

J-PARCにおける Φ 中間子原子核探索実験

11/11/2007 現在

M. Iwasaki, H. Ohnishi, H. Outa, F. Sakuma
T. Suzuki, S. Yokkaichi

RIKEN

G. Beer

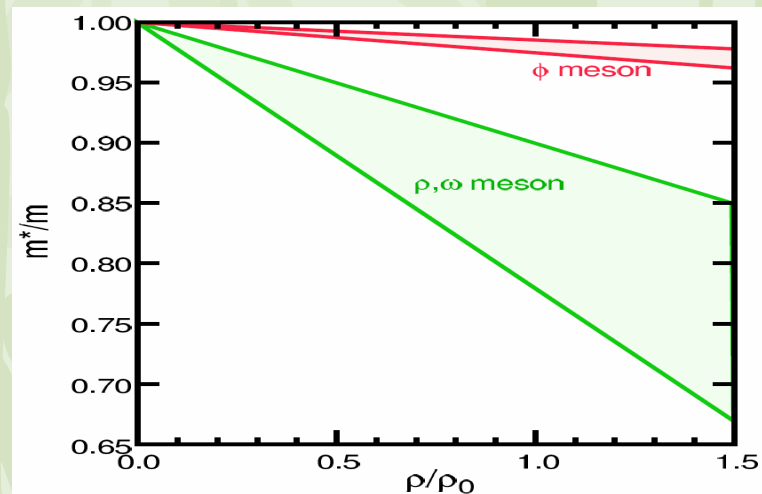
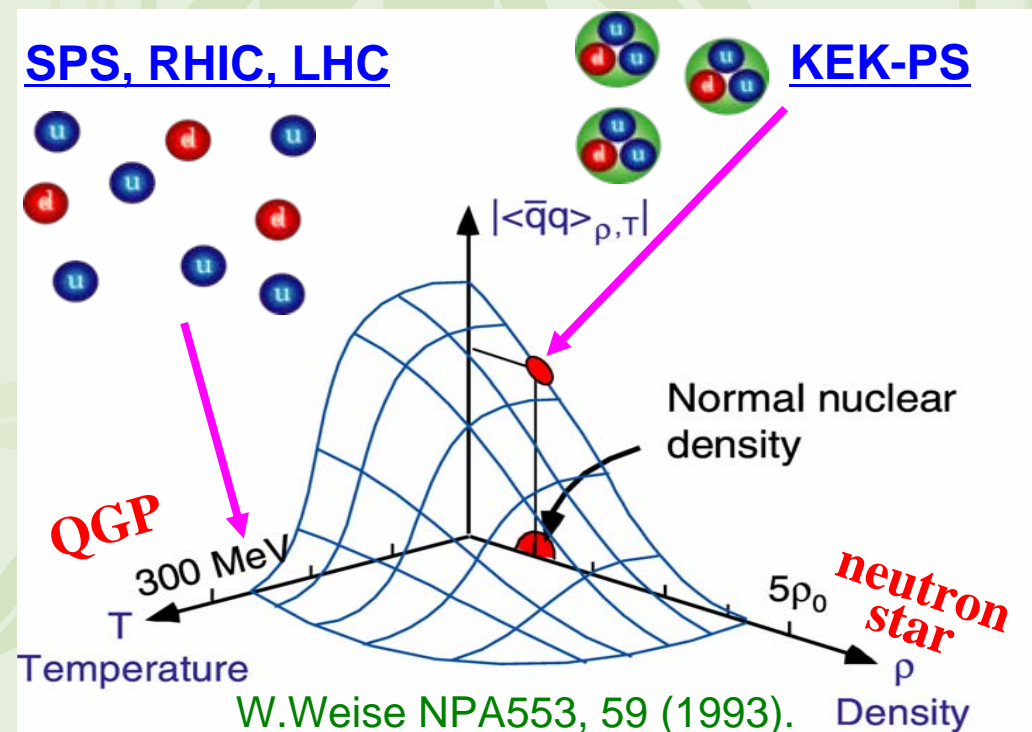
Univ. of Victoria

理化学研究所

大西 宏明

Introduction

- ❖ ハドロンの質量
→ カイラル対称性の自発的な破れにより獲得！
- ❖ 高温／高密度環境下では自発的に破れているカイラル対称性の部分的回な回復が観測できる？



T. Hatsuda, H. Shiomu and H. Kuwabara
Prog. Theor. Phys. 95(1996)1009

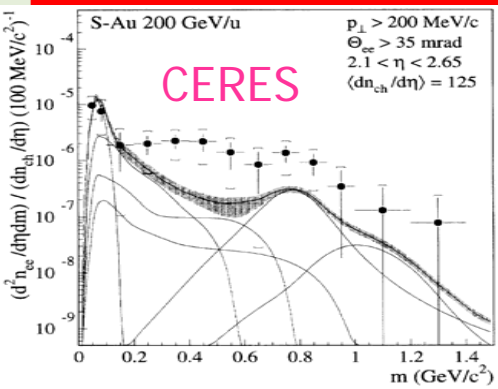
理論的にはベクトル中間子の質量が密度の関数で減少！することを予言

Introduction

高温/高密度環境下でのベクトル中間子質量精密測定実験の現状

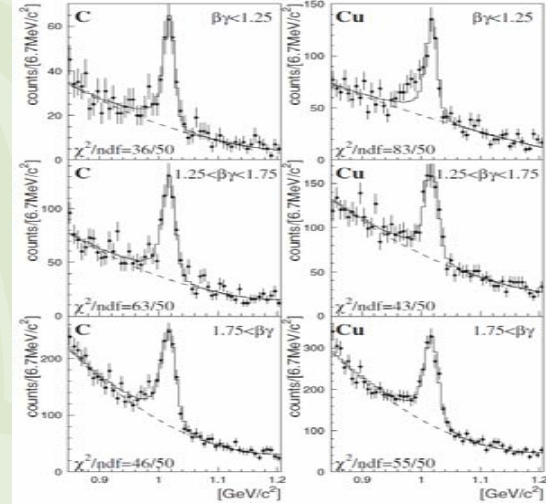
高エネルギー原子核衝突実験
 → **ダイナミカル**に高温核物質生成
 および**ベクトル中間子**を生成

陽子-原子核 もしくは 光子-原子核反応
 → **ダイナミカル**に**ベクトル中間子**を生成

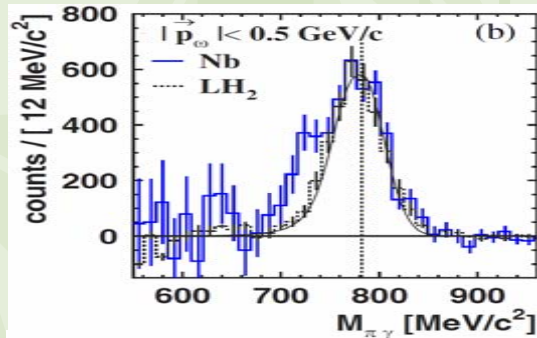
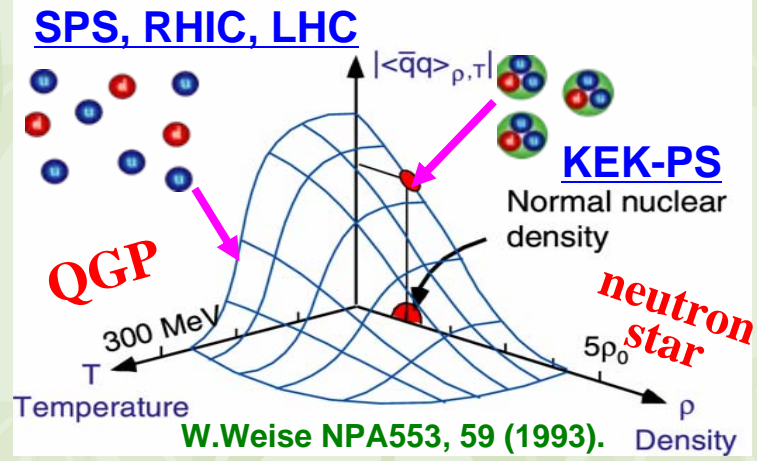
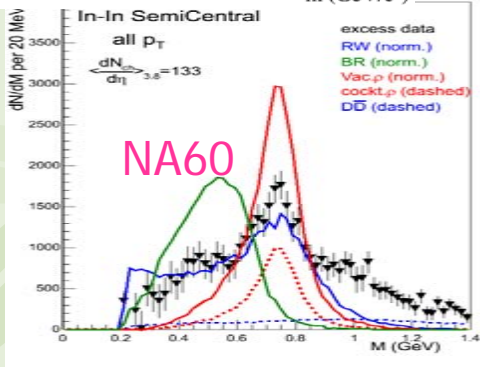


どうも ρ 中間子の挙動がおかしい

通常核物質中で Φ/ω の mass shift?



KEK-PS E325 PRL98(2007)042501



CBELSA-TAPS PRL94(2005)192303

観測量(ここでは不変質量)自身でベクトル中間子をID、
 その特性を議論。

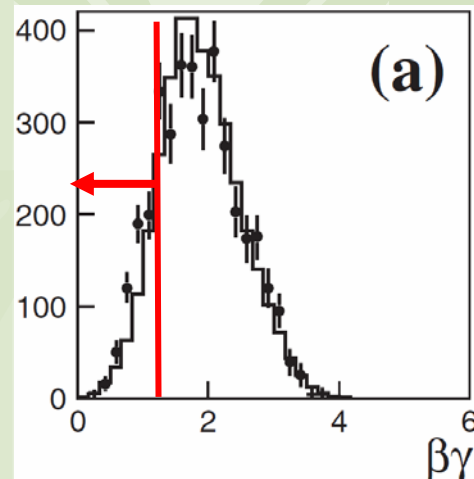
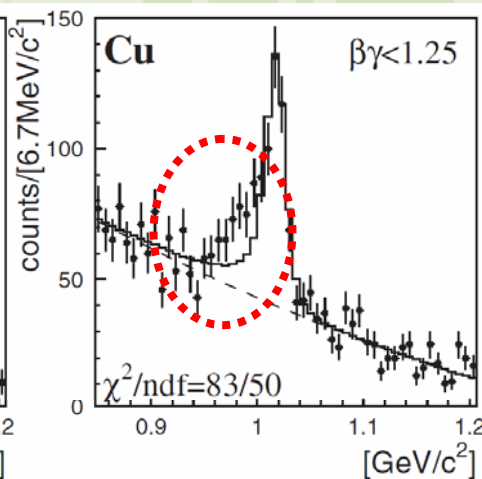
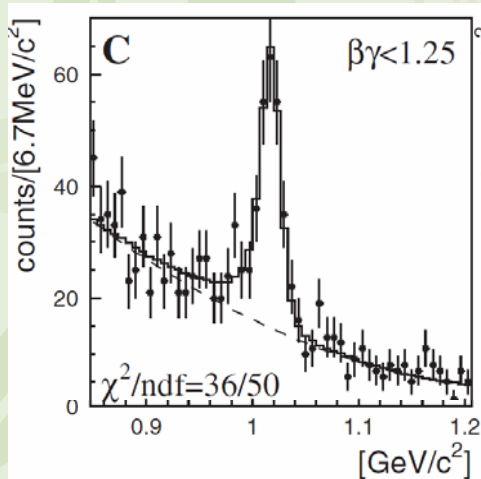
- ❖ 媒質中(通常原子核)にベクトル中間子を置きに行く
- ❖ ただし、ベクトル中間子が生成されたことを観測したいベクトル中間子の崩壊を観測すること以外で識別したい

ベクトル中間子の中でもここでは Φ 中間子に注目

止まった Φ 中間子は作れるであろうか？
いっそのこと、 Φ -原子核束縛状態ってつくれる？
どうやって捕まえれば良いのだろうか？

Φ 中間子と原子核の相互作用？

❖ KEK-PS E325 実験の教えること (PRL98(2007)042501)



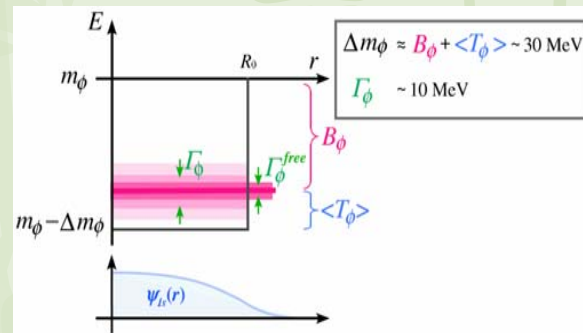
ゆっくり動くΦ中間子は通常原子核による媒質効果を受け(不変)質量が軽くなる(～3%)

読み替え

Φが本当に核内で軽い

⇔ 原子核はΦ中間子からみて質量変化量に相当するエネルギーポケットとなっている(はず)

➡ 核内で束縛状態(エネルギー固有値)を形成！



さて、3%～30MeVの深さを持つポテンシャルに束縛状態は作れるか？

Φ中間子原子核って存在するのか？

- ❖ Λハイパー核生成
 - ❖ Λ-原子核間のポテンシャルの深さ～30MeV
 - ❖ Λの質量 = 1116 MeV
- ❖ Φ中間子に関する状況と類似
- ❖ Mesic-nucleusを生成するときのレシピ
 - ❖ momentum transfer=0 i.e. recoilless conditionを作る
(π中間子原子核、η原子核 など) 素過程を用いる
 - ❖ Φ中間子を止めて作る状況(recoilless condition)を実現する
Φ中間子生成素過程は存在しない。。。。。
- ❖ しかしながら、(π⁺,K⁺)反応でのΛハイパー核生成は成功している！(momentum transfer～400MeV)
- ❖ 核内でΦ中間子が少々原子核に対して動いていても束縛状態は出来ることをハイパー核生成実験が教えてくれる

状況証拠はそろった。多分出来るんじゃない？

Φ 中間子原子核の捕まえ方(1)

- ❖ まずは崩壊モードについて。
 - ❖ 核内でΦ中間子は30 MeVほど軽くなっている
 - ❖ $1019 \text{ MeV} - 30 \text{ MeV} = 989 \text{ MeV} \sim 2 \times M_{\text{Kaon}}$
Φの主要崩壊モード $\Phi \rightarrow K^+ K^-$ は抑制される(はず)
 - ❖ しかしながら、Φは原子核中にいます。
 $1019 \text{ MeV} - 30 \text{ MeV} + 938 \text{ MeV}(\text{陽子})$
 $= 1927 \text{ MeV} > M_{\text{Kaon}} + M_{\Lambda}$
すなわち、 $\Phi p \rightarrow K^+ \Lambda$ に崩壊出来る
 - ❖ また、 $K^+ \Lambda$ はOZIルールで抑制されないモード

核内Φを識別する第一歩
標的周辺で $K^+ \Lambda$ を捕まえる



Φ 中間子原子核の捕まえ方(2)

❖ Φ 中間子生成を如何に効率よく行うか？

process (@ GeV/c)	channel	cross section	channel	cross section
$\pi^- p$ (2.0)	$\Sigma^- K^+$	87 μb	$\Sigma^- \pi^0 K^+$	52 μb
			$\Sigma^- \pi^+ \pi^- K^+$	2.6 μb
			$\Sigma^+ \pi^- \pi^- K^+$	3.2 μb
			$\Sigma^0 \pi^- K^+$	67 μb
			$\Lambda \pi^- K^+$	152 μb
$\pi^- n$ (5.0)			$(\Lambda/\Sigma^0) \pi^- \pi^- K^+$	51 μb
$\pi^- n$ (2.3)			$\Sigma^- \pi^- K^+$	70 μb
$\pi^+ p$ (2.0)	$\Sigma^+ K^+$	290 μb	$\Sigma^+ \pi^0 K^+$	170 μb
			$\Sigma^0 \pi^+ K^+$	40 μb
			$\Lambda \pi^+ K^+$	120 μb
			$\Lambda \pi^+ \pi^0 K^+$	15 μb
$\pi^+ n$ (2.5)	$\Sigma^0 K^+$	57 μb	$\Sigma^0 \pi^+ \pi^- K^+$	140 μb
			$\Sigma^+ \pi^- K^+$	96 μb
			$\Sigma^+ \pi^0 \pi^- K^+$	7 μb
			$\Sigma^- \pi^+ K^+$	34 μb
			$\Sigma^- \pi^0 \pi^+ K^+$	10 μb
	ΛK^+	140 μb	$\Lambda \pi^0 K^+$	107 μb
			$\Lambda \pi^+ \pi^- K^+$	61 μb
$\pi^- p$ (2.0)	$n K^+ K^-$	39 μb	$n \pi^- K^0 K^+$	130 μb
$\pi^+ n$ (5.4)	$p K^+ K^-$	137 μb		

る

。。。

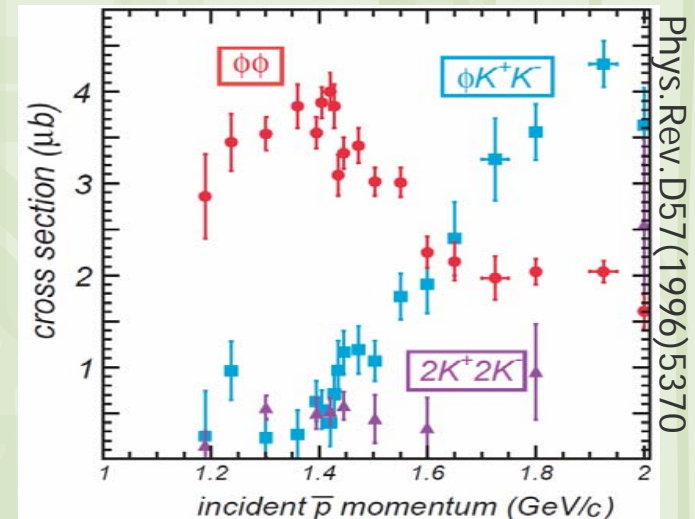
❖ \bar{p} beam を用いた反応に面白いものを発見！

\bar{p} beam を用いた Φ 中間子生成

- ❖ CERN LEARにおいて \bar{p} の運動量1.2-2.0GeV/cにおいて $\bar{p}+p \rightarrow \Phi\Phi$ の測定が行われています。
(もとは exotic particle search 実験)
- ❖ (私には) 驚くべき実験結果が1996年に発表された。
 - ❖ $\bar{p}+p \rightarrow \Phi\Phi$ の全生成断面積 $\sim 4 \mu\text{b}@1.3 \text{ GeV}/c$
 - ❖ \bar{p} の運動量が1.4 GeV/c までの間は $\Phi\Phi$ が主要過程！
(自然には $\Phi K+K^-$ とか $K+K^-K+K^-$ が多いような気がするが。。。)

❖ この測定の意味するところ

- ❖ \bar{p} beam 運動量を1.3 GeV/c とる。
- ❖ 一つ Φ を捕まえると
もう一方は90%以上の確率でやはり Φ



$\bar{p}+p \rightarrow \Phi\Phi$ 反応を Φ 中間子生成素過程に使う！

目指す実験

❖ $\bar{p} + p \rightarrow \phi + \phi$ 反応に関する考察

- ❖ \bar{p} 運動量 1.3 GeV/cのときの運動量移行
(ϕ の原子核に対する運動量)

~ 200 MeV/c

(π, K) 反応でのハイパー核生成
のときの Λ の持つ運動量より小さい

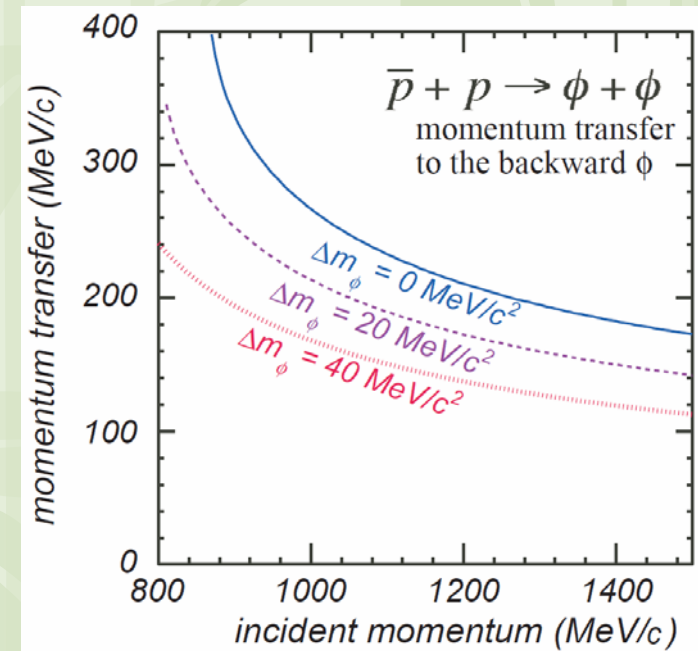
❖ 目指す実験

- ❖ 前方に放出される ϕ を捕まえ、
Missing mass で ϕ 中間子原子核を見る
- ❖ ϕ 中間子原子核崩壊から来る $K^+ \Lambda$
を捕まえる

特徴: 生成チャンネルで ϕ 生成をタグ:

前方に放出される ϕ ($\rightarrow K^+ K^-$)を測定 = 後方に ϕ がある
さらに崩壊側で K^+, Λ をタグ。

4個のストレンジネスをタグ!

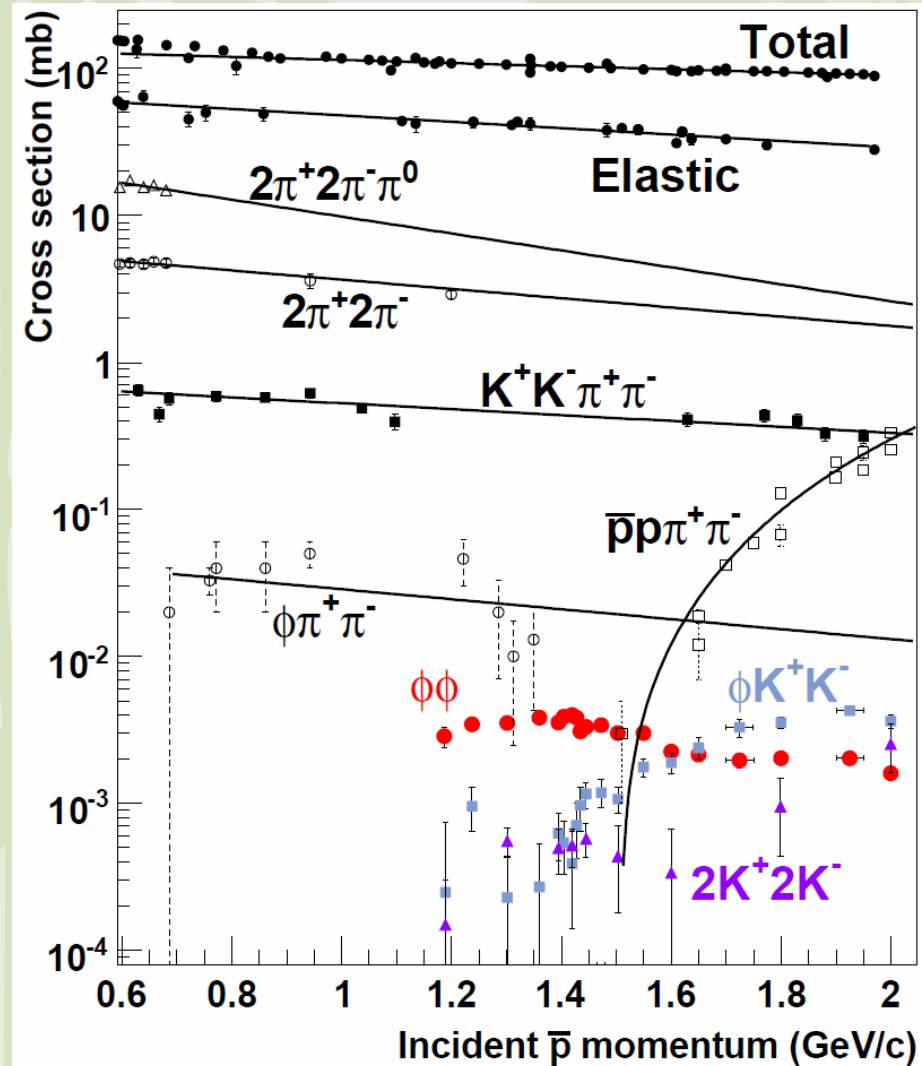


Background process

- ❖ データ解析としては
(原理的に) background free
になる(できる。)
- ❖ 問題はトリガー
 - ❖ 低エネルギーでの反陽子反応
 - ❖ $\phi\phi$ 生成断面積は
全反応断面積に比べ4桁小さい
 - ❖ K^+K^- を含むイベントを選別
すると、background 2桁までくる。
 - ❖ さらにもう一個Kaonを要求すると、
(Three Kaon trigger) トリガーレ
ベルでbackground free となる

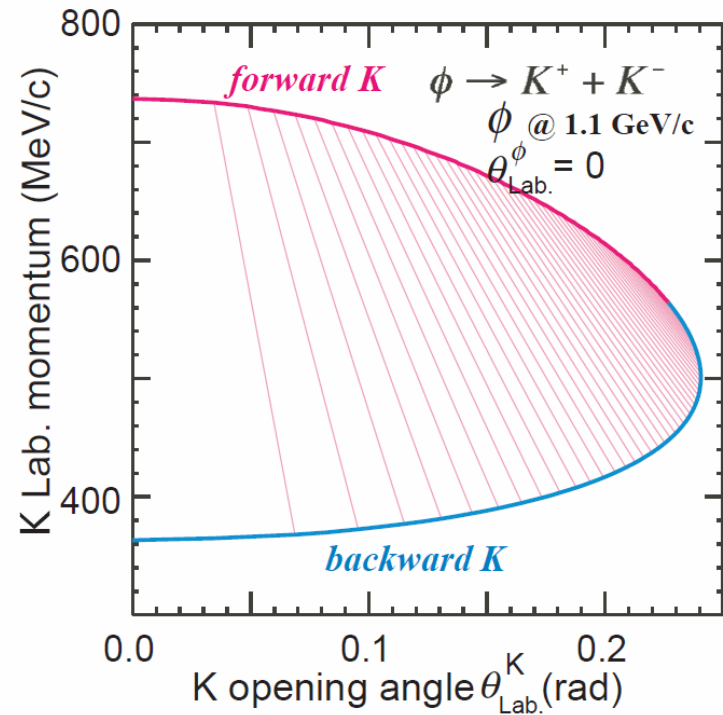
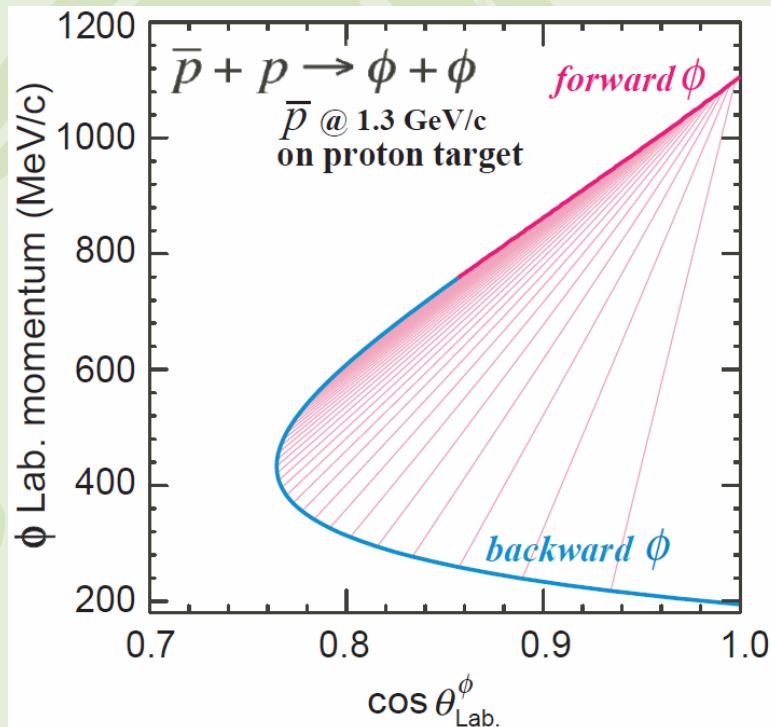


どのような実験セットアップを
作る必要があるのか？



Experimental setup

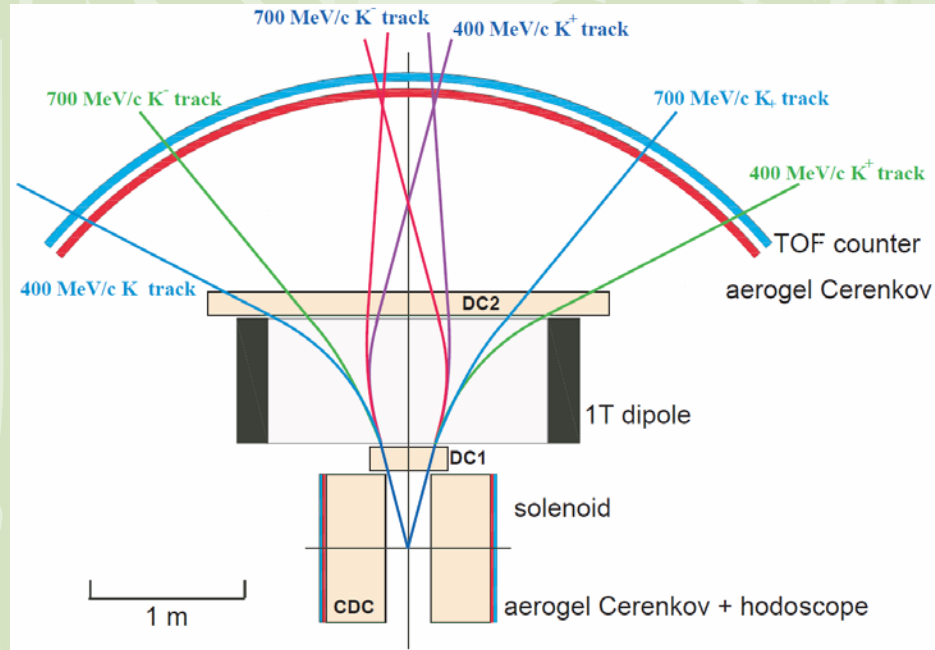
- ❖ 標的周りに K^+ と Λ を識別、再構成出来るような飛跡検出器 および PID検出器
 - ❖ J-PARC E15のCDCのようなもの + Kaon ID detector
- ❖ 前方に放出される ϕ 中間子を効率よく捕まえる



Experimental setup(2)

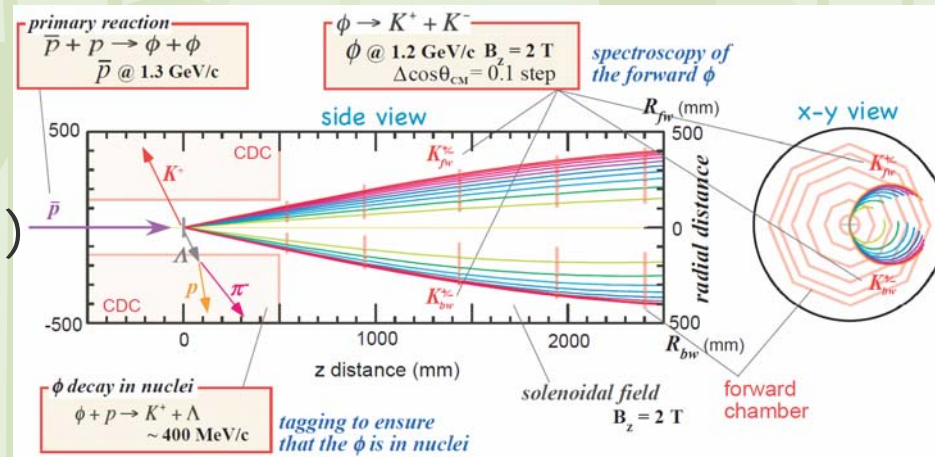
❖ Conventional

- ❖ LEPS like setup
- ❖ But large dipole magnet behind solenoid magnet to maintain large forward angle acceptance



❖ Challenging setup

- ❖ Everything inside large solenoid magnet (~3m long, 1m diameter)



Event rate estimation

- ❖ Event rate for ϕ meson bound state formation are estimated based on the hypernuclear formation rate obtained at KEK-SKS
- ❖ Event rate seen in hypernuclear formation via (π^+, K^+) reaction at KEK-PS/K6 with SKS spectrometer
 - ❖ 1×10^9 π induced on 1 g/cm^2 Carbon target, about 20 ground state $^{12}_{\Lambda}\text{C}$ produced
- ❖ Basic numbers used for the estimation
 - ❖ Beam intensity $I_{\bar{p}} = 2.0 \times 10^6 / \text{spill}$
 - ❖ Beam momentum used for the experiment = $1.3 \text{ GeV}/c$
 - ❖ Momentum transfer = $200 \text{ MeV}/c$
 - ❖ $\bar{p}-p \rightarrow \Phi \Phi$ cross section = $4/4 \pi (\mu\text{b}/\text{sr}) = 0.32 (\mu\text{b}/\text{sr})$
 - ❖ Target thickness 2 g/cm^2
 - ❖ Acceptance for forward spectrometer (120 msr)
 - ❖ $K^+ \Lambda$ trigger efficiency
 $(\Omega_{\text{CDC}} \times \text{BR}(\Phi p \rightarrow K^+ \Lambda) \times \text{BR}(\Lambda \rightarrow p \pi)) = 1.7 \text{ sr}$
- ❖ Relative capture rate (sticking probability)
 - ❖ $R_{\text{capture}} = \exp(-q^2/q_F^2)$, q : momentum transfer, q_F : fermi momentum

Event rate estimation (2)

	${}_{\Lambda}^{12}\text{C}$	${}_{\phi}^{11}\text{B}$
elementary reaction	$n(\pi^+, K^+)\Lambda$	$p(\bar{p}, \phi)\phi$
beam momentum	1.0 GeV/c	1.3 GeV/c
momentum transfer	500 MeV/c	200 MeV/c
\bar{p} intensity	-	$2 \times 10^6 / \text{spill}$
number of incident particle (π^+ or \bar{p})	1×10^9 (*)	$1,440 \times 10^9 / \text{month}$
target thickness	1.0 g/cm ² (*)	2.0 g/cm ²
$d\sigma_{CM}/d\Omega$	104 $\mu\text{b}/\text{sr}$	0.3 $\mu\text{b}/\text{sr}$
γ factor	1.17	1.16
relative capture rate (R_{capture})	0.032	0.58
ΛK^+ tagging efficiency ($\Omega_{CDS} R_{K+\Lambda} R_{\Lambda \rightarrow \pi^- p}$)	12.6 (= 4π) sr (*)	1.7 sr
forward detector efficiency ($\Omega_{FS} R_{\phi \rightarrow K+K^-}$)	100 msr (*) (SKS)	59 msr
expected yield of the ground state	$\sim 20 \text{ ev.}$ (*)	$\sim 240 \text{ ev.} / \text{month}$

- ❖ Comparison parameters in hypernuclear formation at KEK-SKS and new experiment for f meson bound state

~ 240 Events are expected for one month of data taking period

Conclusion

- ❖ KEK-PS E325の結果とハイパー核生成実験の成功という2つの事実は Φ 中間子原子核が生成されるであろうということ強く示唆している。(問題は幅ですが。)
- ❖ そこで、我々は素過程 $p\bar{p} \rightarrow \Phi\Phi$ チャンネルに注目し、このプロセスによる Φ 中間子原子核探索実験をここに提案する。
- ❖ もし、 $2 \times 10^6/\text{spill}$ の反陽子で実験を行うとすると、一ヶ月あたり、240個の Φ 中間子原子核事象が取得可能
- ❖ そのためには
 - ❖ 1. 3GeV/c 大強度反陽子ビームが使えるビームライン
 - ❖ 大立体角でK中間子を効率よく取れる検出器
 - ❖ K中間子トリガー、 Φ トリガーなど如何に事象をトリガーするか
- ❖ 本実験をLoIとしてJ-PARC に提出します。
- ❖ 共同研究者 大募集中
- ❖ 出来るだけ多くの理論-実験家の皆さんと議論をしたい！お付き合いください。