Введение в системы сбора данных

О.Соловьянов

Содержание

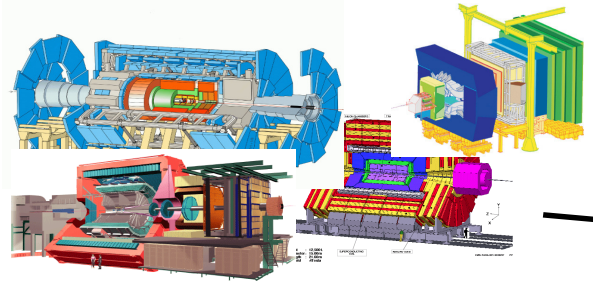
- *Предисловие*
- *Что такое ССД(DAQ)?*
  - *Общая схема*
- *Основные принципы ССД*
  - *Оцифровка (digitization), задержка (latency)*
  - *Мертвое время (dead time), разравнивание (de-randomization)*
- Масштабирование
  - Чтение данных (readout) и построение событий (event building)
  - Шины и сети (buses & networks)
- Сделай сам

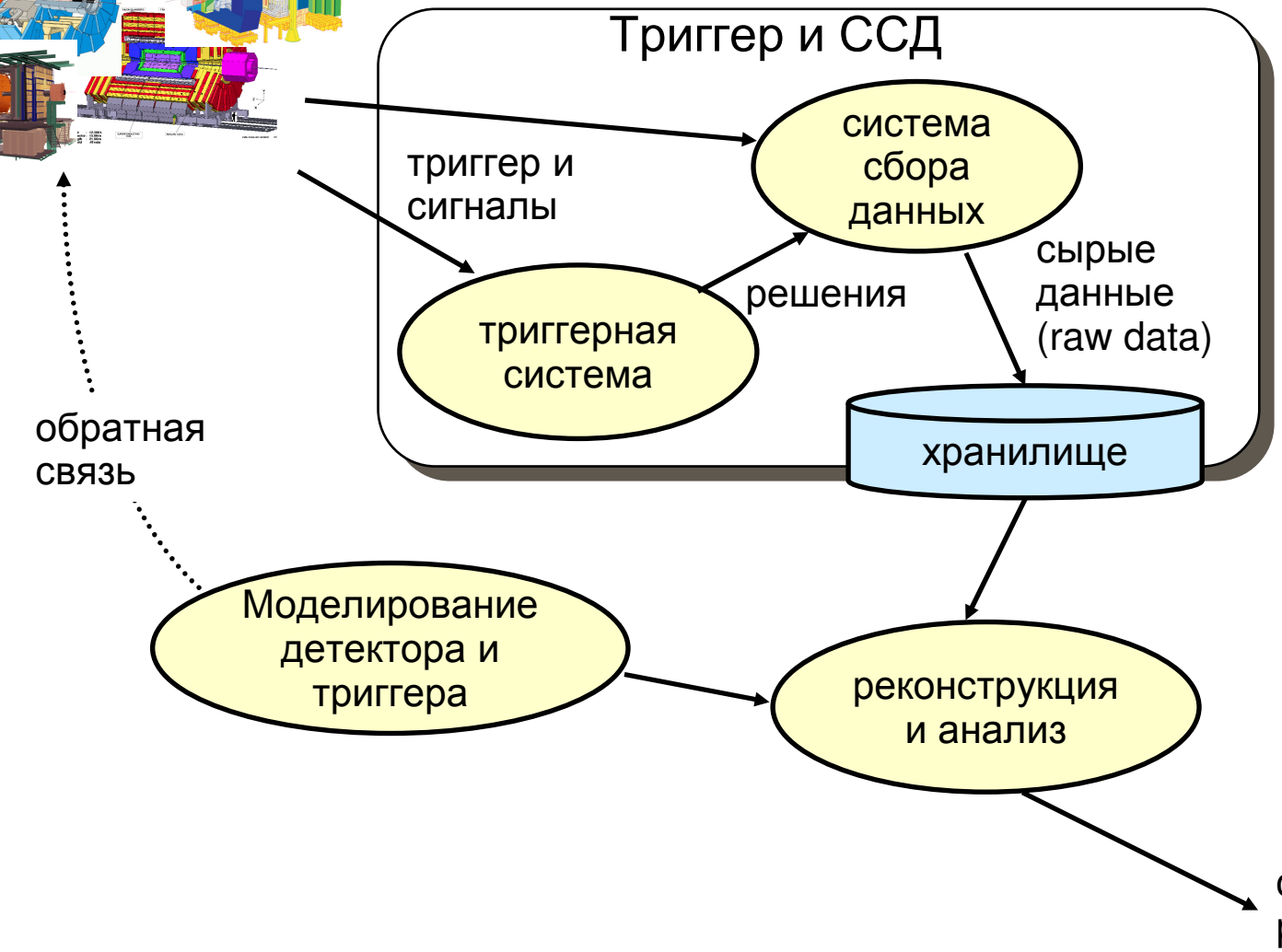
Предисловие

- Сбор данных не является **точной наукой. Это «алхимия» электроники, компьютеров, сетей, физики и … опыта (включая «хакерство»)**
  - **…, а так же денег, времени и собственно людей, …**
- **Речь пойдет в основном о системах сбора данных экспериментов физики высоких энергий**
- **Цель данной лекции состоит в изложении основ, по возможности избегая технических деталей, которые будут объяснены позднее**

- Материалы и идеи данной лекции позаимствованы из Introduction to Data Acquisition (W.Wandelli @ ISTOTDAQ2010) и CERN Summer Student lectures (N.Neufeld, C.Gaspar)

Общая схема



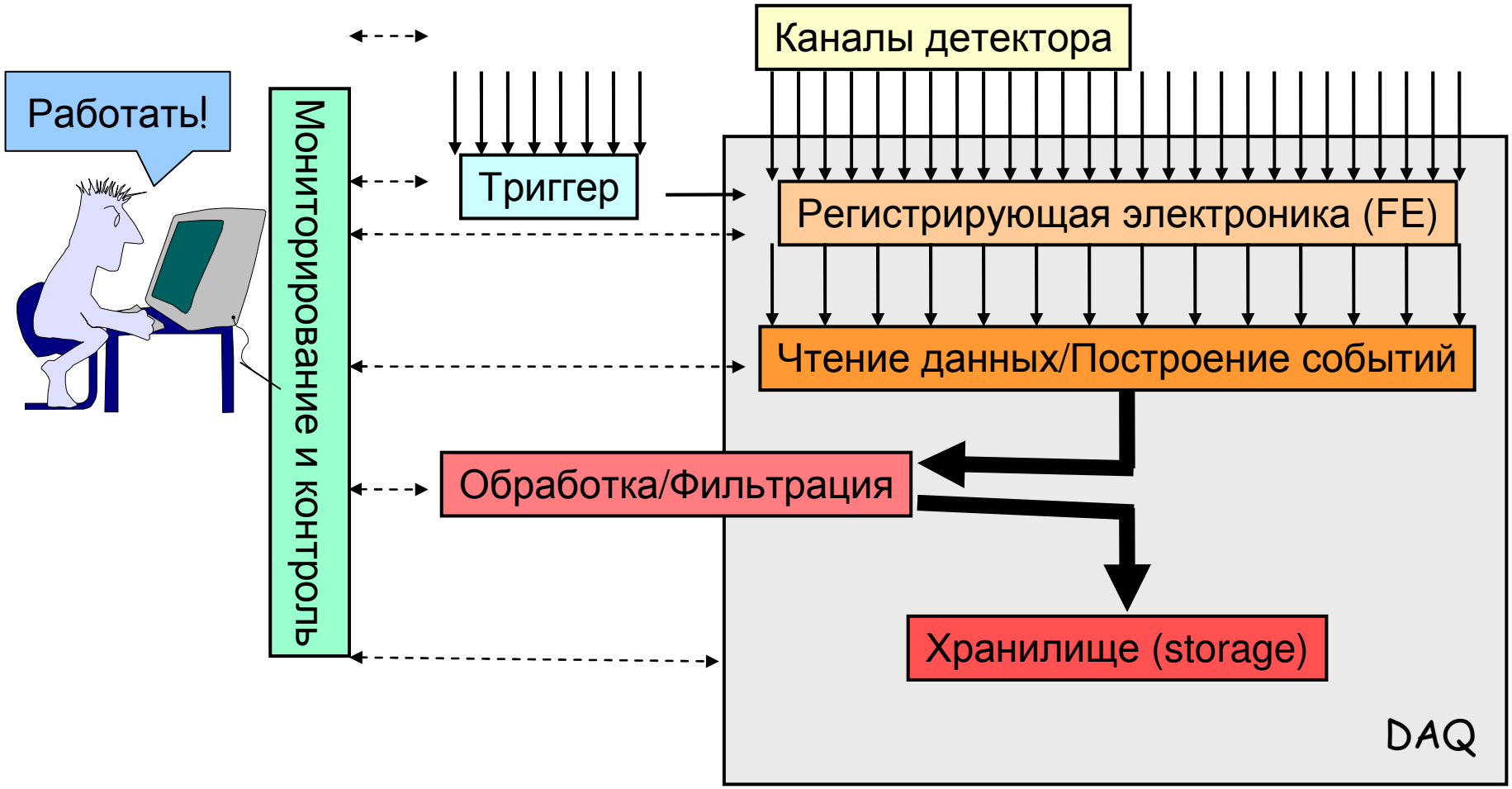


- Основная роль триггера и ССД заключается в приеме и обработке сигналов с детекторов, с записью наиболее интересной информации на постоянный носитель для дальнейшего анализа (offline reconstruction & analysis)

Триггер и ССД

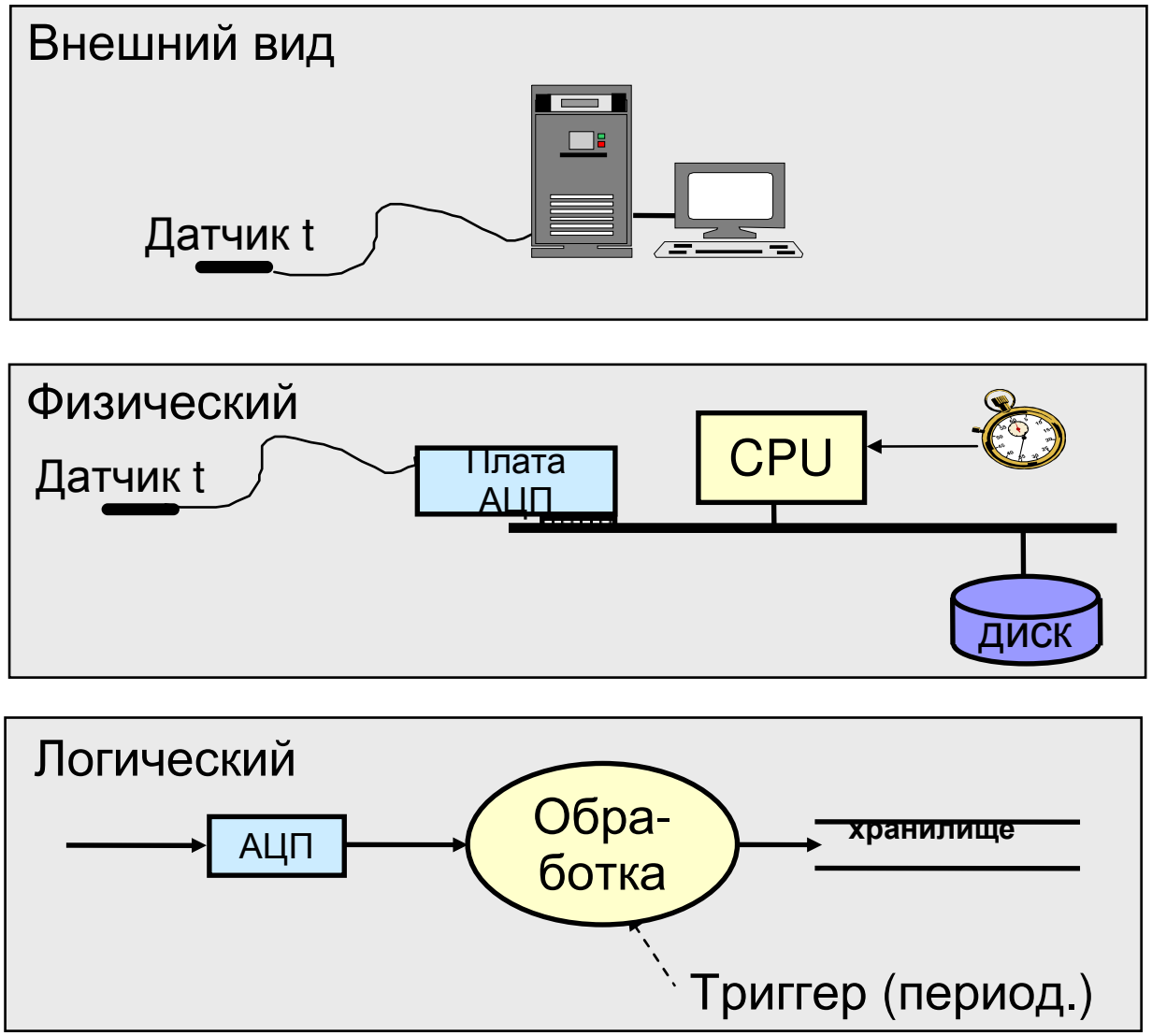
- Триггер:
  - Отбирает интересные события (events), и выкидывает ненужные, в режиме реального времени (real time) (то есть с минимальными задержками - latency)
- ССД:
  - Собирает данные от детекторов - чтение (readout)
  - Возможно инициирует триггер более высокого уровня (HLT)
  - Собирает полные события – построение событий (Event Building)
  - Записывает данные (Data recording)
  - Предоставляет возможность контроля, конфигурации и наблюдения процесса сбора данных (Run Control, Monitoring)

Триггер, ССД и контроль



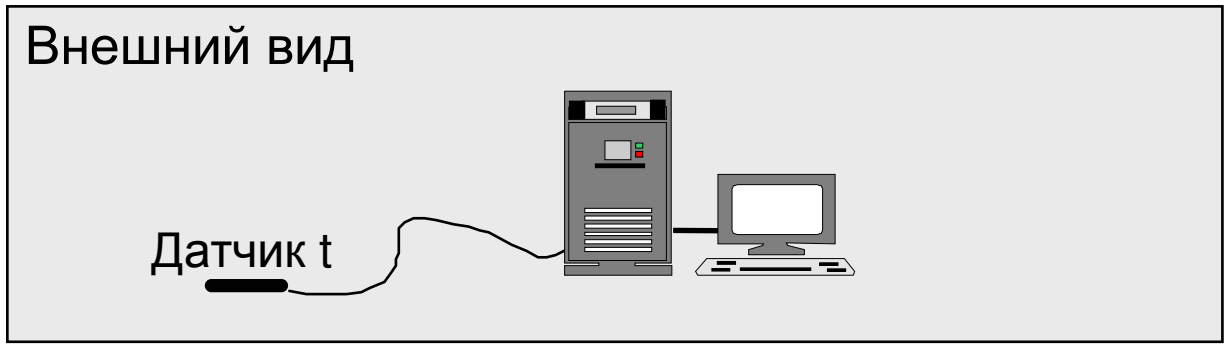
Концепции ССД

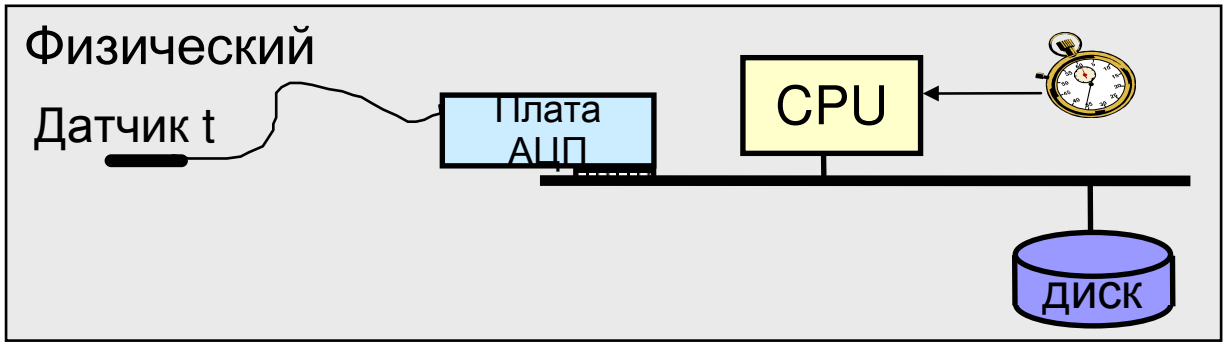
Простейшая ССД: периодический триггер

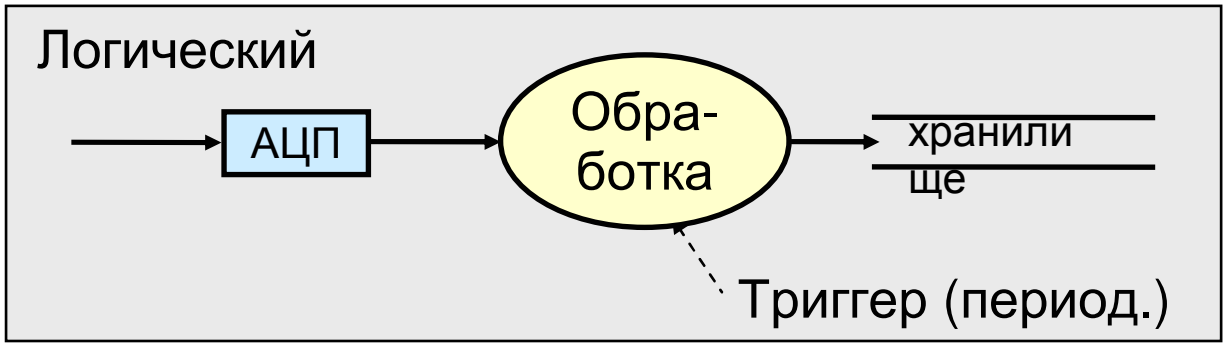


- Измерение температуры с фиксированной частотой
- АЦП (ADC) переводит аналоговый сигнал в цифровой - оцифровка (digitization)
  - Регистрирующая электроника
  - (front-end electronics)
- Процессор выполняет чтение и обработку

Простейшая ССД: периодический триггер

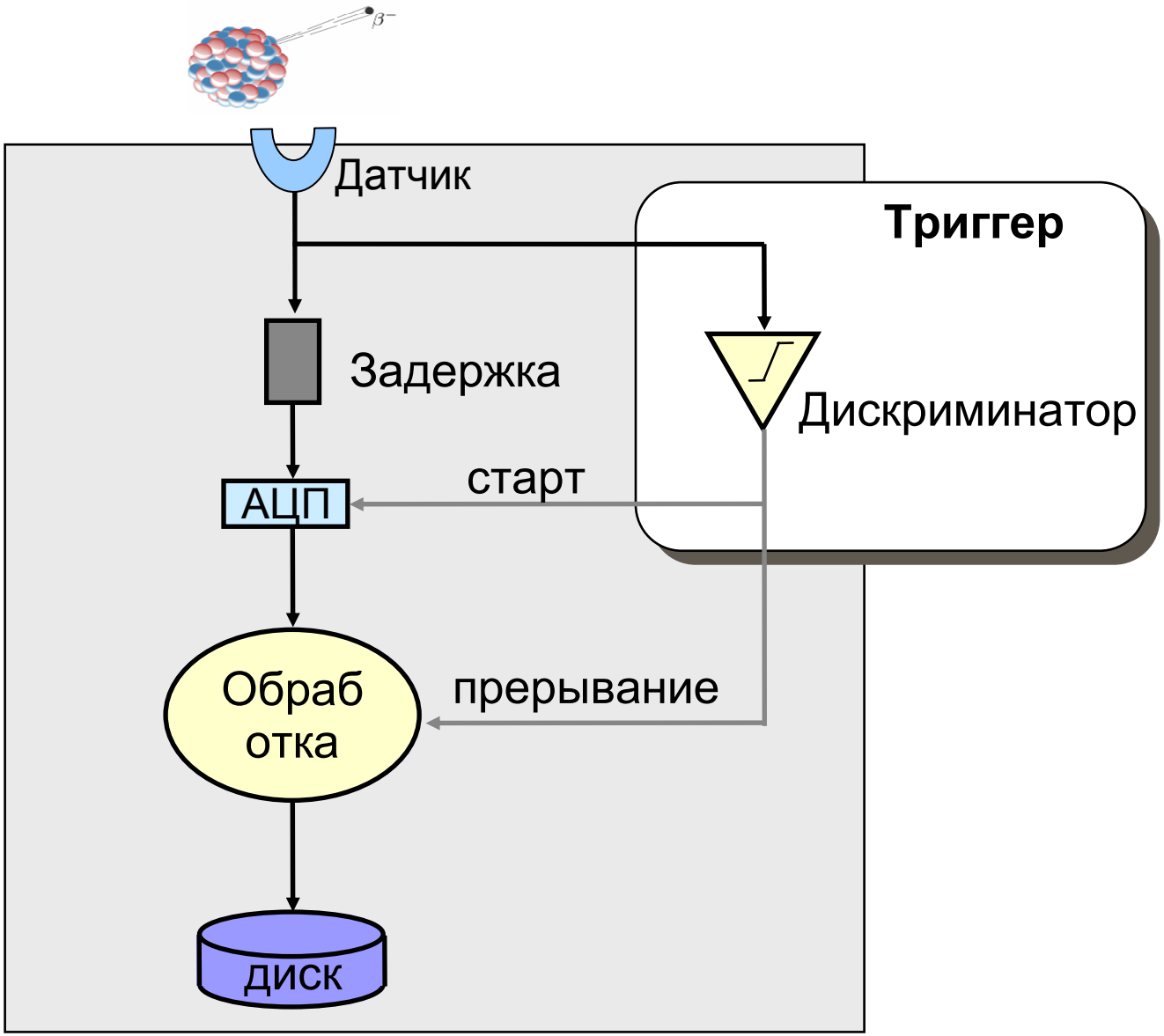






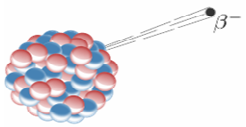
- Измерение температуры с фиксированной частотой
- Система явно ограничена временем обработки события
- Например τ=1мс для
  - АЦП преобразование +обработка +запись
- Выдерживает ~1/1мс=1кГц частоту ***переодического триггера***

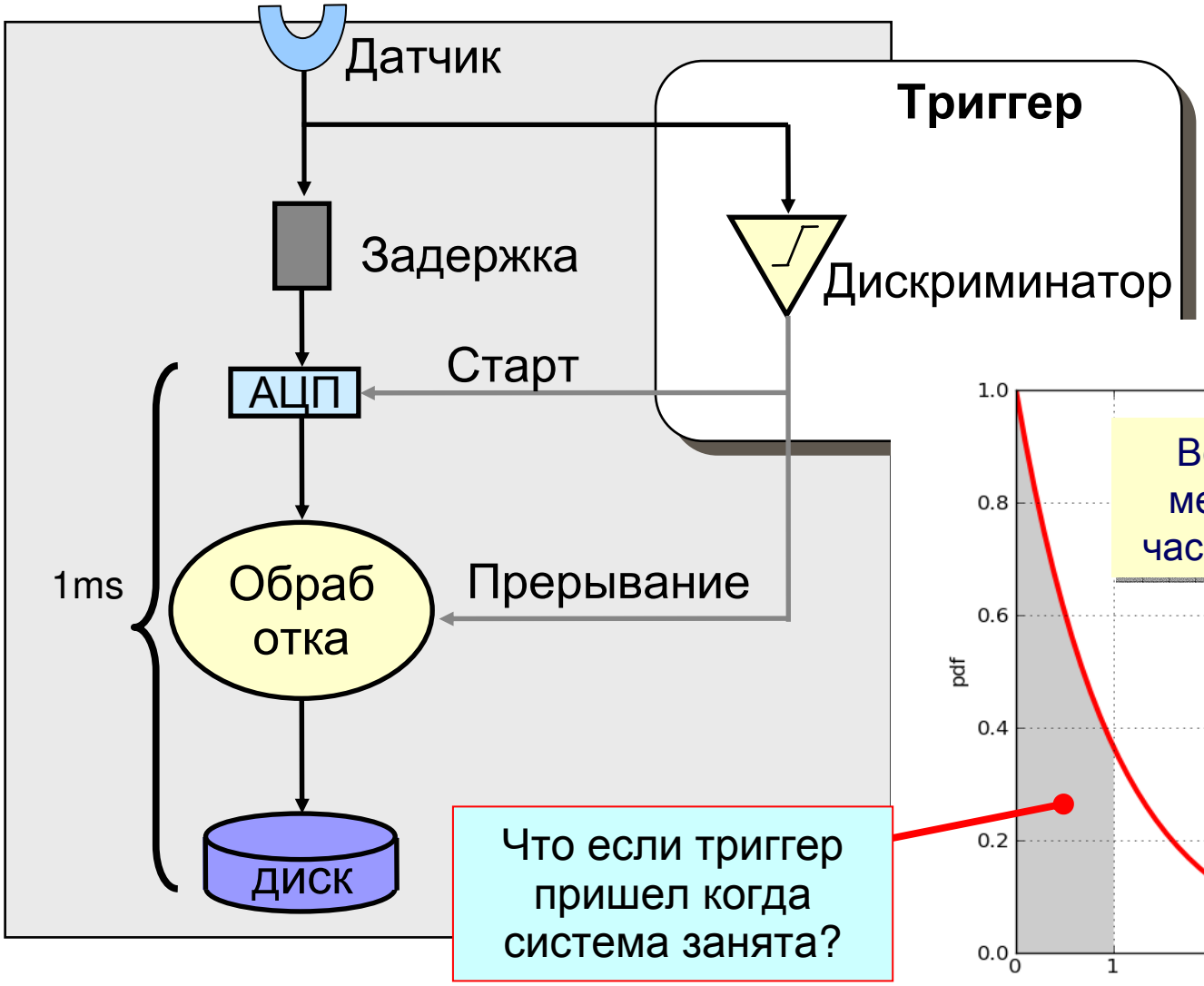
Простейшая ССД: настоящий триггер



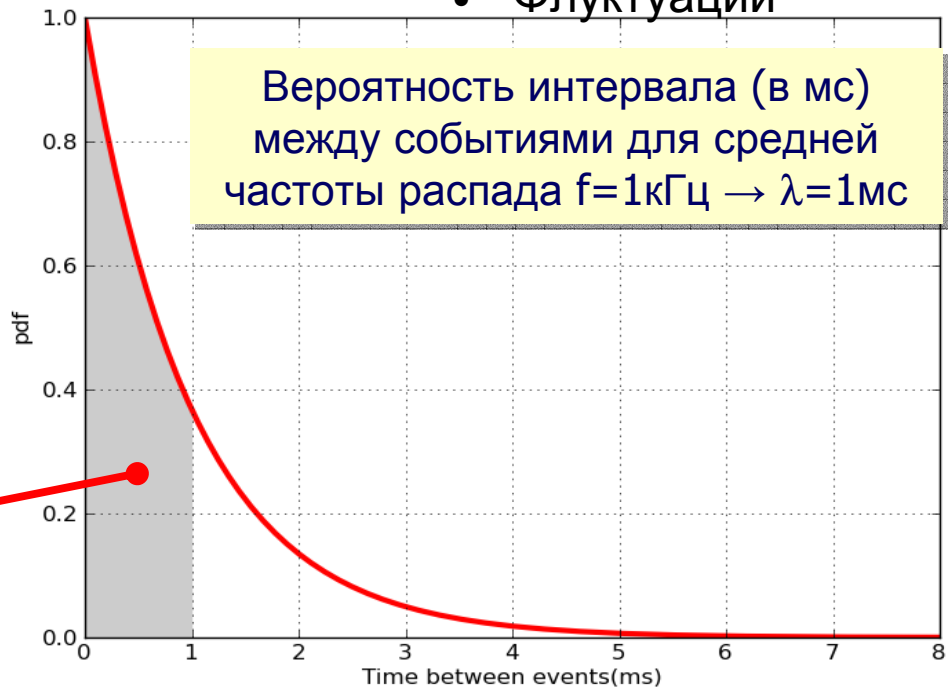
- Измерение свойств бета-распада
- События приходят асинхронно и непредсказуемо
  - Нужен **физический** триггер
- Задержка компенсирует время выработки решения триггера

Простейшая ССД: настоящий триггер

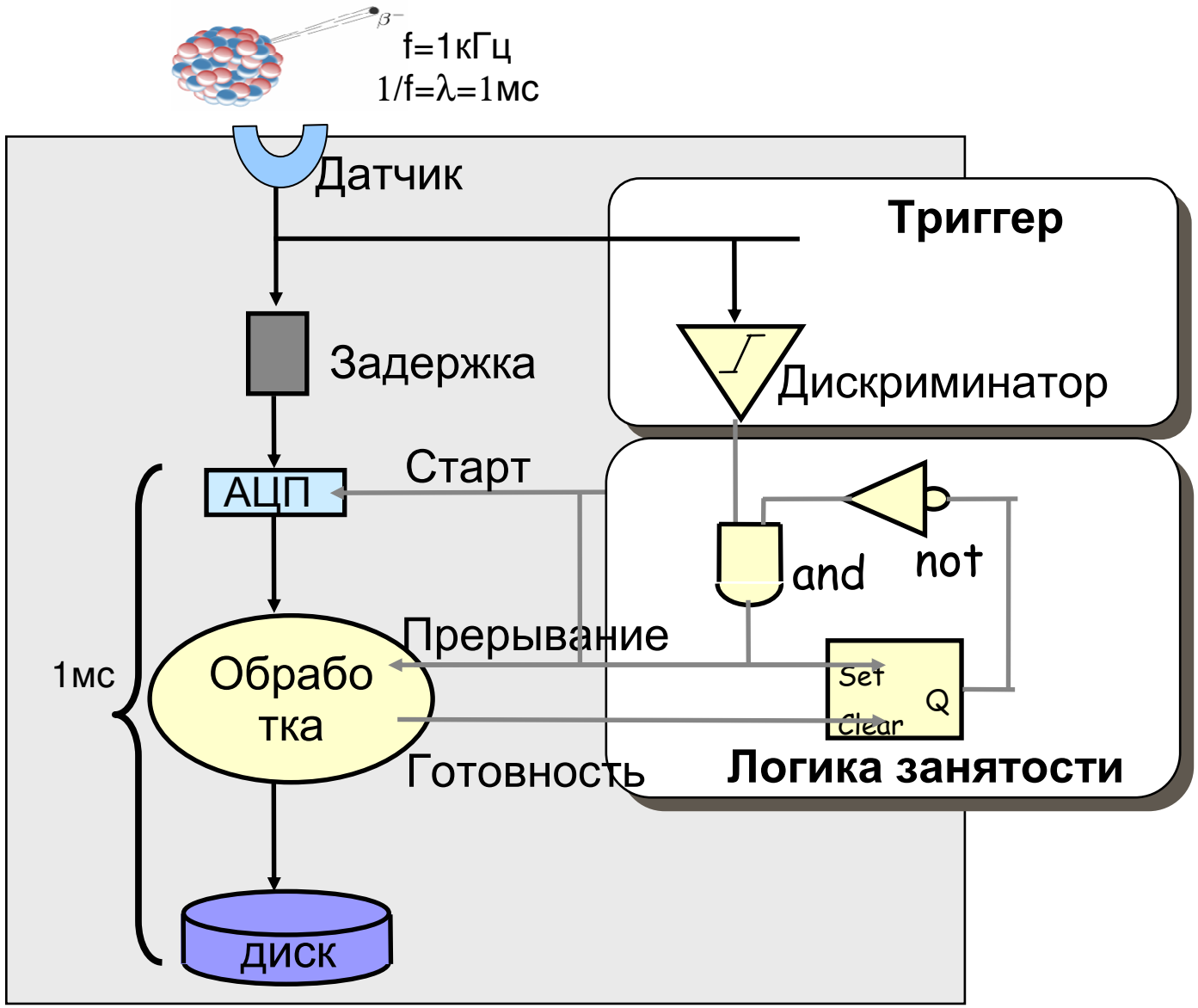




- Измерение свойств бета-распада
  - Нужен **физический** триггер
- Стохастический процесс
  - Флуктуации



Простейшая ССД: триггер и логика занятости



- Логика занятости (busy logic) запрещает поступление триггеров во время обработки события
- Какую (в среднем) частоту мы теперь сможем получить?
  - Напоминание: τ=1мс было достаточно для работы на частоте 1кГц с периодическим триггером

Мертвое время и эффективность (1)

Define ν as average DAQ frequency

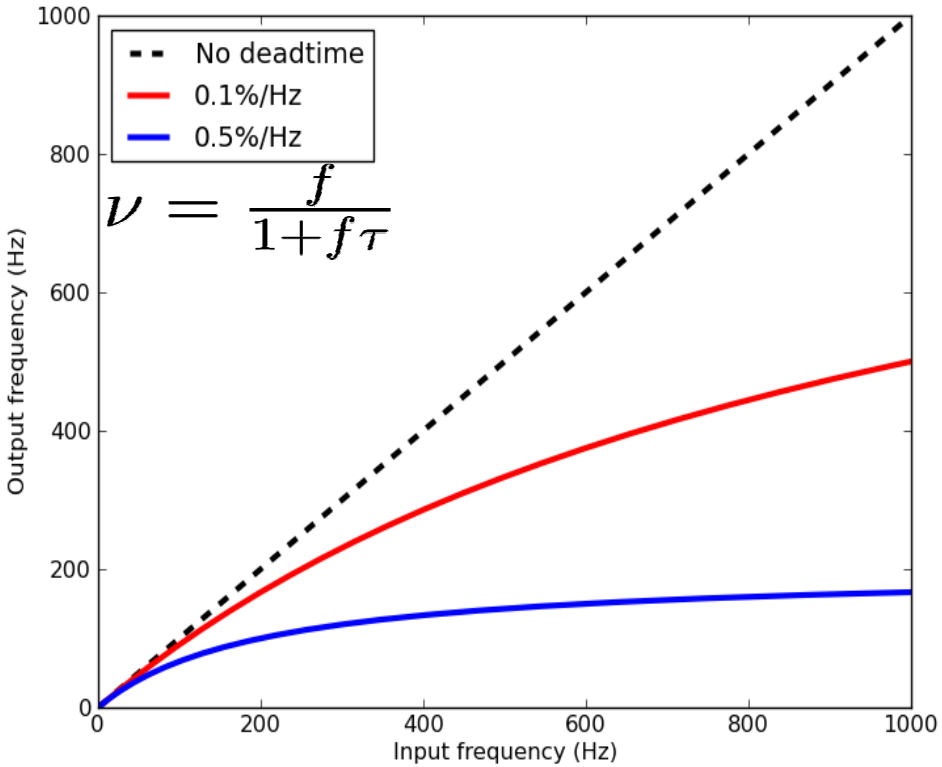
$\nu\tau \rightarrow$ DAQ system is busy - $(1-\nu\tau) \rightarrow$ DAQ system is free

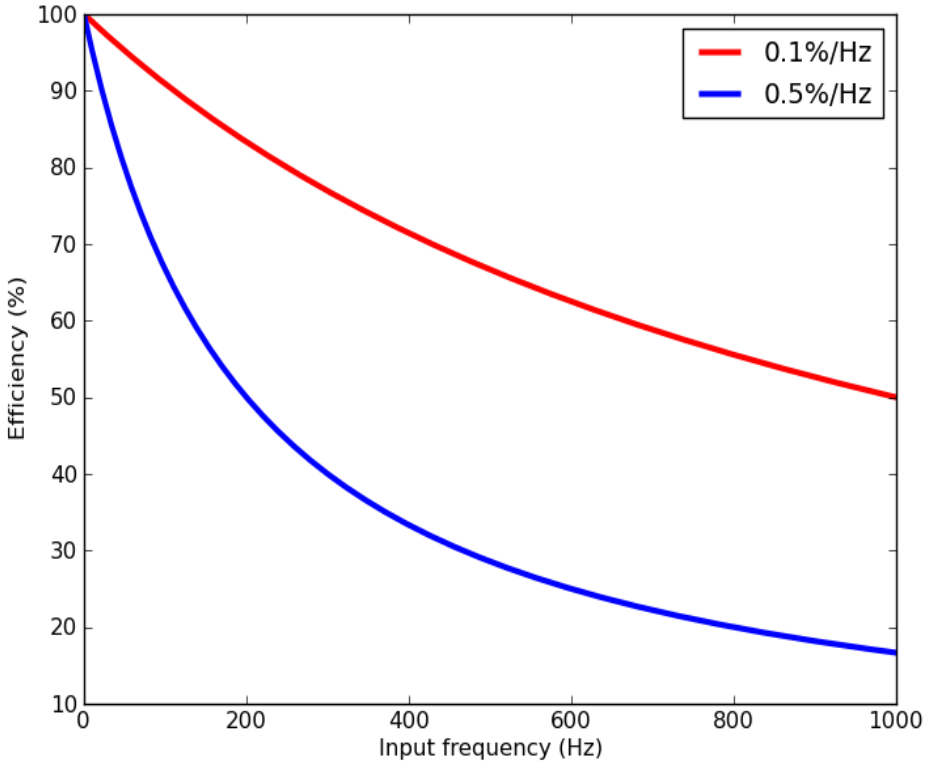
$$f(1-\nu\tau) = \nu \rightarrow \nu = \frac{f}{1+f\tau} < f$$

$$\epsilon = \frac{N_{saved}}{N_{tot}} = \frac{1}{1+f\tau} < 100\%$$

- Определим мертвое время (d) как отношение между временем когда система была занята и полным временем. В нашем примере d=0.1%/Гц
- Из-за флуктуаций внесенных стохастическим процессом эффективность всегда будем меньше 100%
  - В нашем примере, d=0.1%/Hz, f=1kHz → ν=500Hz, ε=50%

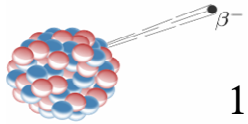
Мертвое время и эффективность (2)



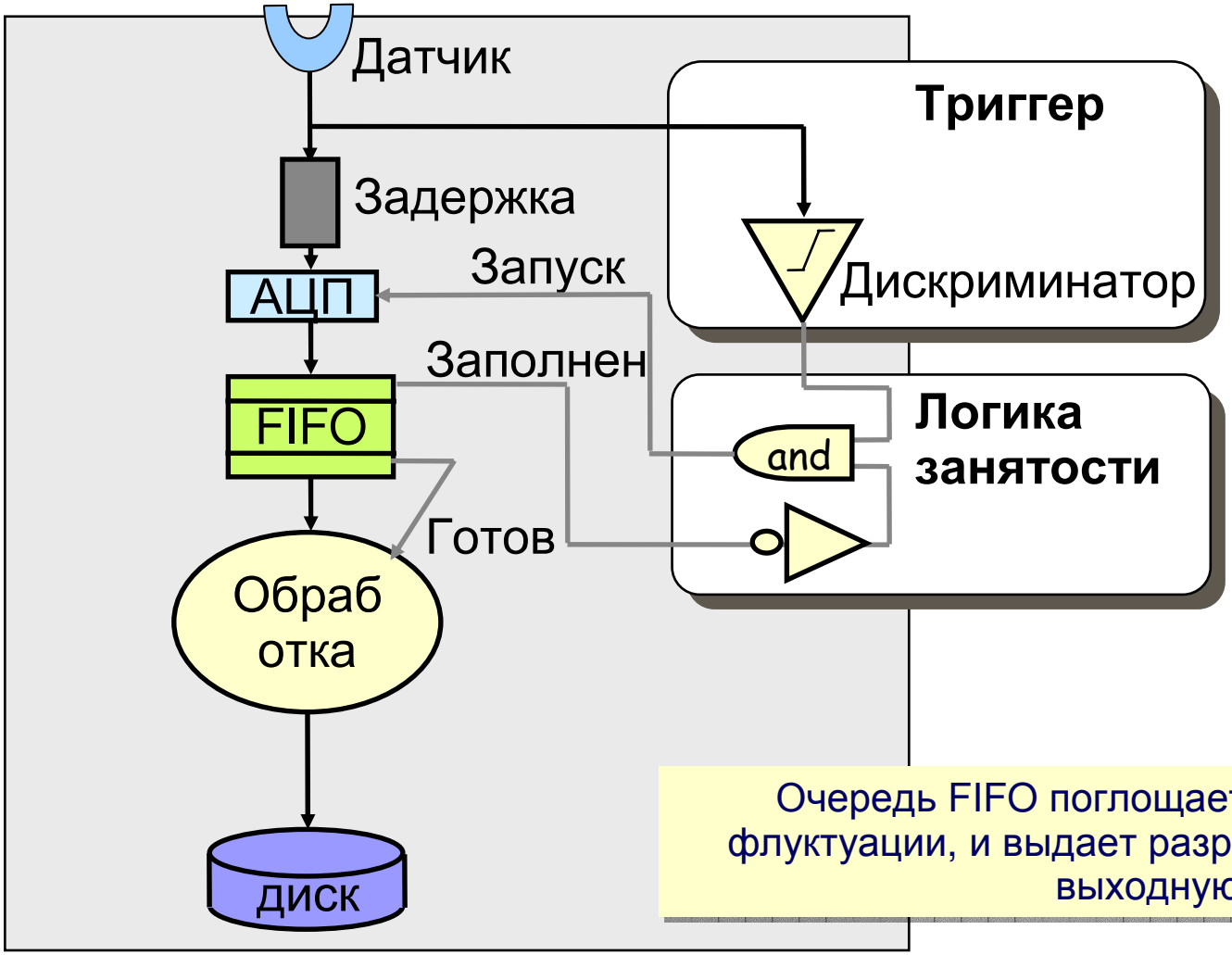


- Если мы хотим получить ν~f (ε~100%) → fτ<<1 → τ<<λ
  - f=1kHz, ε=99% → τ<0.1ms → 1/τ>10kHz
- Чтобы справиться с флуктуациями частоты поступления сигнала, мы должны спроектировать ССД с запасом в 10 раз. Это очень неудобно! Можно ли обойти это требование?

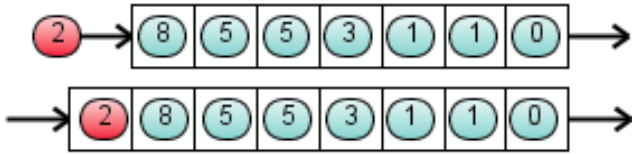
Простейшая ССД: разравнивание



f=1кГц
1/f=λ=1мс



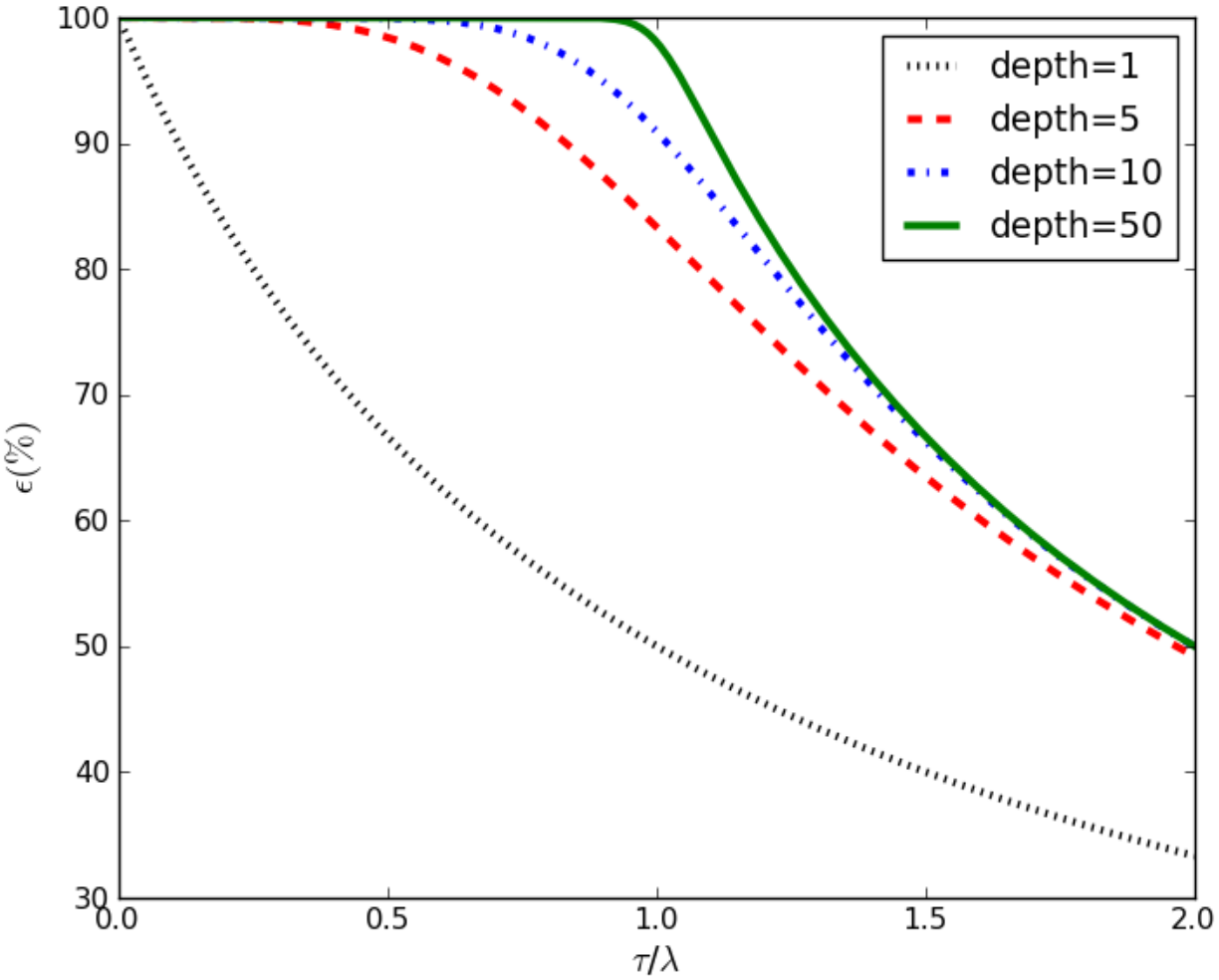
- Очередь (First-In First-Out – FIFO)
  - Буферная зона организована в виде очереди
  - Глубина: число ячеек
  - Выполнена в «железе» (HW) или в ПО (SW)

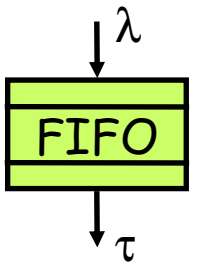


- Очередь FIFO добавляет дополнительную задержку

Очередь FIFO поглощает и сглаживает входные флуктуации, и выдает разровненную (De-randomized) выходную частоту

Разравнивание: теория очередей

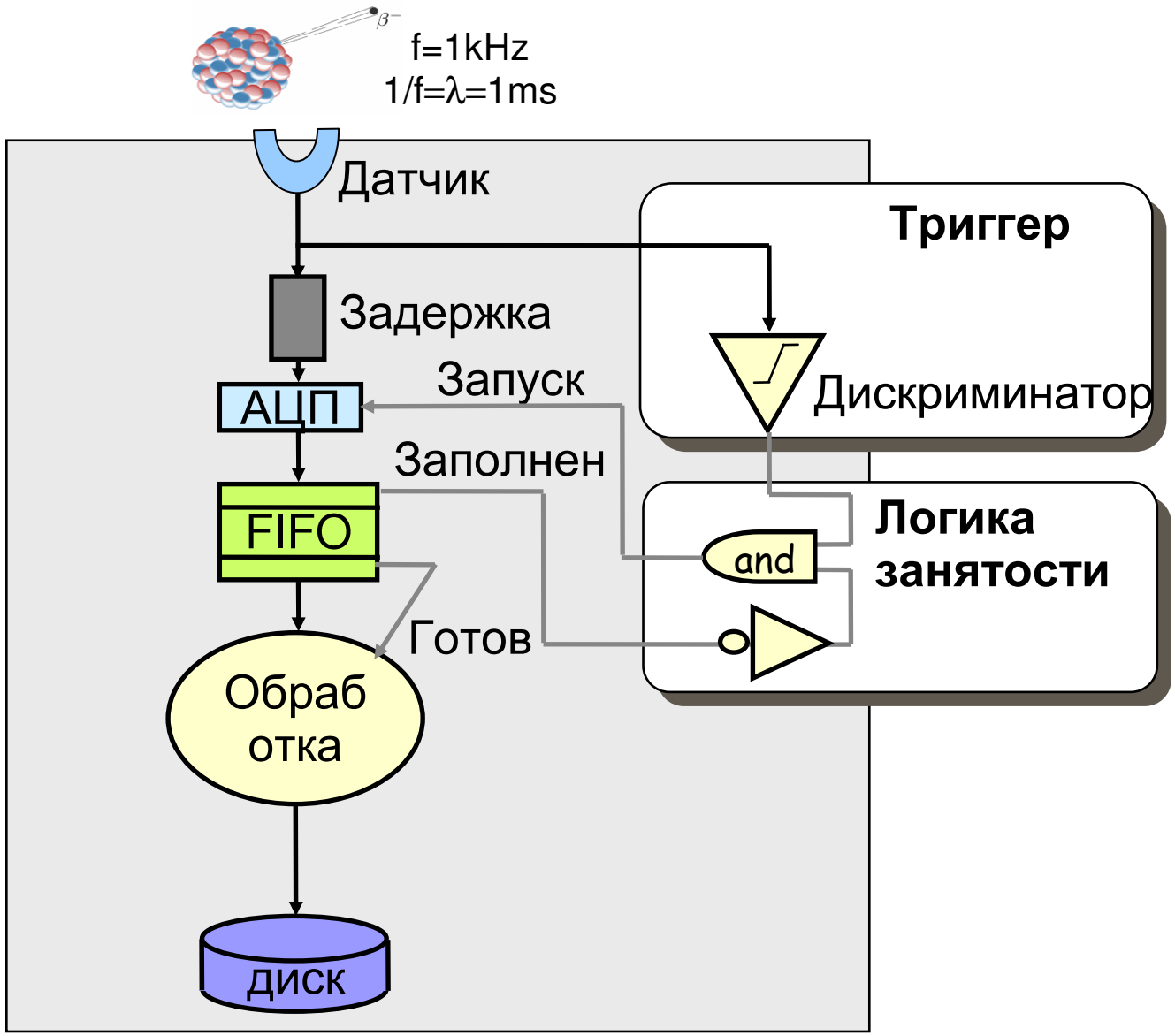




- Теперь мы можем достигнуть эффективности FIFO ~100% с $\tau \sim \lambda$
  - Умеренный размер буфера

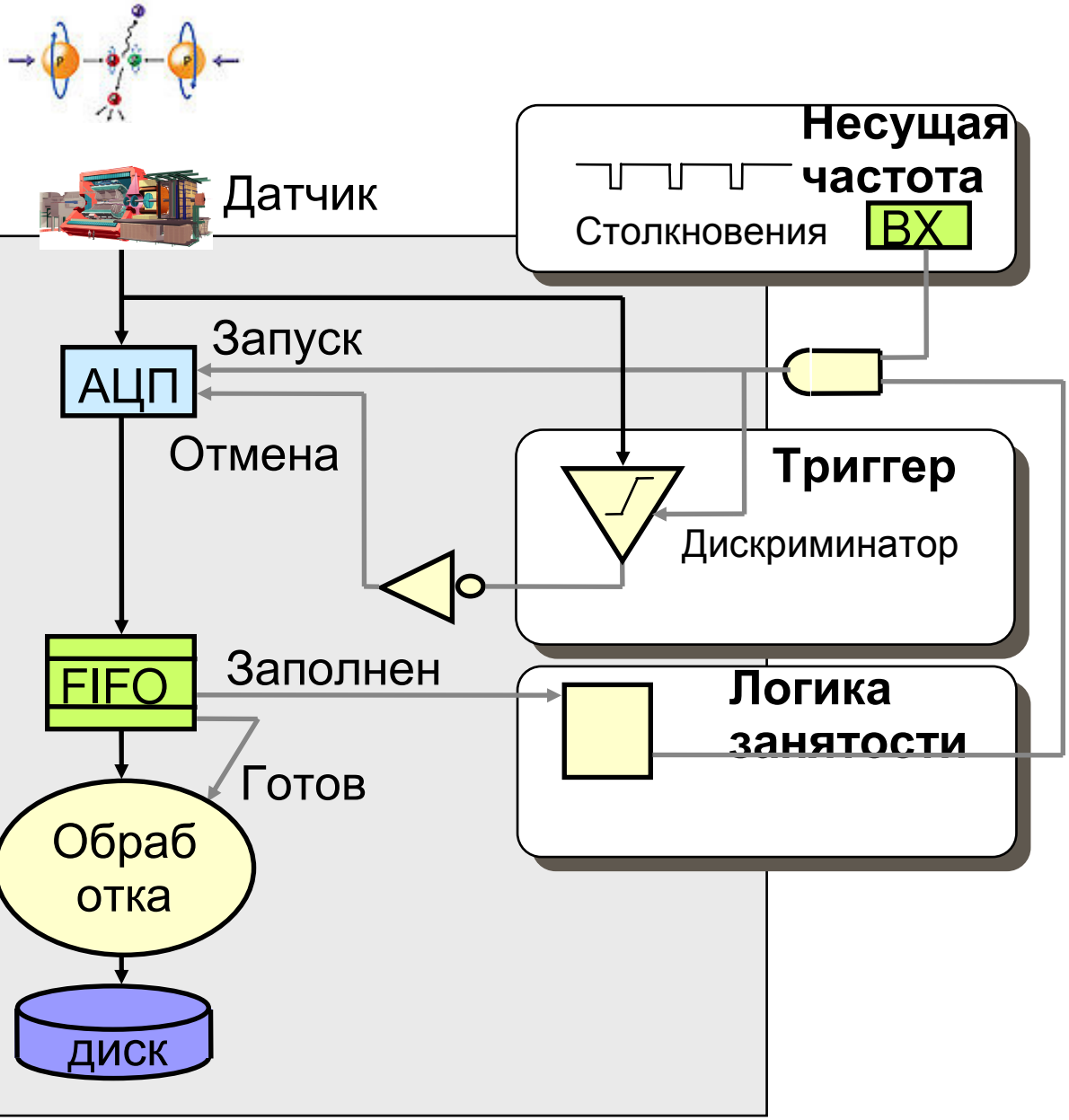
Аналитические вычисления возможны только для очень простых систем.
В остальных случаях требуется тщательное моделирование.

Разравнивание: заключение



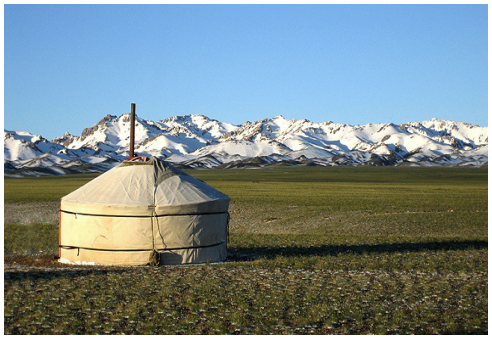
- Можно достичь почти 100% эффективности и минимального мертвого времени при условии
  - АЦП может работать на частотах >>f
  - Частота обработки данных ~f
- FIFO отделяет быстродействующую регистрирующую электронику от обработки данных
  - Минимизирует число быстрых компонентов
- Можно ли заменить задержку на “FIFO”?
  - Аналоговые задержки → широко используются на экспериментах LHC

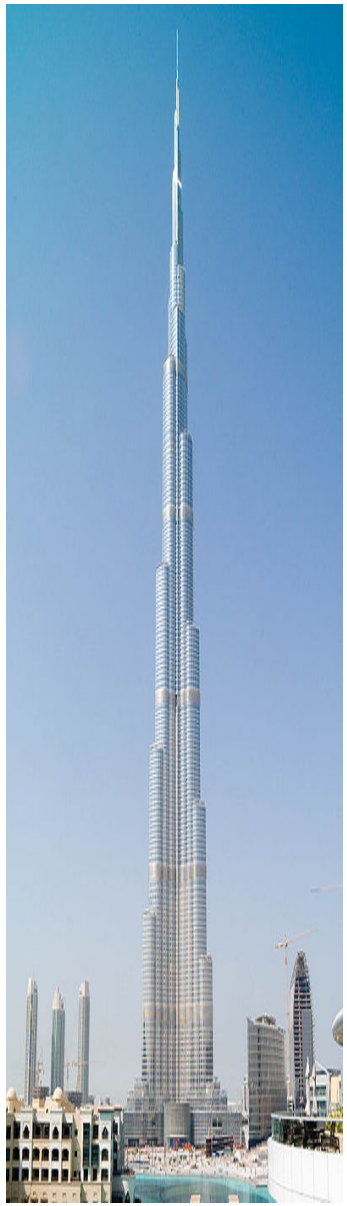
Простейшая ССД: режим коллайдера



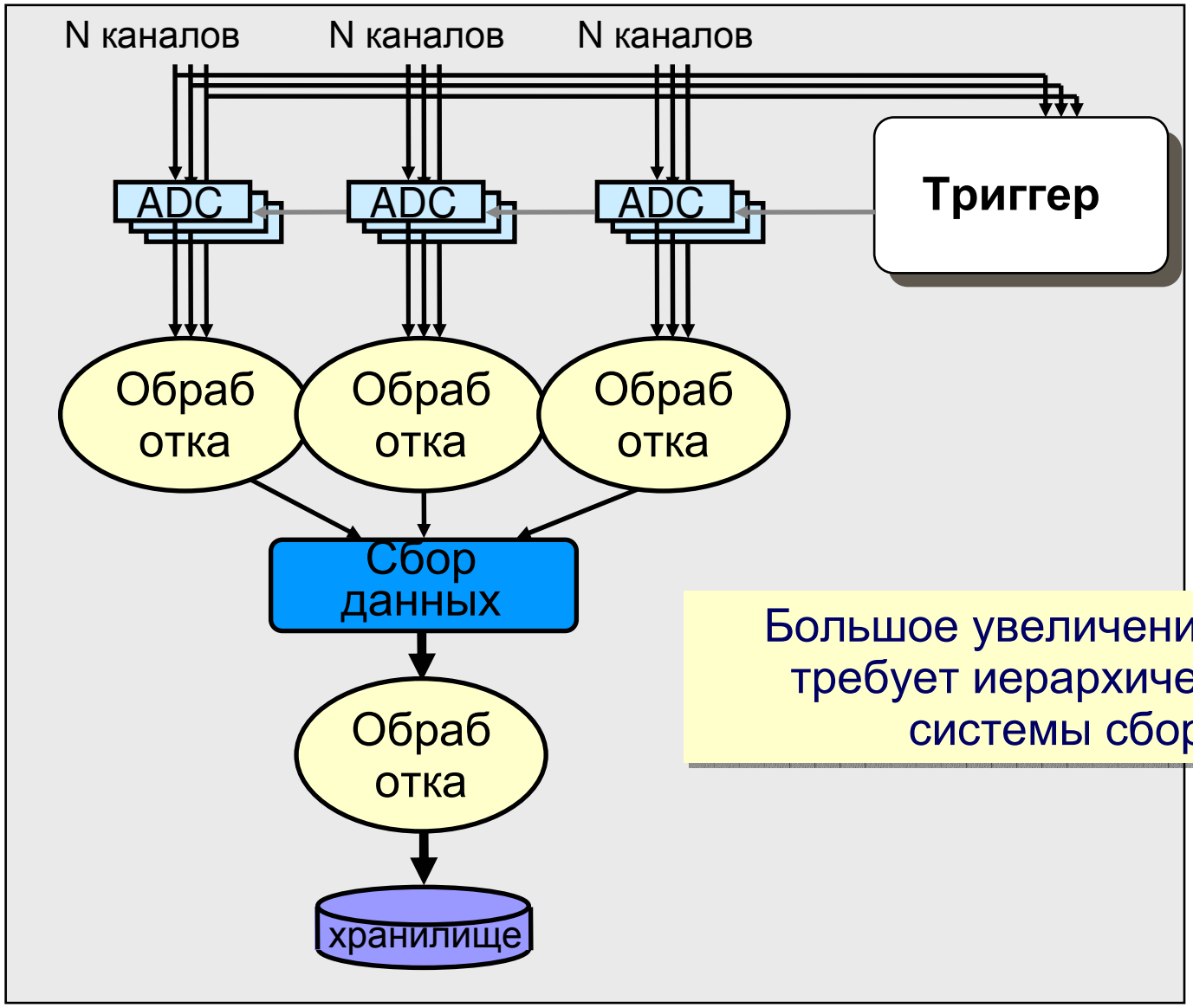
- Столкновения частиц синхронны (с задающей частотой)
- Триггер отбрасывает неинтересные события
- Даже если столкновения синхронны, то триггера (т.е. хорошие события) непредсказуемы
- Необходимо разравнивание (de-randomization)

Масштабируемость



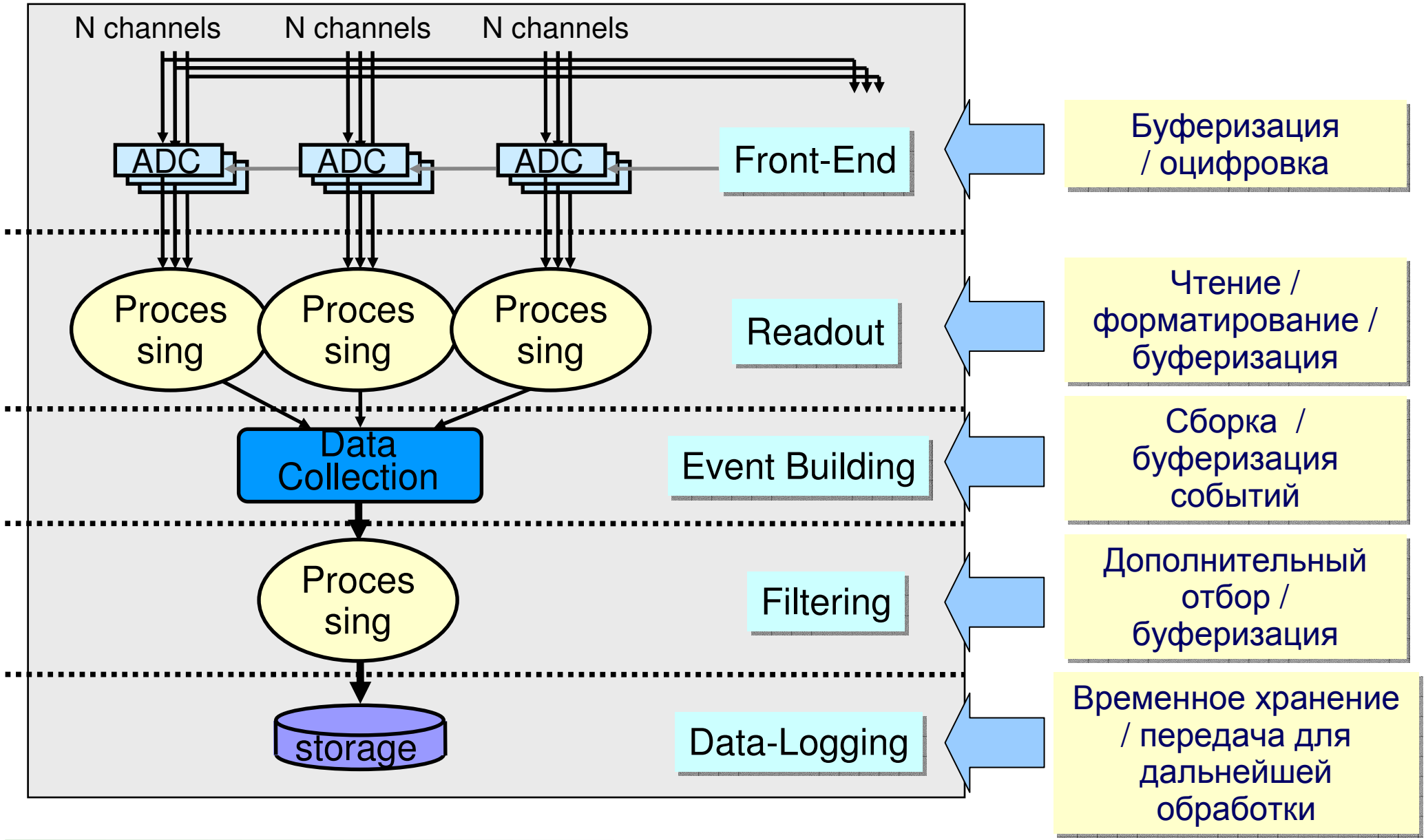


Простейшая ССД: больше каналов



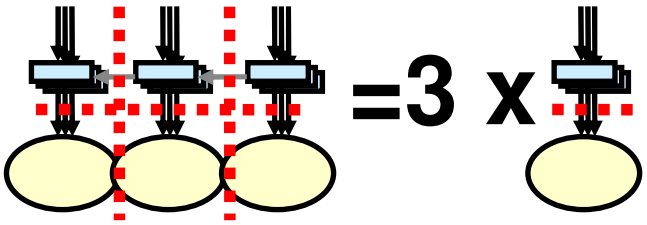
Большое увеличение числа каналов требует иерархической структуры системы сбора данных

Крупная ССД: составляющие

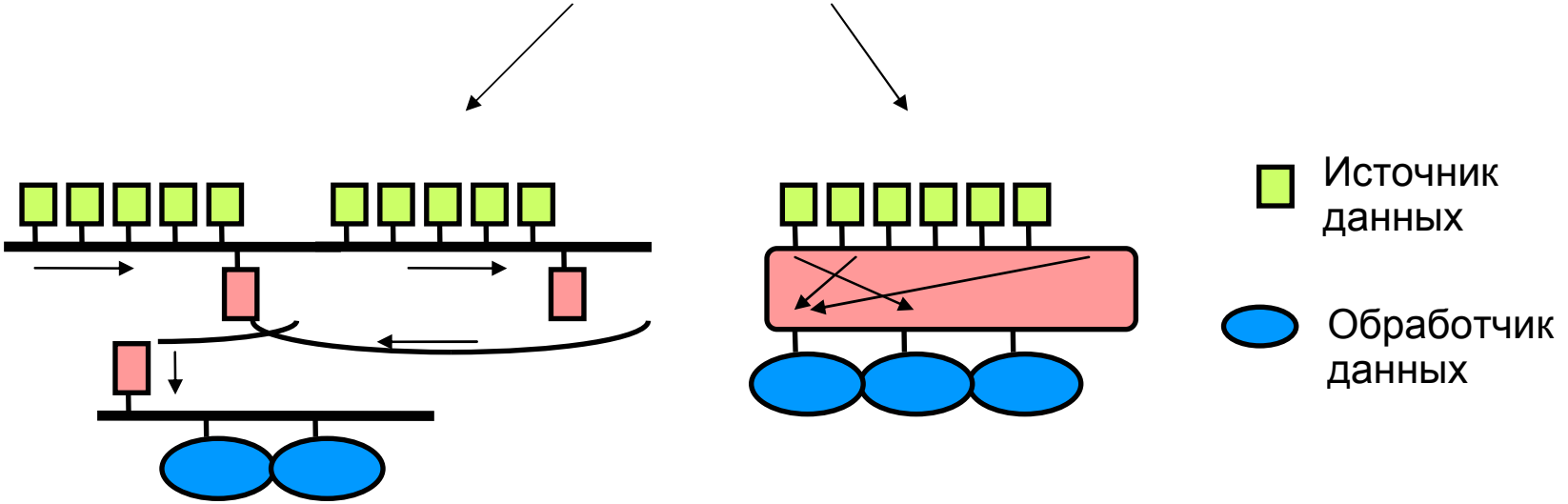


Топология систем сбора данных

- Чтение или построение событий из множества каналов требует множество компонентов
- В дизайн нашей иерархической системы сбора данных стоит добавить «строительные блоки»
  - например: каркасы, вычислительные узлы, …

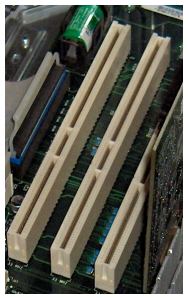


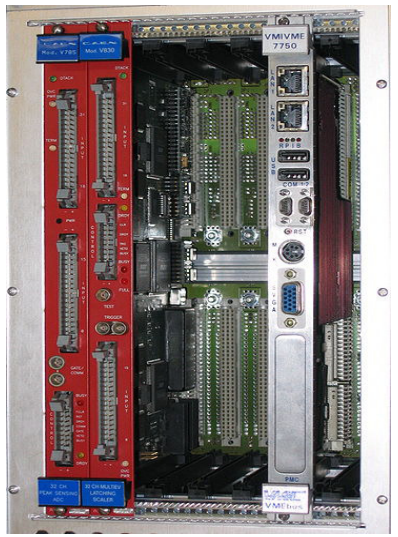
- Как организовать связи внутри и между блоками?
- Два основных класса: шина (bus) и сеть (network)

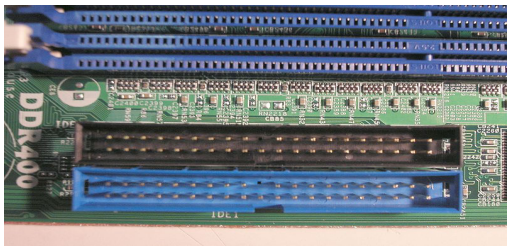


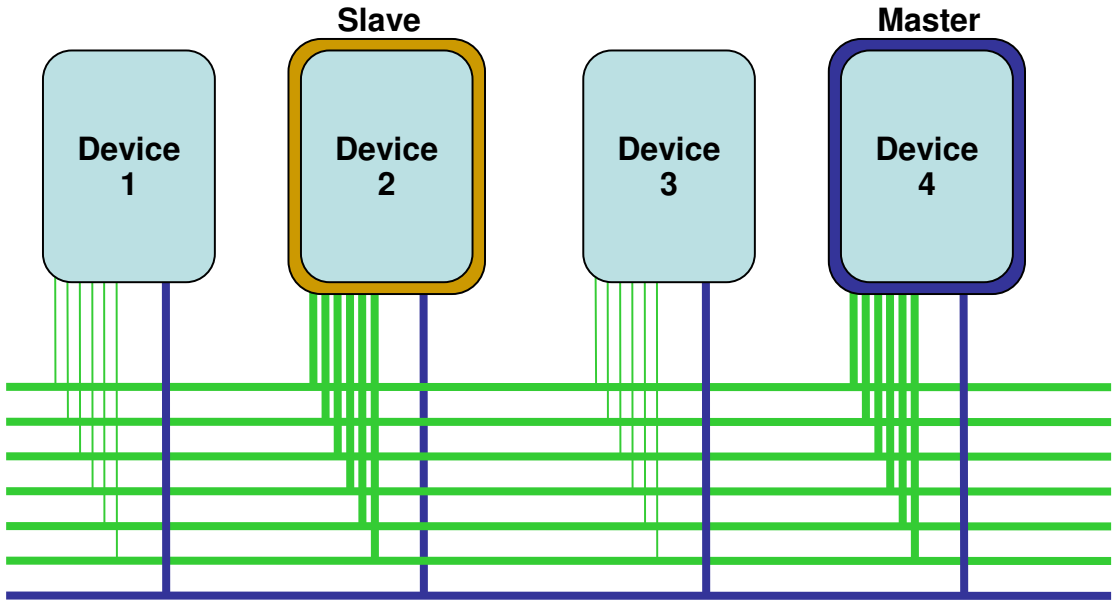
Шины

- Примеры: CAMAC, VME, PCI, SCSI, Parallel ATA, …
- Устройства соединены общей шиной
  - Шина → набор проводников
  - Общая шина подразумевает арбитраж
- Устройства могут быть мастером или подчиненным
- Устройство может быть адресовано (однозначно идентифицировано) на шине







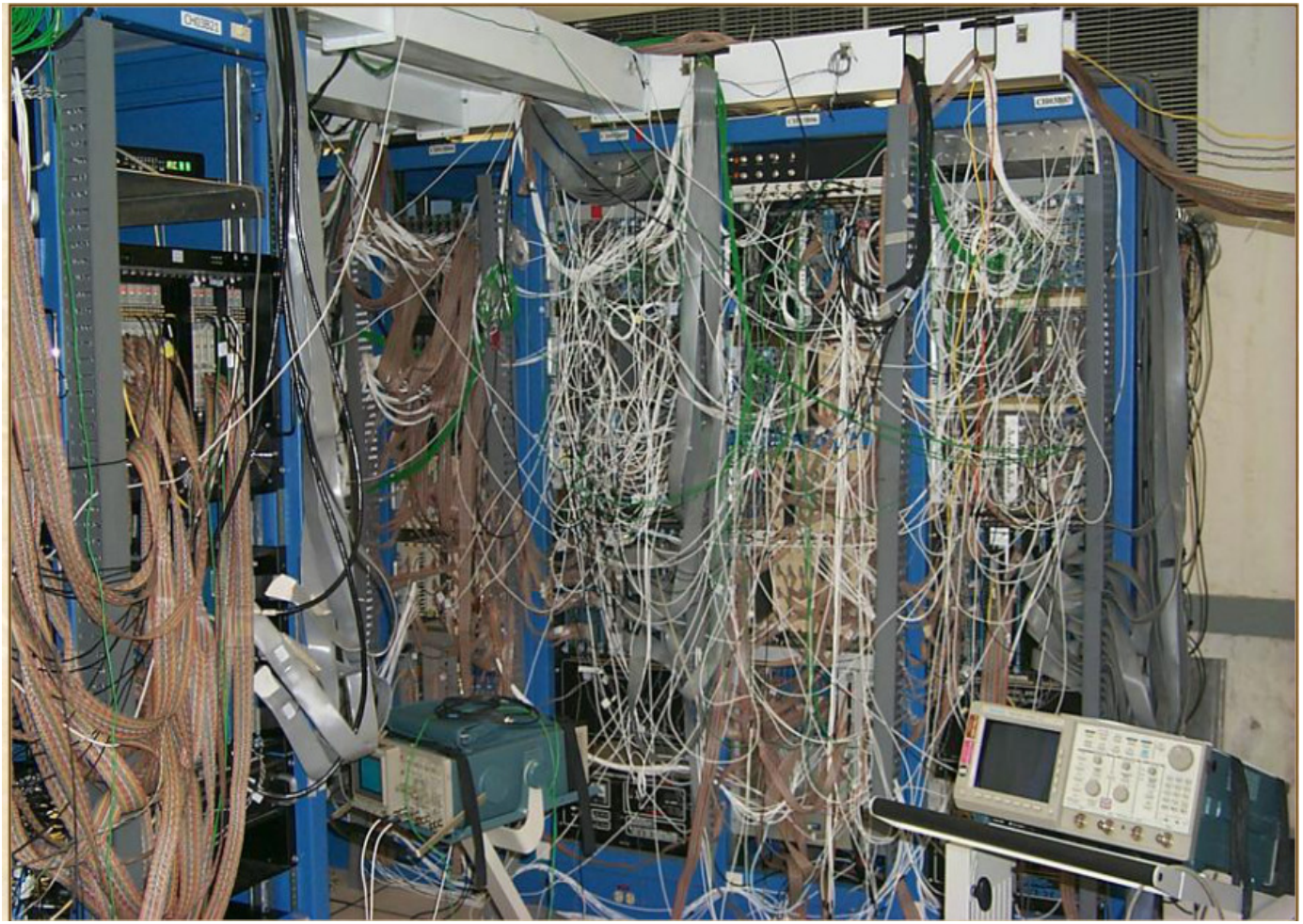


Свойства шин

- Простота ☺
  - Фиксированное число линий (ширина)
  - Устройства должны соответствовать жестко определенным интерфейсам
    - механическим, электрическим, ...

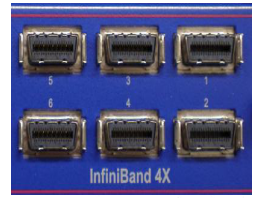
- Проблемы масштабирования ☹
  - Пропускная способность делится между устройствами
  - Максимальная ширина довольно ограничена
  - Максимальная частота шины обратно пропорциональна ее длине
  - Максимальное число устройств на шине зависит от ее длины

Свойства шин

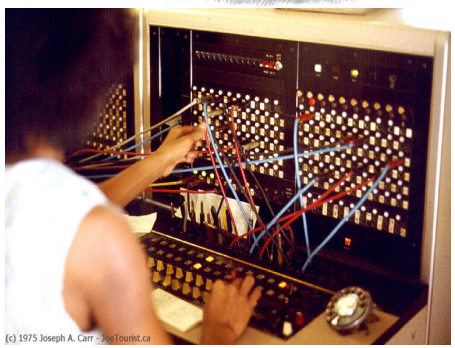


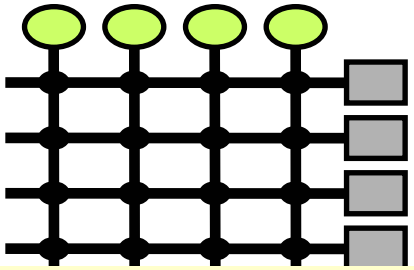
В дальней перспективе, другие “эффекты” могут ограничить масштабируемость

Сети



- Примеры: Ethernet, телефон, Infiniband, …
- Все устройства равны
- Устройства общаются напрямую друг с другом
  - Нет арбитрации, одновременное взаимодействие
- Устройства обмениваются сообщениями
- В коммутируемой сети, коммутаторы передают сообщения между отправителем и получателем
  - Находят правильный путь
  - Справляются с “затором” (два сообщения одному получателю одновременно)
    - Удивительно что ключом к успеху и тут является буферизация…



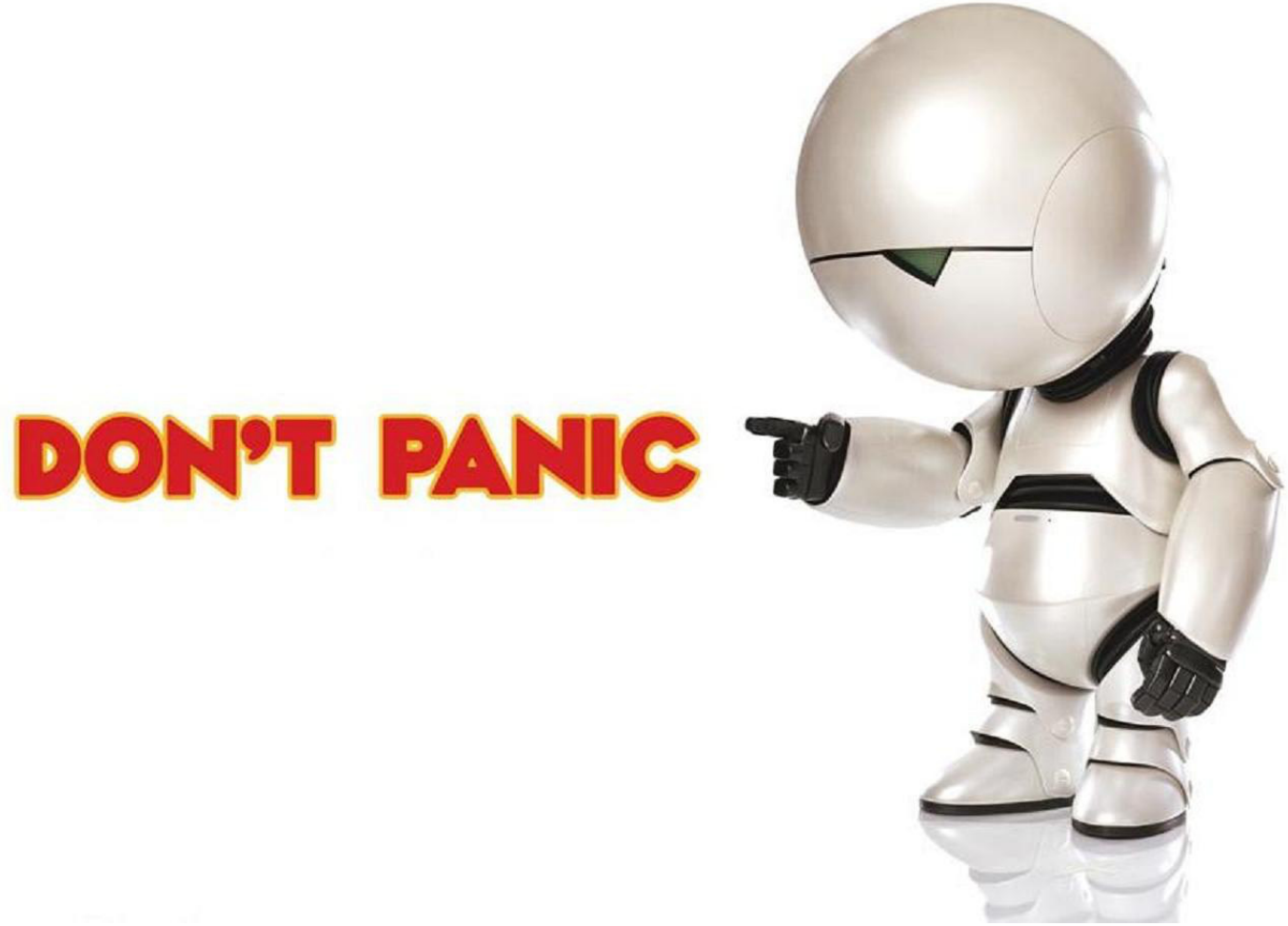


Благодаря этим характеристикам, сети хорошо масштабируются. Они являются основой (кровеносной системой) систем сбора данных на LHC.

Сделай сам

Напутствия строителю ССД

- Изучение характеристик триггера.
  - Периодический или стохастический - постоянный или «сгустками» - отсеивание или выборка
- Необходимая эффективность
  - Хорошо иметь запас, но слишком большой размер следует избегать
- Следует определить источники флуктуаций и установить адекватные размеры буферизации.
  - Внимание: (детерминированные) сложные системы вносят свои флуктуации: многопоточные процессы, сетевые соединения, …
- Подходящий буфер это небольшой буфер.
  - Большой буфер делает систему менее стабильной и менее отзывчивой, подверженной к колебаниям. В общем случае ухудшает надежность.
- Чем проще и меньше свободных параметров тем лучше.
- Решение проблем требует настойчивости
  - Очень редкий сбой в системе может быть симптомом гораздо больших проблем
- В любом случае, ...


DON'T PANIC