



Большой адронный коллайдер: зачем он нужен на уроке естествознания

ЦЕРН и БАК объясняют, как устроена материя, откуда берётся масса и что было в ранней Вселенной.



Почему тема БАК важна для курса естествознания

БАК связывает физику, химию, математику и информатику: проект одобрили в 1994 году, первые пучки прошли в 2008-м. Он даёт энергии, недостижимые в обычных лабораториях, чтобы проверять фундаментальные законы.



Где находится и как устроен комплекс CERN



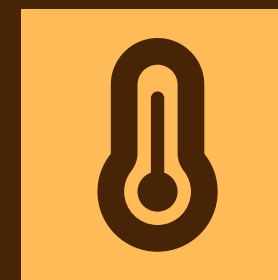
География ускорителя

Кольцо БАК находится примерно на глубине 100 метров. Такое решение помогает защитить оборудование и создать стабильные условия для работы сложной установки и детекторов.



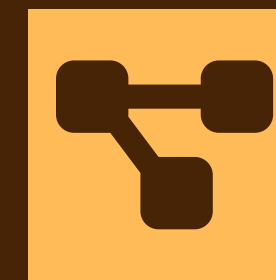
Сверхпроводящие магниты

В кольце установлено 1232 сверхпроводящих дипольных магнита. Они направляют пучки частиц по кругу, удерживая траектории на нужной высоте и в нужном масштабе.



Рабочая температура

Магниты функционируют при температуре 1,9 К, что соответствует значениям около 1,9 градуса выше абсолютного нуля. Это нужно для сверхпроводимости.



Четыре точки столкновений

В комплексе работают четыре основные точки столкновений: ATLAS, CMS, ALICE и LHCb. Каждая группа создаёт свой набор детекторов под конкретные научные задачи.

Масштаб инженерии: тоннель, магниты и детекторы

.1

Кольцевой тоннель и криомагниты

Ускорительное кольцо проходит в тоннеле: он скрывает инфраструктуру, а рядом размещены ряды криомагнитов. По нему пучок протонов делает полный оборот за доли миллисекунды, поэтому синхронизация критична.

.2

Точность удержания пучков

Масштаб комплекса сопоставим с крупным городским проектом, но управление требует микроскопической точности. Любое смещение мешает удерживать частицы в узком пучке и ухудшает качество эксперимента.



Рост энергии столкновений по этапам работы

Увеличение энергии расширяет спектр возможных реакций: редкие процессы становятся доступнее, а сигналы от потенциально новой физики легче выделять на фоне.

Данные по этапам показывают прямую связь модернизаций с ростом энергии и, следовательно, с расширением возможностей поиска. Чем выше энергия, тем богаче «словарь» наблюдаемых реакций.

CERN (периоды работы, заявленные энергии для столкновений).



Что такое пучки и почему частицы сталкиваются

.1

В БАК навстречу друг другу движутся два пучка протонов или тяжёлых ионов. Их траектории специально выстраиваются так, чтобы вероятность столкновения в нужных точках была максимальной.

.2

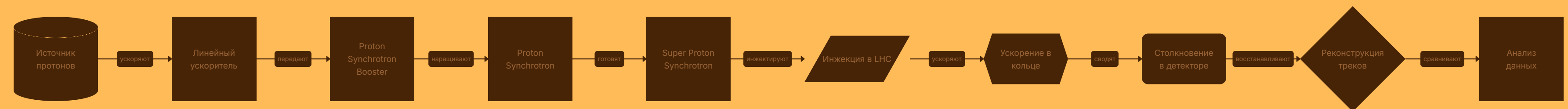
Столкновения не идут непрерывной «чередой»: частицы проходят тысячи заранее настроенных точек взаимодействия. Это повышает контроль над условиями эксперимента и помогает сравнивать события.

.3

При соударениях рождаются новые частицы, которые затем фиксируют детекторы. От них приходит информация по миллионам каналов, а физики восстанавливают картину события по следам.

Путь частицы от источника до результата измерений

Источники протонов и дальнейшие стадии ускорения в цепочке приборов БАК



ATLAS и CMS: универсальные детекторы

.1

ATLAS и CMS предназначены для поиска новых частиц и точного измерения свойств уже известных. Они работают как «универсальные сборщики» данных о результатах столкновений.

.2

Оба детектора измеряют импульс, энергию и траектории частиц. Это позволяет физикам по следам восстановить, какие процессы произошли и в каком масштабе по энергиям.

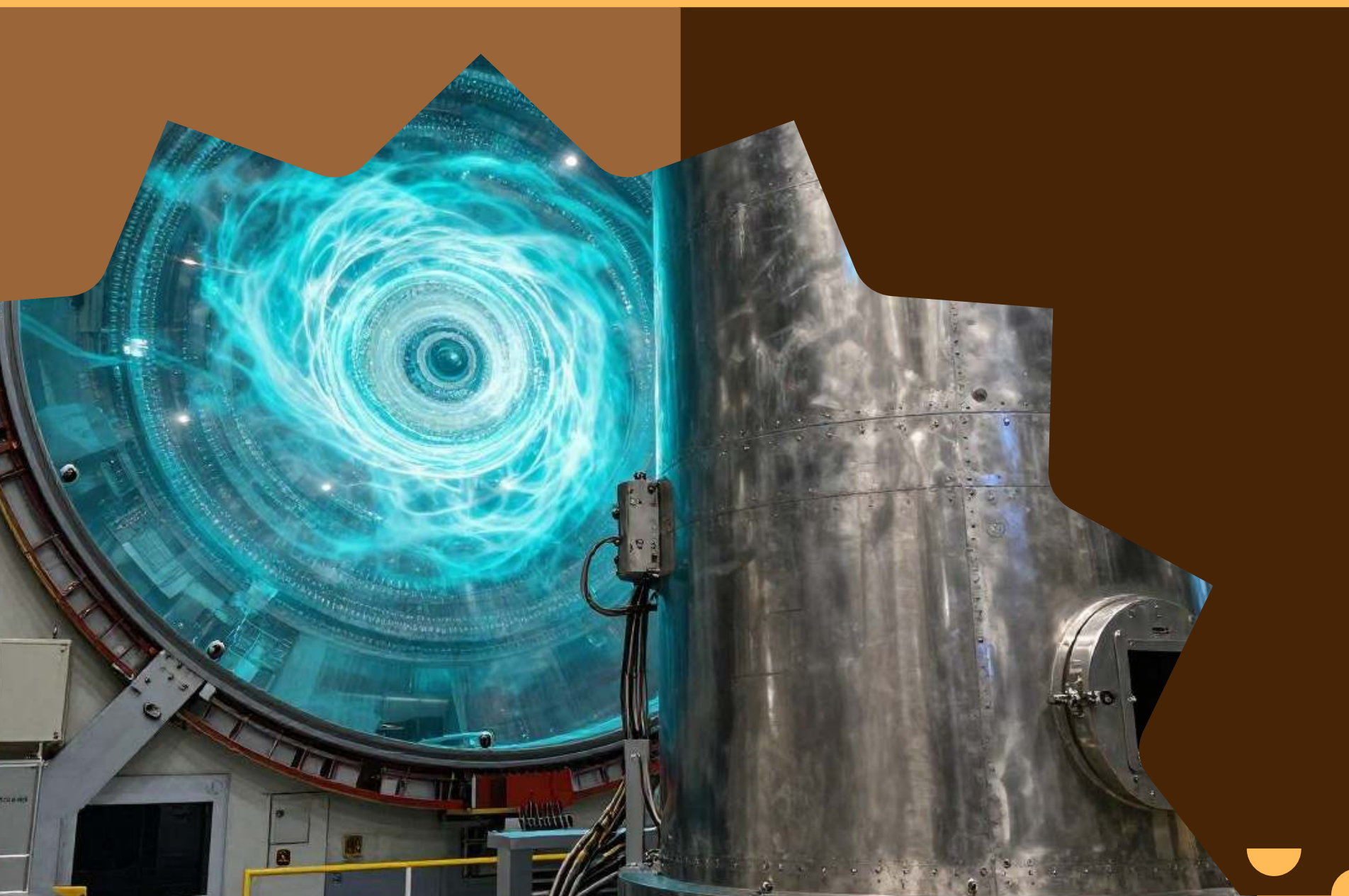
.3

Ключевые системы включают кремниевые трекеры, электромагнитные и адронные калориметры, а также мюонные камеры. Совместная работа модулей повышает надёжность измерений.

.4

Установки функционируют почти непрерывно и собирают огромные объёмы данных. Это важно, потому что многие интересные эффекты проявляются редко и требуют статистики.

ALICE и LHCb: специализированные эксперименты



- ALICE изучает кварк-глюонную плазму — состояние вещества, которое существовало в первые мгновения после Большого взрыва. Для этого важно рассматривать столкновения тяжёлых ионов и детально анализировать продукты распада.

- LHCb исследует нарушение CP-симметрии и редкие распады частиц, содержащих b-кварк. Такой фокус помогает проверять, как ведут себя материя и антиматерия, и искать небольшие отклонения от ожиданий.

Основные эксперименты БАК и их цели

Четыре крупных эксперимента используют разные «оптики» измерений, чтобы отвечать на разные вопросы фундаментальной физики.

Разные детекторы дополняют друг друга: универсальные установки ищут и измеряют, а специализированные углубляются в редкие процессы и состояние вещества при экстремальных условиях.

CERN.

Эксперимент	Что изучает	Ключевая цель
ATLAS	Новая физика, бозон Хиггса	Проверить гипотезы и измерить свойства
CMS	Стандартная модель	Уточнить параметры и сравнить с предсказаниями
ALICE	Горячая плотная материя	Исследовать кварк-глюонное состояние
LHCb	b-кварки, B-мезоны	Понять различия материи и антиматерии

Светимость и число зарегистрированных столкновений

По мере роста светимости ускоритель даёт больше «полезных» столкновений за секунду, поэтому статистика редких процессов становится заметной и пригодной для проверки гипотез.

Сравнение этапов показывает: ключевое условие успеха поиска редких эффектов — не только энергия, но и накопленная светимость за длительное время.

По данным публикаций CERN о работе LHC; значения на слайде даны как относительный индекс для наглядного сравнения периодов.



125 ГэВ

**При массе порядка 125 ГэВ
наблюдаемая в ATLAS и CMS
сигнатура согласовалась с
механизмом Хиггса.**

CERN, пресс-релиз/объявление ATLAS и CMS о
наблюдении новой частицы (4 июля 2012 года).

4 июля 2012 года ATLAS и CMS
объявили об обнаружении новой
частицы с массой около 125 ГэВ,
подтвердив существование
механизма, придающего
элементарным частицам массу.

Что ещё ищет БАК

2015–2018 (Run 2): поиск редких проявлений

Основной фокус — точные проверки предсказаний Стандартной модели в редких распадах и чувствительных угловых распределениях, чтобы найти отклонения, которые могли бы указывать на новую физику.

2022–н.в. (Run 3): рост точности и охвата

В период Run 3 усиливается накопление данных, что повышает чувствительность к слабым сигналам, связанным с редкими процессами и потенциальными следами тёмной материи.

После 2012 года: расширение проверок на новых каналах

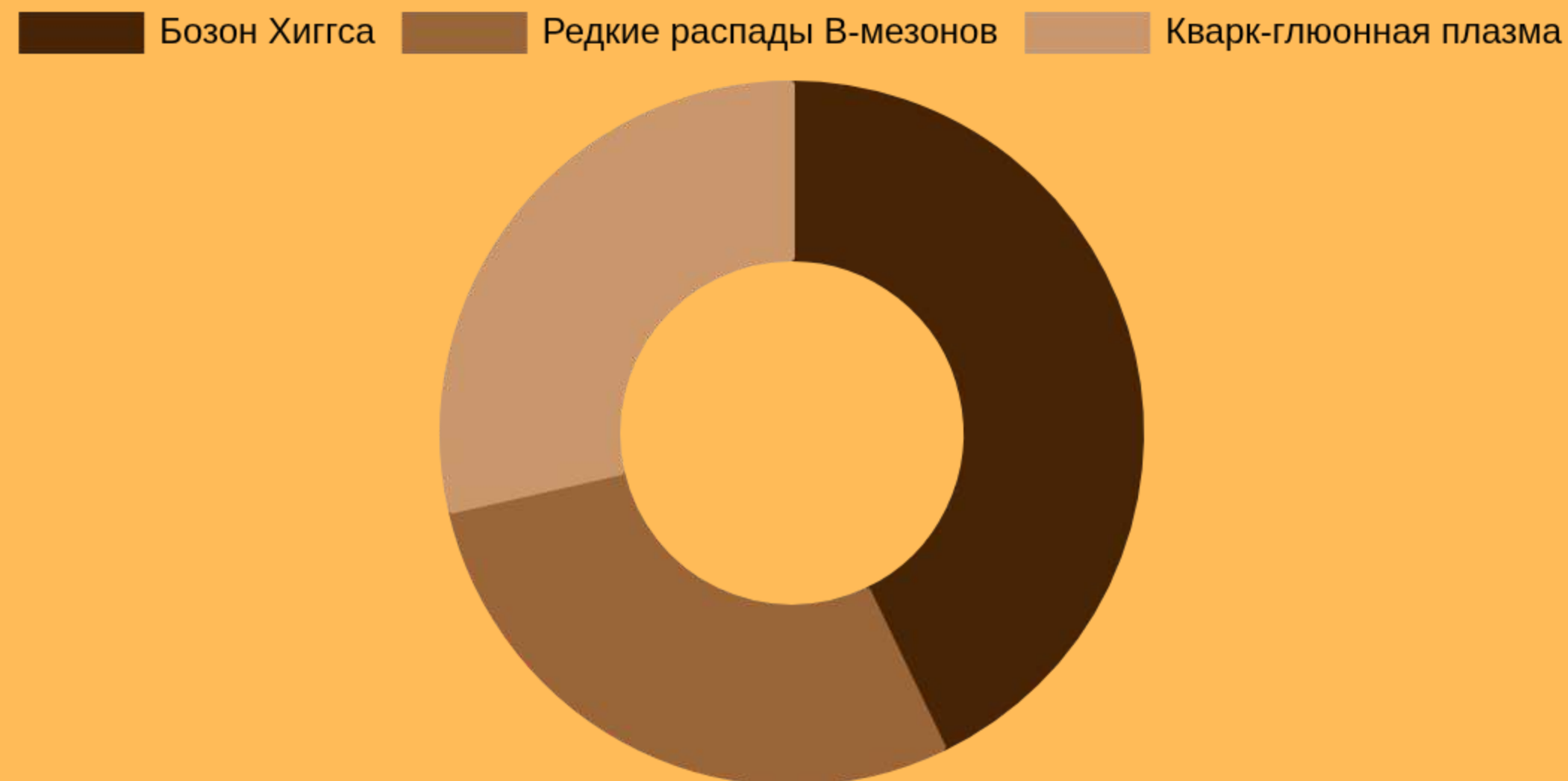
Параллельно развиваются анализы по возможным дополнительным частицам и сценариям, включая идеи суперсимметрии и эффекты «дополнительного» пространства, но с ужесточением статистических требований.

Научные результаты БАК в нескольких направлениях

Помимо массы Хиггса и проверки Стандартной модели, детекторы собирают данные, по которым восстанавливают поведение кварков и глюонов при экстремальных энергиях столкновений.

Трёхблочная структура подчёркивает: успехи коллайдера опираются на разные типы сигналов, а не на один «конечный ответ».

CERN; диаграмма отражает структуру направлений исследований по публикациям экспериментов ATLAS, CMS, ALICE и LHCb (значения — относительные для визуального сравнения).



Технические трудности и безопасность

.1

Сверхпроводящие магниты БАК должны работать при сверхнизких температурах, поэтому используется жидкий гелий и сложная криогенная инфраструктура для устойчивости и повторяемости работы.

.2

Отказ отдельных элементов может нарушить удержание частиц в пучке, из-за чего важно быстро обнаруживать неполадки и переводить систему в безопасный режим, предотвращая повреждения.

.3

Многоуровневый контроль отслеживает состояние магнитов, параметры пучков и энергоснабжение, а система защиты помогает согласованно управлять рисками ещё до возникновения аварийных ситуаций.

Основные этапы развития и модернизации БАК

Ключевые вехи: запуск, набор энергии в первые периоды, длительная модернизация и переход к Run 3 — чтобы коллайдер становился мощнее поэтапно.

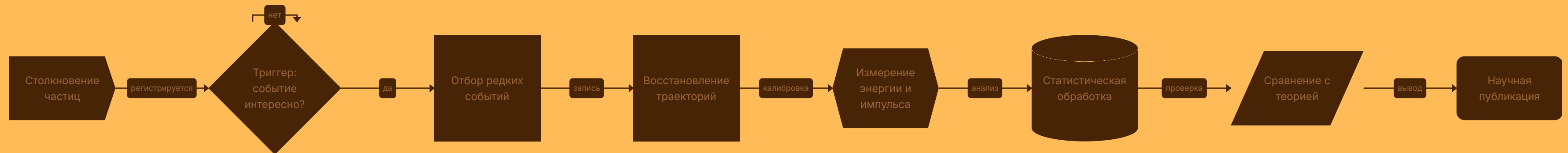
Последовательность запусков и модернизаций показывает: рост возможностей достигается циклически — сочетанием инженерных обновлений и последующих периодов набора данных.

CERN Run Reports

Период	Событие
2008	Первый запуск
2010–2012	Первые столкновения высокой энергии
2013–2014	Первая длительная модернизация
2015–2018	Работа на энергии 13 ТэВ
2022	Начало Run 3

Как из столкновения рождается научный результат

Схема отражает типичный путь данных в эксперименте: от срабатывания триггера до публикации сравнения с теорией.



БАК как пример международного научного сотрудничества



- В проекте участвуют тысячи специалистов — физики, инженеры, программисты и аналитики данных — из более чем 100 стран. Такой масштаб делает сотрудничество не «дополнением», а частью самой науки.

- Карта CERN, схемы детекторов и команды разных групп показывают распределение задач: одни отвечают за аппаратуру, другие — за обработку и интерпретацию сигналов, третьи — за развитие вычислений и инфраструктуры.

Почему БАК важен для будущего науки и технологий



Проверка природы на пределе

Масса элементарных частиц и условия ранней Вселенной требуют экспериментов высокого уровня. БАК даёт способ проверять фундаментальные идеи, а не ограничиваться косвенными аргументами из моделей.



Новые подходы к детекторам

Экстремальные условия заставляют совершенствовать датчики, электронику и методы калибровки. Технологии детектирования, отрабатываемые на LHC, затем находят применение в других областях исследований.



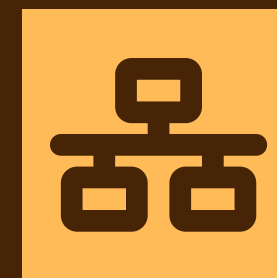
Сверхпроводимость и инженерные решения

Работа магнитов в режиме сверхпроводимости стимулирует развитие криогенных систем, материалов и контроля над стабильностью. Эти компетенции важны и для будущих ускорителей, и для энергетики.



Обработка больших данных

Сотни миллионов событий требуют надёжных методов отбора, реконструкции и анализа. В результате развиваются алгоритмы и практики работы с данными, пригодные для задач в науке и промышленности.



Распределённые вычисления

Потоки данных поддерживаются распределённой вычислительной инфраструктурой. Такой подход помогает хранить, пересылать и считать большие массивы результатов, повышая скорость научных проверок.

Главный вывод о Большом адронном коллайдере

Большой адронный коллайдер — это инструмент проверки фундаментальных законов и источник новых измерений. Он подтвердил механизм Хиггса, расширяет понимание горячей плотной материи и открывает путь к следующему этапу поиска.