



ФИЗИКА ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ: ТЕОРИЯ, ЭКСПЕРИМЕНТ, ГРИД.

Г. Зиновьев, Е. Мартынов

Институт теоретической физики им. Н.Н. Боголюбова НАН Украины

План

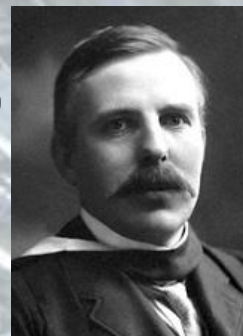
- Введение
 - «элементарные частицы»
 - типы взаимодействий, симметрии
 - квантовая электродинамика
 - электрослабые взаимодействия, бозон Хиггса
 - квантовая хромодинамика
 - кварк-глюонная картина сильных взаимодействий
 - релятивистские ионы, кварк-глюонная плазма
- Стандартная теория
 - элементарные частицы
 - основные теоретические предсказания
- Экспериментальная проверка теории
 - ЦЕРН, большой адронный коллайдер, LHC
 - ATLAS, CMS, ALICE, LHCb, TOTEM
 - экспериментальные данные
- Грид
 - грид в мире и Европе, WLCG, EGEE, EGI
 - грид в Украине, Украинский Академический Грид

«Элементарные частицы»



Дж. Дж. Томсон:

катодные лучи, электрон (1897)



Э. Резерфорд:

атом, протон (1911)



Д. Чедвик:

открытие нейтрона (1932)

$$n \rightarrow p + e^{-} + \nu_e$$

β - распад



В. Паули, Э. Ферми:

гипотеза нейтрино (1933)

Экспериментальное открытие – **Райнесс** (1957)



Х. Юкава: предсказание новой частицы (1935)

$$V = -g^2 \frac{e^{-r/r_0}}{r}, r_0 \sim 1/m,$$

m — масса π - мезона (139 МэВ)

Экспериментальное открытие - 1947



С. Пауэл

В 1936 г. К. Андерсен открыл частицу с массой 207 МэВ (мю-мезон)

В 40-х годах прошлого века были открыты новые частицы, К-мезоны, со странными свойствами, они рождались только парами (странные частицы)

24.11.2008



ИНЖЕНЕРИЯ СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ
И РАДИАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Харьков, 17-21 ноября, 2008

«Элементарные частицы» → элементарные частицы

В начале второй половины XX века было открыто множество новых частиц с самыми разнообразными свойствами.

Большинство из них – сильновзаимодействующие (адроны), но нестабильные, с временем распада $\sim 10^{-23}$ сек. Они получили название резонансов.

Все они считались элементарными частицами. Всего известно стабильных и нестабильных частиц около 1000 !!!

Физики стали искать более фундаментальные частицы, из которых составлены эти «элементарные» частицы.



М. Гелл-Манн: все адроны состоят из кварков и антикварков (1964).

Кварки имеют дробный заряд, они различаются особыми квантовыми числами, которые получили названия **запах и цвет (flavour & color)**

Запах: верхний (up, **u**-quark), нижний (down, **d**-quark), странный (strange, **s**-quark)

Цвет: **красный**, **зеленый**, **синий**

В дальнейшем выяснилось, что из теории следует существование еще нескольких типов кварков (еще несколько запахов).

Очарованный (charm, **c**-quark, 1974), красивый (beauty, **b**-quark, 1977), истинный (truth /top), **t**-quark, 1995)

Типы взаимодействий, симметрии

Четыре типа фундаментальных взаимодействий



Гравитационное

все частицы

Электромагнитное

все заряженные частицы

Слабое

лептоны, мезоны, барионы

Сильное

барионы, мезоны

Типы взаимодействий, симметрии

Все современные теории как отдельных взаимодействий, так и их объединений, построены на общих принципах и базируются на лагранжевом формализме. Исходные объекты:

- взаимодействующие поля, которыми описываются частицы,
- плотность лагранжиана, которая задает уравнения движения и взаимодействие полей (частиц).

Физические свойства частиц, законы сохранения задаются типом полевых функций и симметриями, которым удовлетворяют поля и лагранжиан.

КАЛИБРОВОЧНАЯ ИНВАРИАНТНОСТЬ (ГЛОБАЛЬНАЯ).

$$\mathcal{L} = \partial_\mu \phi^\dagger \partial^\mu \phi - v(\phi^\dagger \phi)$$

Лагранжиан (его плотность) не должен меняться при калибровочных преобразованиях:

$$\phi_i(x) \rightarrow \phi'_i(x) = e^{-iq_i \mathcal{Q}} \phi_i(x), \quad \mathcal{Q} = \text{const}$$

КАЛИБРОВОЧНАЯ ИНВАРИАНТНОСТЬ (ЛОКАЛЬНАЯ). (Фаза преобразования зависит от точки x)

$$\phi_i(x) \rightarrow \phi'_i(x) = e^{-iq_i \mathcal{Q}(x)} \phi_i(x)$$

Для того, чтобы сохранить **локальную** калибровочную инвариантность, необходимо ввести новое поле, которое преобразуется так, чтобы скомпенсировать в $\delta \mathcal{L}$ те слагаемые, которые появляются из-за фазы $\mathcal{Q}(x)$.

Типы взаимодействий, симметрии

Этому свойству удовлетворяет **квантовая электродинамика**, если масса фотона (поле A) равна нулю, т.е. в лагранжиане отсутствует массовый член для поля A

$$\mathcal{L} = i\bar{\psi}(\gamma^\mu D_\mu - m)\psi - \frac{1}{4}F_{\mu\nu}F^{\mu\nu}$$

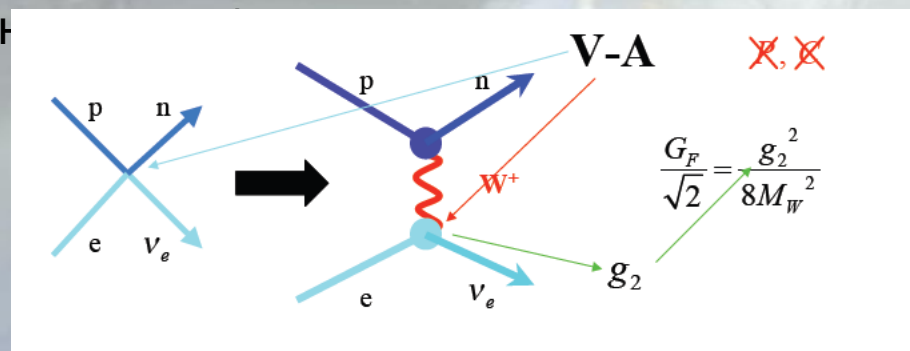
$$D_\mu = \partial_\mu + ieA_\mu \quad F_{\mu\nu} = \partial_\mu A_\nu - \partial_\nu A_\mu$$

Локальная калибровочная инвариантность (симметрия) требует, чтобы калибровочные бозоны, т.е. кванты поля, «переносящего» взаимодействие, имели нулевую массу.

Аналогичным образом была построена **теория электрослабого взаимодействия**,

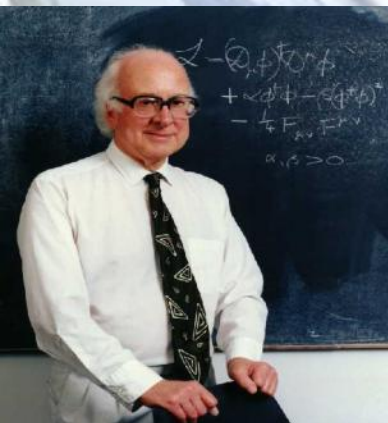


С. Вайнберг Ш. Глэшоу А. Салам



Типы взаимодействий, симметрии

Возможное решение проблемы – спонтанное нарушение симметрии, механизм Хиггса, бозон Хиггса.



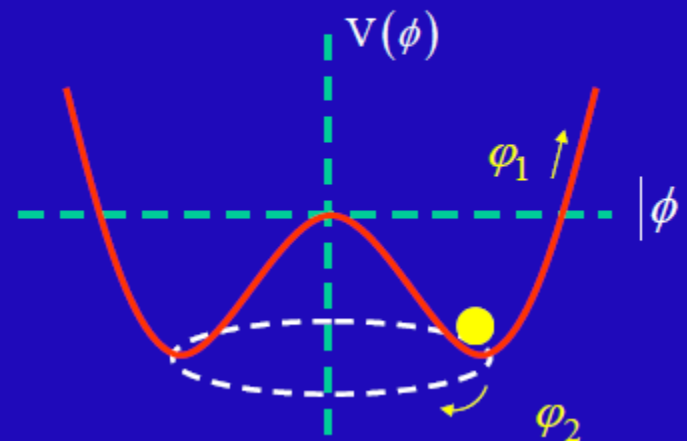
П. Хиггс

$$V(\phi) = \mu^2 \phi^\dagger \phi + h (\phi^\dagger \phi)^2$$

Phase Symmetry:

$$\phi(x) \rightarrow e^{i\theta} \phi(x)$$

$$\mu^2 < 0$$



A. Pich - CERN Summer Lectures 2007

1 Scalar Particle H^0 to be Discovered

$$M_H = \sqrt{-2\mu^2} = \sqrt{2h} v$$

Free Parameter

LEP:

$$114 \text{ GeV} < M_H < 144 \text{ GeV} \quad (95\% \text{ CL})$$

(Direct)

(Indirect)



ИНЖЕНЕРИЯ СЦИТИЛЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ
И РАДИАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
Харьков, 17-21 ноября, 2008

Типы взаимодействий, симметрии

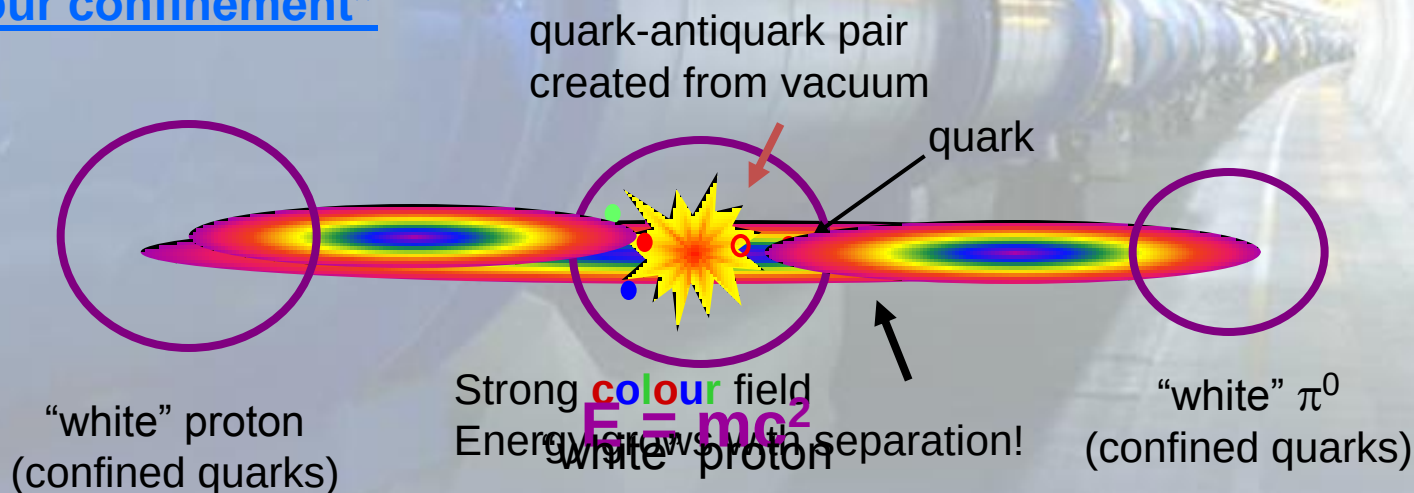
Кварки и глюоны, квантовая хромодинамика

Квантовая хромодинамика – это калибровочная (неабелева в отличие от КЭД, U(1)) теория взаимодействия цветных кварков (SU(3)). Калибровочные бозоны в КХД – 8 векторных безмассовых глюонов.

Проблема 1.

Кварки и глюоны в свободном состоянии не наблюдаются экспериментально!
Должен существовать механизм конфайнмента.

“colour confinement”



Проблема 2.

Константа взаимодействия не мала, во многих важных случаях теория возмущений не применима.

Кварки и глюоны, КВАНТОВАЯ ХРОМОДИНАМИКА

Проблема 3 (экспериментальная).

“асимптотическая свобода”

Взаимодействие между кварками зависит от расстояния и уменьшается до нуля с уменьшением расстояния между ними



Д. Гросс

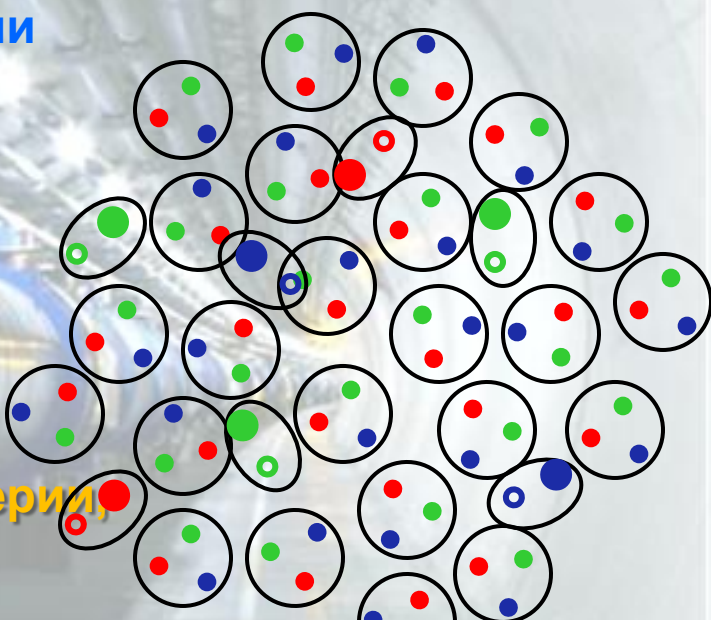


Д. Политцер



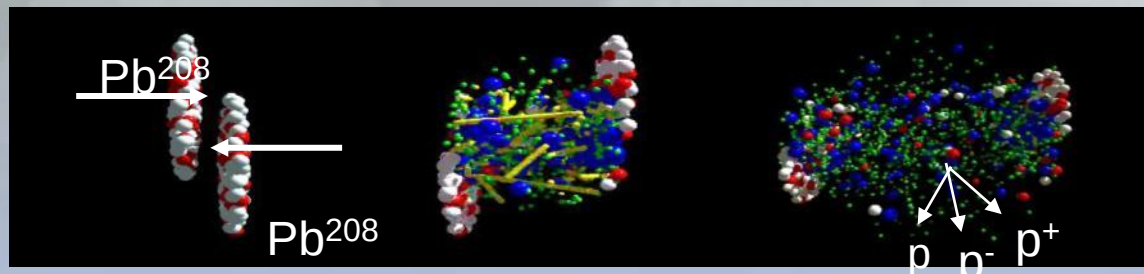
Ф. Вильчек

Должно существовать состояние ядерной материи, которое называется кварк-глюонная плазма. Пока есть лишь экспериментальные указания на ее существование (эксперименты RHIC)



Quark Gluon Plasma deconfined !

Такое состояние может возникнуть при столкновении тяжелых релятивистских ядер



Стандартная модель/теория

Теория электромагнитного, слабого и сильного взаимодействия элементарных частиц: лептонов и кварков, взаимодействие переносится калибровочными бозонами

Quarks		Leptons		Bosons
 up	 down	 electron	 neutrino e	 photon
 charm	 strange	 muon	 neutrino μ	 gluon
 top	 beauty	 tau	 neutrino τ	 $Z^0 W^\pm$
				 Higgs

The Standard Model

A. Pich - CERN Summer Lectures 2007

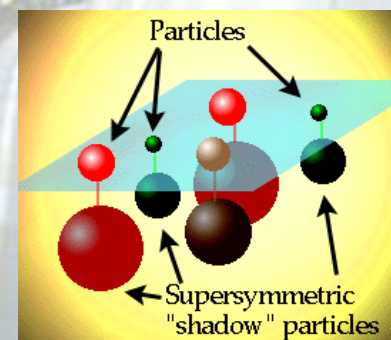
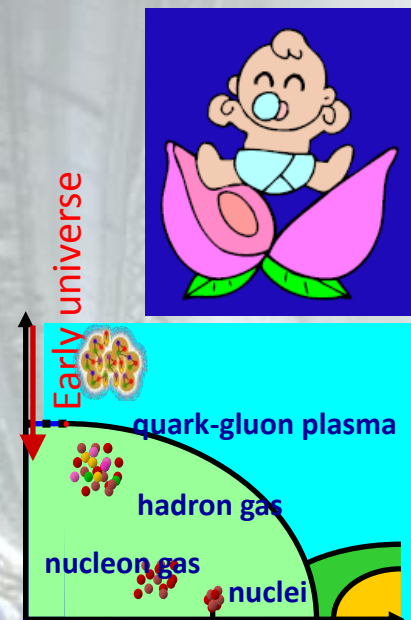
Основные теоретические предсказания

Если хиггсовский бозон существует, он должен наблюдаться в экспериментах на LHC (CMS, ATLAS)

Если кварк-глюонная плазма образуется, ее сигналы должны быть детектированы в эксперименте ALICE

Если правильны «более теоретические теории», например, суперсимметрия, то будут обнаружены новые предсказанные частицы, в частности, суперпартнеры известных частиц.

Можно ожидать (надеяться), что будут открыты новые неожиданные явления, новая физика



ЦЕРН, большой адронный коллайдер, LHC



ЦЕРН - CERN, Conseil Européen de la Recherche Nucléaire, *старое название*
European Organization for Nuclear Research, *новое название*

Официальная дата создания ЦЕРНа - **29 сентября 1954 г.**

Основная задача – исследование структуры материи, фундаментальных её свойств

В организацию ЦЕРН входят 20 стран, есть страны-наблюдатели, в том числе Россия, США, Япония и Китай.

Многие страны участвуют в отдельных проектах, не имея официального статуса участника, в частности, Украина

Сейчас ЦЕРН это:

~ 2500 научных сотрудников (физики, инженеры, ...)

Около 7000 (в год) приглашённых учёных (половина физиков всего мира, изучающих частицы)

Они приезжают из ~500 университетов и институтов, представляя около 80 национальностей.



Distribution of All CERN Users by Nation of Institute on 5 February 2008



В ЦЕРНе имеется мощный компьютерный центр, обеспечивающий информационно-вычислительную поддержку экспериментов и научного процесса.



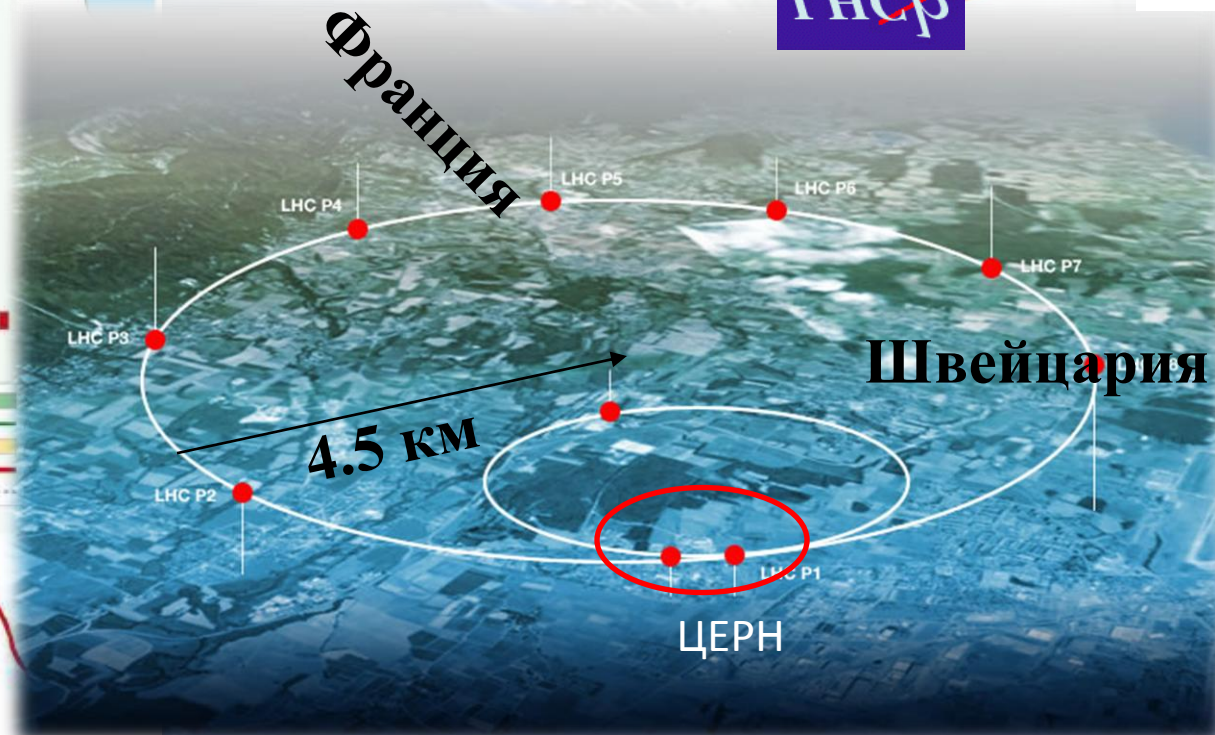
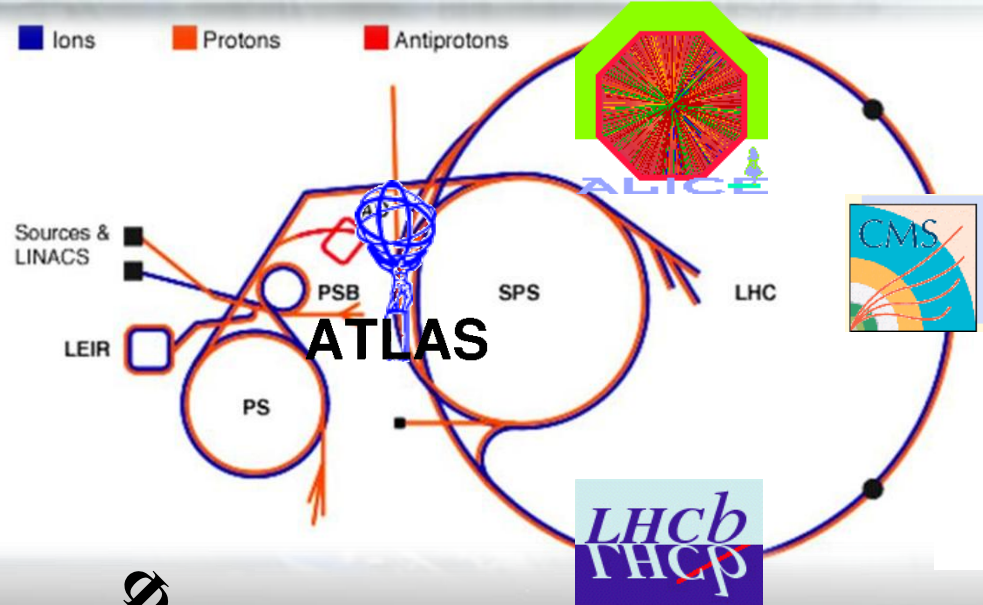
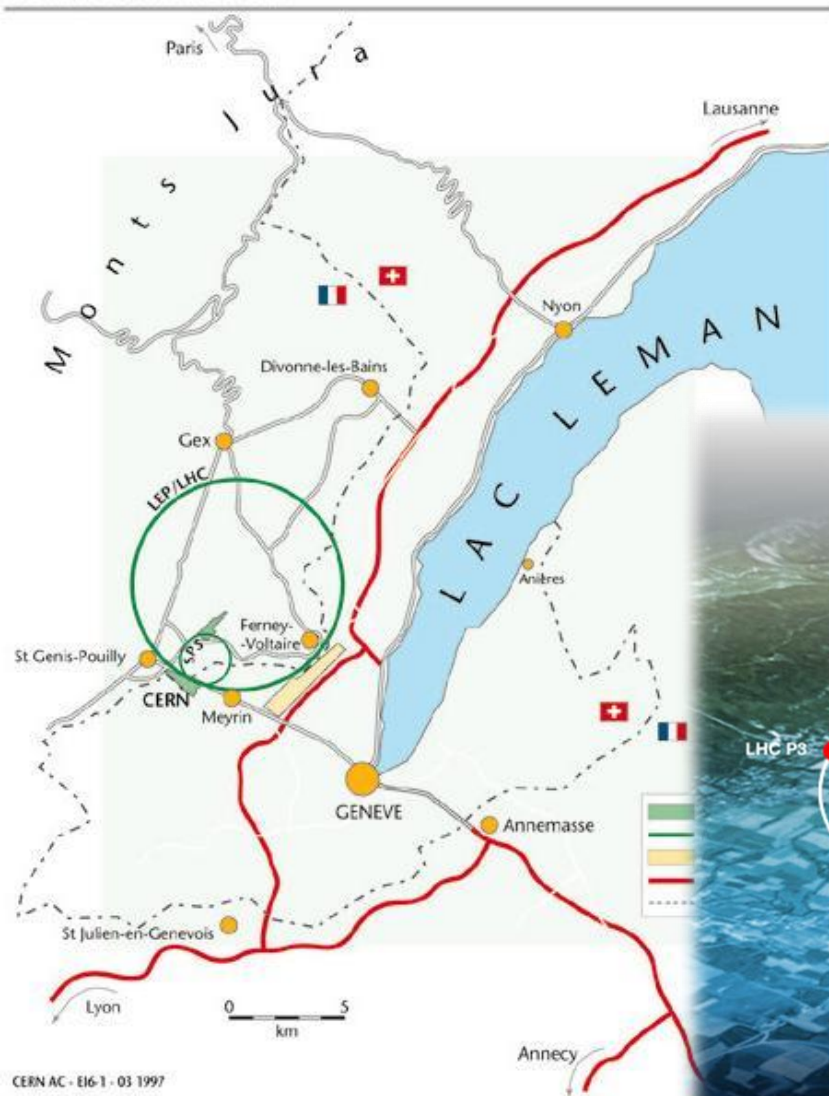
Здесь, в 1989 г. был придуман и впервые реализован (в 1990 г.) *World Wide Web*,



Tim Berners-Lee

Large Hadron Collider

Carte de situation



24.11.2008



ИНЖЕНЕРИЯ СЦИТИЛЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ
И РАДИАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
Харьков, 17-21 ноября, 2008

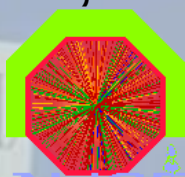
ЛНС эксперименты

Будут ускоряться и сталкиваться:

- протоны с протонами,
- протоны с ядрами свинца,
- ядра свинца с ядрами свинца

Энергия ускоренных протонов в 14000 раз больше энергии покоящегося протона

Шесть экспериментов – шесть экспериментальных установок (детекторов)
ALICE, ATLAS, CMS, LHCb, TOTEM, LHCf



Size: 16 x 26 meters
Weight: 10000 tons



ALICE

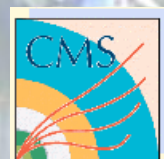


ATLAS

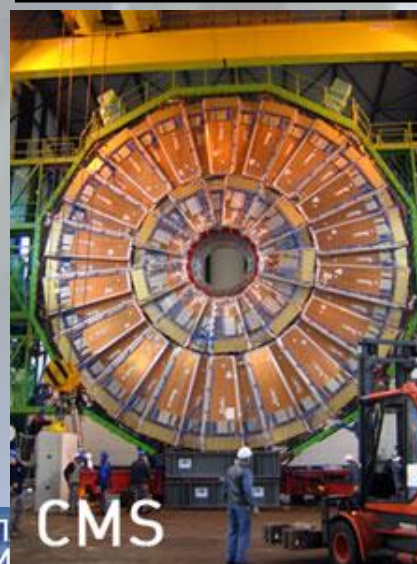
Size: 25 x 46 meters
Weight: 7500 tons



ATLAS



Size: 16 x 21 meters
Weight: 12500 tons



CMS



Size: 15 x 20 meters
Weight: 4500 tons



LHCb

CMS & ATLAS

- Physics of high p_t in pp , pA and AA collisions:
 - Search of Higgs boson, other new particles.
 - Measurement of one- and many-particle distributions in multiparticle production.
 - Highly precise measurement of leptons, photons and hadron jets.
 - Possible measurement of high p_t ($>1\text{GeV}/c$) in heavy ion collisions.

ALICE

- Search of quark-gluon plasma effects
 - Measurement of one- and many-particle distributions in multiparticle production
 - Correlations and fluctuations in particle distributions

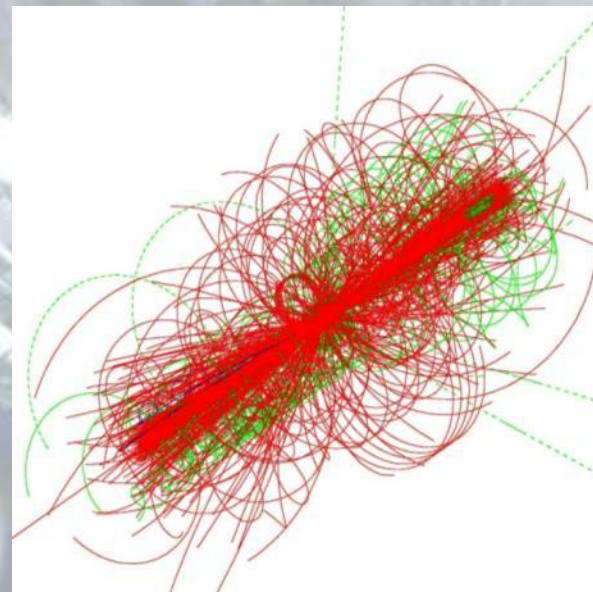
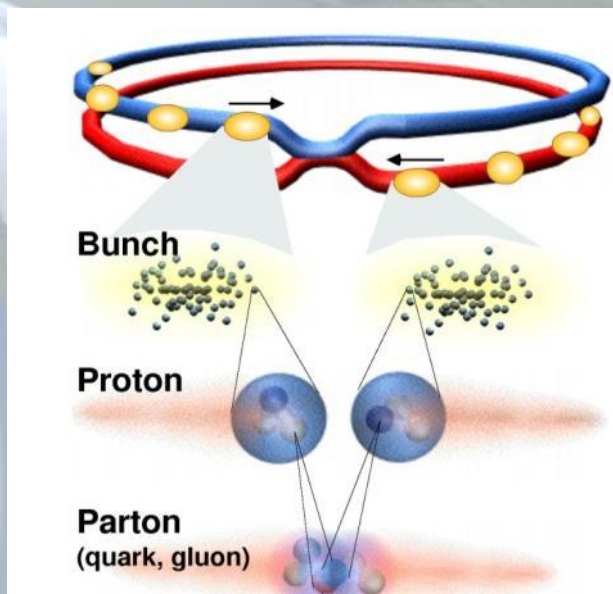
LHCb

- Effects of violations of C and P symmetries
 - Decays of hadrons with b-quarks

TOTEM

- Elastic and diffractive pp interactions
 - Total cross sections.
 - Elastic differential cross sections.
 - Soft diffractive production.

Экспериментальные данные



2835 x 2835 bunches
Separation: 7.5 m (25 ns)

10^{11} protons / bunch
Luminosity: $L = 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$

$\sim 10^9$ pp collisions / s

• Inelastic
proton-proton
reactions:

	$10^9 / \text{s}$
• bb pairs	$5 \cdot 10^6 / \text{s}$
• tt pairs	$8 / \text{s}$
• $W \rightarrow e n$	$150 / \text{s}$
• $Z \rightarrow e e$	$15 / \text{s}$
• Higgs (150 GeV)	$0.2 / \text{s}$

Экспериментальные данные

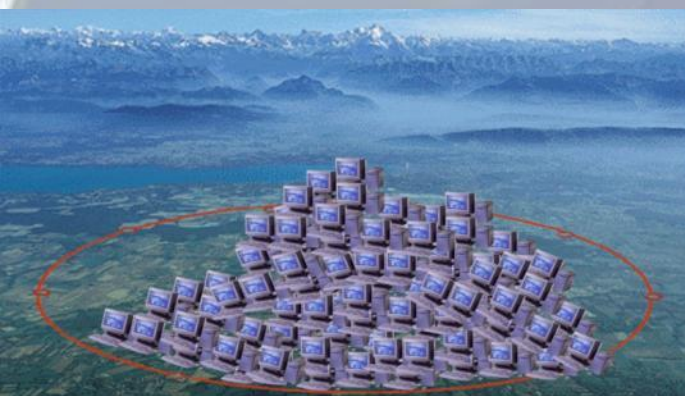
Объём LHC данных в течение года – не менее **15 Петабайт** (15000000 Гигабайт), что соответствует 20 миллионам CD!

Где экспериментаторы будут хранить все эти данные?

Как эти данные будут обрабатываться?

Анализ LHC данных требует компьютерной мощности эквивалентной ~ **100000** персональных компьютеров с современными быстрыми процессорами!

Где экспериментаторы могут найти такие компьютерные мощности?

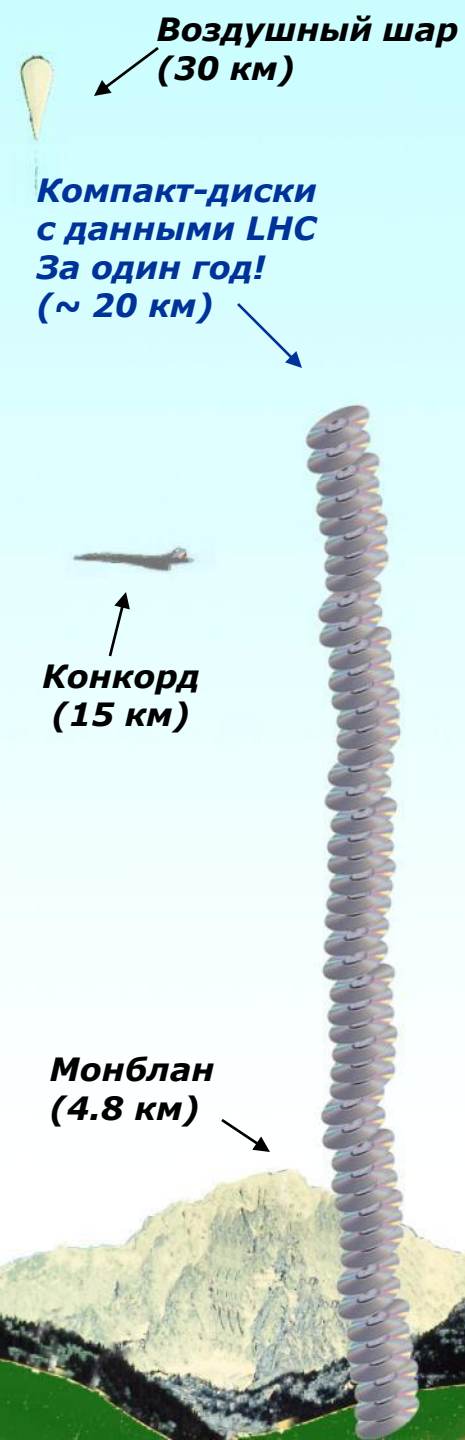


В настоящее время ЦЕРН имеет около 40% требуемых вычислительных ресурсов

24.11.2008



ИНЖЕНЕРИЯ СЦИТЛЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ
И РАДИАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
Харьков, 17-21 ноября, 2008



Идея: *Компьютерные центры, изолированные в прошлом, должны быть теперь соединены.*

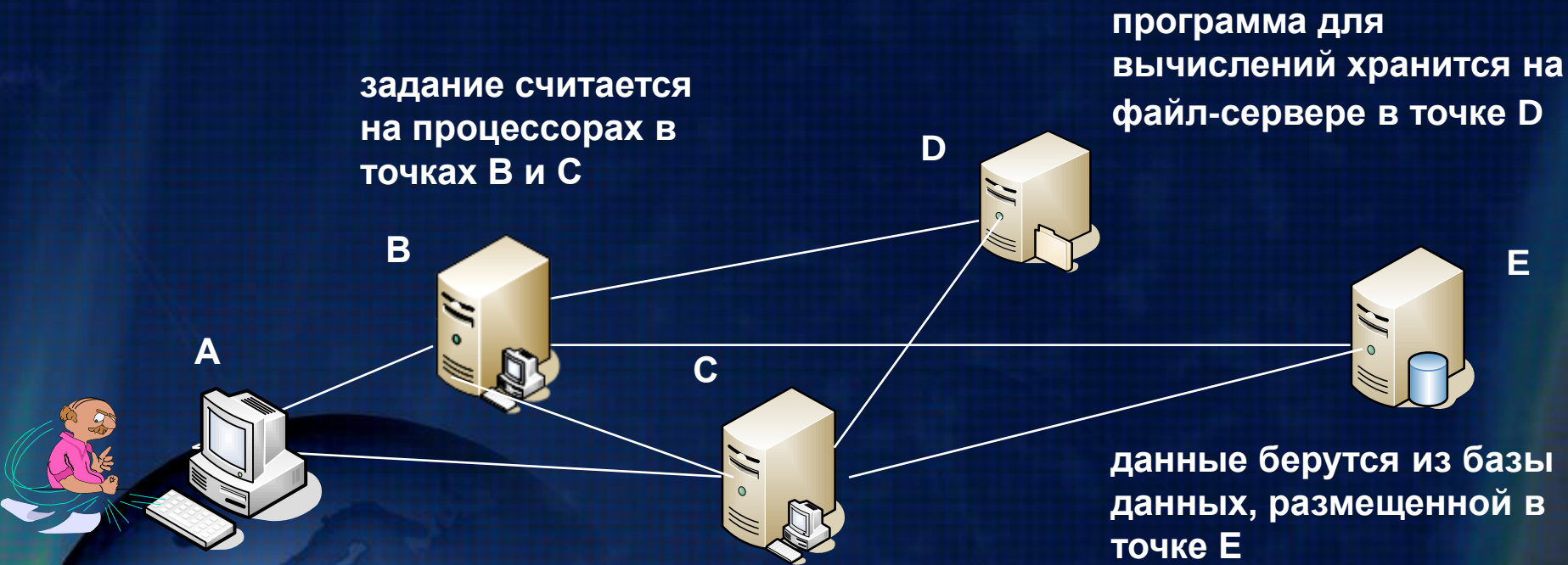
Должны быть объединены компьютерные ресурсы физиков всего мира, работающих в физике высоких энергий

- **World Wide Web** обеспечивает прямое обращение к информации, хранящейся в многих миллионах географически различных местах
- **Grid** – это новая инфраструктура, которая обеспечивает прямой доступ к вычислительным мощностям и ресурсам хранения данных, распределённых по всему Земному шару.

В ЦЕРНе создана организация WLCG (Worldwide LHC Computing Grid), целью которой было объединение вычислительных ресурсов всех лабораторий мира, ведущих исследования в области физики высоких энергий и заинтересованных в обработке и анализе данных экспериментов на LHC.

С самого начала грид-технологии использовались в ЦЕРНе не только в физике высоких энергий, Разрабатывались грид-приложения для биологии и медицины.

Как работает Грид ?



Пользователь
запускает задание,
находясь в точке А

Такая распределенная схема работы формируется
специальным программным обеспечением
- **m i d d l e w a r e** ,
которое обеспечивает много дополнительных
с л у ж б и с е р в и с о в

Международные грид-проекты и организации:

WLCG (Worldwide LHC Computing Grid, ЦЕРН)
(25 апреля 2006 г.)



EGEE (Enabling Grids for E-science)
(сентябрь 2007 г.) 43 страны,
94 партнера



EGI (European Grid Initiative)
(май 2007 г.)
38 National Grid Initiatives





- 2004** - Первый грид-кластер, Харьковский физико-технический институт, *(часть Российского грида)*, CMS эксперимент на LHC (CERN).
- 2005** - Грид-кластеры в ИТФ и КНУ, AliEnGrid для эксперимента ALICE на LHC (CERN)
- 2006** - Программа **“Впровадження грід-технологій і створення кластерів в НАН України”**.
- Кластеры в 5 институтах НАНУ.
 - Украина подписывает Меморандум WLCG
- 2007** - Первый грид-сегмент НАНУ *(6 институтов НАНУ в Киеве и Львове и КНУ)*
- Украина становится ассоциированным членом EGEE
 - Украина становится членом EGI-DS
- 2008** - Широкая грид-инфраструктура НАНУ *(22 института НАНУ, КНУ, КПИ в Киеве, Харькове, Львове, Днепропетровске, Сумах, Львове, Донецке, Сейчас работают 16 кластеров)*.

Current state of UAG



BITP, Bogolyubov Institute for Theoretical Physics
ICBGE, Institute of Cell Biology and Genetic Engineering
IMBG, Institute of Molecular Biology and Genetics
ICYB, Institute of Cybernetics
MAO, Main Astronomic Observatory
IMP, Institute of Metal Physics
IOP, Institute of Physics
RSI, Research Space Institute
IPME, Pukhov Institute for Modeling in Energy Engineering
IMMPS, Institute of Mathematical Machines and Systems Problems
ISS, Institute of Software System
KNU, Taras Shevchenko Kiev National University
KPI, Kiev Polytechnic Institute

IAP, Institute of Applied Physics

KIPT, Kharkov Institute of Physics and Technology
ILTPE, Institute of Low Temperature Physics and Engineering
ISMA, Institute of Scintillating Materials
RAI, Radioastronomical Institute
IRE, Institute of radiophysics and electronics

DonIPT, Donetsk Institute of Physics and Technology

IGTM, Institute of Geotechnical Mechanics

**Middleware –
ARC NorduGrid
(устанавливается
и тестируется
gLite)**

16 - сейчас
22 – конец 2008 г.

ICMP, Institute of Condensed Matter Physics

Ресурсы УАГ:

22 кластера

CPU ~ 1500

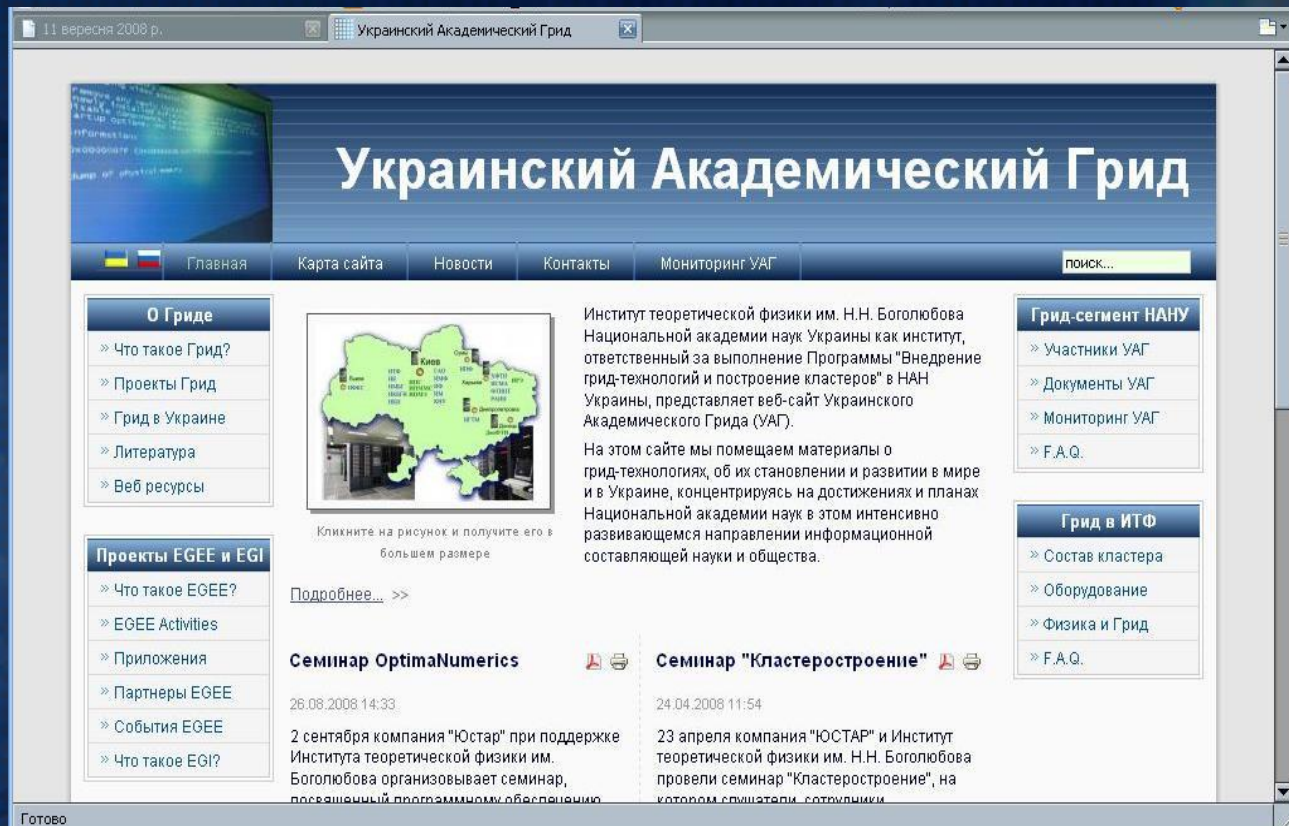
Хранилища данных ~ 130 ТБ

Оптоволоконные каналы между кластерами – 100 Mbps (UARNET)



Программа “Впровадження ґрід-технологій і створення кластерів в НАН України” практично завершена, досягнуты все ее цели. Разработано продолжение Программы.

ИТФ, будучи ответственным за выполнение Программы создал веб-сайт УАГ (<http://uag.bitp.grid.ua>). На нем можно найти информацию о ґрід-технологиях, мировых ґрід-проектах, описание УАГ, новости ґрід и многое другое. Сайт регулярно обновляется.

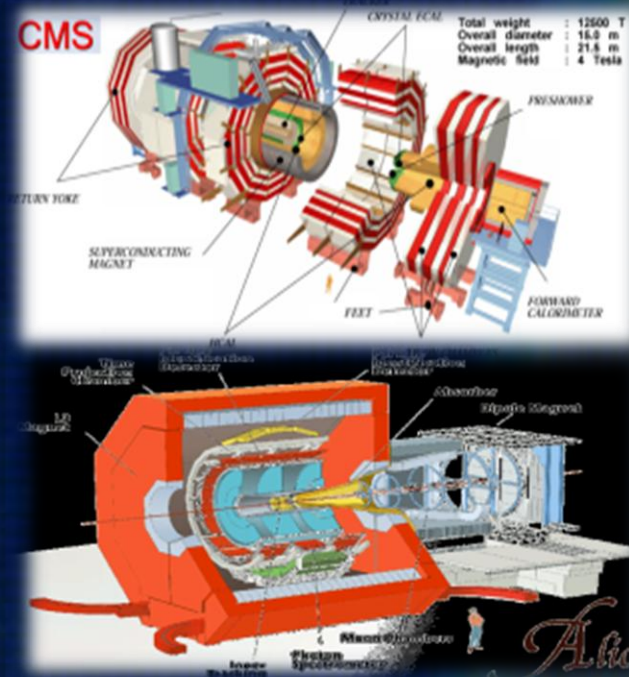
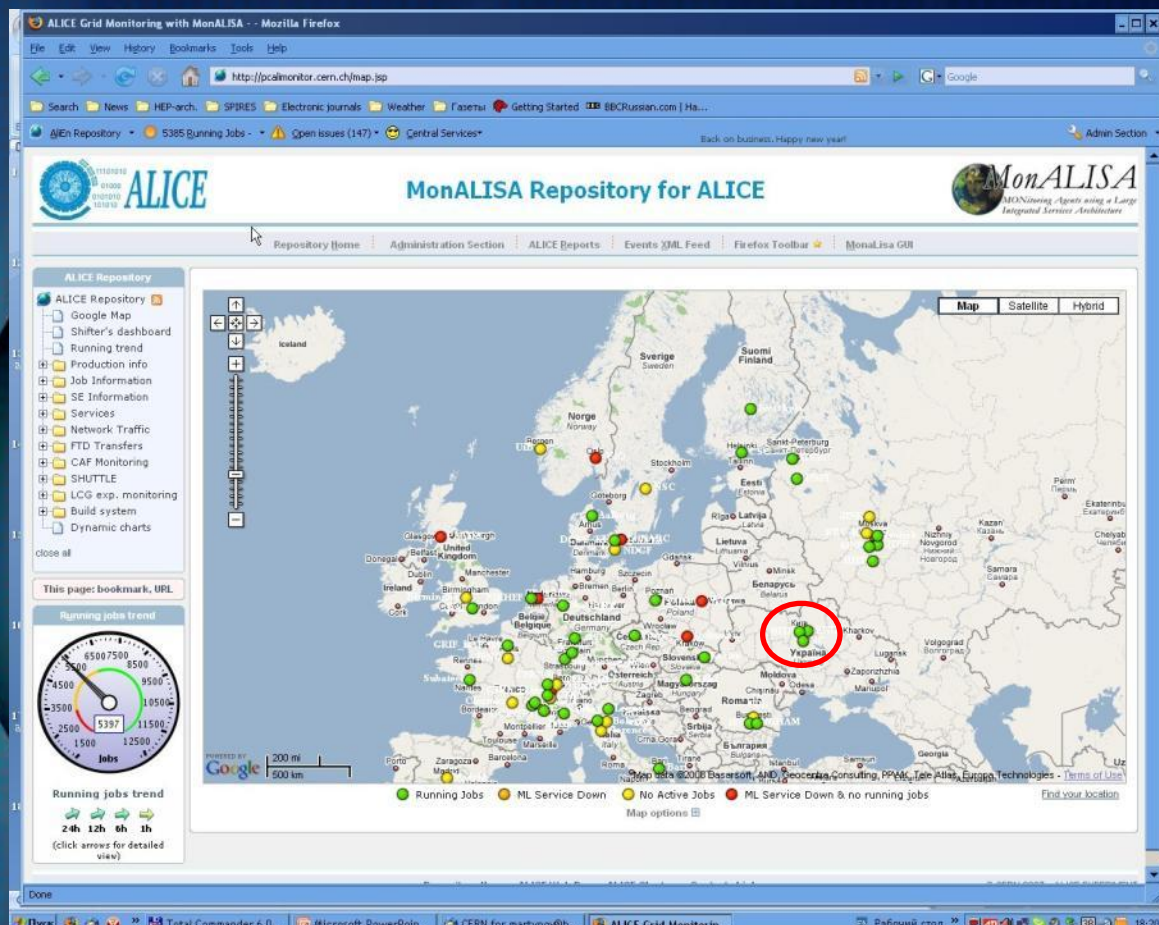


Физика высоких энергий

Обработка и анализ данных LHC.

CMS эксперимент: ХФТИ

ALICE эксперимент: ИТФ, КНУ, ИК, КПИ, ХФТИ, ИСМА



2006 – 2008:
около 40000 задач
от AliEnGrid сайтов
были выполнены
в УАГ

Грид-инфраструктура УАГ растет и усложняется.
Для эффективной работы требуется определенная структуризация





Текст документа: Про схвалення Концепції Державної цільової науково-технічної програми впровадження і застосування грід-технологій на 2009-2013 роки 1421- редакція від 05.11.2008



**КАБІNET МІНІСТРІВ УКРАЇНИ
РОЗПОРЯДЖЕННЯ**

від 5 листопада 2008 р. № 1421-р
Київ

**Про схвалення Концепції Державної цільової
науково-технічної програми впровадження і
застосування грід-технологій на 2009—2013 роки**

1. Схвалити Концепцію Державної цільової науково-технічної програми впровадження і застосування грід-технологій на 2009—2013 роки, що додається.

Визначити Національну академію наук і МОН державними замовниками Програми.

2. Національній академії наук разом з Мінекономіки на інших заінтересованих центральних органах виконавчої влади розробити і подати до кінця 2008 року Кабінетові Міністрів України проект Державної цільової науково-технічної програми впровадження і застосування грід-технологій на 2009—2013 роки.

Прем'єр-міністр України

Ю. ТИМОШЕНКО

Из концепции:

Орієнтовні витрати на виконання Програми становлять 310 млн. гривень. Обсяг видатків для виконання Програми уточнюється з урахуванням можливостей державного бюджету.