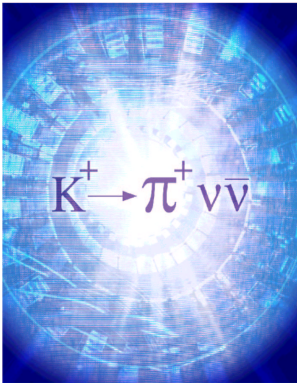


K^+ 中間子 稀 崩壊



による”新しい物理”の探索

小松原 健 (KEK素粒子原子核研究所)

科研費特定領域研究会「質量起源と超対称性物理の研究」

2003.March.05 ©筑波大学

内容 (36 slides):

- 物理: K中間子と質量起源と超対称性
- $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$ 実験の現状 (BNL-E949)
- 将来の実験に向けた R&D:
 - J-PARC JHF 実験 [LoI04], 静止 K^+ 崩壊
 - FNAL CKM 実験, K^+ 崩壊 in flight

古い？物理： K中間子と質量起源 (1)

- CPの破れ (1964), $K_L^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$

– R.D.Peccei, hep-ph/0209245:

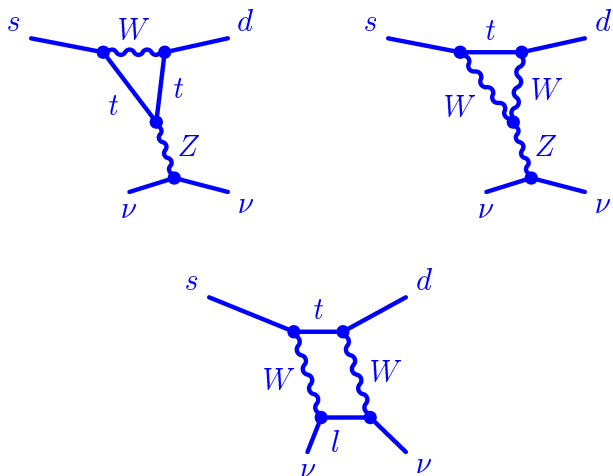
it seems very natural to assume that the experimentally observed CP violation is due to the presence of a scaler sector in the theory. Indeed, personally I think that the existence of CP violation at low energy is as compelling evidence for a Higgs field as are the precision electroweak tests which suggest the presence of a light Higgs boson, ..

K 中間子と 質量起源 (2)

- scalar 場 でなければ fermion 対の凝縮
Techni-Color 理論
←K 中間子の稀崩壊探索 @'80-'90:
Flavor Changing Neutral Currents は
(ナイーブな)TCの予言するレベルには無い!

今の物理: 標準模型 SM での $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$

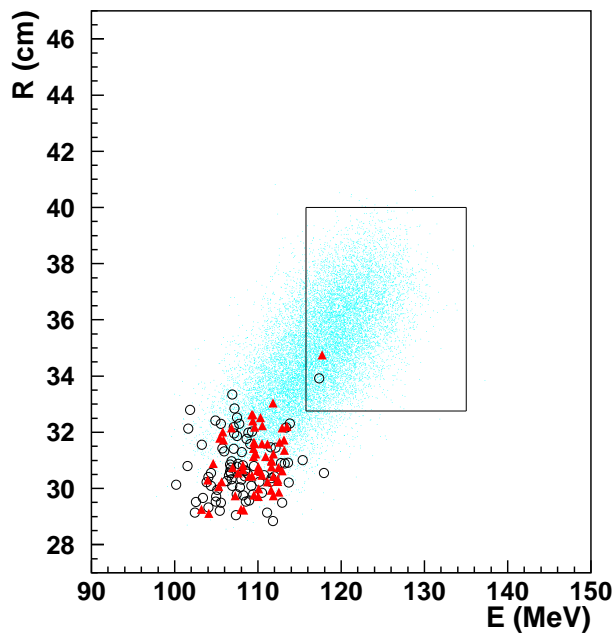
$\Delta S = 1$ の FCNC (GIM suppression):



- W^\pm/Z^0 のループ
- $M_t(170\text{GeV}/c^2) \gg M_c, M_u$ が支配
- $\lambda_t \equiv V_{ts}^* \cdot V_{td} = -A^2 \lambda^5 \cdot (1 - \rho - i\eta)$
稀だが重要 [ρ と η]

$K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$ の最新結果

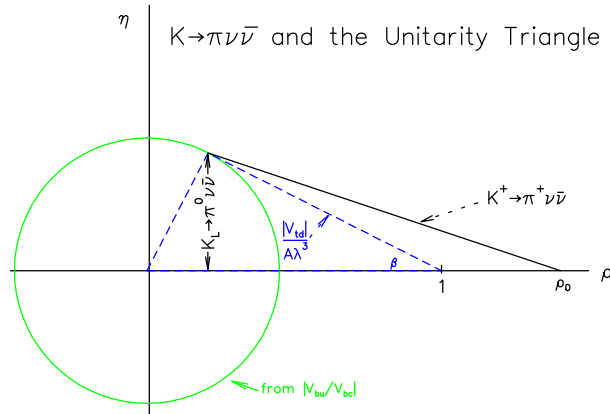
BNL-E787 実験 (-1998), PRL88(2002)041803



- π^+ の Range と Energy
- BOX を “見ないで解析”
- 95-97 98 MonteCarlo
- 分岐比
 $(1.57^{+1.75}_{-0.82}) \times 10^{-10}$
- バックグラウンド
 0.15 ± 0.05 events
 $P_b = 0.02\%$ (3.5σ)

SMでの $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$: 分岐比

$$4.11 \times 10^{-11} \cdot A^4 \cdot X(x_t)^2 \cdot [(\rho_0 - \rho)^2 + \eta^2]$$

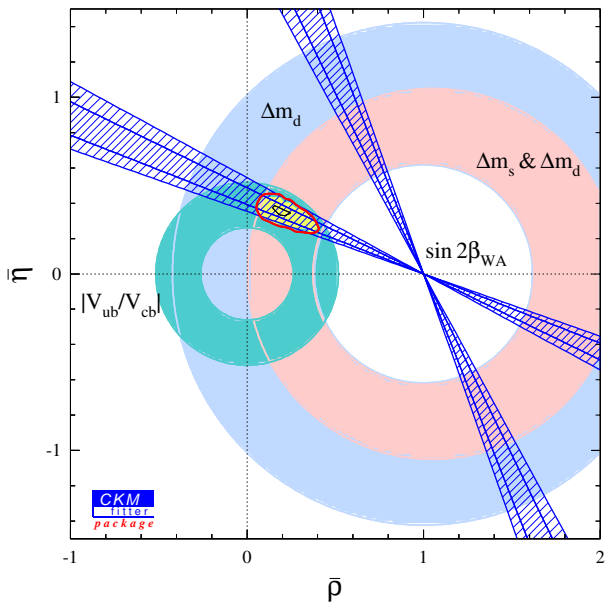


(ρ, η) from ϵ_K , $|V_{ub}/V_{cb}|$, ΔM_{Bd} , ΔM_{Bs}

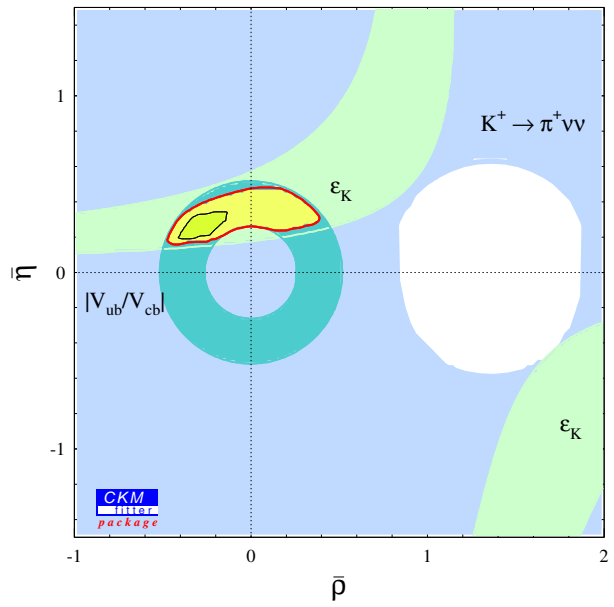


SMの予想: $(0.72 \pm 0.21) \times 10^{-10}$ (純理論の不定性 $\sim 7\%$)

B 中間子



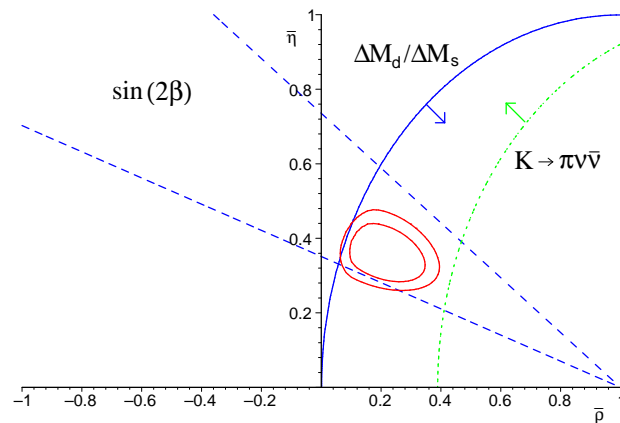
K 中間子



ϵ'/ϵ : 理論不定性 大

理論不定性の小さいモードだけで (ρ, η) を決める

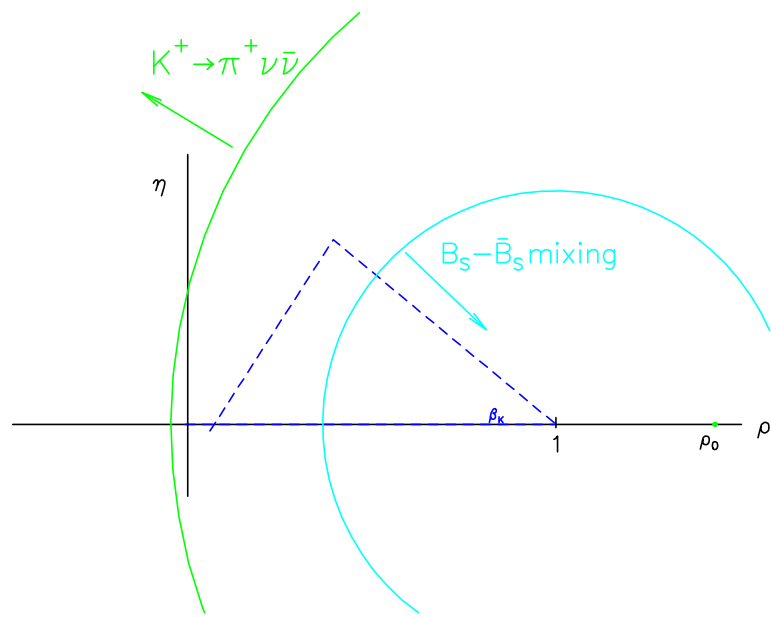
D'Ambrosio, Isidori: PLB530(2002)108



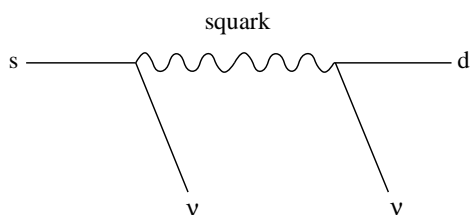
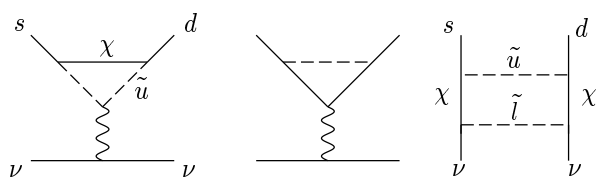
$$\Delta M_{B_s} > 15 \text{ ps}^{-1}, \sin(2\beta) = 0.79 \pm 0.10$$

$$* |\Delta M_{B_d} / \Delta M_{B_s}| \Rightarrow K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu} \text{ の分岐比} < 1.32 \times 10^{-10}$$

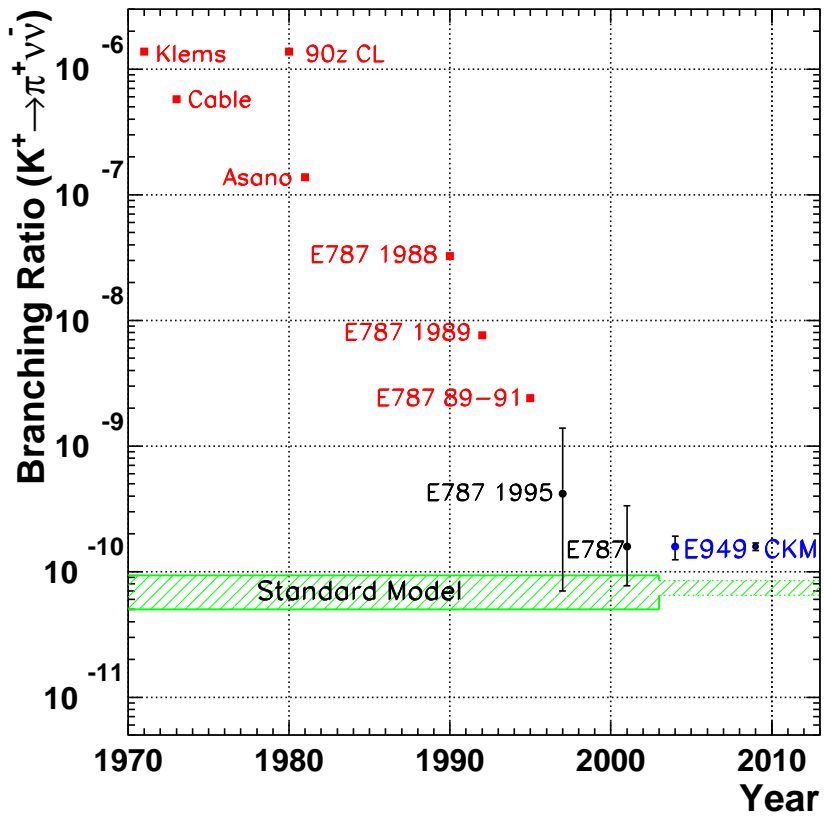
K中間子による 新しい物理



新しい物理: 超対称性



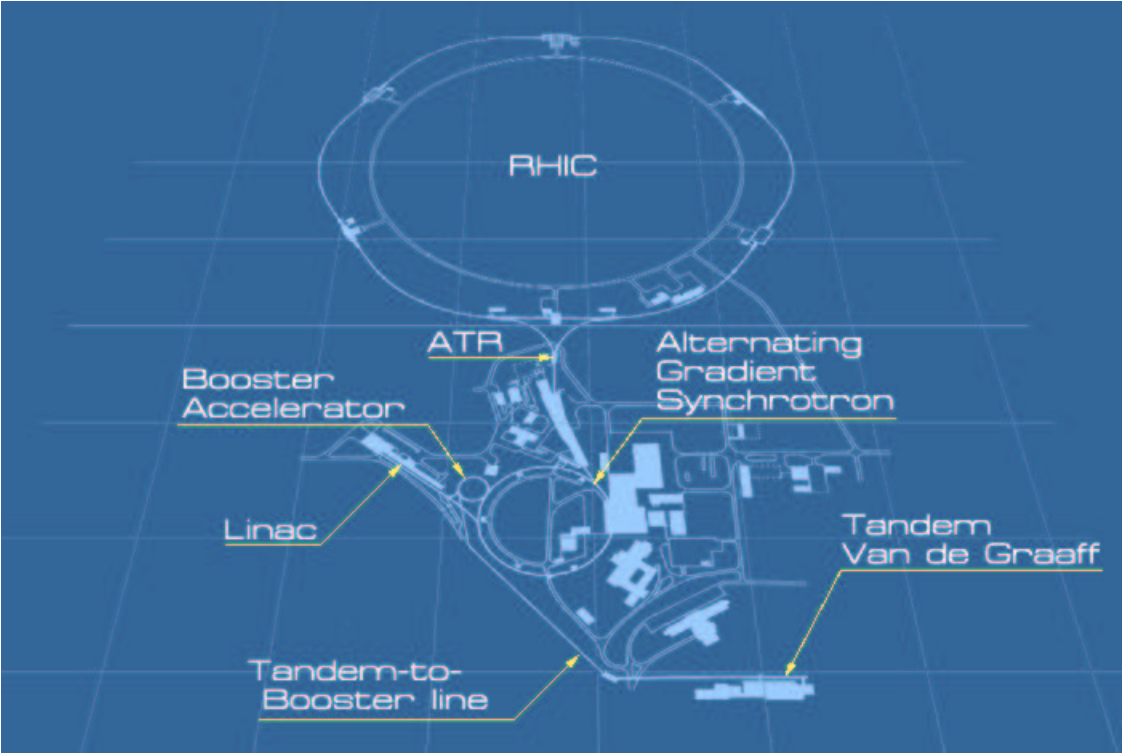
- 超対称粒子 (squarks, gauginos) のループ
→ squark 質量行列の測定
- Rパリティを破る squarks
- 分岐比の "ずれ" は数十%のレベル
← 要精密測定



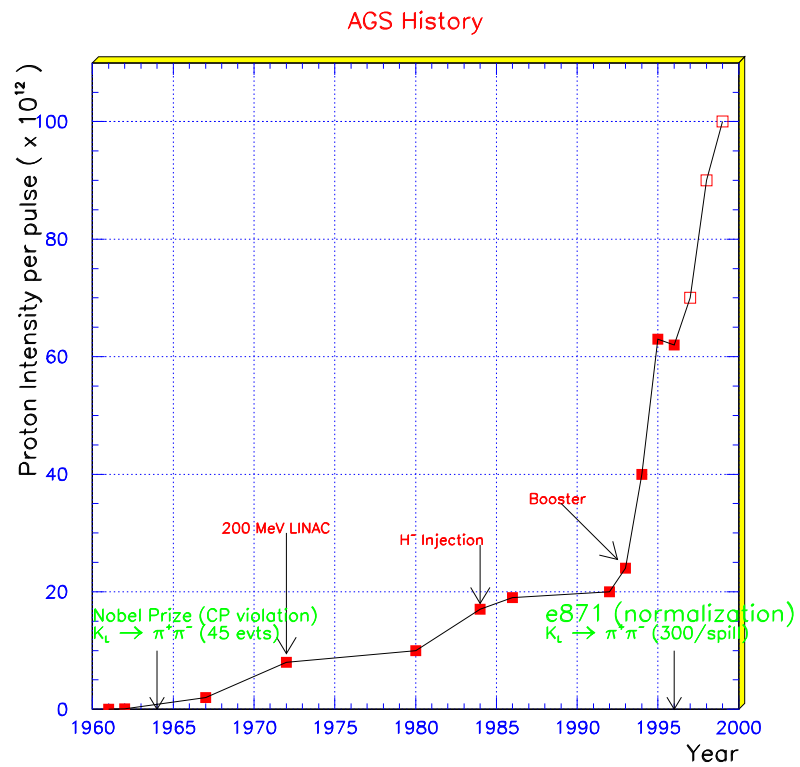
BNL E949 国際共同実験

- 日: 福井大, KEK, 京大, 阪大, RCNP, 東大, ...
- 米: BNL, FNAL, Stony Brook大, New Mexico大
- 加: Alberta大, British Columbia大, TRIUMF
- 露: IHEP, INR

米国 DOE 承認 (1999), 建設 (-2001),
エンジニアリングラン (2001),
物理ラン (2002-)

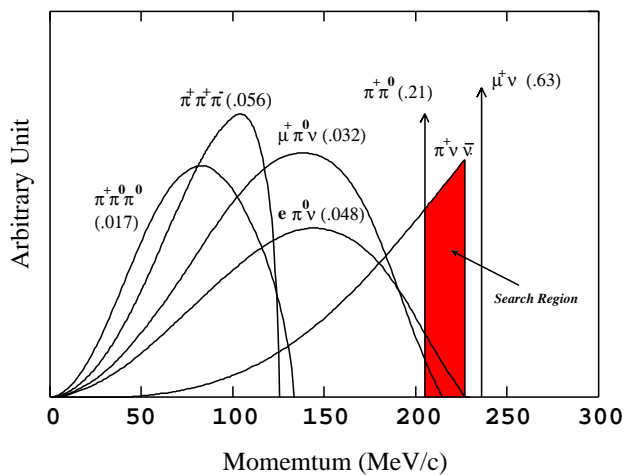


AGS (25GeV): $\geq 60 \times 10^{12}$ (Tera) protons per spill



静止 K^+ 崩壊 $\rightarrow \pi^+ + \text{"nothing"}$

三体崩壊 ($P_{\pi^+} < 227\text{MeV}/c$)



バックグラウンドの除去

● Kinematics:

- 運動量
- 運動エネルギー
- レンジ

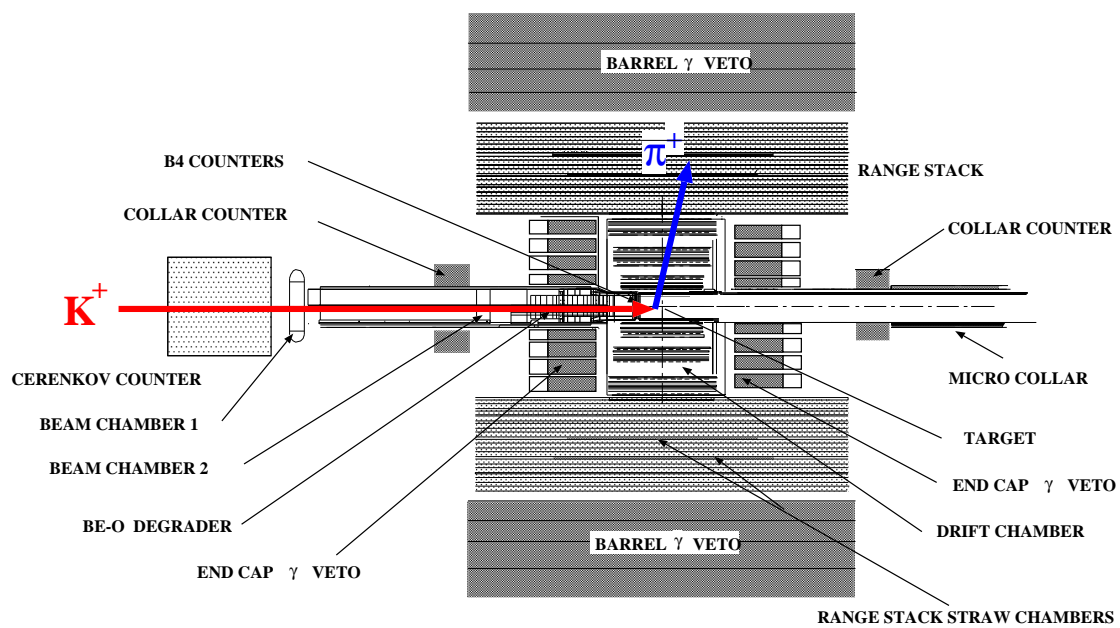
● μ^+ の検出

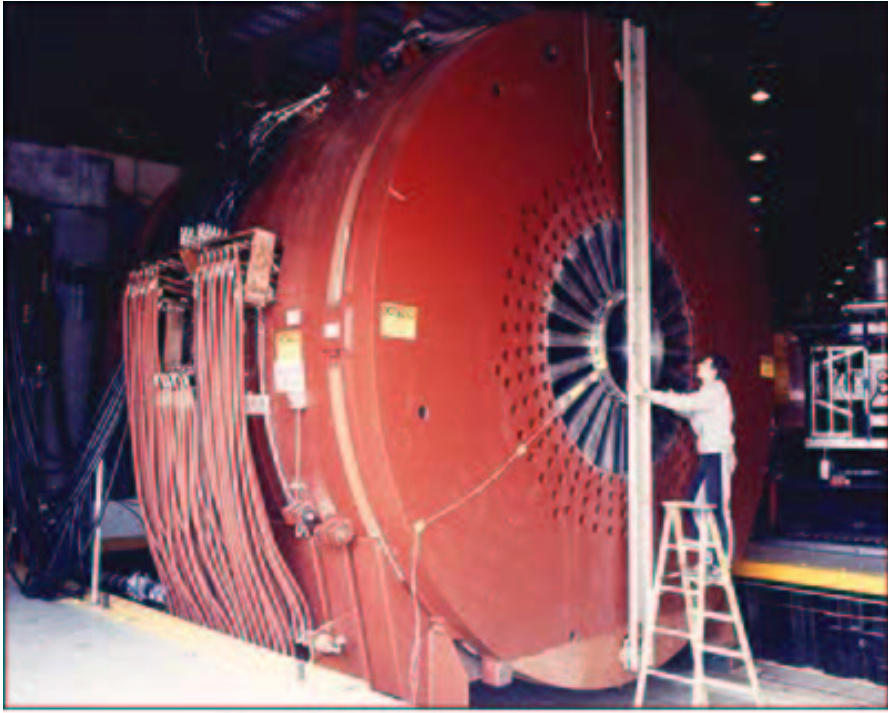
$$\iff K^+ \rightarrow \mu^+ \nu$$

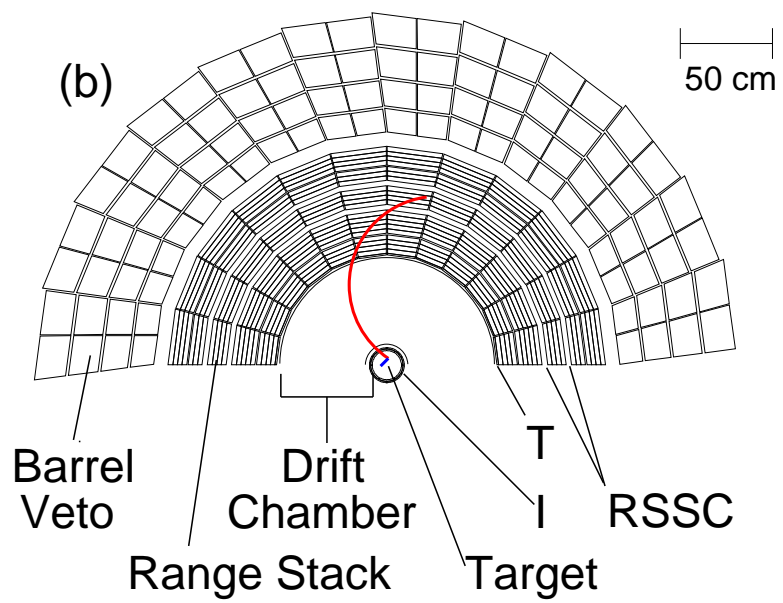
● 余計な粒子 (γ) の検出

$$\iff K^+ \rightarrow \pi^+ \pi^0$$

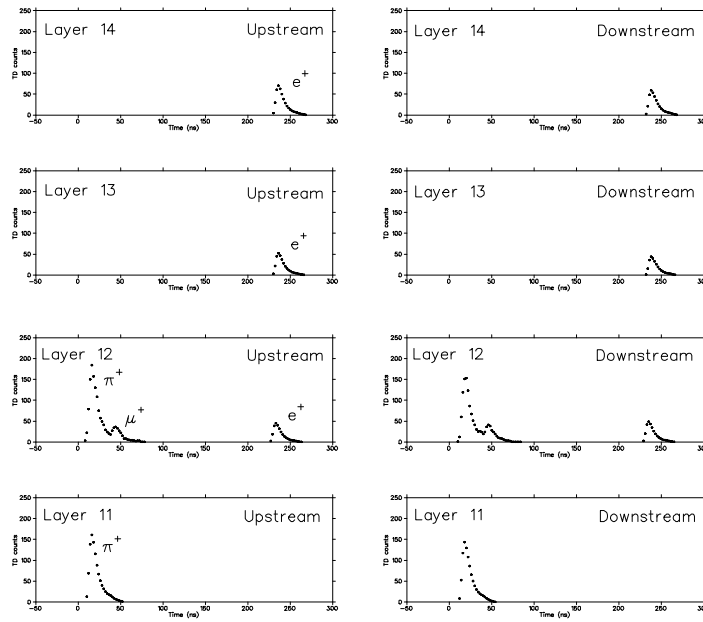
700 MeV/c DC-separated K^+ beam + solenoidal spectrometer





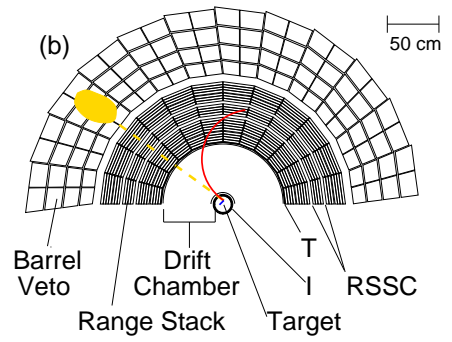
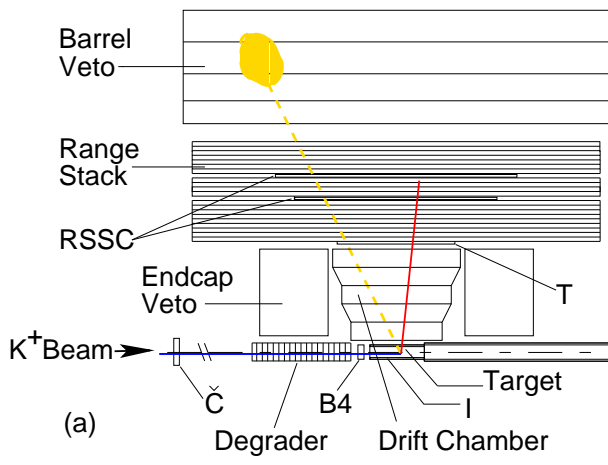


$\pi^+ \rightarrow \mu^+ \rightarrow e^+$ decay chain
500-MHz waveform digitizers [TD] で記録

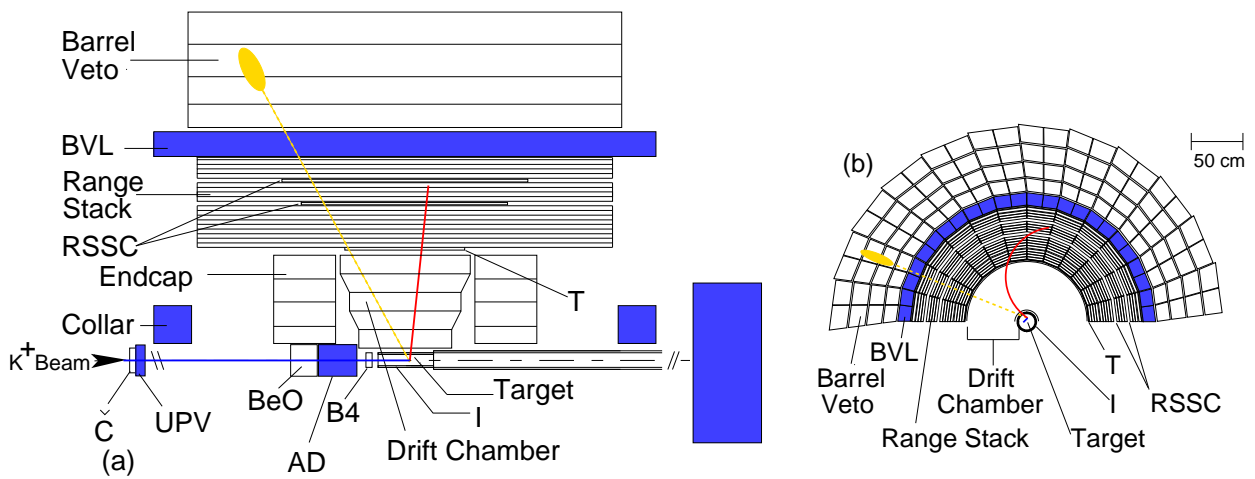


online+offline での μ^+ の除去 ($> 10^5$)

γ の検出 \Rightarrow Veto

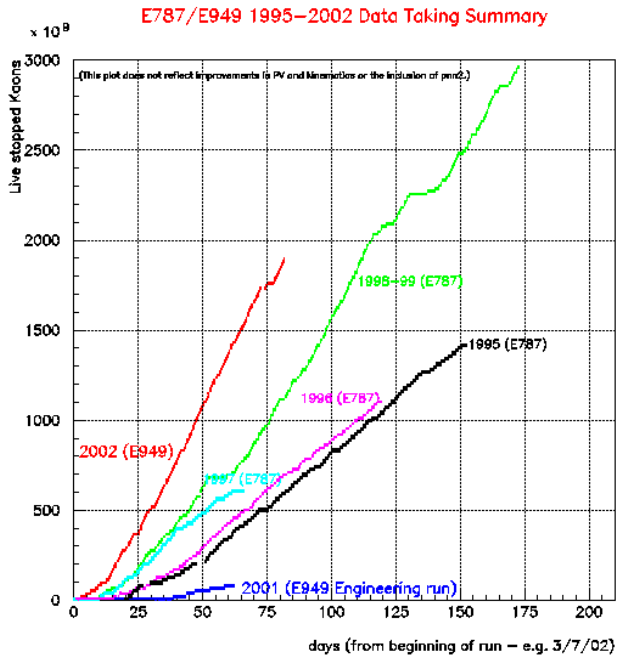


E949 実験のための増強



トリガー/モニター/DAQ/ ... (next talk by 吉岡)

E949 2002 ラン



- ~ 3 months for E949
- 21.5 GeV, 2.2 sec/5.4 s で運転
- 1.2 MHz live stopped kaons ($\times 2$ of E787)
- 解析進行中

- 25GeV, 4.1sec/6.4s ($\times 1.4$) で運転 (as proposed)
- run supported by NSF: 交渉中
- goal:
 - 6000 hr
 - sensitivity $(8 - 14) \times 10^{-12}$, ~ 10 SM 信号イベント
 - $|V_{ts}^* \cdot V_{td}|$ to 20-30%
- Sure, the show must go on!!

J-PARC JHF(50GeV PS) L04:

Letter of Intent for

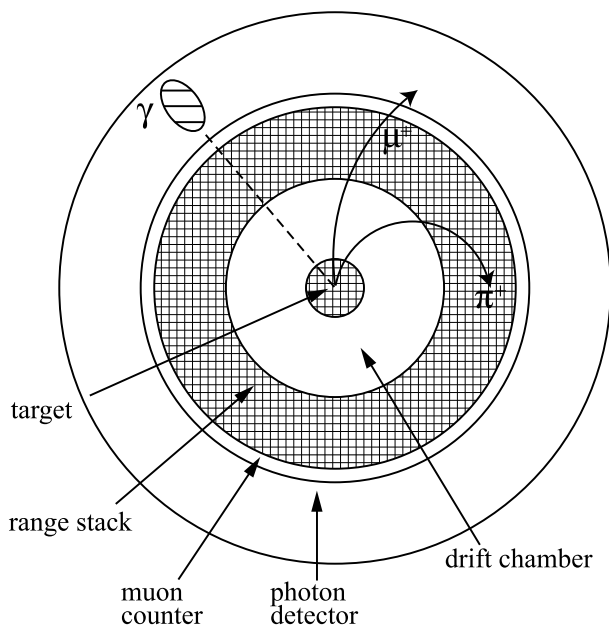
**Study of the Rare Decay $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$
with Stopped Kaon Beam
at J-PARC**

Contact person: Takeshi K. Komatsubara (KEK)



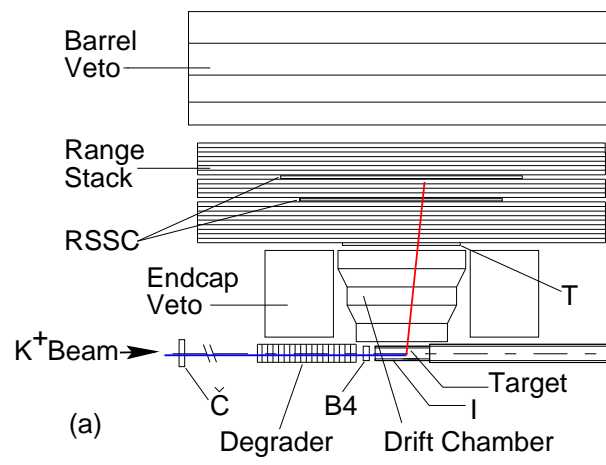
* All the LoI's (30 in total) are available at:
<http://psux1.kek.jp/~jhf-np/L0Ilist/L0Ilist.html> .

静止 K^+ 崩壊で 50 ~ 100 イベント測定できるか？

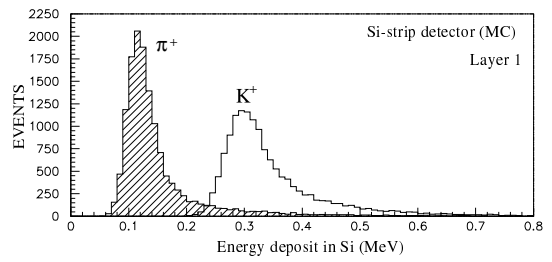
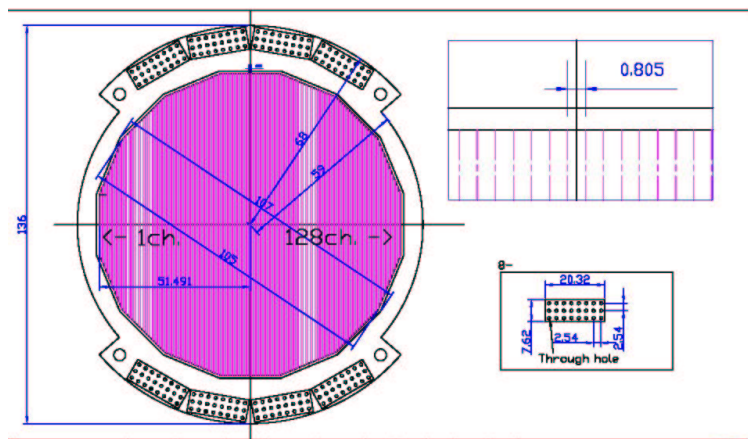


- > 2Tesla spectrometer
 - 運動量分解能
 - コンパクトな測定器
 - ★ "ファイバ" stack
 - ★ "クリスタル" barrel
 - セグメントを向上
- ビーム条件の最適化
 - 50GeV, 0.7s/3.42s
 - 30GeV, 1.7s/4.42s

beam counter: dE/dx 測定 $\rightarrow K^+/\pi^+$ 分離



Silicon Strip beam detector



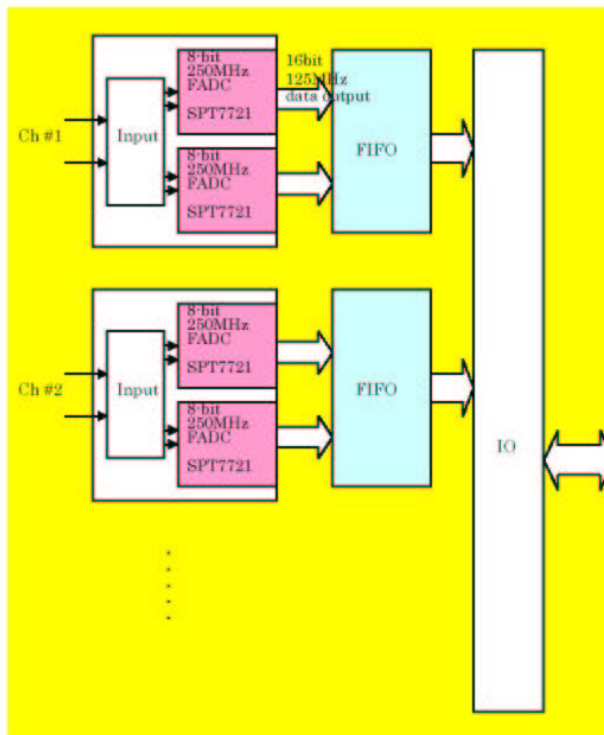
dE/dx と 位置測定の精度の向上

- K^+ が静止するまで target 中で進む距離
- セグメント
→ 高い rate に対処

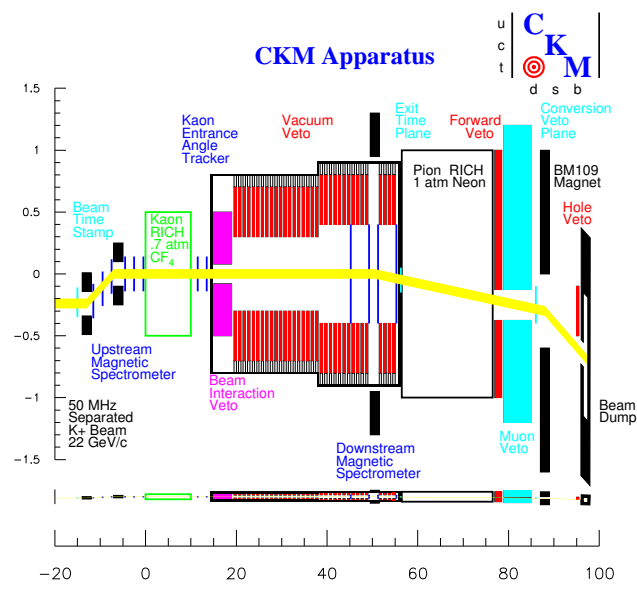
new waveform digitizers

8-bit, 500MHz

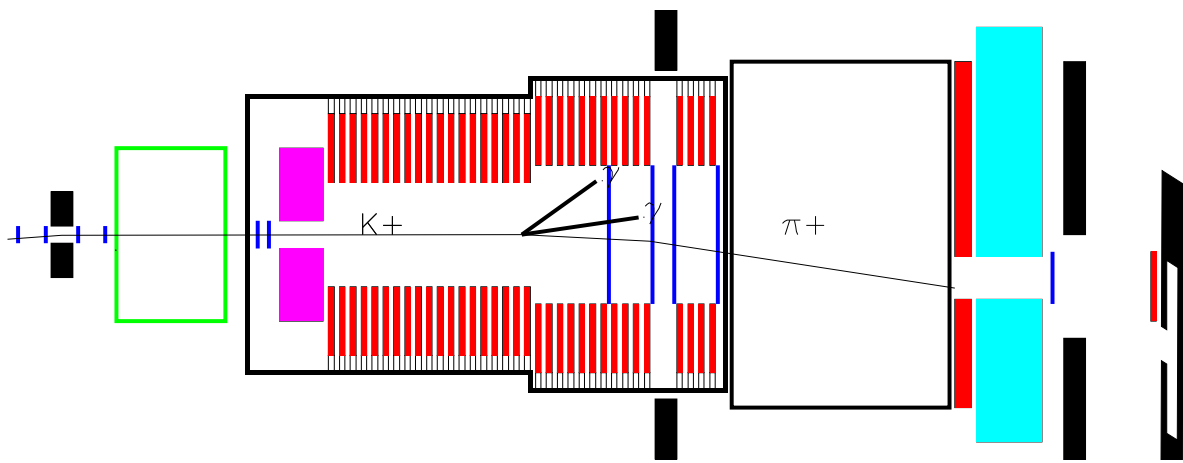
- E787/E949:
 - flashADC (BNLで開発)
 - GaAsCCD (TRIUMFで開発)
 - by early 90's, FASTBUS
 - 低 power で安価
→ 多 channel
 - flashADC
 - VME 仕様
- テストボードを開発中



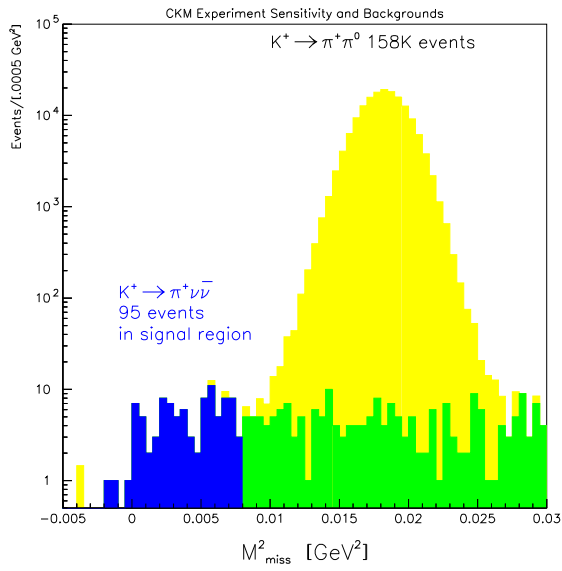
FNAL Charged Kaons at the Main Injector (CKM) 実験



K^+ 崩壊 in flight $\rightarrow \pi^+ +$ “nothing”

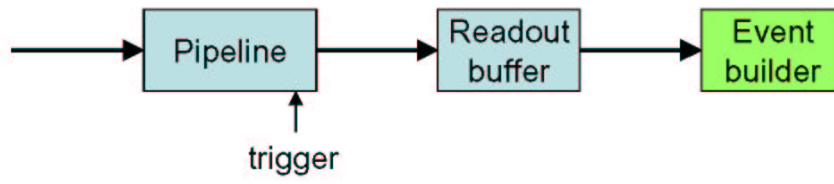


- “velocity spectrometer” (RICH counters)
- Tracker and Photon Veto in 10^{-6} Torr
- higher energy (120GeV MI, 22GeV/c K^+)
 $\rightarrow \mu^+, \gamma$ rejection

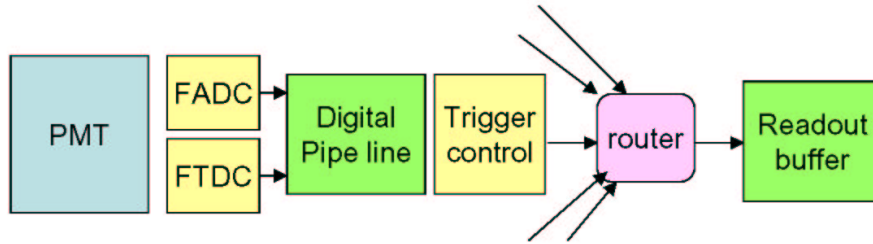


- 95 signal events (S/N=10)
- status:
 - Scientific approval by FNAL (2001)
 - R&D in progress, reviewed in future

High Rate 実験での分散処理: 並列 (BUS) ではなくシリアル



Serial "data-link" for front-end readout



将来の実験に向けた R&D:

静止 K^+ 崩壊 :

- Silicon Strip beam detector
- new waveform digitizers
- 無機-酸化物-結晶の応用開発
 - $PbWO_4$ (タンゲステン酸鉛):
放射線に強く重い \checkmark 放射体
 - Gd_2SiO_5 (GSO): 高感度シンチレータ

K^+ 崩壊 in flight :

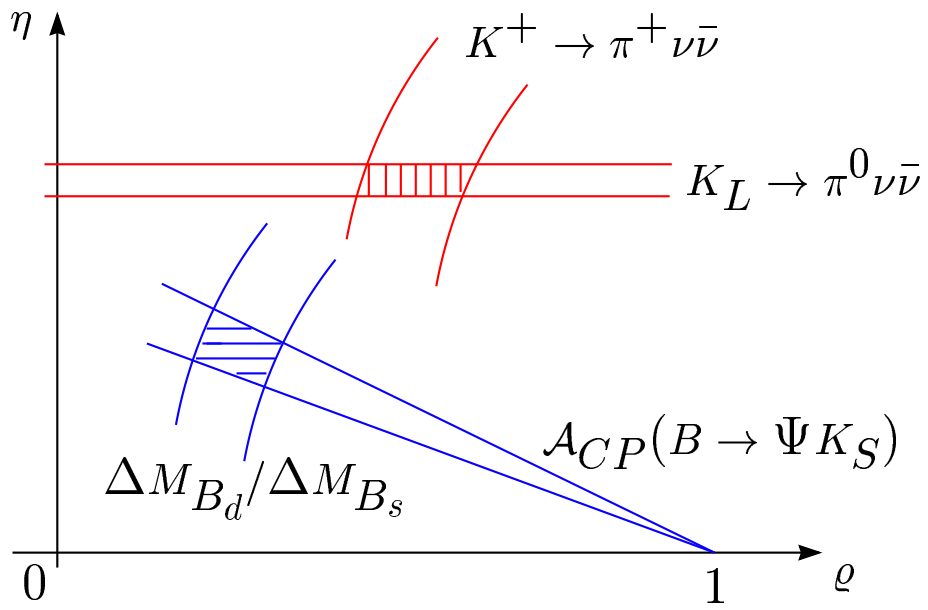
- Serial “data-link”
- wave-length shifter “fiber” による読み出し



まとめ:

- $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$: “新しい物理” を探索する実験
- BNL-E949: 最初の物理ラン (2002) を解析中
- R&D (静止 K^+ 崩壊, K^+ 崩壊 in flight):
 - Silicon Strip beam detector
 - new waveform digitizers
 - Serial data-link, ..

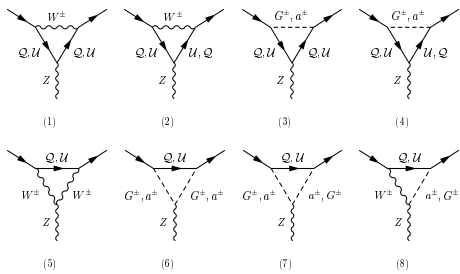
flagship



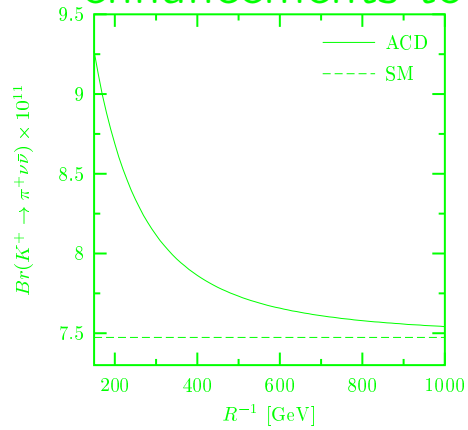
backup slides

新しい物理: Extra Dimensions ? a model with one universal ExtDim

Kaluza-Klein modes



→ enhancements to FCNC



compactification scale $1/R$

Buras et al., hep-ph/0212143