

# Инженерная инфраструктура детектора ВЭПП – 6

---

**В.С. Бобровников**

✉ [v.s.bobrovnikov@inp.nsk.su](mailto:v.s.bobrovnikov@inp.nsk.su)

Совещание по ВЭПП – 2000/ВЭПП – 6

19/12/2025





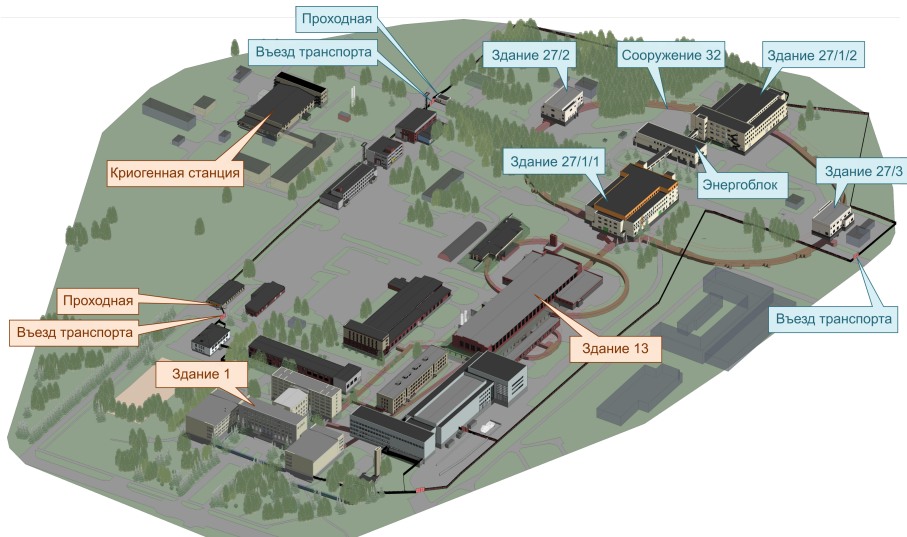
### Основные положения принятые при написании текста

- ① Ограничений по финансам нет, поскольку выделенных средств на проект тоже нет
- ② Предполагается реализовать инженерную инфраструктуру детектора ВЭПП-6 ориентируясь на детектор ScTau – фабрики
- ③ Инженерная инфраструктура направлена не только на обеспечение детектора ВЭПП-6, но и на проведение методических работ с прототипами систем для будущих детекторов (например ScTau)





## Схема площадки ВЭПП-6



✓ **2010–2011** совместная работа ИЯФ СО РАН с «Сибирским институтом "Гипрокоммунводоканал" по проектированию и инженерным изысканиям коммунальных систем водопроводов и канализации»

**2012** проектная документация для капитального строительства «КОМПЛЕКСА ВЭПП-5»





### 1 этап: создание систем детектора

- Обеспечение необходимых условий для создания систем (производство работ, хранение материалов и т.д.)
  - микроклимат (температура, влажность)
  - подготовка (очистка) воздуха  $\Leftrightarrow$  чистые помещения, например, для натяжения ДК
  - локальные вытяжные системы  $\Leftrightarrow$  пайка и т.п.
  - подача рабочих газовых смесей  $\Leftrightarrow$  стенды, прототипы, системы
  - и так далее и тому подобное
- Обеспечение транспортировки частей систем (дверные проемы, рельсы и т.д.) и позиционирования компонентов систем на рабочем месте (тали, специальные приспособления)

### 2 этап: установка систем в детектор

- Уникальные механические приспособления для безопасной и удобной транспортировки систем/частей в детекторный зал для последующей установки в детектор
- Обеспечение взаимного размещения систем с соответствующими компонентами (кабели, рабочие газовые трассы, трассы охлаждения и т.п.) внутри ярма детектора

### 3 этап: эксплуатация детектора

- Обеспечение подачи электропитания в нужном объеме согласно требуемым параметрам, в том числе защита от кратковременных просадок напряжения ряда чувствительных частей детектора (газовые системы, счетные кластера, дисковые массивы для хранения данных)
- Отвод тепловой нагрузки с систем детектора
- Возможность быстрой разборки детектора (1–2 суток) для быстрого ремонта
- Обеспечение работоспособности (электропитание, охлаждение, газовые смеси) детектора в двух положениях – режим эксперимента и режим сборки/наладки
- Проведение методических работ с прототипами систем для будущих детекторов

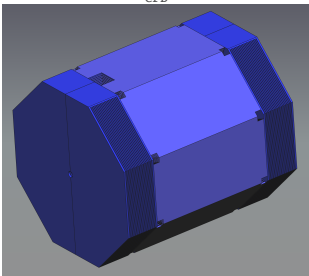


### Подход к ядру детектора и т.д.

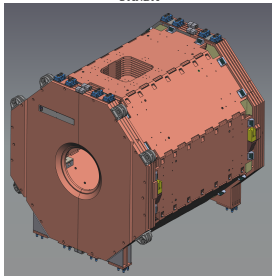
- Как правило делается один раз и далее не меняется на протяжении всего жизненного цикла детектора, следовательно, нужна тщательная проработка конструкции (трассы LVPS & HVPS, охлаждения)
- "Пошаговой" подход развертывания проекта ВЭПП-6 с возможной заменой одних систем на другие (например, калориметр) означает универсальность конструкции ядра с точки зрения установки/выставки разных систем в одну и ту же локацию
- Большая работа в тесном контакте с НКО  $\Rightarrow$  нужен "свой" конструктор

### Примеры проработки ядра детекторов

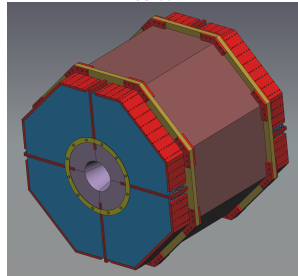
CPD



PANDA



ScTau



Подходящее время для организации взаимодействия с НКО в свете модернизации детекторов СНД и КМД-3



## Общая концепция здания 27/1/2

### 1. Инженерия

Лаборантские (3 этаж)

Инженерия:  
ГПМ + компрессор СП (1 этаж)

Технологические  
помещения  
(1, 2 и 3 этажи)

Антресоль: триггер

Детектор

Антресоль:  
питание (LV & HV)

2. Детекторная яма

UPS  
UPS

Маш. зал:  
электроника  
(1 этаж)

Пультовая  
(1 этаж)

Офисы  
(2 и 3 этажи)

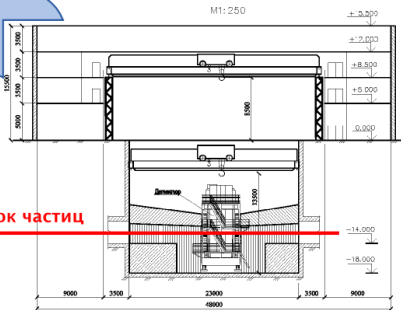
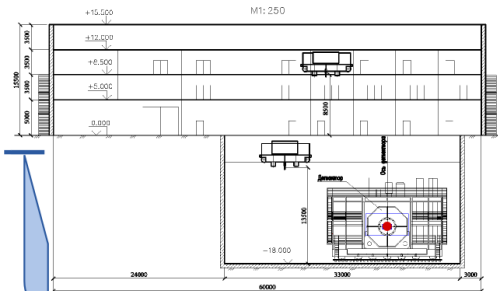
### 3. IT - отдел

Длина 60 м

Ширина 48 м

Кол-во этажей 1 + 3 + 1

Глубина детекторного зала 18 м



Пучок частиц



### 1. Инженерия

- Технологические помещения
  - комнаты для сборки и тестирования систем детектора
  - чистые комнаты для сборки внутреннего трекера и координатной системы
  - помещения категории "А" для получения и работы с газовыми смесями
  - складские помещения для хранения кристаллов, оборудования и т.д.
  - мастерские, как общие (станки) так и точной механики
  - лаборантские комнаты
  - комната для радиогруппы (тестирование и настройка электроники)
- Технические помещения
  - зал для установки оборудования ввода х/в и г/в, отопления здания
  - помещения для размещения вентиляции: общеобменной, технологической, вытяжной и аварийной в зале детектора
  - криокомплекс: компрессорная, силовые сборки управления
- ГПМ
  - мостовой кран на 30/5 тонн, в целом грузоподъемность определяется максимальным весом элемента/части детектора (коллайдера)
  - кран-балки в нескольких помещениях
  - общая разгрузочная площадка (автотранспорт)

### 2. Детекторный зал

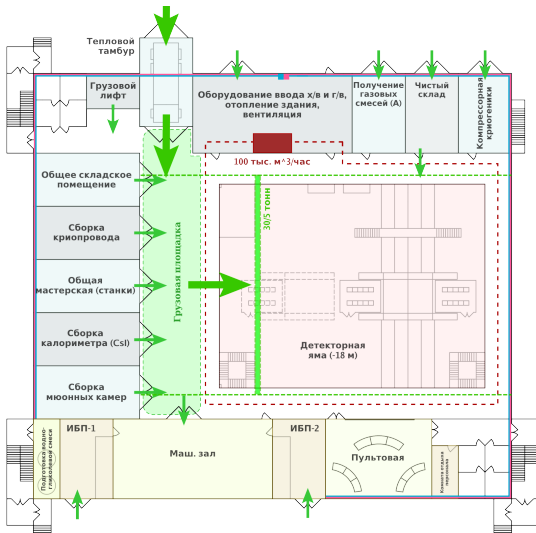
- Сборка и размещение детектора
- Антресоль с обслуживающей электроникой и размещения части криогенного оборудования
- Элементы ускорительной структуры и локальной радиационной защиты

### 3. IT инфраструктура и прочее

- Зал со стойками электроники: третичный триггер, дисковые массивы для временного хранения и т.п.
- Специальные помещения для ввода электропитания и размещения оборудования автоматического пожаротушения
- Пультавая детектора (+ комната отдыха)
- Ряд помещений для проведения совещаний
- Офисы научных сотрудников

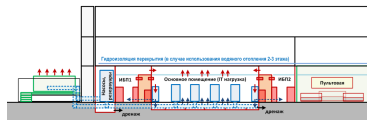
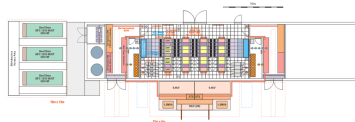


## Здание детектора: 1 этаж (высота 5 м)



### Центр Обработки Данных

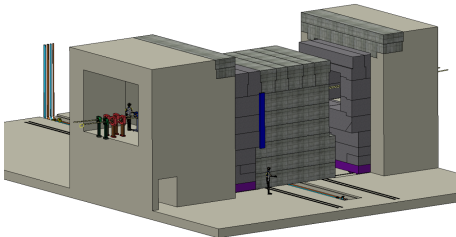
- Две физически независимые площадки, разнесенные на 500 м (машзал в здании детектора + машзал ОВС)
- Резервирование системы питания и системы управления, резервирование системы охлаждения на обеих площадках
- Группа специализированных систем ИБП на каждой площадке (использование дизель-генераторов не предполагалось)



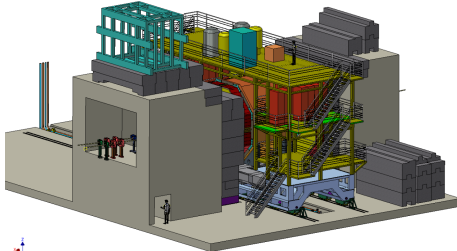


## Пример проработки локальной радиационной защиты в зале ScTau (ИЯФ СО РАН)

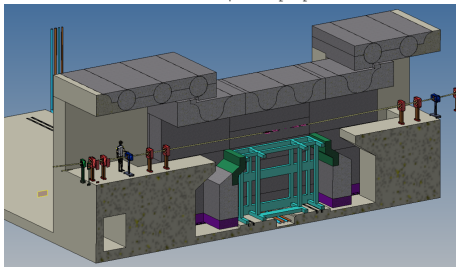
Локальная защита собрана, коллайдер работает на себя



Детектор в положении на эксперимент



Локальная защита в разрезе



Пример реализации локальной защиты детектора Belle II

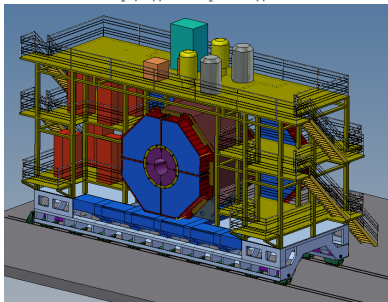




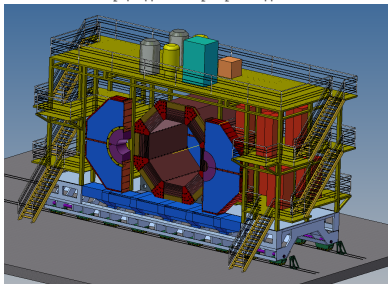


## Пример проработки антресоли и детектора ScTau (ИЯФ СО РАН)

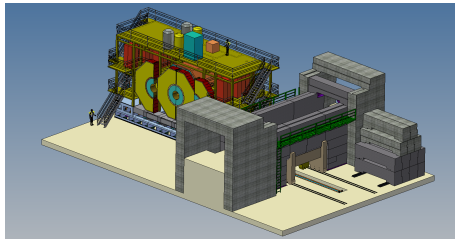
Торцы детектора сведены



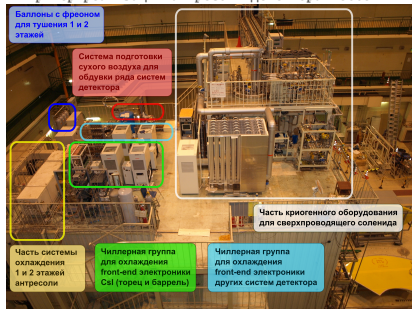
Торцы детектора разведены



Общий вид на детектор и локальную защиту

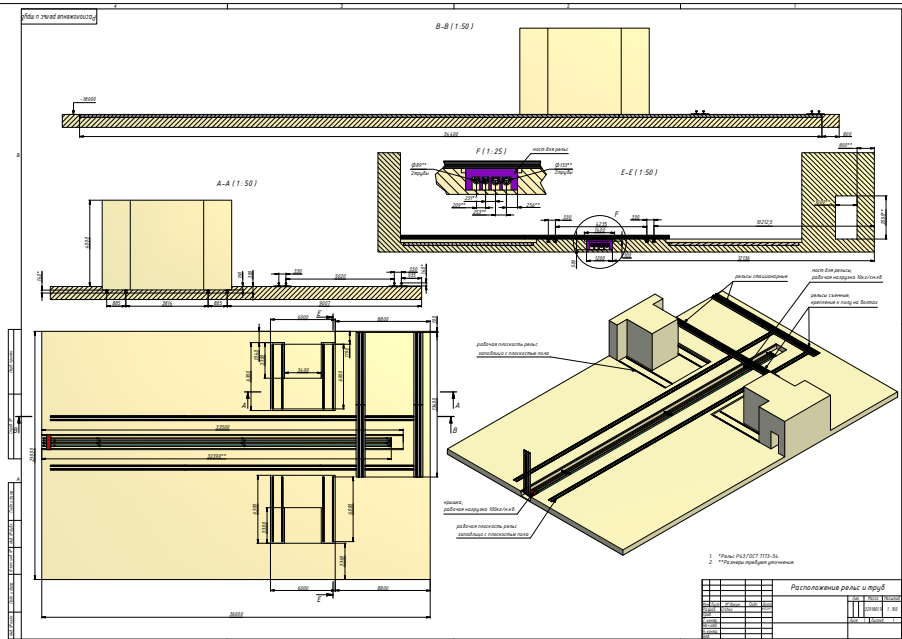


Пример реализации антресоли детектора Belle II





# Пример проработки перемещения детектора ScTau (ИЯФ СО РАН)





## Здание детектора: 2 и 3 этажи

Схема второго этажа (высота 3.5 м)

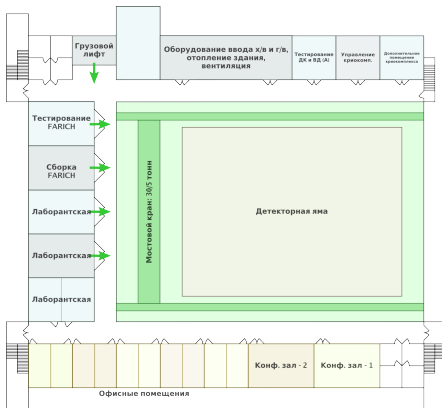
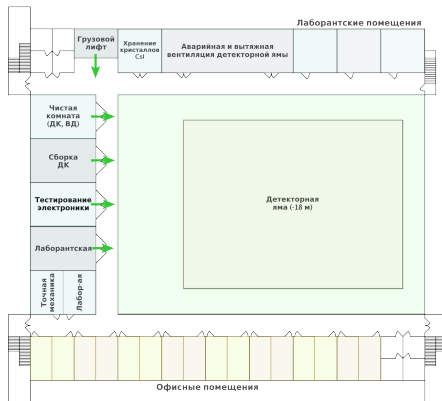


Схема третьего этажа (высота 3.5 м)



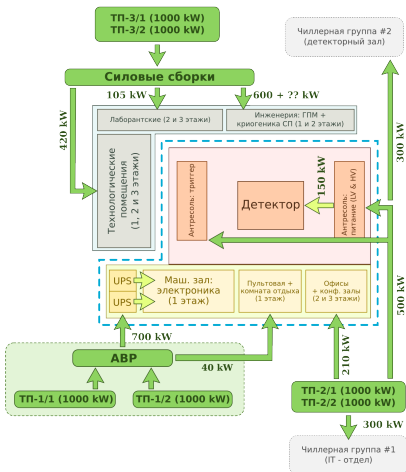
● Специфические требования к помещениям зависящие от систем (или выбранного варианта системы)

- нагрузка пол
- микроклимат
- вентиляция приточная и вытяжная
- электрооснащение
- и т.д. и т.п.



## Концептуальная схема электропитания

- Сеть детектора (+ компьютеринг) физически разнесена с "бытовой" на уровне отдельных подстанций
- Заземление детектора и антресоли гальванически развязано от металлоконструкций здания
- Реализация бесперебойного питания для части систем детектора на основе мощных промышленных ИБП
- Унификация электроники  $\Rightarrow$  унификация LVPS камерной электроники (число каналов электроники является определяющим фактором)



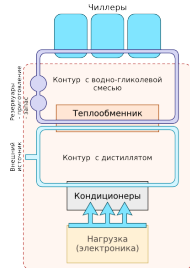
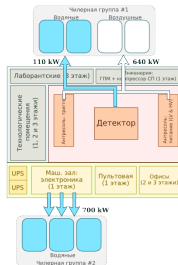
| Тип помещения                     | Р [кВт] | Кол-во | Итого [кВт]       | К    |
|-----------------------------------|---------|--------|-------------------|------|
| Технологическое                   | 10 ÷ 30 | 15     | ≈ 420             | 0.5  |
| Лаборантская                      | 15      | 7      | 105               | 0.5  |
| Офис                              | 7       | 26     | ≈ 180             | 0.75 |
| Конф. зал                         | 15      | 2      | 30                | 0.3  |
| Маш. зал                          | 700     | 1      | 700               | 1.0  |
| Пультовая (+ комната отдыха)      | 40      | 1      | 40                | 1.0  |
| Компрессорная                     | 100     | 1      | 100               | 1.0  |
| – силовые сборки                  | 60      | 1      | 60                | 1.0  |
| – вспомогательное                 | 30      | 1      | 30                | 1.0  |
| Детекторный зал (антресоль)       | 500     | 1      | 500               | 1.0  |
| Системы коррекции для кол-лайдера |         | 3 ÷ 6  | 350               | 1.0  |
| Прочее                            |         |        | ≈ 1000            | 0.5  |
| – общеобменная вентиляция         |         |        |                   |      |
| – система охлаждения              |         |        |                   |      |
| – ГПМ, лифты, освещение и т.д.    |         |        |                   |      |
|                                   |         |        | Итого: ≈ 3525 кВт |      |



## Концепт охлаждения

- Охлаждение внешнего контура автономной системой на базе водяных чиллеров (лето) и воздушных градирен (зима)
- Отдельный вопрос о выборе давления в трассе охлаждения систем внутри детектора ( $P \approx 4$  атм или  $P < 1$  атм)
- Требования на подготовку воздуха в ЦОД
  - $\Delta T = 2^\circ\text{C}$  ( $20 - 22^\circ\text{C}$ )
  - $\Delta \phi = 10\%$  ( $25 - 45\%$ )

### Схемы для детектора ScTau (ИЯФ СО РАН)



### Belle II – контур с давлением выше атмосферного



Торцевой CsI-калориметр, видны кристаллы и часть камерной электроники

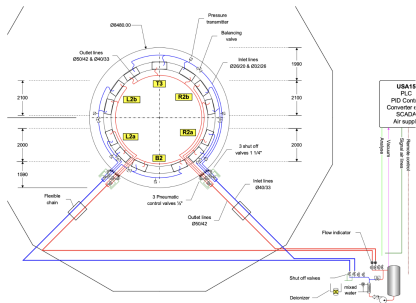


Медные трубки снимающие тепловую нагрузку с электроники (CsI)



Наиболее уязвимая часть - соединения, но они расположены снаружи системы

### ATLAS – контур с давлением ниже атмосферного

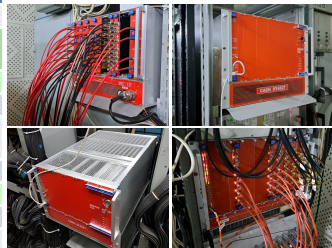




### Высоковольтное питание

- По всей видимости предполагается использовать готовое решение, есть положительный опыт реализации такого подхода на КЕДР

| п/п    | Система | U [кВ] | I [мА] | Мощность [Вт] | Каналов | Σ мощность [Вт] |
|--------|---------|--------|--------|---------------|---------|-----------------|
| 1.     | VD      | +3.0   | 0.2    | 0.6           | 20      | 12.0            |
| 2.     | DC      | -3.0   | 0.03   | 0.09          | 21      | 1.9             |
|        |         | -8.0   | 0.1    | 0.8           | 24      | 19.2            |
| 3.     | ATC     | -3.5   | 0.11   | 0.4           | 160     | 64.0            |
| 4.     | ToF     | -3.0   | 1.5    | 4.5           | 128     | 576.0           |
| 5.     | Csl     | -0.5   | 1.0    | 0.5           | 8       | 4.0             |
|        |         | -1.0   | 1.0    | 1.0           | 8       | 8.0             |
| 6.     | LKr     | +1.5   | 0.5    | 0.75          | 2       | 1.5             |
| 7.     | Mu      | +4.5   | 0.2    | 0.9           | 26      | 23.4            |
| 8.     | TS      | +3.0   | 0.5    | 1.5           | 10      | 15.0            |
| 9.     | LM      | -3.0   | 2.0    | 6.0           | 42      | 252.0           |
| Итого: |         |        |        | 449           |         | 977.0           |



### Низковольтное питание

- Нужна разработка такой системы с максимально возможной унификацией набора номиналов напряжений
- Как вариант использовать AC/DC или лучше DC/DC преобразователи
- Расположение источников непосредственно около детектора на антресоли



Сотрудничество с китайскими коллегами по линии STCF ?



## Что можно сделать прямо сейчас

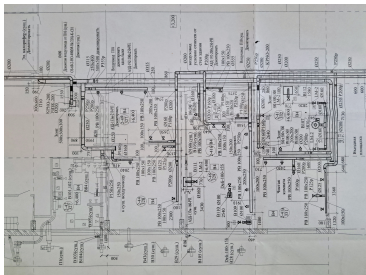


Реализовать площадку в зд.13 для работ с прототипами систем для детекторов

- На текущий момент сделано (л.3-2)

### Мастерская (к.2-42)

- проект вытяжной и приточной вентиляции, как стационарной так и мобильные системы
- электропроект
- ремонт помещения находится в завершающей стадии



### Остальные помещения (к.к.2-41, 2-41а, 2-46, 2-49)

- проект вытяжной и приточной вентиляции, как стационарной так и мобильные системы
- предусмотрена чистая комната для работ с дрейфовой камерой
- электропроект
- при надлежащем уровне финансирования проект можно реализовать в 2026 году



Озвученный "пошаговый" подход развертывания проекта ВЭПП-6 означает длительный марафон на несколько лет/десятилетий в плане реализации детекторных систем

### **В свою очередь это означает, что**

- ☐ Конструкция ярма детектора должна обеспечивать быстрый доступ к системам
- ☐ Крайне важно обеспечить возможность параллельной работы коллайдера и детектора на самих себя, особенно на начальном этапе
  - ☐ коллайдер – проведение пучка, получение светимости (crab waist)
  - ☐ детектор – тестирование систем на космике, настройка ССД и т.д.
- ☐ Уже на самом начальном этапе реализации проекта нужно подготовить необходимую инфраструктуру для работ с прототипами и системами детектора, которая будет использоваться длительное время без необходимости ее серьезной модернизации
- ☐ Реализация таких установок как тестовые пучки электронов и гамма-квантов (+ быстрые нейтроны  $\Leftrightarrow$  VITAMIN ?) позволит проводить исследование прототипов систем "на месте"