

**Медицина,
климат,**

гравитация,

ускорители –

что и как изучает ЦЕРН



Игорь Иванов

Университет Гента (Бельгия)

«Дни науки Красноярья», Красноярск, 6 февраля 2015

Краткая история ЦЕРНа

1945: новый уклад жизни в послевоенной Европе, ООН, ЮНЕСКО

1949: предложение по созданию все-европейской лаборатории по ядерным исследованиям

1951: резолюция ЮНЕСКО по созданию Европейского Совета по Ядерным Исследованиям (CERN, ЦЕРН)

29 сентября 1954: официальная дата рождения ЦЕРНа



Краткая история ЦЕРНа

1945: новый уклад жизни в послевоенной Европе, ООН, ЮНЕСКО

1949: предложение по созданию все-европейской лаборатории по ядерным исследованиям

1951: резолюция ЮНЕСКО по созданию Европейского Совета по Ядерным Исследованиям (CERN, ЦЕРН)

29 сентября 1954: официальная дата рождения ЦЕРНа

ЦЕРН — невоенная и несекретная организация; она занимается чистой наукой и развитием технологий. Никакой результат ЦЕРНа не может быть засекречен.

Article II-1 and 2

1. The Organization shall provide for collaboration among European States in nuclear research of a pure scientific and fundamental character, and in research essentially related thereto. The Organization shall have no concern with work for military requirements and the results of its experimental and theoretical work shall be published or otherwise made generally available.

Краткая история ЦЕРНа



17 мая 1954 г. — начало строительства лаборатории

Краткая история ЦЕРНа

1957: заработал первый ускоритель

1971: первый протонный коллайдер (ISR)

1976: Протонный суперсинхротрон (SPS)

Нобель-1984: Карло Руббиа, Симон ван дер Меер

1989: рождение WWW, первый веб-сайт

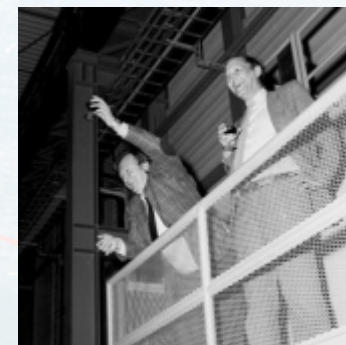
1989: Большой электрон-позитронный коллайдер (LEP)

Нобель-1992: Джордж Чарпак

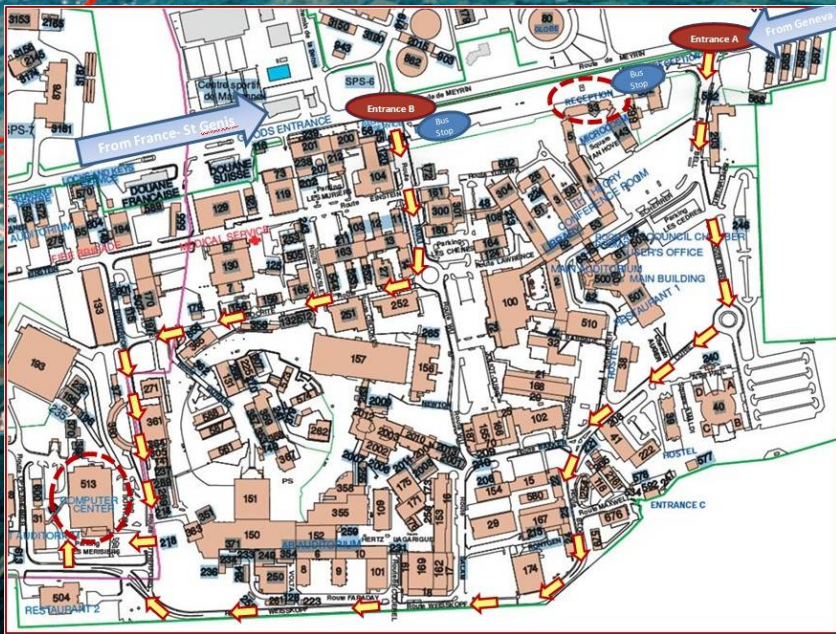
2008: Большой адронный коллайдер (LHC)

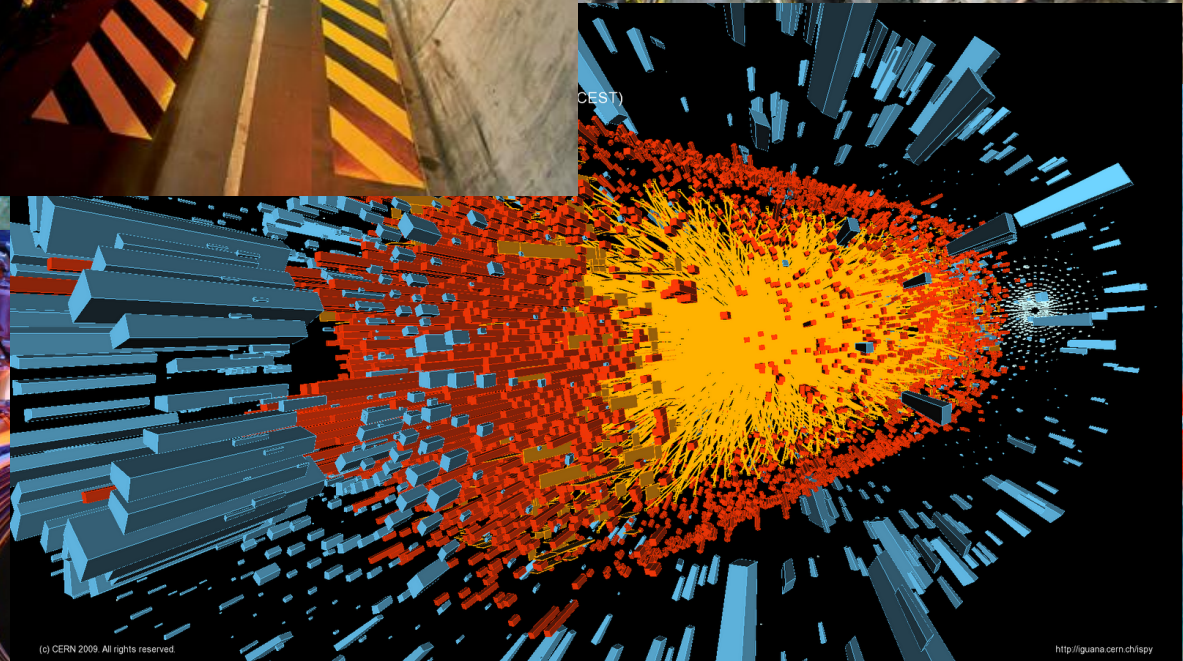
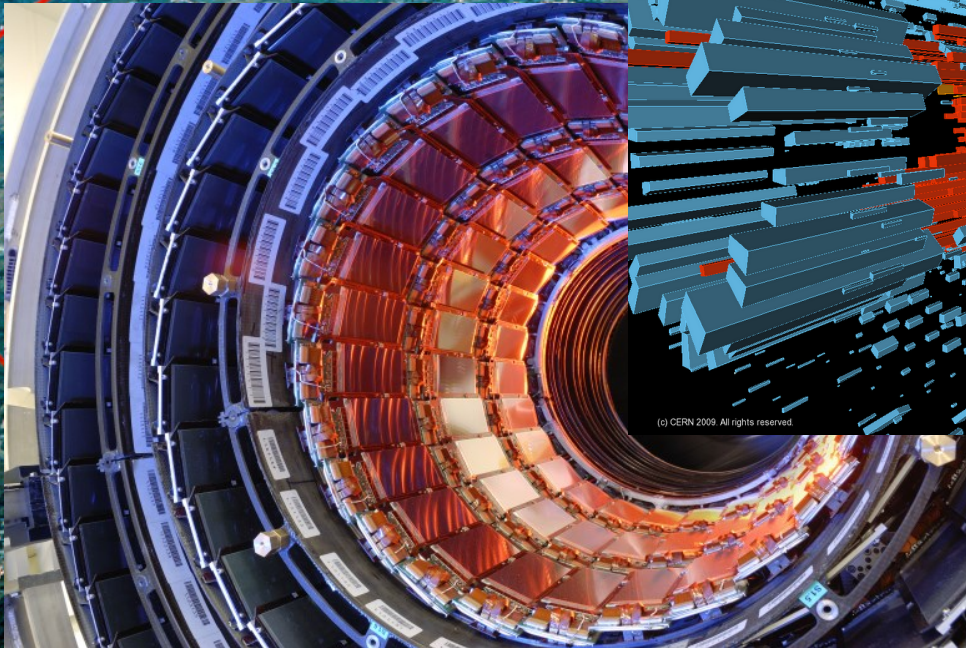
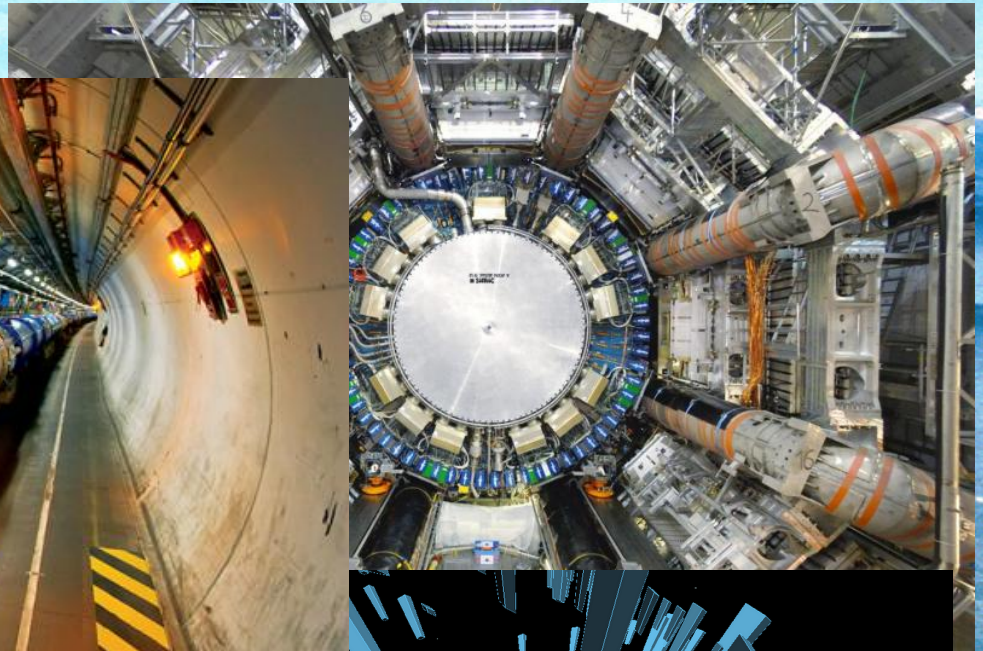
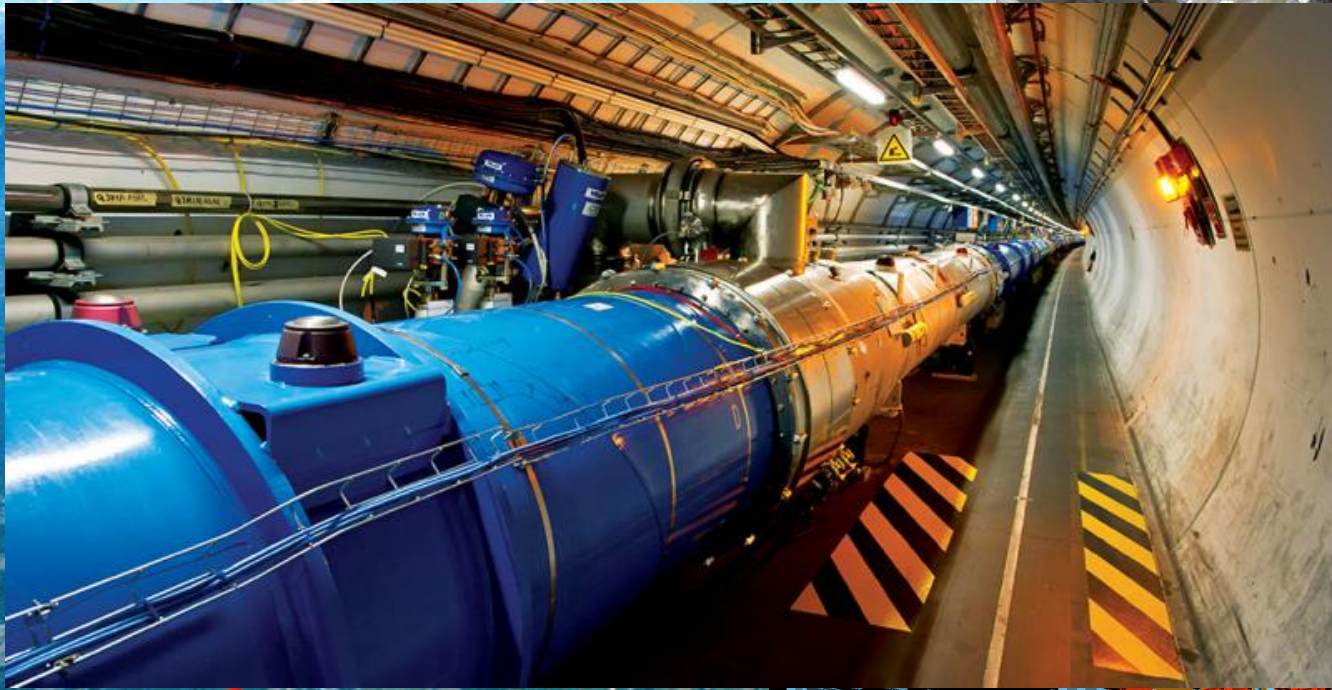
2012: открытие хиггсовского бозона → Нобель-2013

Текущие планы ЦЕРНа — вплоть до 2030-х годов







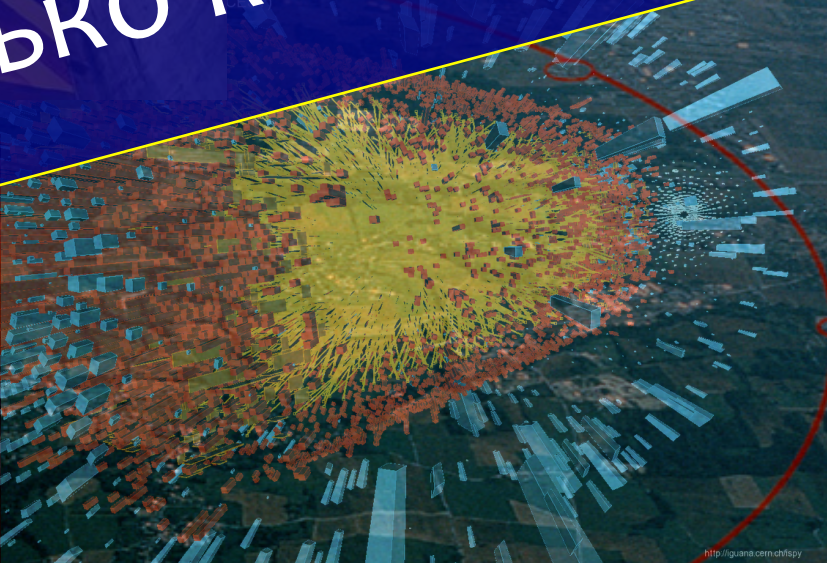
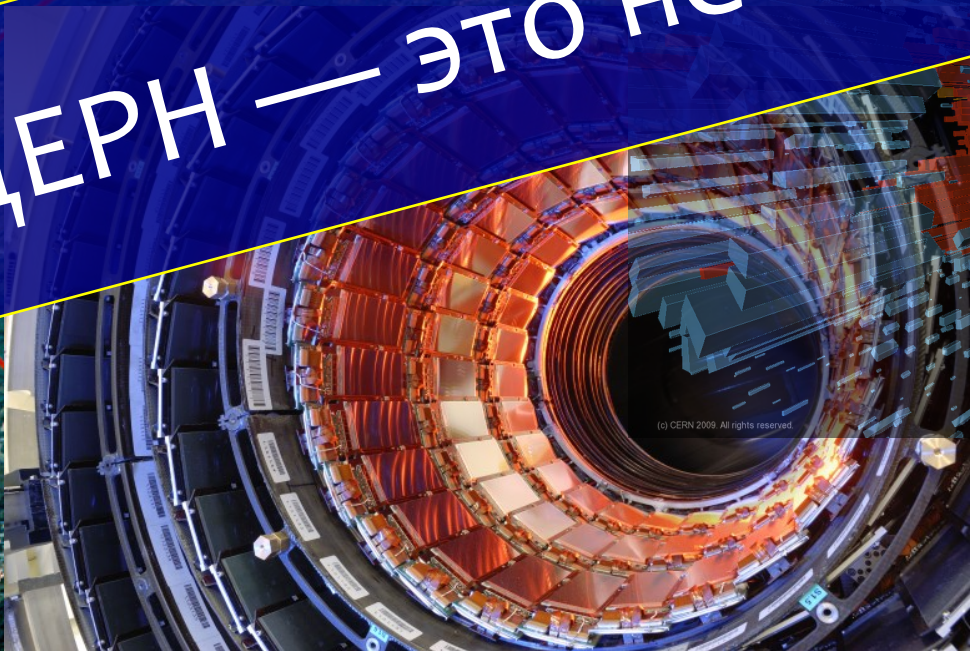


(c) CERN 2009. All rights reserved.

<http://guana.cern.ch/ispy>



ЦЕРН — ЭТО НЕ ТОЛЬКО КОЛЛАЙДЕР!



Эксперименты в ЦЕРНе

Experiments

A range of experiments at CERN investigate physics from cosmic rays to supersymmetry

LHC experiments

Seven experiments at the [Large Hadron Collider \(LHC\)](#) use [detectors](#) to analyse the myriad of particles produced by collisions in the [accelerator](#). These experiments are run by collaborations of scientists from institutes all over the world. Each experiment is distinct, and characterized by its detectors.

The biggest of these experiments, [ATLAS](#) and [CMS](#), use general-purpose detectors to investigate the largest range of physics possible. Having two independently designed detectors is vital for cross-confirmation of any new discoveries made. [ALICE](#) and [LHCb](#) have detectors specialized for focussing on

EXPERIMENTS

ACE	COMPASS
AEGIS	DIRAC
ALICE	ISOLDE
ALPHA	LHCb
AMS	LHCf
ASACUSA	MOEDAL
ATLAS	NA61/SHINE
ATRAP	NA62
AWAKE	NA63
BASE	nTOF
CAST	OSQAR
CLOUD	TOTEM
CMS	UA9

Эксперименты в ЦЕРНе

Experiments

A range of experiments at CERN investigate physics from cosmic rays to supersymmetry

LHC experiments

Seven experiments at the [Large Hadron Collider \(LHC\)](#) use [detectors](#) to analyse the myriad of particles produced by collisions in the [accelerator](#). These experiments are run by collaborations of scientists from institutes all over the world. Each experiment is distinct, and characterized by its detectors.

The biggest of these experiments, [ATLAS](#) and [CMS](#), use general-purpose detectors to investigate the largest range of physics possible. Having two independently designed detectors is vital for cross-confirmation of any new discoveries made. [ALICE](#) and [LHCb](#) have detectors specialized for focussing on

EXPERIMENTS

ACE	COMPASS
AEGIS	DIRAC
ALICE	ISOLDE
ALPHA	LHCb
AMS	LHCf
ASACUSA	MOEDAL
ATLAS	NA61/SHINE
ATRAP	NA62
AWAKE	NA63
BASE	nTOF
CAST	OSQAR
CLOUD	TOTEM
CMS	UA9



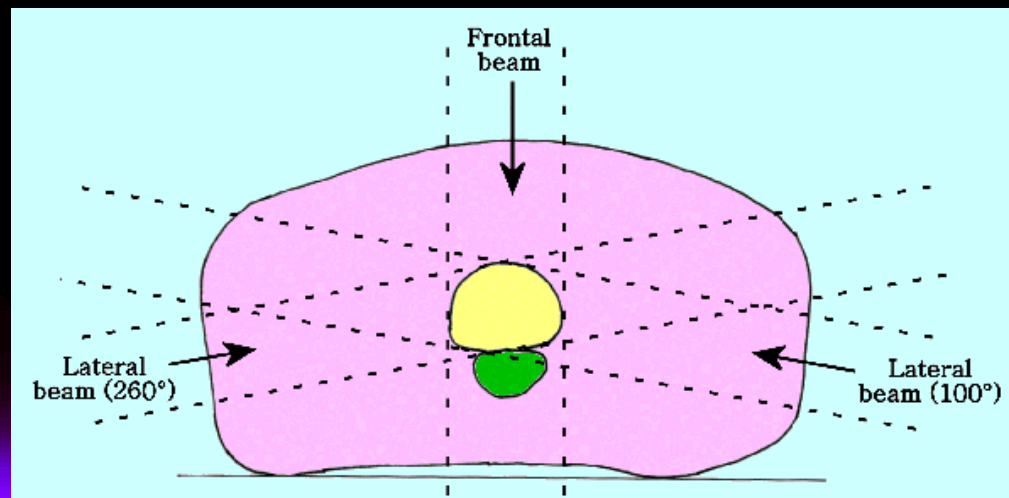
Эксперимент

АСЕ

антипротоны для медицины

Адронная терапия

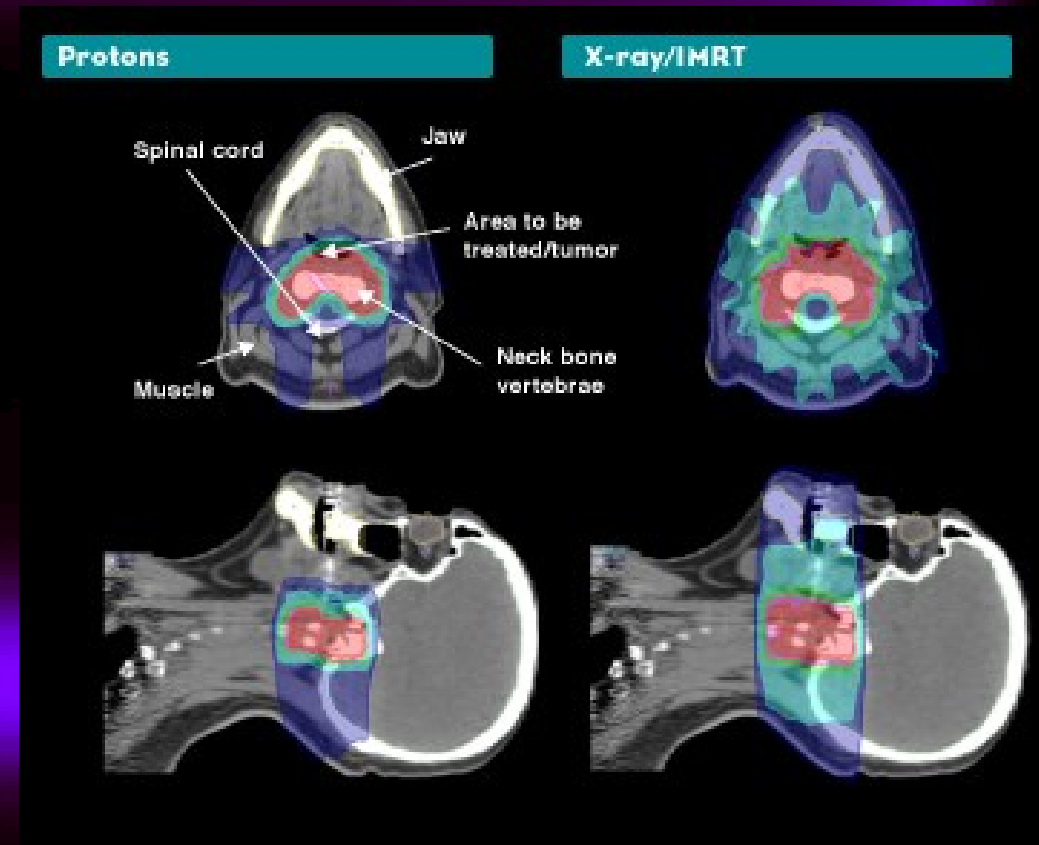
Радиотерапия раковых опухолей — облучение области тела мощным пучком рентгена.



Главный недостаток — **рентген жжет всё, что попадает под луч**. Особенно проблематично облучать глубокие опухоли.

Адронная терапия

Адронный пучок (протоны или ядра атомов) намного эффективнее рентгена — энергосвечение резко возрастает на **последних сантиметрах пути!**

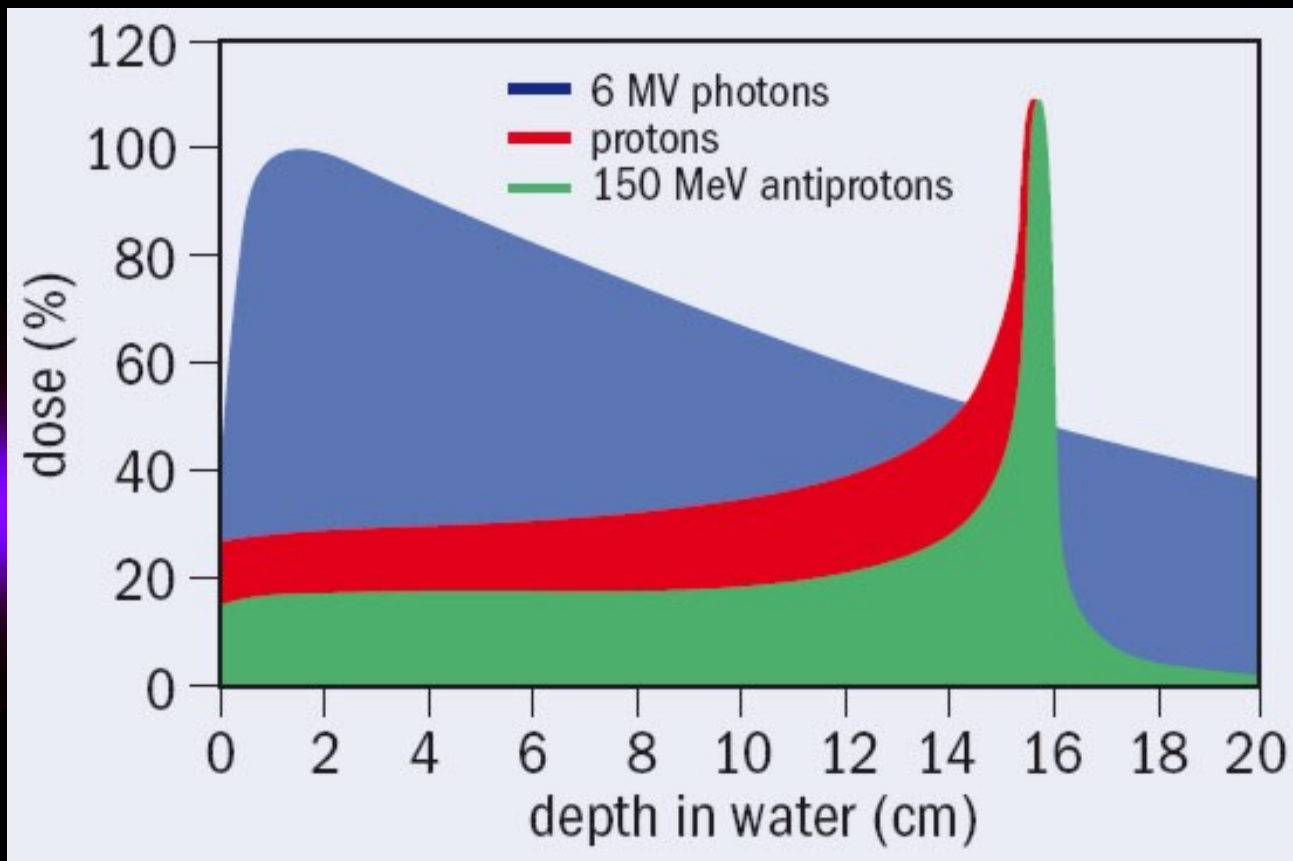


Адронная терапия



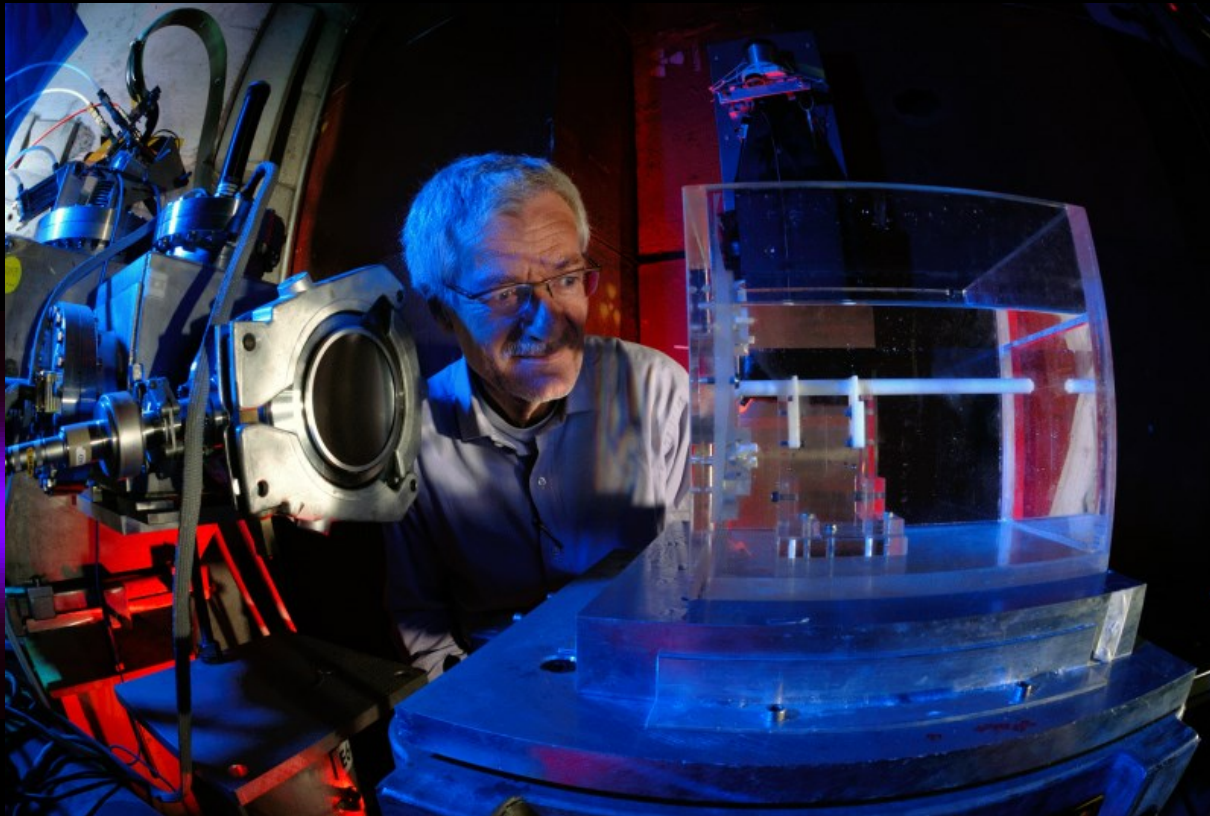
Адронная терапия

Но можно воздействовать еще эффективнее — с помощью пучка **антипротонов**.



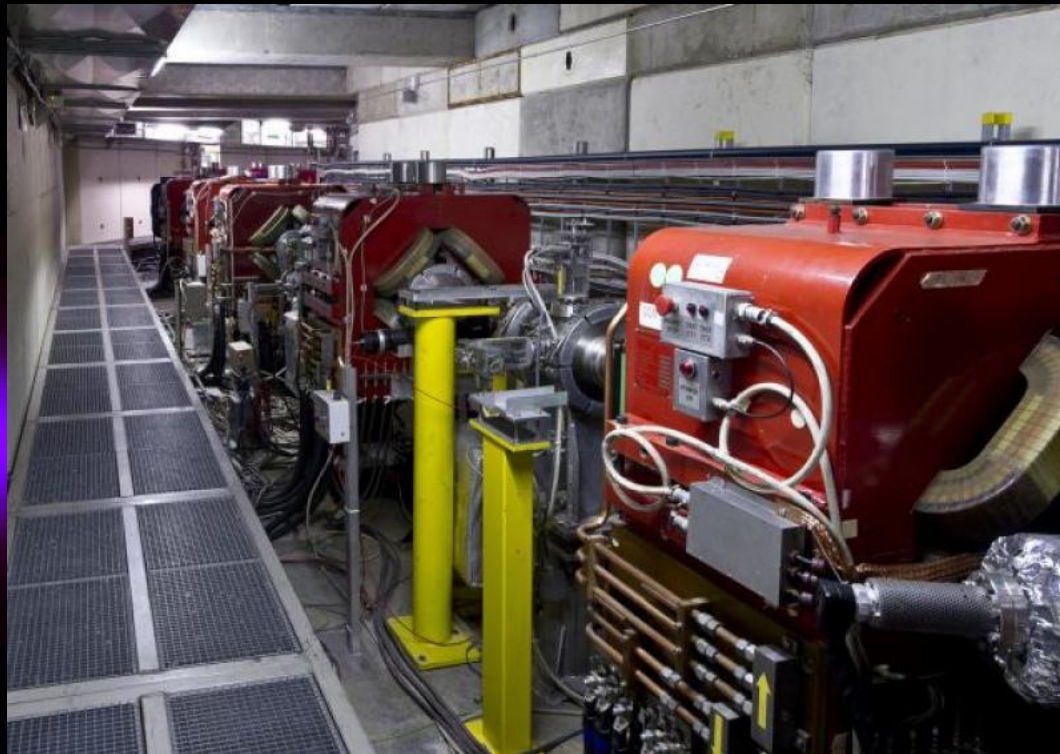
Эксперимент АСЕ

Эксперимент АСЕ в ЦЕРНе занимается изучение того, как пучок антипротонов воздействует на живые клетки.



Эксперимент АСЕ

Антипротоны в ЦЕРНе получают в столкновениях протонов с мишенью, а потом собирают в пучок и охлаждают с помощью антипротонного замедлителя AD.



Антипротонный замедлитель AD

Антипротонный замедлитель поставляет медленные антипротоны для целого списка экспериментов

- **AEGIS, GBAR** — как гравитация действует на антиматерию
- **ALPHA, ASACUSA, ATRAP, BASE** — производство и хранения антиводорода, изучение его свойств, проверка физических законов

2017: новая установка **ELENA** для получения еще более «холодных» антипротонов



Эксперимент

AWAKE

на пути к новой технологии ускорителей

Почему ускорители такие большие?

- Частицы в ускорителе ускоряют с помощью сильного **электрического поля** внутри резонатора
- Есть физический предел на силу электрического поля — **несколько десятков МВ/м**
- Более сильное поле вызовет пробой в вакууме — металл не сможет «держаться»
- Поэтому ускорители на большие энергии должны быть длинными — многие километры



Кильватерное ускорение

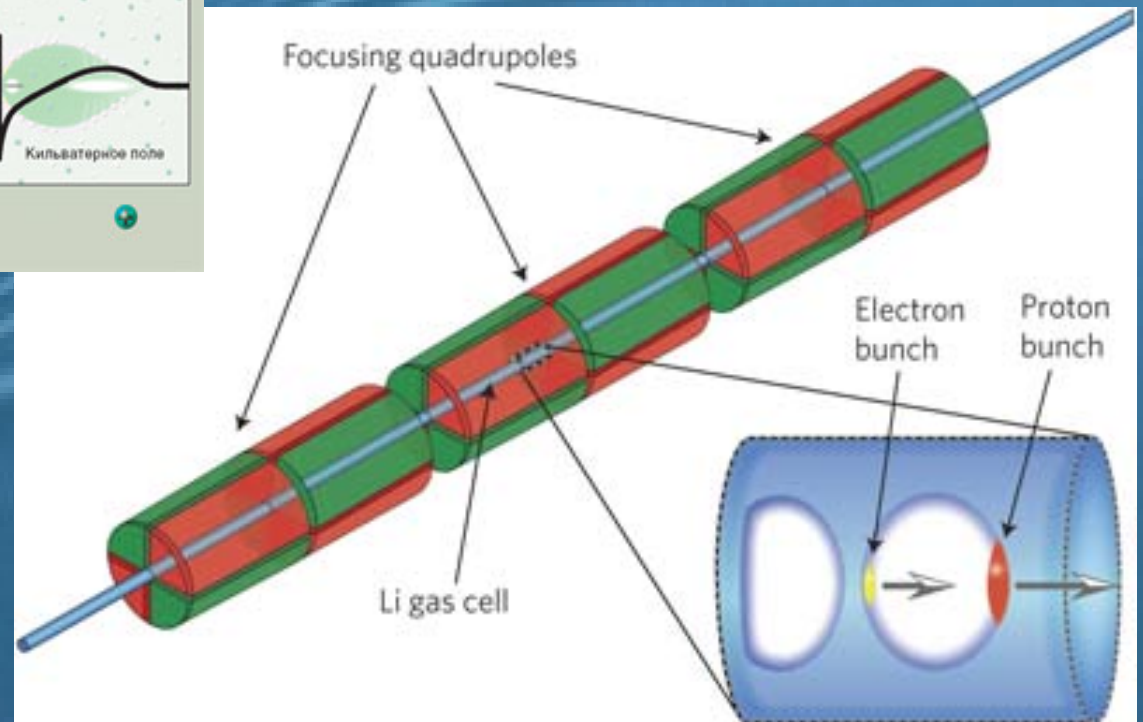
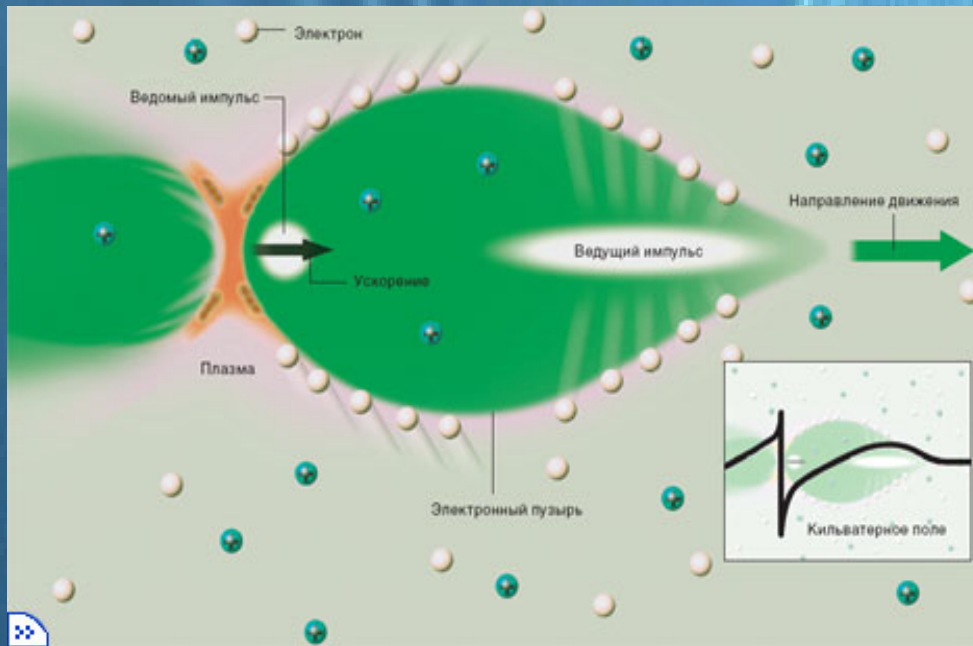
Идея **кильватерного ускорителя** — если не выдерживает металл, то можно попробовать...

плазму!

Плазма нестатична, но в ней можно создать колебание с очень сильным электрическим полем, вплоть до **100 ГВ/м.**

Первый импульс запускает колебание, а оно затем подхватывает и разгоняет идущий следом импульс частиц.

Кильватерное ускорение



Кильватерное ускорение

Главная мечта — **уменьшить ускорители в СОТНИ раз.**

- Ускорители-«рабочие лошадки»:
вместо 10 метров — **насто́льная установка!**
- Будущие суперускорители:
вместо десятков километров — **сотни метров.**

Многие тысячи ускорителей, используемые сейчас для прикладной науки и медицины, станут намного **компактнее, дешевле, удобнее, безопаснее.**

Эксперимент AWAKE

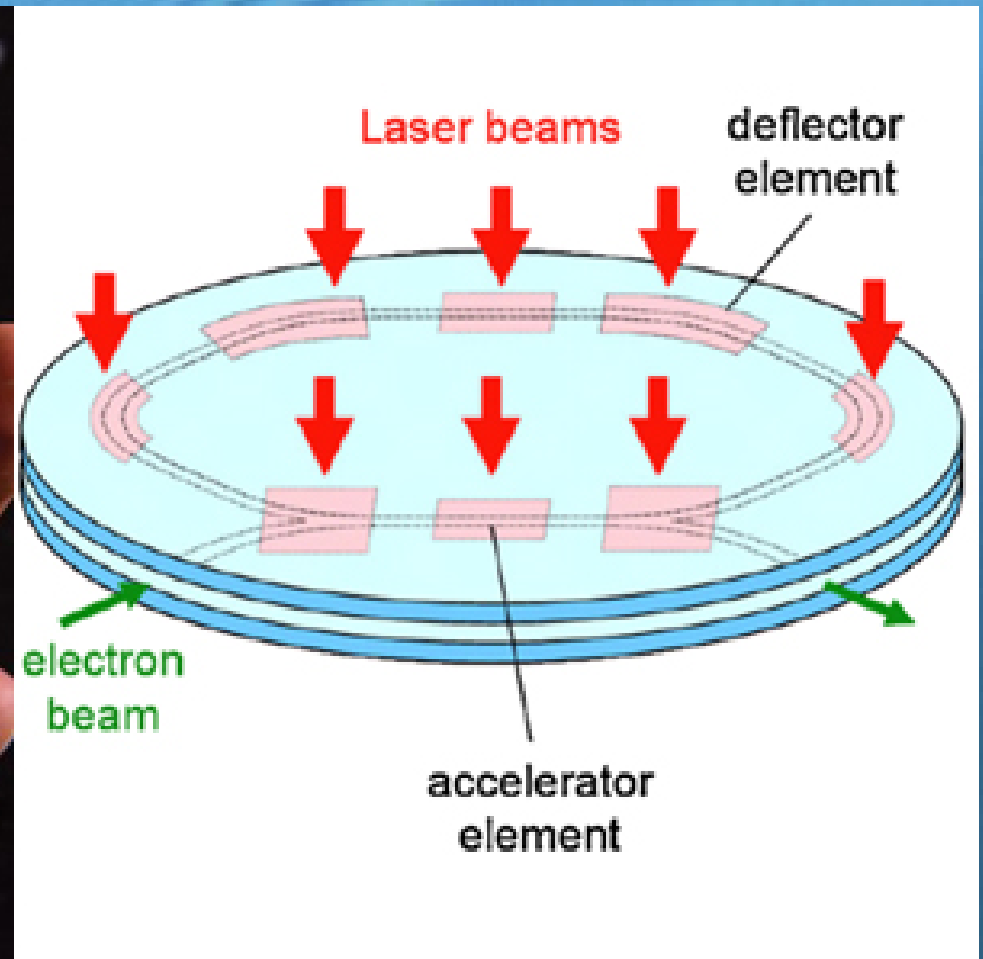
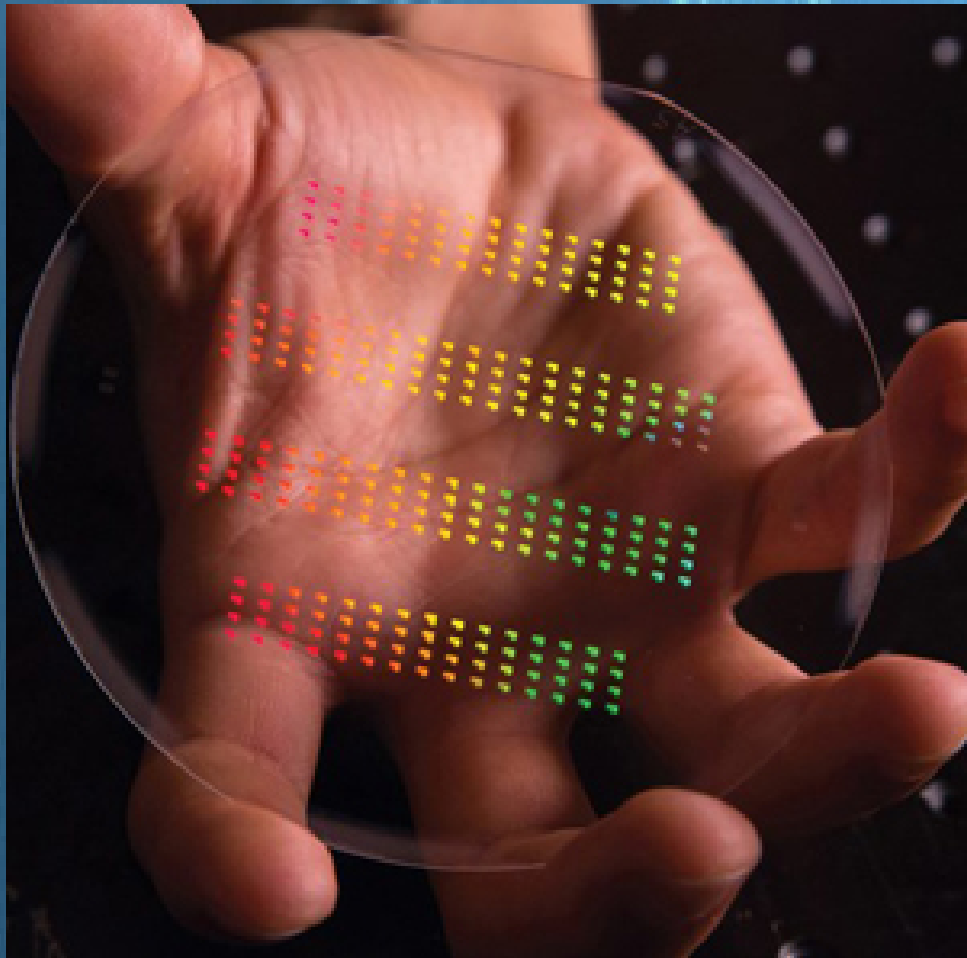
Эксперимент **AWAKE** в ЦЕРНе — демонстрация кильватерного ускорения электронов протонами до ГэВных энергий на длине около метра.

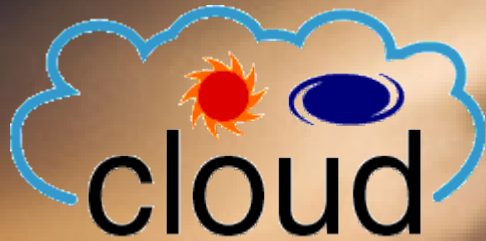
- 2014 — окончательный технический проект
- 2015–2016 — подготовка, изготовление, сборка
- 2017 — запуск и начало исследований

Эксперимент АWAKE



Другие технологии ускорения





Эксперимент

CLOUD

как космические лучи влияют на климат

Облака и климат

- Облака сильно влияют на баланс тепла — общий **охлаждающий эффект** на климат
- Слишком много факторов влияет на образование и свойства облаков
- Облака не получается изучать в лаборатории
- Один из самых больших **источников неопределенностей** в климатических моделях

Образование облаков

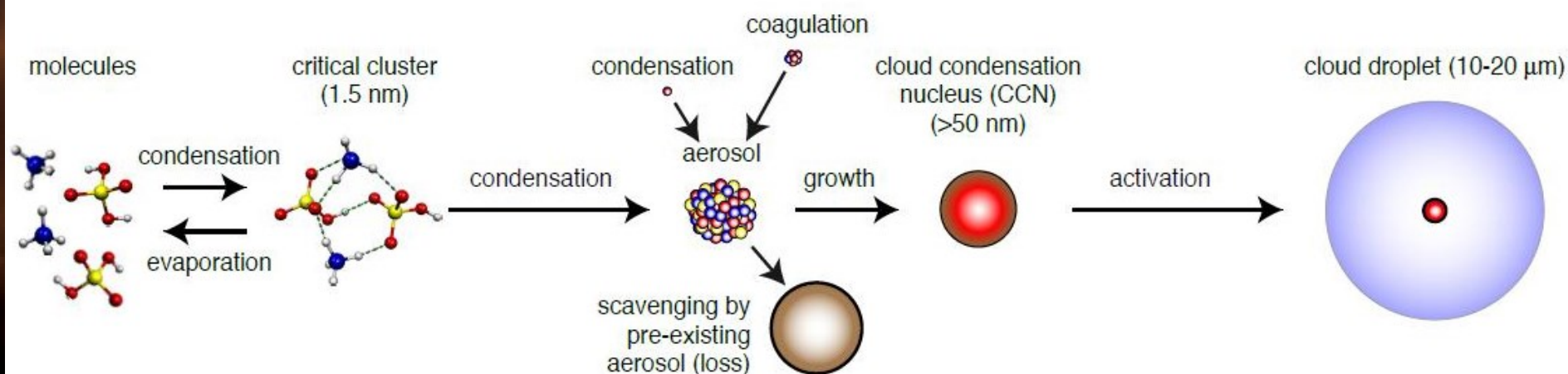
Образование облаков — очень сложный процесс!

- температура и концентрация пара
- посторонние газы и прочие примеси в атмосфере → сложные физикохимические процессы
- электрические поля
- **ионизирующее космическое излучение**

Образование облаков

Образование облаков — очень сложный процесс!

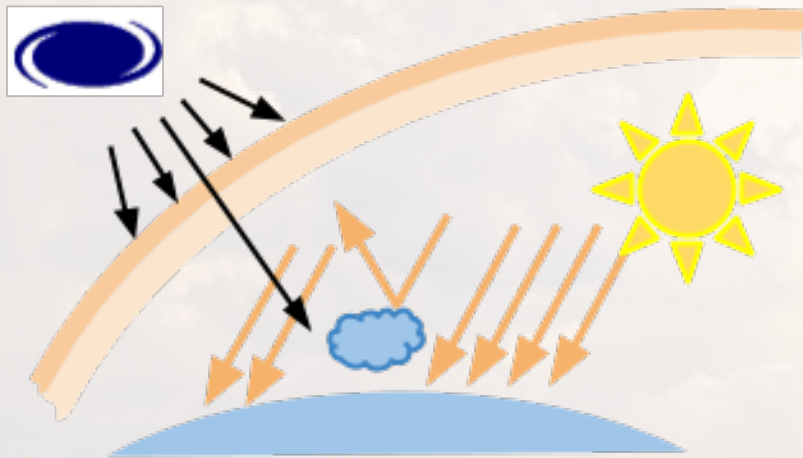
- температура и концентрация пара
- посторонние газы и прочие примеси в атмосфере → сложные физикохимические процессы
- электрические поля
- **ионизирующее космическое излучение**



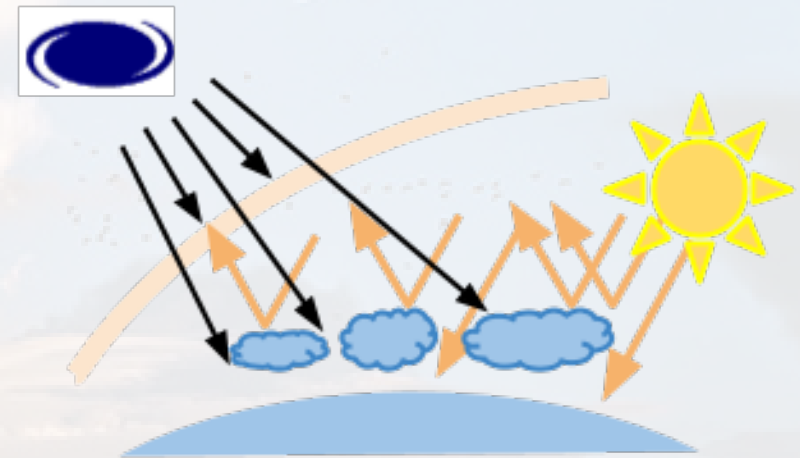
Что изучает CLOUD

Одна из «горячих точек» климатических споров — возможная связь между **космическими лучами**, **солнечной активностью**, и **климатом**.

высокая солнечная активность



низкая солнечная активность



Что изучает CLOUD

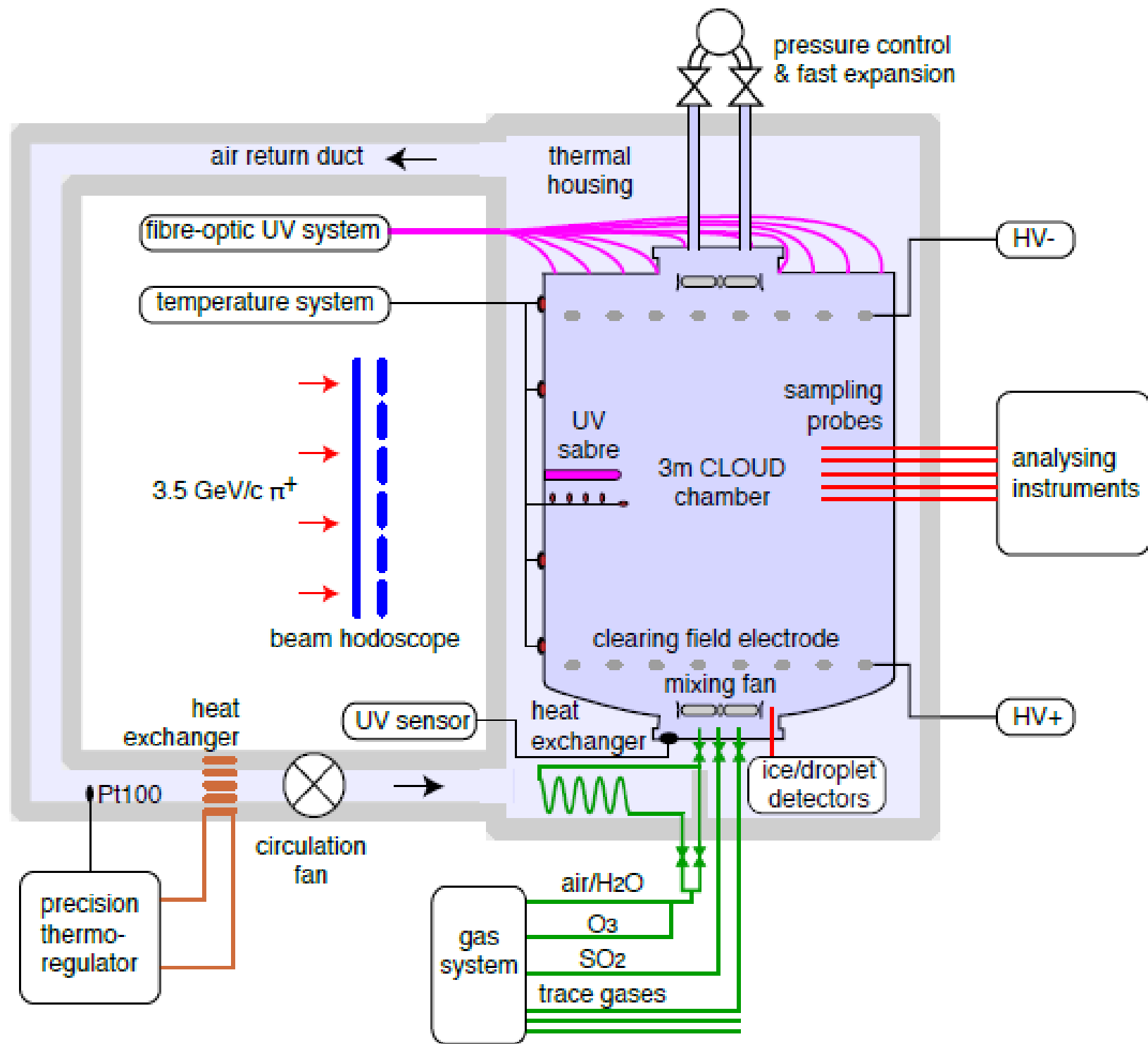
Эксперимент CLOUD может в **контролируемых лабораторных условиях** изучить процесс **нуклеации** — первый этап образования облаков.

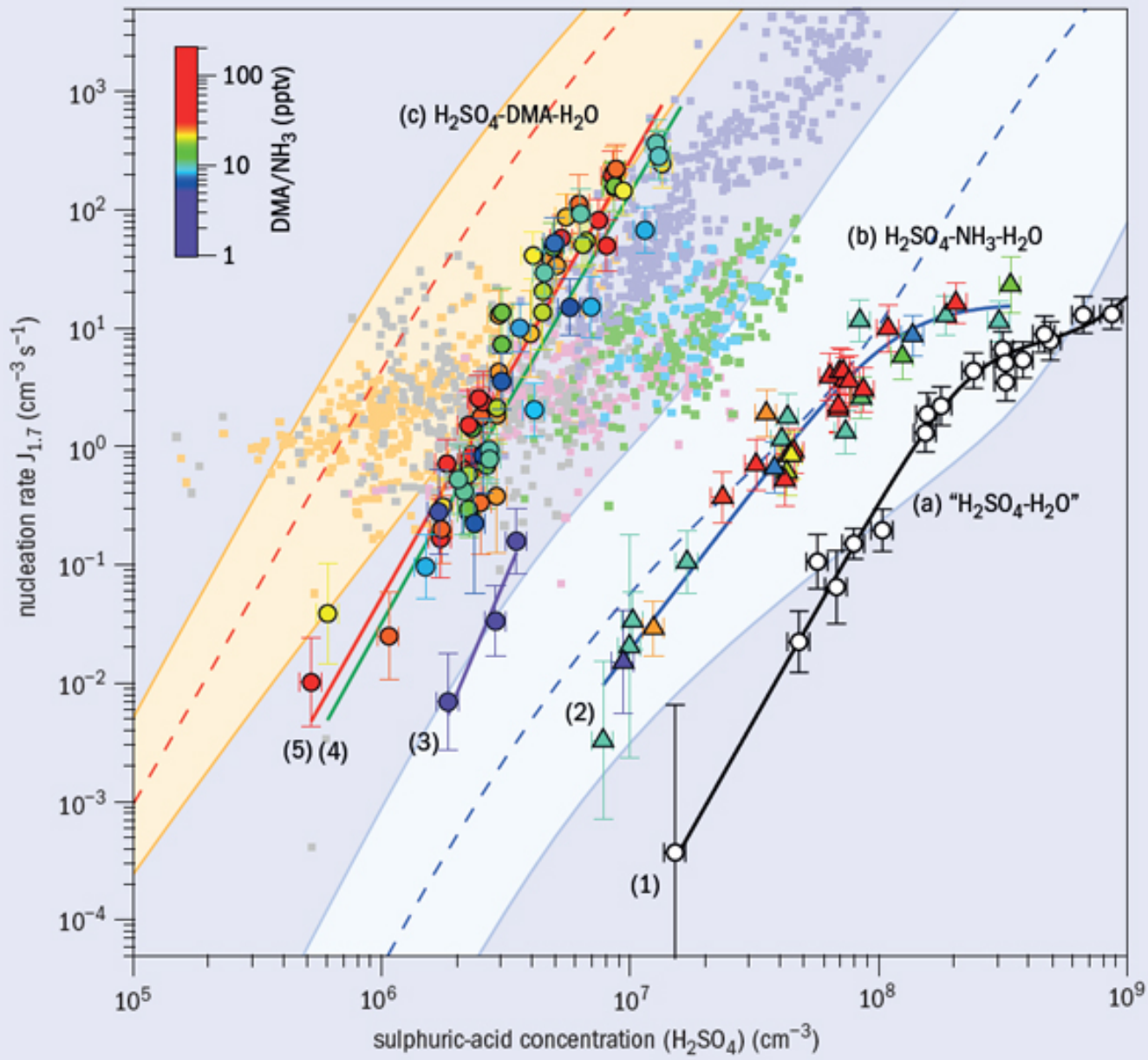
Эксперименту доступны:

- **полный контроль** над условиями (температура, концентрация пара, давление, химический состав)
- ультрафиолетовое облучение
- **облучение протонами из ускорителя** или **пи-мезонами** — аналог галактических космических лучей
- всевозможные приборы для наблюдения









CLOUD:

- J_{gcr} (<0.1 pptv DMA + <2 pptv NH_3)
- ▲ J_{gcr} (<0.1 pptv DMA + <2-250 pptv NH_3)
- $J_{\text{n/gcr}}/\pi$ (3-140 pptv DMA + 10 pptv NH_3)

Theory (ACDC):

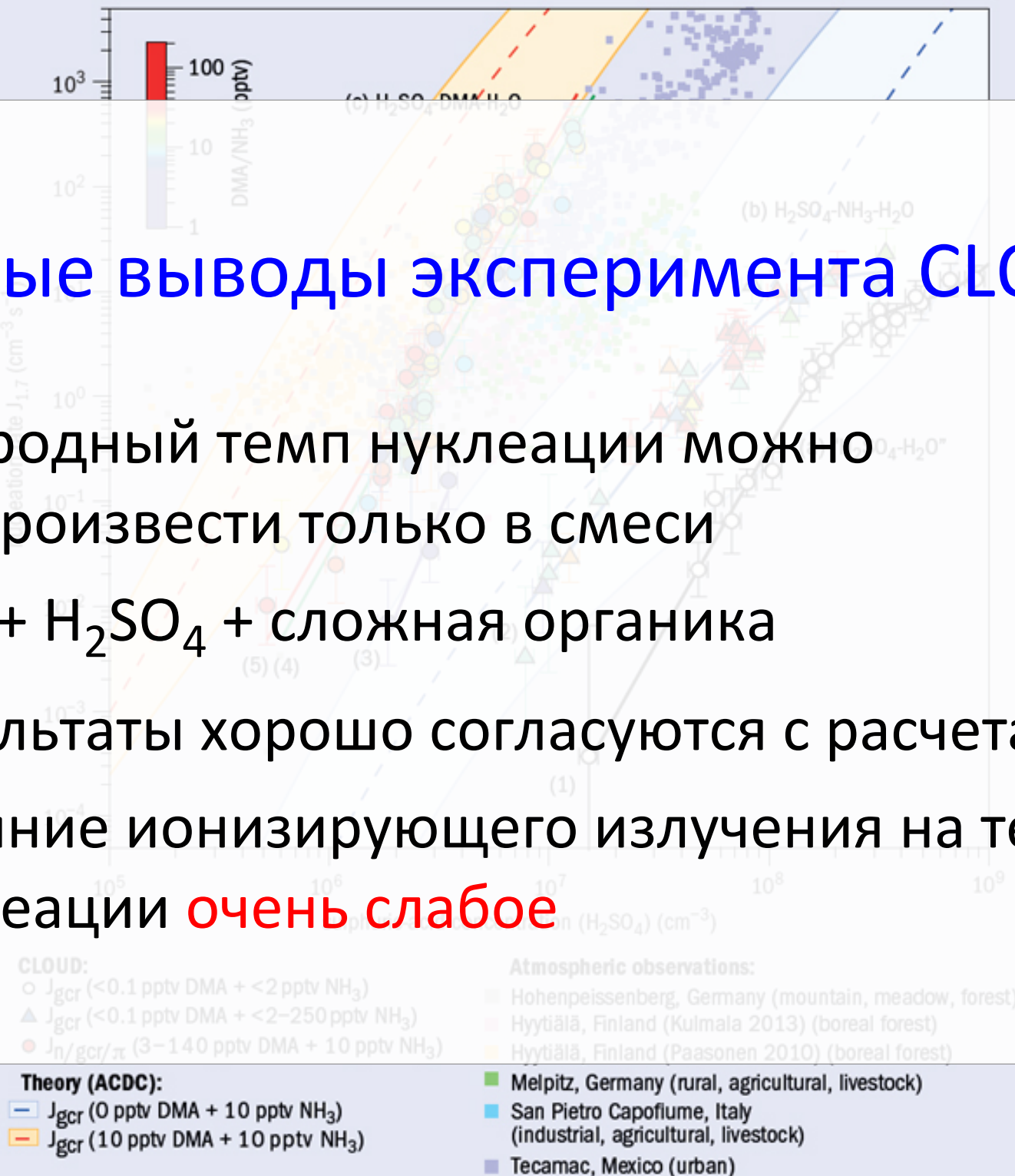
- J_{gcr} (0 pptv DMA + 10 pptv NH_3)
- J_{gcr} (10 pptv DMA + 10 pptv NH_3)

Atmospheric observations:

- Hohenpeissenberg, Germany (mountain, meadow, forest)
- Hyytiälä, Finland (Kulmala 2013) (boreal forest)
- Hyytiälä, Finland (Paasonen 2010) (boreal forest)
- Melpitz, Germany (rural, agricultural, livestock)
- San Pietro Capofiume, Italy (industrial, agricultural, livestock)
- Tecamac, Mexico (urban)

Главные выводы эксперимента CLOUD

- Природный темп нуклеации можно воспроизвести только в смеси $\text{H}_2\text{O} + \text{H}_2\text{SO}_4 +$ сложная органика
- Результаты хорошо согласуются с расчетами
- Влияние ионизирующего излучения на темп нуклеации **очень слабое**



Что же объединяет такие разные темы и такие непохожие эксперименты?

Инструмент исследования!

- **Ускорители** частиц
- Детекторы частиц
- Измерительные технологии



Огромный опыт и техническая база ЦЕРНа в ходе фундаментальных исследований →

многочисленные возможности для прикладных работ