

Эксперимент NA62 по поиску ультраредкого распада

$$K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \nu$$

Вячеслав Дук
ИЯИ РАН

План

- 1. Распад $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \nu$**
- 2. Эксперимент NA62**
- 3. Статус**
- 4. Выводы**

Распад $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$

FCNC процесс

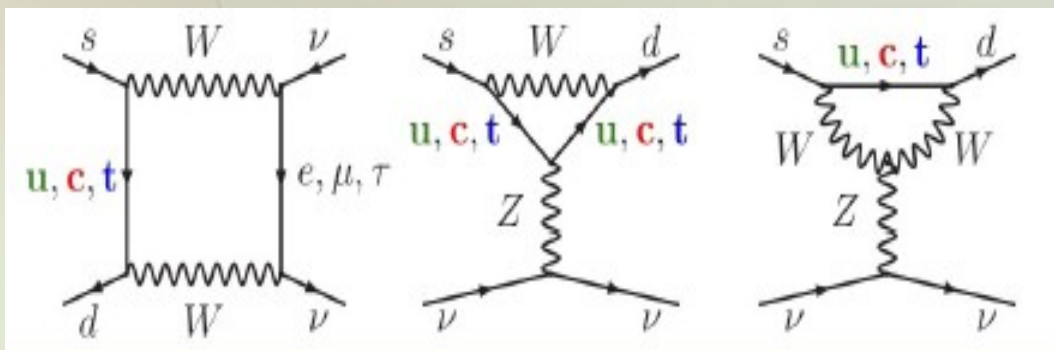
Основные вклады в амплитуду - box, Z-penguins

BR $\sim 8 \cdot 10^{-11}$ (SM)

BR вычисляется в SM с высокой точностью

$$BR(K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}) |_{SM} = 4.11 \cdot 10^{-11} \cdot A^4 F(x_t)^2 \cdot \frac{1}{\sigma} \cdot [(\rho_0 - \bar{\rho})^2 + (\sigma \bar{\eta})^2]$$

$$BR[K_L^0 \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}] |_{SM} \simeq BR(K_S^0 \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}) \simeq 1.80 \cdot 10^{-10} A^4 F(x_t)^2 \cdot \sigma \cdot (\bar{\eta})^2$$



SM branching ratios

(Brod, Gorbahn, Stamou; PRD83 (2011) 034030)

Mode	$BR_{SM} \times 10^{11}$
$K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu} (\gamma)$	$7.81 \pm 0.75 \pm 0.29$
$K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$	$2.43 \pm 0.39 \pm 0.06$

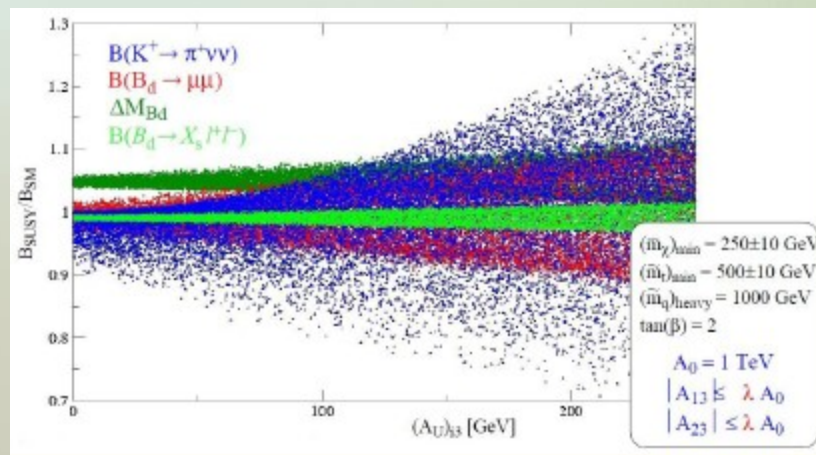
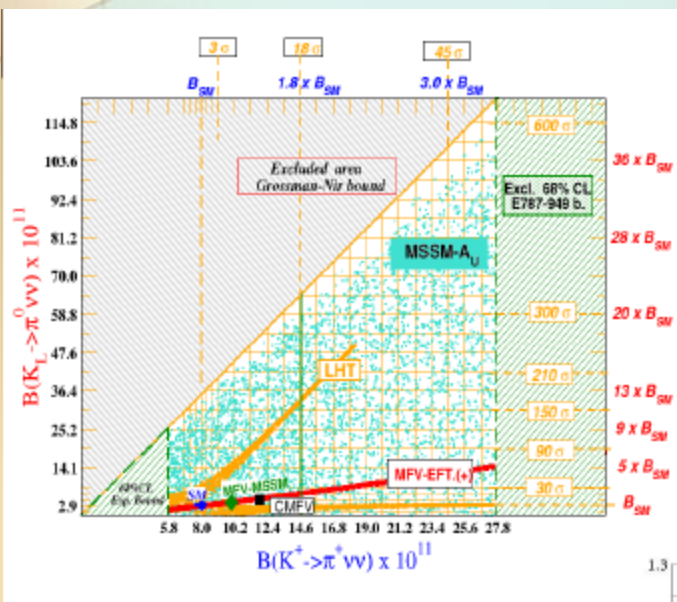
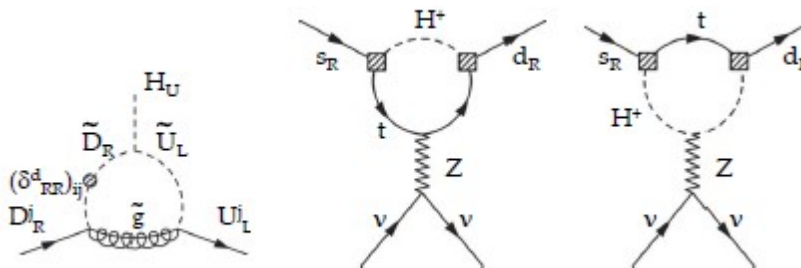
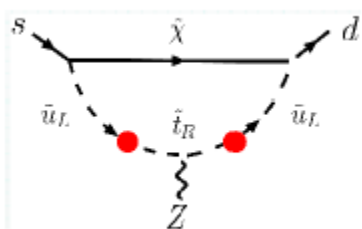
CKM parametric
(mainly $|V_{ts}|$)

Intrinsic

Распад $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$

Вклад НФ до 10-20%

Вклад НФ больше, чем в распадах В-мезонов



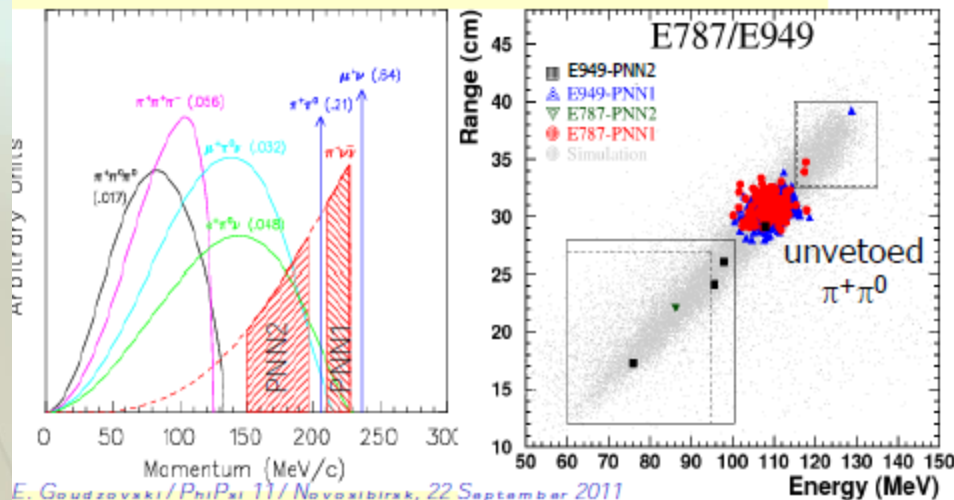
Распад $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$: эксперимент

E787/949: 7 событий

Ожидаемый фон: 2.6 соб

$$BR = (1.73^{+1.15}_{-1.05}) \times 10^{-10}$$

PRL 101 (2008) 191802, PRD 79 (2009) 092004



Эксперимент NA62

Техника:

распады на лету

Пучок:

Несепарированный

~6% каонов

$p \sim 75 \text{ ГэВ}/c$

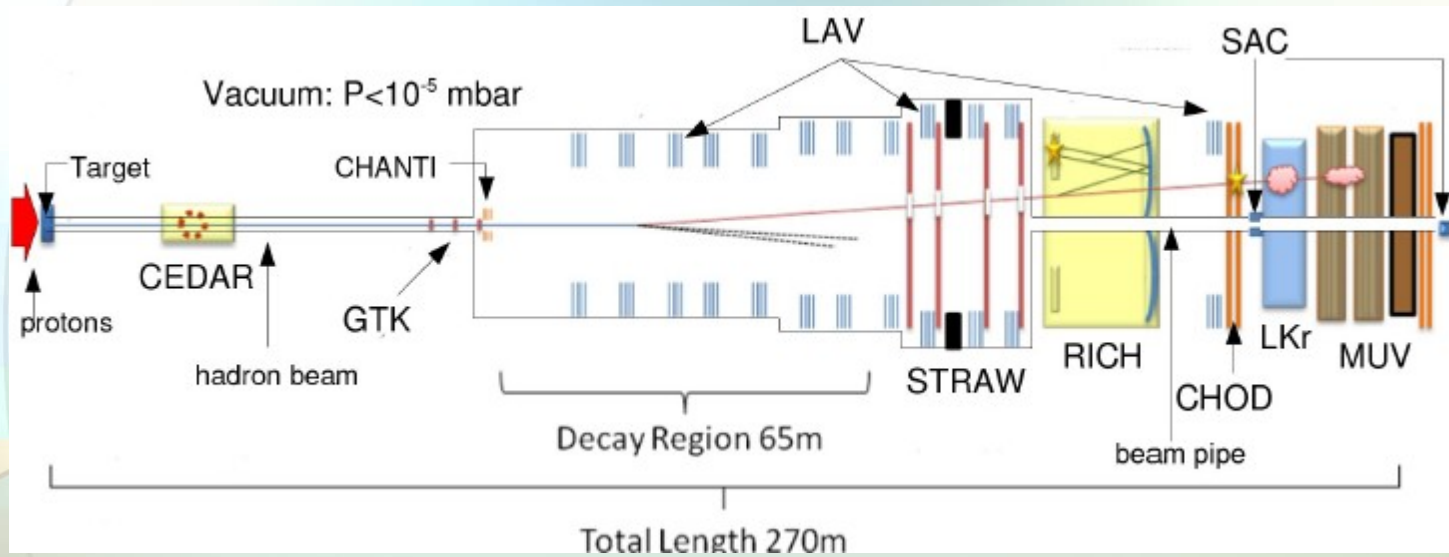
$I \sim 800 \text{ МГц}$

Цель:

~100 соб за 2 года

Систематика ~%

Установка NA62



Отделение сигнала от фона

Принципы:

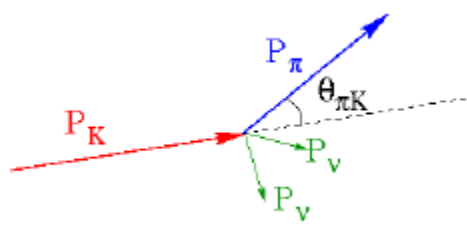
1. Кинематика
2. Вето-детекторы
3. Идентификация
4. Триггер

$BR \sim 8 \cdot 10^{-11}$

Огромный фон от распадов каонов

Decay	BR
$\mu^+ \nu$ ($K\mu 2$)	63.5%
$\pi^+ \pi^0$ ($K\pi 2$)	20.7%
$\pi^+ \pi^+ \pi^-$	5.6%
$\pi^0 e^+ \nu$ ($Ke 3$)	5.1%
$\pi^0 \mu^+ \nu$ ($K\mu 3$)	3.3%
$\pi^+ \pi^0 \pi^0$	1.8%
$\mu^+ \nu \gamma$ ($K\mu 2 \gamma$)	0.62%
$\pi^+ \pi^0 \gamma$	2.7×10^{-4}
$\pi^+ \pi^- e^+ \nu$ ($Ke 4$)	4.1×10^{-5}
$\pi^0 \pi^0 e^+ \nu$ ($Ke 400$)	2.2×10^{-5}
$e^+ \nu$ ($Ke 2$)	1.5×10^{-5}
$\pi^+ \pi^- \mu^+ \nu$ ($K\mu 4$)	1.4×10^{-5}

Кинематика

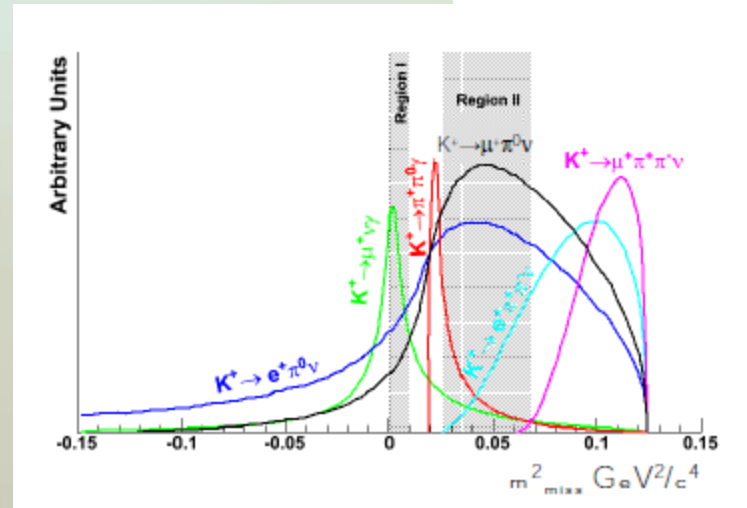
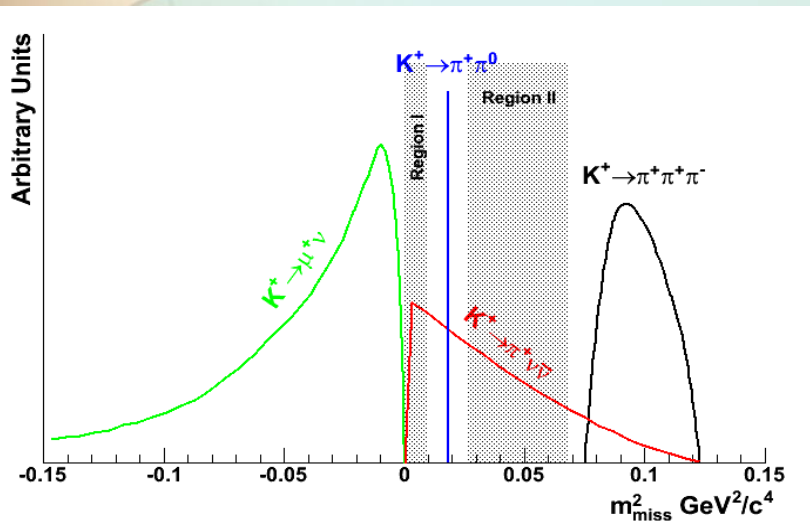


$$m_{miss}^2 \cong m_K^2 \left(1 - \frac{|P_\pi|}{|P_K|}\right) + m_\pi^2 \left(1 - \frac{|P_K|}{|P_\pi|}\right) - |P_K||P_\pi|\theta_{\pi K}^2$$

Decay	BR
$K^+ \rightarrow \mu^+ \nu (K_{\mu 2})$	0.64
$K^+ \rightarrow \pi^+ \pi^0 (K_{\pi 2})$	0.21
$K^+ \rightarrow \pi^+ \pi^+ \pi^-$	
$K^+ \rightarrow \pi^+ \pi^0 \pi^0$	0.07

2 области (Region I and II)
Высокая точность измерения P

Decay	BR
$K^+ \rightarrow \pi^0 e^+ \nu (K_{e3})$	0.051
$K^+ \rightarrow \pi^0 \mu^+ \nu (K_{\mu 3})$	0.034
$K^+ \rightarrow \mu^+ \nu \gamma (K_{\mu 2 \gamma})$	6.2×10^{-3}
$K^+ \rightarrow \pi^+ \pi^- e^+ \nu (K_{e4})$	4.1×10^{-5}
$K^+ \rightarrow \pi^+ \pi^- \mu^+ \nu (K_{\mu 4})$	1.4×10^{-5}



~92% of kaon decays kinematically constrained

Измерение импульса каона: GTk

3 гибридных Si станции

1 станция = 18000 пикселей (90x200)

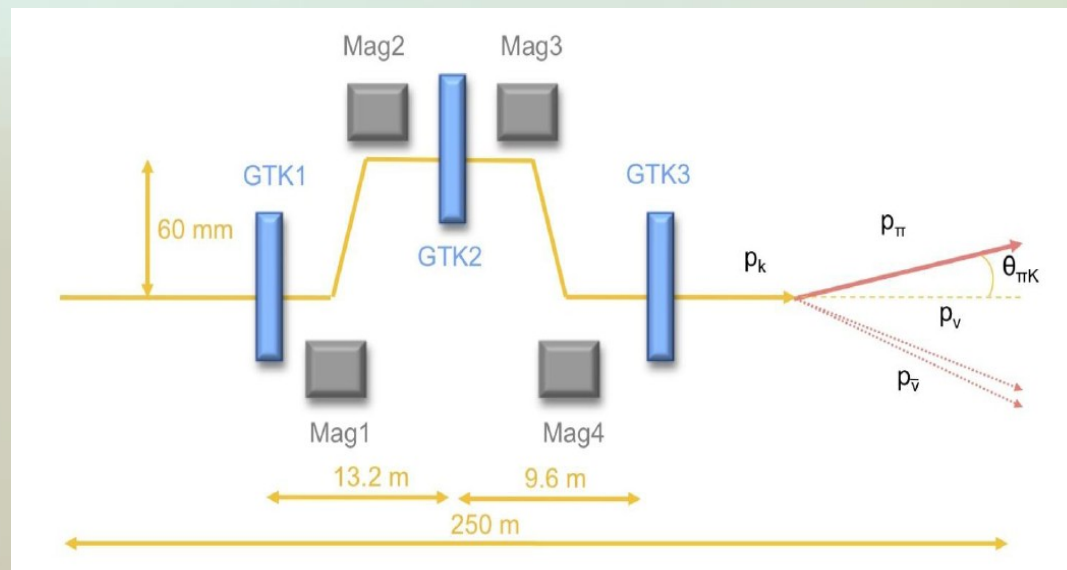
1 пиксель = 300мкм x 300мкм

$<2\% X_0$

$\sigma_t \sim 150\text{пс}$

Эффективность 98-99%

$$\sigma(p_K)/p_K \sim 0.2\%$$



Измерение импульса пиона: Straw

Разрешение $<1\%$

Малое количество в-ва

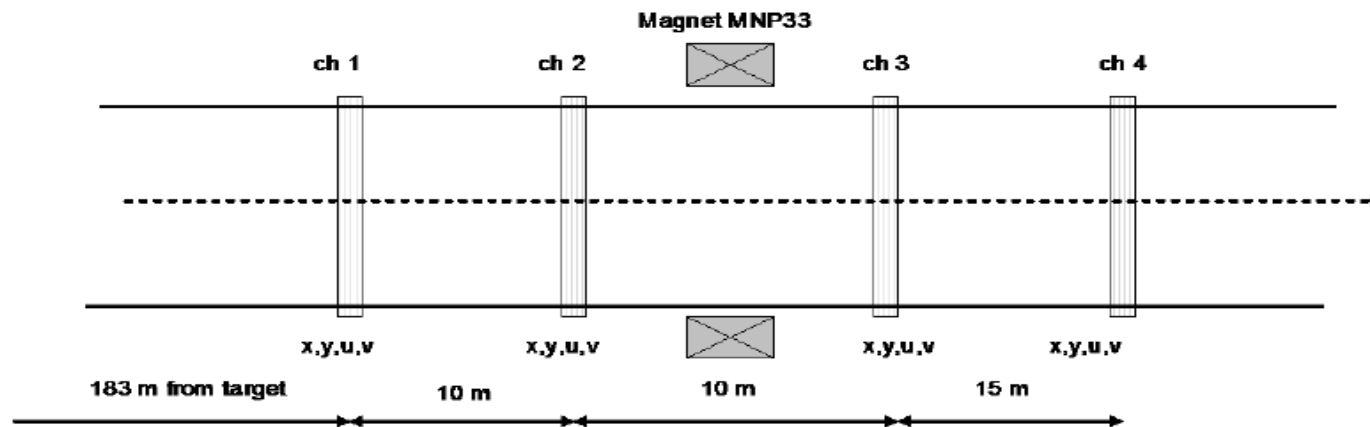
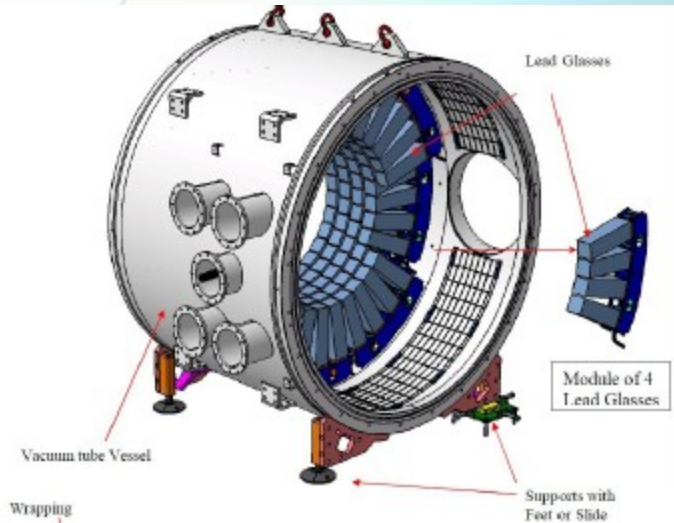


Figure 220. Schematic view of the magnetic spectrometer.

Вето-детекторы



LAV:

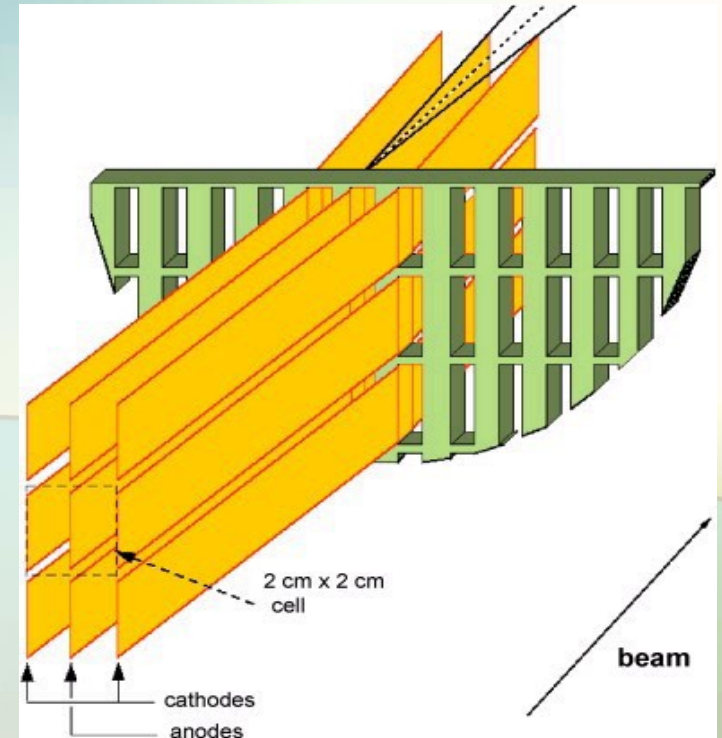
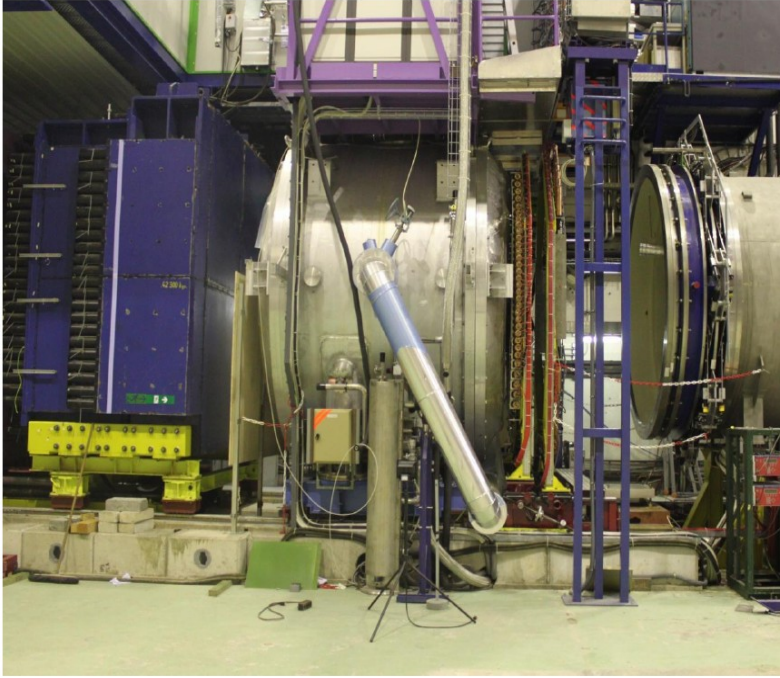
12 колец вокруг
распадного объема

Свинцовое стекло из
эксперимента OPAL

Неэффективность $\gamma < 10^{-4}$

Неэффективность $\pi^0 < 10^{-8}$

Временное разрешение 700пс



LKr:

жидкий Kr (120K, 10 м³)

Электромагнитный калориметр $27X_0$

Временное разрешение 100пс

Неэффективность $\gamma < 10^{-5}$ для

$E > 10 \text{ ГэВ}$

$$\frac{\sigma_E}{E} = \frac{0.032}{\sqrt{E}} \oplus \frac{0.09}{E} \oplus 0.0042$$

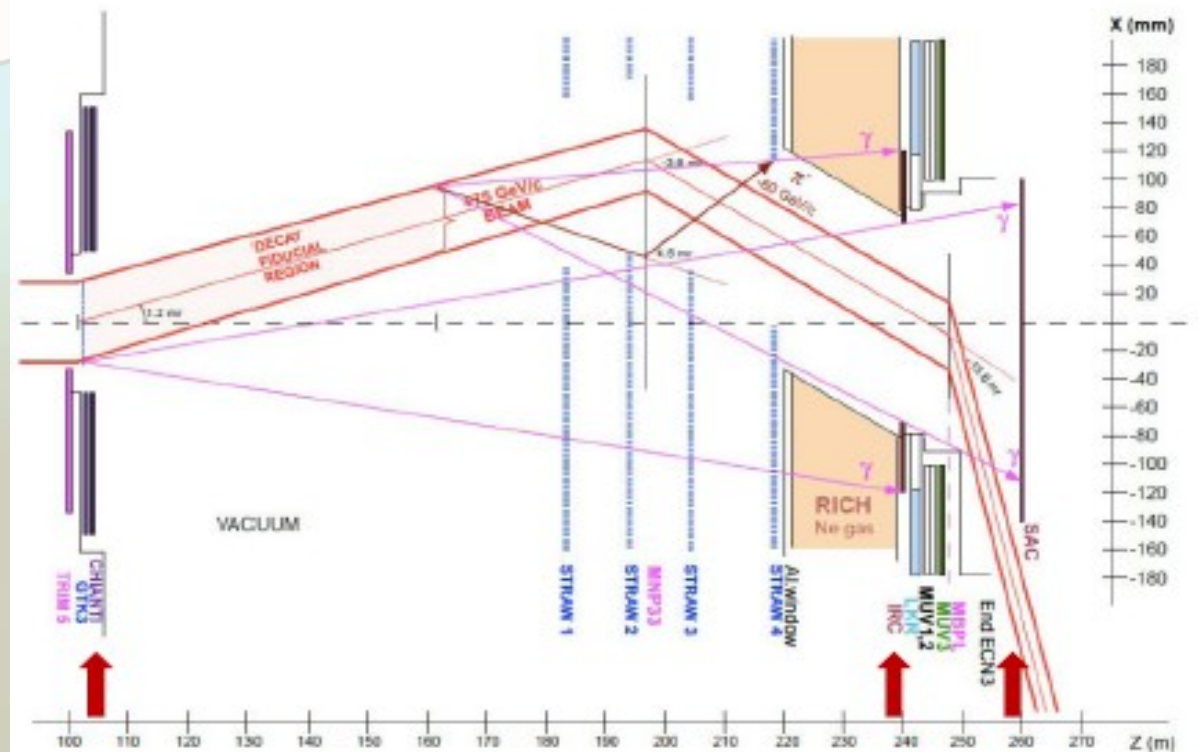
$$\sigma_{X,Y} = \frac{0.42}{\sqrt{E}} \oplus 0.06$$

$$\sigma_t = \frac{2.5}{\sqrt{E}} \quad (\text{GeV, cm and ns})$$

Вето-детекторы

CHANTI: взаимодействия каонов в пучковом спектрометре

IRC, SAC: детекторы фотонов, не попадающих в апертуру Lkr (малые углы)

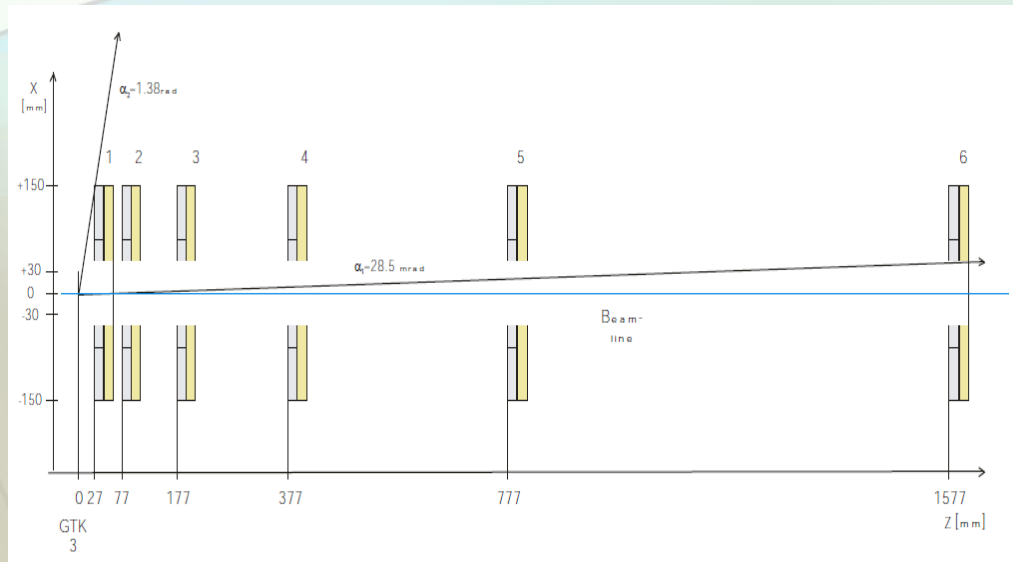


CHANТИ

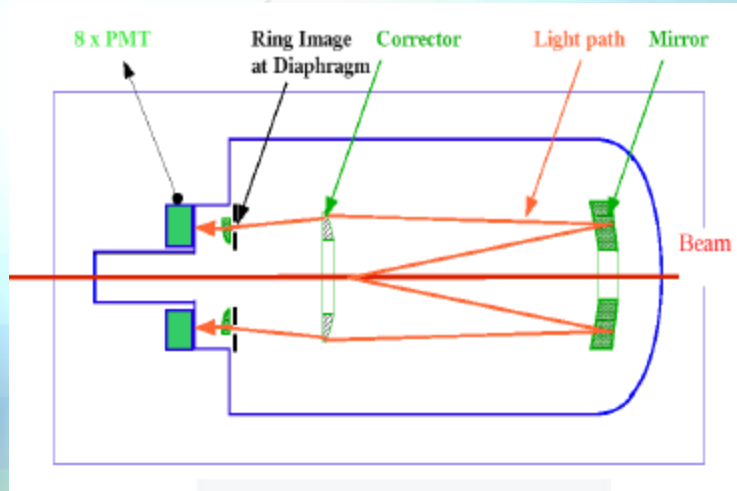
6 станций по 2 слоя

Слой = 22-24 пластины (сцинтиллятор)

SiPM read-out



Идентификация частиц: CEDAR, RICH



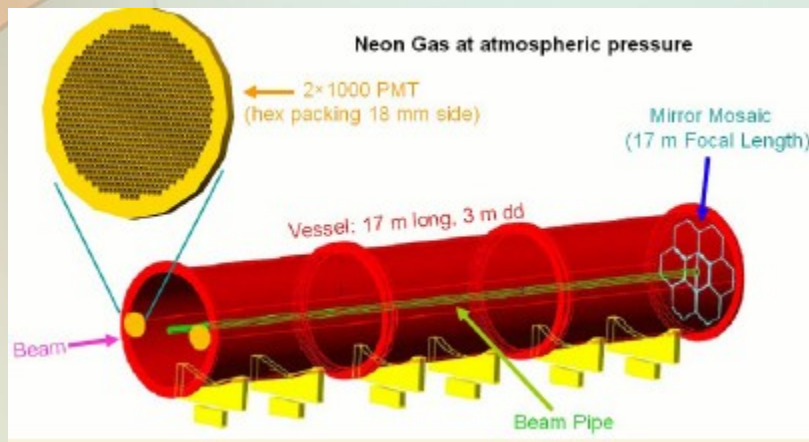
CEDAR:

Идентификация каонов

Детектор типа RICH

Среда – H_2

$\sigma_t \sim 150\text{пс}$



RICH:

Идентификация пионов

Детектор типа RICH

Среда – Ne

$\sigma_t \sim 100\text{пс}$

π - μ разделение: $\sim 5 \times 10^{-3}$

CHOD

Временная метка (триггер)

Отбор по количеству заряженных частиц

$\sigma_t \sim 200\text{пс}$

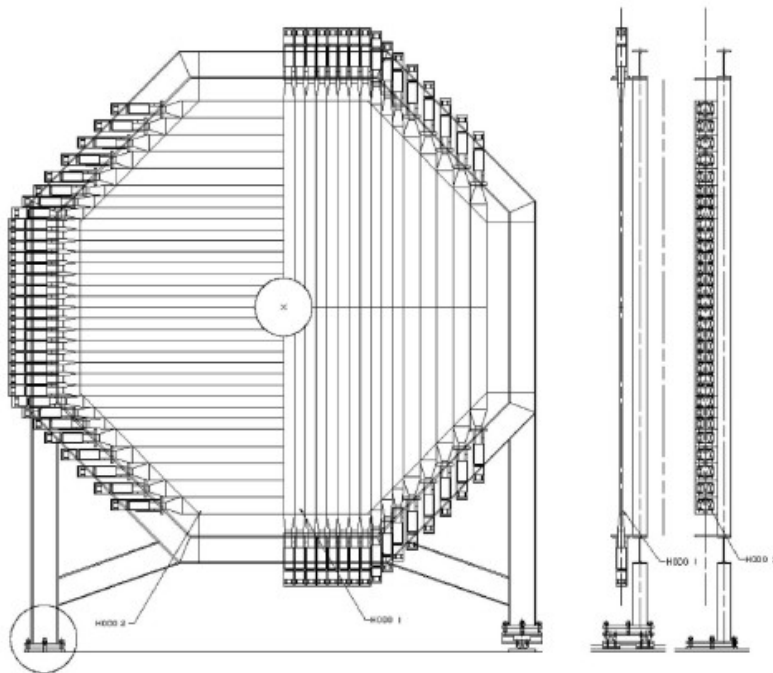
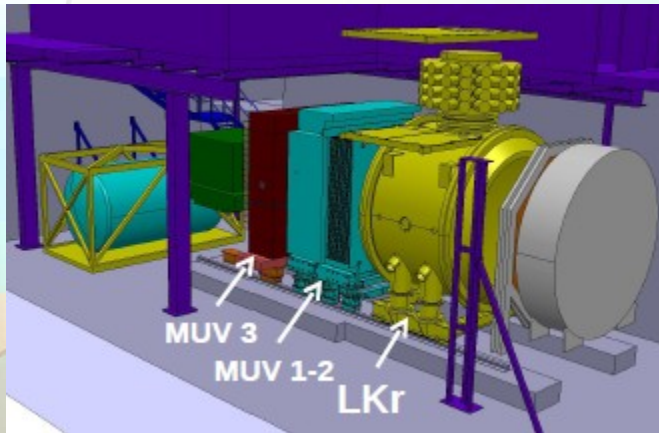


Figure 302 Schematic view of the CHOD detector

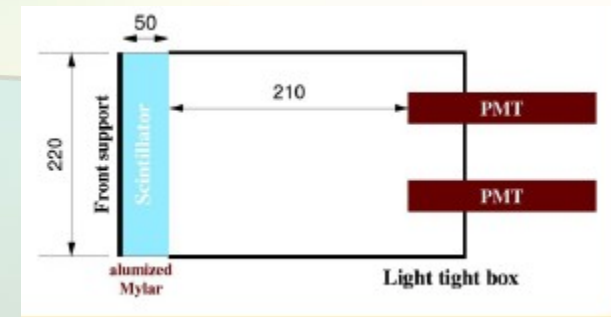
Идентификация частиц: MuV

Неэффективность $\mu \sim 10^{-5}$

Быстрое мюонное вето (< 1 нс)



MuV3



MuV1, MuV2: железо-сцинтиллятор
MuV3: плоскость модулей для быстрой
мюонной идентификации (в триггер)
Модуль: 22смх22смх5см, 2 ФЭУ

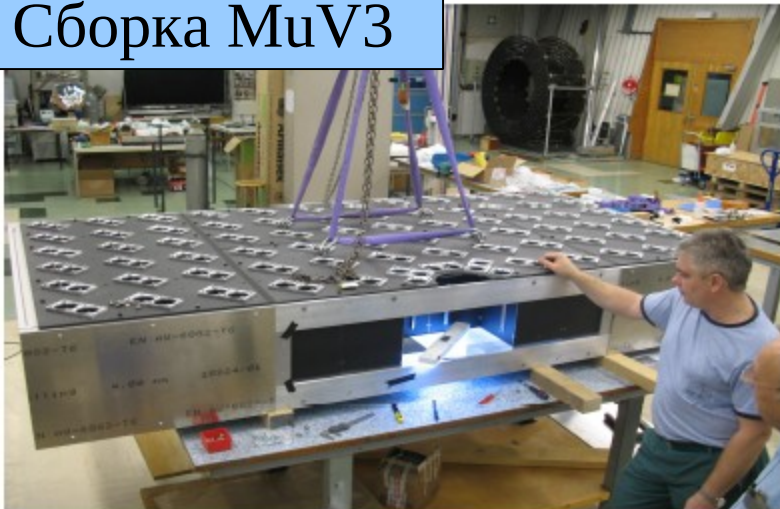
Ожидаемые скорости набора событий

$K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \nu$ (signal)	45 events/year
$K^+ \rightarrow \pi^+ \pi^0$	4.3% (2.3 evts)
$K^+ \rightarrow \mu^+ \nu$	2.2% (1.2 evts)
$K^+ \rightarrow \pi^+ \pi^- e^+ \nu$	<3% (1.7 evts)
3 tracks	<1.5% (0.8 evts)
$K^+ \rightarrow \pi^+ \pi^0 \gamma$	~ 2% (1.1 evts)
$K^+ \rightarrow \mu^+ \nu \gamma$	~ 0.7% (0.4 evts)
others	negligible
Expected bkg	<13.5% (7.4 evts)

Вклад группы ИЯИ-ИФВЭ

МуV1, МуV3, CHOD

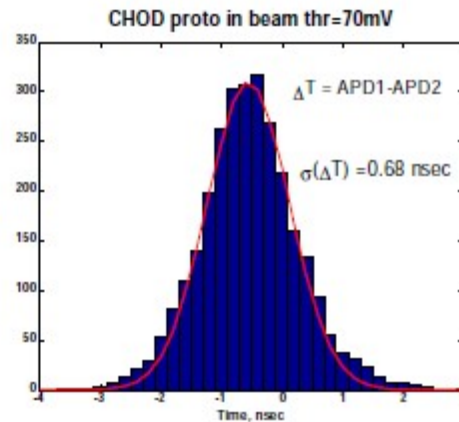
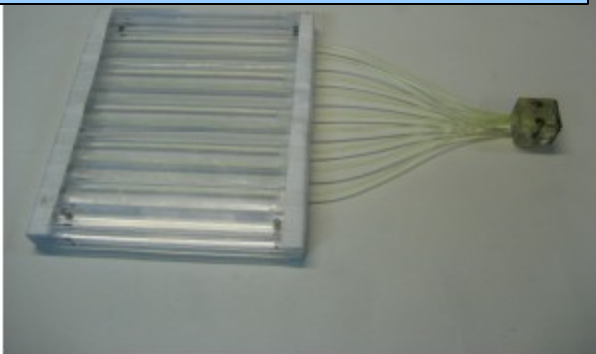
Сборка МуV3



Сцинтиллятор для МуV1



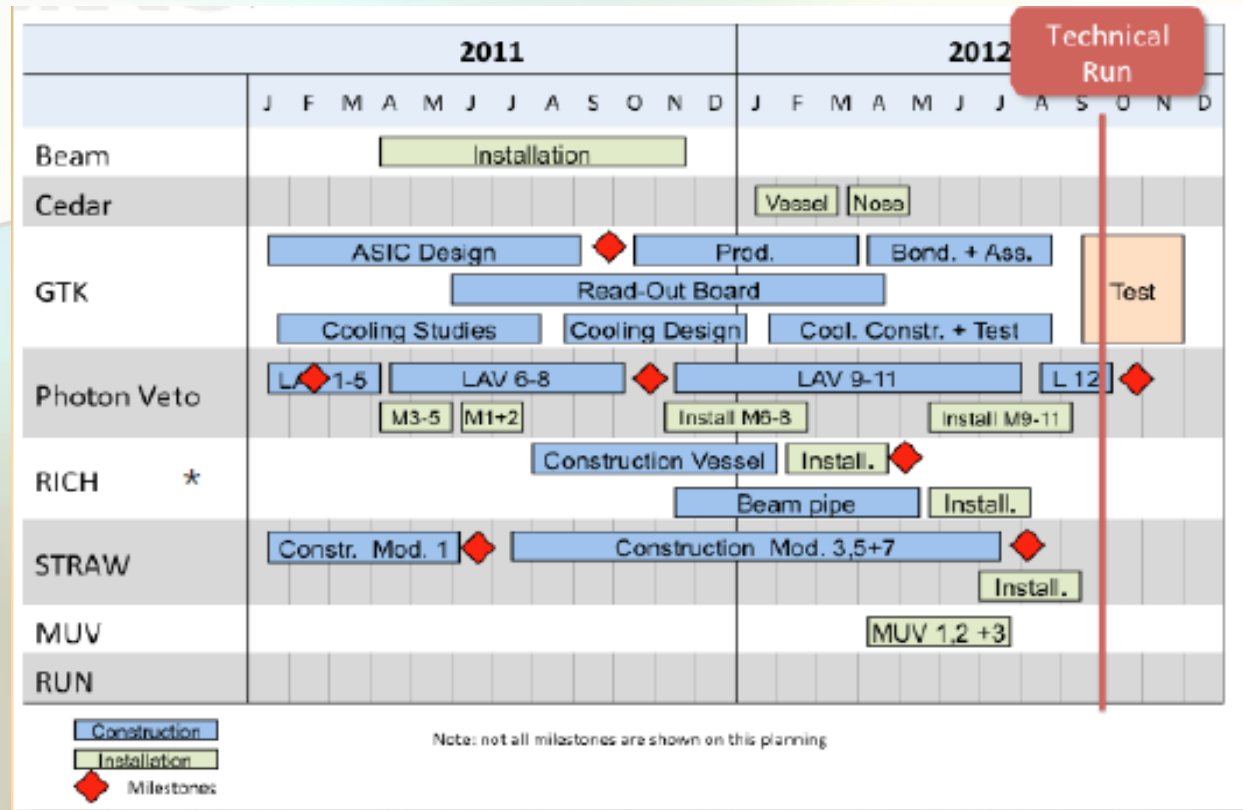
Прототип CHOD



Планы

2012: технический сеанс

2014-2015: набор статистики



Выводы

- 1. Изучение распада
комплементарно LHC**
- 2. В NA62 планируется получить
~100соб за 2 года**
- 3. В настоящий момент
завершается конструкция
установки**
- 4. 2012 - первый технический
сеанс, 2014-2015 - набор
статистики**

