

Въведение в ускорителите на заредени частици

Ангел Х. Ангелов

Институт за ядрени изследвания и ядрена енергетика
БАН

СЪДЪРЖАНИЕ

1. Дефиниция за ускорител на заредени частици.
2. Източници на заредени частици.
3. Единици за измерване на ускорението.
4. Ускоряване в промеждутък.
5. Ускоряване в резонатор.
6. Линеен ускорител.
7. Цикличен ускорител.
8. Колайдерът LHC – основни системи.
9. Приложение на ускорителите.

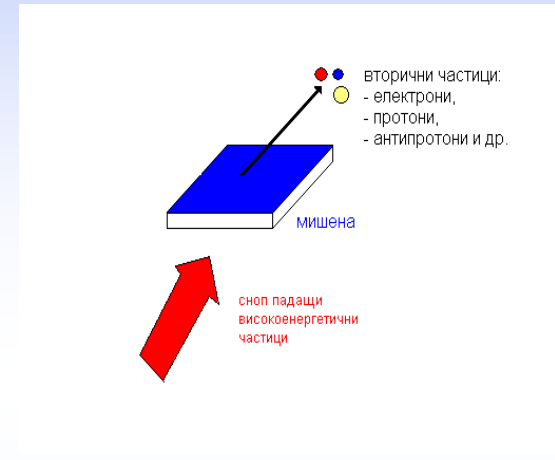
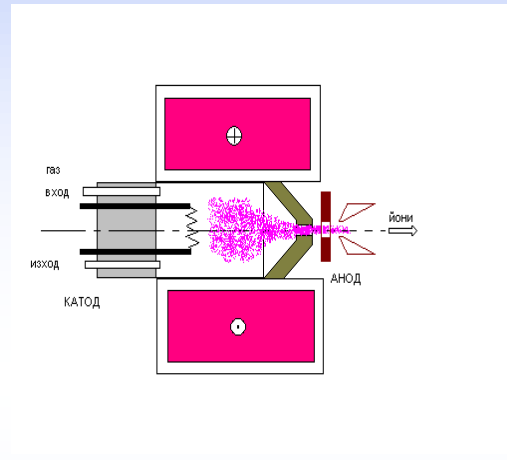
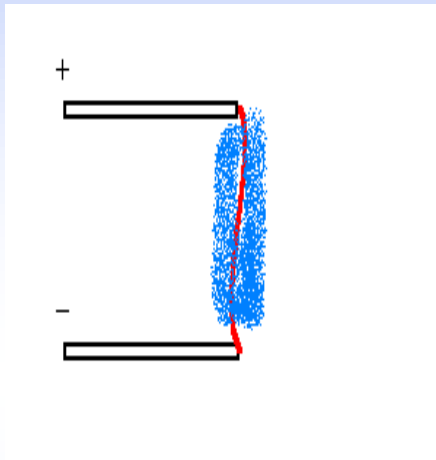
Ускорител на заредени частици

Ускорител на заредени частици се нарича устройство, предназначено за създаване на сноп от електрически заредени частици със зададени плътност и енергия.

Необходими условия за реализиране на такова устройство:

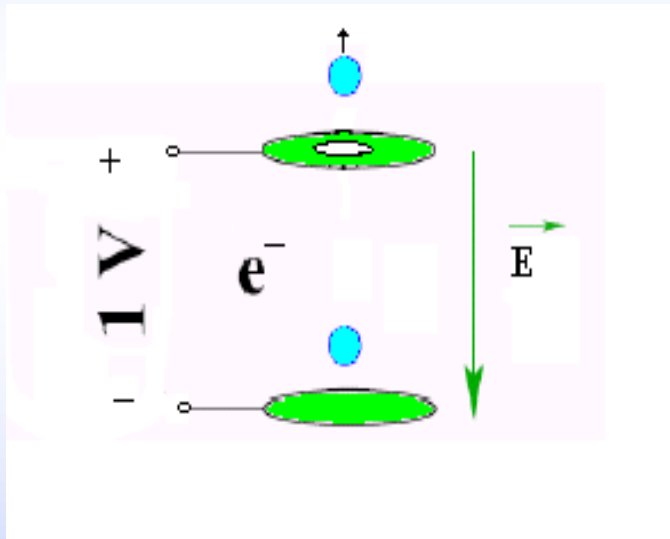
- А. Електрическо поле за ускоряване.
- Б. Вакуум - за безпрепятствено движение на снопа.
- В. Фокусиране - за компенсация на разходимостта на снопа.

Източници на заредени частици - примери



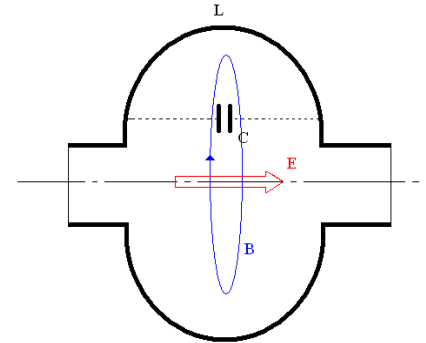
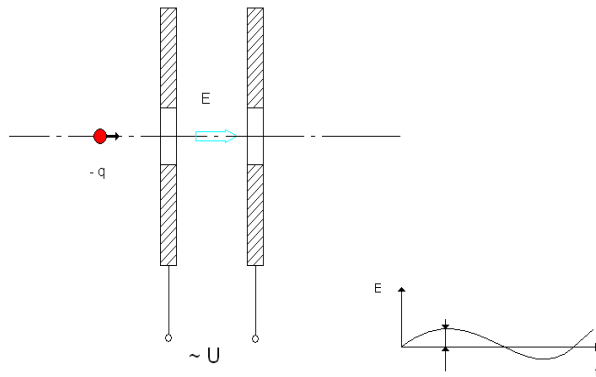
Когато метална нишка се нагрява, електроните в нея повишават кинетичната си енергия, някои от тях напускат метала и образуват отрицателен облак около нишката. Това е един пример за това как се произвеждат свободни електрони. Протони и йони могат да се произвеждат с плазмотрон. При облъчване на мишена със сноп високоенергетични частици също се получават различни заредени частици.

Измервателна единица за енергията на ускорение



- Електронволт (1 eV) е единицата, която съответства на енергията, получена от един електрон (със заряд около $1.602 \cdot 10^{-19} \text{C}$), преминал от една до друга точка, чиято разлика на електрическия потенциал е 1 V.
- Това е малка единица и при ускорителите се използват нейните производни KeV, MeV, GeV и TeV.

Ускоряване в промеждутък и в резонатор

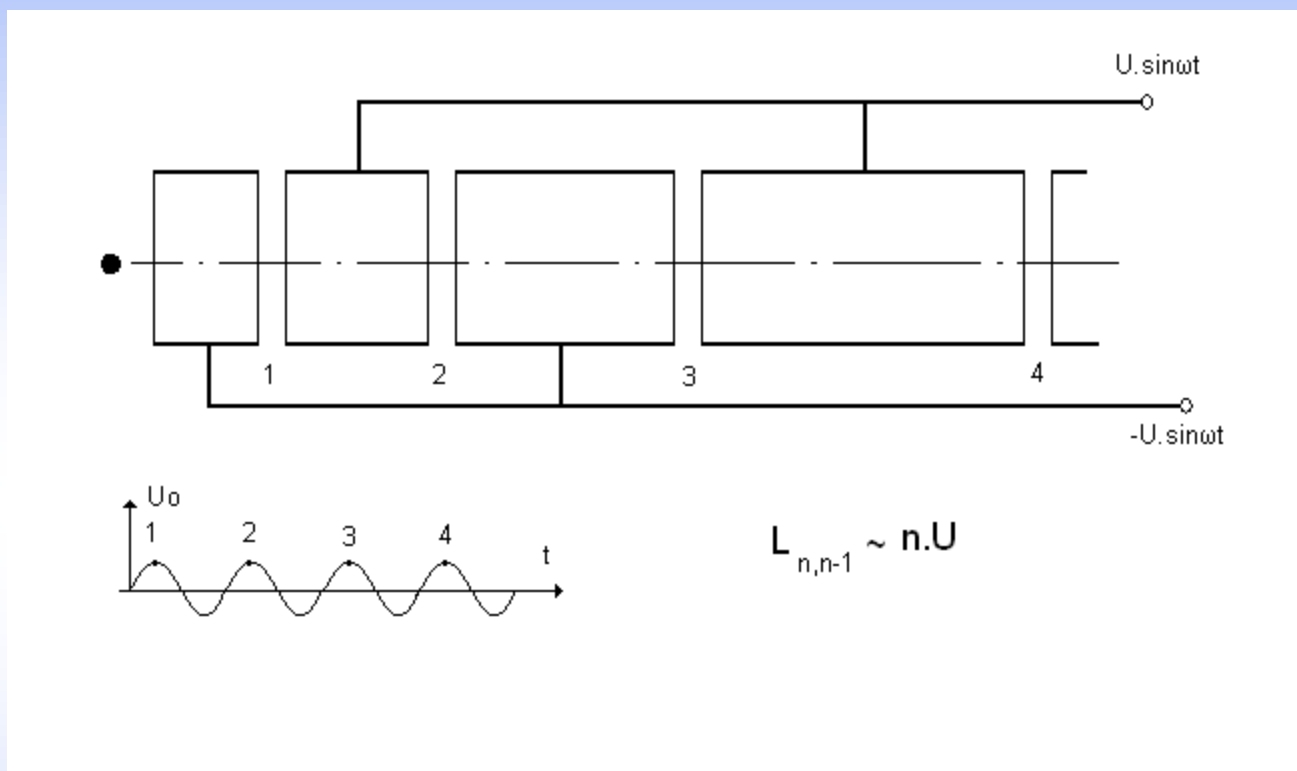


Ускоряването в промеждутък с постоянно напрежение не е ефективно, тъй като пробивното напрежение на изолиращите диелектрици е ниско.

Прилагането на променливо електрическо поле води до групиране на частиците.

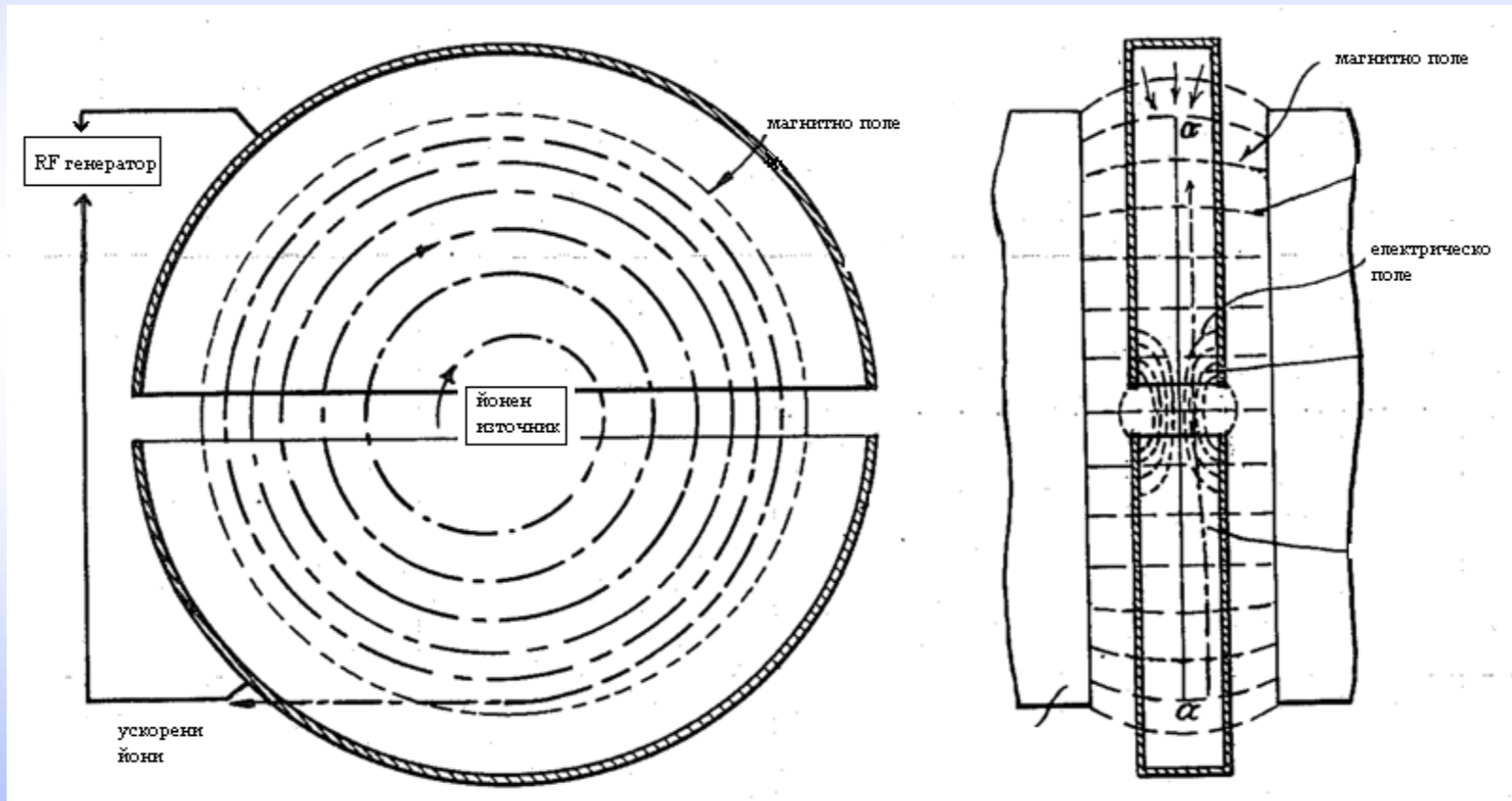
Ускоряването в полетата на обемен резонатор дава възможност за постигане на високи темпове на ускорение.

Линеен ускорител с дрейфови тръби

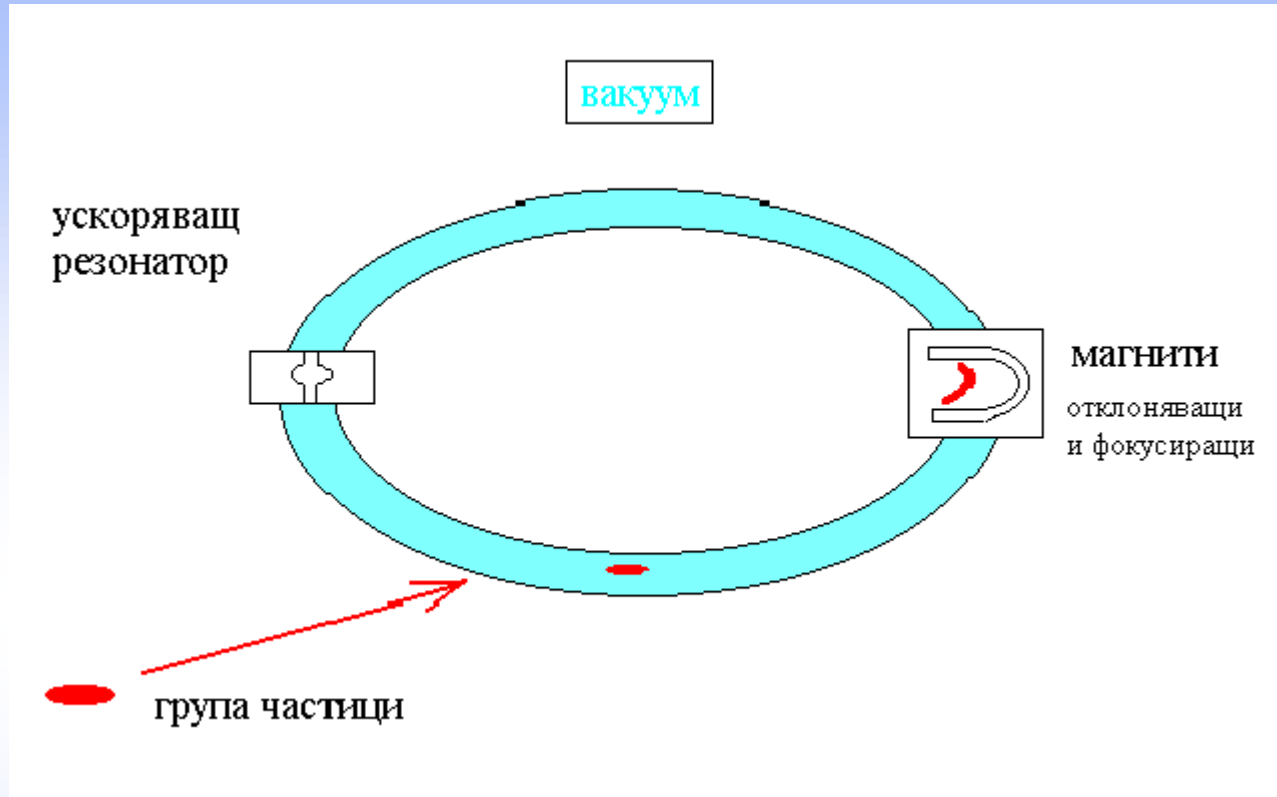


За да се ускорява група частици в тази структура е необходимо да се синхронизира нейното преминаване през промеждутъците с фазата на ускоряващото напрежение. Това се постига чрез съответните дължини на дрейфовите тръби.

ЦИКЛОТРОН

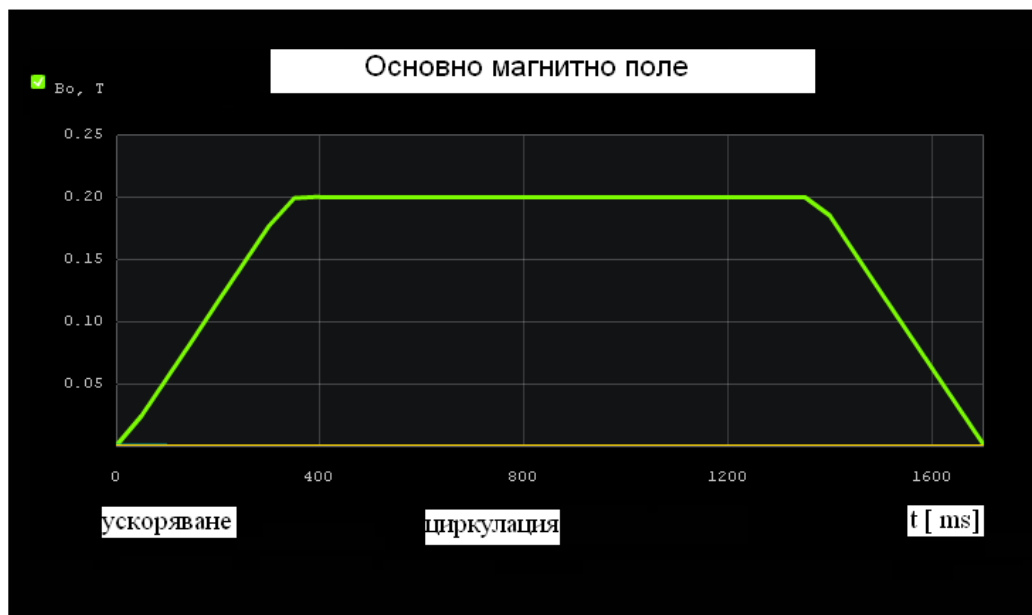


Идеята за цикличен ускорител - път към високите енергии



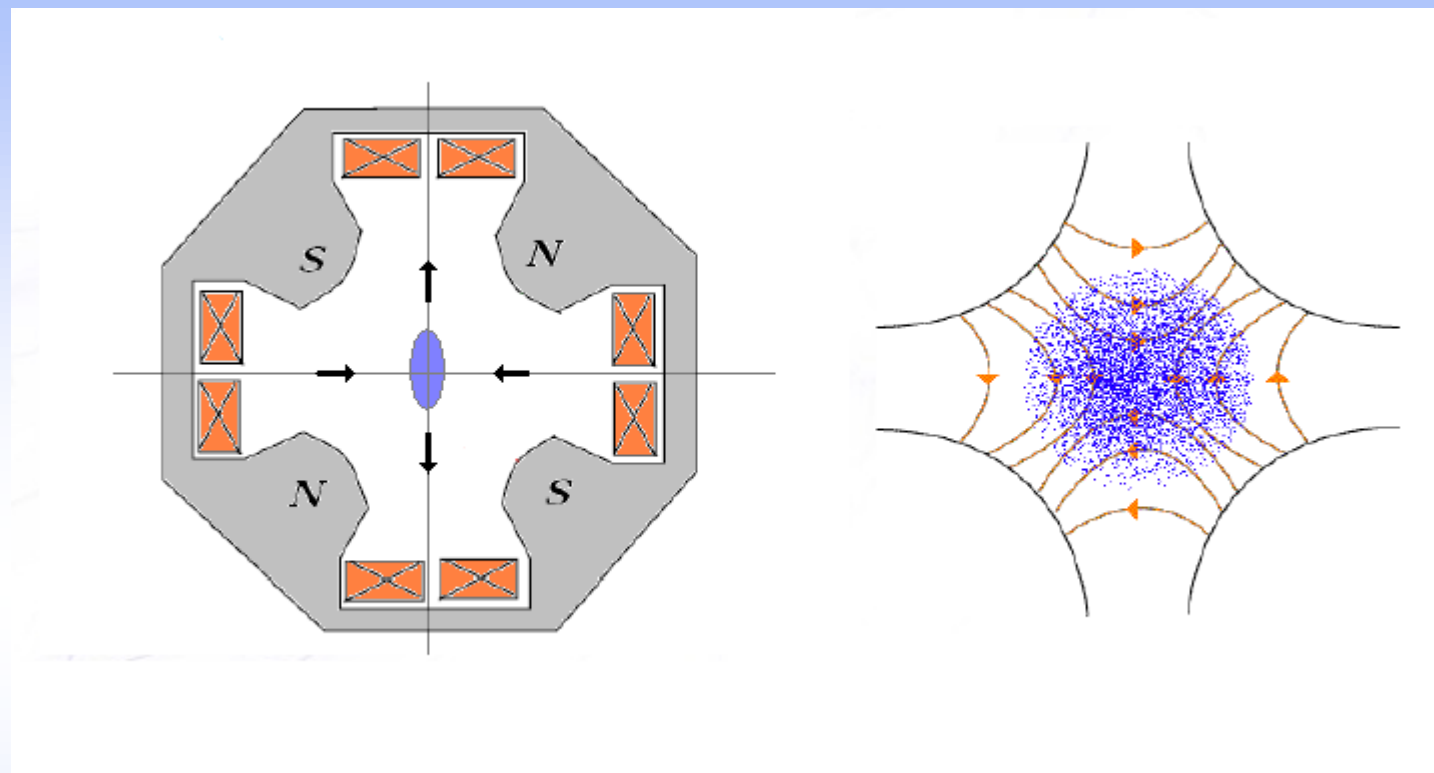
Група частици може да бъде инжектирана в област с диполно магнитно поле, което формира циклична траектория на движение на частиците. Когато в част от тази траектория има създадено ускоряващо електрическо поле, частиците многократно преминават през него и получават съответното ускорение. Необходимо е процесите на отклонение и ускорение да бъдат синхронизирани.

Форма на магнитното поле в пръстена



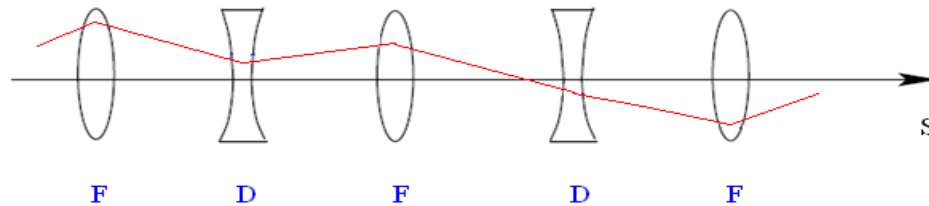
Пръстеновиден ускорител с почти постоянен радиус на орбитата на частиците и резонансно ускорение се нарича **синхротрон**. Диполното магнитно поле на този тип ускорител е променливо с времето. Цикълът на ускорение започва при ниско ниво на основното магнитно поле и завършва при високо ниво. Циркулацията на вече ускорения сноп може да продължи часове и дори дни при високо качество на вакуума.

Фокусиране на снопа с квадруполни лещи



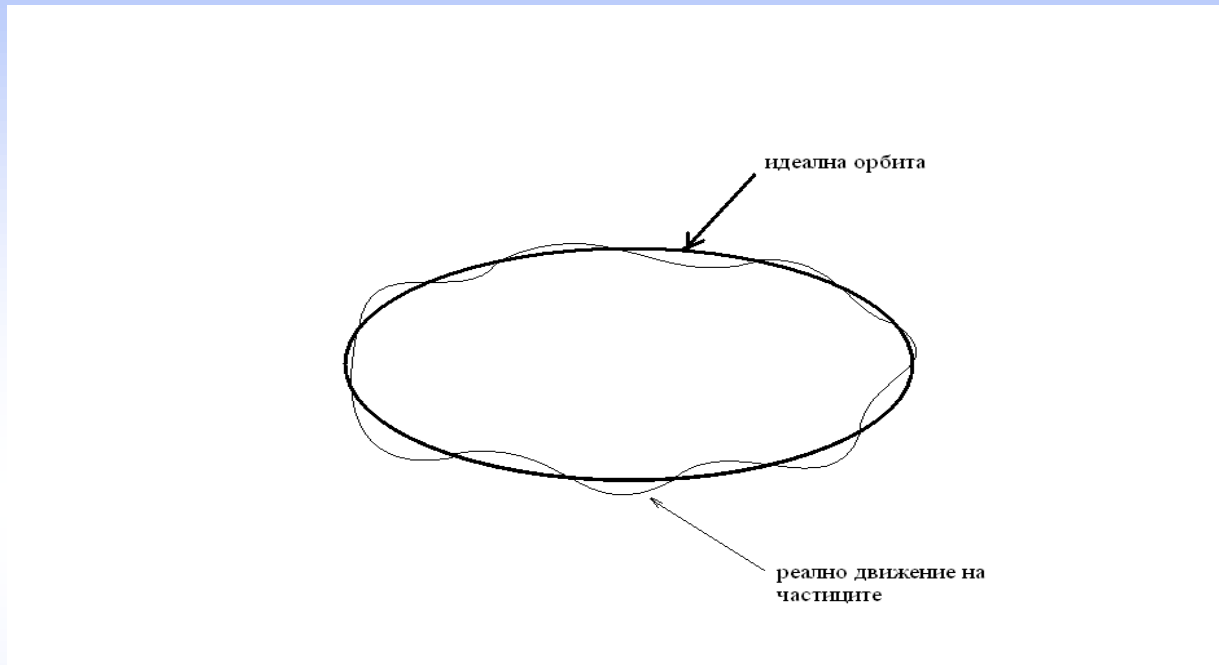
Един от начините за фокусиране на снопове ускорени частици е използването на квадруполни лещи. Тяхното магнитно поле фокусира снопа в едната им плоскост на симетрия, но го дефокусира в другата. Силата на фокусировка и дефокусировка е по-голяма при отдалечаване от оптическата ос. Това води до общо фокусиращ ефект при редуване на фокусиращи с дефокусиращи плоскости.

Фокусиране на снопа с квадруполни лещи



С редуването на фокусиращи и дефокусиращи квадруполни лещи се постига устойчиво движение на снопа в близост до оптичната ос на системата.

Орбита на частиците в цикличен ускорител



При движението си в отклоняващото, фокусиращото и ускоряващото полета на цикличния ускорител частиците извършват колебателни движения около оптичната ос на тази структура. Необходимо е амплитудата на тези колебания да е съобразена с размерите на вакуумната камера на ускорителя.

Характеристики на снопа и на вакуумната камера

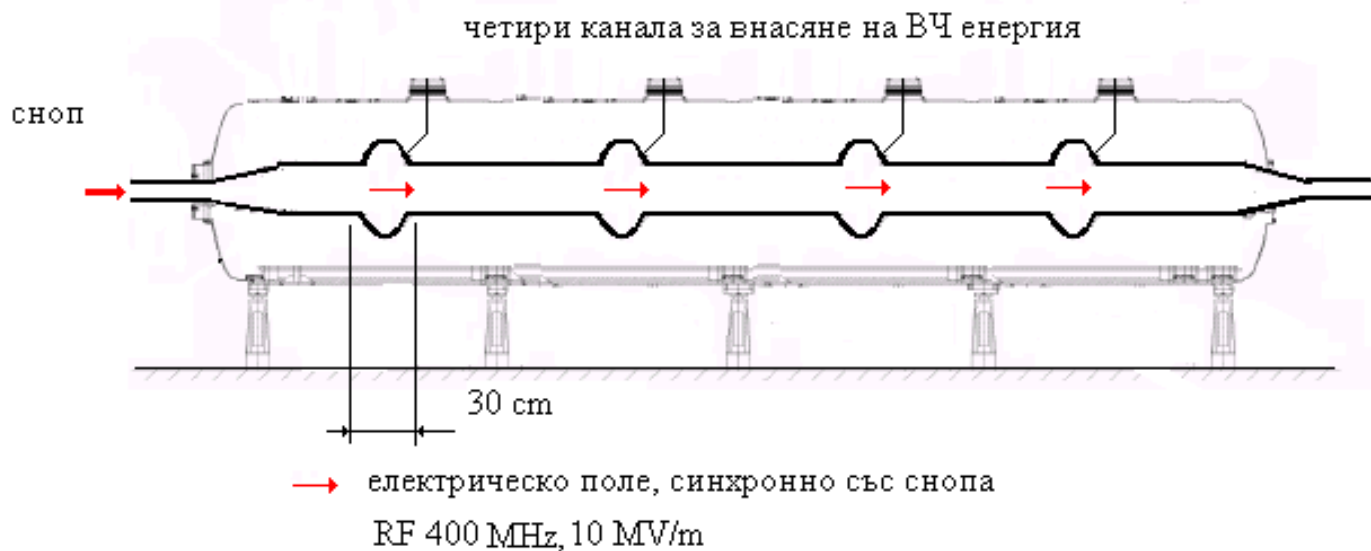
- Ограниченията за движението на снопа частици във вакуумната камера се определят от размерите на снопа, от степента на неговата разходимост, от размерите на вакуумната камера и от възможностите на фокусиращата система.
- Обособени са два основни параметра, чиито значения трябва да са съгласувани.
- Първият се нарича **емитанс** и се отнася за размера и разходимостта на снопа.
- Вторият е наименован **аксептанс** и съдържа информация за възможността да се фокусира определен сноп в рамките на вакуумната камера.

Конфигурация на Големия Адронен Колайдер

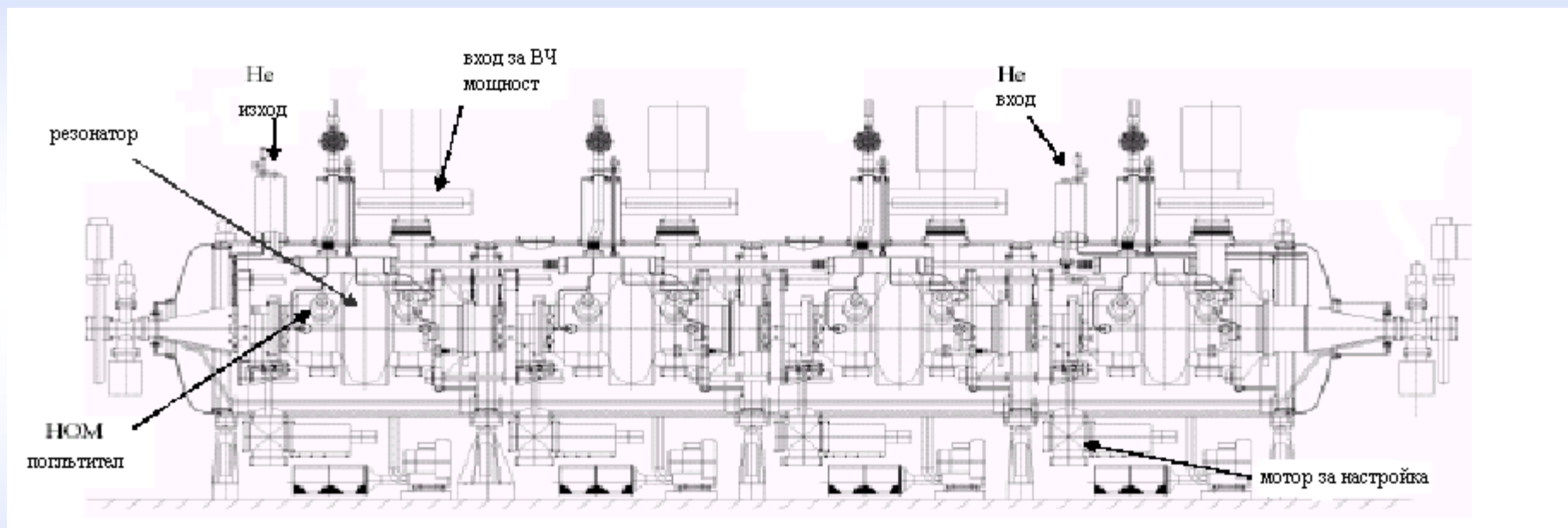


- Има изобретени над 30 вида устройства за ускоряване. Една от най-удачните конфигурации за постигане на високи енергии на взаимодействие на частиците от снопа се нарича ускорител на насрещни снопове. От този тип е и Големият Адронен Колайдер (LHC).
- Основно предимство на колайдерите и понятие за **СВЕТИМОСТ** .

Ускорителна станция на LHC



Устройство на ускорителната станция

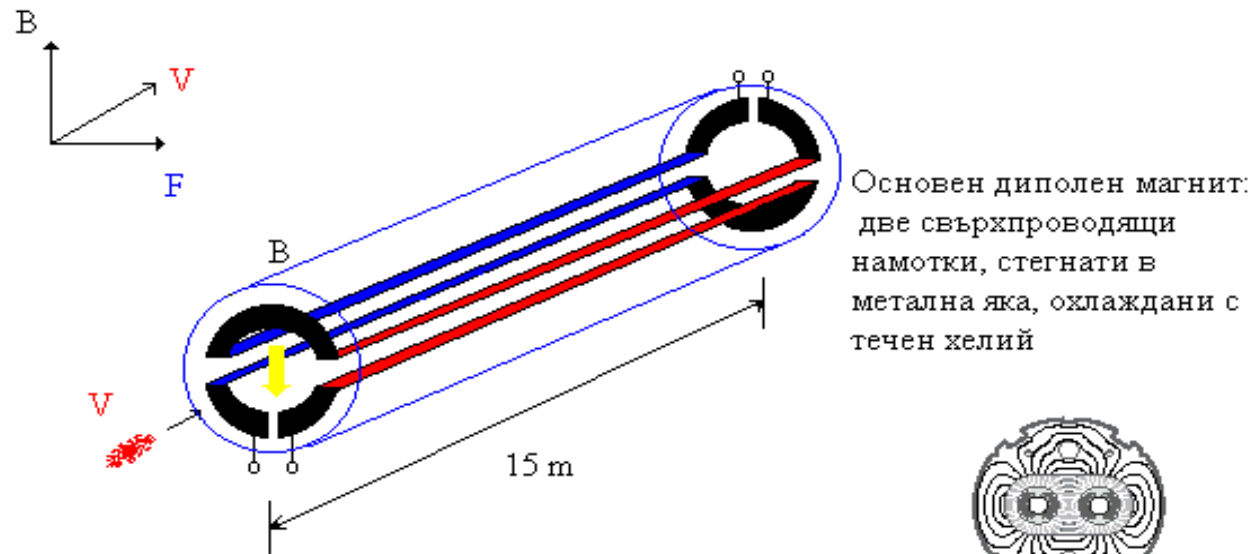




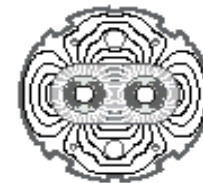
Технологични постижения в ускоряващата станция на LHC

- Геометрията на резонаторите е електродинамически проблем (уравнения на Максвел). Те трябва да приемат, натрупат и отдадат енергия към сноп с рекордни параметри.
- Вход за ВЧ мощност като на ТВ станция с преход от атмосферно налягане към висок вакуум и от стайна температура до -271 градуса по Целзий.
- Чиста, свърхпроводяща при 400 MHz, гладка и еластична вътрешна повърхност, подложена на гама радиация.

Основен елемент на пръстена - сдвоен свърхпроводящ диполен магнит

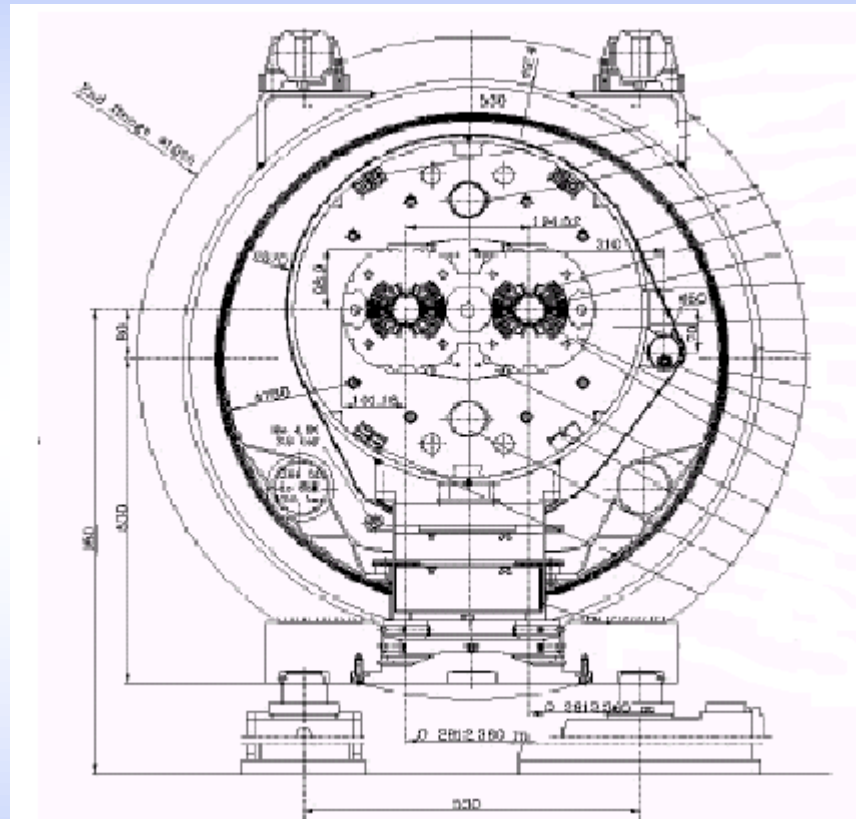


Основен диполен магнит:
две свърхпроводящи
намотки, стегнати в
метална яка, охлаждаани с
течен хелий



Лого на публикациите по LHC -
сечението на сдвоен диполен магнит

Конструкция на една секция от магнитната система



Особенности на магнитите

- Необходимо магнитно поле около 10 Т (ограничение от радиуса на съществуващия тунел). Възможно със свърхпроводящи магнити, охлаждаани с He II - нова технология от термоядрения синтез.
- Избор на конфигурация: 2 канала в един магнит! Направени изчисления на над 3000 варианта за диполен магнит.
- За свързване между магнитите е изобретен нов вид ултразвуково заваряване специално за LHC.

Вакуумна система

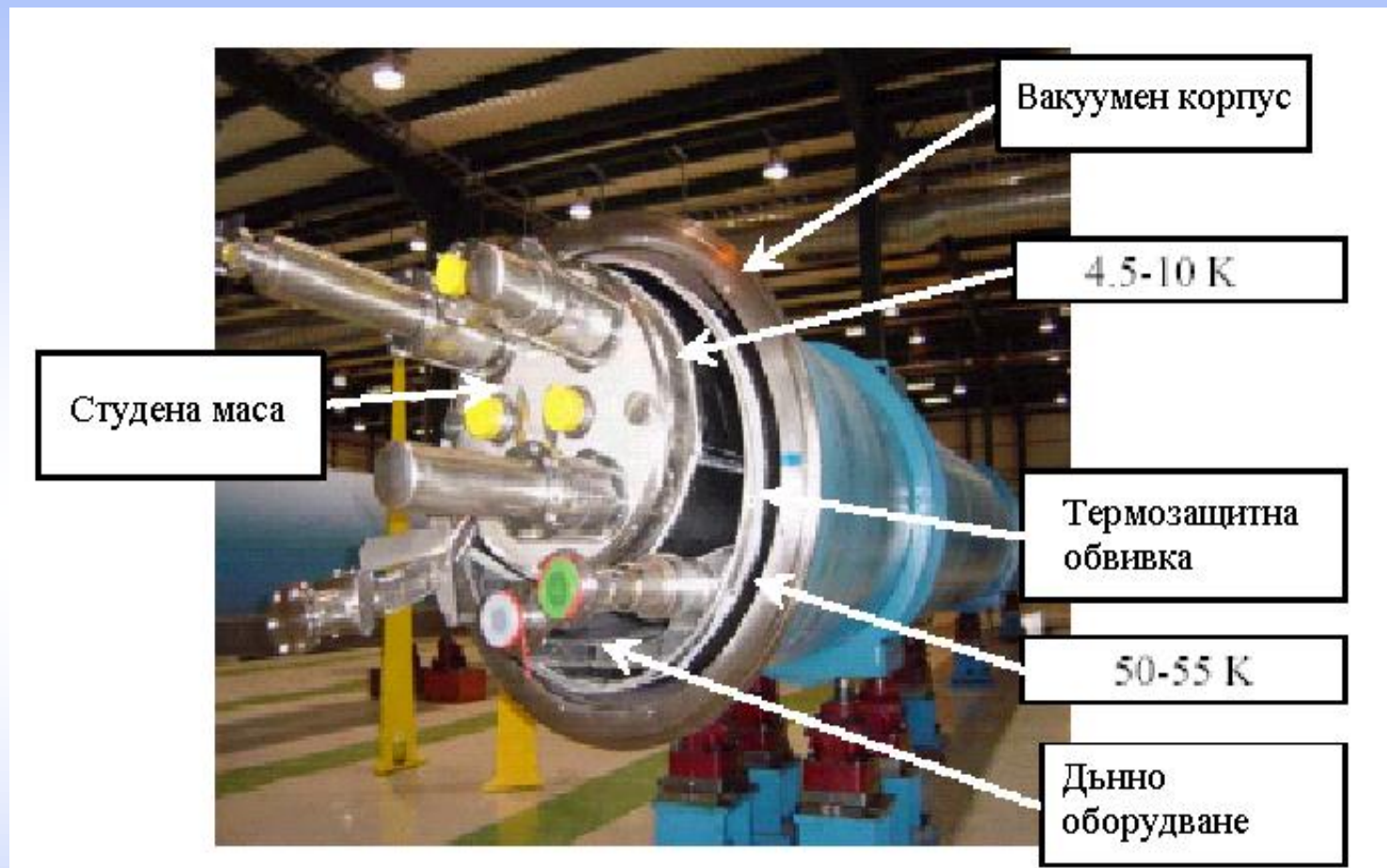
LHC има всъщност три вакуумни системи:

- изолационен вакуум на криомагнитите,
- изолационен вакуум на He-системата,
- вакуум в ускорителната камера.

Последната се характеризира с налягане 10^{-9} Pa (10^{15} H₂/m³).

Има следните особености:

- вътрешен екран с температура 20 K,
- гъвкави преходи от студените към топлите участъци.



Приложения на ускорителите на заредени часстици

Над 7500 броя за радиационна терапия,
повече от 7000 йонни имплантатори,
около 1500 - индустриални приложения,
1000 - биомедицински изследвания,
200 - производство на медицински изотопи,
120 - ускорители на високи енергии (>1 GeV),
50 източника на синхротронно излъчване и др.

Благодаря за вниманието!

