particle	J^P	overall	$N\gamma$	$N\pi$	$\Delta\pi$	$N\sigma$	$N\eta$	ΛK	ΣK	$N\rho$	$N\omega$
N	$1/2^+$	****									
$N(1440)$	$1/2^+$	****	****	****	****	***					
$N(1520)$	$3/2^-$	****	****	****	****	**	****				
$N(1535)$	$1/2^-$	****	****	****	***	*	****				
$N(1650)$	$1/2^-$	****	****	****	***	*	****	*			
$N(1675)$	$5/2^-$	****	****	****	****	***	*	*	*		
$N(1680)$	$5/2^+$	****	****	****	****	***	*	*	*		
$N(1700)$	$3/2^-$	***	**	***	***	*	*			*	
$N(1710)$	$1/2^+$	****	****	****	*		***	**	*	*	*
$N(1720)$	$3/2^+$	****	****	****	***	*	*	****	*	*	*
$N(1860)$	$5/2^+$	**	*	**		*	*				
$N(1875)$	$3/2^-$	***	**	**	*	**	*	*	*	*	*
$N(1880)$	$1/2^+$	***	**	*	**	*	*	**	**		**
$N(1895)$	$1/2^-$	****	****	*	*	*	****	**	**	*	*
$N(1900)$	$3/2^+$	****	****	**	**	*	*	**	**		*
$N(1990)$	$7/2^+$	**	**	**			*	*	*		
$N(2000)$	$5/2^+$	**	**	*	**	*	*				*
$N(2040)$	$3/2^+$	*		*							
$N(2060)$	$5/2^-$	***	***	**	*	*	*	*	*	*	*
$N(2100)$	$1/2^+$	***	**	***	**	**	*	*		*	*
$N(2120)$	$3/2^-$	***	***	**	**	**		**	*		*
$N(2190)$	$7/2^-$	****	****	****	****	**	*	**	*	*	*
$N(2220)$	$9/2^+$	****	**	****			*	*	*		
$N(2250)$	$9/2^-$	****	**	****			*	*	*		
$N(2300)$	$1/2^+$	**		**							
$N(2570)$	$5/2^-$	**		**							
$N(2600)$	$11/2^-$	***		***							
$N(2700)$	$13/2^+$	**		**							

**** Existence is certain.
*** Existence is very likely.
** Evidence of existence is fair.
* Evidence of existence is poor.

Particle	J^P	overall	$N\gamma$	$N\pi$	$\Delta\pi$	ΣK	$N\rho$	$\Delta\eta$
$\Delta(1232)$	$3/2^+$	****	****	****				
$\Delta(1600)$	$3/2^+$	****	****	***	****			
$\Delta(1620)$	$1/2^-$	****	****	****	****			
$\Delta(1700)$	$3/2^-$	****	****	****	****	*	*	
$\Delta(1750)$	$1/2^+$	*	*	*		*		
$\Delta(1900)$	$1/2^-$	***	***	***	*	**	*	
$\Delta(1905)$	$5/2^+$	****	****	****	**	*	*	**
$\Delta(1910)$	$1/2^+$	****	***	****	**	**		*
$\Delta(1920)$	$3/2^+$	***	***	***	***	**		**
$\Delta(1930)$	$5/2^-$	***	*	***	*	*		
$\Delta(1940)$	$3/2^-$	**	*	**	*			*
$\Delta(1950)$	$7/2^+$	****	****	****	**	***		
$\Delta(2000)$	$5/2^+$	**	*	**	*		*	
$\Delta(2150)$	$1/2^-$	*		*				
$\Delta(2200)$	$7/2^-$	***	***	**	***	**		
$\Delta(2300)$	$9/2^+$	**		**				
$\Delta(2350)$	$5/2^-$	*		*				
$\Delta(2390)$	$7/2^+$	*		*				
$\Delta(2400)$	$9/2^-$	**	**	**				
$\Delta(2420)$	$11/2^+$	****	*	****				
$\Delta(2750)$	$13/2^-$	**		**				
$\Delta(2950)$	$15/2^+$	**		**				

Particle	J^P	Overall status	Status as seen in — $N\overline{K}$	$\Sigma\pi$	Other channels
$\Lambda(1116)$	$1/2^+$	****			$N\pi$ (weak decay)
$\Lambda(1380)$	$1/2^-$	**	**	**	
$\Lambda(1405)$	$1/2^-$	****	****	****	
$\Lambda(1520)$	$3/2^-$	****	****	****	$\Lambda\pi\pi, \Lambda\gamma, \Sigma\pi\pi$
$\Lambda(1600)$	$1/2^+$	****	***	****	$\Lambda\pi\pi, \Sigma(1385)\pi$
$\Lambda(1670)$	$1/2^-$	****	****	****	$\Lambda\eta$
$\Lambda(1690)$	$3/2^-$	****	****	***	$\Lambda\pi\pi, \Sigma(1385)\pi$
$\Lambda(1710)$	$1/2^+$	*	*	*	
$\Lambda(1800)$	$1/2^-$	***	***	**	$\Lambda\pi\pi, N\overline{K}^*$
$\Lambda(1810)$	$1/2^+$	***	**	**	$N\overline{K}^*$
$\Lambda(1820)$	$5/2^+$	****	****	****	$\Sigma(1385)\pi$
$\Lambda(1830)$	$5/2^-$	****	****	****	$\Sigma(1385)\pi$
$\Lambda(1890)$	$3/2^+$	****	****	**	$\Sigma(1385)\pi, N\overline{K}^*$
$\Lambda(2000)$	$1/2^-$	*	*	*	
$\Lambda(2050)$	$3/2^-$	*	*	*	
$\Lambda(2070)$	$3/2^+$	*	*	*	
$\Lambda(2080)$	$5/2^-$	*	*	*	
$\Lambda(2085)$	$7/2^+$	**	**	*	
$\Lambda(2100)$	$7/2^-$	****	****	**	$N\overline{K}^*$
$\Lambda(2110)$	$5/2^+$	***	**	**	$N\overline{K}^*$
$\Lambda(2325)$	$3/2^-$	*	*		
$\Lambda(2350)$	$9/2^+$	***	***	*	
$\Lambda(2585)$		*	*		

Particle	J^P	Overall status	Status as seen in — $N\overline{K}$	$\Lambda\pi$	$\Sigma\pi$
$\Sigma(1193)$	$1/2^+$	****			
$\Sigma(1385)$	$3/2^+$	****		****	****
$\Sigma(1580)$	$3/2^-$	*	*	*	*
$\Sigma(1620)$	$1/2^-$	*	*	*	*
$\Sigma(1660)$	$1/2^+$	***	***	***	***
$\Sigma(1670)$	$3/2^-$	****	****	****	****
$\Sigma(1750)$	$1/2^-$	***	***	**	***
$\Sigma(1775)$	$5/2^-$	****	****	****	**
$\Sigma(1780)$	$3/2^+$	*	*	*	*
$\Sigma(1880)$	$1/2^+$	**	**	*	
$\Sigma(1900)$	$1/2^-$	**	**	*	**
$\Sigma(1910)$	$3/2^-$	***	*	*	**
$\Sigma(1915)$	$5/2^+$	****	***	***	***
$\Sigma(1940)$	$3/2^+$	*	*		*
$\Sigma(2010)$	$3/2^-$	*	*	*	
$\Sigma(2030)$	$7/2^+$	****	****	****	**
$\Sigma(2070)$	$5/2^+$	*	*		*
$\Sigma(2080)$	$3/2^+$	*		*	
$\Sigma(2100)$	$7/2^-$	*	*	*	*
$\Sigma(2110)$	$1/2^-$	*	*	*	*
$\Sigma(2230)$	$3/2^+$	*	*	*	*
$\Sigma(2250)$		**	**	*	*
$\Sigma(2455)$		*	*		
$\Sigma(2620)$		*	*		
$\Sigma(3000)$		*	*	*	
$\Sigma(3170)$		*			

Particle	J^P	Overall status	Status as seen in $\Xi\pi$	ΛK	ΣK	$\Xi(1530)\pi$
$\Xi(1318)$	1/2+	****				
$\Xi(1530)$	3/2+	****	****			
$\Xi(1620)$		*	*			
$\Xi(1690)$		***		***	**	
$\Xi(1820)$	3/2−	***	**	***	**	**
$\Xi(1950)$		***	**	**		*
$\Xi(2030)$		***		**	***	
$\Xi(2120)$		*		*		
$\Xi(2250)$		**				
$\Xi(2370)$		**				
$\Xi(2500)$		*		*	*	

Omega-	☆☆☆☆
Omega(2012)-	☆☆☆
Omega(2250)-	☆☆☆
Omega(2380)-	☆☆
Omega(2470)-	☆☆

三星以上/以下的，N^*,21/7个，Δ^*,12/10个，Λ^*,14/9个，Σ^*,9/17个, Ξ^*,6/5个, Ω^*,3/2个

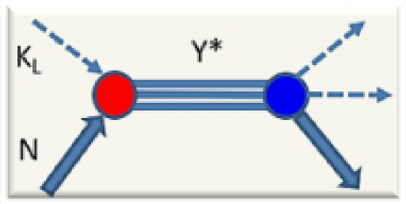
K介子束流物理

Target ⟹ *Proton* | *Neutron* [*first* measurements]

	Proton	Neutron
Elastic & Charge-Exchange	$K_L p \to K_S p$ $K_L p \to K^+ n$	$K_L n \to K_S n$ $K_L n \to K^- p$
Two-body with $S = -1$	$K_L p \to \pi^+ \Lambda$ $K_L p \to \pi^+ \Sigma^0$	$K_L n \to \pi^0 \Lambda$ $K_L n \to \pi^0 \Sigma^0$
Two-body with $S = -2$	$K_L p \to K^+ \Sigma^0$ $K_L p \to K^+ \Sigma^{0*}$	$K_L n \to K^0 \Sigma^0$ $K_L n \to K^0 \Sigma^{0*}$
Three-body with $S = -2$	$K_L p \to \pi^+ K^+ \Sigma^-$ $K_L p \to \pi^+ K^+ \Sigma^{-*}$	$K_L n \to \pi^+ K^- \Sigma^0$ $K_L n \to \pi^+ K^- \Sigma^{0*}$
Three-body with $S = -3$	$K_L p \to K^+ K^+ \Omega^-$ $K_L p \to K^+ K^+ \Omega^{-*}$	$K_L n \to K^+ K^0 \Omega^-$ $K_L n \to K^+ K^0 \Omega^{-*}$

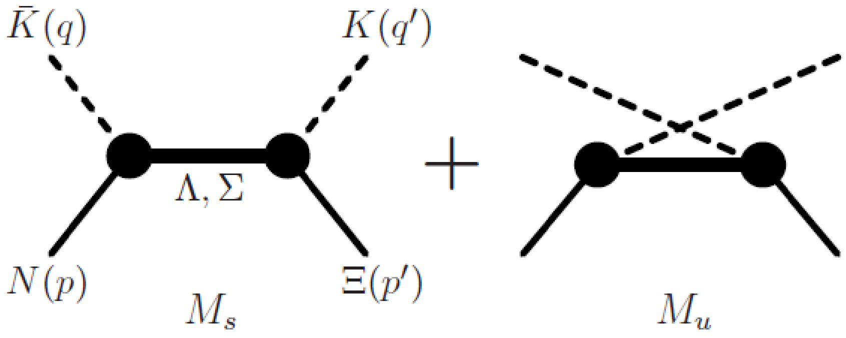
- To search for "*missing*" hyperons, we need measurements of production reactions:

Σ^*:	$K_L^0 p \to \pi \Sigma^* \to \pi\pi\Lambda$
Λ^*:	$K_L^0 p \to \pi \Lambda^* \to \pi\pi\Sigma$
Ξ^*:	$K_L^0 p \to K \Xi^*, \pi K \Xi^*$
Ω^*:	$K_L^0 p \to K^+ K^+ \Omega^*$



三星以上/以下的，N^*，21/7个，Λ^*, 14/9个，Σ^*, 9/17个, Ξ^* , 6/5个, Ω^* , 3/2个

$K^- p \rightarrow K^+ \Xi^-$



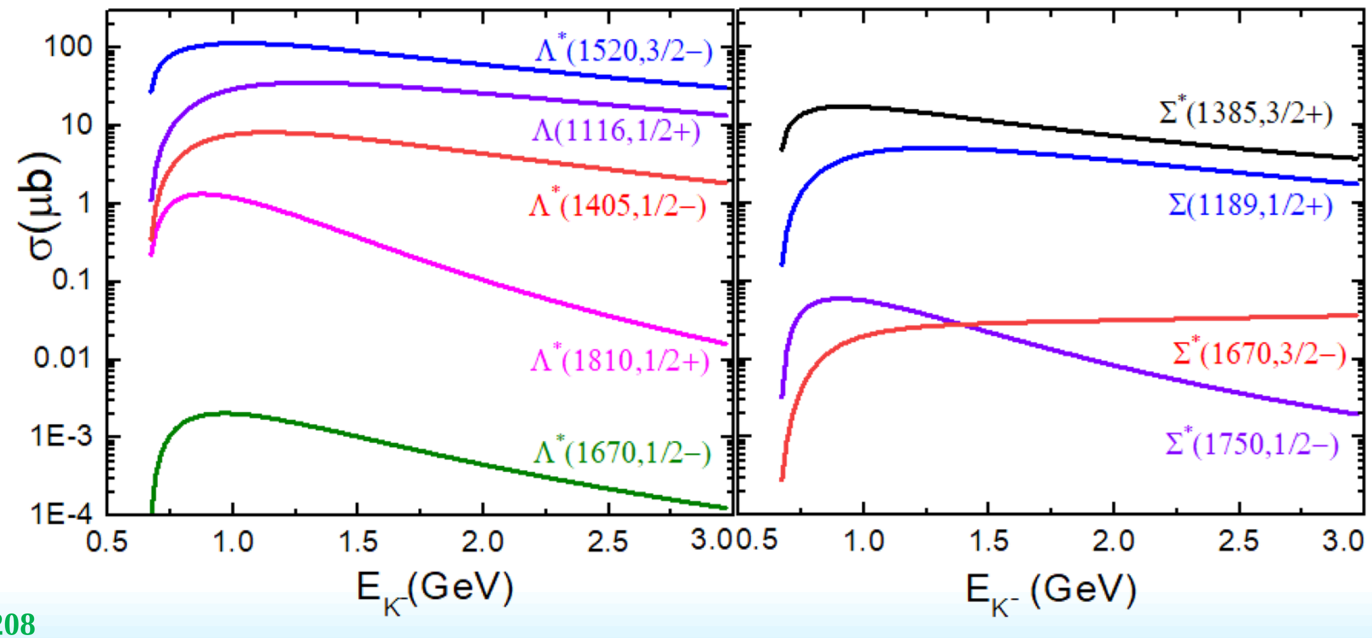
$$F_m(s) = \frac{\lambda^4}{\lambda^4 + (s - m_R^2)^2}$$

$$\mathcal{L}_{KNR_{1/2}} = -g_{KNR}\bar{\Psi}_R[\chi i\Gamma\varphi_K + (1-\chi)\frac{1}{M}\Gamma\gamma_\mu(\partial^\mu\varphi_K)]\Psi_N$$

$$\mathcal{L}_{KNR_{3/2}} = \frac{g_{NRK}}{m_K}\bar{\Psi}_N \Gamma\,\gamma_5 \Psi_{R\mu}\partial^\mu K \qquad \Gamma = \gamma_5\,(+)\;\; 1\,(-)$$

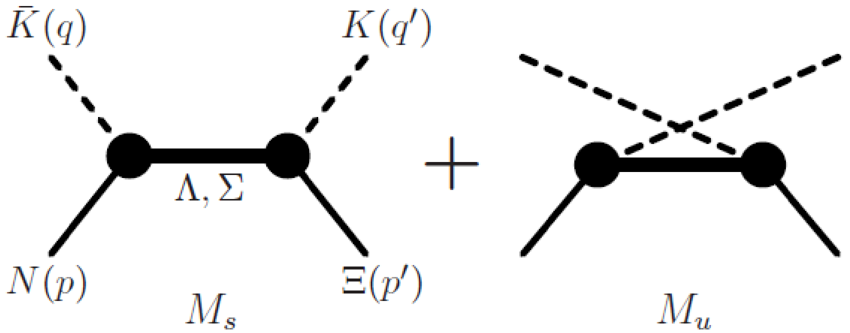
$$\mathcal{L}_{KN\,\Sigma(1670)} = \bar{\Psi}^\alpha_\Sigma \frac{g_{KNR_{3/2}}}{2m_K}\left[\gamma_\alpha(q.p) - \not{p} q_\alpha\right]\left[1 + \not{p}/M_N\right]\Psi_N$$

共振态粒子（R）	质量（MeV）	宽度（MeV）	$g_{KNR} * g_{K\Xi R}$
Λ	1116	0	46.31[3]
Σ	1189	0	47.47[3]
$\Lambda(1405)$	1405	50	1.501[2]
$\Lambda(1670)$	1670	35	0.054[2]
$\Lambda(1810)$	1810	150	7.840[2]
$\Lambda(1520)$	1520	16	0.646[1]
$\Sigma(1750)$	1750	90	0.250[2]
$\Sigma(1385)$	1385	36	18.00[3]
$\Sigma(1670)$	1670	60	7.840[2]

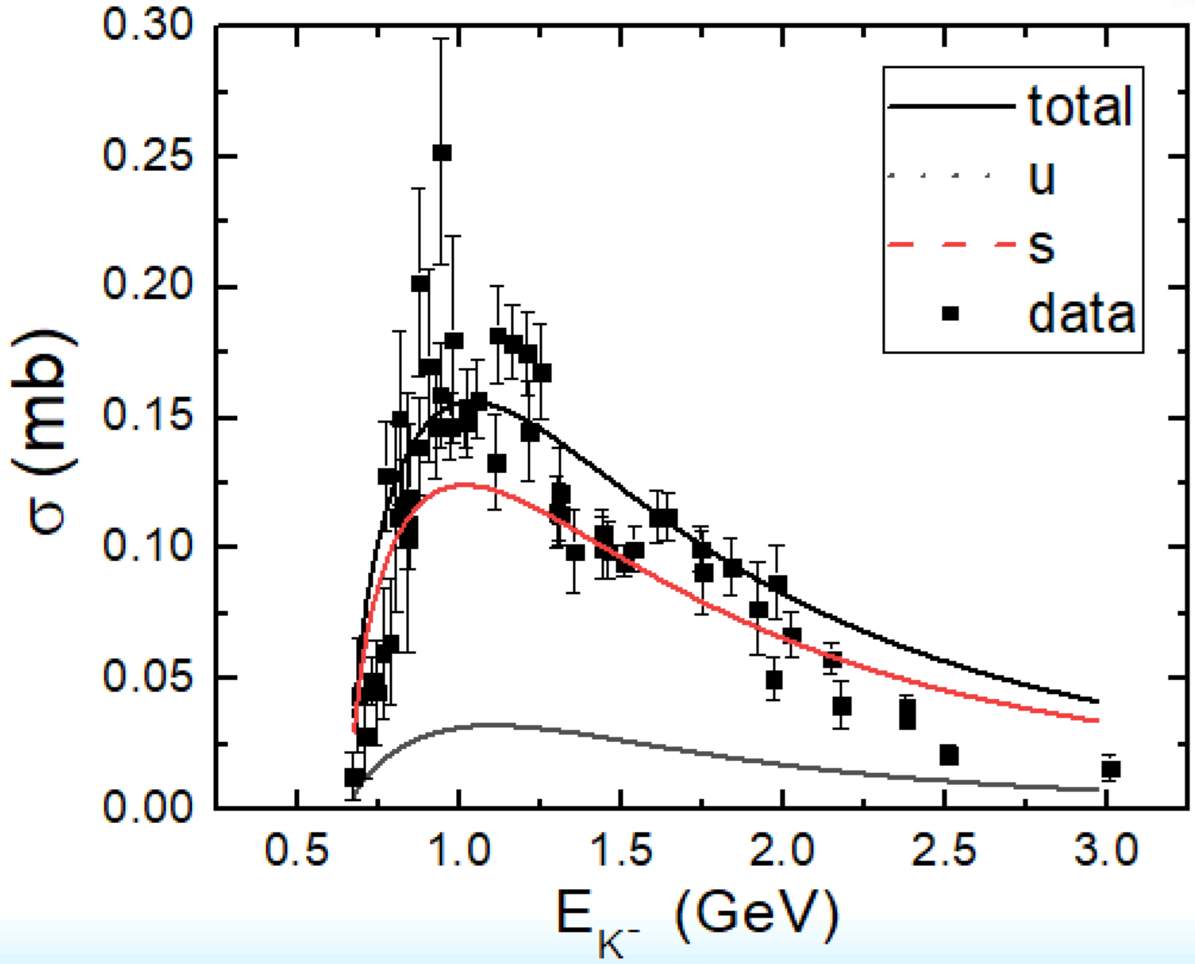


[1]D.A.Sharov, V.L.Korotkikh and D.E.Lanskoy, EPJA47(2011)109
[2]R.Shyam, O.Scholten and A.W.Thomas , PRC84(2011)042201
[3]B.C.Jackson, Y.Oh, H.Haberzettl and K.Nakayama, PRC91(2015)065208

$K^- p \to K^+ \Xi^-$



共振态粒子（R）	质量（MeV）	宽度（MeV）	$g_{KNR} * g_{K\Xi R}$
Λ	1116	0	46.31[3]
Σ	1189	0	47.47[3]
$\Lambda(1405)$	1405	50	1.501[2]
$\Lambda(1670)$	1670	35	0.054[2]
$\Lambda(1810)$	1810	150	7.840[2]
$\Lambda(1520)$	1520	16	0.646[1]
$\Sigma(1750)$	1750	90	0.250[2]
$\Sigma(1385)$	1385	36	18.00[3]
$\Sigma(1670)$	1670	60	7.840[2]



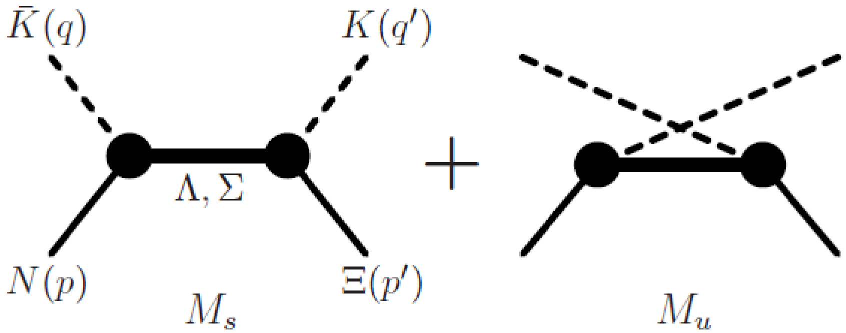
[1]D.A.Sharov, V.L.Korotkikh and D.E.Lanskoy, EPJA47(2011)109
[2]R.Shyam, O.Scholten and A.W.Thomas , PRC84(2011)042201
[3]B.C.Jackson, Y.Oh, H.Haberzettl and K.Nakayama, PRC91(2015)065208

$\Xi(1620)^-$ production in K^-p scattering process #15

Quan-Yun Guo (Southeast U., Nanjing), Zi-Li Yue (Southeast U., Nanjing), Dian-Yong Chen (Southeast U., Nanjing and Lanzhou U. (main)) (Nov 28, 2023)

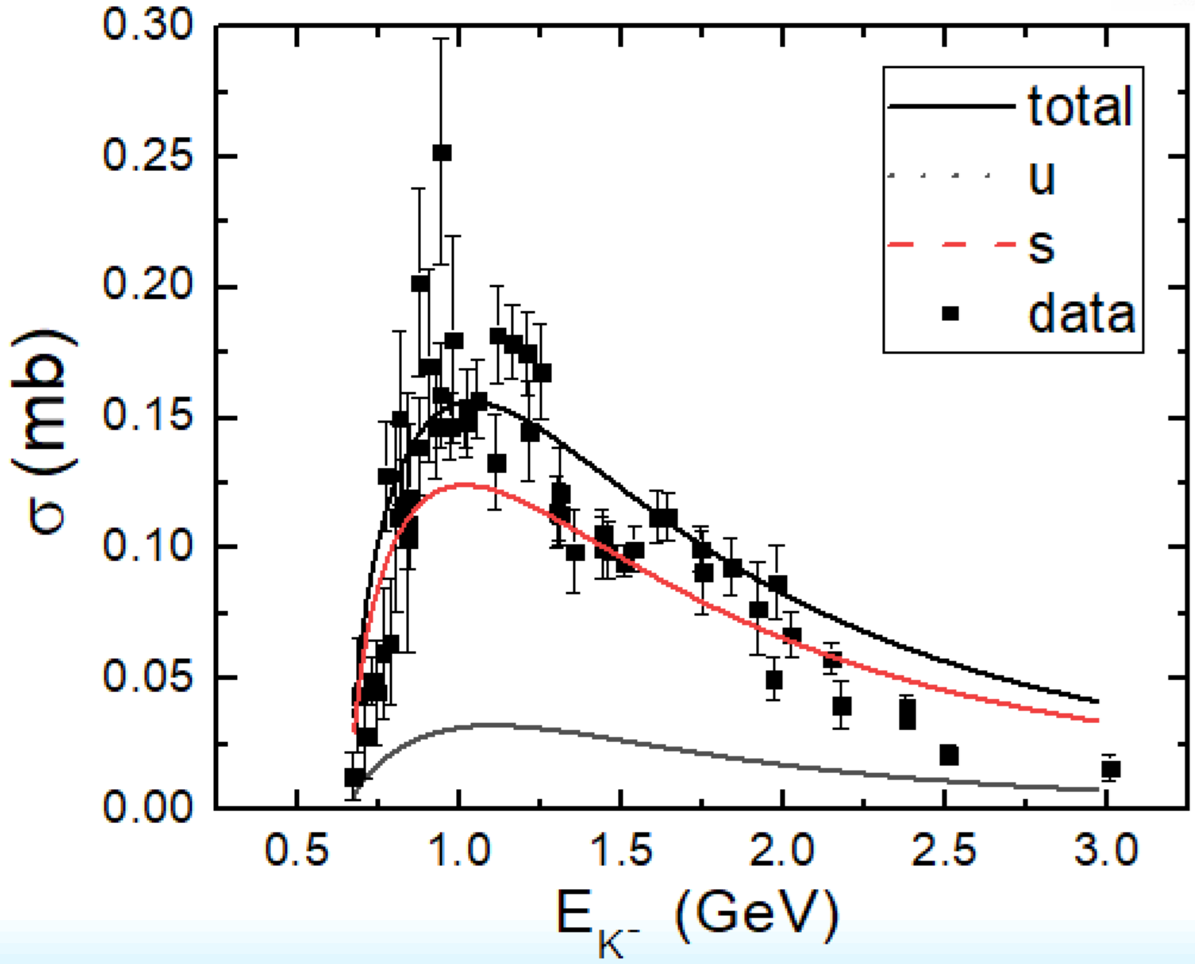
Published in: Eur.Phys.J.C 84 (2024) 4, 380 • e-Print: 2311.16920 [hep-ph]

$K^-p \rightarrow K^+\Xi^-$



共振态粒子（R）	质量（MeV）	宽度（MeV）	$g_{KNR} * g_{K\Xi R}$
Λ	1116	0	46.31[3]
Σ	1189	0	47.47[3]
$\Lambda(1405)$	1405	50	1.501[2]
$\Lambda(1670)$	1670	35	0.054[2]
$\Lambda(1810)$	1810	150	7.840[2]
$\Lambda(1520)$	1520	16	0.646[1]
$\Sigma(1750)$	1750	90	0.250[2]
$\Sigma(1385)$	1385	36	18.00[3]
$\Sigma(1670)$	1670	60	7.840[2]

[1]D.A.Sharov, V.L.Korotkikh and D.E.Lanskoy, EPJA47(2011)109
[2]R.Shyam, O.Scholten and A.W.Thomas , PRC84(2011)042201
[3]B.C.Jackson, Y.Oh, H.Haberzettl and K.Nakayama, PRC91(2015)065208



University of Chinese Academy of Sciences

中微子束流物理

利用中微子束流研究强子物理。

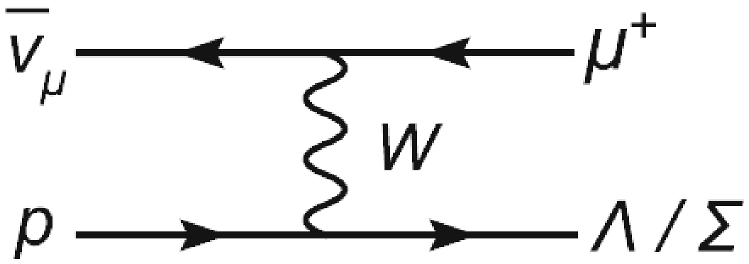
$$\gamma p \to KY^*,\quad \pi p \to KY^*,\quad e^+e^- \to Y\bar{Y}^*,\quad ep \to eKY^*,\quad pp \to KNY^*$$

问题：多强子末态带来的困扰！

$$K^- p \to Y^*$$

问题：束流能量选择有限制！

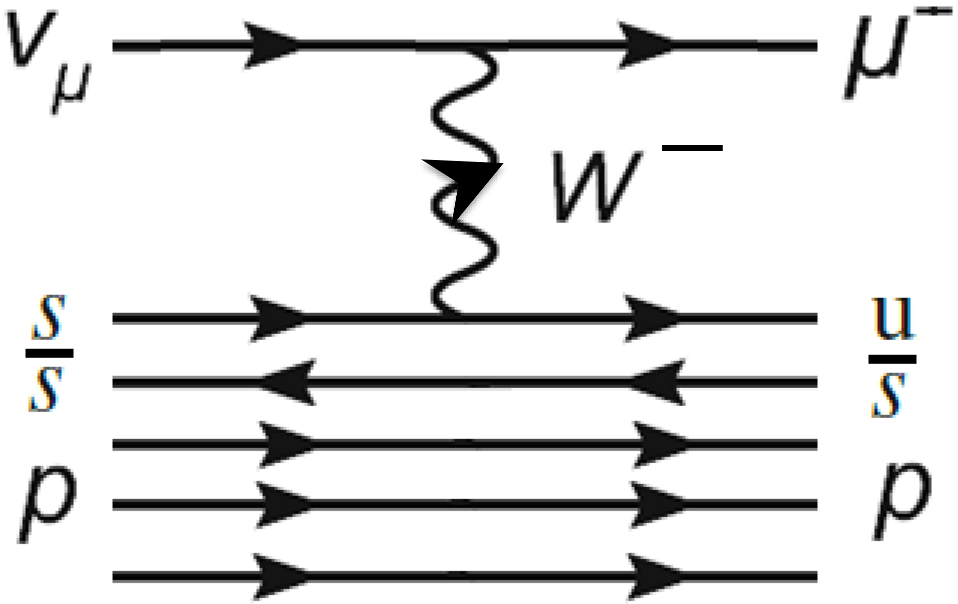
$$\bar{\nu} p \to l^+ Y^*$$



中微子束流物理

中微子核反应估计核子内部的$u\bar{u}/d\bar{d}/s\bar{s}/c\bar{c}$成分（邹老师的idea）

$$|p\rangle = c_1|uud\rangle + c_2|uud(u\bar{u})\rangle + c_3|uud(d\bar{d})\rangle + c_4|uud(s\bar{s})\rangle + c_5|uud(c\bar{c})\rangle.$$



W^+ :

$c \to d$	$\bar{d} \to \bar{c}$
$c \to s$	$\bar{s} \to \bar{c}$
$u \to d$	$\bar{d} \to \bar{u}$
$u \to s$	$\bar{s} \to \bar{u}$

W^- :

$d \to u$	$\bar{u} \to \bar{d}$
$d \to c$	$\bar{c} \to \bar{d}$
$s \to u$	$\bar{u} \to \bar{s}$
$s \to c$	$\bar{c} \to \bar{s}$

中微子束流物理

中微子核反应估计核子内部的$u\bar{u}/d\bar{d}/s\bar{s}/c\bar{c}$成分(邹老师的idea)

$$|p\rangle = c_1|uud\rangle + c_2|uud(u\bar{u})\rangle + c_3|uud(d\bar{d})\rangle + c_4|uud(s\bar{s})\rangle + c_5|uud(c\bar{c})\rangle.$$

Eight important processes :

W^+:
1. $(d\bar{d})uud \to d\bar{c}uud$
2. $(s\bar{s})uud \to s\bar{c}uud$
3. $uud \to dud$
4. $uud \to sud$

W^-:
5. $uud \to uuu$
6. $uud \to uuc$
7. $(u\bar{u})uud \to u\bar{s}uud$
8. $(s\bar{s})uud \to c\bar{s}uud$

» 3, 4, 5 has been studied by Wu and Zou. $\bar{\nu}_l/\nu_l + p \to l^\pm + n/\Lambda/\Sigma_0\ /\Delta^{++}$

» Adopting the 6 process to estimate the cross-section of Σ_c^{++} production ?

» The processes 1 and 7 can be used to study the components of $u\bar{u}$ and $d\bar{d}$ that undergo continuous generation and annihilation within protons. That aims to test the asymmetry between $\bar{d}$ and $\bar{u}$, with $P_{\bar{d}-\bar{u}} \simeq (11.8 \pm 1.2)\,\%$.

» The processes 2 and 8 can be used to study the components of $s\bar{s}$ within protons.

W^+ :

$c \to d$	1 $\bar{d} \to \bar{c}$
$c \to s$	2 $\bar{s} \to \bar{c}$
3 $u \to d$	$\bar{d} \to \bar{u}$
4 $u \to s$	$\bar{s} \to \bar{u}$

W^- :

5 $d \to u$	$\bar{u} \to \bar{d}$
6 $d \to c$	$\bar{c} \to \bar{d}$
$s \to u$	$\bar{u} \to \bar{s}$ 7
8 $s \to c$	$\bar{c} \to \bar{s}$

理论计算正在进行，HIAF是否可以进行模拟，需要高能的中微子

小结和展望

- 理解QCD的非微扰和色禁闭现阶段只能从现象总结规律，试图深入理解QCD理论。需要大量精确的实验。
- 高亮度质子束流和K介子束流等强子束流，以及中微子束流可以实现强子反应的高精度测量，发现确认众多的强子共振态！
- 期待HIAF上丰富的强子物理实验。

谢谢