

Въведение в ускорителите

Д-р Иван Глушков, BNL

Българска инженерна учителска програма
CERN, Женева, 16.09.2024

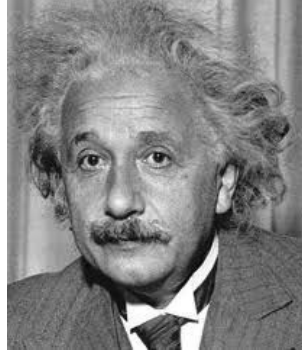
Съдържание

- Ускорители.. Колайдери.. Защо?
- Как работят ускорителите в CERN?
- Основни части на един ускорител
- Накратко за бъдещето

Ускорители.. Колайдери.. Защо?

Създаване на материя от енергия

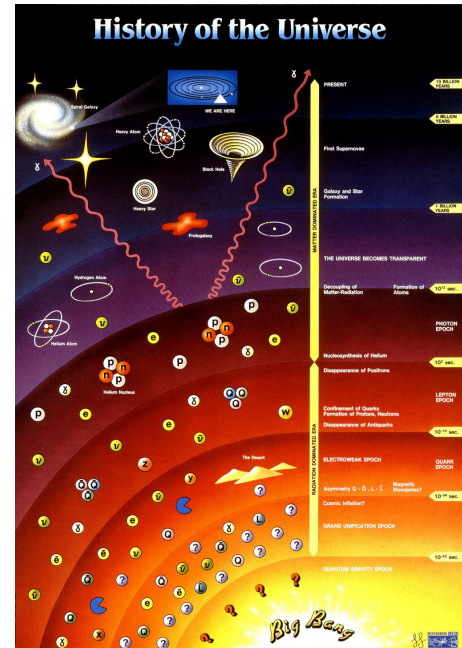
$$E = mc^2$$



По време на големия взрив енергия е трансформирана в материя

В нашите ускорители ние даваме енергия на частиците които ускоряваме

В експериментите ние наблюдаваме материята която сме създали



Поглед по-навътре

Видима
светлина
 $\lambda = 400 - 700 \text{ nm}$

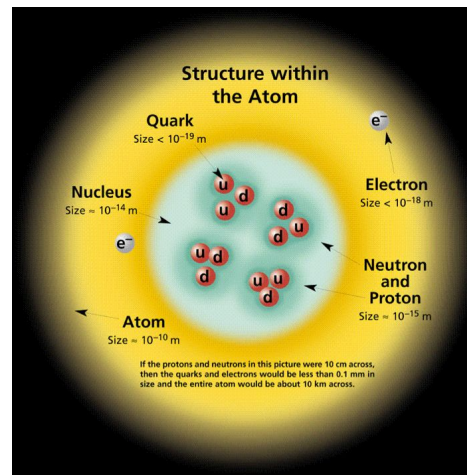


$$\lambda = hc/E$$

Рентгенови
лъчи
 $\lambda = 10 - 0.1 \text{ nm}$



Ускорители
 $\lambda < 0.01 \text{ nm}$



Увеличаване на енергията намалява дължината на вълната

Фиксирани мишени и Колайдери

Фиксирана
мишена



$$E \sim \sqrt{E_{\text{сноп}}}$$

Голяма част от енергията се губи в мишената и само част може да се използва за създаването на частици

Колайдер

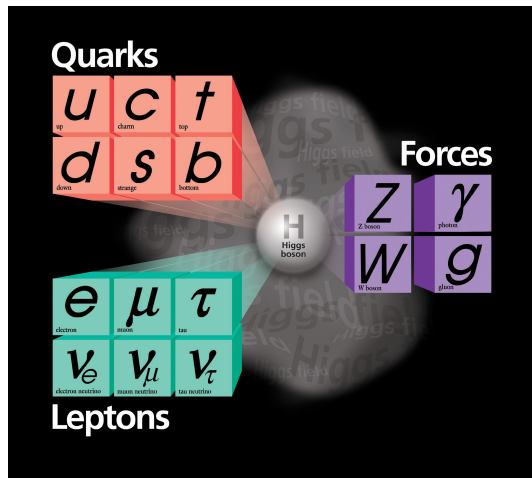


$$E = E_{\text{сноп1}} + E_{\text{сноп2}}$$

Цялата енергия е налична за създаване на нови частици

Целта

За всяка
частица има
съответна
анти-частица



Гравитация
Електромагнетизъм
Силно взаимодействие
Слабо взаимодействие

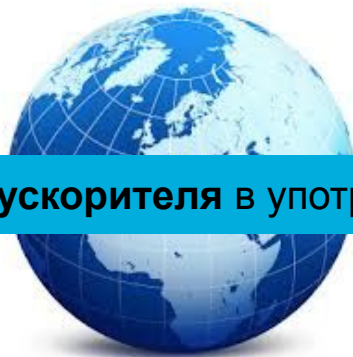
Нестандартни
съчетания от
кварки

Потвърждаване на Стандартния
Модел



Търсене на физика отвъд
стандартния модел

Ускорители и тяхната употреба



Днес: ~30 000 ускорителя в употреба по цял свят

Основно се използват в
индустрията и
медицината

Индустрия: ~20 000

Медицина: ~10 000

Тук ще разгледаме в тупа машини които се
използват в CERN. Голяма част от тях са

синхротрони

< 1% се използват за
научни изследвания и
открития

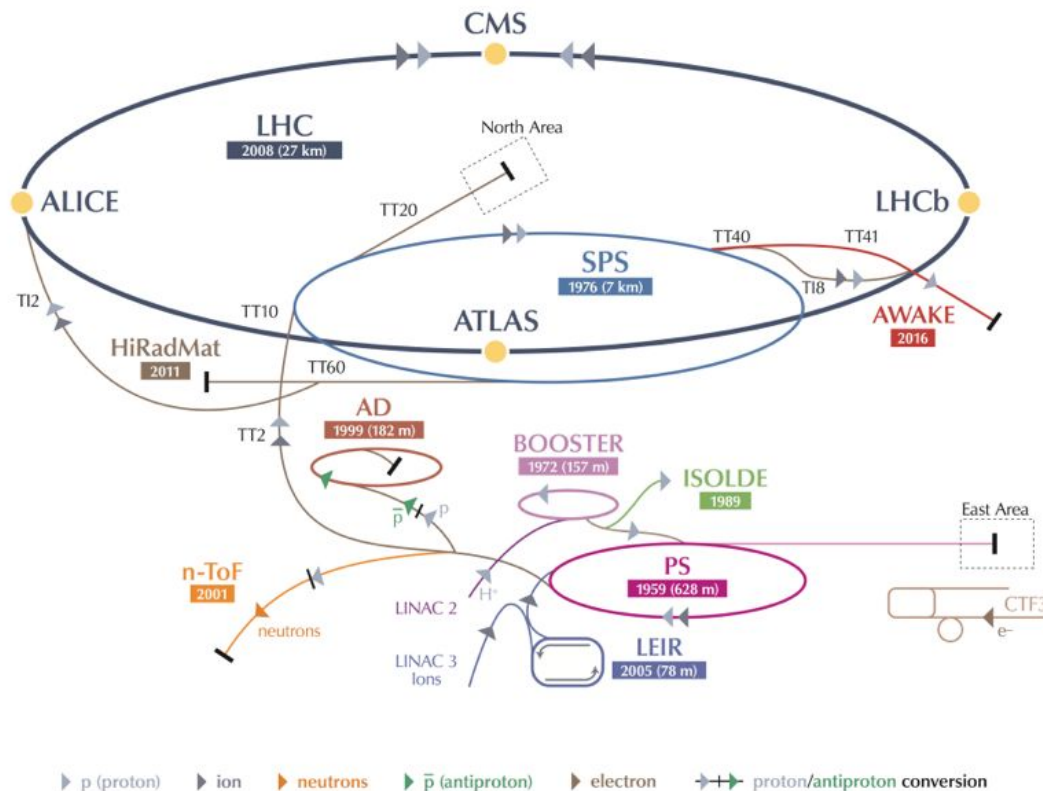
Циклотрони

Синхротронни
свтлинни източници

Колайдери

Как работают ускорители в CERN?

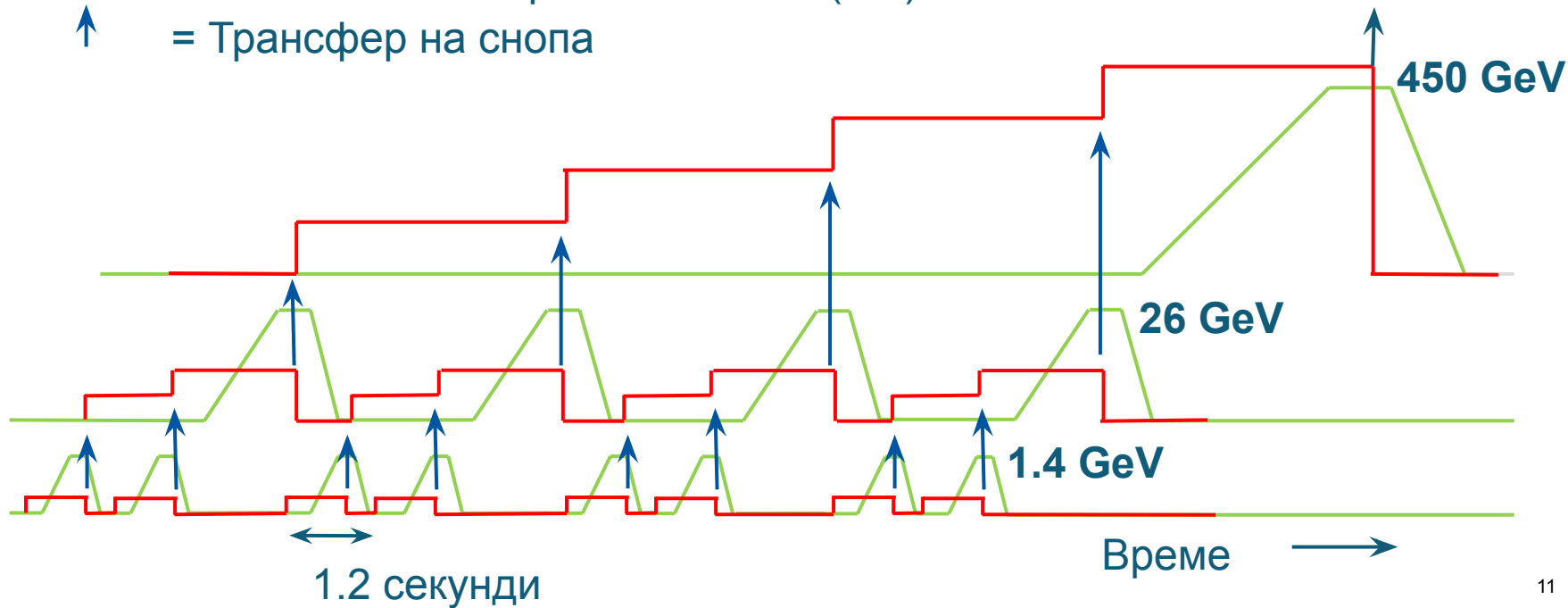
Ускорителния комплекс на CERN



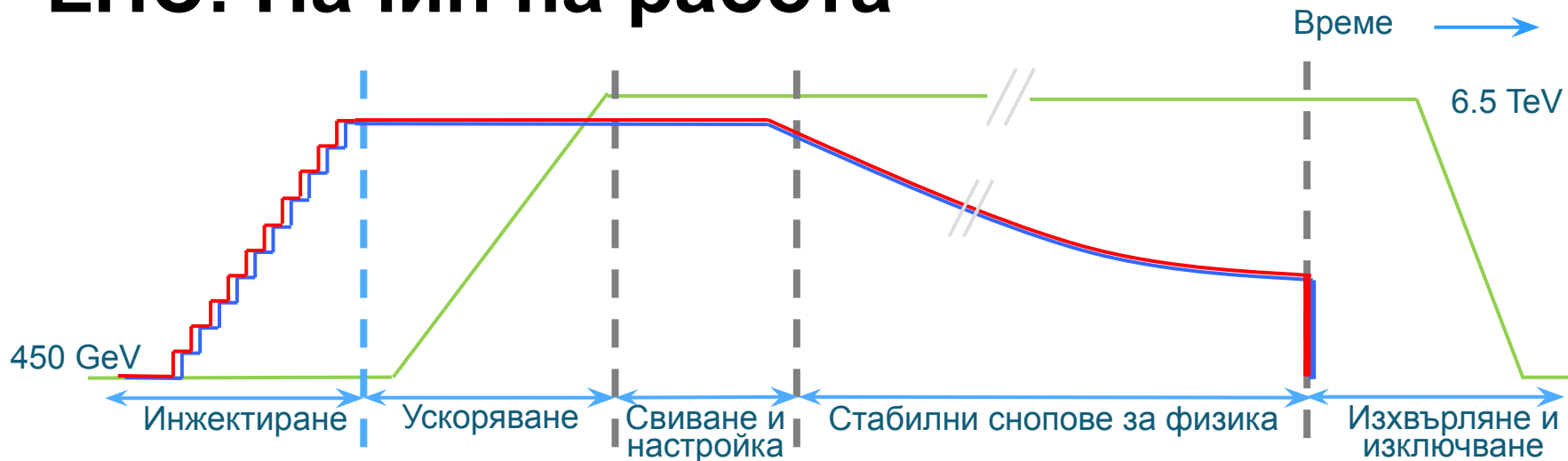
Запълване на LHC и на потребителите с фиксирани мишени

Към LHC: по посока
или обратно на
часовниковата стрелка

- = Магнитно поле в основните магнити
- = Интензитет на протонния сноп (ток)
- ↑ = Трансфер на снопа



LHC: Начин на работа

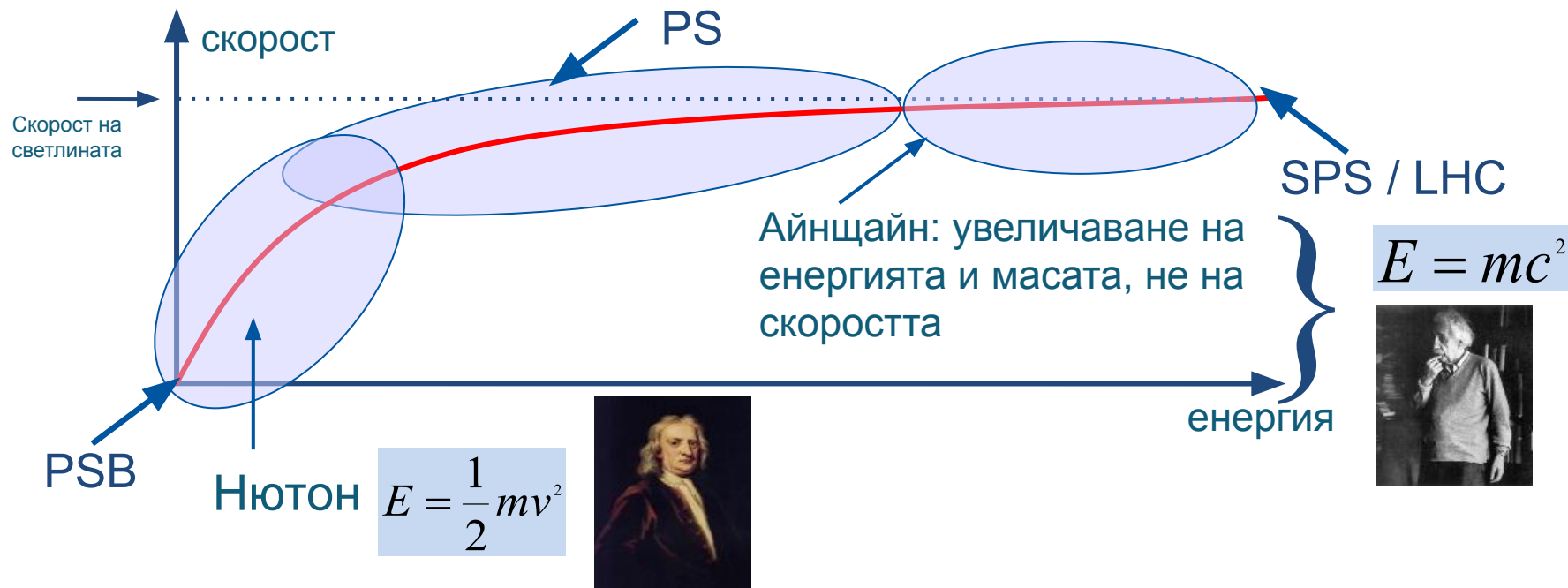


- = Магнитно поле в основните магнити
- = Интензивност на сноп 1 (ток)
- = Интензивност на сноп 2 (ток)

LHC е направен да сблъсква протони с енергия 7 TeV на сноп или **14 TeV** в система център на масите

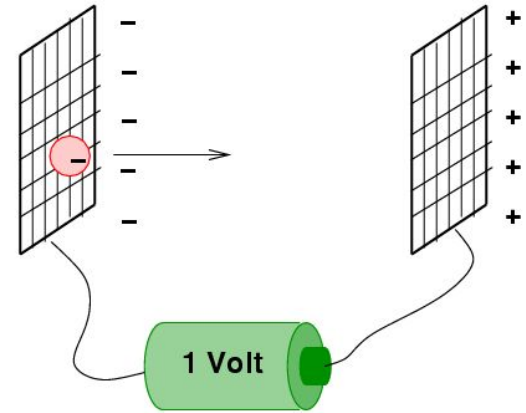
Основни части на един ускорител

Теория на относителността



Мерни единици за енергия

- 1 eV (електронволт): Енергията която един електрон е получил от потенциална разлика от 1 V.
- $1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J} = 3.8 \times 10^{-23} \text{ kcal}$
- Електронволт е твърде малка единица. Днес използваме кратните и:
 - $1 \text{ keV} = 10^3$
 - $1 \text{ MeV} = 10^6$
 - $1 \text{ GeV} = 10^9$
 - $1 \text{ TeV} = 10^{12}$



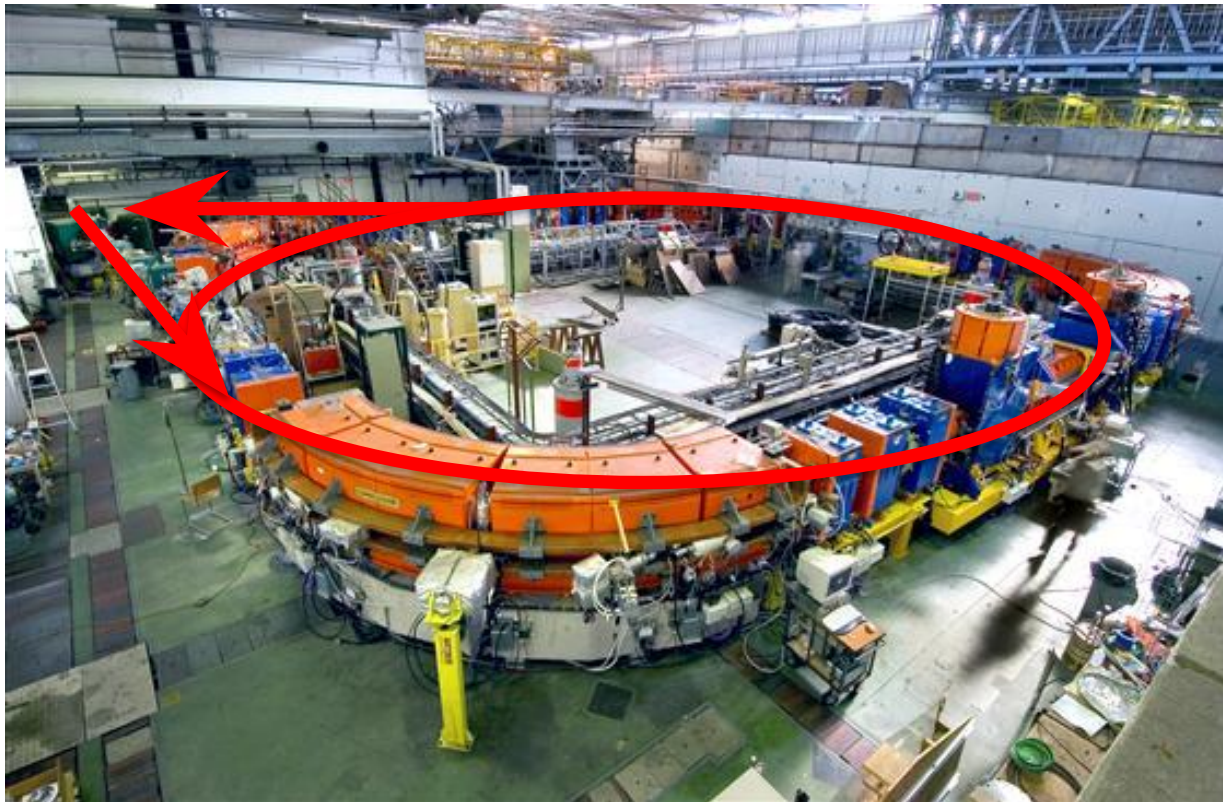
Енергия на снопа в LHC

- Енергията на снопа на LHC е около 320 милиона Джаула
- Това съответства на енергията на пътнически влак движещ се със 150 км/ч...



.... но концентрирана в сечение с размера на игла

LEIR като пример



LEIR като пример



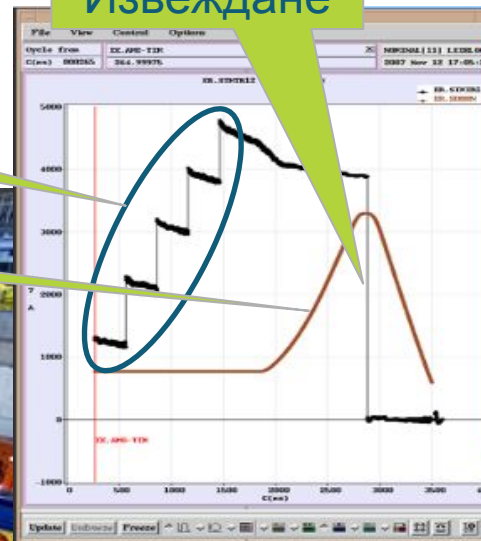
Ускорение

Инжектиране

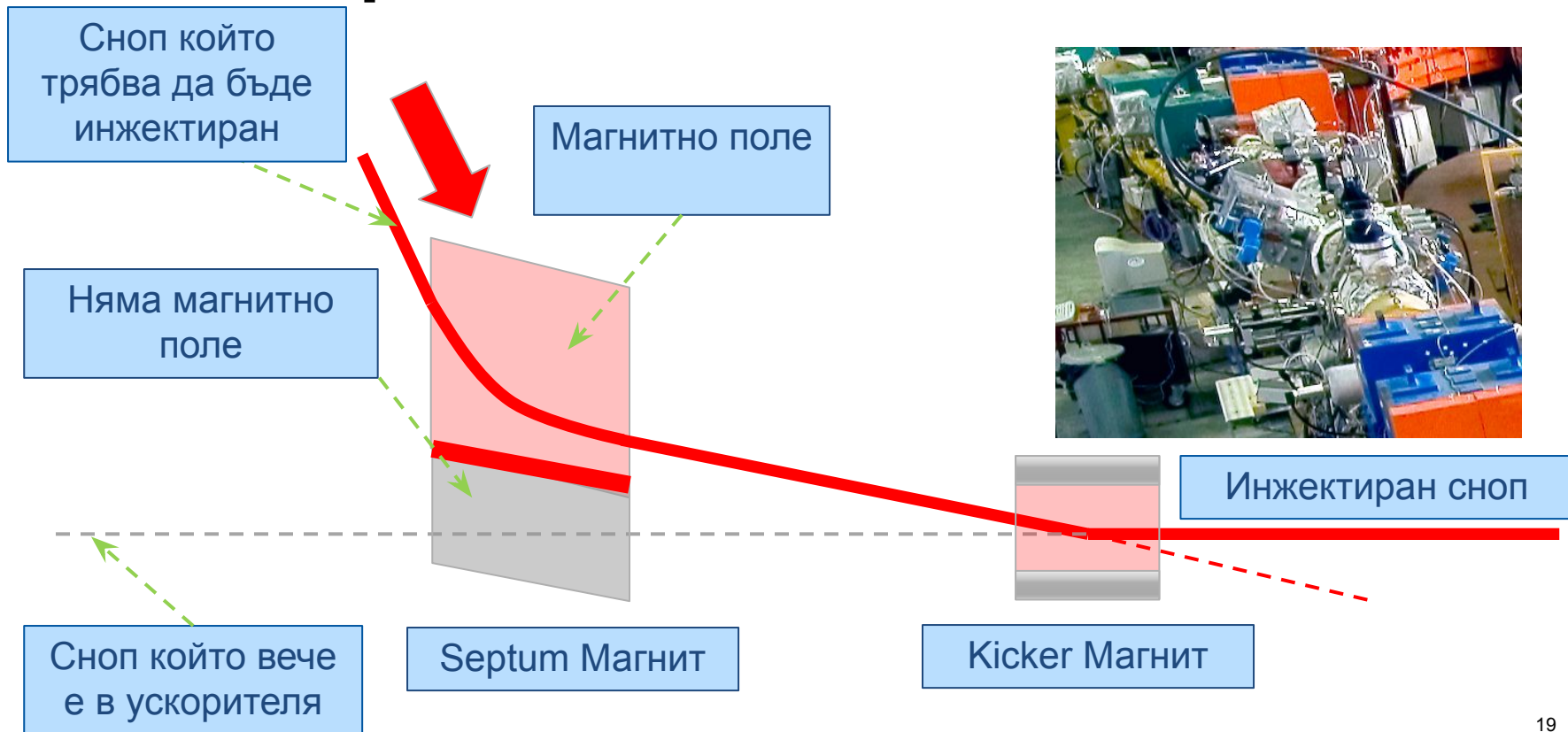
Извеждане

Сноп от частици:

- Доставя се (чрез трансферна линия)
- Инжектира се (чрез специални магнити)
- Ускорява се (след много обиколки)
- Извежа се (чрез специални магнити)
- Транпортира се до клиента (чрез трансферна линия)



Инжектиране и извеждане на сноп

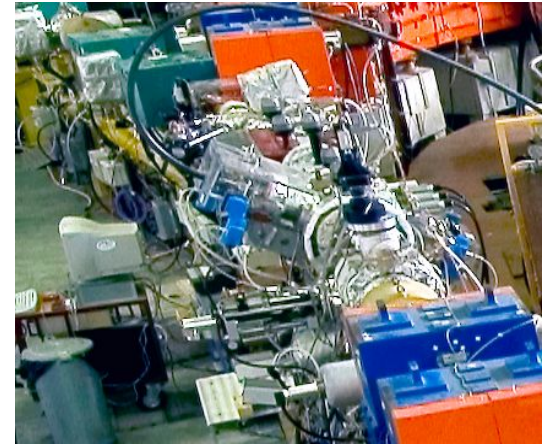


Инжектиране и извеждане на сноп

Изведен сноп

Магнитно поле

Няма магнитно поле

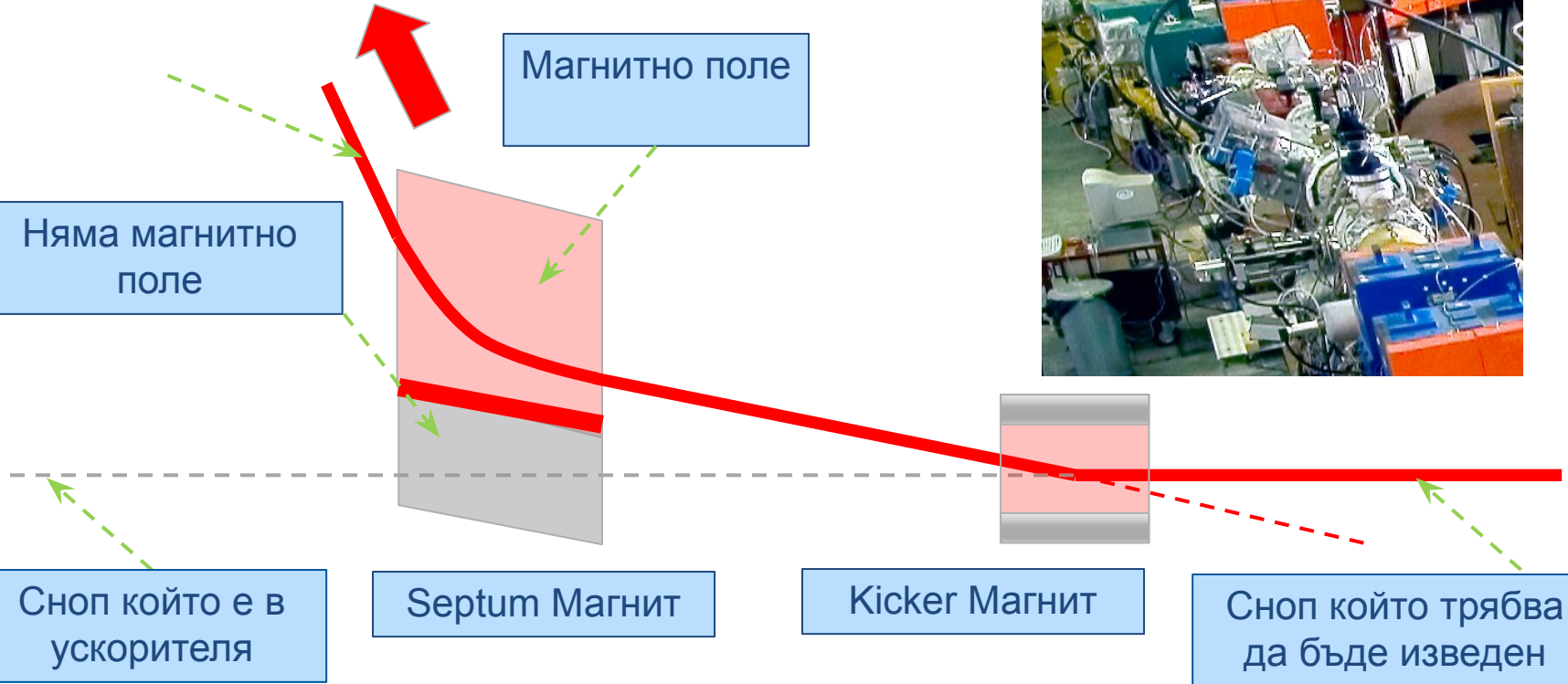


Сноп който е в ускорителя

Septum Магнит

Kicker Магнит

Сноп който трябва да бъде изведен

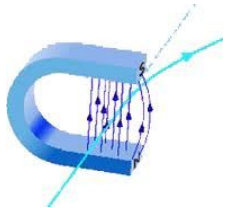
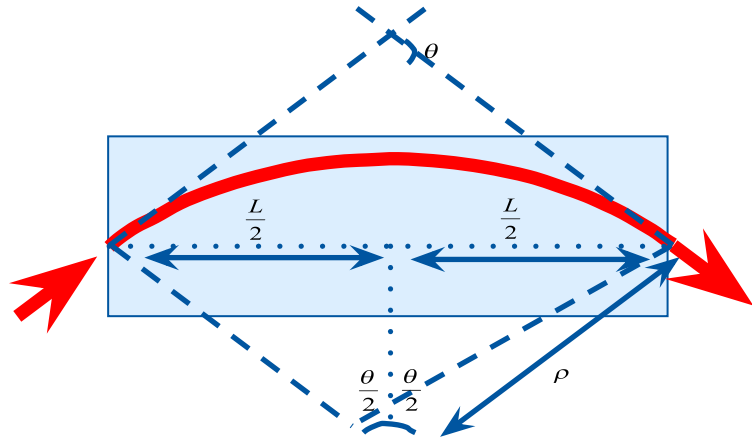


Как караме частиците да се въртят?



Отклоняване на заредени частици

Заредени частици се отклоняват в магнитно поле

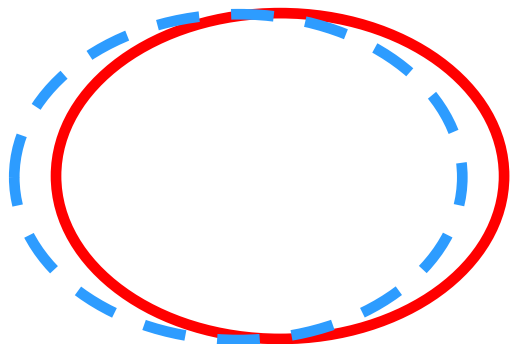


Лоренцова сила

$$F = e v \times B$$

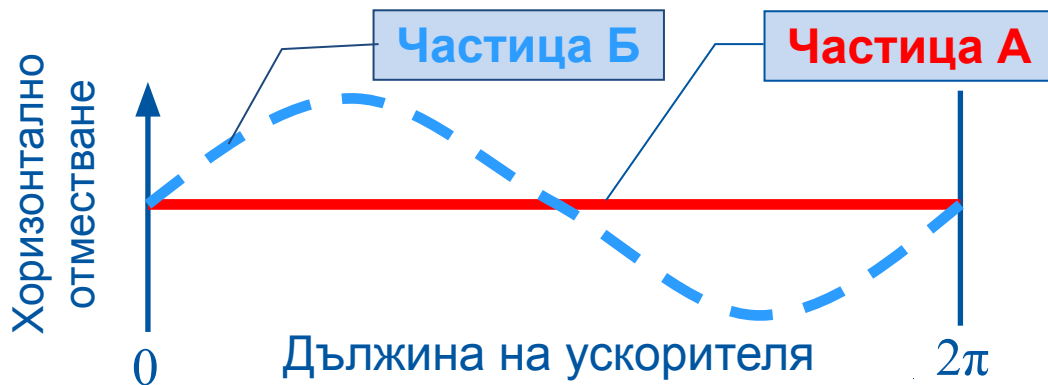
Осцилации на частиците в ускорителя

Две заредени частици в хомогенно магнитно поле



Частица Б Частица А

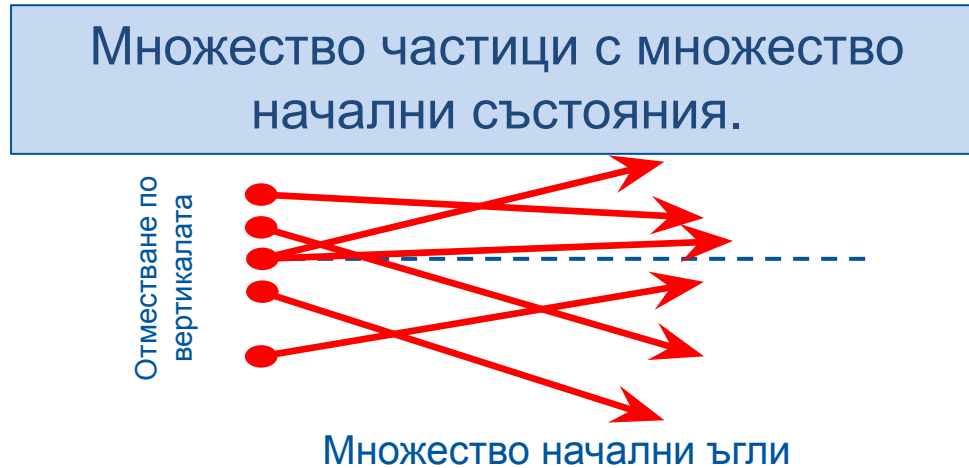
Хоризонтално движение



Различни частици с различни начални параметри в хомогенно магнитно поле придизвикват осцилиращи движения на снопа в хоризонтална посока. Този ефект се нарича **Бетатронни осцилации**

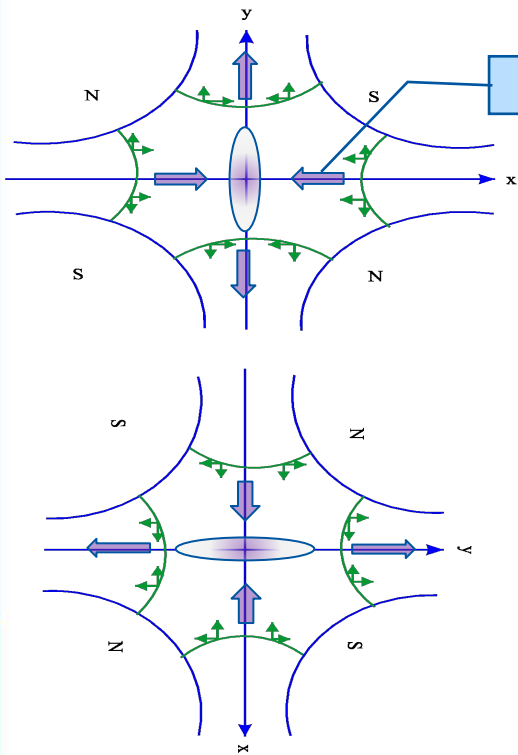
Осцилации на частиците 2

Движението на частиците по хоризонталата изглежда овладяно.. А по верикалата?



Фокусиране на снопа от частици

Фокусиране на частици. Почти като фокусиране на светлина с лупа

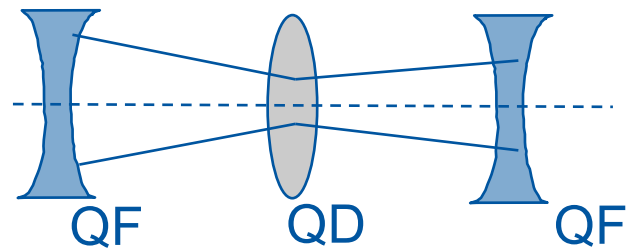
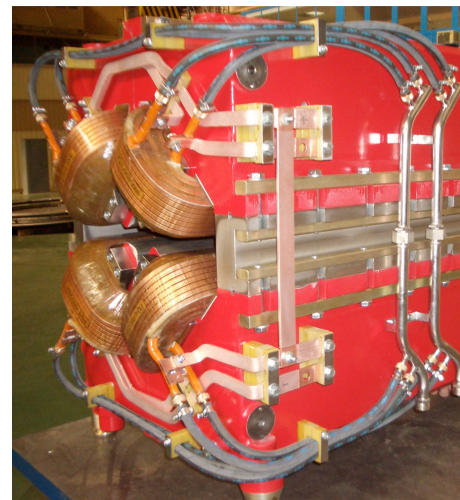


Сила действаща на частиците

Фокусиращ квадрополен магнит (QF)

Завъртян на 90°

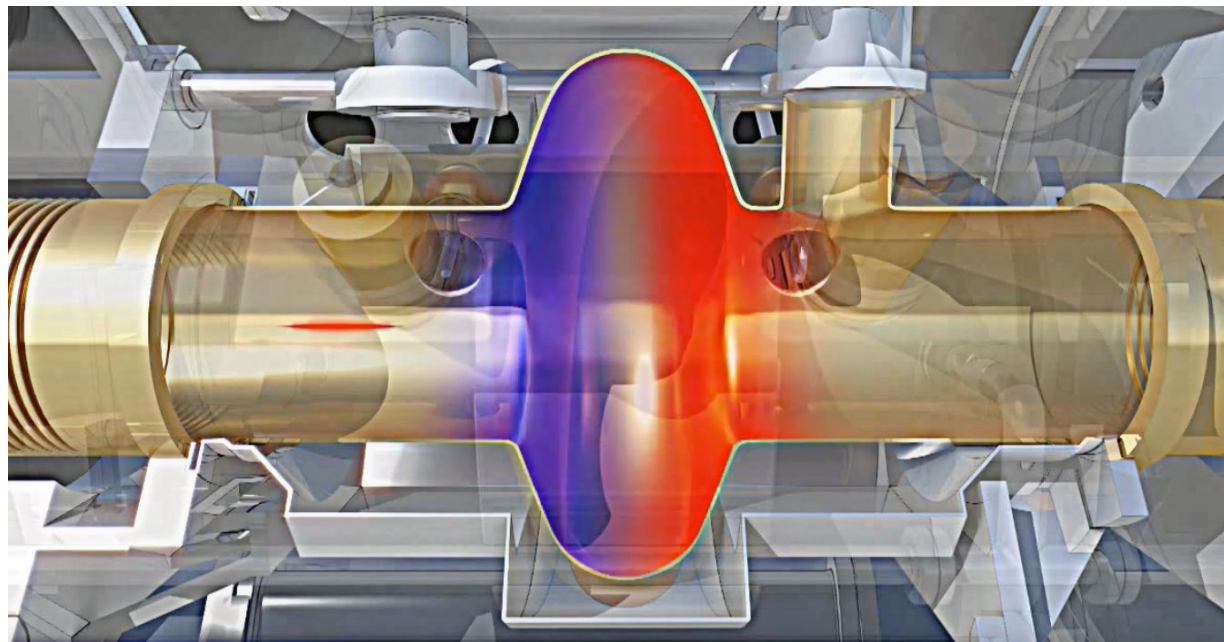
Разфокусиращ квадрополен магнит (QD)



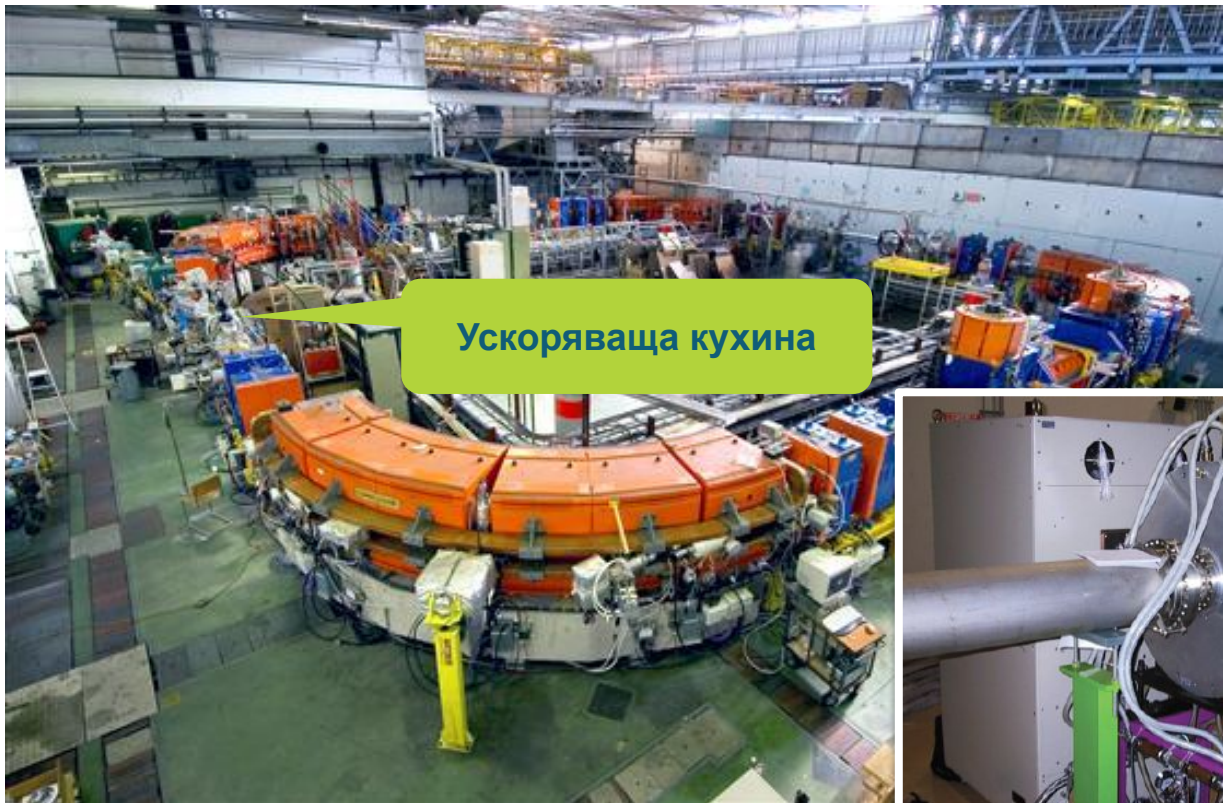
Фокусиране на частици



Ускоряване на частици



Ускоряване на частици



Накратко за бъдещето

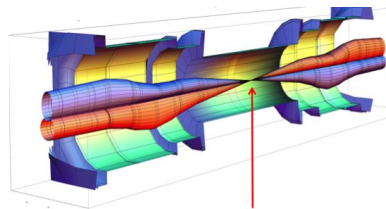
Светимост. Как мерим колко работа сме свършили?

Интензитет на сноповете

Брой на групите с протони

Геометрични корекции

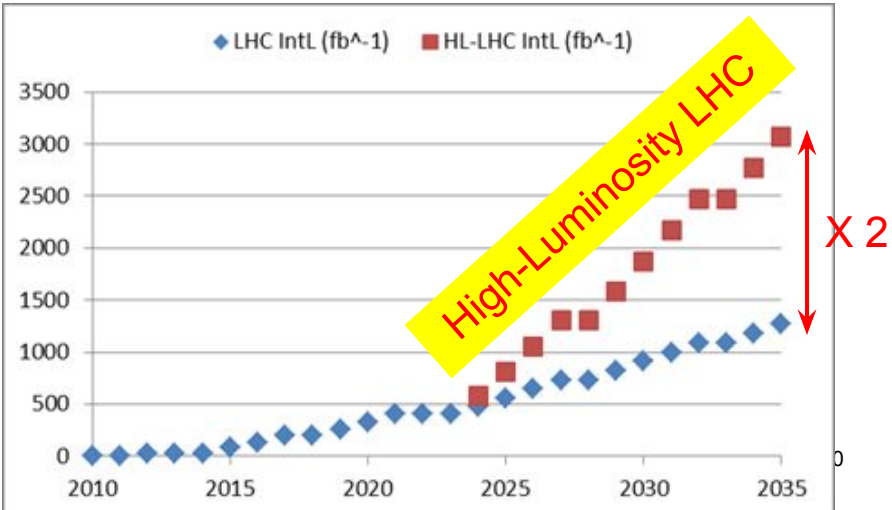
Размери на снопа с протони



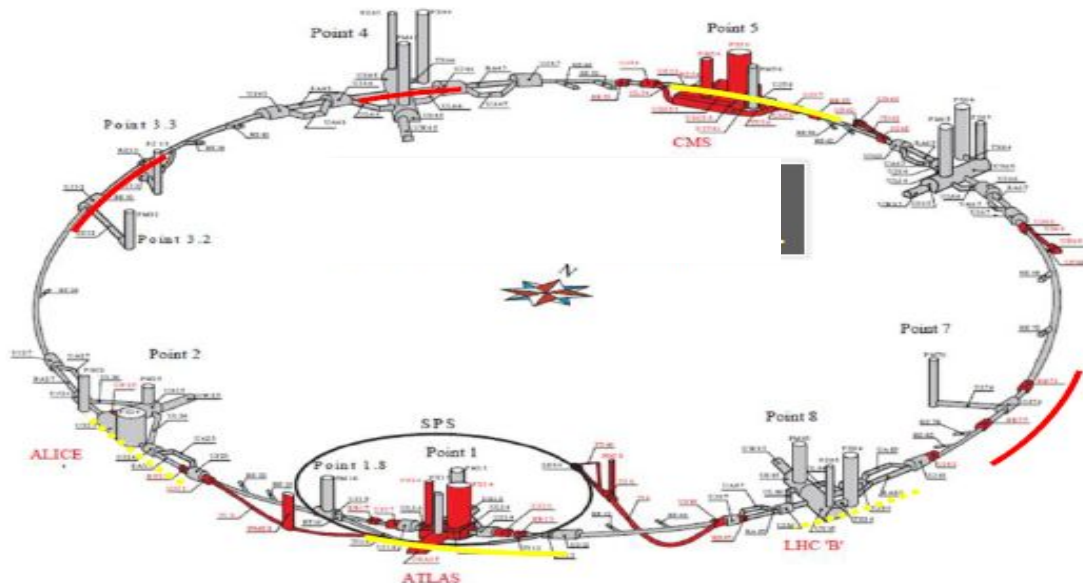
$$LUMINOSITY = \frac{N_{event}/sec}{\sigma_r} = \frac{N_1 N_2 f_{rev} n_b F}{4\pi \sigma_x \sigma_y}$$

- Фиксирани параметри:**
- Период на въртене
 - Брой на групите

- Параметри които можем да оптимизираме:**
- Брой на частиците в група
 - Размер на снопа
 - Корекция на геометрията



HL-LHC: Какво ще бъде сменено?



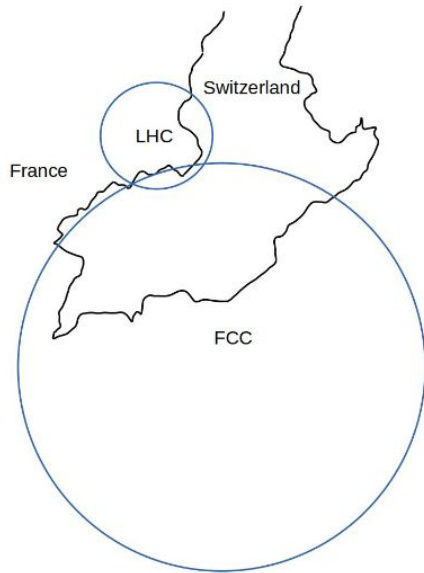
- Нови 11Т къси диполни магнити
- Ъпгрейд на колиматорите
- Ъпгрейд на криогенните системи
- Crab cavities
- Захранване на охлаждащи системи

Основни промени на 1.2 км от LHC.
Това не е пълен лист от есички промени
Цената на проекта е 915 MCHF

Future Circular Collider

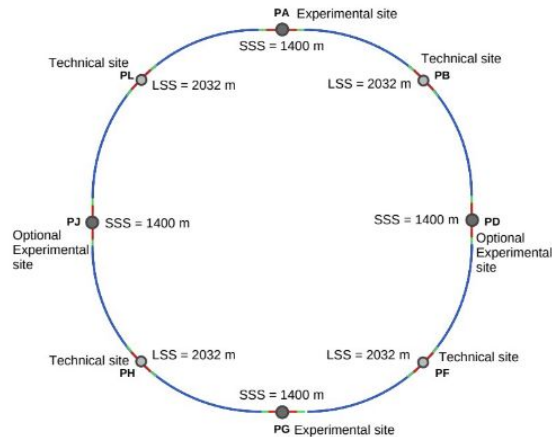
Inspired by LEP-LHC programm

Re-using CERN infrastructure



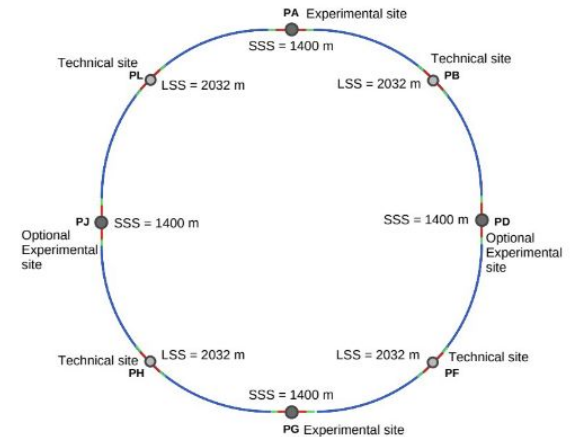
Compatible lattice designs

FCC-ee
Electron-positron collider



~ 2045 - 2060

FCC-hh
Proton-proton collider



~ 2070 - 2090

ИЗТОЧНИЦИ

- “Particle accelerators explained for everybody - without math” - Rende Steerenberg, CERN
- “The CERN Accelerator Complex”, Georges Trad
- “Cooling “Cool” Accelerators”, Paolo Gomes
- “Future Circular Colliders at CERN”, Jacqueline Keintzel



Благодаря за вниманието!

Ivan.Glushkov@cern.ch

