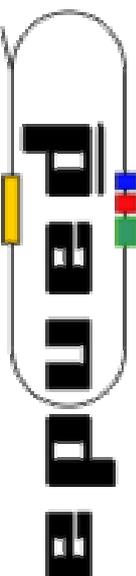


# Эксперимент



## Участники работы (ПИАФ):

С.Л. Белостоцкий

Д.О. Веретенников

В.В. Вихров

А.А. Жданов

П.В. Кравченко

А.Ю. Киселев

О.В. Миклухо

С.И. Манаенков

А.А. Изотов

Ю.Г. Нарышкин

# Основные пункты физической программы

## Спектроскопия чармония $cc$

рекордная точность при измерениях масс, ширины и каналов распада

## Поиск экзотических состояний

Glueballs ( $gg$ )

Hybrids ( $gq\bar{q}-bar$ )

Изучение свойств адронов в ядерной материи

## Открытый чарм

## Структура нуклона

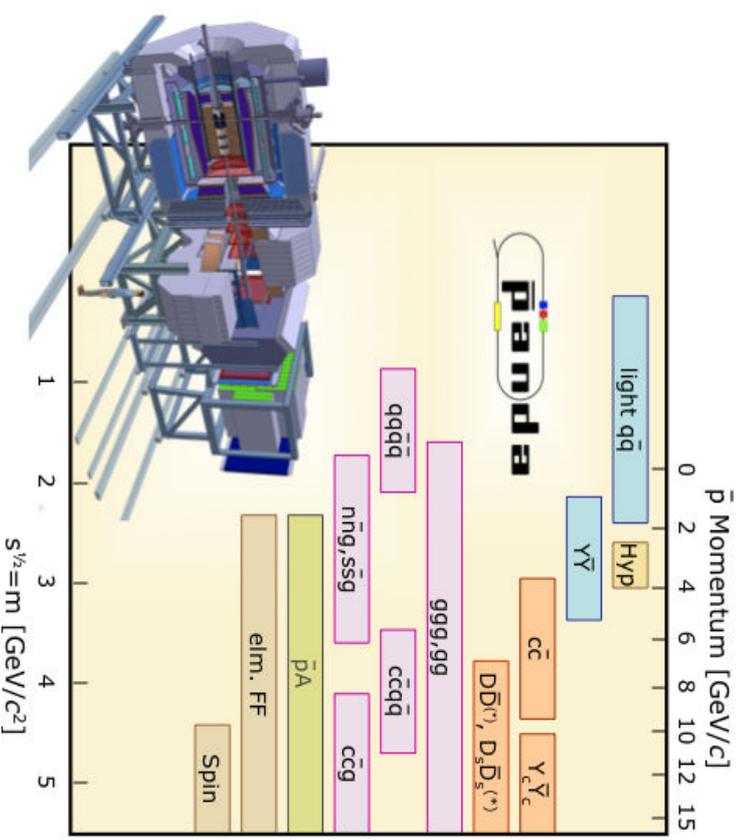
Proton time-like form factors

Исследование рождения и поляризации гиперонов а так же исследование корреляции поляризации гиперонов

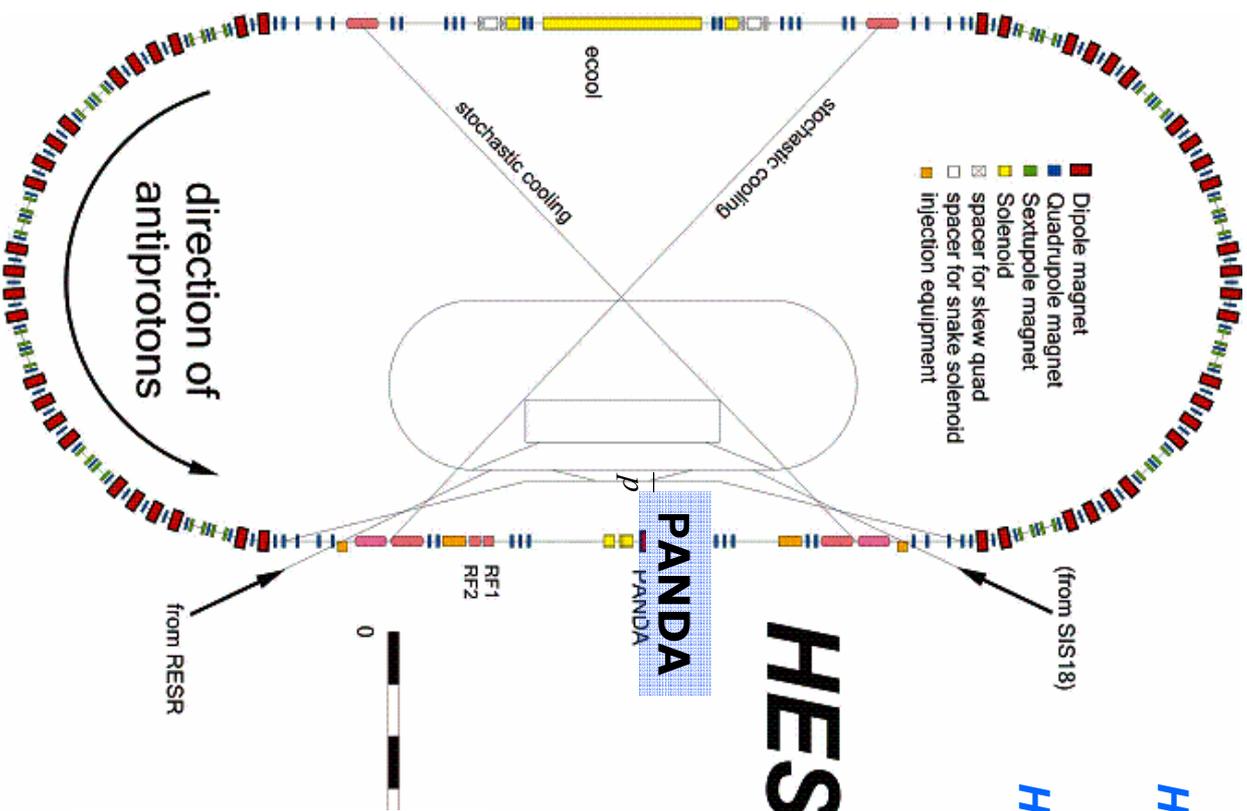
## Гиперядра со странностью

Double Nucleuslike production via  $\Xi^-$  capture

...



# High Energy Storage Ring



## HESR

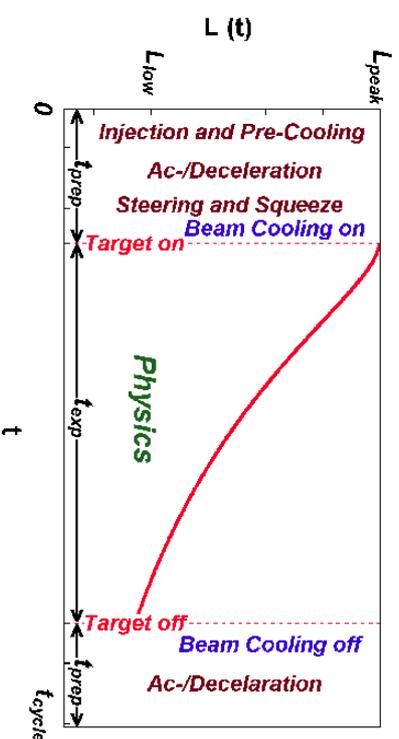
High luminosity mode:

$$L = 2 \times 10^{32} \text{ [cm}^{-2}\text{s}^{-1}\text{]}, \sigma_p/\sigma \leq 2 \cdot 10^{-5}$$

High resolution mode:

$$L = 2 \times 10^{31} \text{ [cm}^{-2}\text{s}^{-1}\text{]}, \sigma_p/\sigma \sim 10^{-4}$$

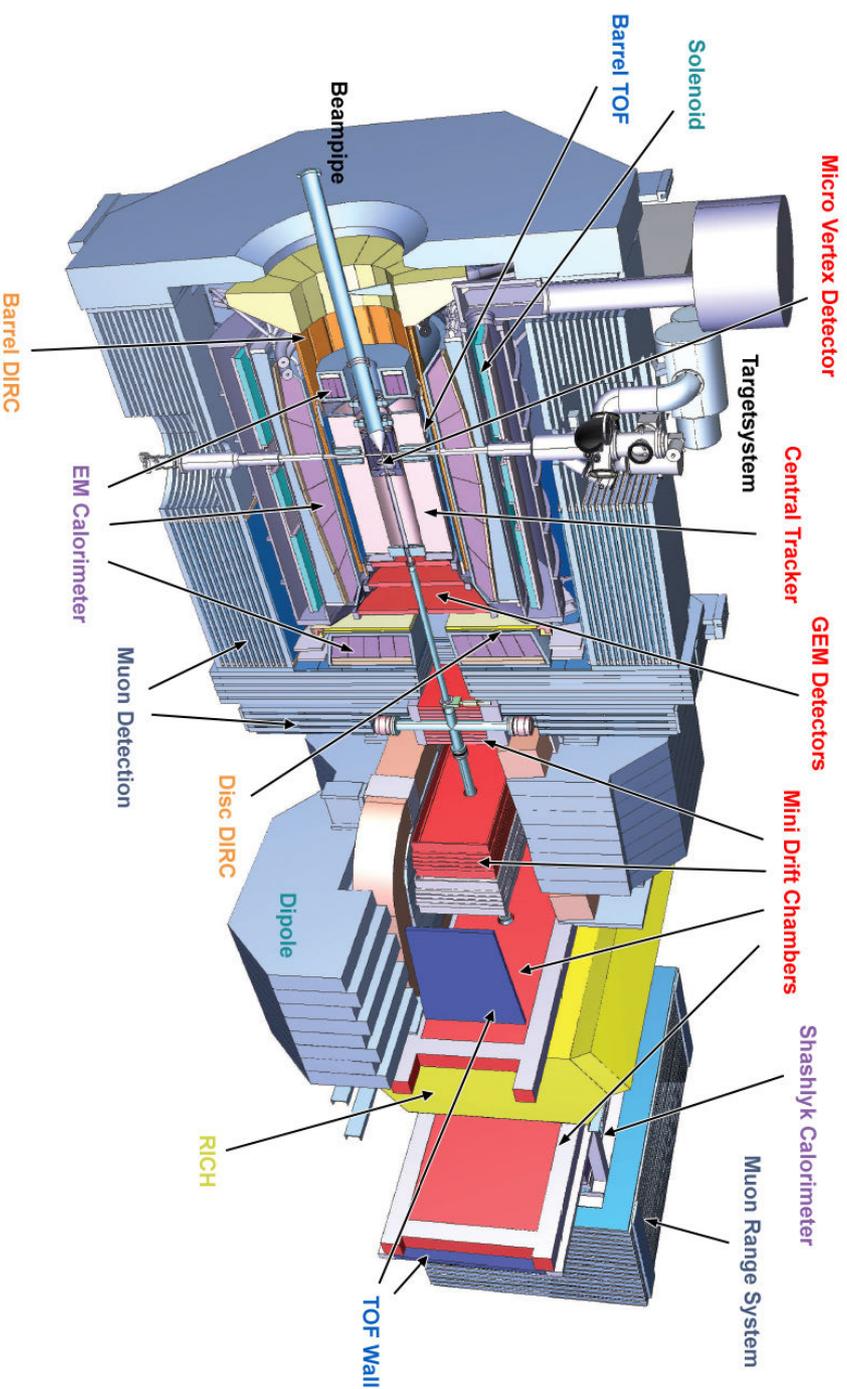
- Injection of  $p$  at 3.8 GeV/c
- Momentum range (1.5-14.5 GeV/c)
- beam intensity  $2 \times 10^{7}/\text{s}$
- target thickness  $10^{15} \text{ cm}^{-2}$



$$t_{\text{exp}} = 2 \text{ h}$$

$$t_{\text{prep}} = 5 \text{ min}$$

# Детектор PANDA



- **центральный и передний спектрометр**
- **высокая скорость счета:  $2 \times 10^7$  с<sup>-1</sup> без триггера**
- **импульсное разрешение ~1% и разрешение по времени пролета лучше 100 пс**
- **реконструкция вершин для  $D, K_s^0, \Lambda$  (35 микрон для  $D^\pm$ )**
- **регистрация  $\gamma, e, \mu, \pi, K, p$**

# Прогресс дѣтєктора

Диполь и солєноид: ТДР принят

Мишень: ТДР принят

EMC: ТДР принят

MVD: ТДР принят

STT: ТДР планируется весна 2012

MUON: ТДР планируется весна 2012

FTOF: ТДР планируется в конце 2012

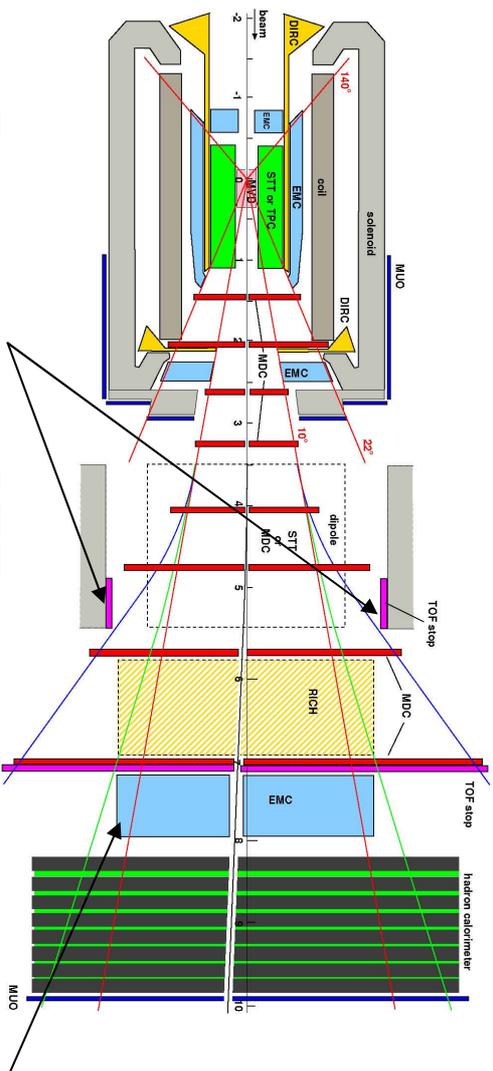
GEM: ТДР планируется в конце 2012

LUMI: ТДР планируется в конце 2012

DIRC: ТДР планируется после 2012

DAQ: ТДР планируется в 2014

# Детектор PANDA



## Боковые стенки ВПД

- передняя стенка

140x5x1.5 см<sup>3</sup>, 20 пластин,  
140x10x1.5 см<sup>3</sup>, 46 пластин

- боковые стенки, внутри дипольного магнита  
100x10x1.5 см<sup>3</sup>, 14 пластин в каждой стенке

изготовлены из пластикового сцинтиллятора  
BC408.

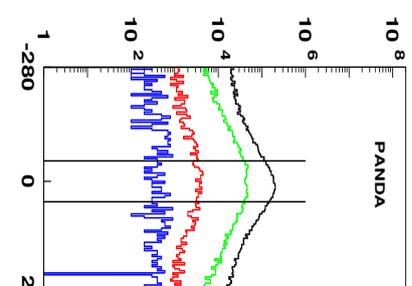
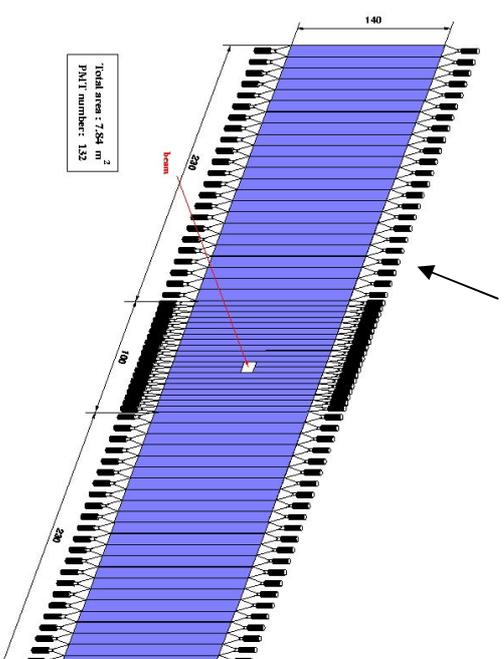
Требуемое временное разрешение ВПД  
не хуже 100 пс

ФЭУ R4998 (для 5 ст пластин) (SiPM ?)  
ФЭУ R2083 (для 10 ст пластин) (SiPM ?)  
(SiPM для боковых стенок ВПД.

European grant FP7

Угловой аксептанс  
переднего спектрометра:  
± 5° по вертикали  
± 10° по горизонтали

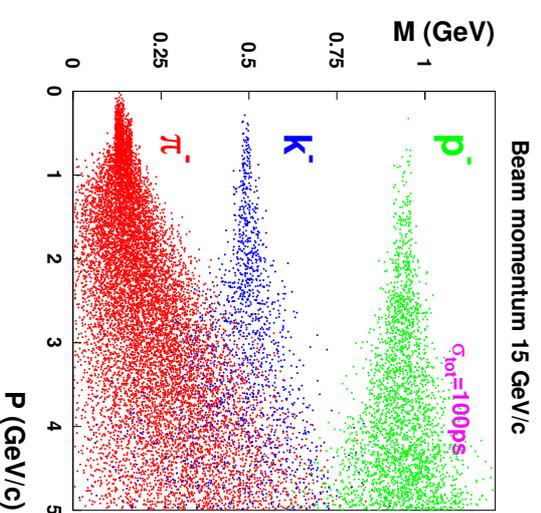
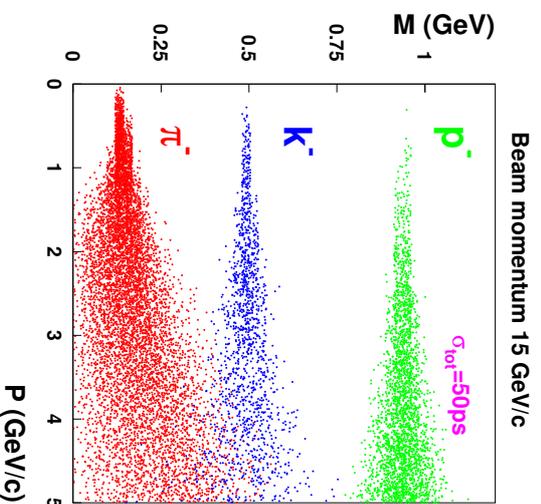
## Передняя стенка ВПД



Number of generated  
Events 25000

black — all events  
red — contribution  
from tubes  
blue — contribution  
from tubes  
e+e-  
green —  $\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$

# Идентификация адронов в переднем Спектрометре с помощью ВПД

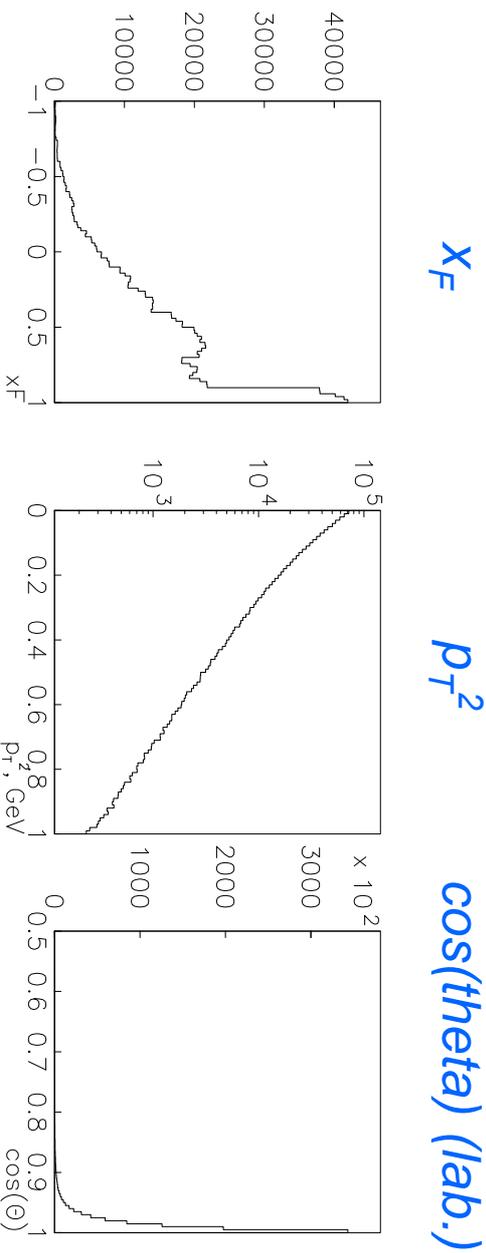


- Эффективное разделение пионов и каонов возможно до импульса частиц 3 Гэв/с, а разделение каонов и протонов до импульса 4 Гэв/с
- Совместное использование барельного "ВТОГ" времяпролетного детектора и переднего ТОГ детектора позволит улучшить эффективность идентификации частиц
- RICH (HERMES) хорошо идентифицирует пионы выше 1.5 Гэв/с, каоны выше 2 Гэв/с и протоны выше 4 Гэв/с, совместное использование ТОГ/RICH позволит идентифицировать адроны в широком диапазоне импульсов
- Если RICH идентифицирует адроны то можно определить  $t_0$  без стартового счетчика
- Использование стартового счетчика было бы лучшим решением (в варианте SiPM)

Первые результаты математического моделирования  
 для реакции  $\bar{p}p \rightarrow \bar{\Lambda}X$  ( $\bar{p}p \rightarrow \Sigma X$ ,  $pp \rightarrow \Lambda_c X \dots$ )  
 с использованием RANDDROOT

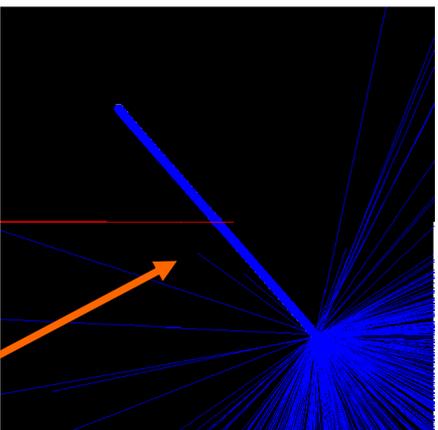
Параметризация для генератора событий Nucl.Phys.B150:119,1979  
 $p=3.6 \text{ GeV}/c$ .

Генерированные распределения  
 для анти-лямбда гиперонов

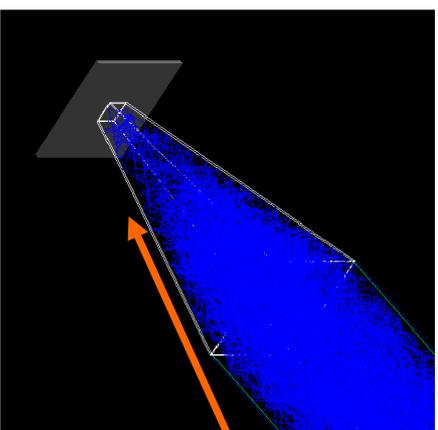


N сгенерированных Анти-Лямбда гиперонов	75607
N анти-протонное и пионное распада анти-Лямбда гиперонов зарегистрированных FTOF	16400
N анти-протонное и пионное от распада анти-Лямбда гиперонов зарегистрированных FTOF	256

# Монте-Карло моделирование с использованием GEANT4 для оптимизации размеров пластиковых сцинтилляторов



**25x25x1400 мм ВС408 пластиковый  
сцинтиллятор использовался для  
моделирования, с одной стороны  
размещен детектор фотонов  
размером 25x25 мм, другая сторона  
без детектора**



**Конический световод  
использовался для  
моделирования  
с детектором фотонов  
меньшего размера 5x5 мм**

**Моделирование проводилось  
для пучка электронов с  
энергией 5 Гэв  
проходящем через центр  
пластикового сцинтиллятора**

Расстояние от детектора	50 мм	700 мм	1350 мм
Число фотонов	4015	3311	1537

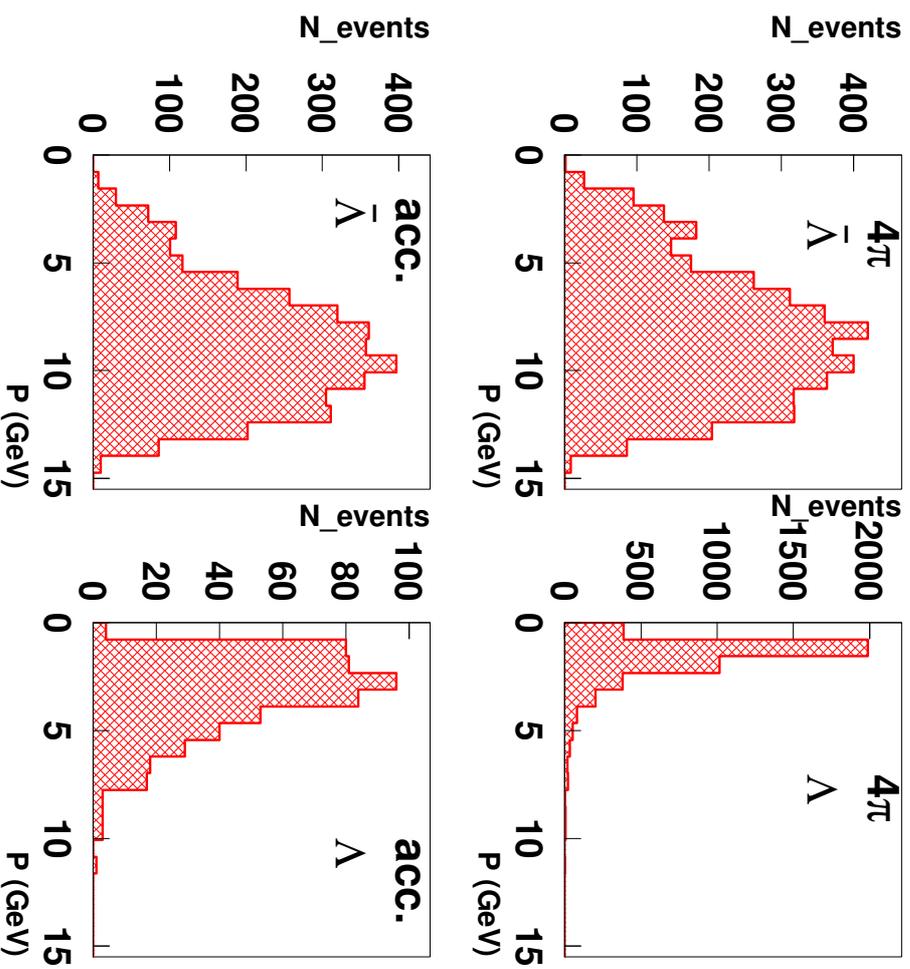
## **Защита ТДР в конце 2012 года.**

- *Продолжение работы по моделированию процессов распространения и поглощения света в материале сцинтиллятора и световодов с целью оптимизации их размеров и формы.*
- *Исследования временного разрешения, эффективности, выбор оптимальных размеров пластики и пр. на местных пучках в ПИЯФ, Юлхе (DESY ?)*
- *Выбор фотоумножителей: SiPM или обычные ФЭУ*
- *Разработка предложения по использованию стартового счетчика*
- *Продолжение работы по математическому моделированию способности ВПД (совместно с RICH и другими детекторами) обеспечить надежную идентификацию адронов (пионов, каонов, протонов, анти-протонов) в широком интервале импульсов, моделирование различных физических каналов с использованием RANDALroot framework в том числе и с учетом физического фона*

# *Back up slides*

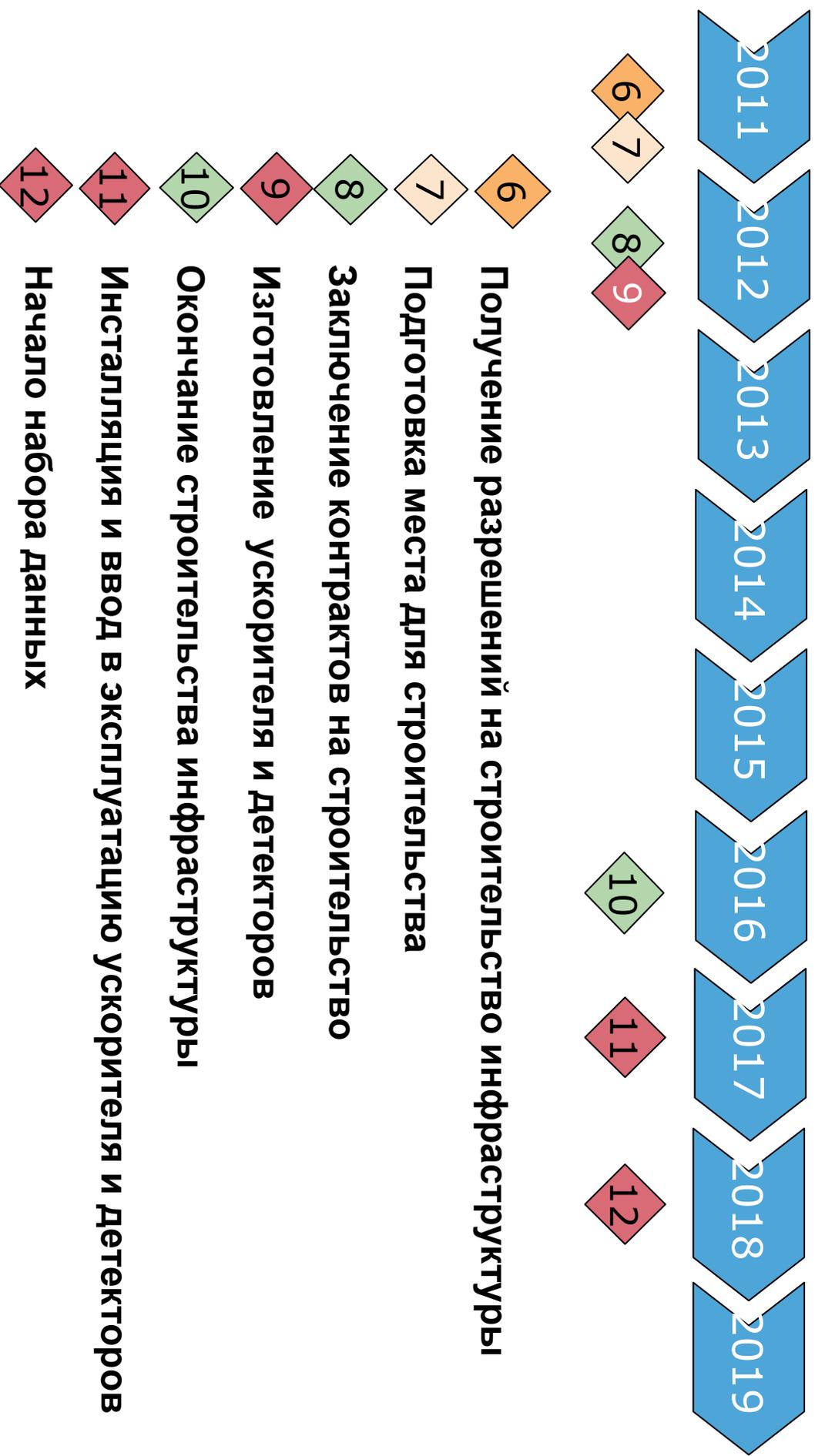
# ***PANDA detector***

*Simulation with DPM generator:*



	$\Lambda$ -bar	$\Lambda$
<b>4<math>\pi</math></b>	<b>4187</b>	<b>4185</b>
<b>FS</b>	<b>3285</b>	<b>512</b>

## Timelines



# ОСНОВНЫЕ ПУНКТЫ ФИЗИЧЕСКОЙ ПРОГРАММЫ

## Charmonium ( $c\bar{c}$ -bar) Spectroscopy

Unprecedented precise measurements of masses, widths and BR

$$\bar{p}p \rightarrow f_2(2000 - 2500) \rightarrow \phi\phi$$

## Exotic states

Glueballs ( $gg$ )

Hybrids ( $gq\bar{q}$ -bar)

$$\bar{p}p \rightarrow [\bar{\eta}_{c0,1,2}, \bar{h}_{c0,1,2}, \chi_{c1}] \eta \rightarrow DD^* \eta$$

## Study of Hadrons in Nuclear Matter

### Open Charm

### Nucleon Structure

Proton time-like form factors

$$\bar{p}p \rightarrow e^+ e^-$$

Hyperon production and polarization and polarization correlation

$$\bar{p}p \rightarrow \bar{\Lambda}\Lambda, \bar{p}p \rightarrow \bar{\Xi}\Xi$$

### Nuclear Physics: Strangeness Sector

Double Hypernuclei production via  $\Xi^-$  capture

$$\bar{p}p \rightarrow \bar{\Xi}^+ \Xi^-$$

...

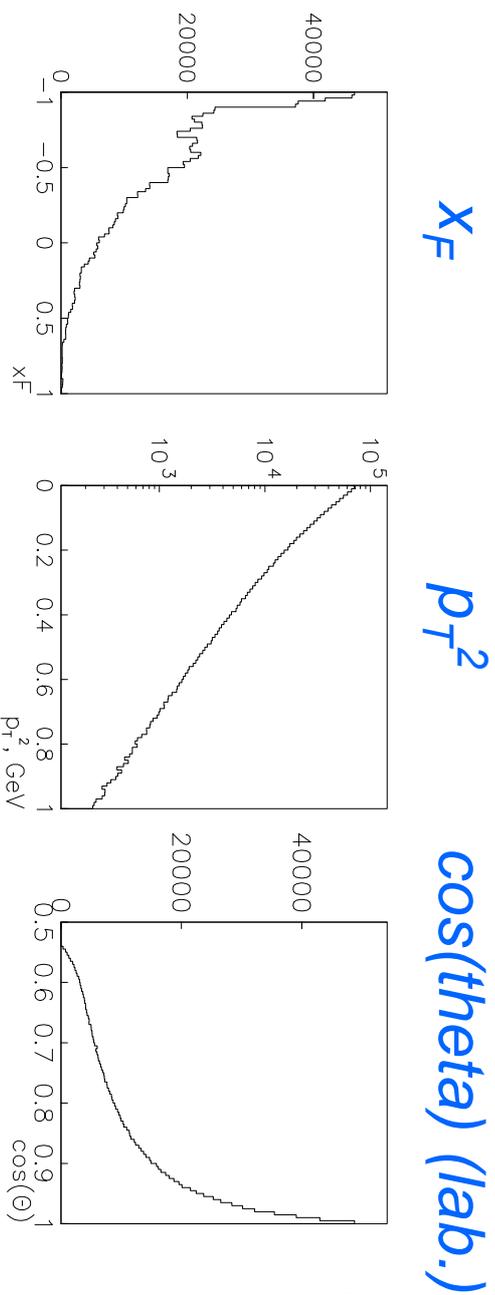
*First simulation with benchmark channel in PANDAroot  
 $\bar{p}p \rightarrow \Lambda X$  with the solenoid and dipole fields and FTOF  
 geometry*

*The event generator parameterization is taken from the paper:*

***INCLUSIVE PRODUCTION OF  $K_0(S)$ , LAMBDA AND anti-LAMBDA IN anti-p p***

***ANNIHILATIONS AT 3.6-GeV/c. Published in Nucl.Phys.B150:119,1979.***

*Initial (generated) distributions for Lambda:*



**Statistics of generated and accepted particles**

N Lambda hyperons generated	172952
N protons from $\Lambda$ -decay "accepted" by FTOF	5331
N pions from $\Lambda$ -decay "accepted" by FTOF	2
N protons + pions from $\Lambda$ -decay "accepted" by FTOF	5
N pions + protons from $\Lambda$ -decay "accepted" by FTOF	16

### 2.6.1.1 Open Charm Spectroscopy

The  $B$ -Factory experiments have discovered several resonances in the  $D$  ( $c\bar{d}$ ,  $c\bar{u}$  and c.c.) and  $D_s$  ( $c\bar{s}$  and c.c.) sector where two are extremely narrow, ( $D_{sJ}^*(2317)$  [95] and  $D_{sJ}(2458)$  [96, 97, 98]). The measurements have triggered intense discussions since they appear at unexpected locations giving rise to speculations about their nature. The large mass shift (compared to theoretical predictions [99]) is discussed in terms of chiral aspects in heavy-light systems [100, 101]. The models would have strong implications on any system with a single light quark. It is important to verify this finding and to settle this question albeit that there is some evidence for the scalar  $D$  state [102, 103]. Threshold pair production can be employed for precision measurements of the mass and the width of narrow excited  $D$  and  $D_s$  states.

# Наша физическая программа

✓ изучение инклюзивных реакций:



полуинклюзивных реакций:



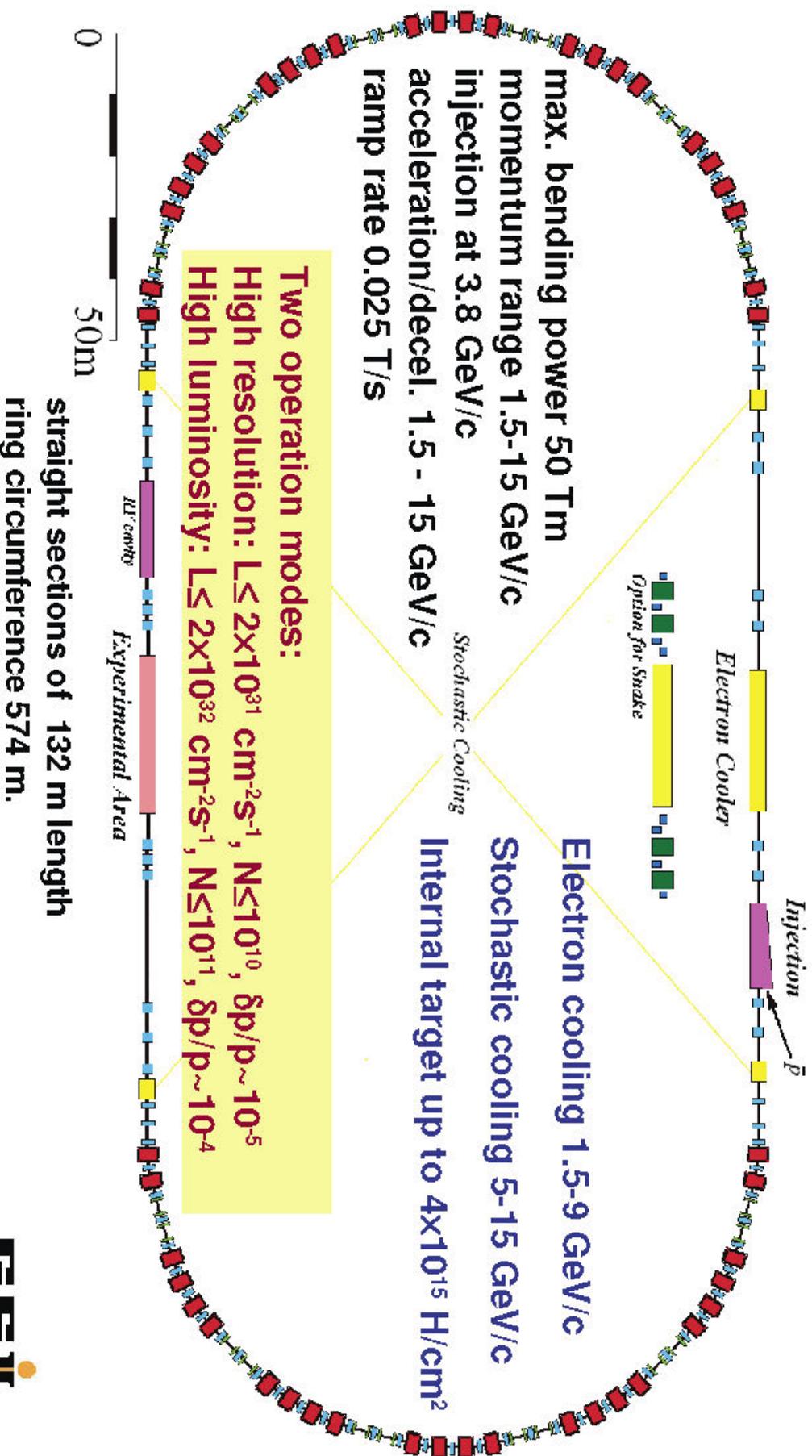
эксклюзивных реакций:



✓ Изучение спонтанной поляризации гиперонов

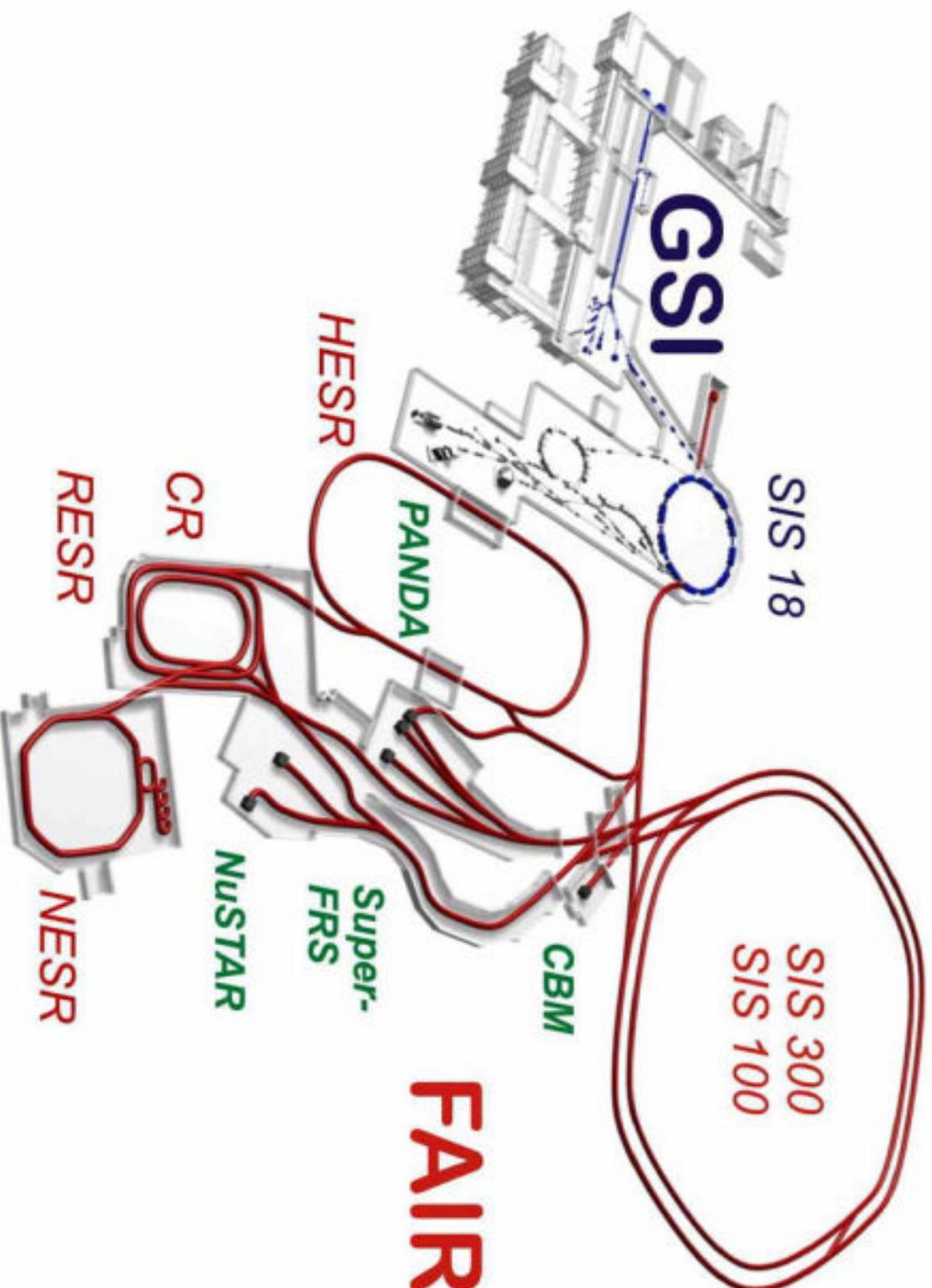
# The High Energy Storage Ring HESR

designed by a consortium between FZ Jülich, TSL Uppsala, GSI





## *HESR Accelerator and PANDA detector*



# Selection Rates



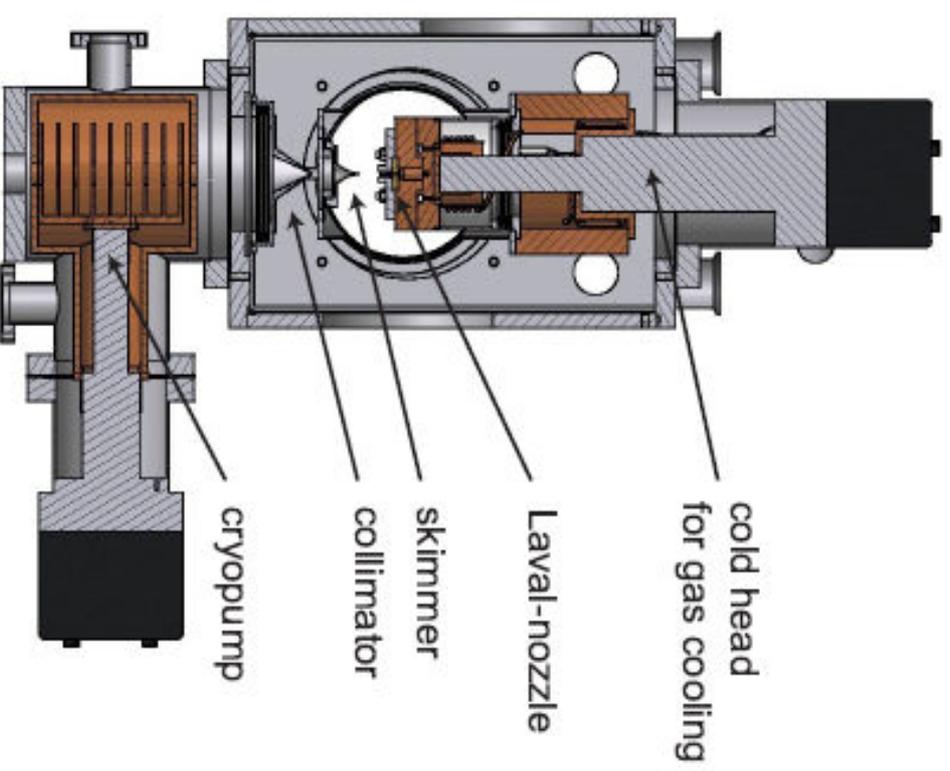
## Extreme rates

- The misconception: “*all is done in online reconstruction*”
  - Selection has to take place in real-time
  - Computing power for selection has to be manageable
- Estimate of selection rates and computing power
  - Simplified picture processing core as smallest computing unit
  - Assume 1 s per event for a full reco and selection analysis
  - Peak rate of 50 MHz leads to 50 M cores!
  - Realistic: 50 k cores -> need 1000x reduction fast
  - estimate of time: 1ms => 50 k cores as well, better 100  $\mu$ s
- First selection has to be very fast: *software trigger*

# Conclusions



- PANDA has no *hardware trigger* to start detector readout
- PANDA will have *software triggers* to do fast selection
- Software triggers rely on simple signature which allow large rejection factors
- Fast selection and event association require precise timing which must be easily available (no complicated reconstruction)
- The design of software triggers is in a virgin state
- Time based simulations are an essential tool
- Physics signatures have to be defined with fast selection in mind



**Figure 4.23:** A cross section drawing of the cluster-jet source currently in operation at the University of Münster. The cluster-jet beam, produced in the Laval-nozzle (center of the figure), travels through two conical apertures for shape and size preparation and passes a specifically designed cryopump. The external vacuum pumps are not shown.

# Storage Rings – Antiproton Operation (Concept of 2003)

SIS 100: acceleration of  $2.8 \times 10^{13}$  protons  
and bunching to a 25 ns pulse

$E = 29 \text{ GeV}$   
 $\delta p/p = \pm 0.7 \%$ ,  $\epsilon_{x,y} = 4 \times 10^{-6} \text{ m}$

pbar target: production of  $1.0 \times 10^8$  pbars/ 5 s

$E = 3 \text{ GeV}$ ,  $N = 1 \times 10^8/\text{cycle}$   
 $\delta p/p = \pm 3.0 \%$ ,  $\epsilon_{x,y} = 240 \times 10^{-6} \text{ m}$

CR: bunch rotation and fast stochastic cooling  
with total cooling time 5 s

$E = 3 \text{ GeV}$ ,  $N = 1 \times 10^8/\text{cycle}$   
 $\delta p/p = \pm 1 \times 10^{-3}$ ,  $\epsilon_{x,y} = 5.0 \times 10^{-6} \text{ m}$

RESR: accumulation of pbars by stochastic  
cooling, deceleration of pbars

$E = 0.8 - 3 \text{ GeV}$ ,  $N = 10^8 - 10^{11}$   
 $\delta p/p = 5 \times 10^{-4}$ ,  $\epsilon_{x,y} = 1 \times 10^{-6} \text{ m}$

SIS 100: acceleration to final energy

NESR: deceleration to 30 MeV

$E = 0.8 - 14.5 \text{ GeV}$

FLAIR

HESR: internal experiments with cooled pbars

$E = 30 - 0.3 \text{ MeV}$

<b>Injection Parameters</b>	
Transverse emittance	0.25 mm · mrad (normalized, rms) for $3.5 \cdot 10^{10}$ particles, scaling with number of accumulated particles: $\epsilon_{\perp} \sim N^{4/5}$
Relative momentum spread	$3.3 \cdot 10^{-4}$ (normalized, rms) for $3.5 \cdot 10^{10}$ particles, scaling with number of accumulated particles: $\sigma_p/p \sim N^{2/5}$
Bunch length	150 m
Injection Momentum	3.8 GeV/c
Injection	Kicker injection using multi-harmonic RF cavities

### Experimental Requirements

Ion species	Antiprotons
p production rate	$2 \cdot 10^7$ /s ( $1.2 \cdot 10^{10}$ per 10 min)
Momentum / Kinetic energy range	1.5 to 15 GeV/c / 0.83 to 14.1 GeV
Number of particles	$10^{10}$ to $10^{11}$
Target thickness	$4 \cdot 10^{15}$ atoms/cm <sup>2</sup> (H <sub>2</sub> pellets)
Transverse emittance	< 1 mm · mrad
Betatron amplitude E-Cooler	25–200 m
Betatron amplitude at IP	1–15 m

### Operation Modes

High resolution (HR)	Luminosity of $2 \cdot 10^{31}$ cm <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> for $10^{10}$ p rms momentum spread $\sigma_p/p \leq 2 \cdot 10^{-5}$ , 1.5 to 9 GeV/c, electron cooling up to 9 GeV/c
High luminosity (HL)	Luminosity of $2 \cdot 10^{32}$ cm <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> for $10^{11}$ p rms momentum spread $\sigma_p/p \sim 10^{-4}$ , 1.5 to 15 GeV/c, stochastic cooling above 3.8 GeV/c

**Table 2.1:** Injection parameters, experimental requirements and operation modes.

# Physics@PANDA

## Benchmark Channels

Charmonium Spectroscopy

[\$p\text{-bar } p \rightarrow J/\psi \pi^0 \pi^0\$](#)

[\$p\text{-bar } p \rightarrow J/\psi \pi^+ \pi^-\$](#)

[\$p\text{-bar } p \rightarrow J/\psi \eta\$](#)

[\$p\text{-bar } p \rightarrow X\_{c1} \gamma\$](#)

[\$p\text{-bar } p \rightarrow J/\psi \gamma\$](#)

[\$p\text{-bar } p \rightarrow \eta\_{c1} \gamma\$](#)

Charmonium Above Threshold

[\$p\text{-bar } p \rightarrow DD\$](#)

[\$p\text{-bar } p \rightarrow D^\* D^\*\$](#)

Charmed Strange Meson

[\$p\text{-bar } p \rightarrow D\_s D^\* s\_0\(2317\)\$](#)

Exotics

[\$p\text{-bar } p \rightarrow \psi \eta\$](#)

[\$p\text{-bar } p \rightarrow Y\(3940\) \rightarrow J/\psi \omega\$](#)

[\$p\text{-bar } p \rightarrow Y\(4320\)\$](#)

[\$p\text{-bar } p \rightarrow \psi\(2S\) \pi^+ \pi^-\$](#)

[\$p\text{-bar } p \rightarrow \phi \phi\$](#)

Hyperon Production

[\$p\text{-bar } p \rightarrow \Lambda \Lambda\text{-bar}\$](#)

[\$p\text{-bar } p \rightarrow \Xi \Xi\text{-bar}\$](#)

Baryon Spectroscopy

[\$p\text{-bar } p \rightarrow \Xi \Xi^\*\$](#)

Formfactors

[\$p\text{-bar } p \rightarrow e^+ e^-\$](#)

[\$p\text{-bar } p \rightarrow \gamma \gamma\$](#)

J/ψ In Nuclear Matter

[\$p\text{-bar } A \rightarrow J/\psi X\$](#)

Drell Yan Process

[\$p\text{-bar } p \rightarrow l^+ l^- X\$](#)