### Детектор для Супер *с*-*т* фабрики.

Рабочее совещание по физической программе Супер c- $\tau$  фабрики

#### А. Барняков

#### Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН

#### Новосибирск 18–19 декабря 2017

#### 1 Введение.

- 2 Детектор для Супер с-т фабрики
  - Вершинный детектор
  - Дрейфовая камера
  - Система идентификации
  - Калориметр
  - Мюонная система
  - Магнитная система

#### Заключение

#### Тезис №1

Физическая программа определяет требования к детектору (и коллайдеру).

#### Тезис №2

От параметров детектора и примененных детекторных технологий зависит реализуемость физической программы.

#### Тезис №3

Конструкция детектора и коллайдера в месте встречи жестко связаны и могут ограничивать параметры друг друга.

#### Тезис №1

Физическая программа определяет требования к детектору (и коллайдеру).

#### Тезис №2

От параметров детектора и примененных детекторных технологий зависит реализуемость физической программы.

#### Тезис №3

Конструкция детектора и коллайдера в месте встречи жестко связаны и могут ограничивать параметры друг друга.

Для успешного развития проекта все три составляющих (Физ.программа, Коллайдер, Детектор) должны разрабатываться одновременно, учитывая особенности друг друга.

### Введение.

Некоторые требования к детектору.

#### Физическая программа

- Чармоний
  - Редкие распады $J/\psi$
  - . . .
- т-лептон
  - распады с LFV:  $\tau \rightarrow \mu \gamma$
  - Лептонная универсальность
  - . . .

#### • *D*-мезоны

- СР-нарушение
- (Полу)лептонные распады
- смешивание
- ...
- С-барионы
  - СР-нарушение
  - Редкие распады
  - . . .
- Экзотика ...

### Введение.

Некоторые требования к детектору.

Физическая программа	Коллайдер
• Чармоний	• $W = 2 \div 5\Gamma$ эВ
$\bullet$ Редкие распады $J/\psi$	• $l_{\text{бынча}} - 1 \div 1.8 \text{ см}$
•	• $\Delta t^{\mathrm{банч}} - 6$ нс
• 7-лептон	• IIBK: ø 24/l=900 mm
• распады с LFV: $\tau \to \mu \gamma$ • Лептонная универсальность	$\Phi \Phi + 15^{\circ}$
•	• $L: 10^{35} \text{ cm}^{-1} \text{ c}^{-1}$
• <i>D</i> -мезоны	
• СР-нарушение	
• (Полу)лептонные распады	
• смещивание	

- ...
- С-барионы
  - СР-нарушение
  - Редкие распады
  - . . .
- Экзотика ...

### Введение.

Некоторые требования к детектору.

Физическая программа	Коллайдер		
<ul> <li>Чармоний</li> <li>Редкие распады <i>J/ψ</i></li> <li></li> </ul>	<ul> <li>W = 2÷5ГэВ</li> <li>l<sub>бынча</sub> - 1÷1.8 см</li> <li>Δt<sup>банч</sup> - 6 нс</li> </ul>		
• $\tau$ -лептон • распады с LFV: $\tau \rightarrow \mu \gamma$ • Лептонная универсальность •	<ul> <li>ЦВК: Ø 24/l=900 мм</li> <li>ФФ: ±15°</li> <li>L: 10<sup>35</sup>см<sup>-1</sup>с<sup>-1</sup></li> </ul>		
• <i>D</i> -мезоны • <i>CP</i> -нарушение	Общие требования к детектору		
• (Полу)лептонные распады • смешивание	• Загрузка ~ 50÷300 кГц • Высокое импульсное и		
• С-барионы	энергетическое разрешение		

- СР-нарушение
- Редкие распады
- . . .
- Экзотика ...

для заряженных и

нейтральных частиц

• Высокая достоверность

 $e/\mu/\pi/K$ -разделения

#### Схематический вид.



- 1. Вершинный детектор
- 2. Дрейфовая камера
- 3. Система идентификации
- 4. Калориметр
- 5. Сверхпроводящая катушка (<br/>  $\sim$  1 Тл)
- 6. Ярмо магнита и мюонная система

#### Универсальный детектор. Вершинный детектор.

#### Задачи – параметры:

- Регистрация вершин и измерение пробега  $K_S^0, \Lambda, \ldots$ ?
- Регистрация треков в области недоступной для ДК
- Измерение импульса "мягких" частиц (до 50 МэВ/с)?
- $\phi_{\text{внутренний}} \ge 50$  мм;  $\phi_{\text{наружный}} \le 600$  мм; L < 900 мм;

#### Универсальный детектор. Вершинный детектор.

#### Задачи – параметры:

- Регистрация вершин и измерение пробега  $K_S^0$ ,  $\Lambda$ , ...?
- Регистрация треков в области недоступной для ДК
- Измерение импульса "мягких" частиц (до 50 МэВ/с)?
- $\phi_{\text{внутренний}} \ge 50$  мм;  $\phi_{\text{наружный}} \le 600$  мм; L < 900 мм;



#### Универсальный детектор. Вершинный детектор.

#### Задачи – параметры:

- Регистрация вершин и измерение пробега  $K_S^0$ ,  $\Lambda$ , ...?
- Регистрация треков в области недоступной для ДК
- Измерение импульса "мягких" частиц (до 50 МэВ/с)?
- $\phi_{\text{внутренний}} \ge 50$  мм;  $\phi_{\text{наружный}} \le 600$  мм; L < 900 мм;

#### Цилиндрический GEM

- Количество вещества  $\sim 1.5X_0$ ;
- $\sigma_{X-Y} \leqslant 100$  мкм/слой;
- σ<sub>t</sub> ≤7 нс;









#### Цилиндрический GEM (KLOE-2)

Дрейфовая камера.

#### Задачи:

- Регистрация треков
- Измерение импульса
- Измерение  $\frac{dE}{dx}$

Дрейфовая камера.

#### Задачи:

- Регистрация треков
- Измерение импульса
- Измерение  $\frac{dE}{dx}$

#### Параметры:

- Ø1600:500 мм; *L*=2000 мм;
- 7104 ячеек;
- $He/iC_4H_{10}(80/20);$
- 10 суперслоев: A 4; S 6 ±45÷76мрад;
- $\sigma_x \sim 125$  мкм;
- $\sigma_{t_{\mathrm{AP}}} \leqslant 1$  HC;
- $\frac{\sigma_{dE/dx}}{dE/dx} \leqslant 7.5\%;$
- $\frac{\sigma_{P_t}}{P_t} = (0.13 \pm 0.01)\% \cdot P_t + (0.45 \pm 0.03)\%;$



ДК детектора BaBar: ячейка и dE/dx.

Дрейфовая камера.

#### Задачи:

- Регистрация треков
- Измерение импульса
- Измерение  $\frac{dE}{dx}$





#### Схема следа от частицы

#### Координатное разрешение

#### Кластерный режим

На единичной дрейфовой трубке показано существенное улучшение пространственного и dE/dx разрешения.

Требует более сложной электроники для использования в реальном эксперименте.

Система идентификации.

#### Задачи:

- *π/К*-разделение для Р≥0.6 ГэВ/с
- $\mu/\pi$ -разделение для Р $\leqslant$ 1.2 ГэВ/с

Современный уровень	Перспективы:
$\pi/K$ -разделение	$\pi/K$ -разделение
• TOF: BES-III (MPD NICA) –	• TOF:
$\sigma_t \sim 100 \text{ пс} \rightarrow 3\sigma/0.9(1.5) \text{ ГэB/c}$	$\sigma_t{\sim}50\mathrm{nc} ightarrow3\sigma$ до $1.8(3.0)\Gamma$ э $\mathrm{B/c}$
• DIRC(BaBar)~4 $\sigma$ до 2.5 ГэВ/с	• $f\mathrm{DIRC}\sim\!\!3\sigma$ до 4.25 ГэВ/с
• АШИФ(КЕДР)~4 $\sigma$ до 1.5 ГэВ/с	• ФАРИЧ ${\geqslant}3\sigma$ до 6 ГэВ/с
$\mu/\pi$ -разделение при Р $pprox 1$ ГэВ/с	$\mu/\pi$ -разделение при Р $pprox 1$ ГэВ/с
• Belle $\sim 2.5 \div 2.8\sigma$	• ФАРИЧ ~5 <b>0</b>

Система идентификации: ФАРИЧ



Результаты испытаний прототипа ФАРИЧ на основе DPC Philips в 2012г.

#### Универсальный детектор. Система идентификации: ФАРИЧ



#### Параметры:

- Фокусирующий аэрогель, n<sub>max</sub>=1.07, 4 слоя
- Площадь радиатора: 17 м<sup>2</sup>

- Фотонные детекторы (3×3 мм<sup>2</sup>):
  - Барель КФЭУ (16 м<sup>2</sup>)
  - Торец КФЭУ, ФЭУ с МКП?, HAPD? (5  ${\rm M}^2$ )
- 10<sup>6</sup> каналов электроники
- загрузка 0.5÷1.0 МГц/канал
- требуется система охлаждения



# Универсальный детектор. Калориметр.

#### Задачи:

- $\bullet\,$ регистрация и измерение энерги<br/>и $\gamma$ от 1 МэВ до 2 ГэВ
- определение координат фотонов
- e/hadr-разделение
- формирование нейтрального триггера

#### Параметры:

• 
$$\frac{\sigma_E}{E} = 1.8\%(1 \ \Gamma \Rightarrow B) - CsI(TI)$$

• 
$$\sigma_z \approx \frac{6_{\rm MM}}{\sqrt{E(\Gamma \Rightarrow {\rm B})}}$$

pCsI:

- 16 $\div$ 18 $X_0 \rightarrow$ 30 $\div$ 34 см
- $\tau \approx 30$  нс  $(1 \ \mu c \ y \ CsI(Tl))$
- 5248 кристаллов $\rightarrow$ 26 $\div$ 31 т
- Фотопентоды или ЛФД+WLS



#### Схематический вид системы в разрезе

Калориметр.

	ρ, g/cm <sup>3</sup>	X <sub>0</sub> , cm	λ <sub>em,</sub> nm	n( <u>)</u> em, nm )	N <sub>ph</sub> /MeV	T, ns
CsI(TI)	4.51	1.85	550	1.8	52000	1000
pCsI	4.51	1.85	305	2	2000-5000	20
LSO	7.4	1.14	440	1.87	25000	40
(Lu <sub>2</sub> SiO <sub>5</sub> )						
LYSO (Lu <sub>2</sub> Y <sub>2</sub> SiO <sub>5</sub> )	7.4	1.10	430	1.82	31000	40
GSO (Cd <sub>2</sub> SiO <sub>5</sub> )	6.7	1.38	375	1.87	8000	50

- Основной недостаток кристаллов со структурой ортосиликатов стоимость в 5÷10 раз больше CsI(Tl)
- 15÷20 X<sub>0</sub> достигается при меньшей толщине
- Меньше радиус мольера  $\rightarrow$  лучше пространственное разрешение
- Световыход лучше, чем у pCsI, максимум высвечивания в области видимого света

С учетом экономии на объеме, фотодетекторах и сверхпроводящем соленоиде, возможно, – это не слишком дорогая опция?!

#### Задачи – параметры:

- µ/hadr-разделение
- $\mu/\pi$ -разделение по пробегу
  - баррель 9 слоев в ярме (64%×4π)
  - торец 8 слоев в ярме (30%×4π)
- $S_{\rm системы} \approx 1000 {\rm m}^2$

#### Задачи – параметры:

- µ/hadr-разделение
- $\mu/\pi$ -разделение по пробегу
  - баррель 9 слоев в ярме (64%×4π)
  - торец 8 слоев в ярме (30%×4π)
- $S_{\rm системы} \approx 1000 {\rm m}^2$

#### $\mu/\pi$ -разделение

- BaBar: 64%/2% при P=0.5÷2 ГэВ/с
- Belle: 90%/2% при Р≥1 ГэВ/с
- КЕДР: 95%/5% при Р≥1 ГэВ/с

Подавление  $\pi \ge 100$  раз возможно совместно с ФАРИЧ

#### Задачи – параметры:

- µ/hadr-разделение
- $\mu/\pi$ -разделение по пробегу
  - баррель 9 слоев в ярме (64%×4π)
  - торец 8 слоев в ярме (30%×4π)
- $S_{\rm системы} \approx 1000 {\rm m}^2$

#### Стримерные трубки

- технология, электроника
- старение?, загрузочная способность?, ...
- КЕДР, КМД,  $\overline{P}$ ANDA, ...

#### $\mu/\pi$ -разделение

- BaBar: 64%/2% при P=0.5÷2 ГэВ/с
- Belle: 90%/2% при Р≥1 ГэВ/с
- КЕДР: 95%/5% при Р≥1 ГэВ/с

Подавление  $\pi \ge 100$  раз возможно совместно с ФАРИЧ

#### Задачи – параметры:

- µ/hadr-разделение
- $\mu/\pi$ -разделение по пробегу
  - баррель 9 слоев в ярме (64%×4π)
  - торец 8 слоев в ярме (30%×4π)
- $S_{\rm системы} \approx 1000 {\rm m}^2$

#### $\mu/\pi$ -разделение

- ВаВаг: 64%/2% при P=0.5÷2 ГэВ/с
- Belle: 90%/2% при Р≥1 ГэВ/с
- КЕДР: 95%/5% при Р≥1 ГэВ/с

Подавление  $\pi \ge 100$  раз возможно совместно с ФАРИЧ

#### Стримерные трубки

- технология, электроника
- старение?, загрузочная способность?, ...
- КЕДР, КМД,  $\overline{P}$ ANDA, ...

#### RPC

- пространственное и временное разрешение
- старение, электроника
- Belle (KEK), BaBar (SLAC), ...

#### Задачи – параметры:

- µ/hadr-разделение
- $\mu/\pi$ -разделение по пробегу
  - баррель 9 слоев в ярме (64%×4π)
  - торец 8 слоев в ярме  $(30\% \times 4\pi)$
- $S_{\rm системы} \approx 1000 {\rm m}^2$

#### $\mu/\pi$ -разделение

- BaBar: 64%/2% при P=0.5÷2 ГэВ/с
- Belle: 90%/2% при Р≥1 ГэВ/с
- КЕДР: 95%/5% при Р≥1 ГэВ/с

### Подавление $\pi \ge 100$ раз возможно совместно с ФАРИЧ

#### Стримерные трубки

- технология, электроника
- старение?, загрузочная способность?, ...
- КЕДР, КМД,  $\overline{P}$ ANDA, ...

#### RPC

- пространственное и временное разрешение
- старение, электроника
- Belle (KEK), BaBar (SLAC), ...

Сцинтиллятор + WLS +  $MA\Phi \Im Y$ 

- простота в эксплуатации
- цена?
- MINOS (FNAL)

#### Требования к магнитной системе

- Длина соленоида 4 м
- Внутренний диаметр 3.2 м
- Внутри соленоида (трековая система, ФАРИЧ, калориметр)
- Магнитное поле 1÷1.2 Тл
- Запасенная энергия 28.8 МДж
- Время подъема тока  $\leqslant 4$ ч
- Доступ к системам детектора за 12÷24 часа
- В ярме должны размещаться мюонные камеры: 9 слоев в баррели и 8 в торце

Очень схож по требованиям магнит для дететкора PANDA (FAIR).

- В ИЯФ СО РАН создана концепция универсального детектора, учитывающая современный уровень развития детекторных технологий и отвечающая требованиям первой версии физической программы с учетом некоторых параметров коллайдера.
- Необходима актуализация и детальная проработка физической программы для выработки более четких требований к детектору и его системам.
- Для каждой системы детектора существует несколько опций, выбор которых должен происходить как на основании требований физической программы, так и на основании их методической и технической проработанности опции.
- Для создания технического проекта детектора необходимо начинать проработку базовых и не основных опций систем детектора на уровне специализированных прототипов, для чего необходимо создание широкой внутрироссийской и международной коллаборации.

# Детектор



# ФАРИЧ метод (*Мотивация*)

# Пороговый импульс

 $\Delta \Theta_c(n)$ 







Д. Епифанов и др.

# Магнитная система

# Супер Чарм-Тау фабрика

# Эксперимент PANDA (FAIR)

## <u>ЗАДАЧА:</u>

Создавать аксиальное магнитное поле для восстановления импульса и заряда заряженных частиц

### Технические требования

- Длина соленоида 4 м
- Внутренний диаметр 3.2 м
- Внутри соленоида (трековая система, ФАРИЧ, электромагнитный калориметр)
- Магнитное поле 1÷1.2 Тл
- Запасенная энергия 28.8 МДж
- Время подъема тока < 4 ч
- Доступ к системам детектора за 12-24 часа
- В ярме должны размещаться мюонные камеры: 9 слоев в баррели и 8 – в торце

### Технические требования

- Длина соленоида 3 м
- Внутренний диаметр 1.9 м
- Магнитное поле 2 Тл ±2%
- Внутри соленоида (трековая, времяпролетная система, черенковские счетчики и электромагнитный калориметр) массой 23 тонны
- В ярме должны размещаться мюонные камеры: 13 слоев в баррели и 6 в торце
- Магнит должен перемещаться с линии пучка и обратно. Время остановки комплекса – меньше недели. Положение должно воспроизводиться с точностью лучше 1мм.
- Криогенная система монтируется сверху на ярме.
- ИЯФ планирует заключить контракты:
  - 1. на изготовление магнита;
  - 2. На измерения магнита;
  - Е.Э. Пята, С.Г. Пивоваров и др.

# Магнит, ярмо и платформа (PANDA)



# Октант ярма (PANDA)

