

φ中間子生成のe⁺e⁻/K⁺K⁻チャンネルにおける 原子核依存性の測定(KEK-PS E325)

京大理, 高工研_A, 理研_B, 東大CNS_C, 東大ICEPP_D, 東北大_E

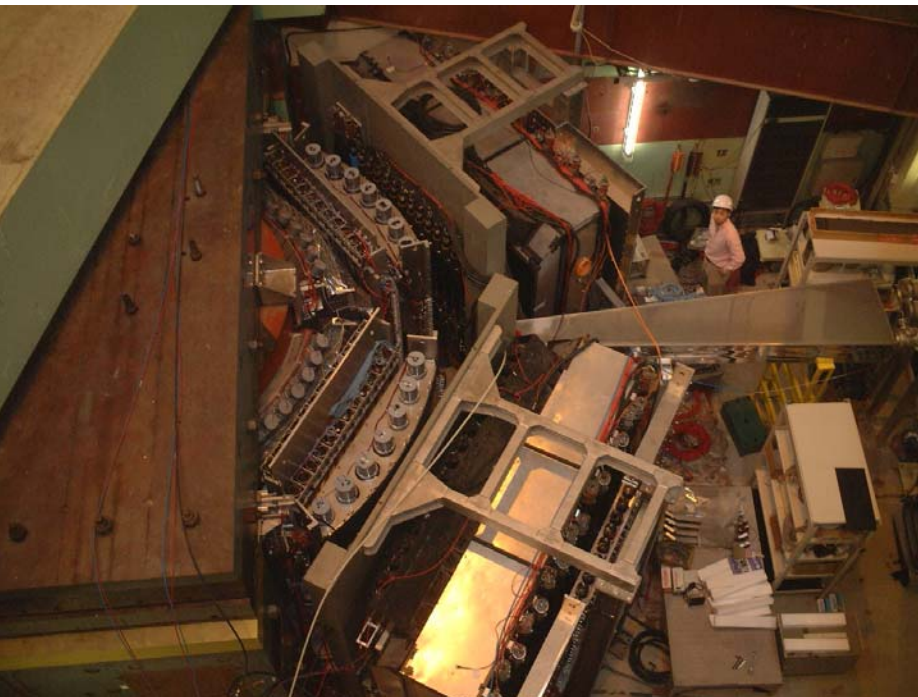
佐久間史典, 千葉順成_A, 延與秀人_B, 深尾祥紀, 舟橋春彦, 浜垣秀樹_C,

家入正治_A, 石野雅也_D, 神田浩樹_E, 北口雅暎, 三原智_D, 三輪浩司,

宮下卓也, 村上哲也, 武藤亮太郎_B, 名倉照直, 成木恵_B,

小沢恭一郎_C, 佐々木修_A, 関本美智子_A, 田原司睦_B,

田中万博_A, 外川学, 山田悟, 四日市悟_B, 吉村善郎

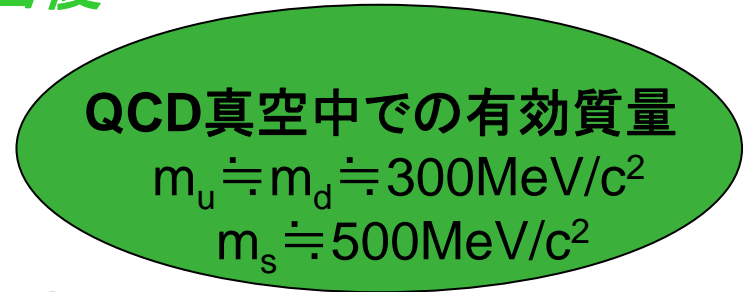
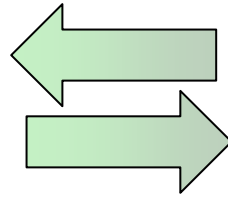
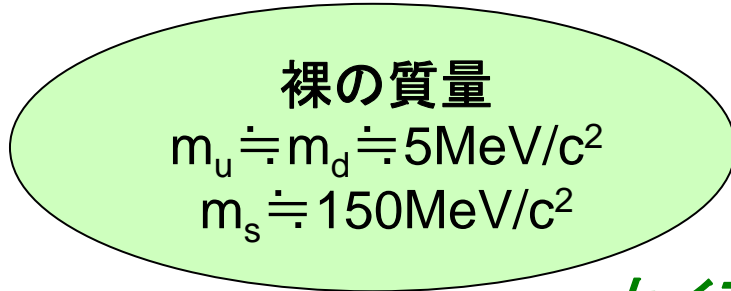


- Physics motivation
- E325 Experiment
- Results of data analysis
(based on nucl-ex/0606029)
- Summary

Physics Motivation

クォークの質量

カイラル対称性の回復

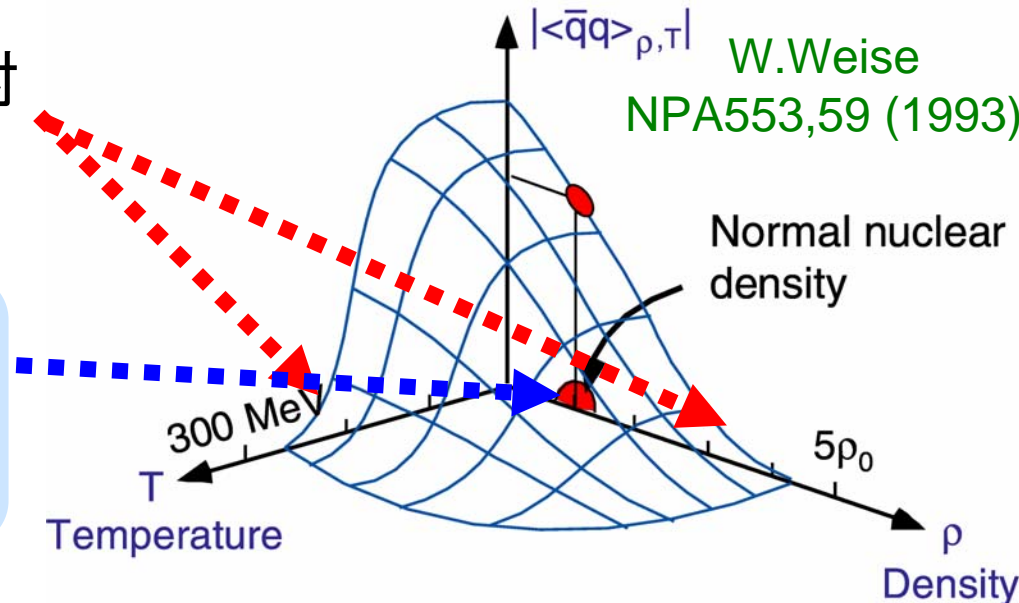


カイラル対称性の破れ

このような質量の変化をどのようにして検証するか?

高温・高密度の下ではカイラル対称性が回復すると期待される

通常原子核密度の下においてもカイラル対称性の部分的な回復が期待される



Vector Meson, ϕ

- 予想される質量の減少

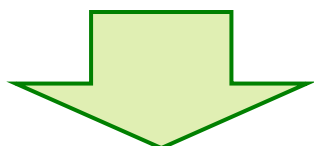
→ $20\text{-}40\text{MeV}/c^2$ @ $\rho=\rho_0$

- 狭い崩壊幅 ($\Gamma=4.3\text{MeV}/c^2$)

→ 質量スペクトラムの変化に敏感

- 小さい崩壊Q値 ($Q_{K+K^-}=32\text{MeV}/c^2$)

→ ϕ 又は K が核物質効果を受けることによって、崩壊比が変化する可能性



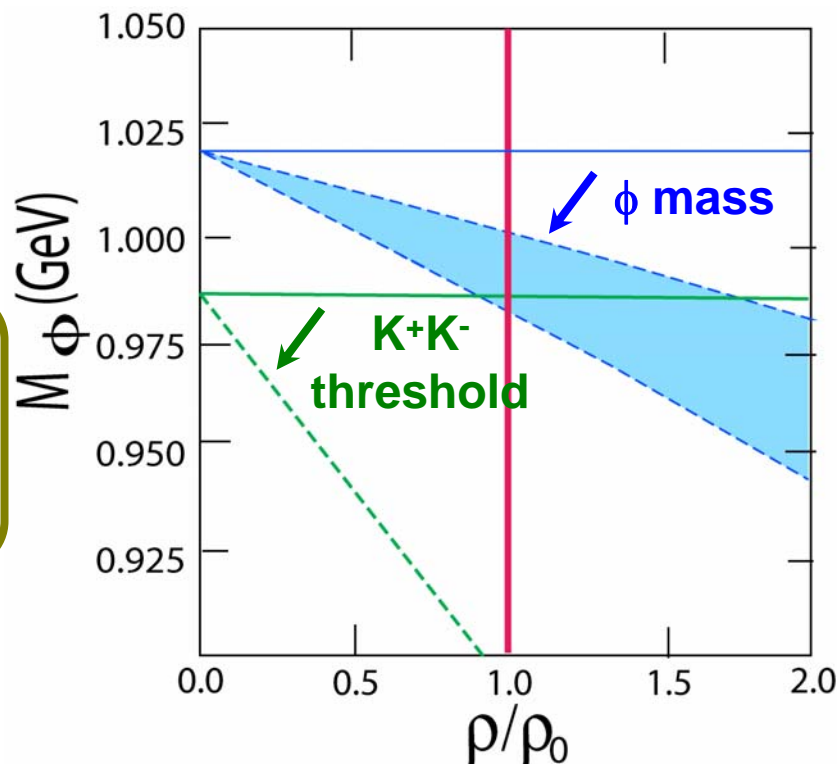
非常に簡単な例として、

■ ϕ の質量が減少

→ $\Gamma_{\phi \rightarrow K+K^-}$ は小さくなる

■ K の質量が減少

→ $\Gamma_{\phi \rightarrow K+K^-}$ は大きくなる



ρ_0 : normal nuclear density

ϕ : *T.Hatsuda, S.H.Lee, Phys. Rev. C46(1992)R34.*

K : *H.Fujii, T.Tatsumi, PTPS 120(1995)289.*

$\Gamma_{\phi \rightarrow K+K^-} / \Gamma_{\phi \rightarrow e^+e^-}$ and Nuclear Mass-Number Dependence α

- $\Gamma_{\phi \rightarrow K+K^-} / \Gamma_{\phi \rightarrow e^+e^-}$ が原子核中で大きくなる場合を考える
→ 測定される $N_{\phi \rightarrow K+K^-} / N_{\phi \rightarrow e^+e^-}$ が大きくなる
- 大きな原子核において、このような効果が大きくなる

$$\sigma(A) = \sigma_0 \times A^\alpha$$

$$\begin{aligned} \Delta\alpha &= \alpha_{\phi \rightarrow K^+K^-} - \alpha_{\phi \rightarrow e^+e^-} \quad (A_1 > A_2) \\ &= \ln \left[\frac{N_{\phi \rightarrow K^+K^-}(A_1)}{N_{\phi \rightarrow e^+e^-}(A_1)} \right] / \ln(A_1/A_2) - \ln \left[\frac{N_{\phi \rightarrow K^+K^-}(A_2)}{N_{\phi \rightarrow e^+e^-}(A_2)} \right] / \ln(A_1/A_2) \end{aligned}$$

- $\alpha_{\phi \rightarrow K+K^-}$ は $\alpha_{\phi \rightarrow e^+e^-}$ より大きくなる
- この α の違いは、遅く動く ϕ 中間子において顕著になる

KEK-PS E325 Experiment

Measurements

12GeV p+A \rightarrow $\rho, \omega, \phi + X$

e^+e^- , K^+K^- の不変質量分布

原子核内で崩壊する確率が大きい
2GeV/c程度の遅い
ベクター中間子を測定

Forward LG Calorimeter

Side LG Calorimeter

Rear LG Calorimeter

Start Timing Counter

Hodoscope

Aerogel Cherenkov

Forward TOF

12GeV proton

B

1m

Vertex DC

Cylindrical DC

Barrel Drift Chamber

Rear Gas Cherenkov

Front Gas Cherenkov

$\rho/\omega \rightarrow e^+e^-$: PRL, C96, 092301 (2006).

$\phi \rightarrow e^+e^-$: nucl-ex/0511019

$\omega, \phi \rightarrow e^+e^-$ の α :

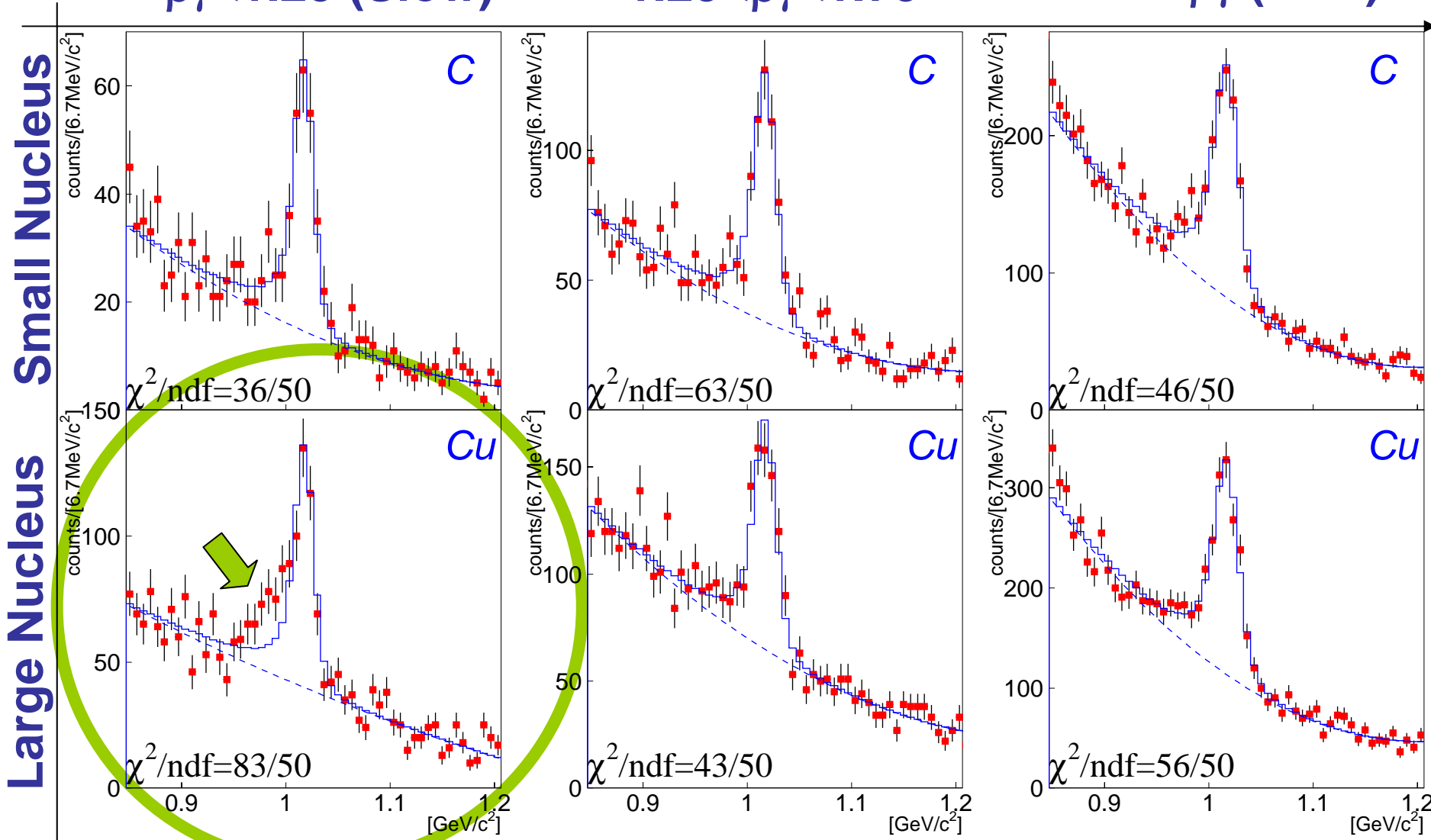
PR, C74, 025201 (2006).

Fitting Results of $\phi \rightarrow e^+e^-$

$\beta\gamma < 1.25$ (Slow)

$1.25 < \beta\gamma < 1.75$

$1.75 < \beta\gamma$ (Fast)



99% C.L.で却下

bg < 1.25, Cuにおいて質量スペクトラムの変化!

Toy Model Calculation

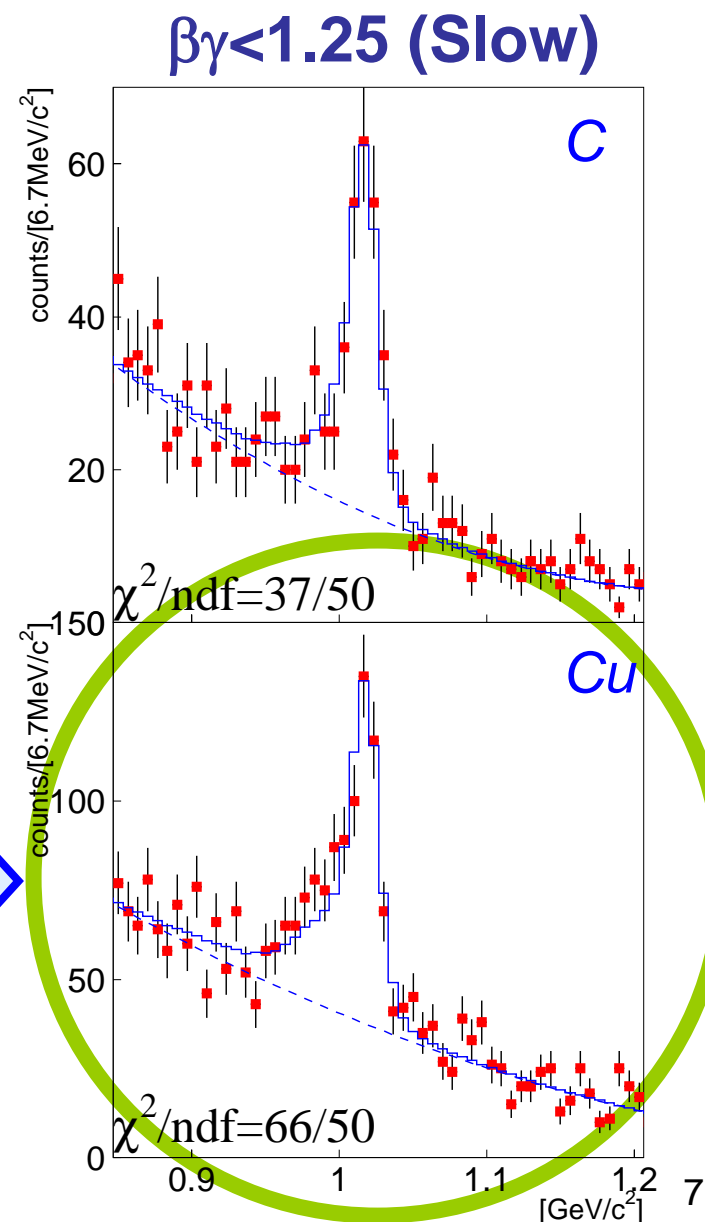
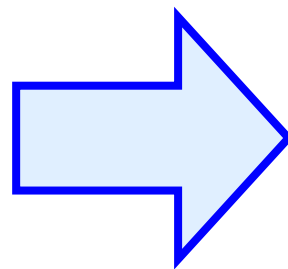
- mass shift: $m^*/m = 1 - k_1 \rho/\rho_0$ (初田-Lee)
- width broadening: $\Gamma^*/\Gamma = 1 + k_2 \rho/\rho_0$
 - e+e-崩壊比は変えていない
- $$\Gamma_{e+e}^*/\Gamma_{\text{tot}}^* = \Gamma_{e+e}/\Gamma_{\text{tot}}$$
- 原子核中で一様に生成
- 原子核密度分布: Woods-Saxon
- 質量スペクトラム: Breit-Wigner

fit結果:

$$m^*/m = 1 - 0.034 \rho/\rho_0$$

$$\Gamma^*/\Gamma = 1 + 2.6 \rho/\rho_0$$

詳細な結果は [nucl-ex/0511019](https://arxiv.org/abs/nucl-ex/0511019)

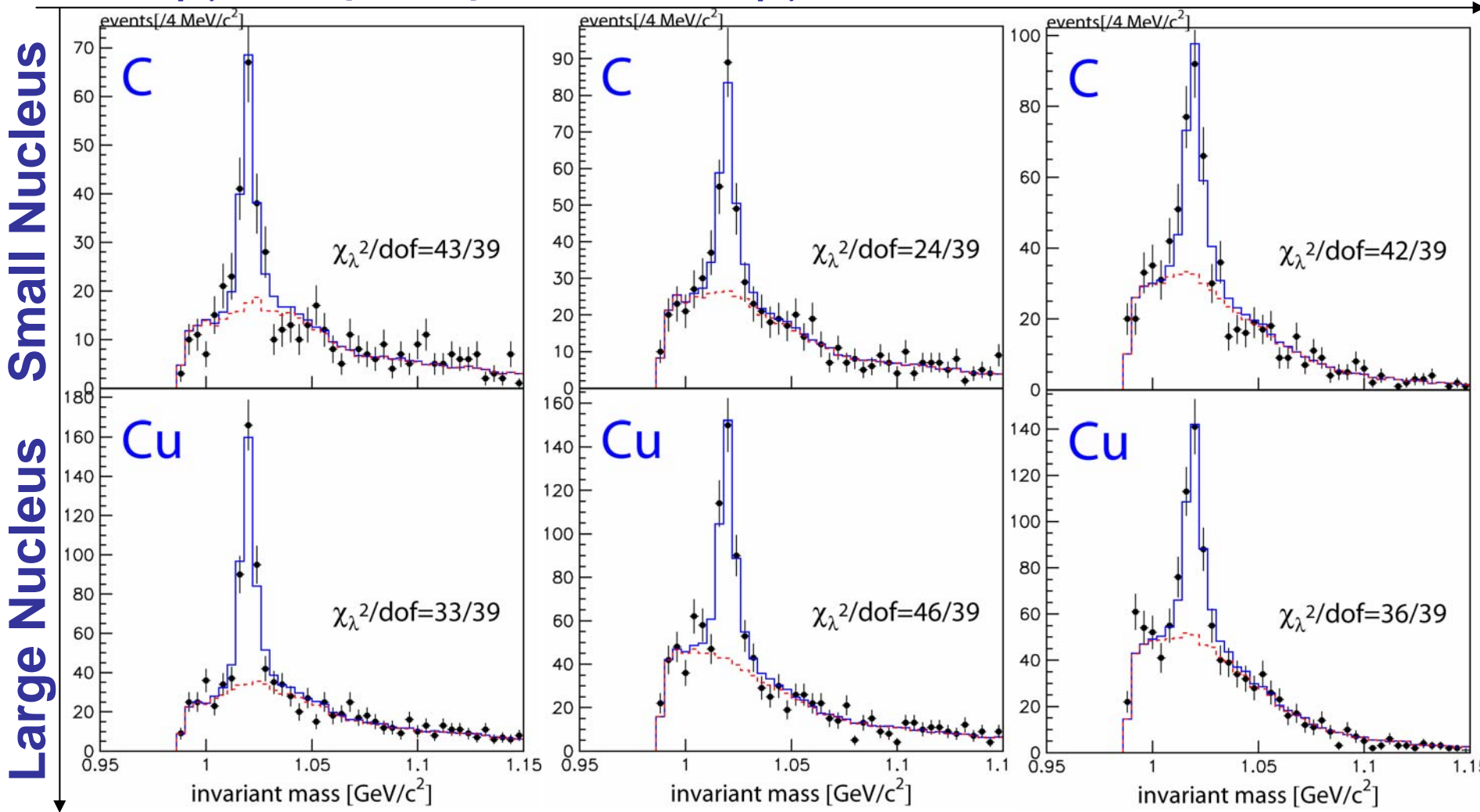


Fitting Results of $\phi \rightarrow K^+K^-$

$\beta\gamma < 1.7$ (Slow)

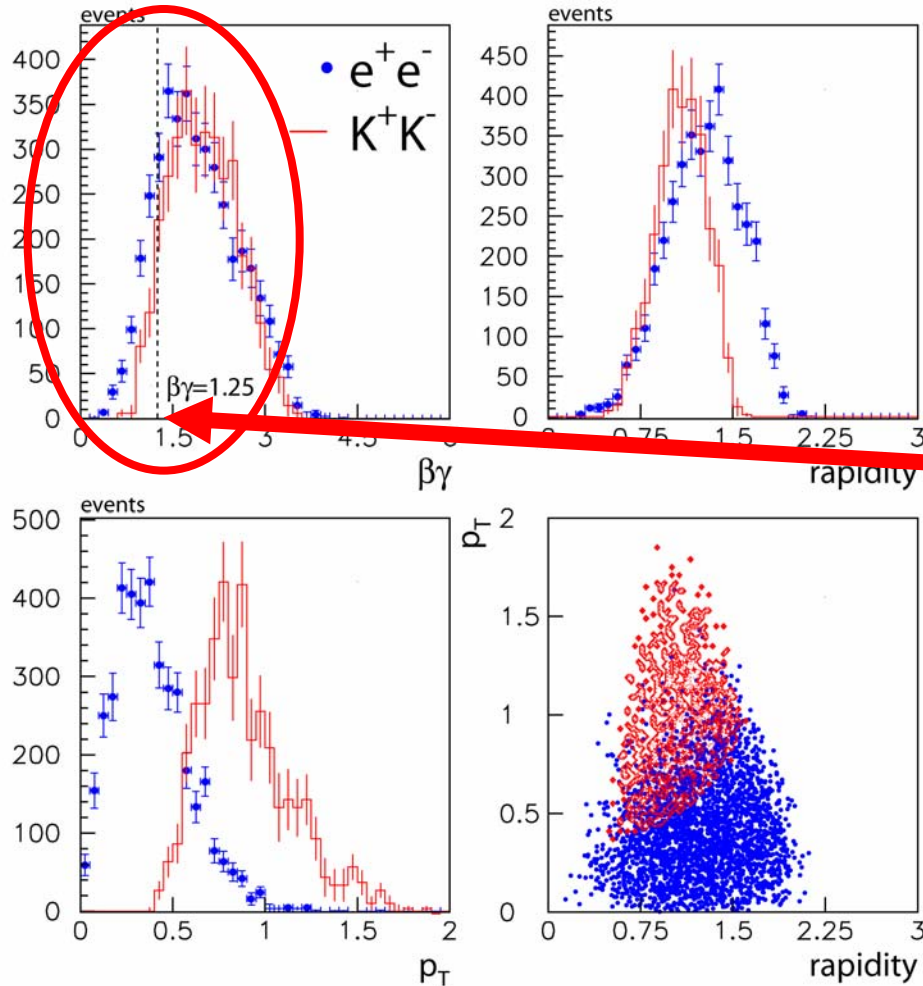
$1.7 < \beta\gamma < 2.2$

$2.2 < \beta\gamma$ (Fast)



質量スペクトラムの変化は統計的に有意ではない

Kinematical Distributions of observed ϕ



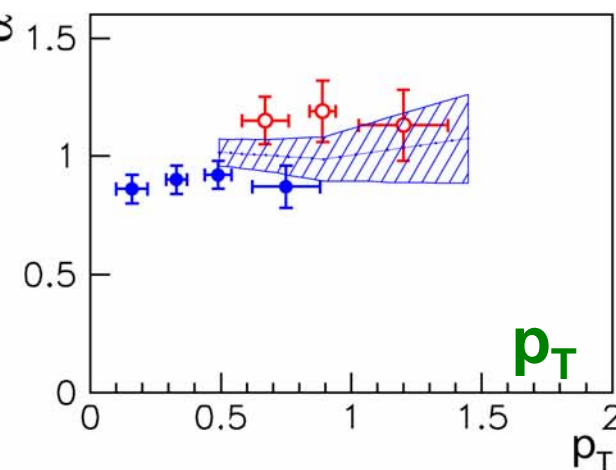
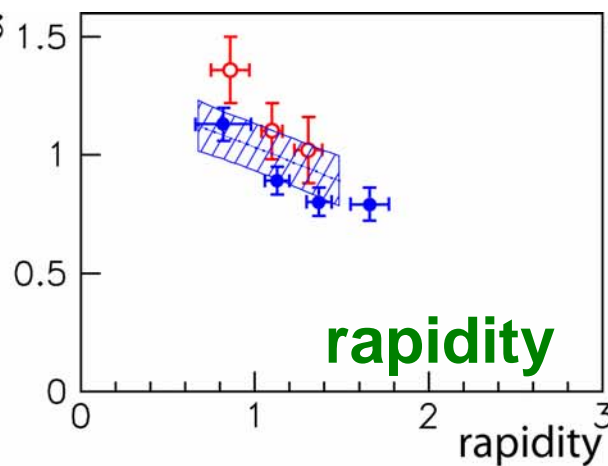
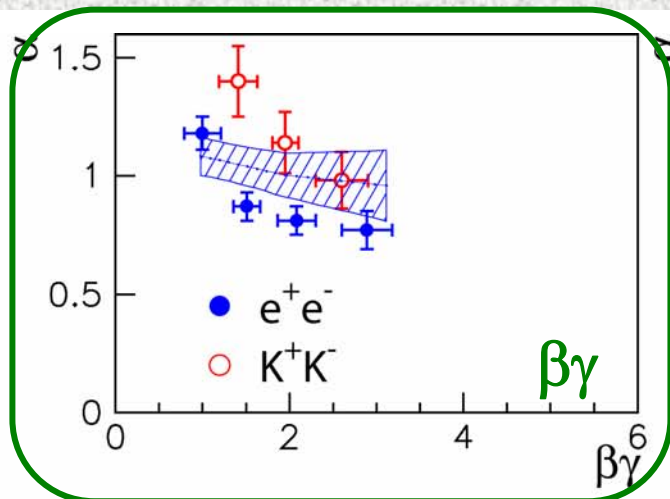
● 検出器のアクセプタンスが e^+e^- と K^+K^- で異なる

● $\phi \rightarrow e^+e^-$ で質量スペクトラムの変化が見られた $\beta\gamma < 1.25$ において、 $\phi \rightarrow K^+K^-$ の統計は非常に限られる

● $\phi \rightarrow K^+K^-$ で変化が見えないことは $\phi \rightarrow e^+e^-$ の結果と矛盾しない

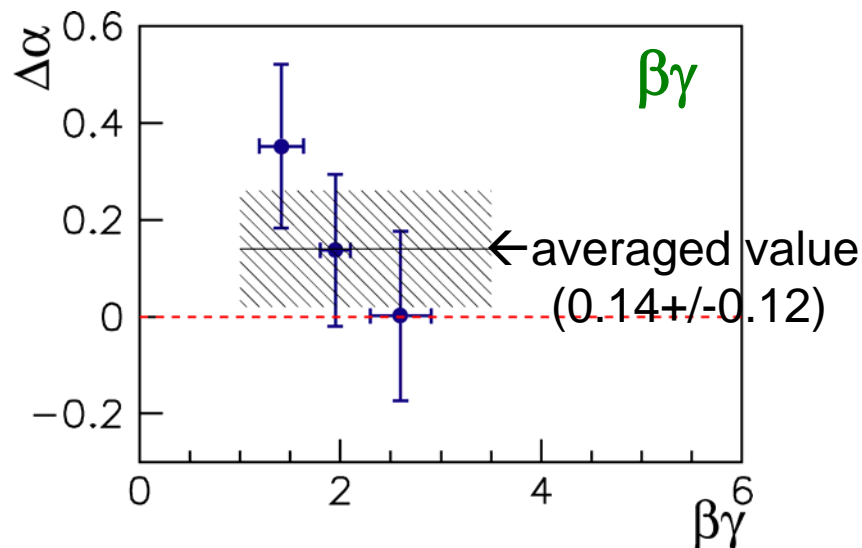
注： $\phi \rightarrow K^+K^-$ は3倍してある

Results of Nuclear Mass-Number Dependence α



= K^+K^- -アクセプタンスへ補正した $\alpha_{e^+e^-}$

$\Delta\alpha = \text{○} - \text{■}$
 K^+K^- - corrected e^+e^-



$\alpha_{\phi \rightarrow K^+K^-}$ と $\alpha_{\phi \rightarrow e^+e^-}$ は統計の範囲で一致

Discussion on $\Gamma_{\phi \rightarrow K+K^-}$ and $\Gamma_{\phi \rightarrow e^+e^-}$

崩壊幅の変化の上限を導く

2つの手法を用いて上限を求めていく

- A) $\Gamma_{\phi \rightarrow K+K^-}$ と $\Gamma_{\phi \rightarrow e^+e^-}$ が核物質中で変化すると、 $\Delta\alpha$ が変化する部分崩壊幅が変化したときの $\Delta\alpha$ の変化を計算し、データ ($\Delta\alpha = 0.14 \pm 0.12$) と比較することにより、 $\Gamma_{\phi \rightarrow K+K^-}^* / \Gamma_{\phi \rightarrow e^+e^-}^*$ の上限を求めることが出来る
- B) e^+e^- のデータが示唆するように、核物質中で Γ_{ϕ} が増えると ϕ 中間子のピークの左側に excess が見えるはずである
K+K⁻ スペクトラムを e^+e^- 解析と同様に解析することにより excess の数の上限値を出し、 Γ_{ϕ}^* の上限を求めることが出来る

理論予言

10倍程度までの broadening
(Klingl, Kaiser & Weise など)

Discussion on $\Gamma_{\phi \rightarrow K+K^-}$ and $\Gamma_{\phi \rightarrow e+e^-}$

- 核内での崩壊幅は密度に比例して変化すると仮定

$$\Gamma_{\phi}^* / \Gamma_{\phi}^0 = 1 + k_{\text{tot}} (\rho / \rho_0),$$

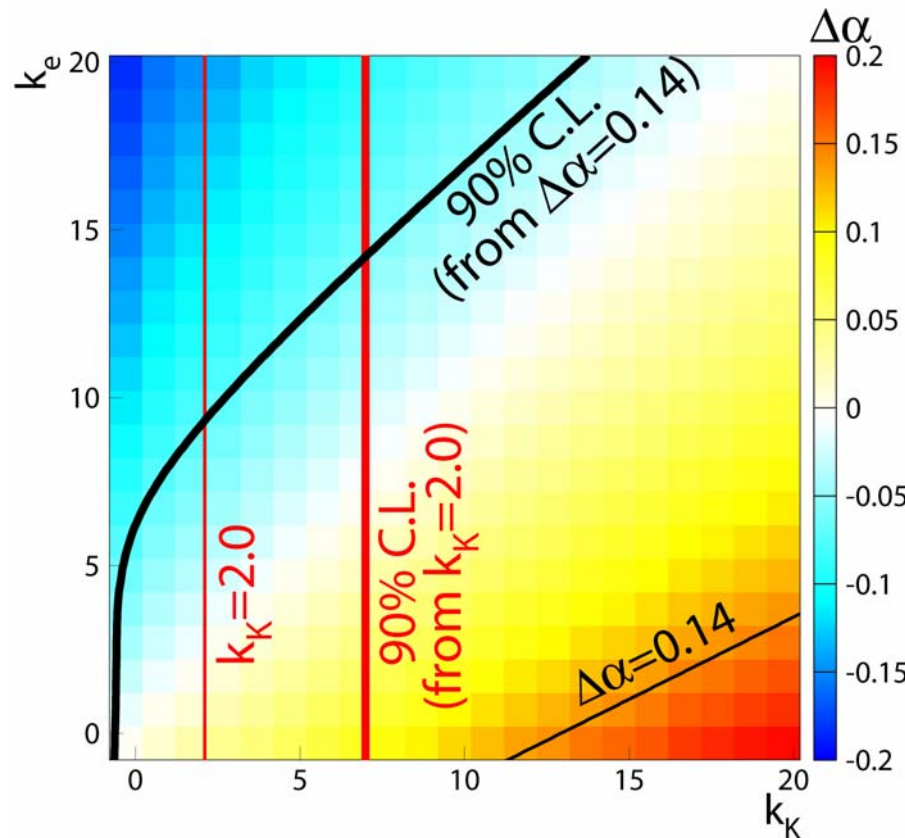
$$\Gamma_{\phi \rightarrow K^+K^-}^* / \Gamma_{\phi \rightarrow K^+K^-}^0 = 1 + k_K (\rho / \rho_0),$$

$$\Gamma_{\phi \rightarrow e^+e^-}^* / \Gamma_{\phi \rightarrow e^+e^-}^0 = 1 + k_e (\rho / \rho_0)$$

- Γ_{ϕ} の変化率が $\Gamma_{\phi \rightarrow K+K^-}$ と等しいと仮定

$$k_{\text{tot}} \simeq k_K$$

- 前述のA),B)により (k_e, k_K) 平面に2本の上限の線を引くことが出来る



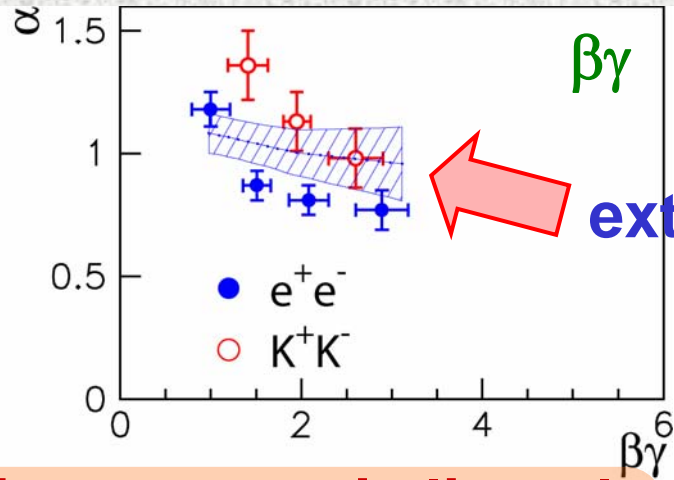
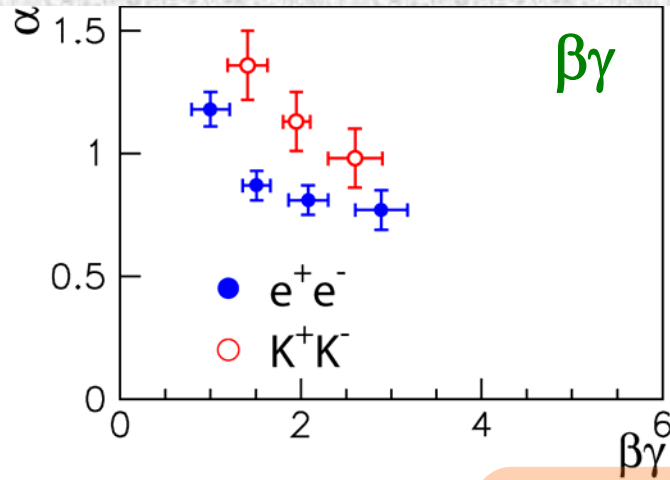
$\Gamma^*/\Gamma < 0$ な領域を除くようにリノーマライズして得た90% C.L.

部分崩壊幅の核物質中でのbroadeningの上限値が、
実験的にはじめて得られた

Summary

- KEK PS-E325は12GeV p+A反応を用いて e^+e^- と K^+K^- 不変質量分布を測定する実験で、通常原子核密度下における中間子質量への核物質効果を検証する目的で行った
- 核物質中での部分崩壊幅の変化は ϕ 中間子生成の e^+e^-/K^+K^- チャンネルにおける原子核依存性の違いとして現れると考えられるが、統計の範囲内で両者は一致する結果が得られた
($\Delta\alpha = \alpha_{\phi \rightarrow K^+K^-} - \alpha_{\phi \rightarrow e^+e^-} = 0.14 \pm 0.12$)
- 得られた $\Delta\alpha$ を基にして、 ϕ 中間子の部分崩壊幅の核物質中でのbroadeningの上限値が、実験的にはじめて得られた

Acceptance Correction for α



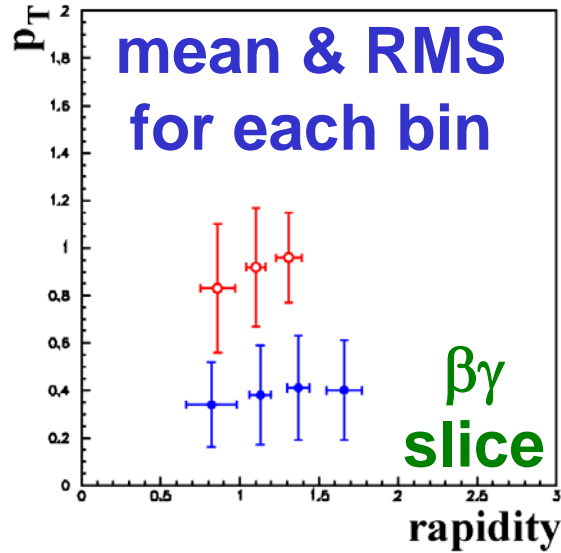
extrapolate $\alpha_{\phi \rightarrow e^+e^-}$ for the kaon acceptance

assumption : $\alpha_{\phi \rightarrow e^+e^-}$ is linearly dependent on the y - p_T plane in our detector acceptance



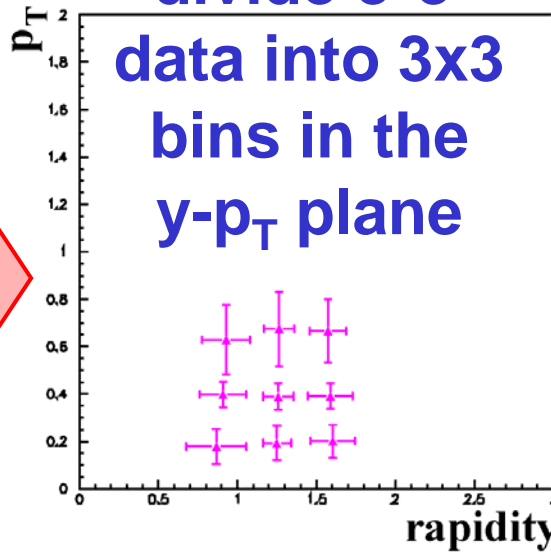
values of

mean & RMS for each bin



divide e^+e^-

data into 3x3 bins in the y - p_T plane



fit the data with the linear function

