

Technology
Department

Beam transfer systems at CERN's accelerator complex.

Design, construction, installation and operational considerations of normal conducting magnets and electrostatic deflectors in high vacuum and high radiation environments.

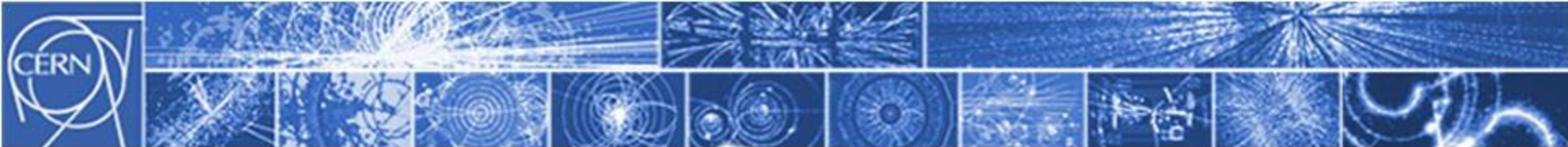
Системи за трансфер на частиците в комплекса ускорители на ЦЕРН.

Проектиране, конструиране и експлоатация на нормално проводящи електромагнити и електростатични дефлектори в радиоактивни среди и в условия на свръхвисок вакуум.

Мирослав Атанасов ТЕ-АВТ

Използвани слайдове от M. Barnes, B. Goddard, J. Borburgh, T. Masson, S. Gibson

07.10.2014



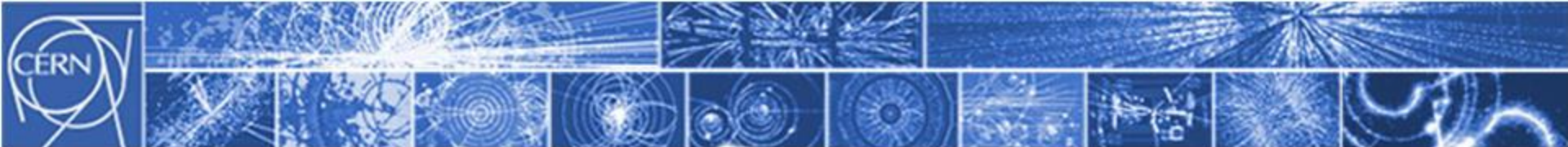
Сила на Лоренц

Основен инструмент за направляване и промяна на енергията на електрически заредени частици.

$$F = q \left[E + (v \times B) \right]$$

- F е векторът на силата;
- E е векторът на електрическото поле (волт-метър);
- B е векторът на магнитната индукция (тесла);
- q е зарядът на частицата (кулон);
- v е векторът на скоростта на частицата (метър/секунда);
- \times показва векторно произведение

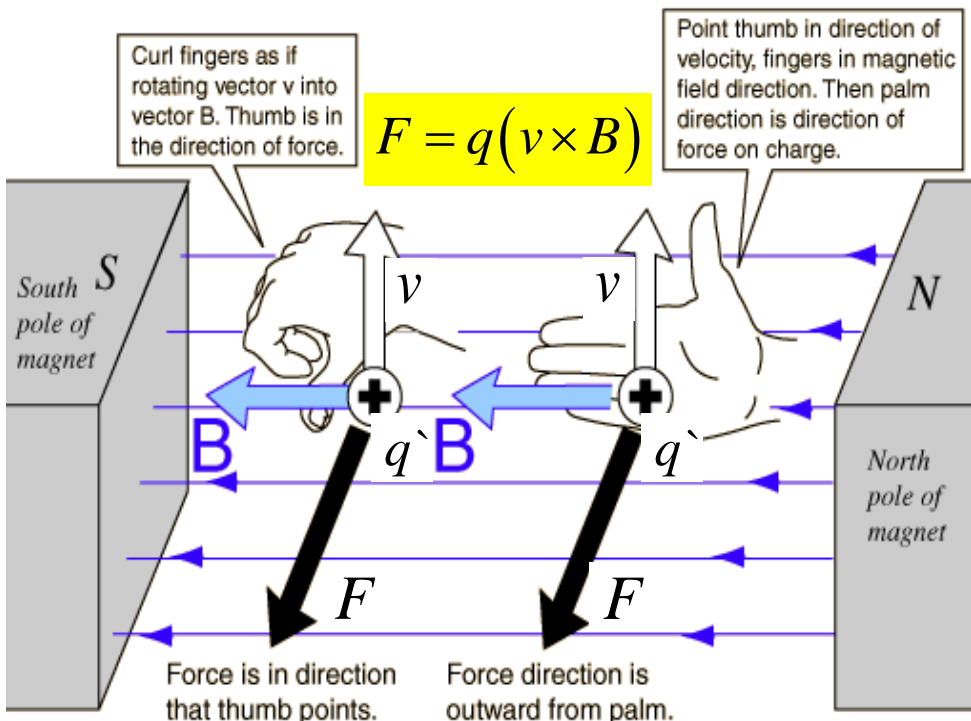
Извод: поради наличието на векторно произведение магнитната компонента на силата не извършва работа, т.е. не води до промяна на кинетичната енергия на частицата – използваме я за промяна на траекторията. Електрическата компонента приложена напречно води до промяна на траекторията, а надлъжно – до промяна на кинетичната енергия.



Technology Department

Магнитна компонента на силата

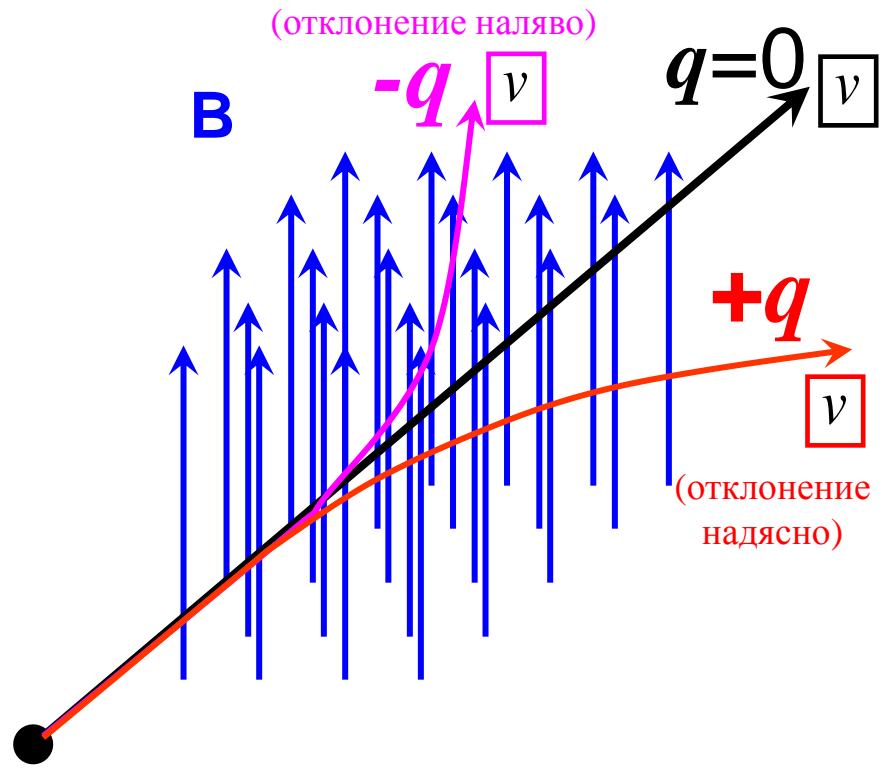
Правило на дясната ръка



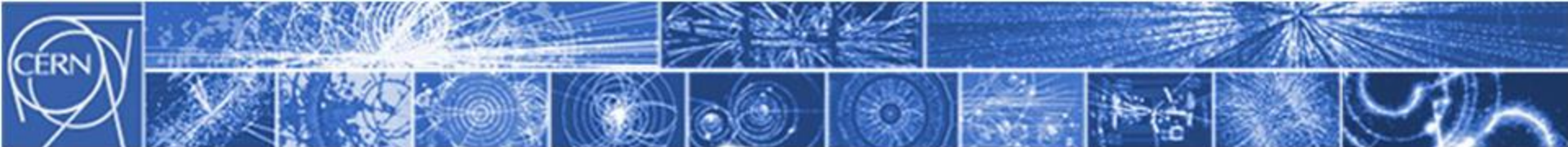
Ref: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/magnetic/magfor.html>

Зарядът се движи в равнината на листа

Южен магнитен полюс



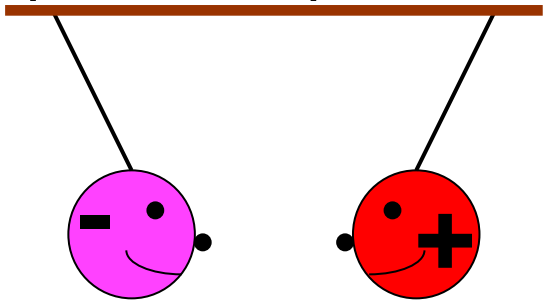
Северен магнитен полюс



Technology Department

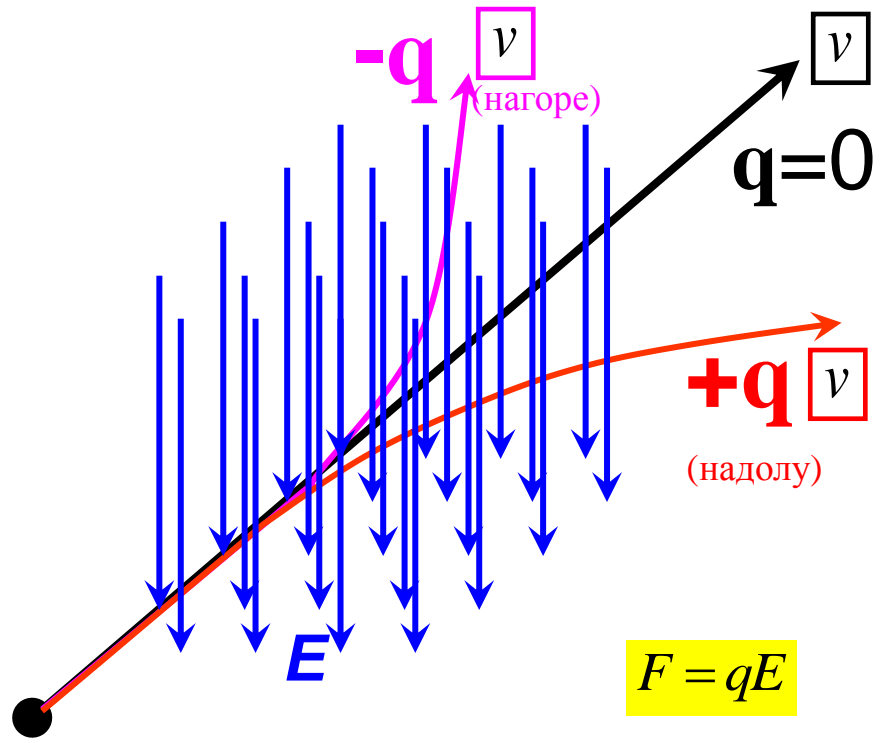
Електрическа компонента на силата

Противоположните заряди се привличат!



Зарядът се движи в равнината на листа, електрическото поле е напречно на траекторията на частицата

Положителен електрод

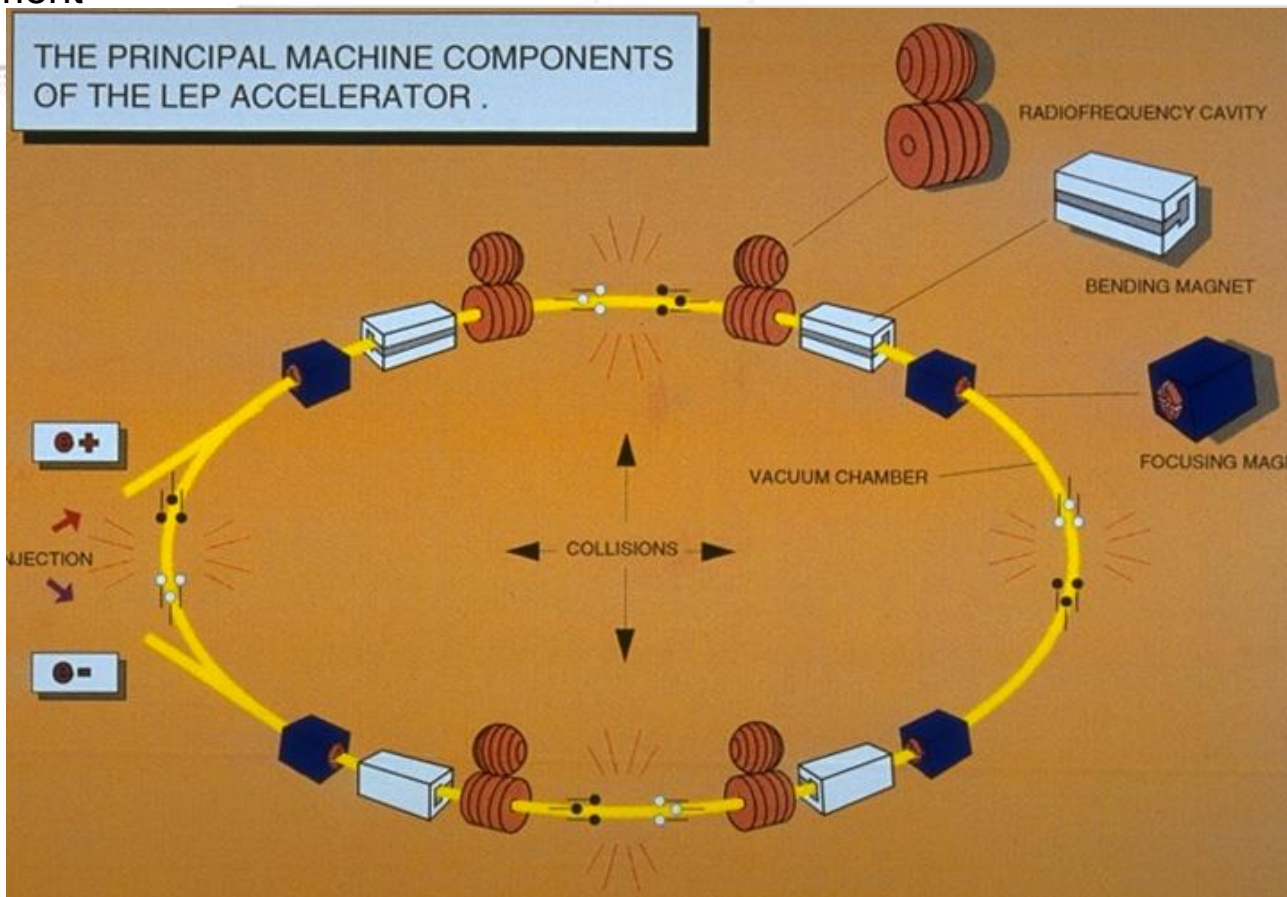


Отрицателен електрод

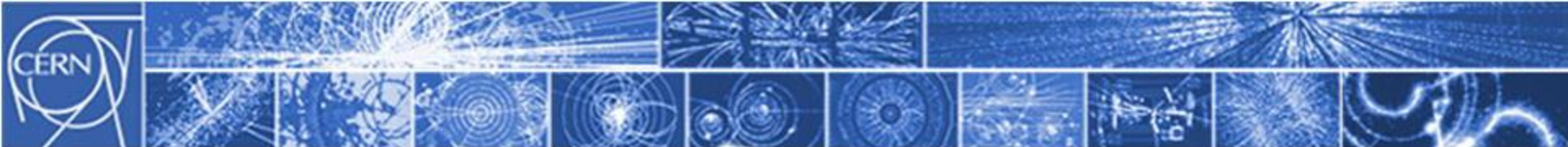


Technology
Department

Принцип на синхротрона

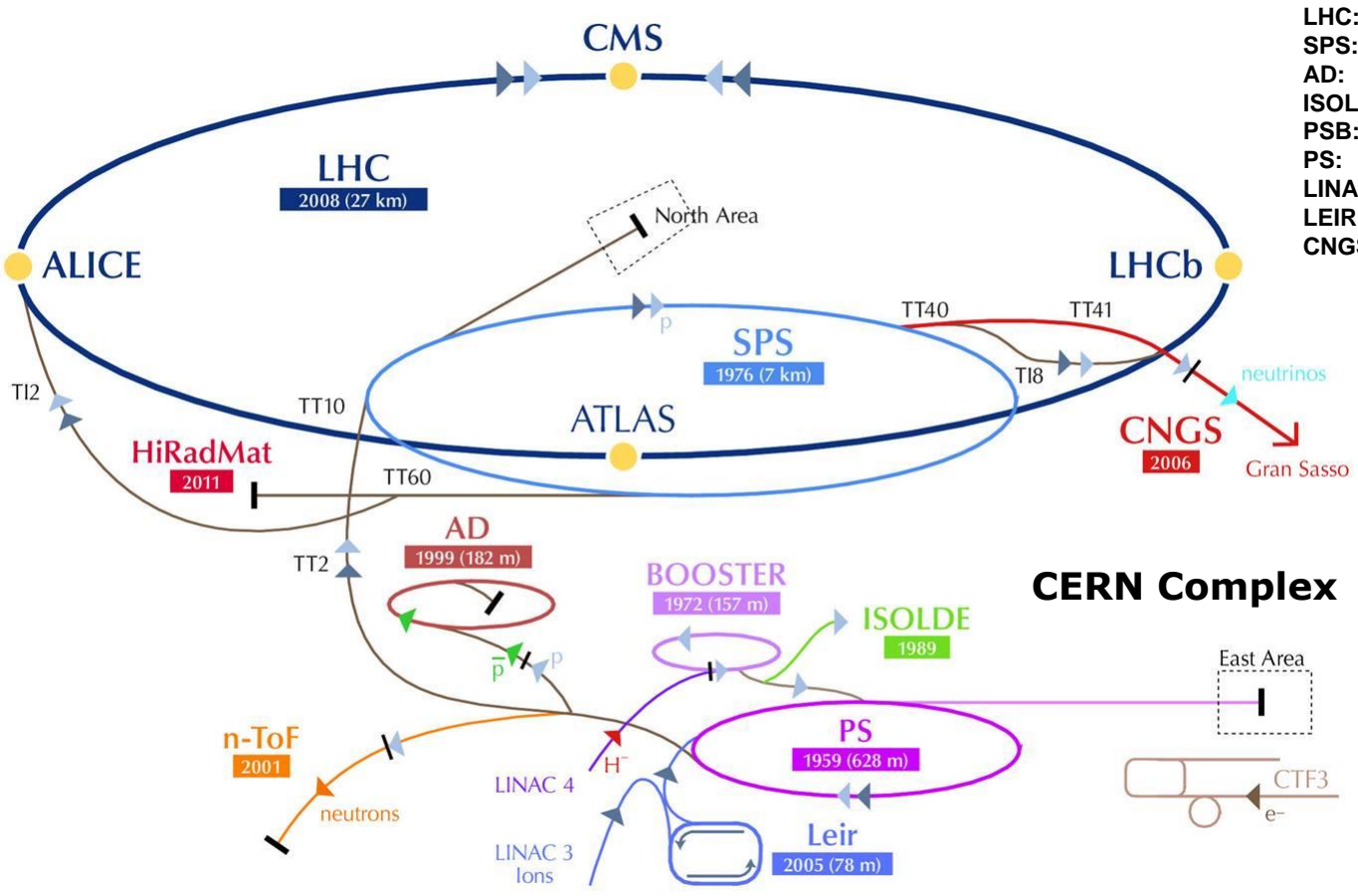


Заредените частици се задържат в кръгови траектории чрез двуполюсни магнитни полета, синхронизирани с ускоряващите електрически полета по такъв начин, че всяка промяна на енергията на частицата води до промяна на магнитното поле, така че траекторията да се запазва постоянна.



Technology Department

Трансфер на частиците

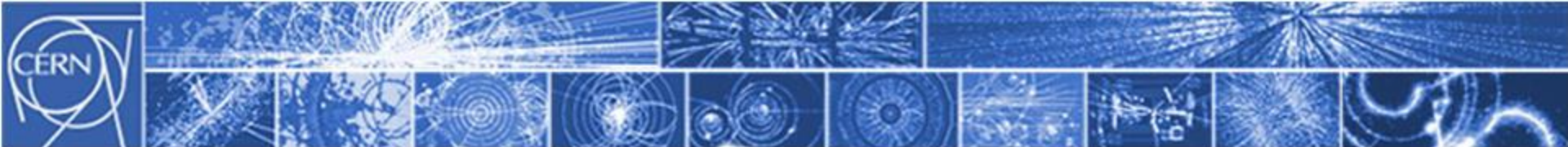


- LHC: Large Hadron Collider
- SPS: Super Proton Synchrotron
- AD: Antiproton Decelerator
- ISOLDE: Isotope Separator Online Device
- PSB: Proton Synchrotron Booster
- PS: Proton Synchrotron
- LINAC: LINear Accelerator
- LEIR: Low Energy Ring
- CNGS: CERN Neutrino to Gran Sasso

CERN Complex

Необходим е трансфер между отделните машини

- Ускорителите са с ограничен динамичен обхват;
- За достигане на високи енергии са необходими серия ускорители;



TE

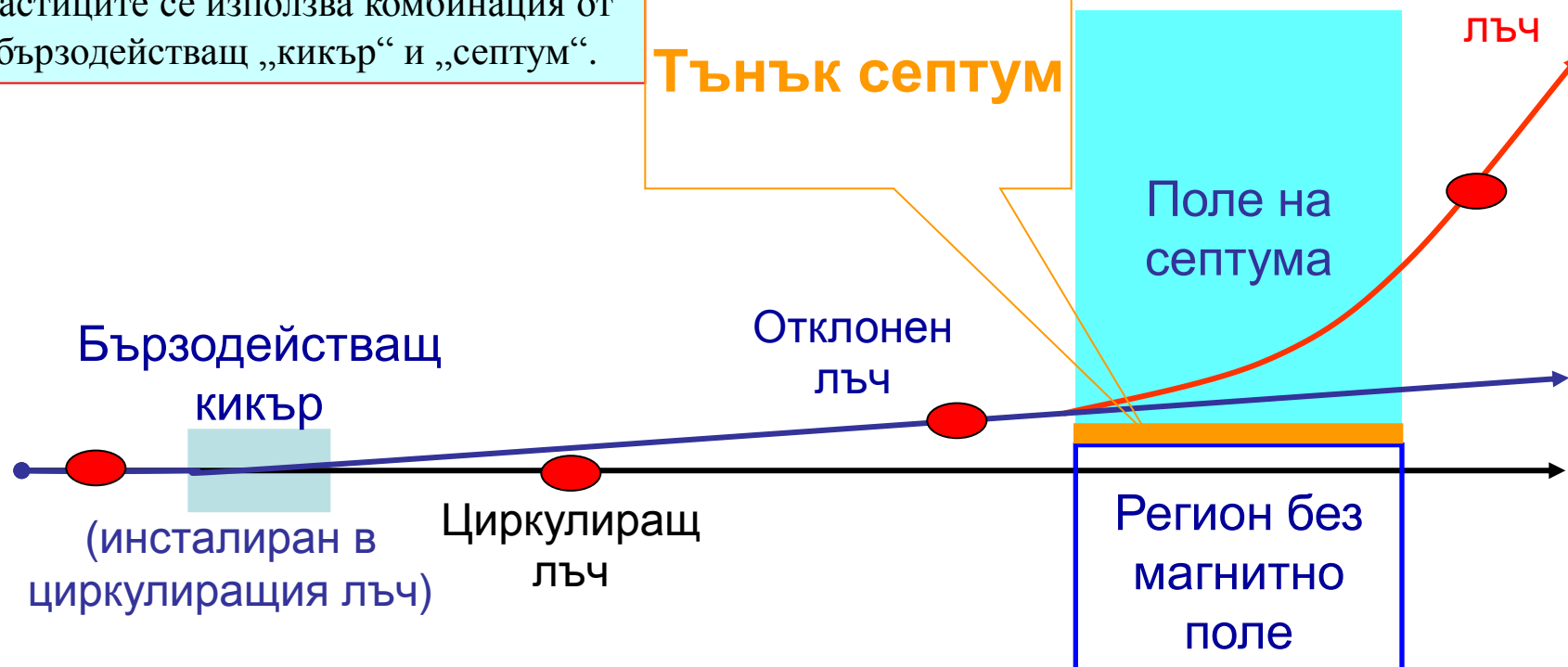
Technology Department

Трансфер на лъча (снопа) частици

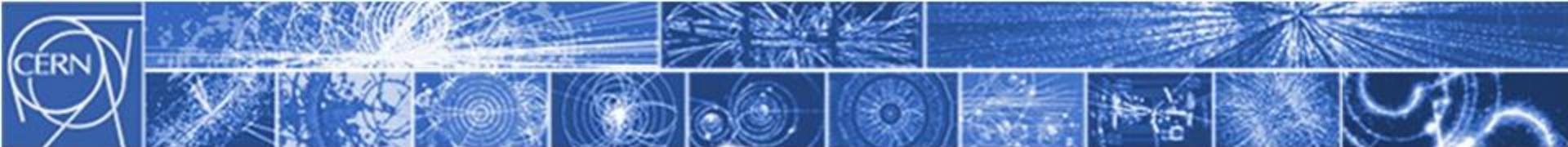
За инжектиране или екстрактиране на частиците се използва комбинация от бързодействащ „кикър“ и „септум“.

Тънък септум

Екстрактиран лъч

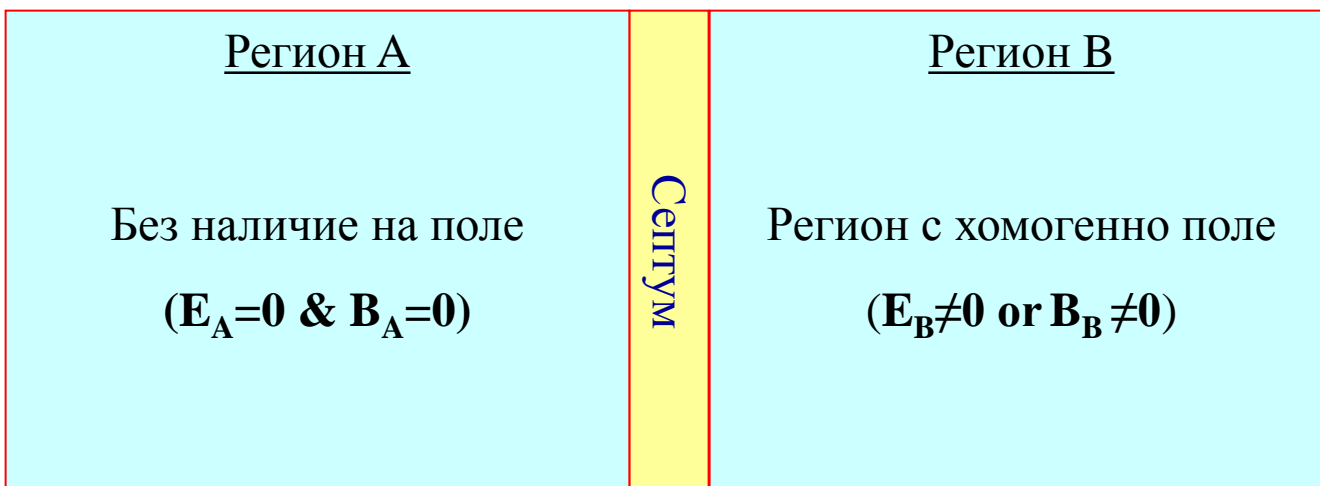


- Кикър – бързодействащ електромагнит даващ малко начално отклонение на лъча (няколко mrad) за отклоняване на траекторията в полето на септума;
- Септум – произвежда достатъчно силно магнитно поле за окончателното отклонение на лъча, като полетата на разсейване не трябва да влияят на циркулиращия лъч.

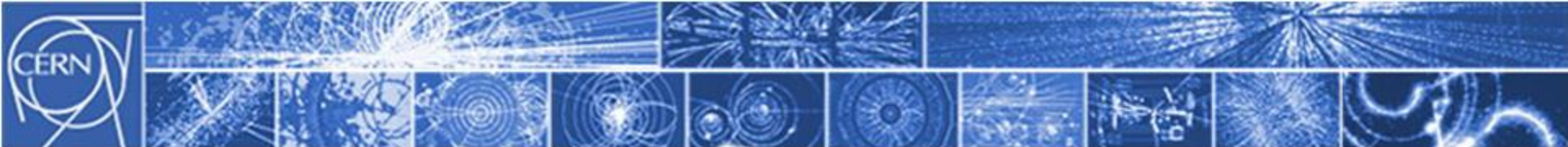


Септа

Септум (септа в мн.ч) е участък, разделящ две пространства (напр. в медицината – частта на носа разделяща ноздрите). В ускорителите септумът разделя два региона с различни полета:

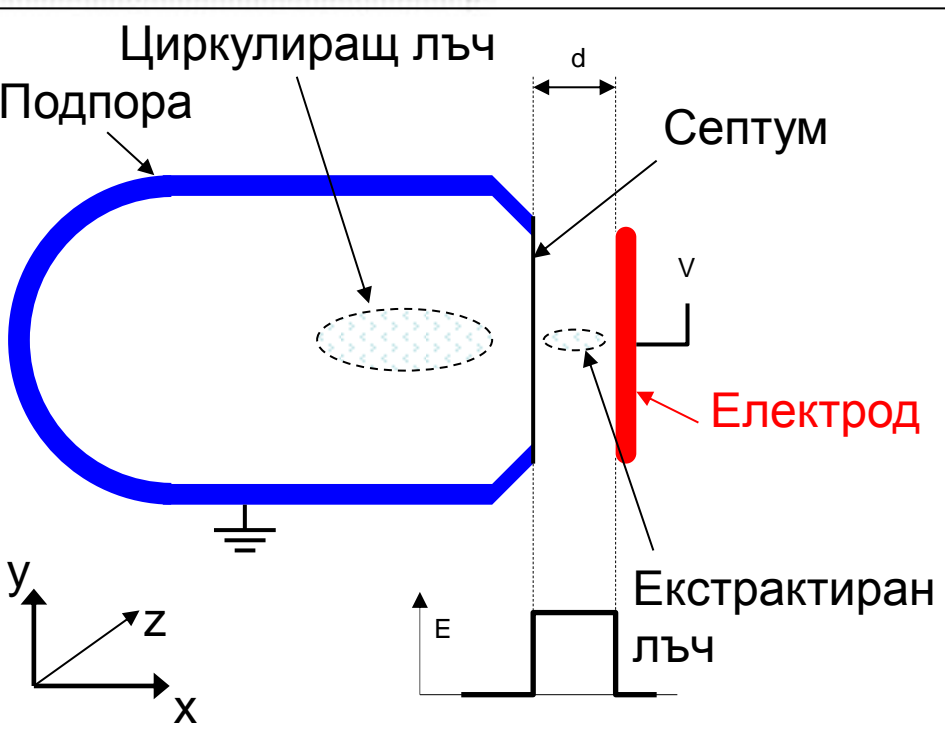


Важна характеристика на септа устройствата е отсъствието на поле в региона на циркулиращия лъч, и хомогенно поле във въздушната междина. Дебелината на септума трябва да е възможно най-малка за намаляване на силата на кикъра



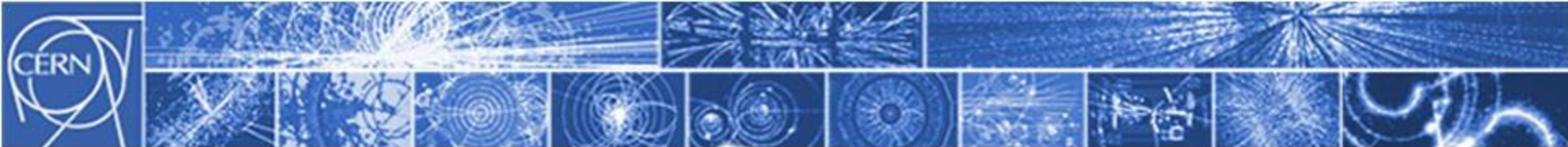
Technology
Department

Електростатичен септум



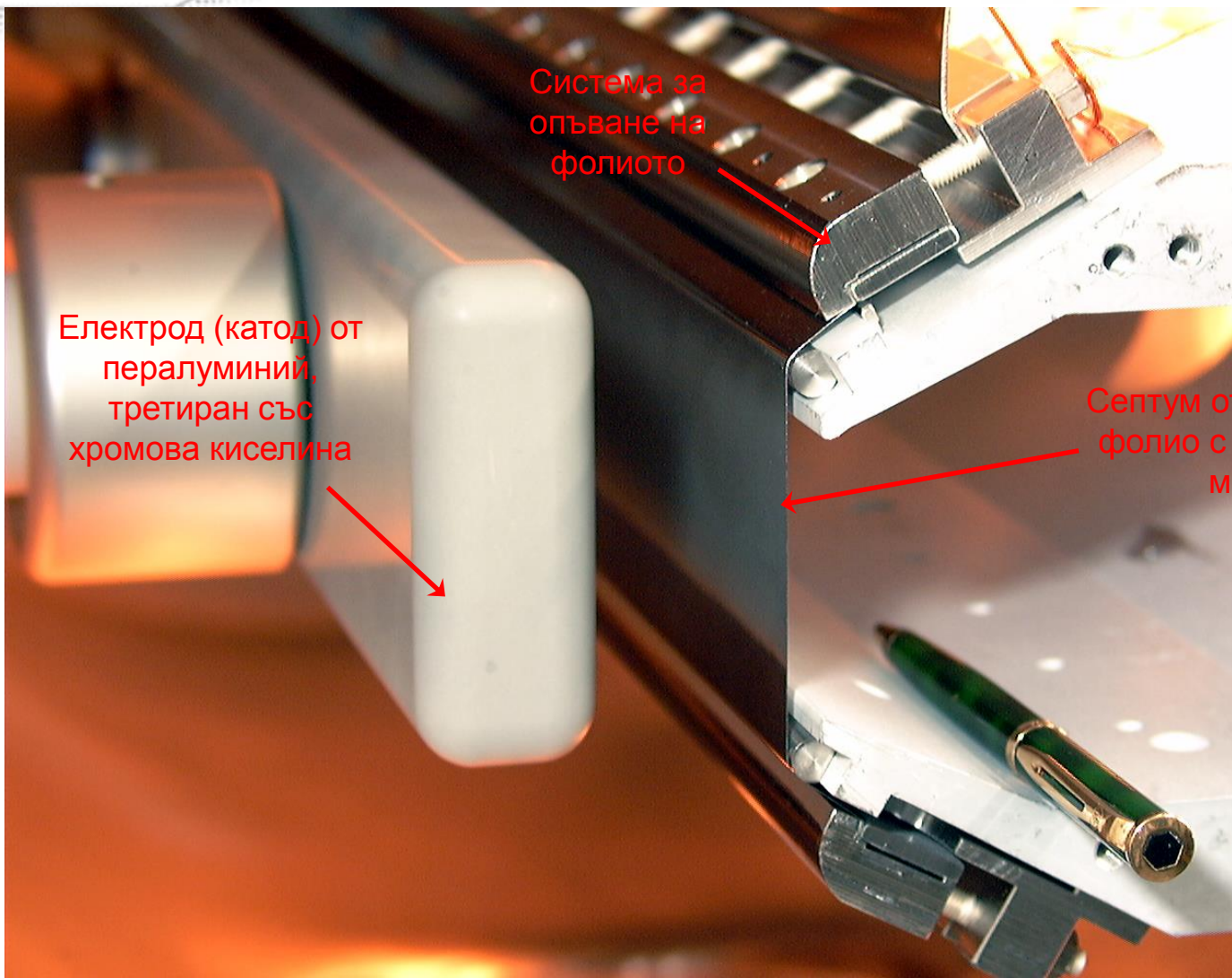
Типични параметри:

- Дължина на електрода: 500 - 3000 mm;
- Ширина на междината (d) променлива: 10 - 35 mm;
- Дебелина на септума: ≤ 0.1 mm;
- Вакуум (10^{-9} to 10^{-12} mbar);
- Напрежение: до 300 kV;
- Интензитет на електрическото поле: до 10 MV/m;
- Септум от молибденово фолио или волфрамови нишки;
- Електрод от анодизиран алуминий, неръждаема стомана или титан за свръх-висок вакуум;
- Изпичане до 300 °C за постигане на вакуум от порядъка на 10^{-12} mbar;



Technology
Department

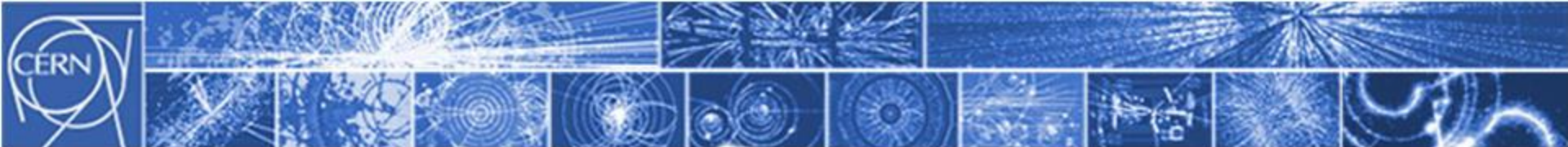
Електростатичен септум



Система за
опъване на
фолиото

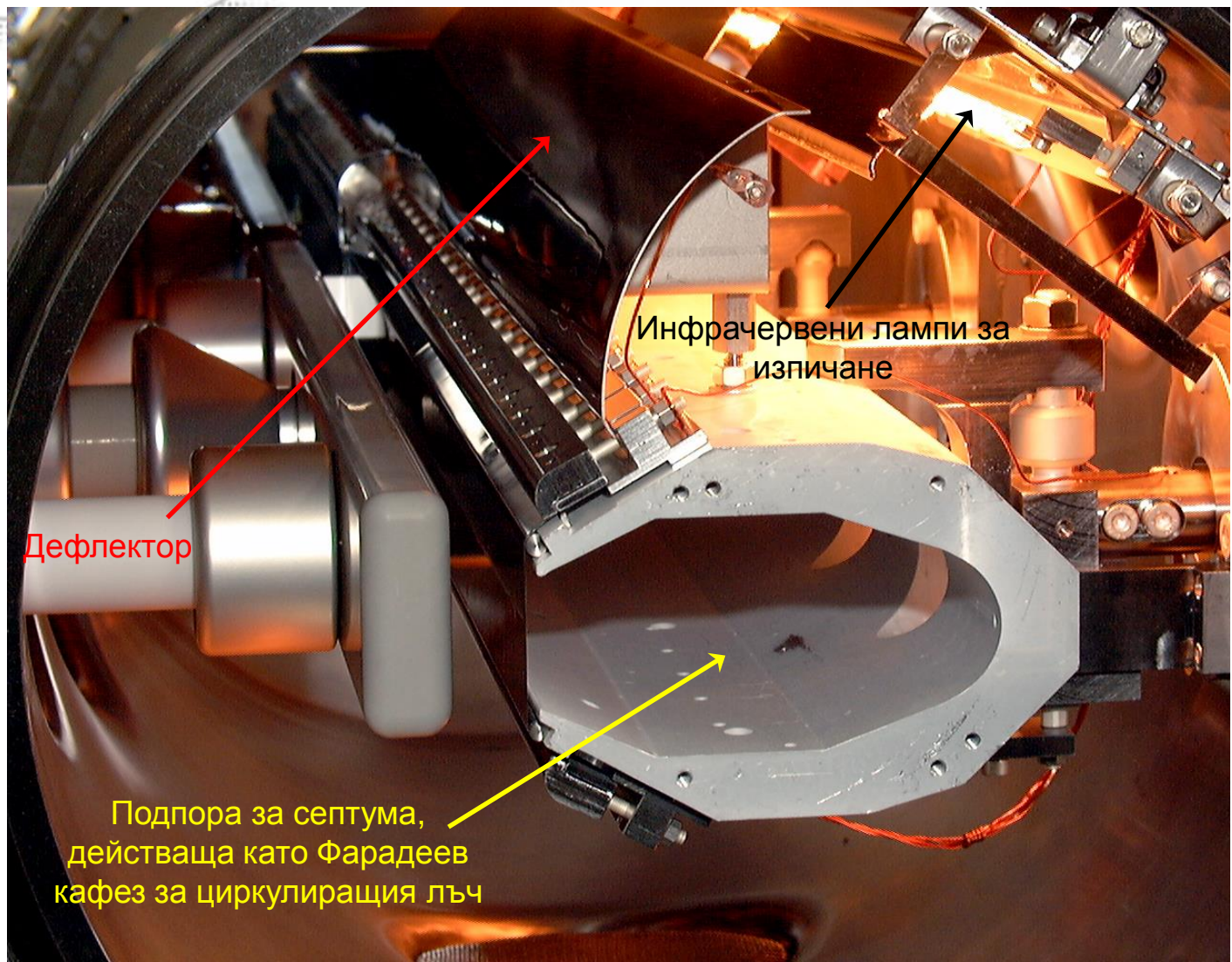
Електрод (катод) от
пералуминий,
третиран със
хромово киселина

Септум от молибденово
фолио с дебелина 100
микрона



Technology
Department

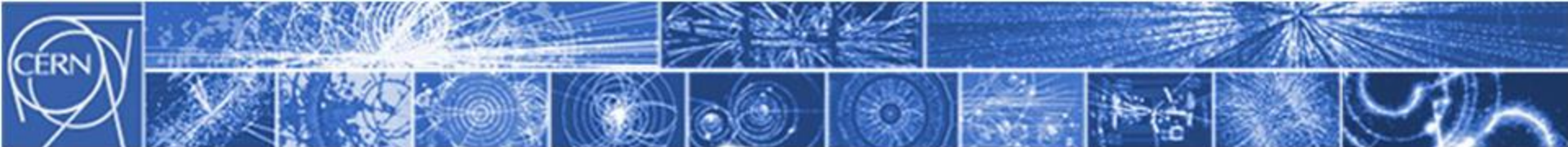
Електростатичен септум



Дефлектор

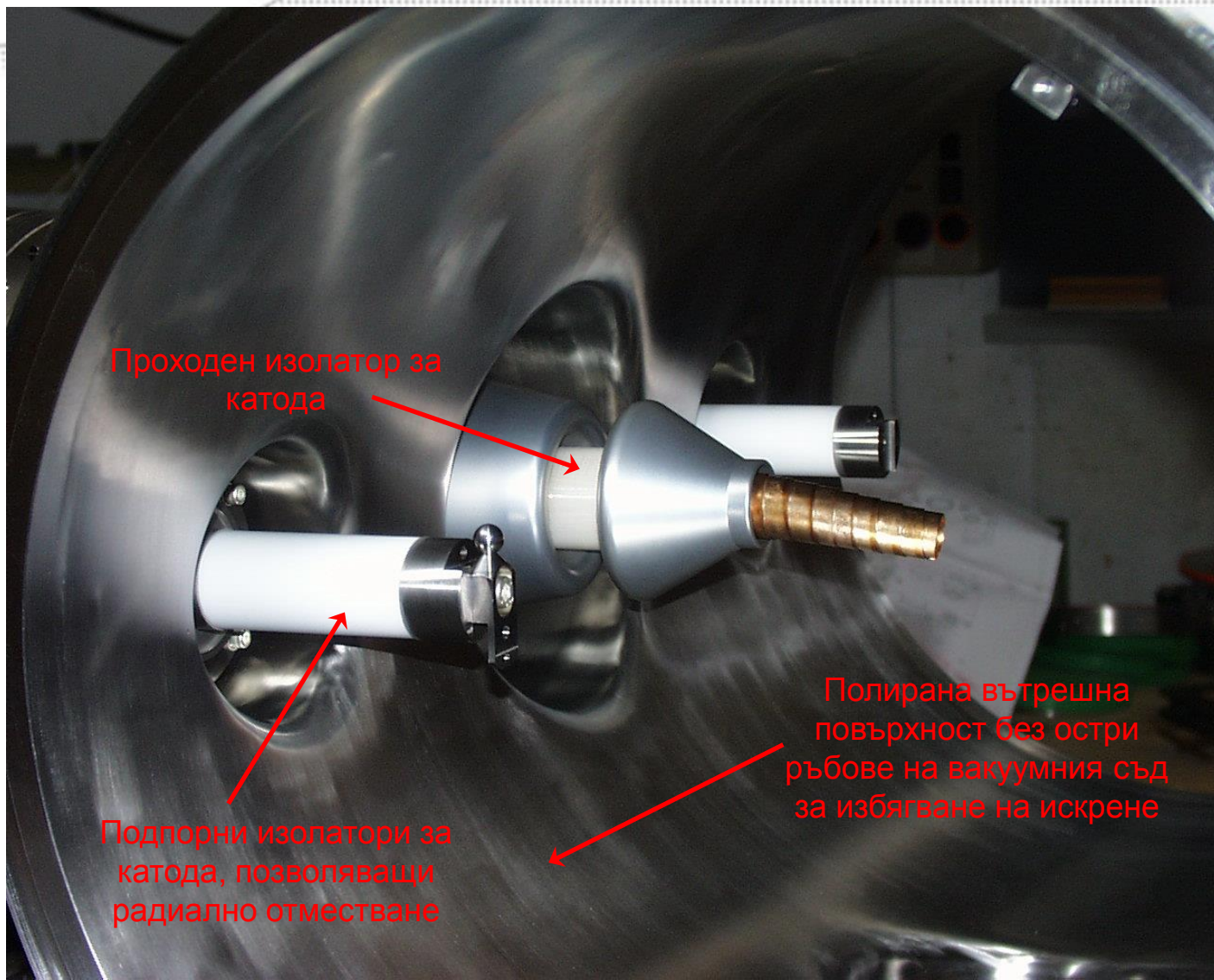
Инфрачервени лампи за
изпичане

Подпора за септума,
действаща като Фарадеев
кафез за циркулиращия лъч



Technology
Department

Електростатичен септум



Проходен изолатор за
катода

Подпорни изолатори за
катода, позволяващи
радиално отместване

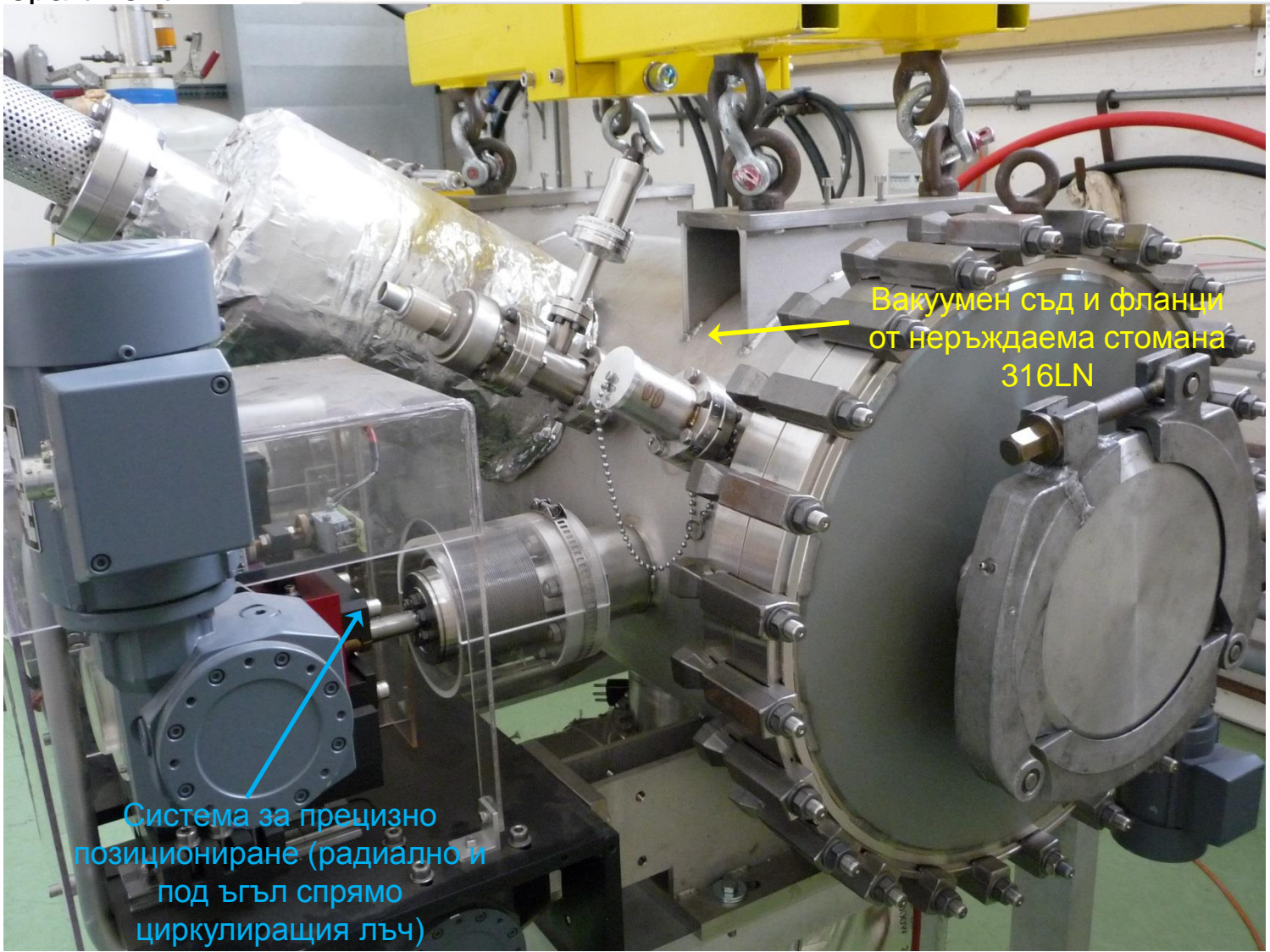
Полирана вътрешна
повърхност без остри
ръбове на вакуумния съд
за избягване на искрене



TE

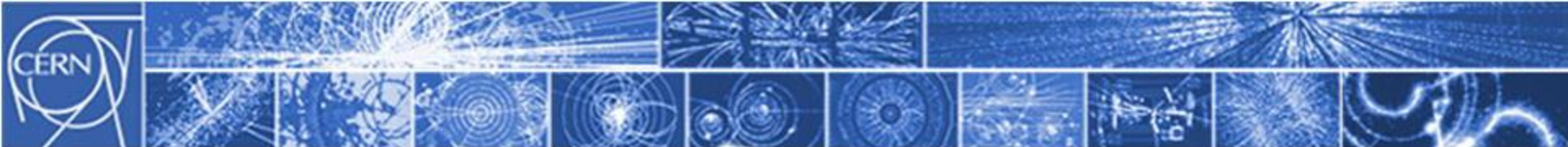
Technology
Department

Елестростатичен септум



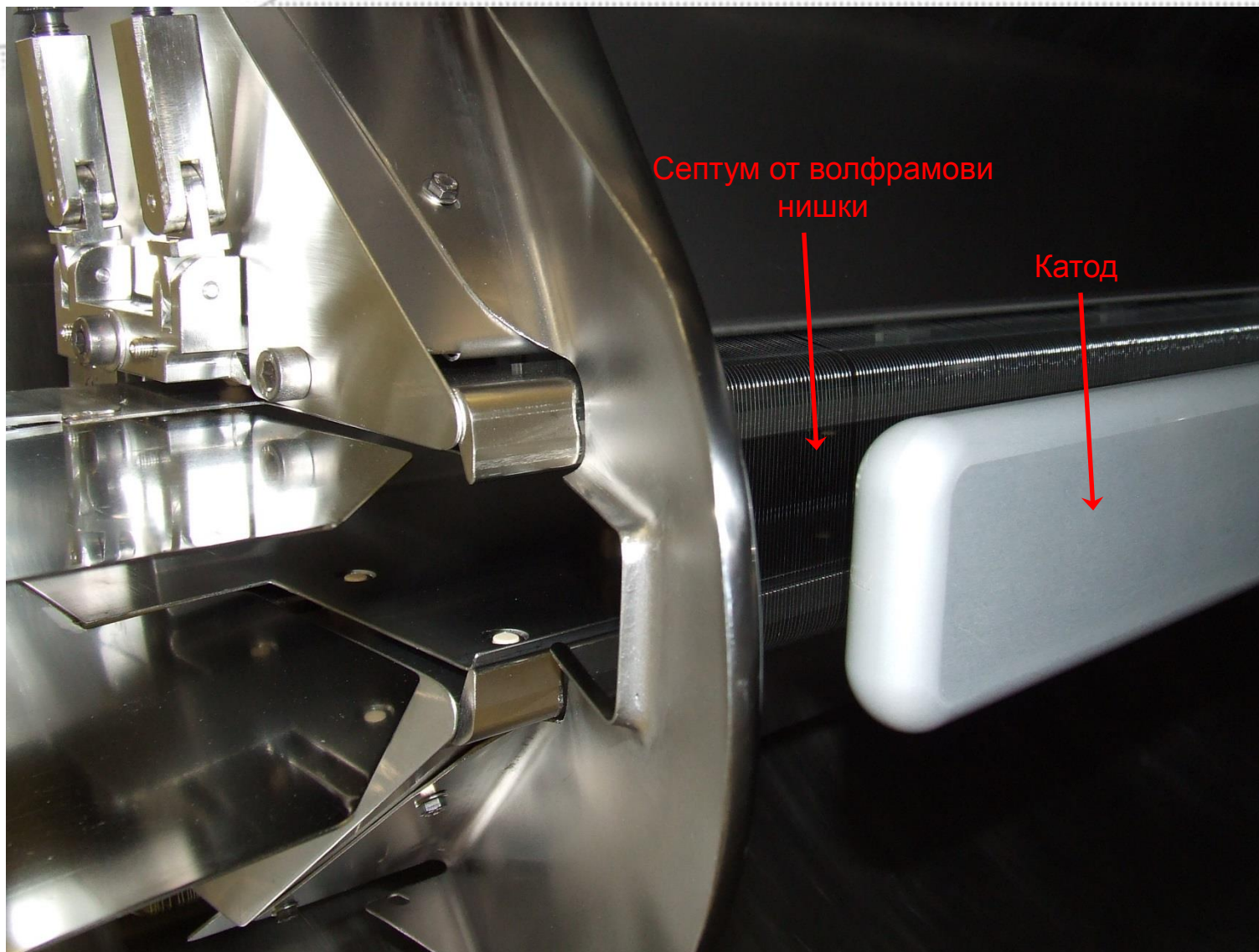
Вакуумен съд и фланци
от неръждаема стомана
316LN

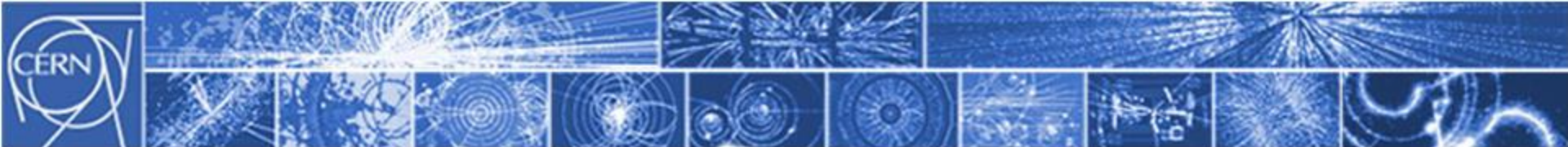
Система за прецизно
позициониране (радиално и
под ъгъл спрямо
циркулиращия лъч)



Technology
Department

Електростатичен септум

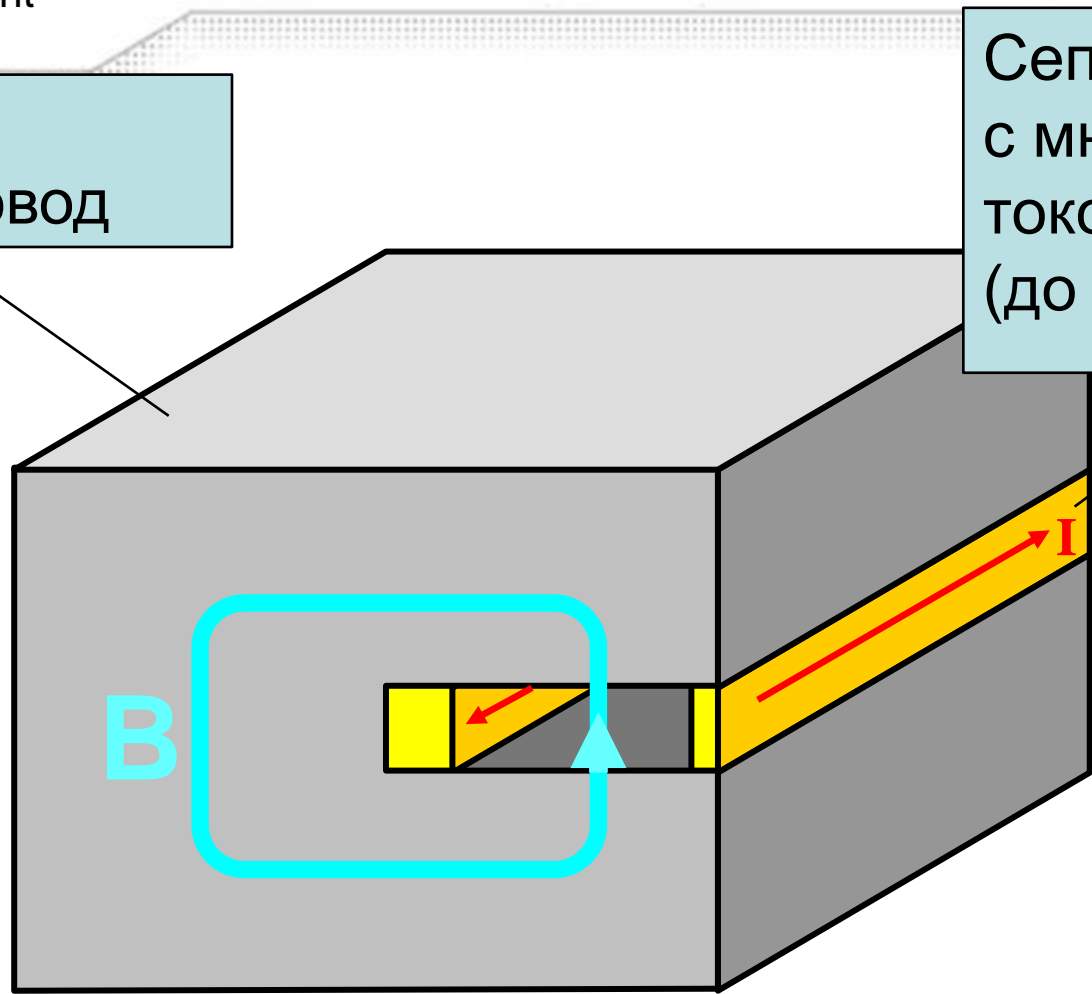


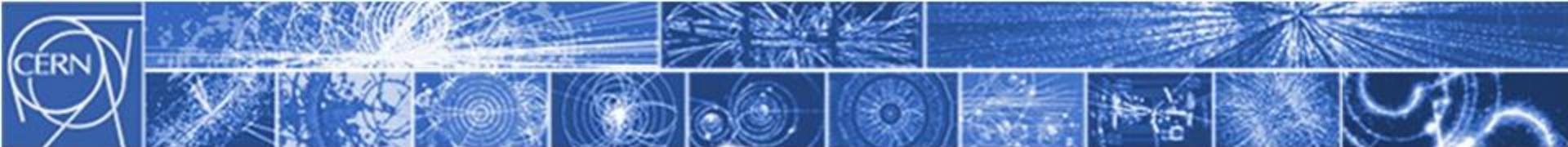


Магнитен септум

С-образен магнитопровод

Септум проводник с много висока токова плътност (до 100 A/mm^2)

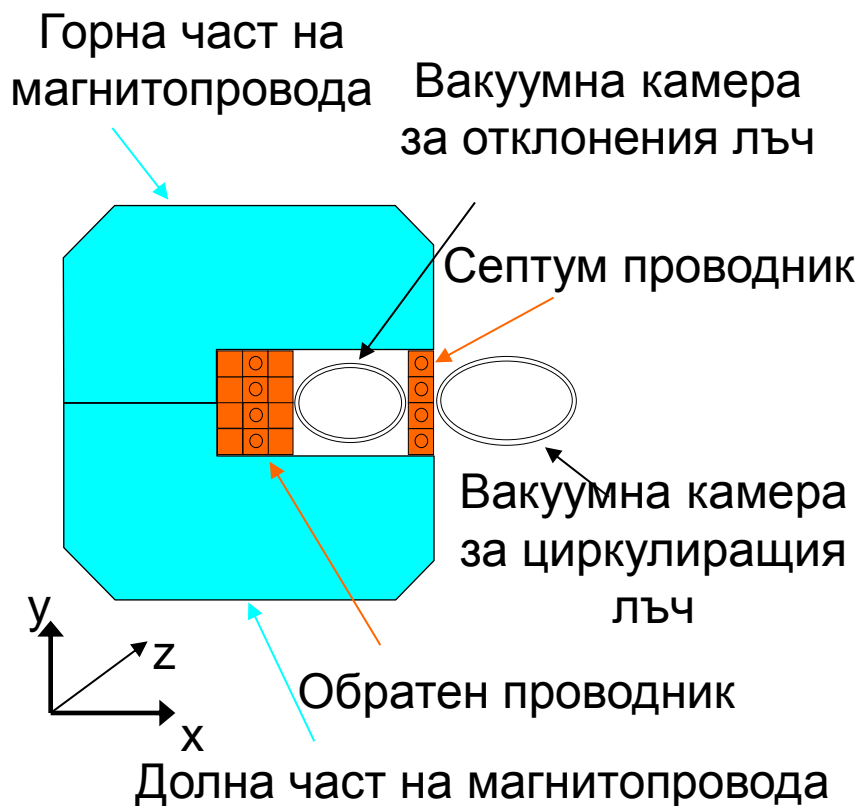




TE

Technology
Department

Постояннотоков електромагнитен септум

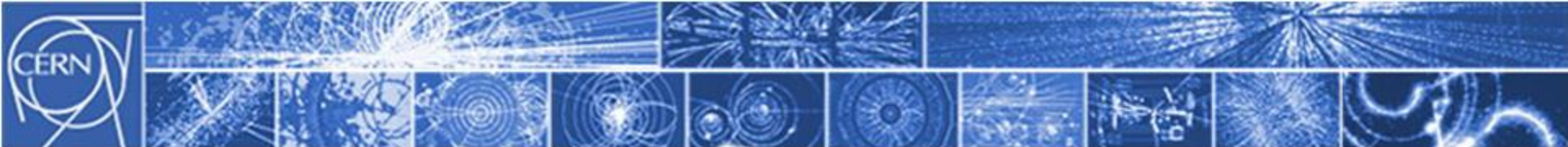


Захранван с постоянен ток (до 10 кА).

Обикновено многонавивкова намотка за намаляване на тока.

Намотката и магнитопровода се състоят от горна и долна част за да се осигури възможност за поставяне на вакуумната камера

Рядко във вакуум.



Technology
Department

Постояннотоков електромагнитен септум



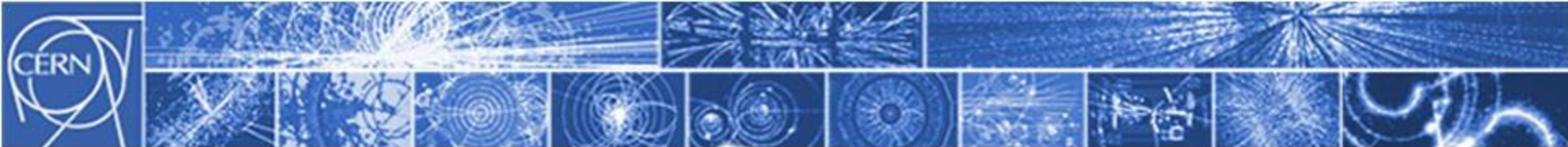
Циркулиращ лъч

Водно охлаждане

Електрически
връзки

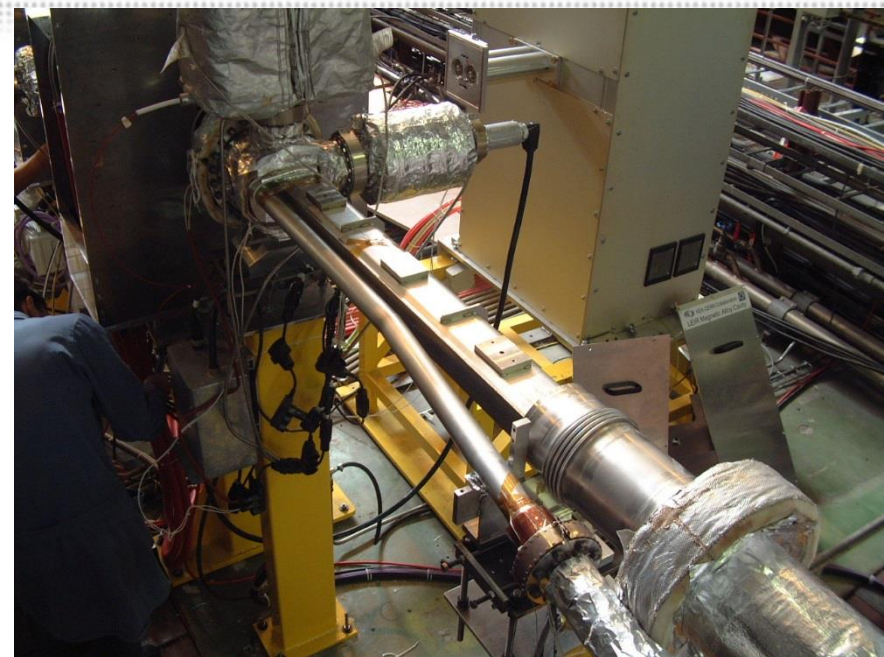
Типични характеристики:

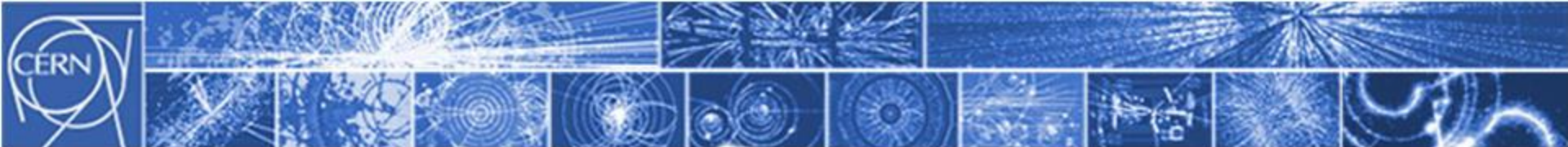
- Дължина на магнитопровода: 400 - 1200 mm;
- Въздушна междина: 25 - 60 mm;
- Дебелина на септума: 6 - 20 mm;
- Извън вакуум;
- Шихтован магнитопровод;
- Многонавивкова намотка с водно охлаждане(12 - 60 l/min.);
- Ток: 1 - 10 kA;
- Захранван от управляем изправител;
- Консумация: 10 - 100 kW !.



Technology
Department

Вакуумна камера (SMH40 в LEIR)



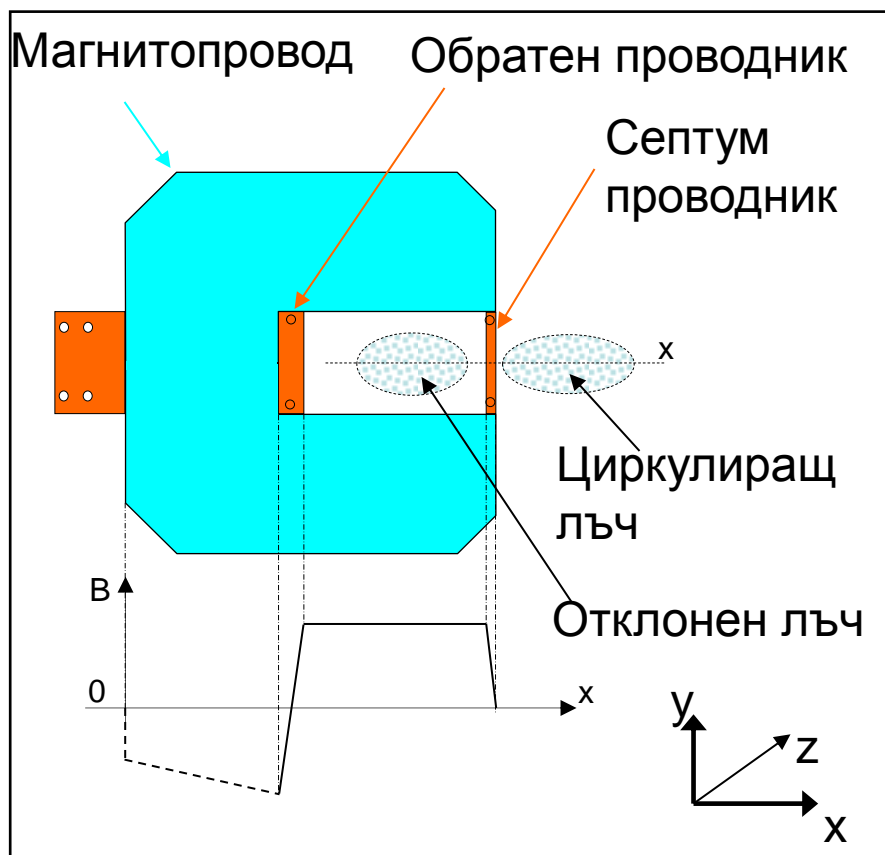


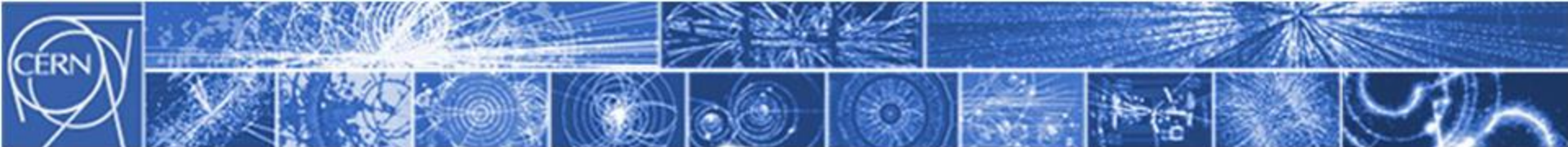
TE

Technology
Department

Пулсиращ електромагнитен септум

- Захранван с полу-синусоида с полупериод от порядъка на 3 ms.
- Намотката е с една навивка за намаляване на индуктивността и водно охлаждане.
- Трансформатор между захранващия блок и магнита.
- Инсталиран във вакуум със система за прецизно позициониране спрямо циркулиращия лъч.
- Инсталирането във вакуум помага за намаляване на разстоянието между септума и циркулиращия лъч
- Високи стойности на електродинамичните сили – изискват специална система за фиксиране на намотката и абсорбиране на вибрациите



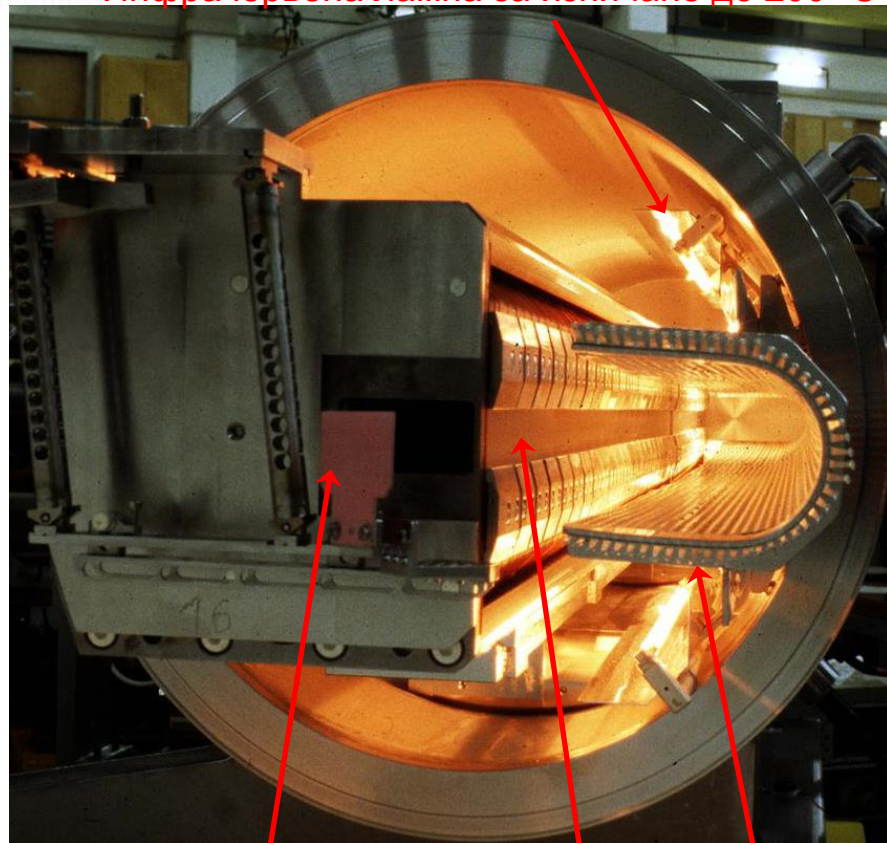


TE

Technology
Department

Пулсиращ електромагнитен септум

Инфрочервена лампа за изпичане до 200 °C



Сензор за определяне положението на лъча

Септум

Екран за циркулиращия лъч

Типични характеристики:

- Дължина на магнитопровода: 300 - 1200 mm;
- Въздушна междина: 18 - 60 mm;
- Дебелина на септума: 3 - 20 mm;
- Вакуум ($\sim 10^{-9}$ mbar);
- Шихтован магнитопровод (0.35 - 1.5mm);
- Еднонавивкова намотка с водно охлаждане (1 - 80 l/min.);
- Ток (полу-синусоида): 7 - 40 kA;
- Захранван с разряд на кондензатор, наслагване на 1ви и 3ти хармоник и активни филтри за увеличаване на стабилността;

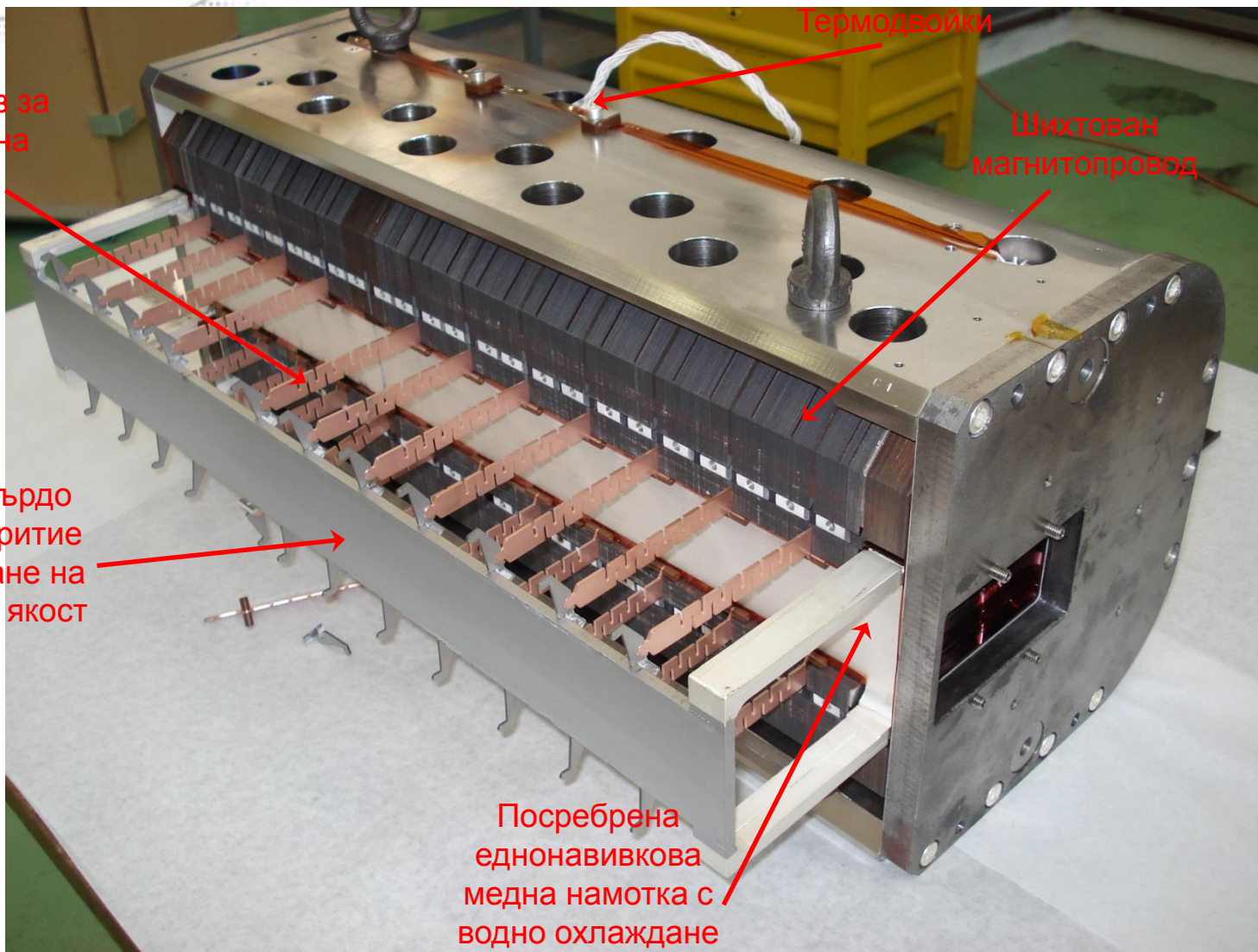


Technology
Department

Пулсиращ електромагнитен септум

Система от пружини от берилиев бронз за абсорбиране на вибрациите

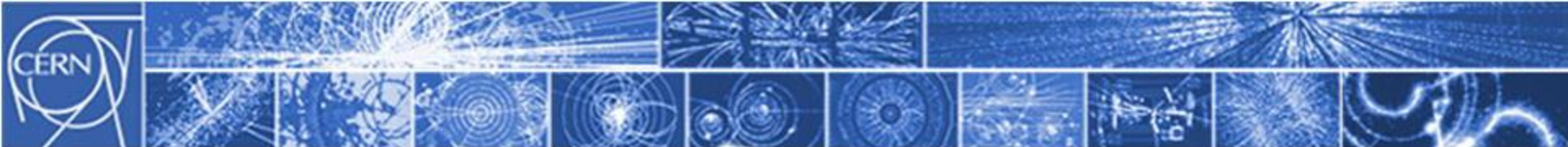
Септум с твърдо хромово покритие за увеличаване на механичната якост



Термодвойки

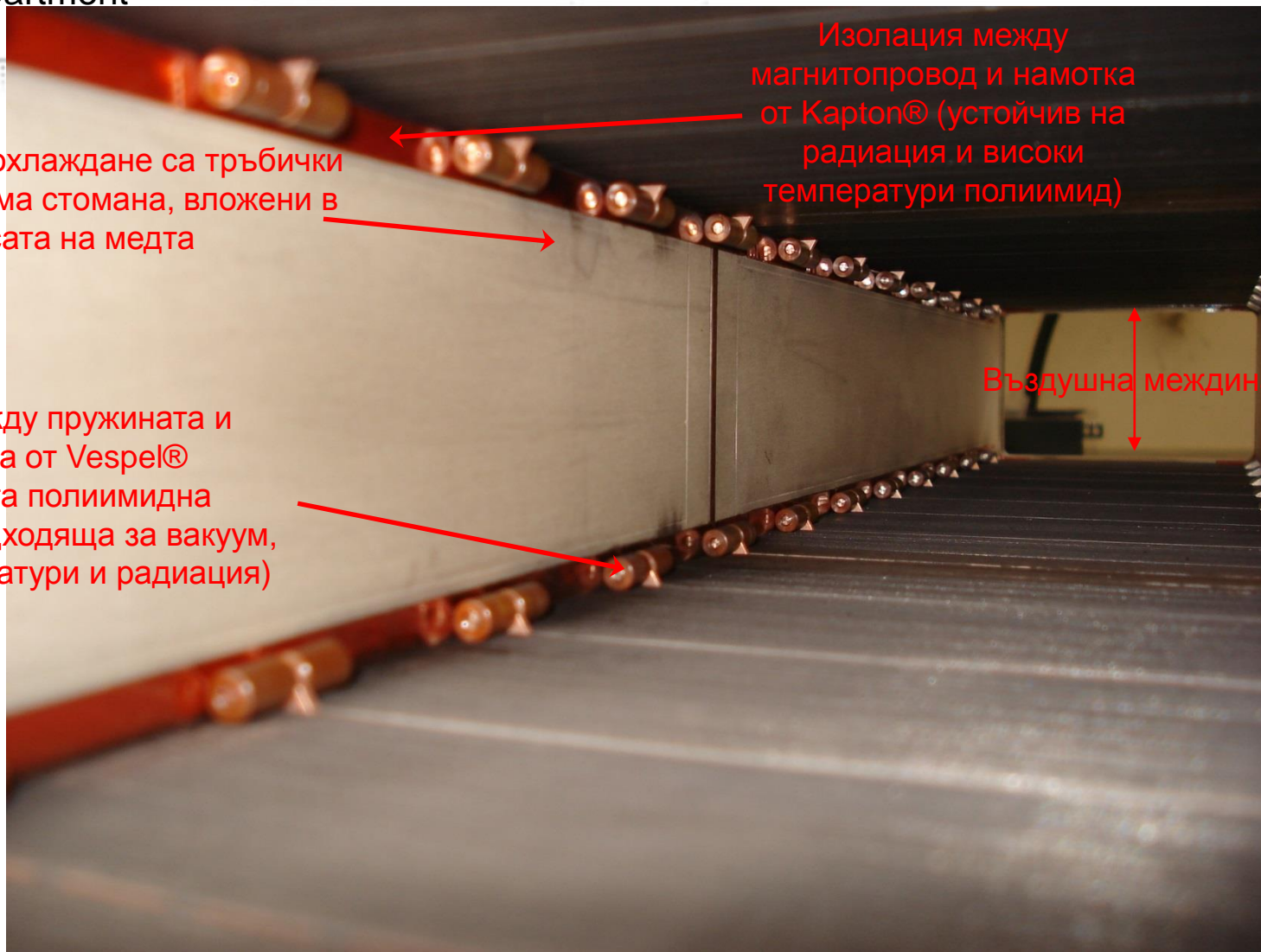
Шихтован магнитопровод

Посребрена
еднонавивкова
медна намотка с
водно охлаждане



Technology
Department

Пулсиращ електромагнитен септум

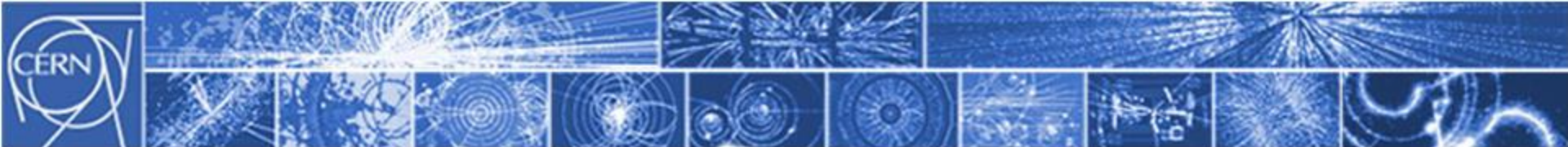


Каналите за охлаждане са тръбички от неръждаема стомана, вложени в масата на медта

Изоляция между магнитопровод и намотка от Kapton® (устойчив на радиация и високи температури полиимид)

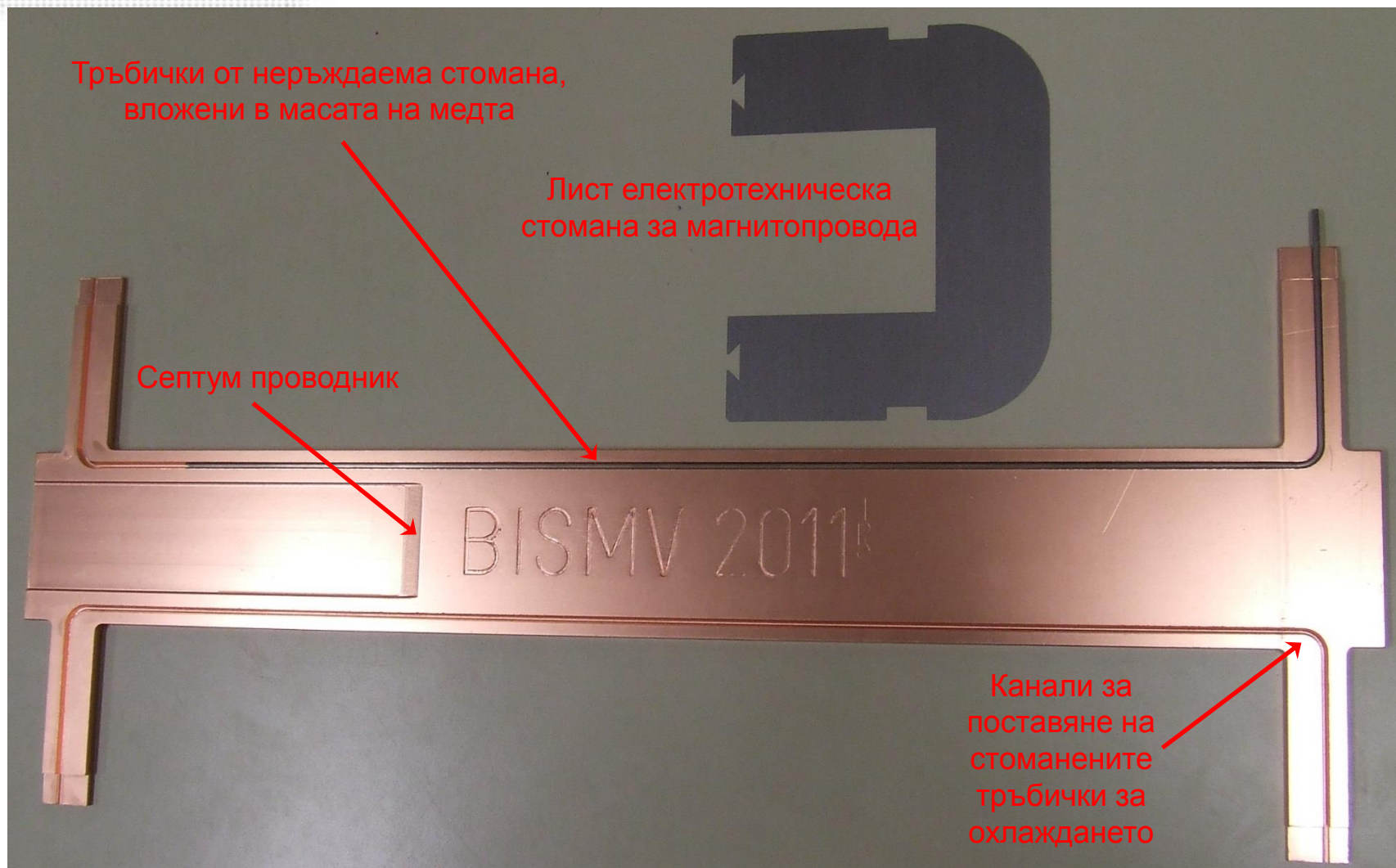
Контакт между пружината и намотката от Vespel® (свръхчиста полиимидна пластмаса, подходяща за вакуум, високи температури и радиация)

Въздушна междина



Technology
Department

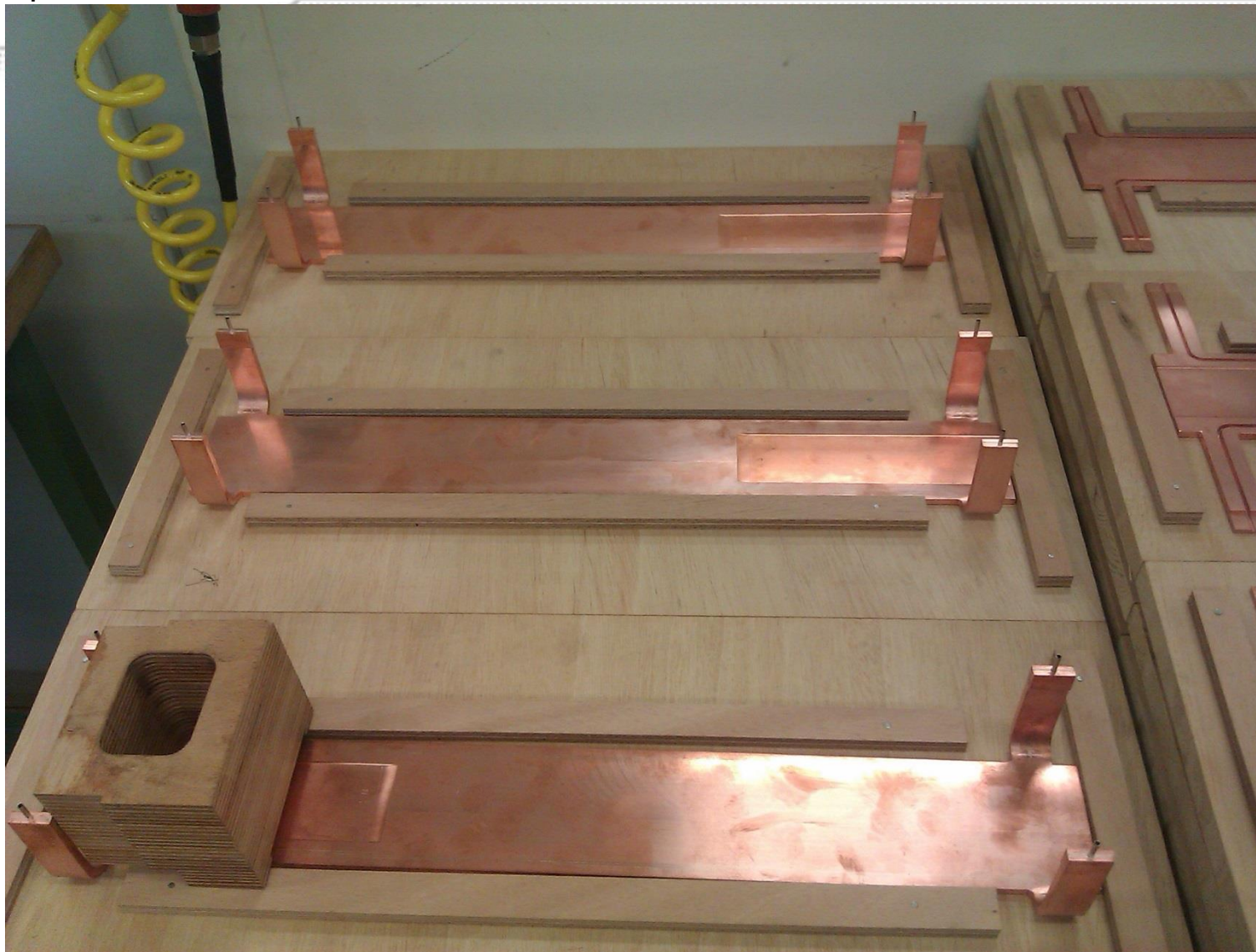
Пулсирац електромагнитен септум

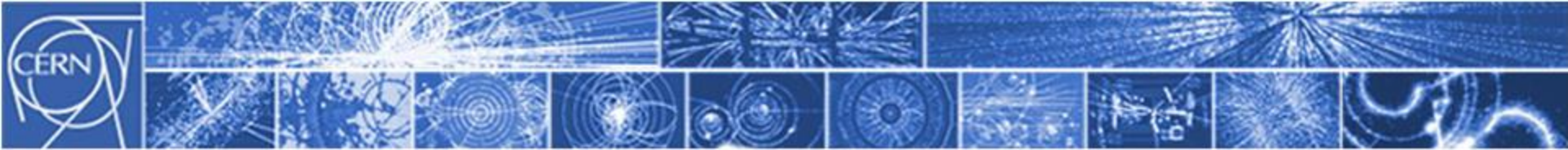




Technology
Department

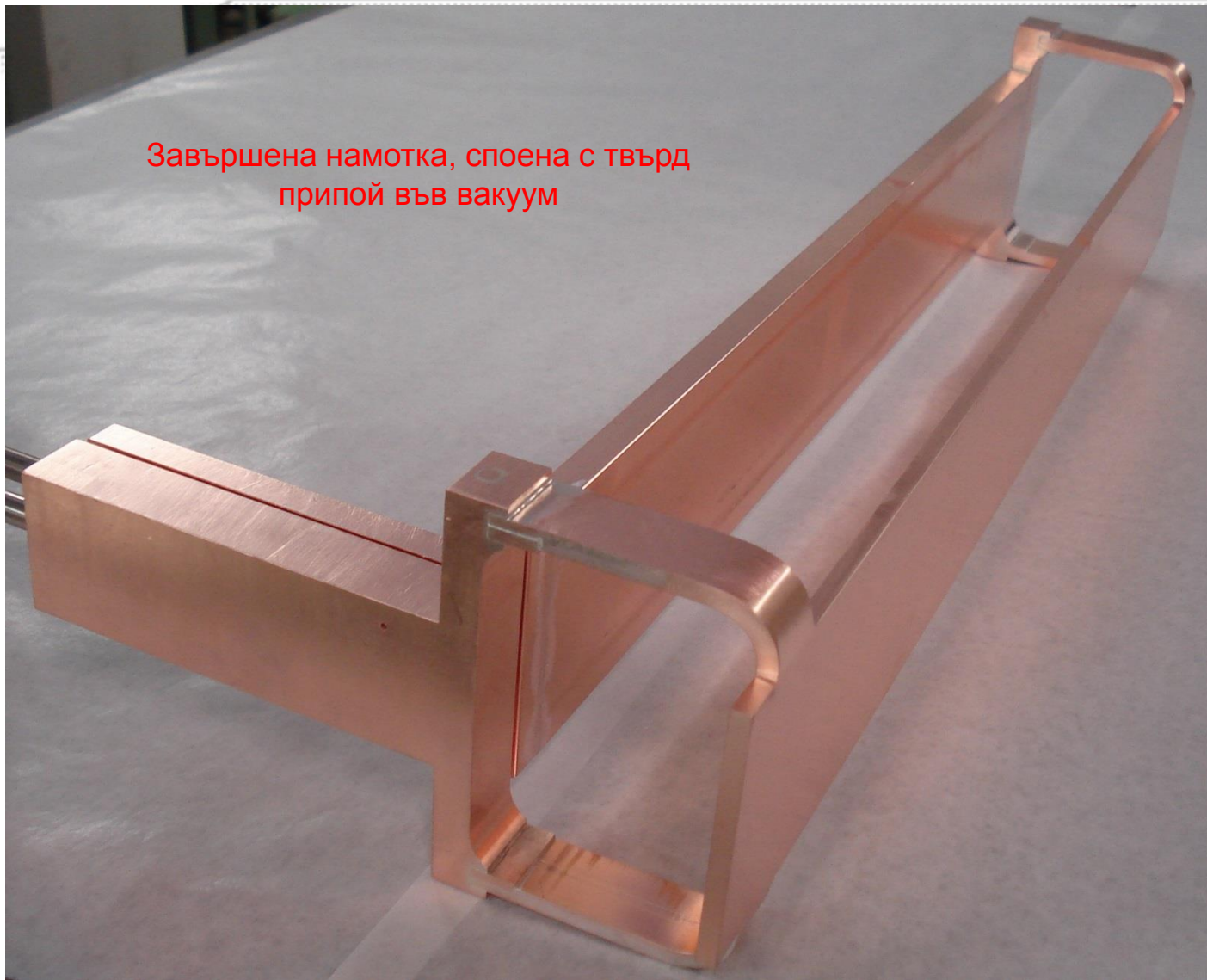
Пулсирац електромагнитен септум



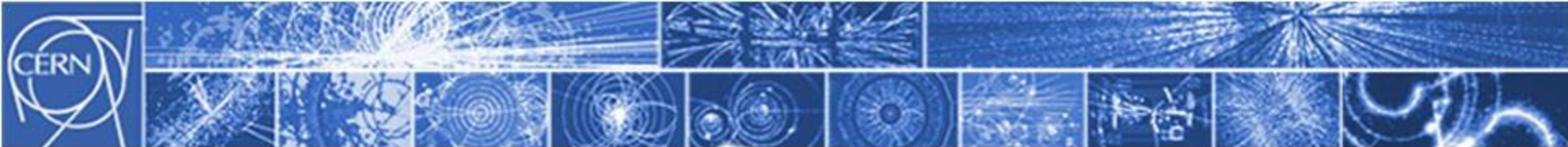


Technology
Department

Пулсиращ електромагнитен септум

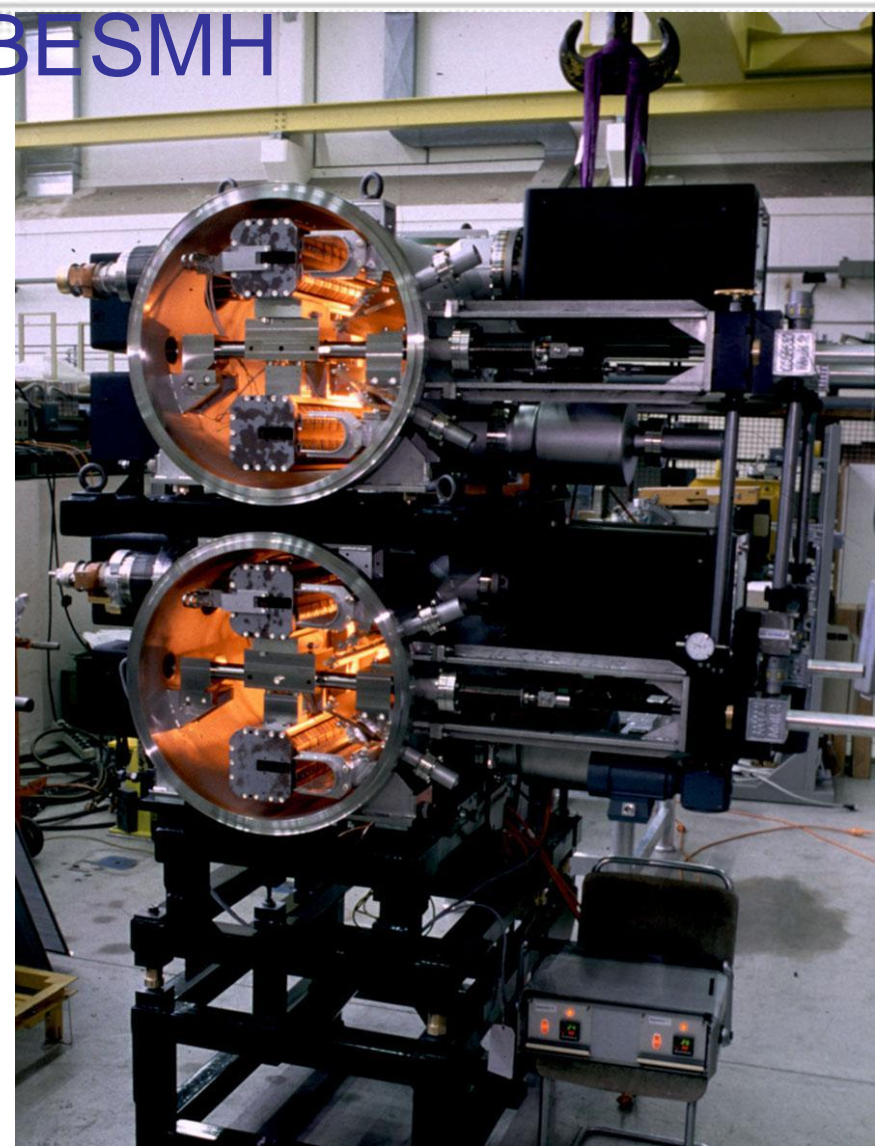
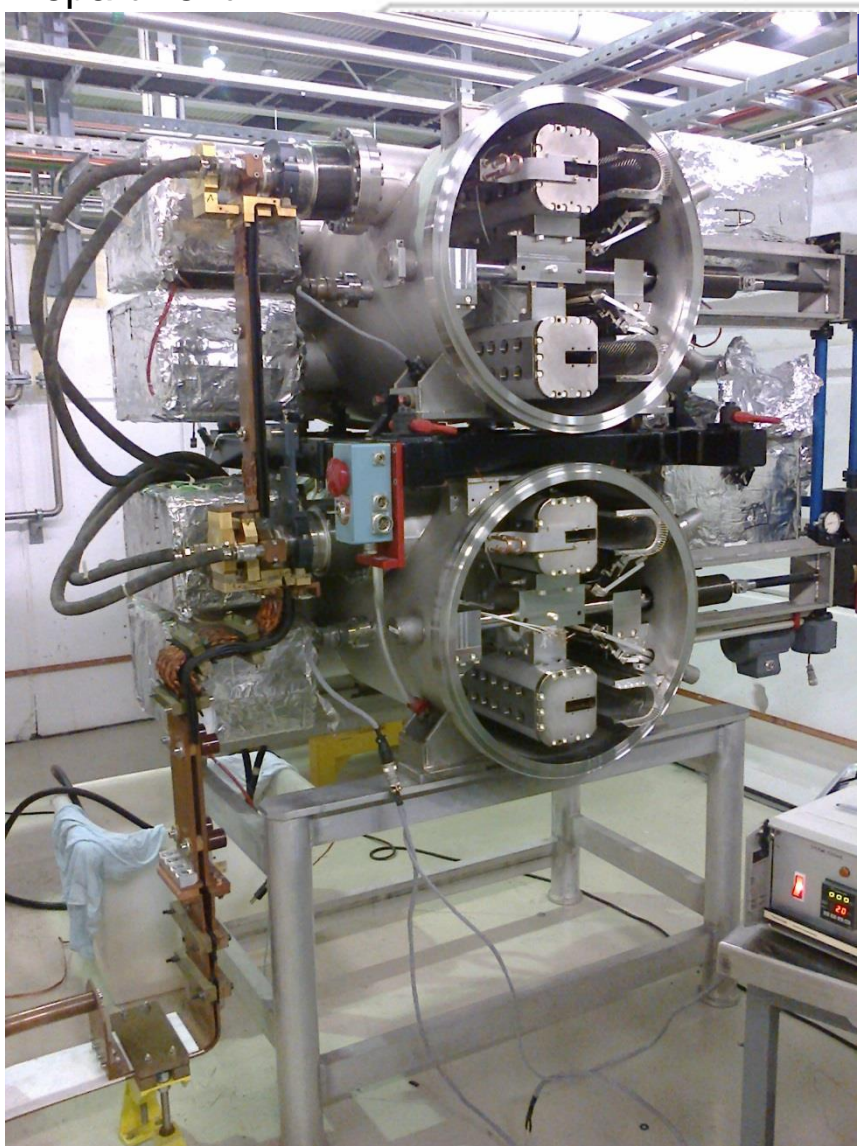


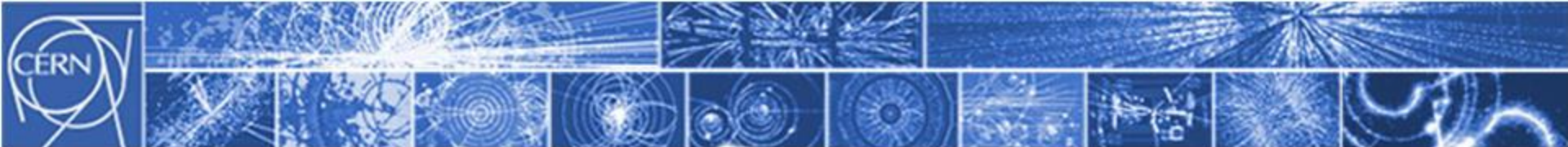
Завършена намотка, споена с твърд
припой във вакуум



Technology
Department

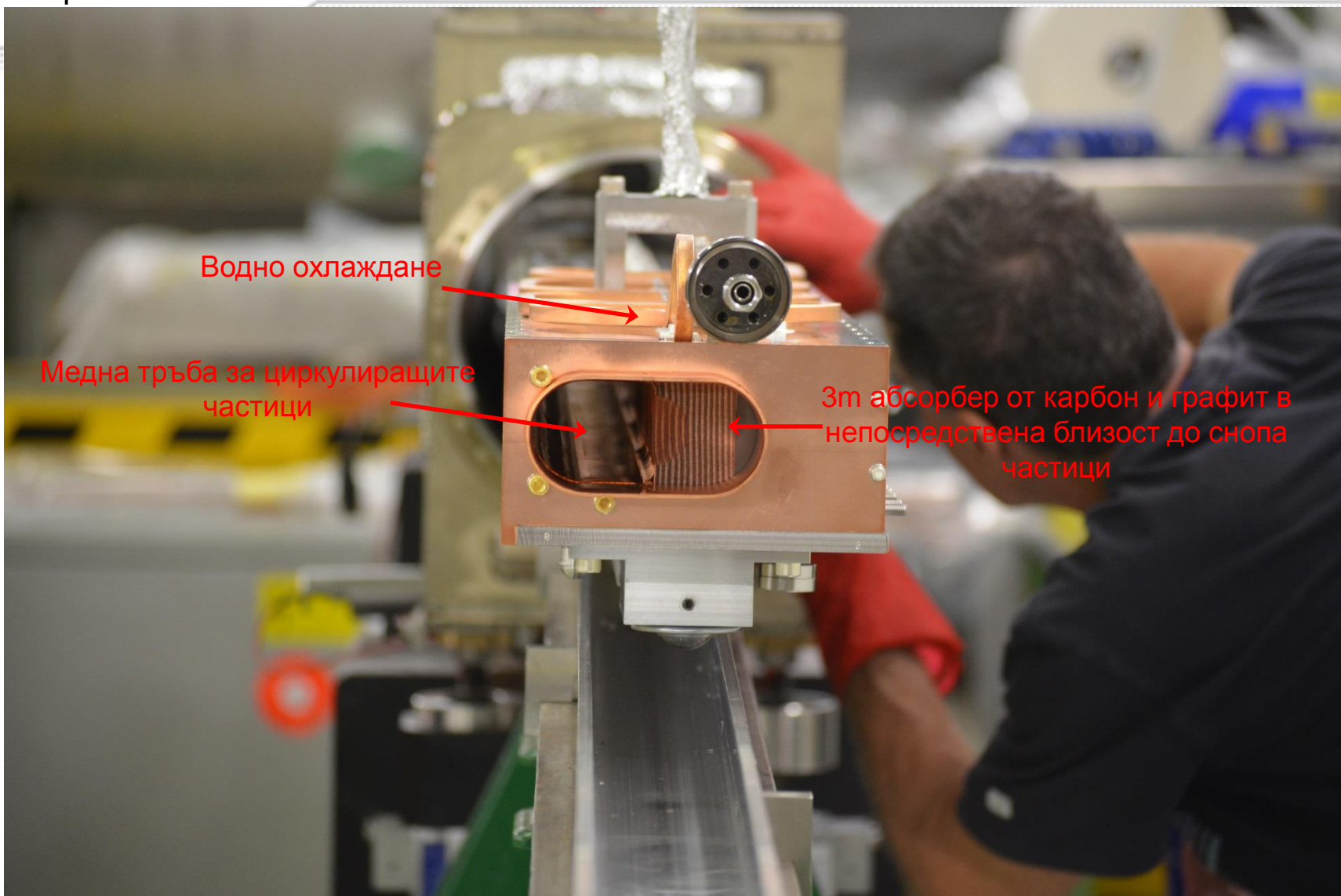
Пулсирац електромагнитен септум BESMН





Technology
Department

Защитни абсорбери



Водно охлаждане

Медна тръба за циркулиращите
частици

3m абсорбер от карбон и графит в
непосредствена близост до снопа
частици



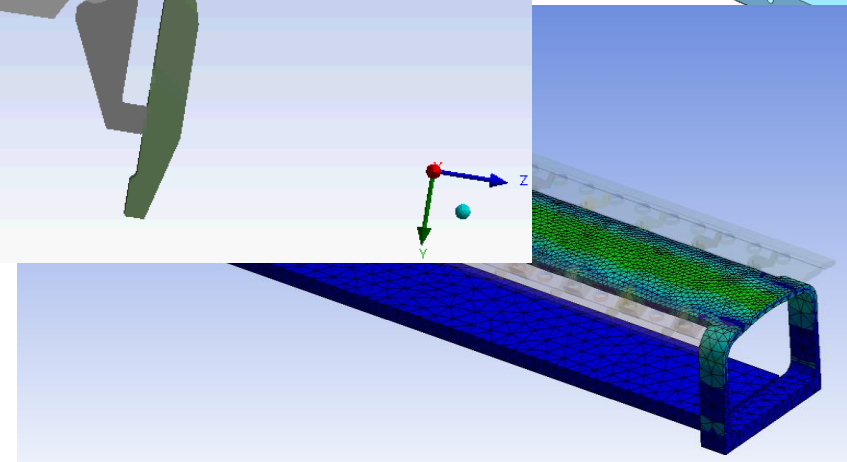
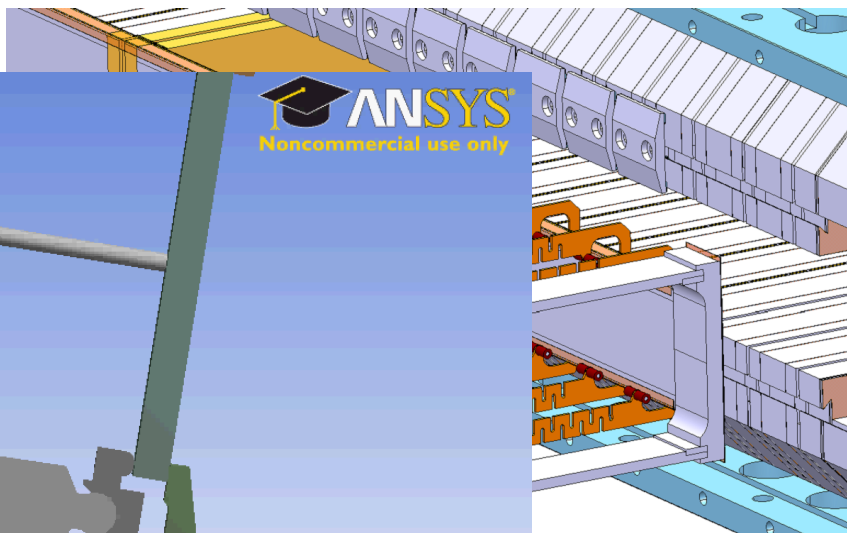
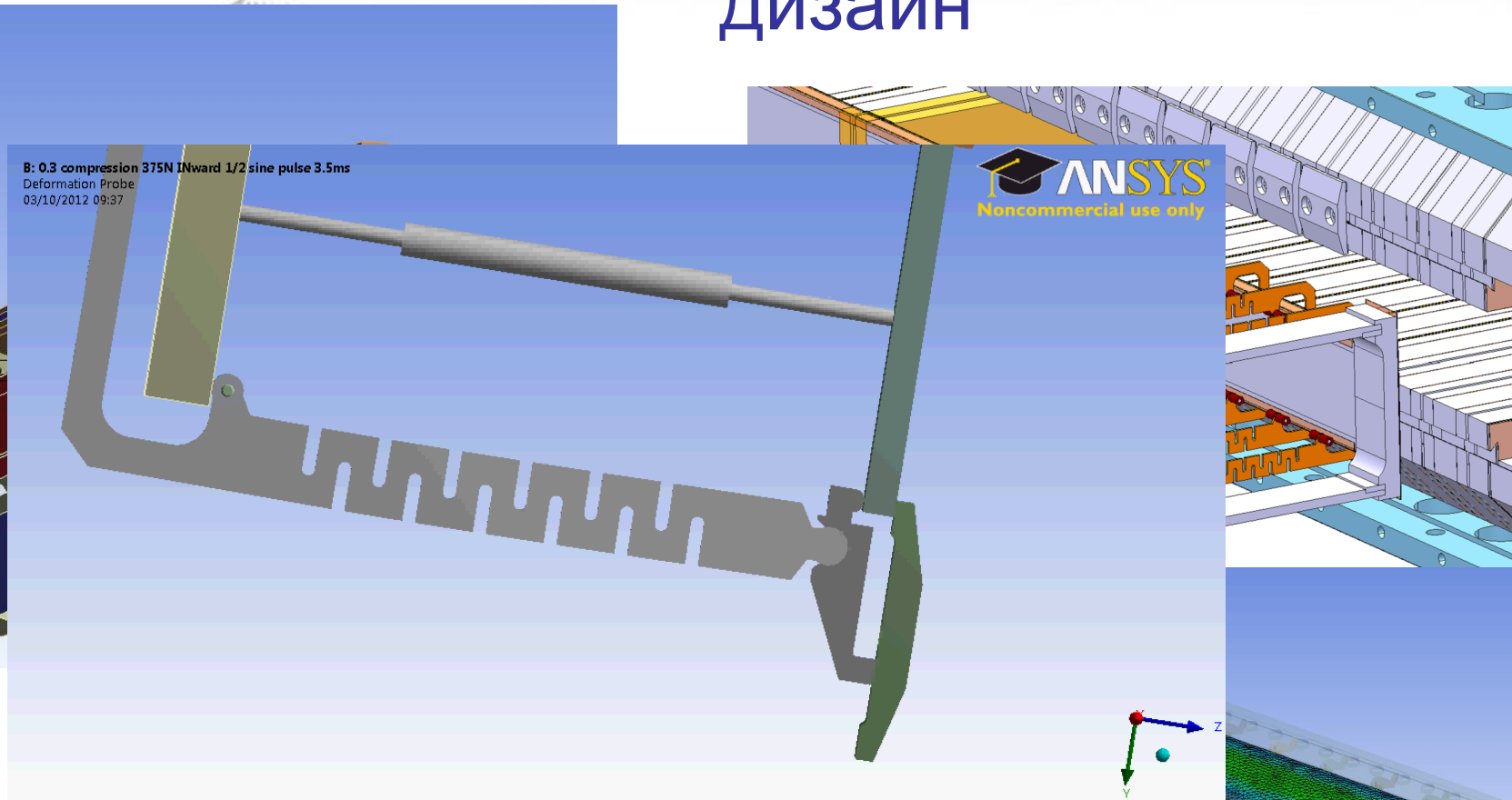
Technology
Department

Механичен и електромагнитен дизайн

A: 1570N outward force
Static Structural
Time: 1. s
Items: 10 of 24 indicated
18/01/2013 16:45

- A Force: 1570. N
- B Fixed Support
- C Fixed Support 2
- D Force 2: 122. N
- E Force 3: 122. N
- F Force 4: 122. N
- G Force 5: 122. N
- H Force 6: 122. N
- I Force 7: 122. N
- J Force 8: 122. N

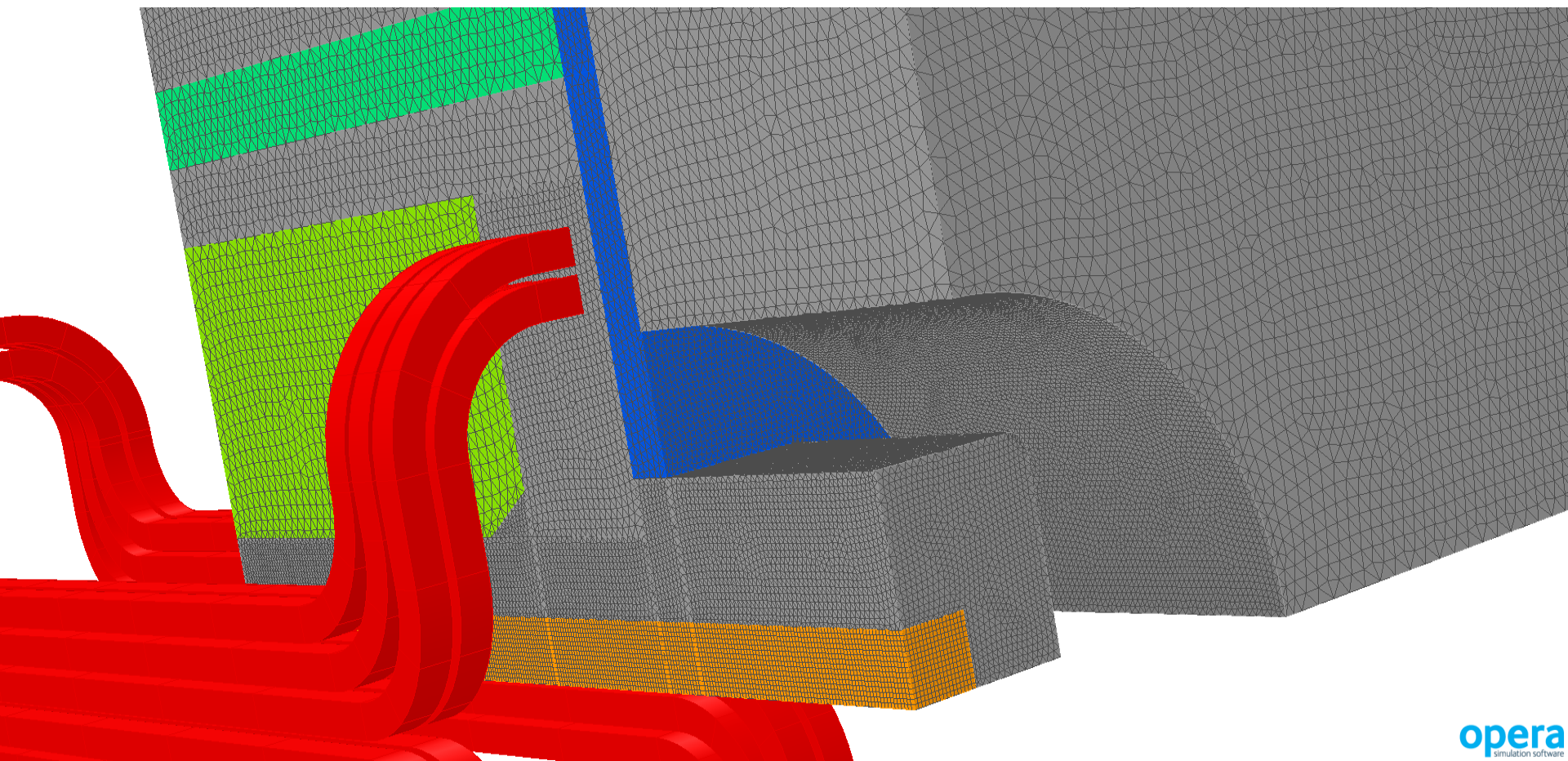
B: 0.3 compression 375N INward 1/2 sine pulse 3.5ms
Deformation Probe
03/10/2012 09:37

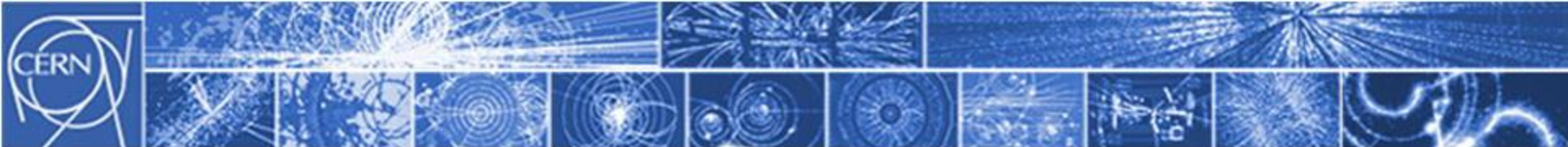




Technology
Department

Механичен и електромагнитен дизайн

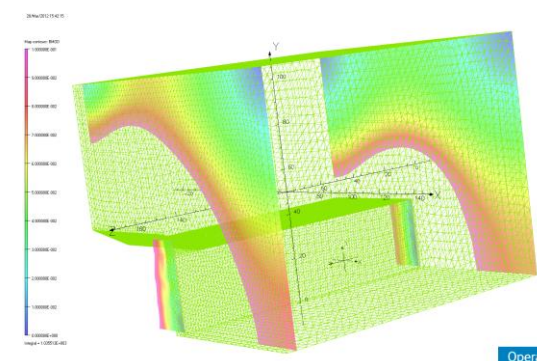




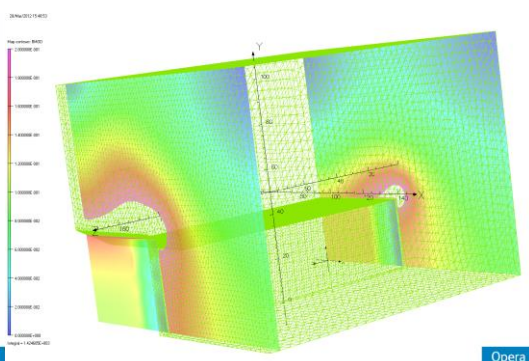
TE

Technology
Department

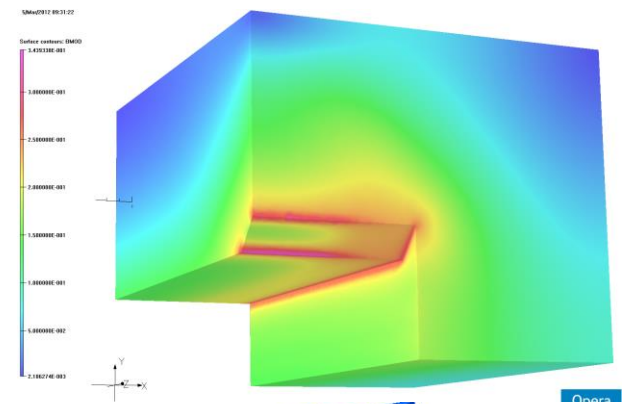
Механичен и електромагнитен дизайн



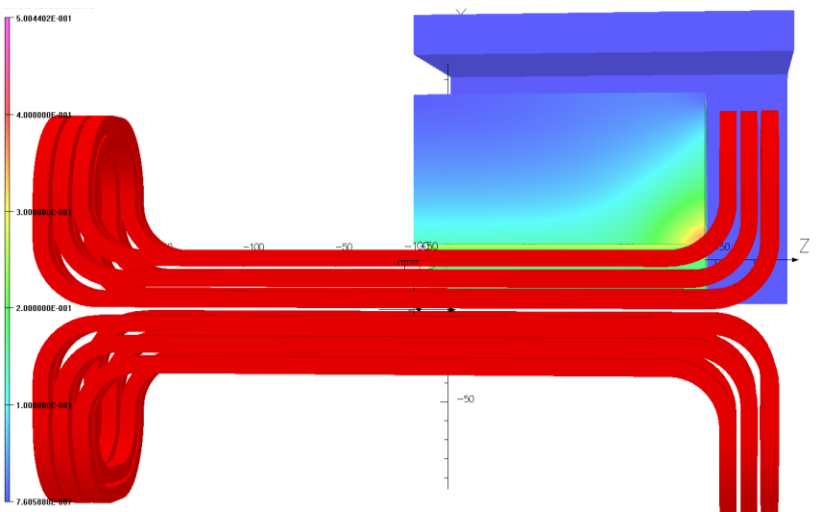
Opera



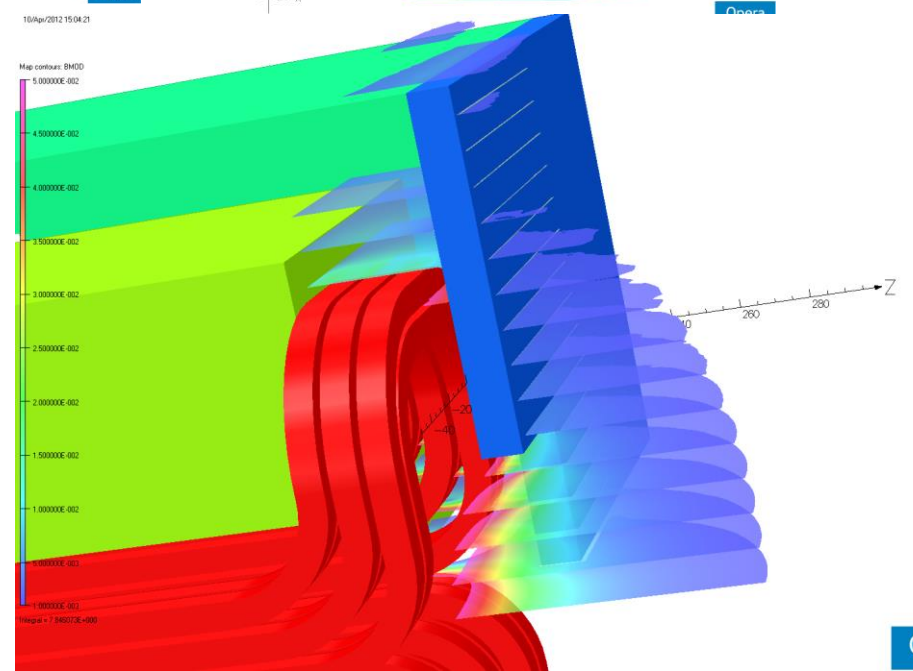
Opera



Opera



Opera



Opera