

$K_L \rightarrow \pi^\pm e^\mp \nu e^+ e^-$ (Ke3ee)

その物理と崩壊分岐比測定

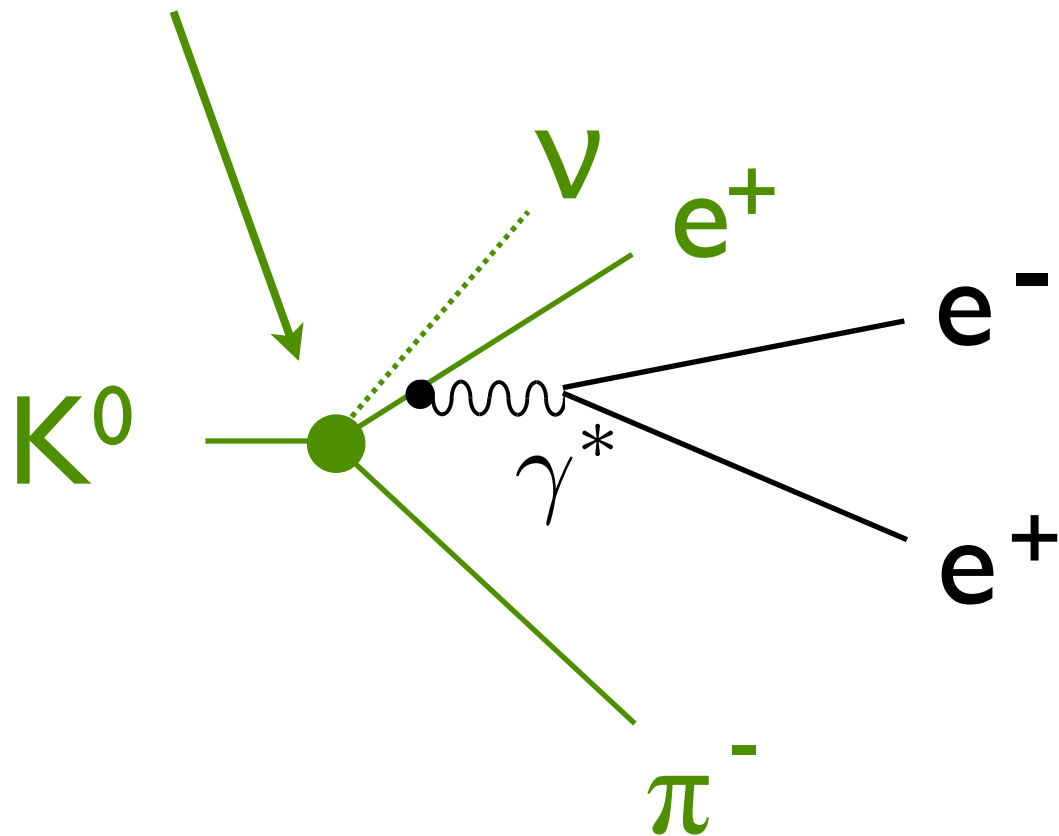
大阪大学理学研究科

山中卓研究室

小寺克茂

Ke3eeの崩壊様式

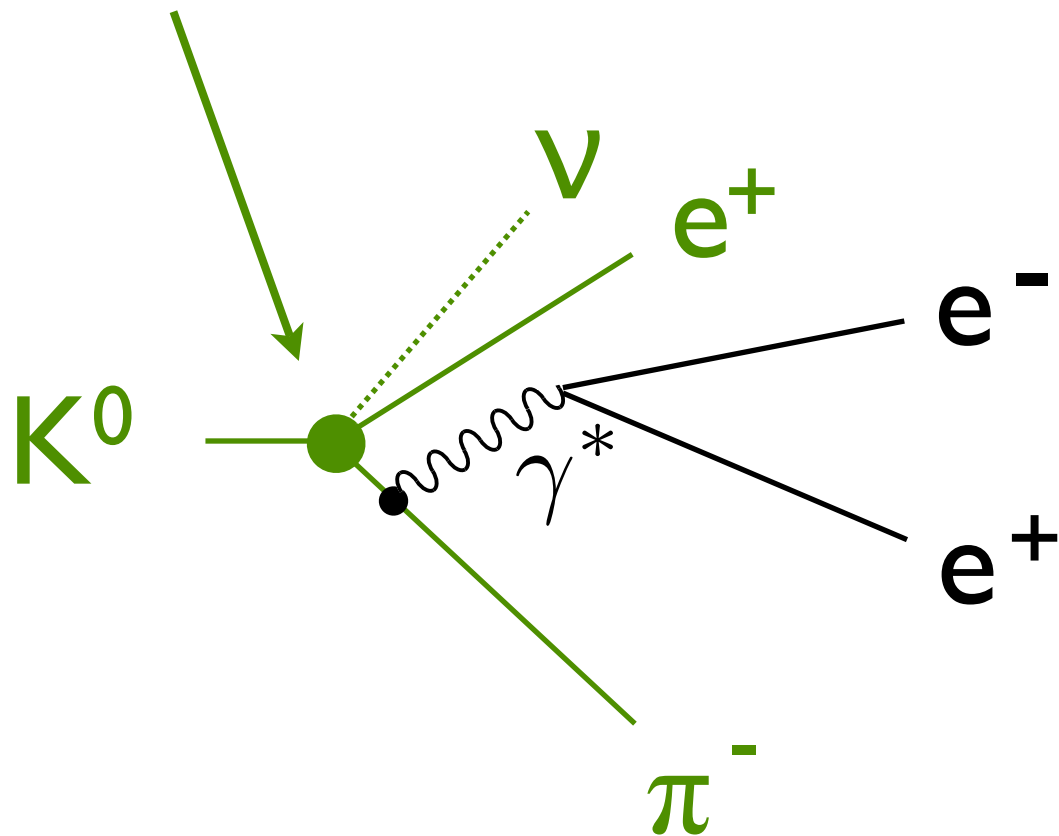
- Ke3 : セミレプトニック崩壊



仮想光子はKe3の荷電外線や崩壊頂点から放出される

Ke3eeの崩壊様式

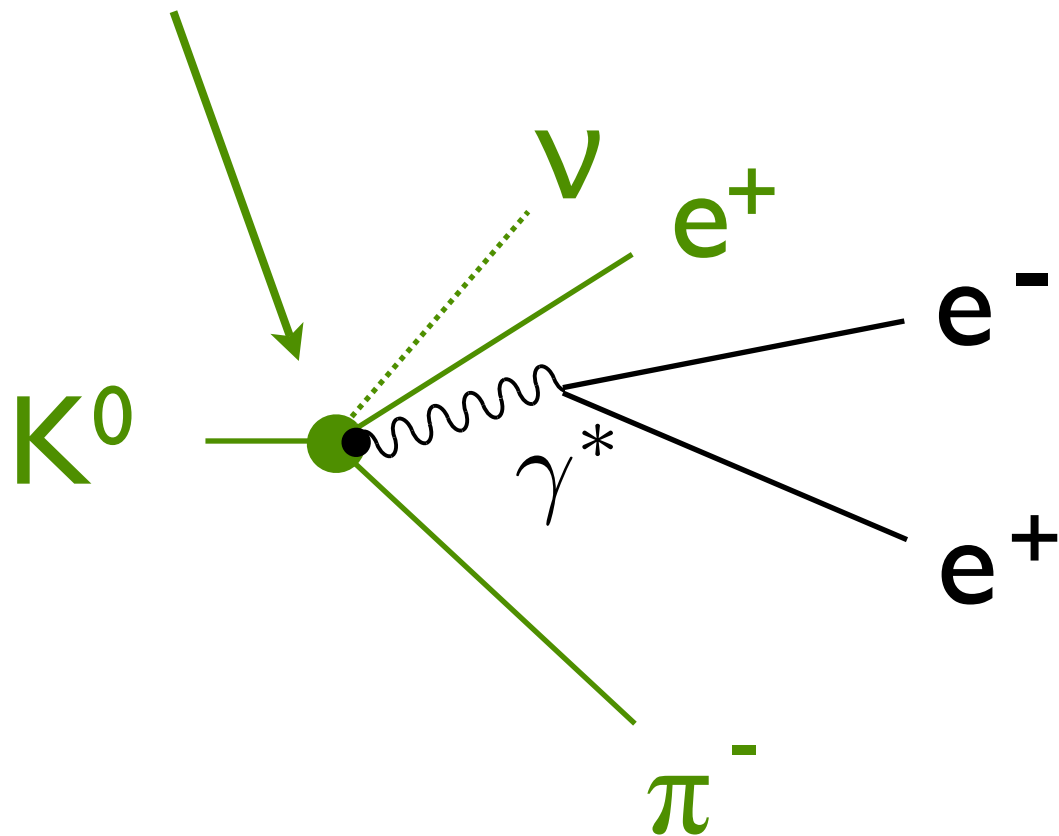
- Ke3 : セミレプトニック崩壊



仮想光子はKe3の荷電外線や崩壊頂点から放出される

Ke3eeの崩壊様式

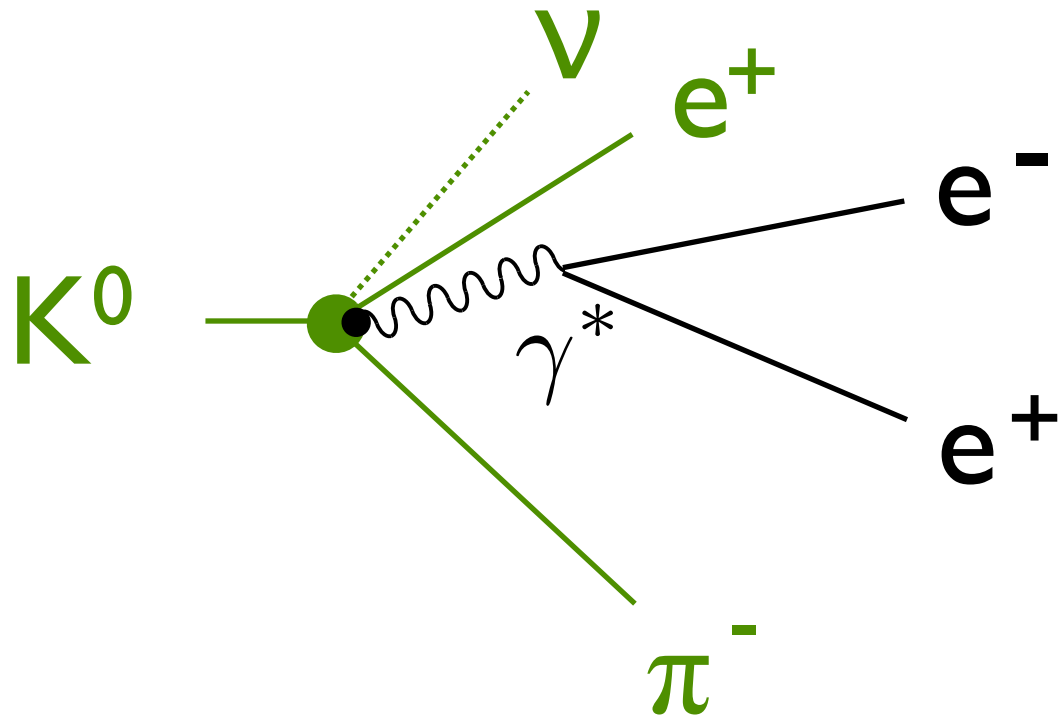
- Ke3 : セミレプトニック崩壊



仮想光子はKe3の荷電外線や崩壊頂点から放出される

本研究の目的

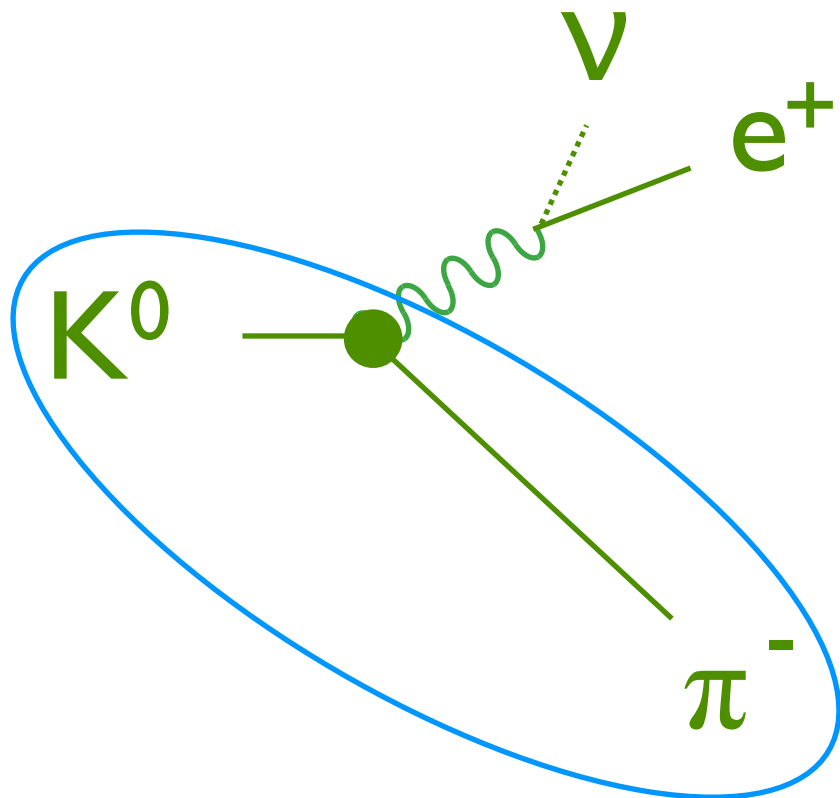
仮想光子 $\gamma^*(\rightarrow e^+e^-)$ を probe として K- π 構造を研究



K- π 構造が
仮想光子のスペ
クトル形状に影
響を与える
($E\gamma^*$, $M_{e^+e^-}$, ...)

なぜ K- π Current か？

低エネルギー-QCD が支配 \rightarrow 厳密解を得られない。



現象の再現

\rightarrow 理論の検証

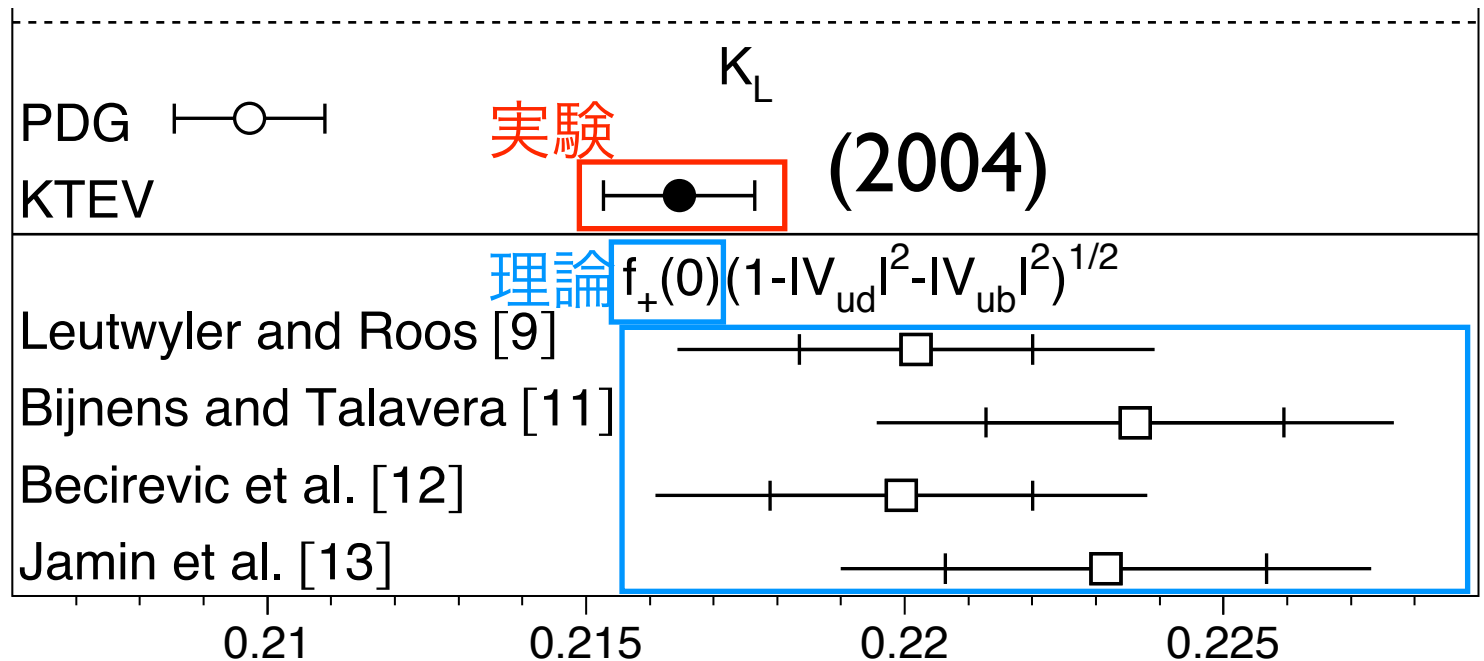
長い歴史を

持つが未だ発展途上

なぜ K- π Current か？

- Chiral Perturb.Th.(運動量²で展開) \rightarrow Ke3: $O(p^6)$
 - \rightarrow 究極的には QCD の検証
 - 実験はこのオーダーの評価に達していない

- $|V_{us}|f_+(0)$
 - \uparrow CKM行列要素



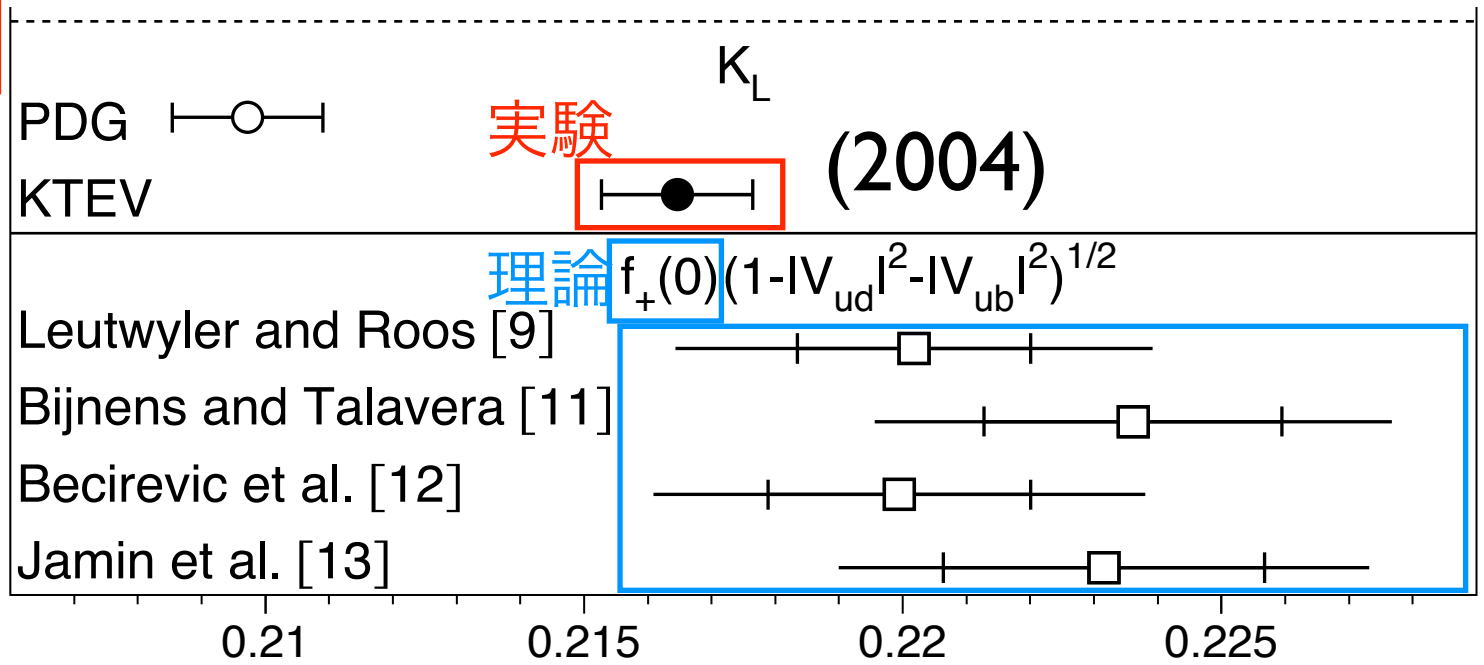
なぜ K- π Current か？

Ex

- Chiral Perturbation Theory (展開) \rightarrow Ke3:0(p^6)
 - 究極的検証 (評価に達していない)
 - 実験

Ke3 崩壊幅の測定値から

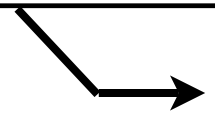
• $|V_{us}|f_+(0)$



なぜ K- π Current か？

Ex

- Chiral Perturbation Theory



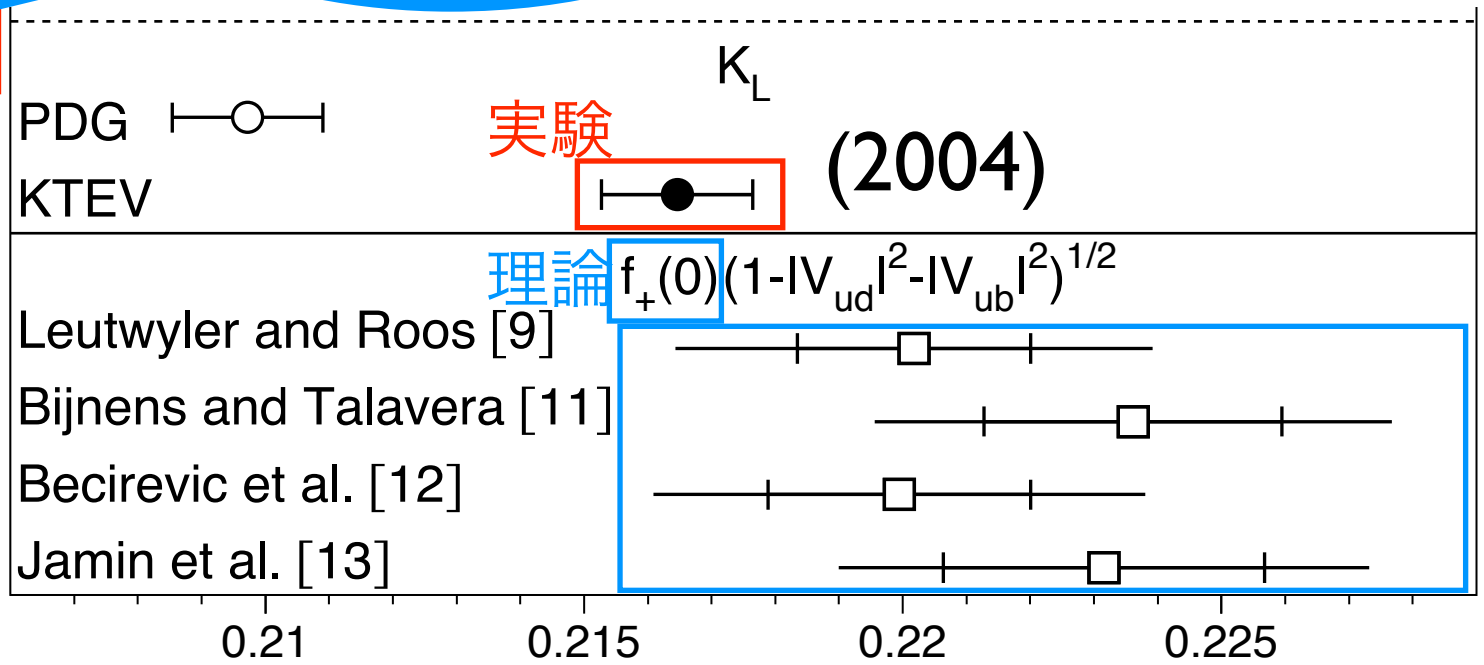
究極に
実験

現象論的に
K- π 構造を表す
(form factor)
理論から

(開) \rightarrow Ke3:0(p^6)

↑
に達していない

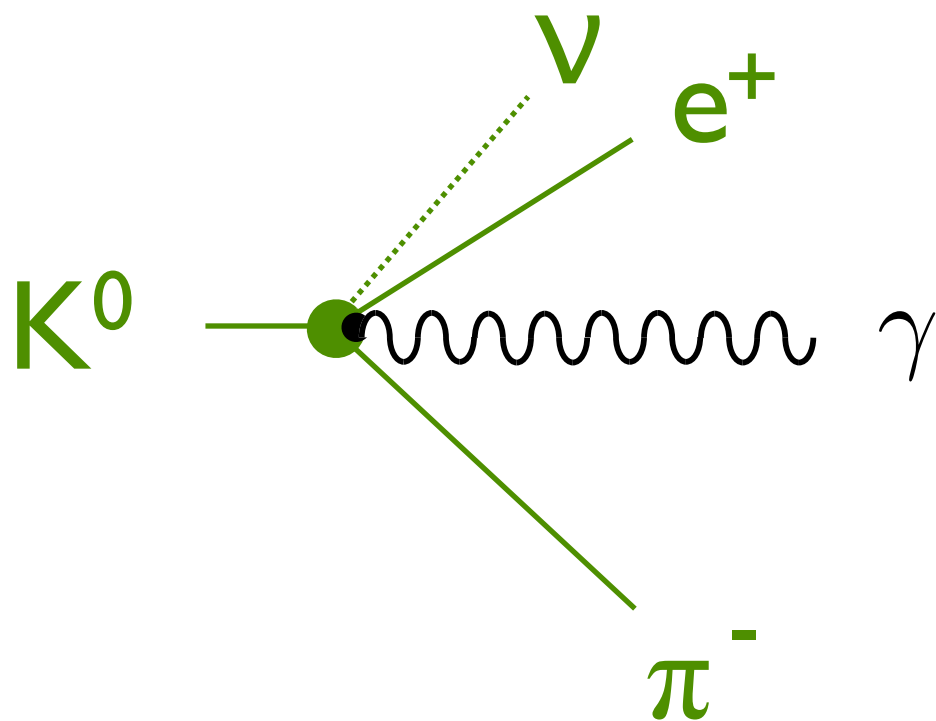
- $|V_{us}|f_+(0)$



仮想光子のメリット

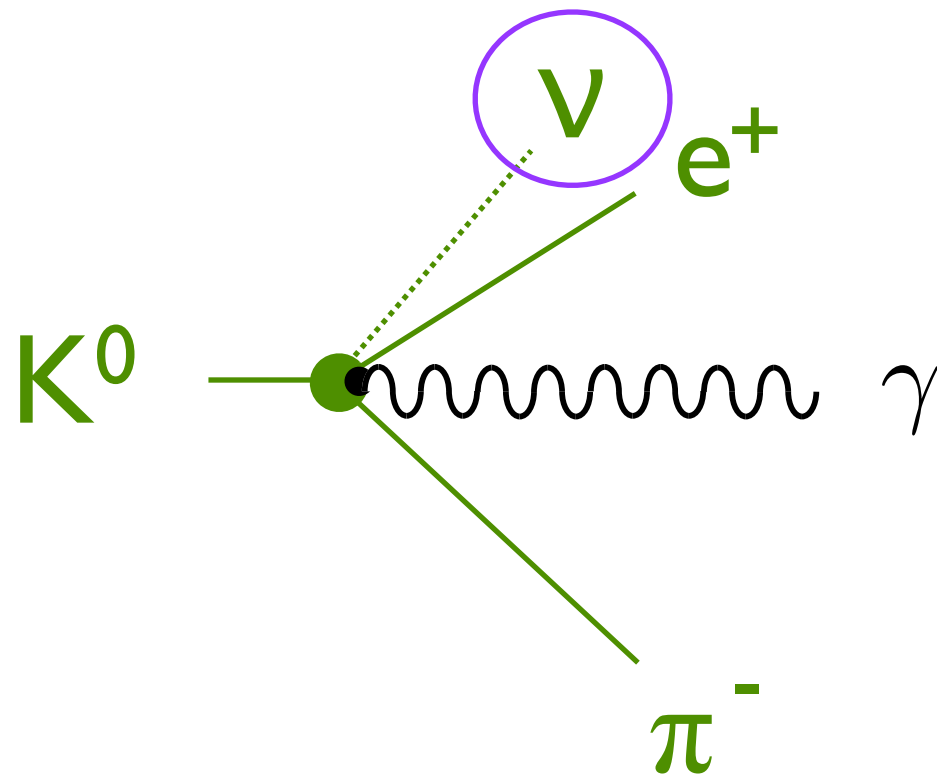
実光子の放出からK- π structure を探る研究

荷電外線の制動放射に
うずもれたわずかな
Structure dependent な
放射を探す



仮想光子のメリット

実光子の放出からK- π structure を探る研究

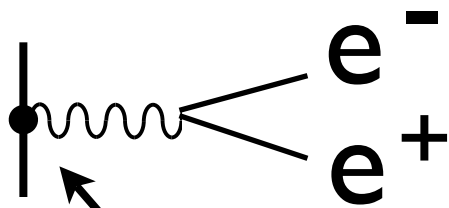


荷電外線の制動放射に
うずもれたわずかな
Structure dependent な
放射を探す

ニュートリノを
観測できないために
CM系光子エネルギー
に不定性 \rightarrow 困難

仮想光子のメリット

不変質量なら不定性なく測定ができる！！



ex.

$$\dots - 2e(p_1 + p_2)^\mu 2L_9 \boxed{q^2} \dots$$

$-q^2 = (Me^+e^-)^2 \neq 0$ によって見える構造が存在

実光子：電磁カロリメータのみの情報



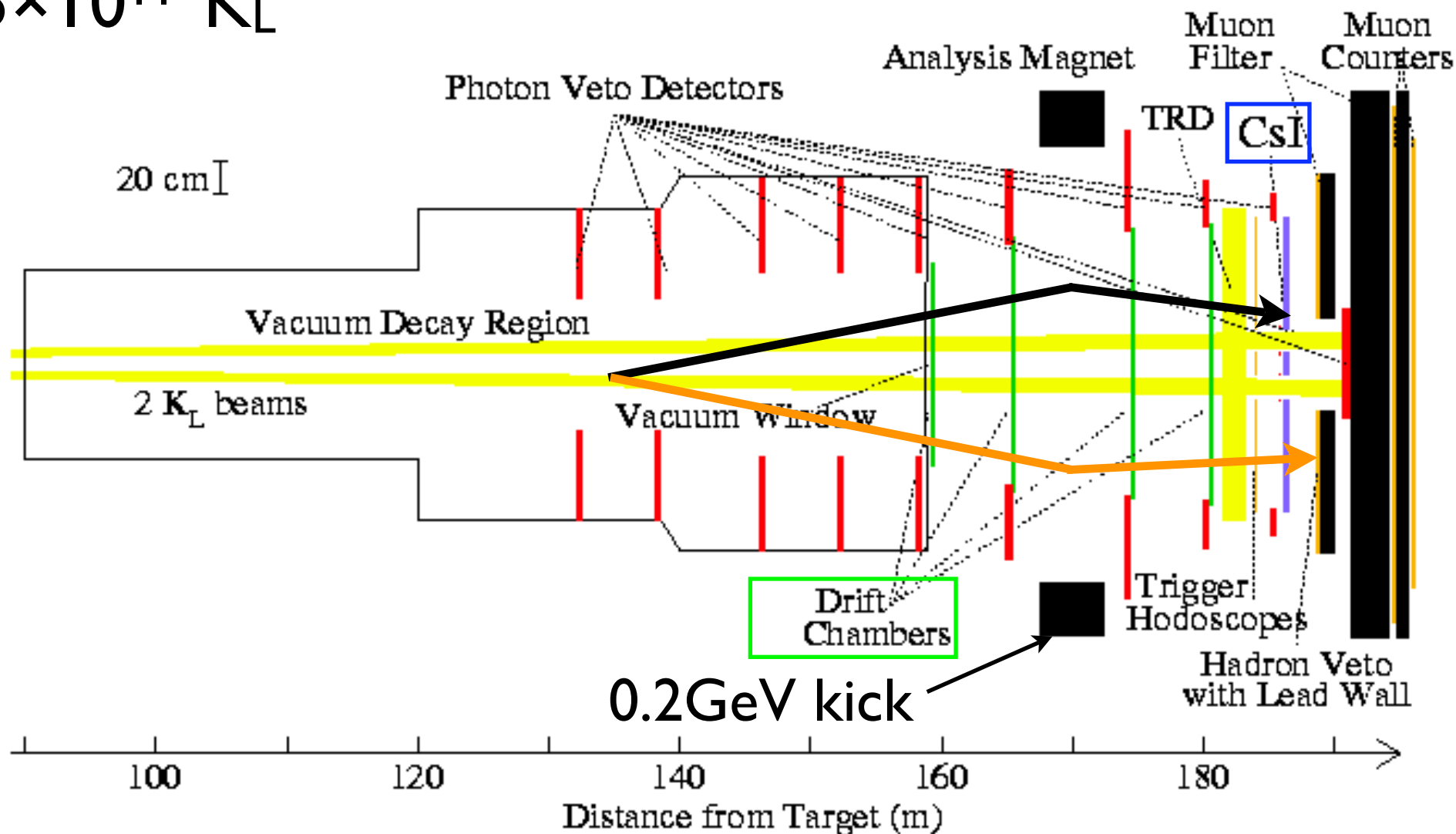
e^+e^- pair：2本のトラッカー情報との組み合わせ

今日の到達点

- $Ke3ee$ を ChPT NLO (p^4) [by Tsuji, osaka U] でどこまで再現できるか？
Data-MC に discrepancy → 高次項に感度？
- $BR(Ke3ee)$ を決定

実験 KTeV experiment

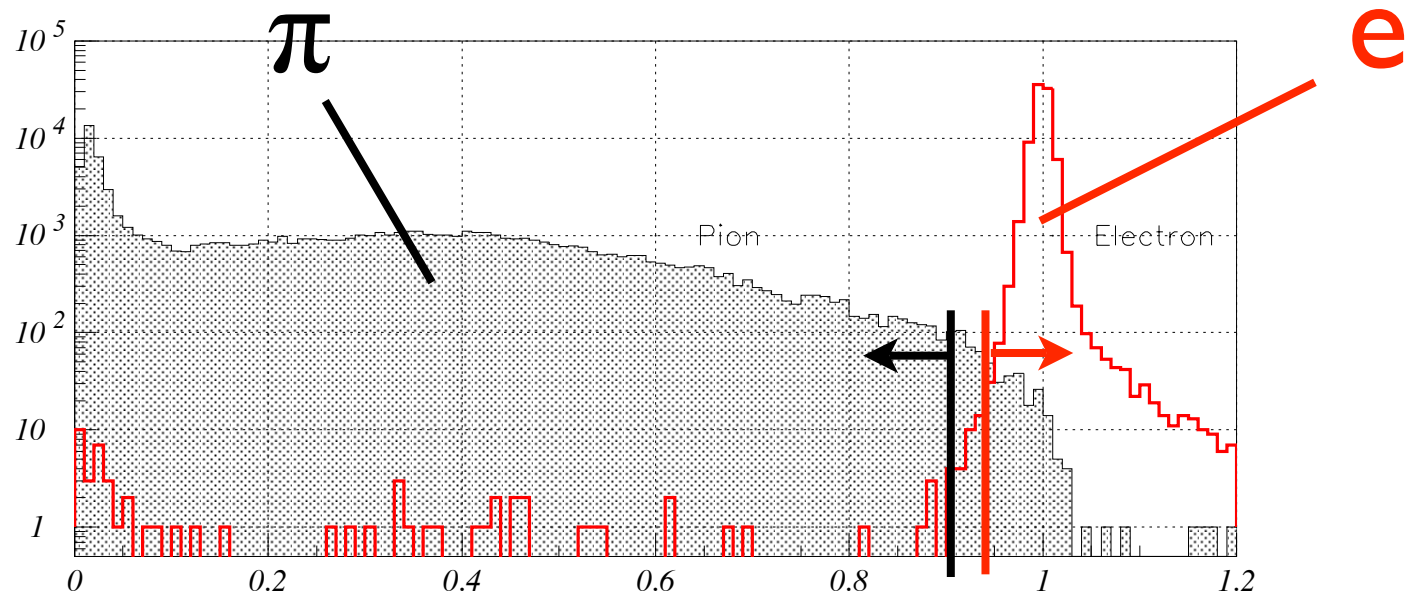
$1.5 \times 10^{11} K_L$



Event selection

- 1) Four track event with good Vertex quality
- 2) PID ($\pi^\pm e^\mp e^+ e^-$)

- E/p



Energy on CsI / Momentum of track

Backgrounds

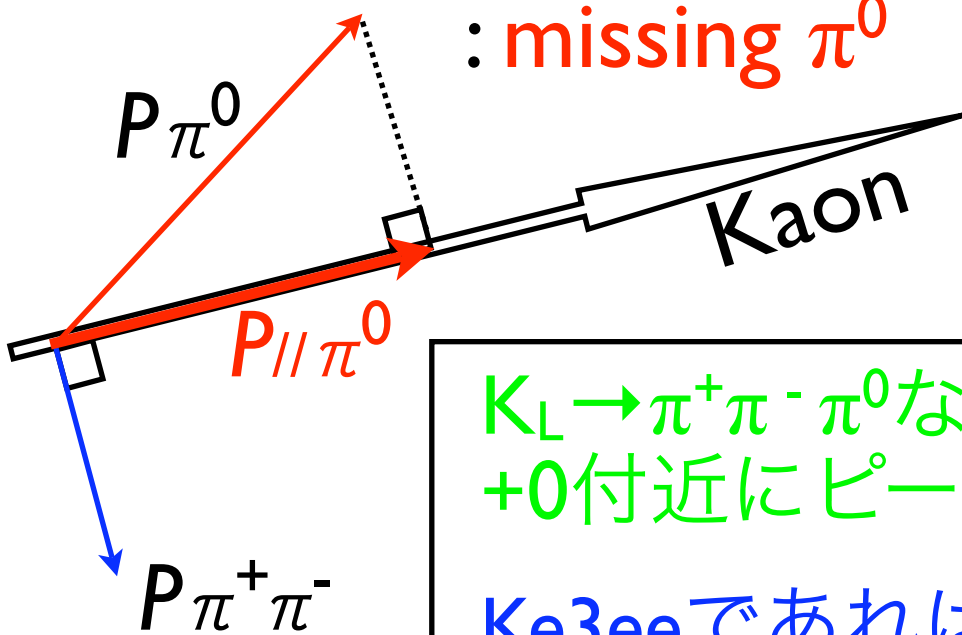
mode	to be acceptable
$K_L \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0_D (\pi^0 \rightarrow e^+ e^- \gamma)$	$\pi^\pm \xrightarrow{\text{fake}} e^\pm$
$K_L \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0_{4e} (\pi^0 \rightarrow e^+ e^- e^+ e^-)$	one π^\pm } one e^\pm } lost
$K_L \rightarrow \pi^\pm e^+ \nu \pi^0_D (\pi^0 \rightarrow e^+ e^- \gamma)$	そのままOK
$K_L \rightarrow \pi^\pm e^+ \nu \gamma (\gamma \rightarrow e^+ e^- / \text{in materials})$	そのままOK

Rejection of $K_L \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0$

$$(P_{\parallel \pi^0})^2$$

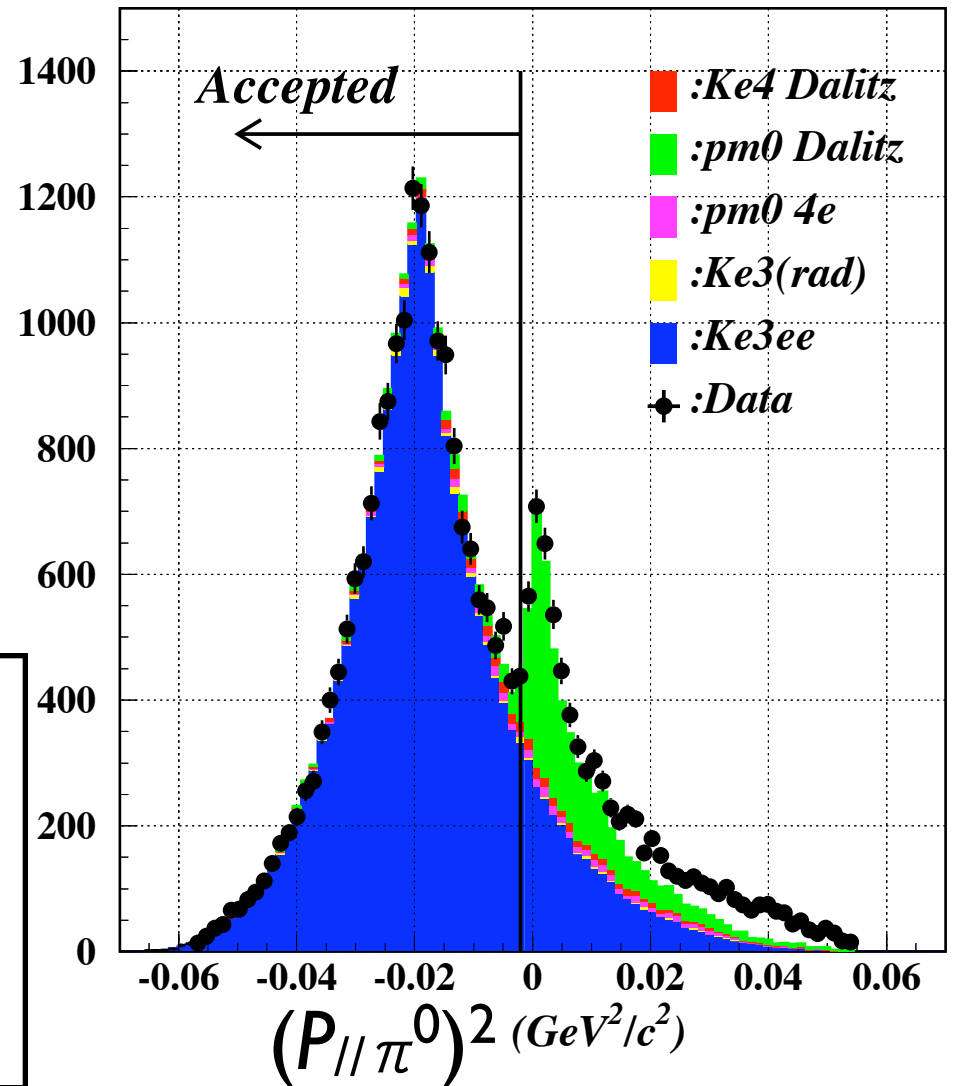
We have $\pi^+ e^- e^+ e^-$

Assuming : $K_L \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0$
 : missing π^0



$K_L \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0$ なら
 +0付近にピーク,

Ke3eeであれば
 非物理領域

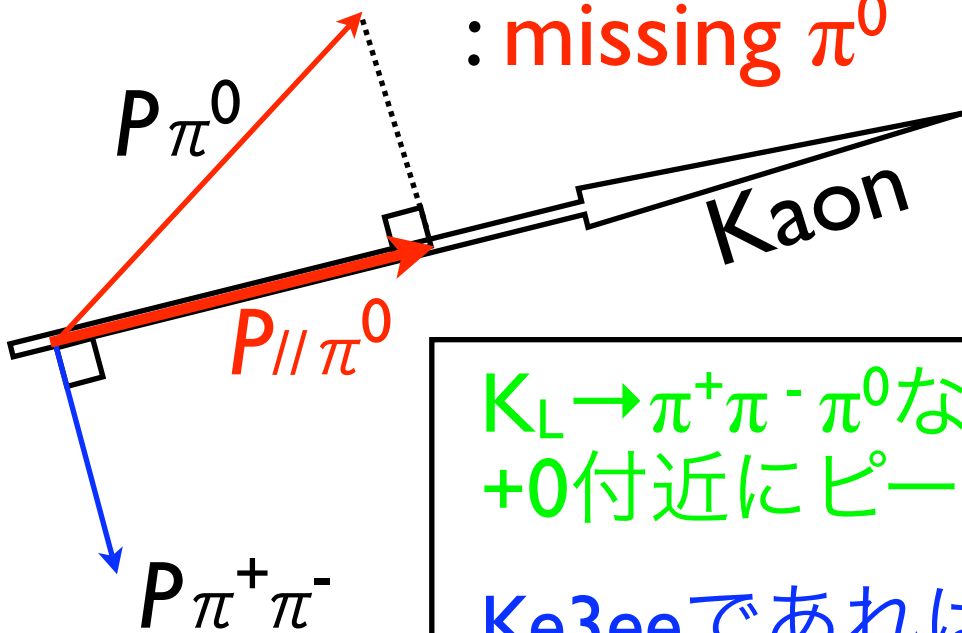


Rejection of $K_L \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0$

$$(P_{\parallel \pi^0})^2$$

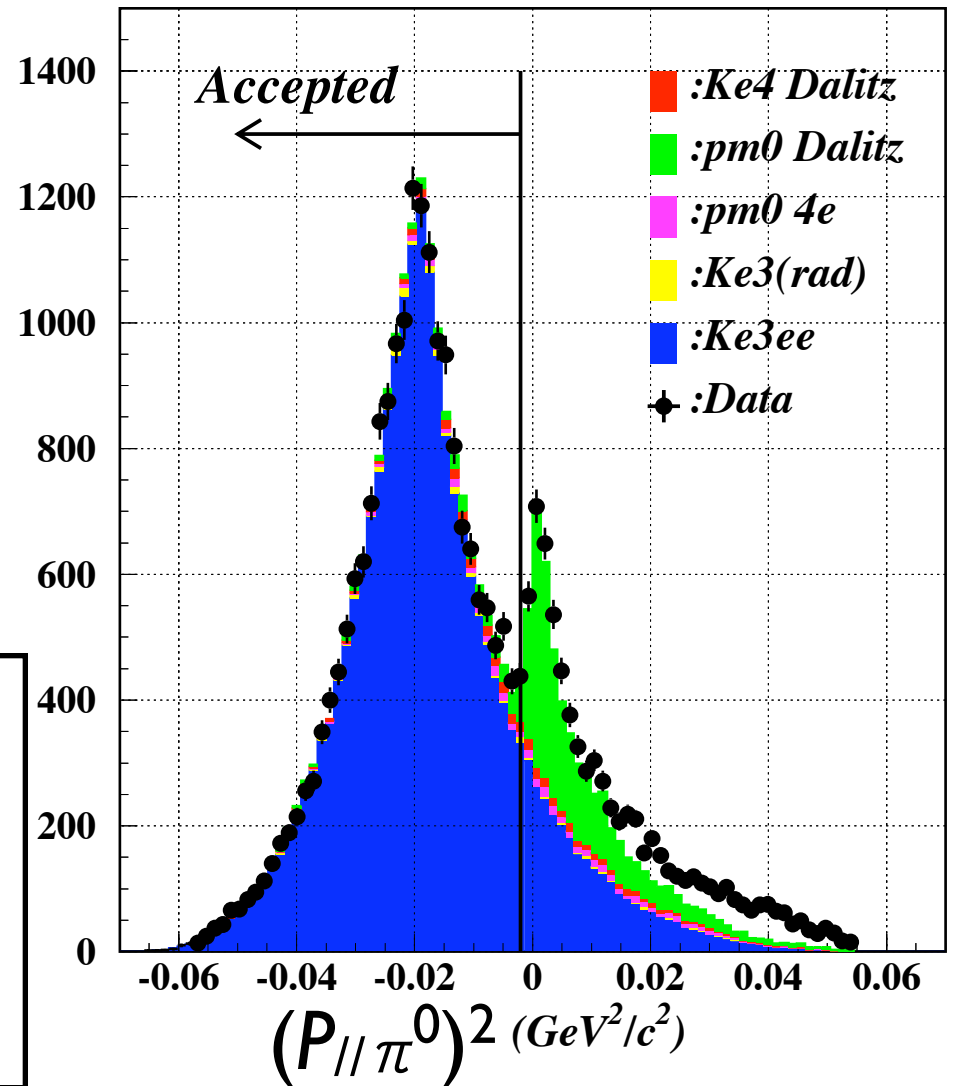
We have $\pi^+ e^-$ ~~$e^+ e^-$~~

Assuming : $K_L \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0$
 : missing π^0



$K_L \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0$ なら
 +0付近にピーク,

Ke3eeであれば
 非物理領域



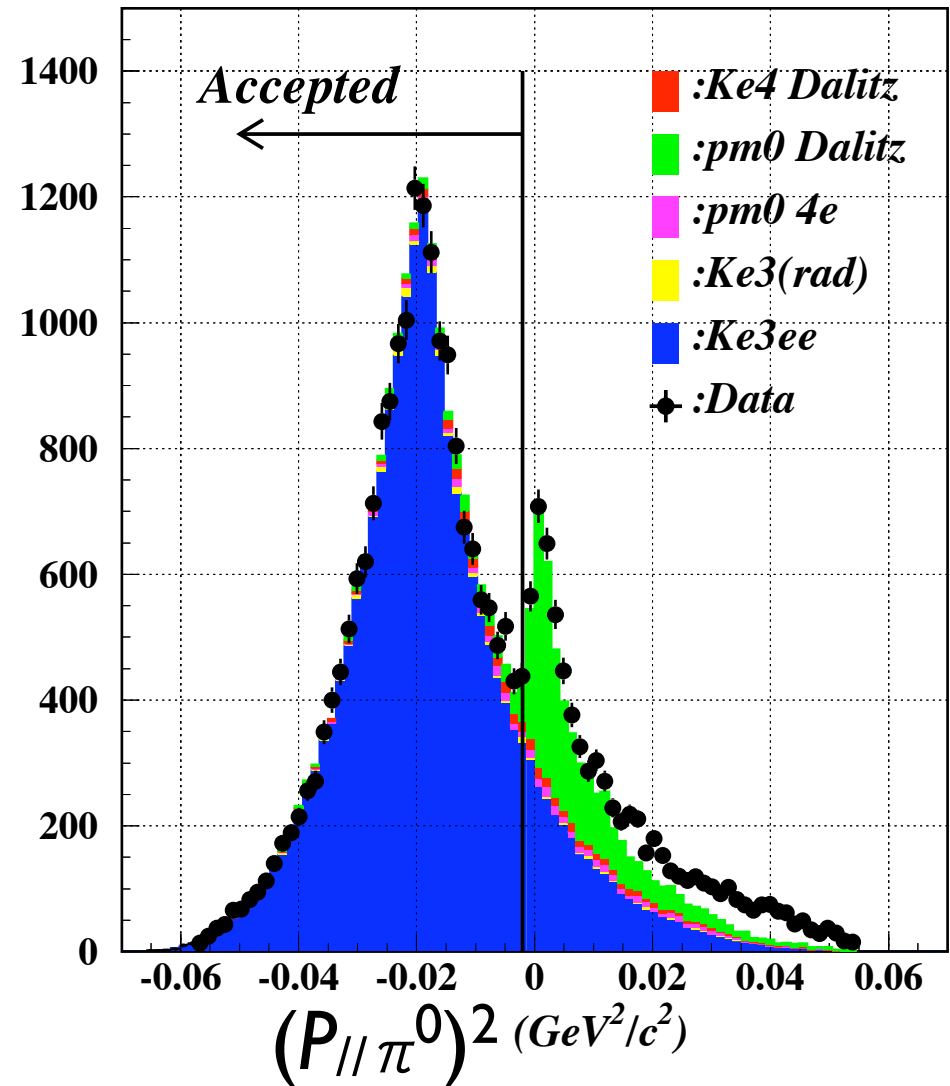
Rejection of $K_L \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0$

$$(P_{\parallel \pi^0})^2$$

$K \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0_D$: 86.6% is rejected

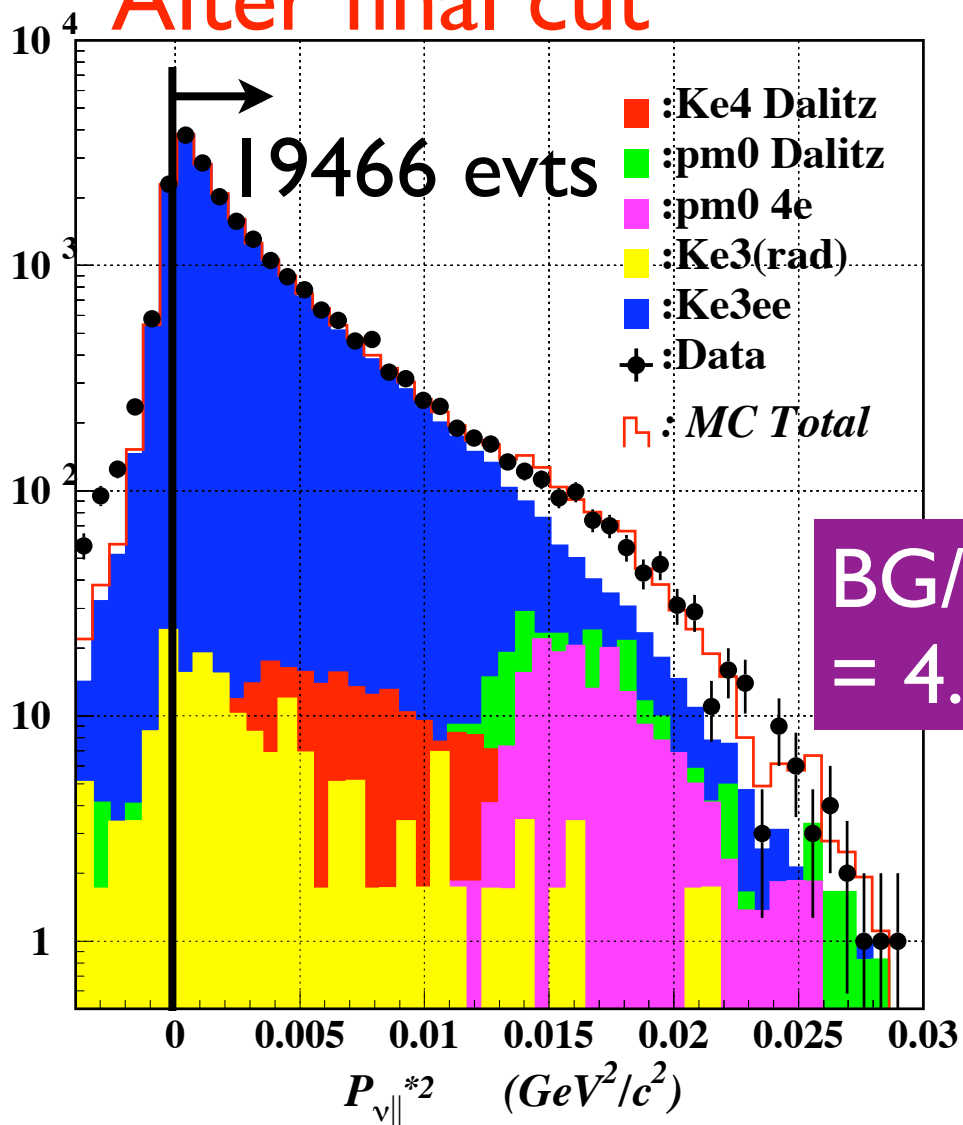
$K \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0_{4e}$: 57.3% is rejected

Ke3ee (signal):
15.6% is lost

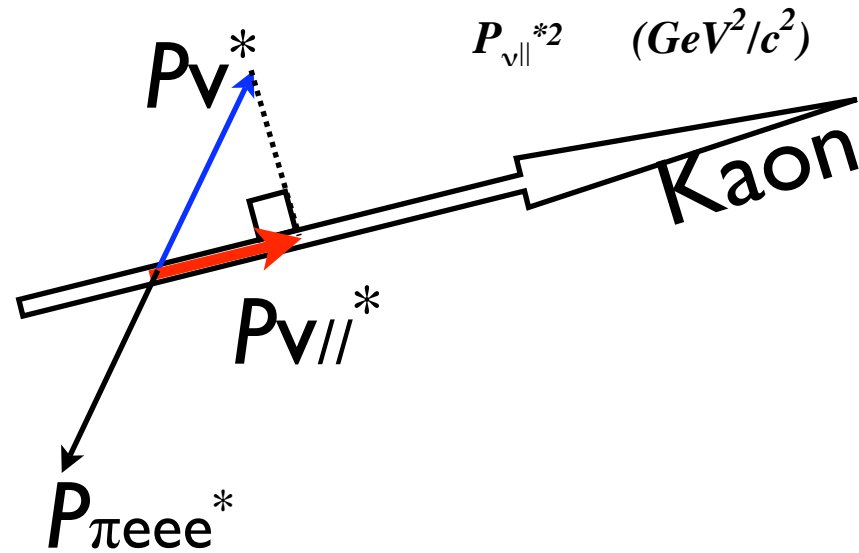
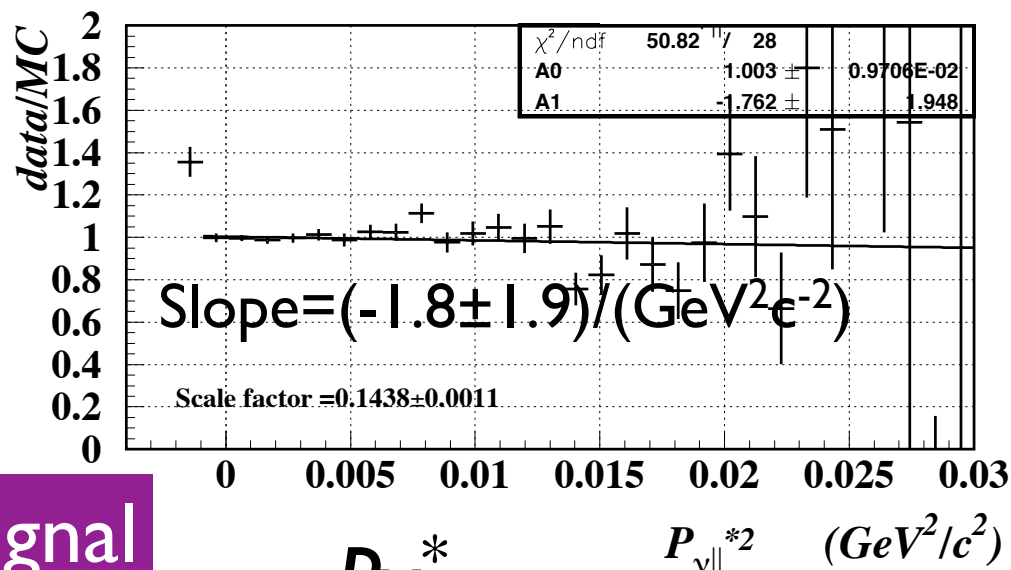


Sq. Longitudinal momentum of neutrino ; $P_{v||}^{*2}$

After final cut



BG/Signal = 4.95%



Normalization mode

$$K_L \rightarrow \pi^+ \pi^- (\pi^0 \rightarrow e^+ e^- \gamma)$$

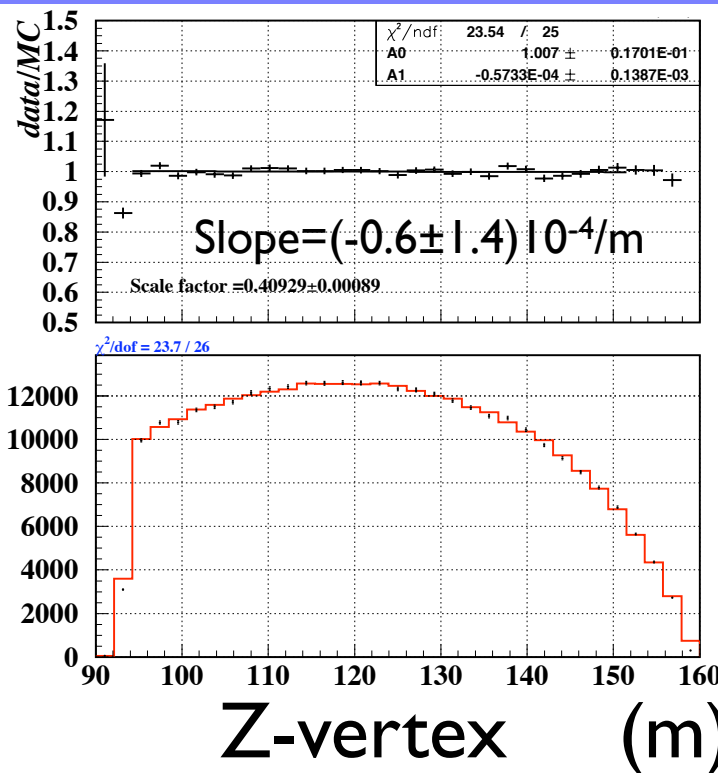
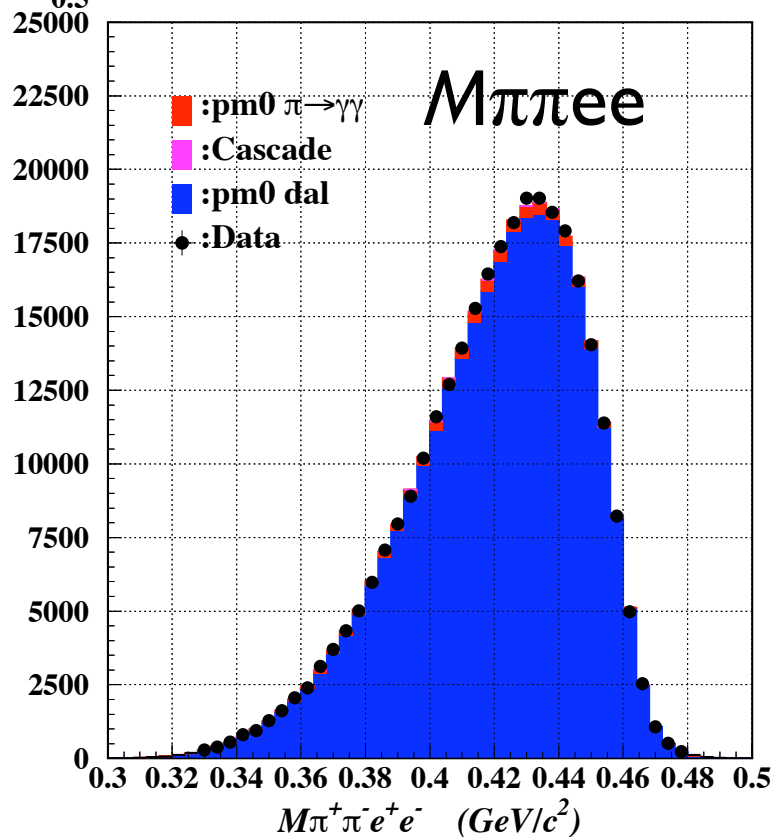
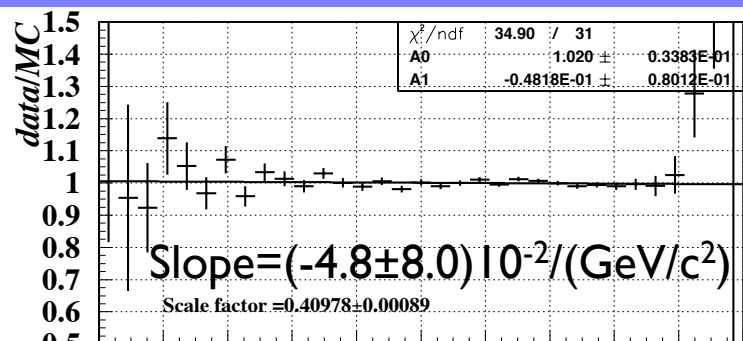
- Main analysis

$\pi^+ \pi^- e^+ e^-$ ignoring γ

- Cross check

$\pi^+ \pi^- e^+ e^- \gamma$ full reconstruction

Normalization mode Data/MC comparisons



MC の E_k 分布は, このモード
で data に対して微調整した

Systematic uncertainties of Branching fraction(%)

Source of uncertainty	(%)
Radiative corrections	+1.00
Photon det. in norm.	+0.83
vertex χ^2	± 0.70
π loss in TRD	± 0.47
E_K distribution	- 0.35
Cut-off M_{ee}	- 0.18
e^\pm ineff. in E/p	± 0.08

Source of uncertainty	(%)
e^\pm ineff. in TRD	± 0.08
π^\pm ineff. in E/p	± 0.03
BG. $Ke3\gamma$	± 0.07
BG. K_{+-0} Dalitz	± 0.04
MC stat. $Ke3ee$	± 0.27
MC stat. BG.	± 0.14
MC stat. Norm.	± 0.12

Total $+1.59$ - 1.00(%)

BR(Ke3ee)

Preliminary

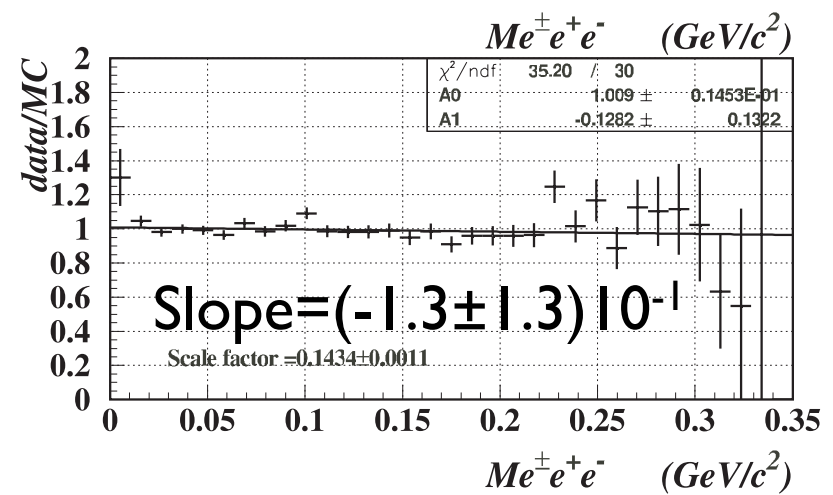
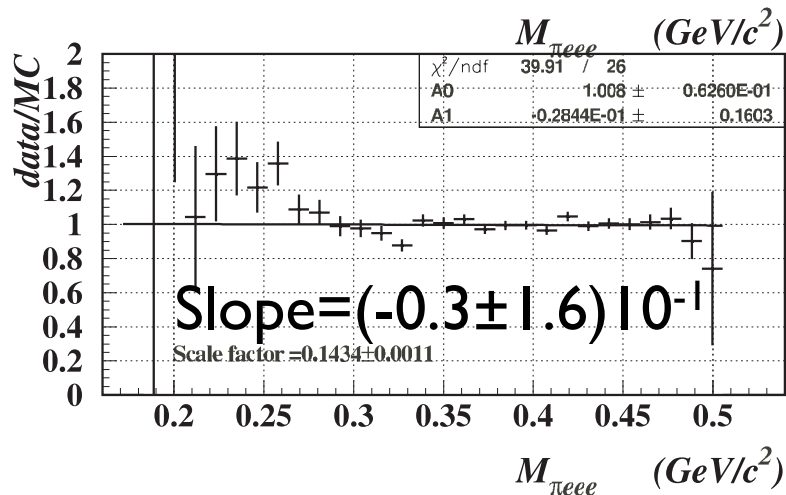
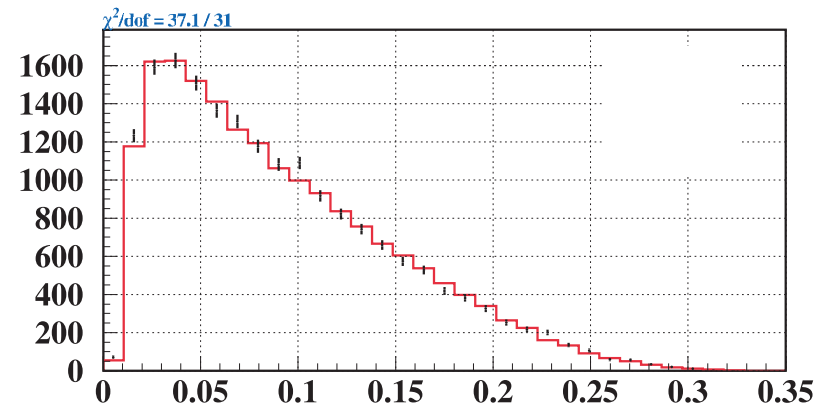
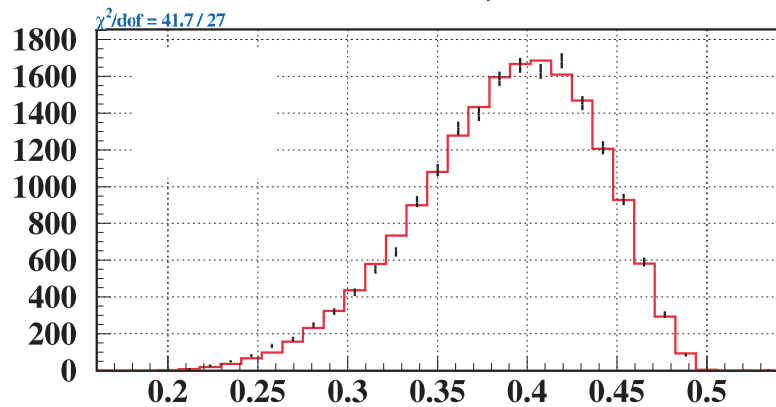
BR(Ke3ee; $M_{e^+e^-} > 0.005 \text{ GeV}/c^2$)

$$= [1.606 \pm 0.012 (\text{stat. signal}) \\ \pm 0.003 (\text{stat. norm.}) \\ +0.026 \\ -0.016 (\text{systematic}) \\ \pm 0.045 (\text{external})] \times 10^{-5}$$

↓
from $BR(K_L \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0_D)$

Study of $K\text{-}\pi$ structure

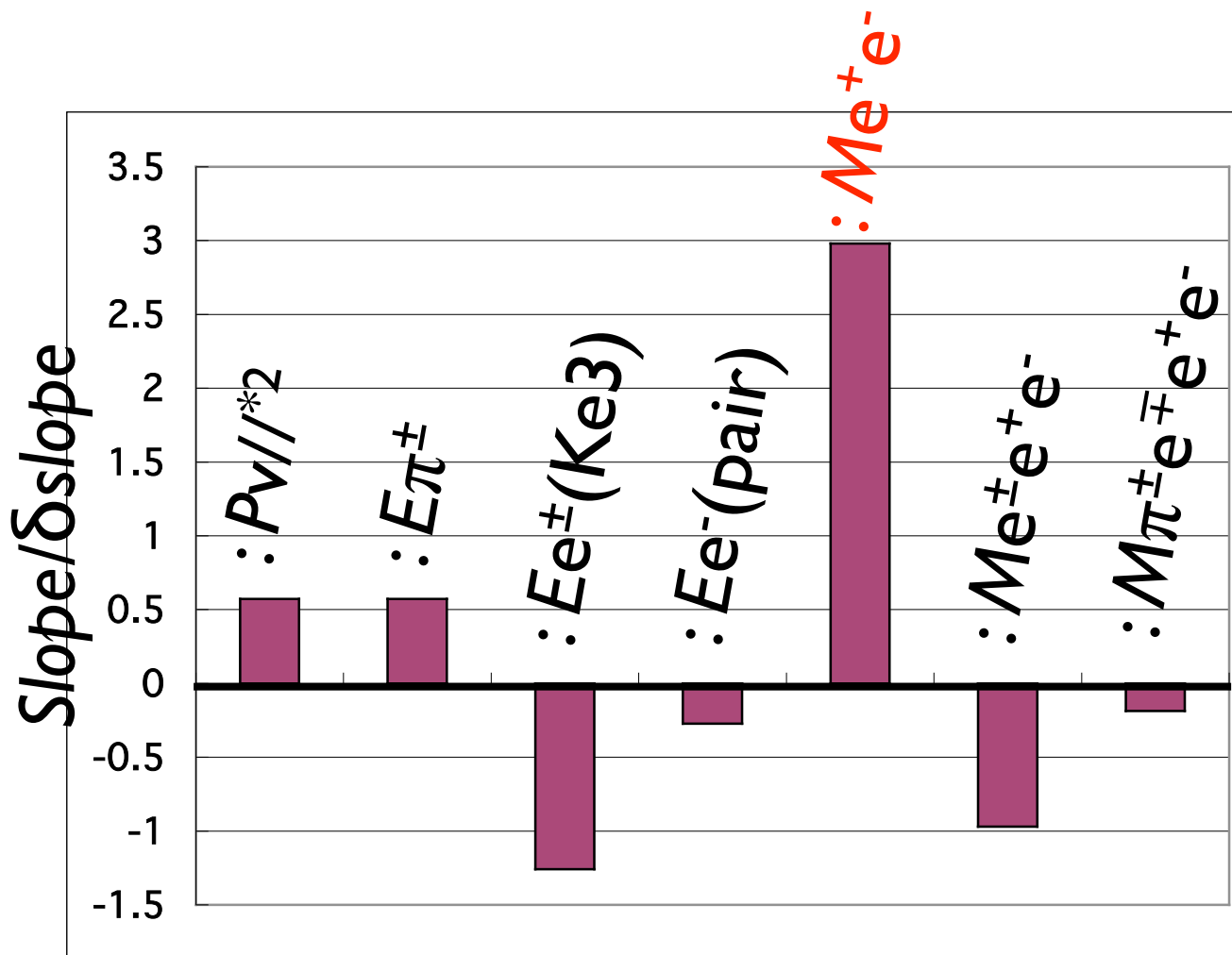
Invariant Mass; $M_{\pi e e e}$, $M_{e e e e}$



ChPT(p^4)は現象をよく再現

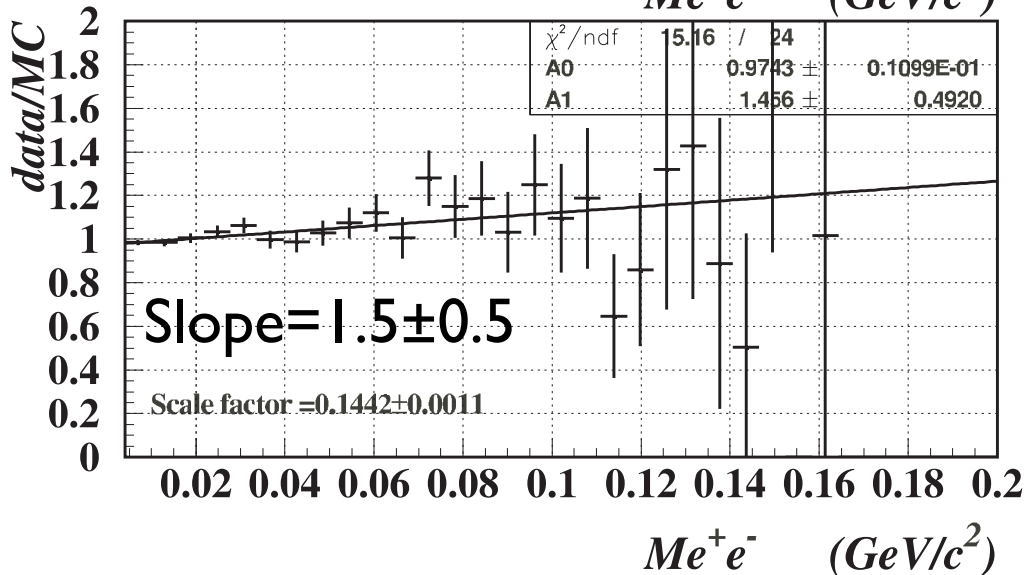
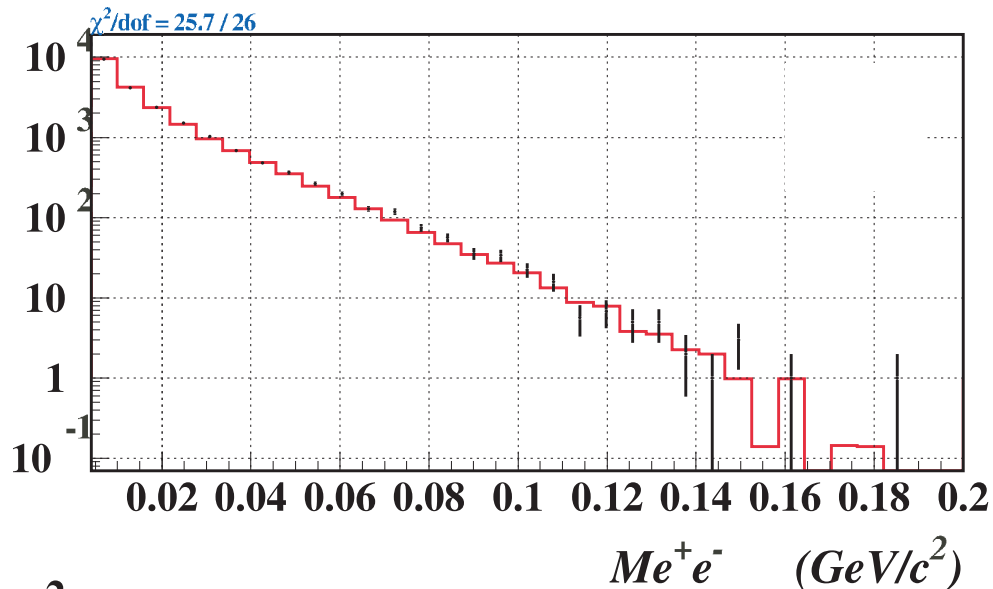
Significance of slopes

M_{ee} が π -e 構造に敏感である可能性を示唆。

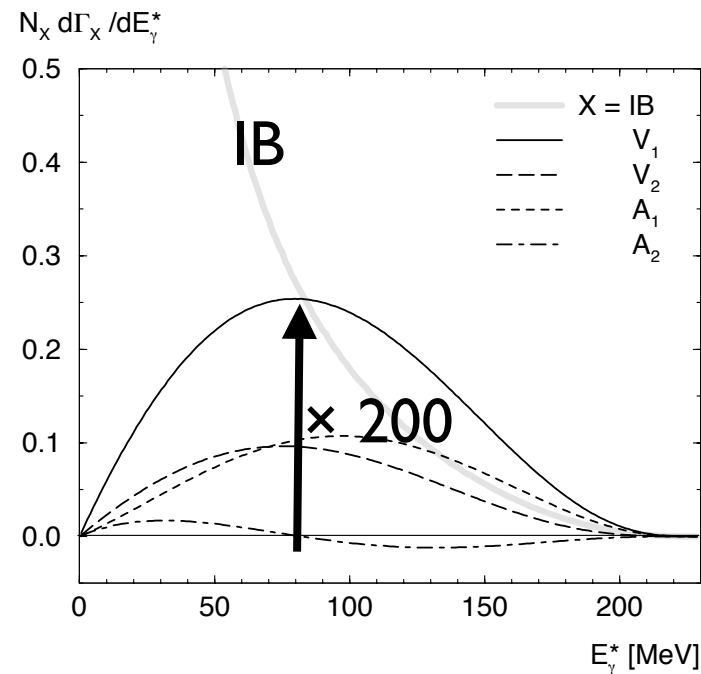


- NLO(p6) 以上の構造 ? or
- Radiative (imaginary) correction ?

Invariant Mass; Me^+e^-



-Only this spectrum has a significant slope



As an example of terms of $E_\gamma(\text{CM})$ of $\text{Ke}3\gamma$ by Gasser et al.

まとめ

Preliminary

- $BR(Ke3ee; Me^+e^- > 0.005 \text{ GeV}/c^2) = [1.606 \pm 0.012(\text{stat. signal})^{+0.026}_{-0.016}(\text{systematic}) \pm 0.045(\text{external})] \times 10^{-5}$
- ChPT NLO(p^4) は $Ke3ee$ event をよく再現
- Me^+e^- はさらに詳細な構造をみせている?
 - NLO(p^6) ?
 - QED correction (imaginary) ?