

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.

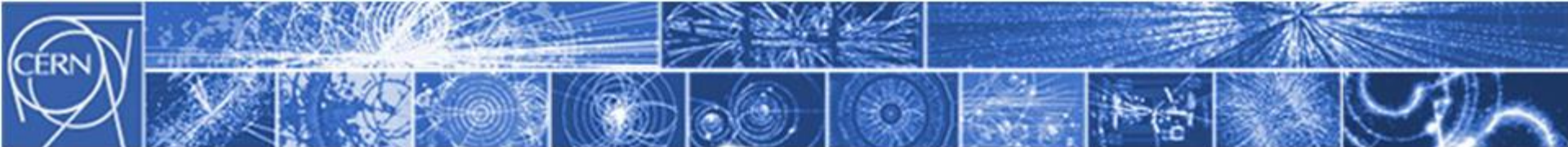
Системи за трансфер на частиците в комплекса ускорители на ЦЕРН.

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

04.10.2016



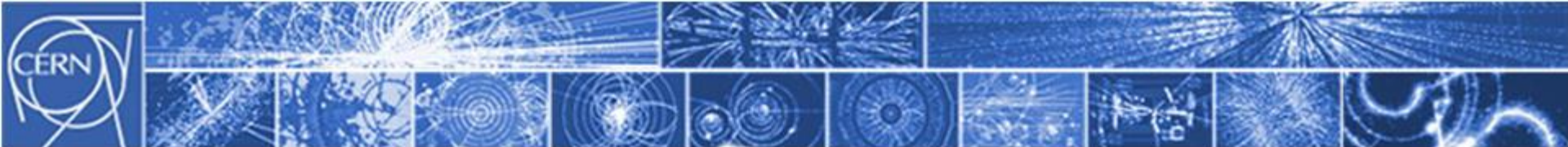
Сила на Лоренц

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

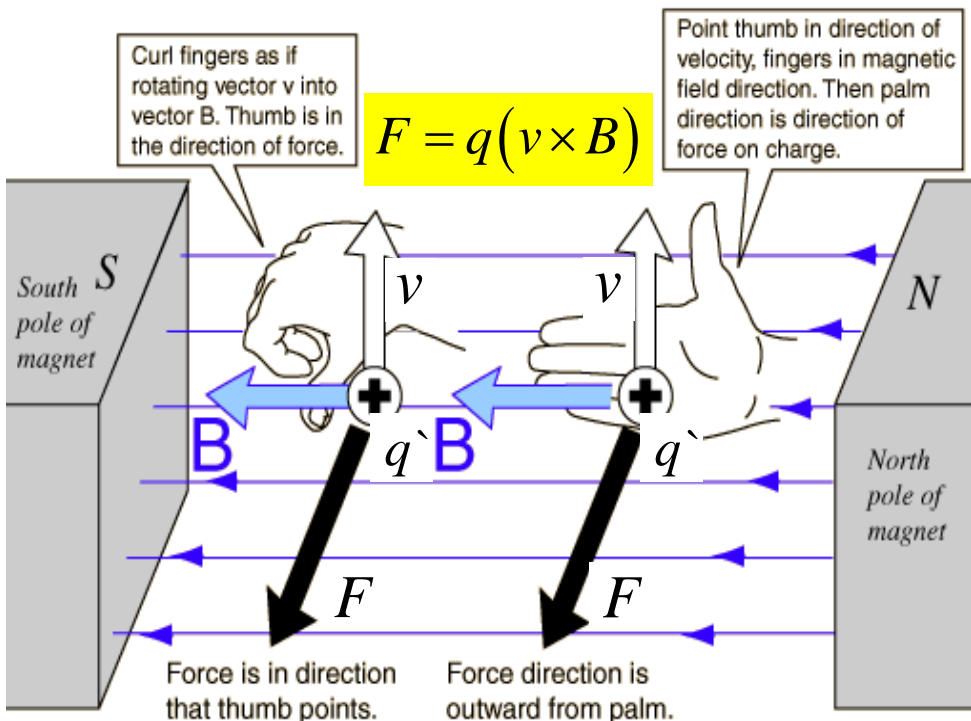
Извод: поради наличието на векторно произведение, магнитната компонента на силата не извършва работа, т.е. не води до промяна на кинетичната енергия на частицата – използваме я за промяна на траекторията. Електрическата компонента приложена напречно води до промяна на траекторията, а надлъжно – до промяна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



Technology Department

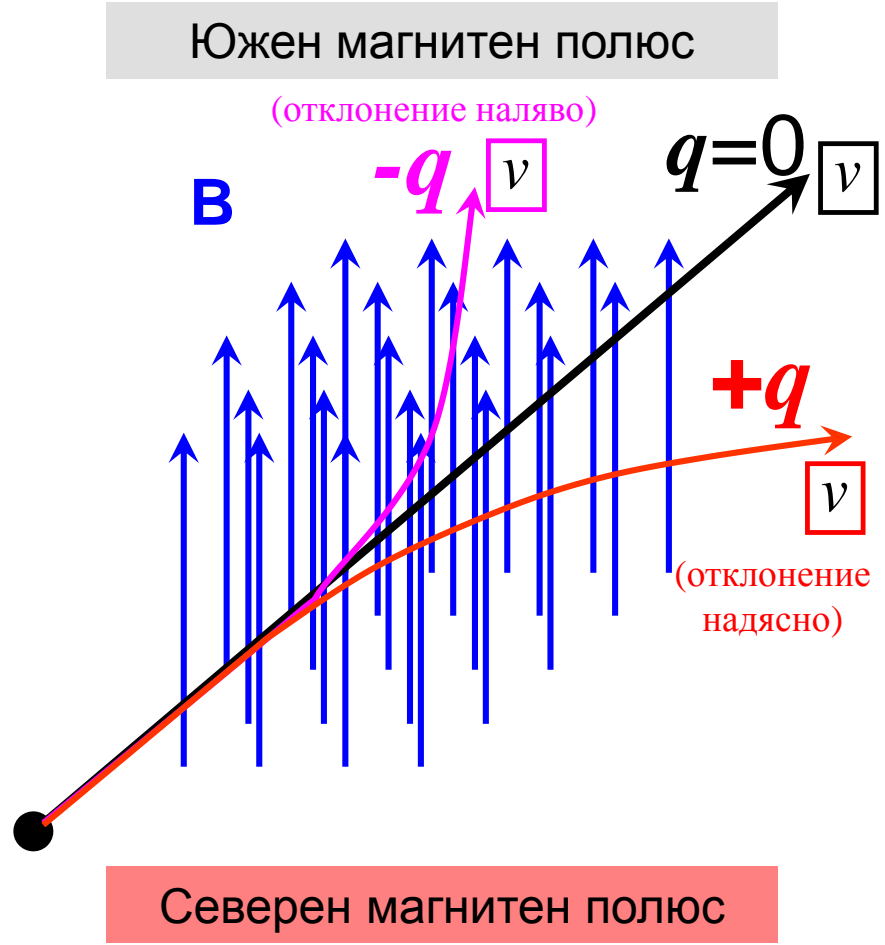
Магнитна компонента на силата

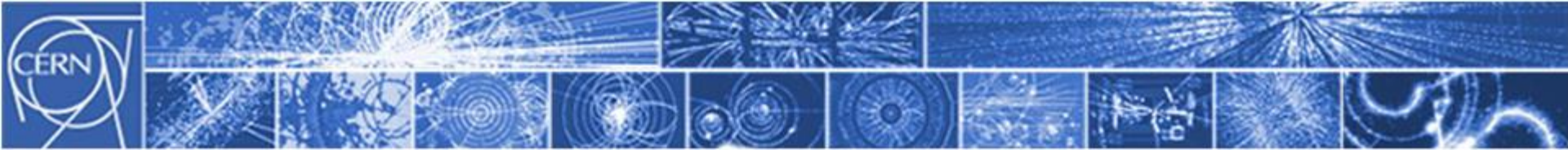
Правило на дясната ръка



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

Зарядът се движи в равнината на листа

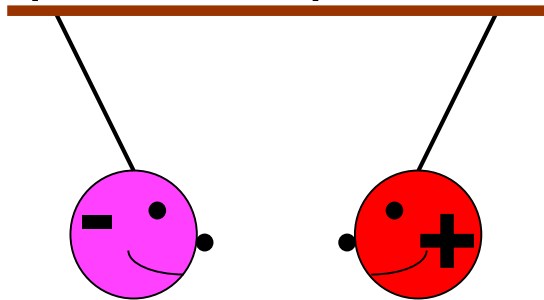




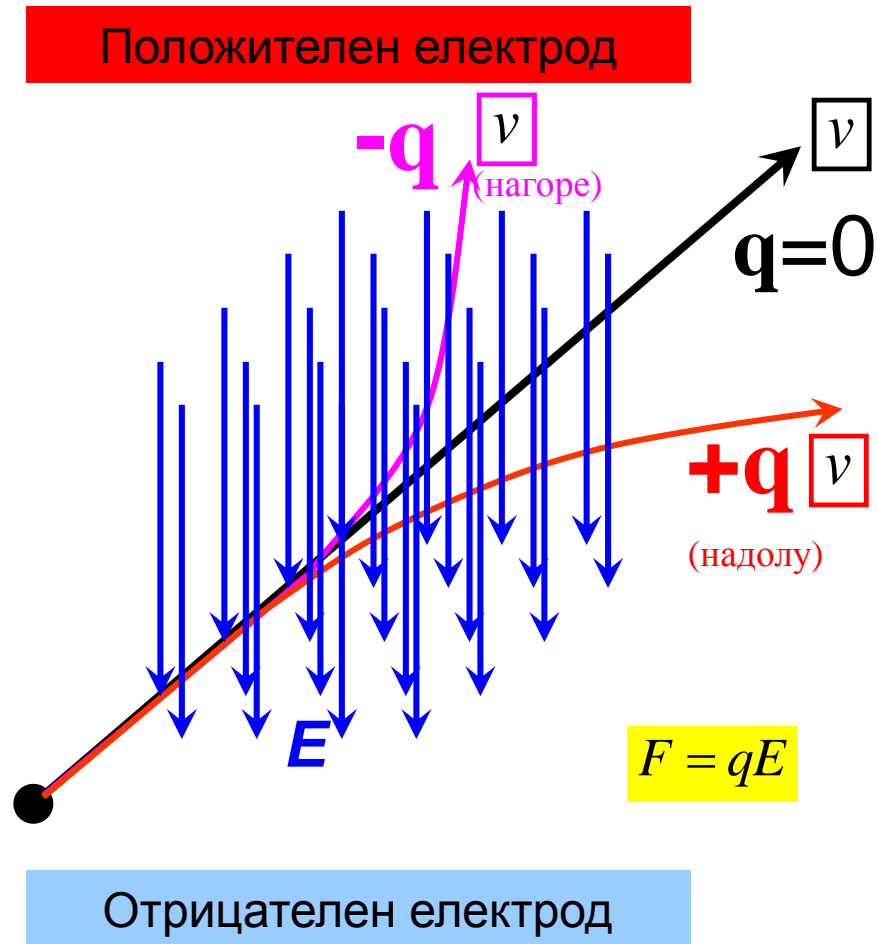
Technology
Department

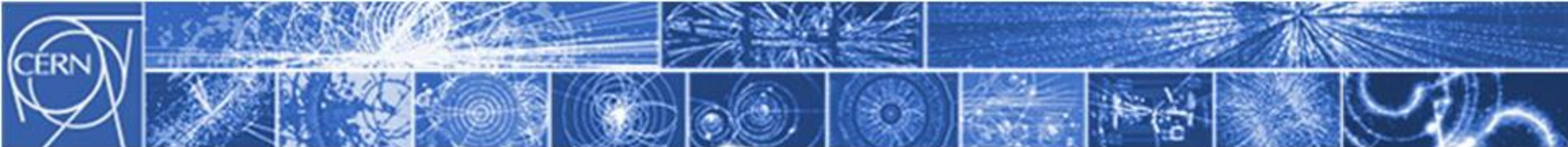
Електрическа компонента на силата

Противоположните
заряди се привличат!



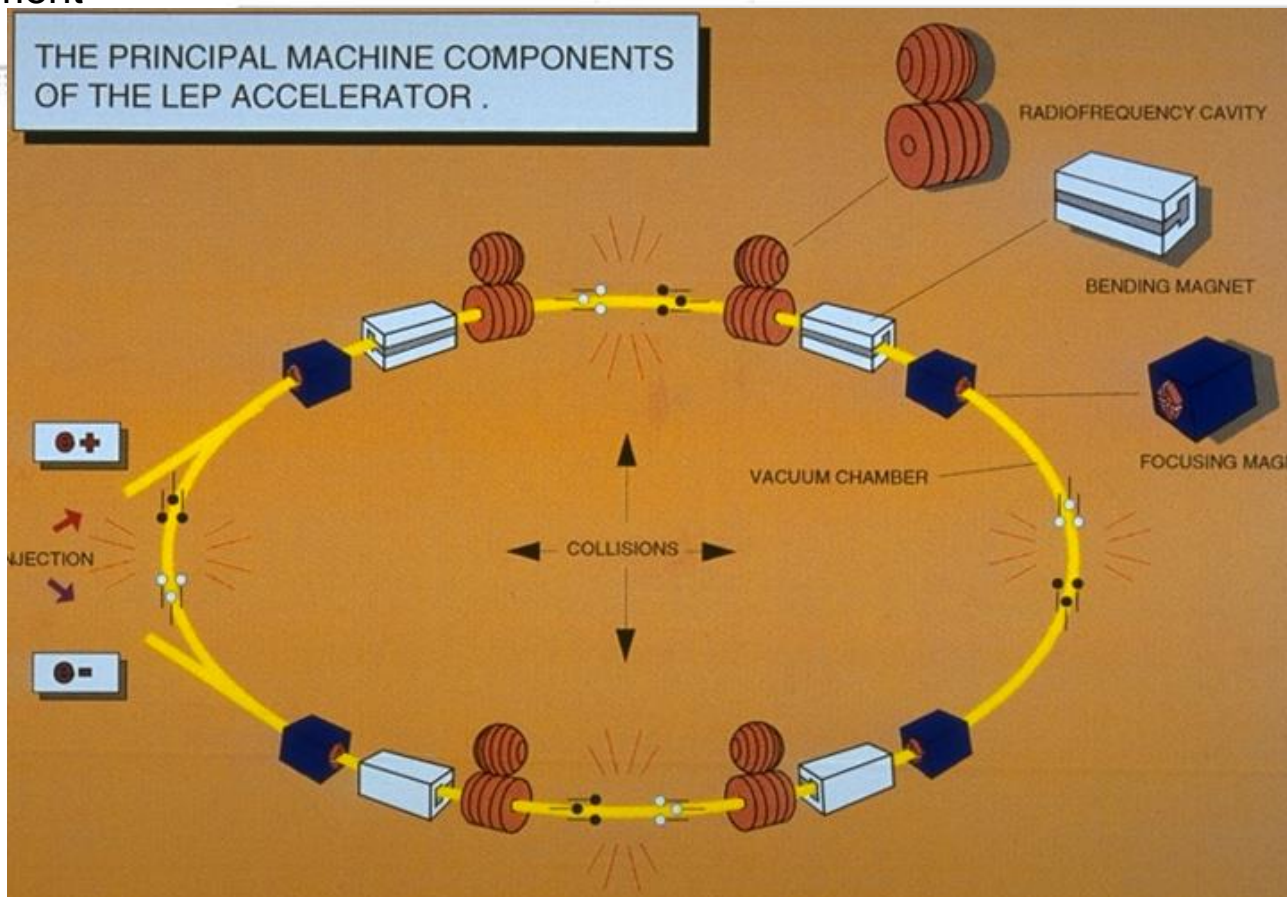
Зарядът се движи в равнината на листа,
електрическото поле е напречно на
траекторията на частицата



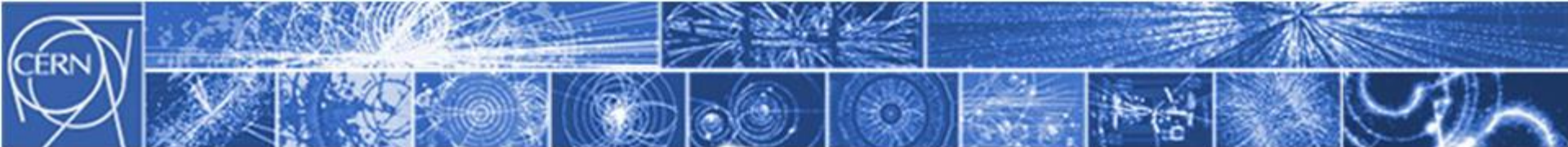


Technology
Department

Принцип на синхротрона

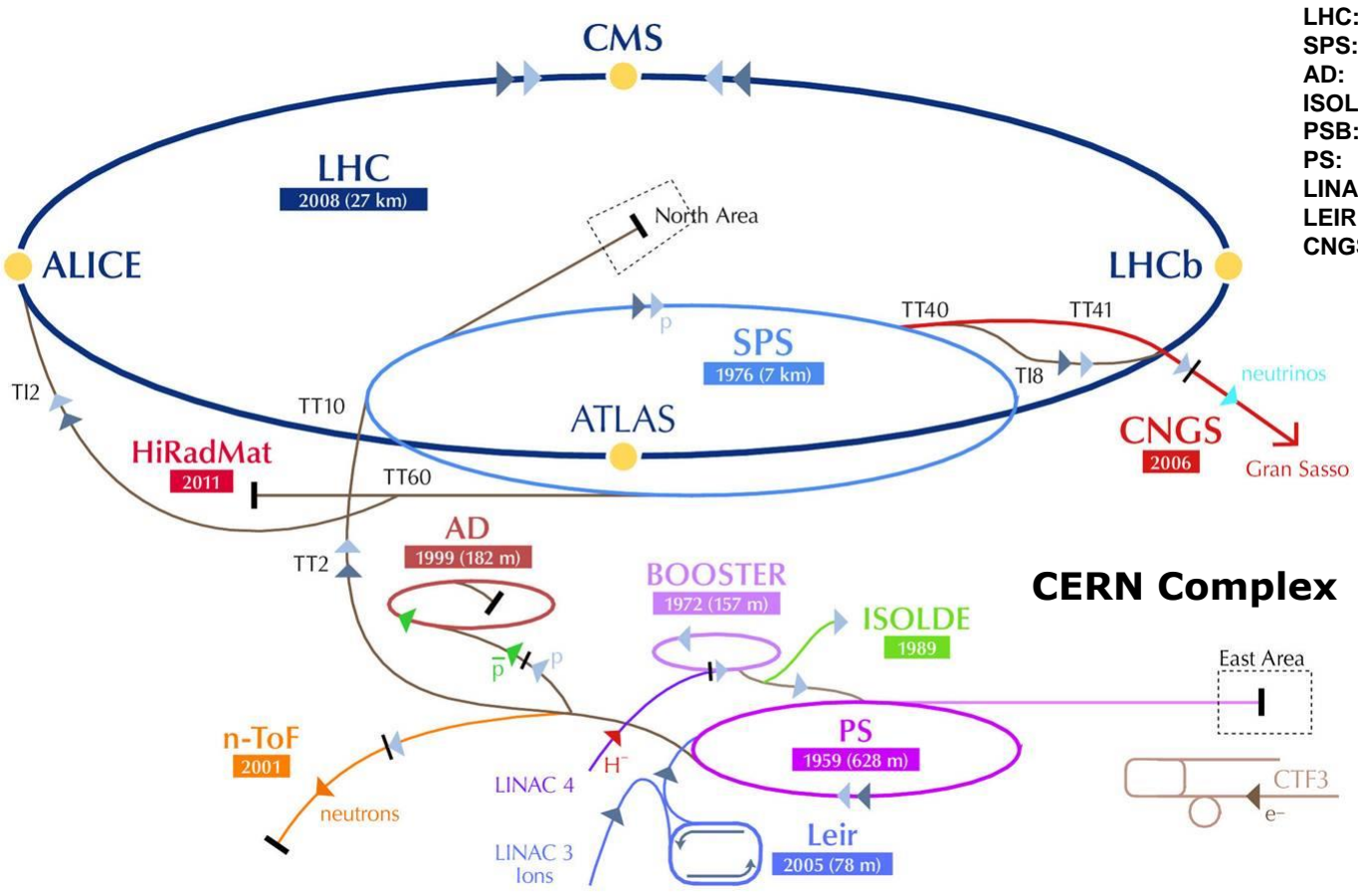


Заредените частици се задържат в кръгови траектории чрез двуполюсни магнитни полета, синхронизирани с ускоряващите електрически полета по такъв начин, че всяка промяна на енергията на частицата води до промяна на магнитното поле, така че траекторията да се запазва постоянна.



Technology Department

Трансфер на частиците

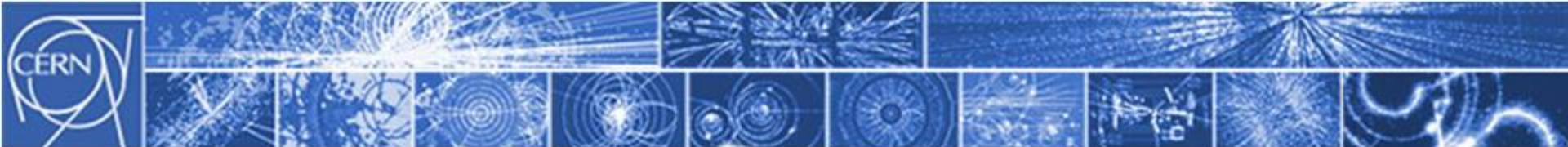


- LHC: Large Hadron Collider
- SPS: Super Proton Synchrotron
- AD: Antiproton Decelerator
- ISOLDE: Isotope Separator Online Device
- PSB: Proton Synchrotron Booster
- PS: Proton Synchrotron
- LINAC: LINear Accelerator
- LEIR: Low Energy Ring
- CNGS: CERN Neutrino to Gran Sasso

CERN Complex

Необходим е трансфер между отделните машини

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



TE

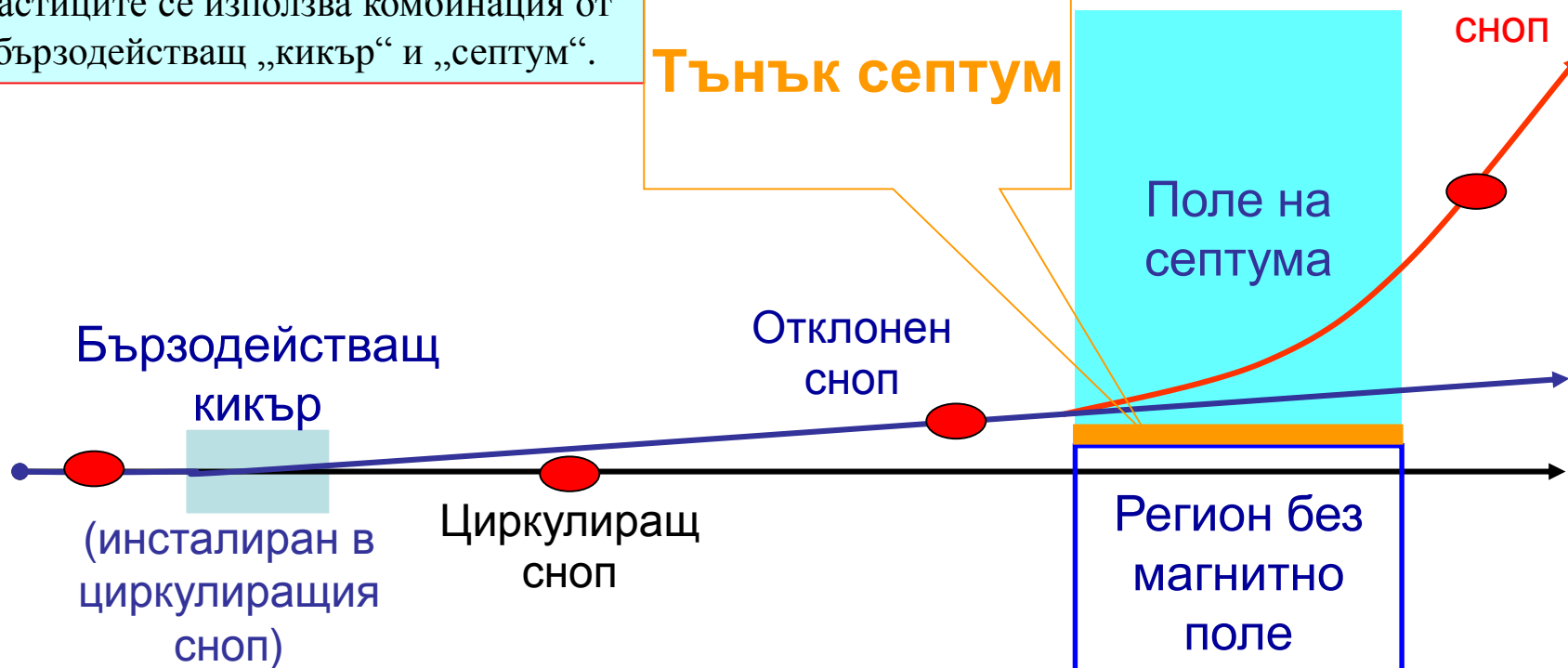
Technology Department

Трансфер на лъча (снопа) частици

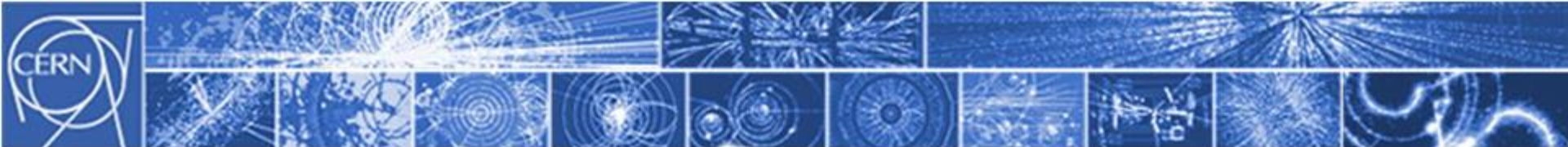
За инжектиране или екстрактиране на частиците се използва комбинация от бързодействащ „кикър“ и „септум“.

Тънък септум

Екстрактиран сноп

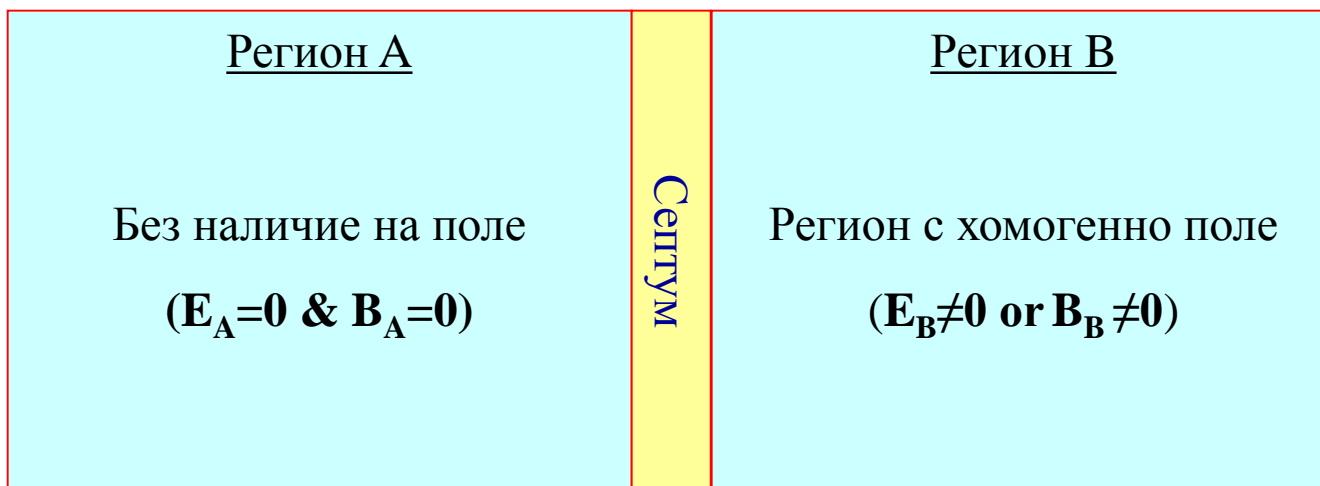


- Кикър – бързодействащ електромагнит даващ малко начално отклонение на снопа (няколко mrad) за отклоняване на траекторията в полето на септума;
- Септум – произвежда достатъчно силно магнитно поле за окончателното отклонение на снопа, като полетата на разсейване не трябва да влияят на циркулиращия сноп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

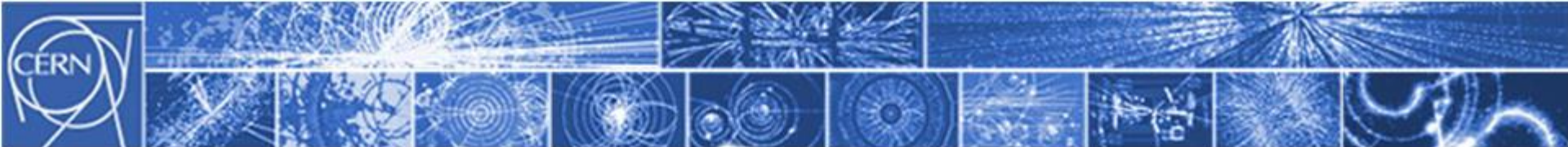


Септа

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:

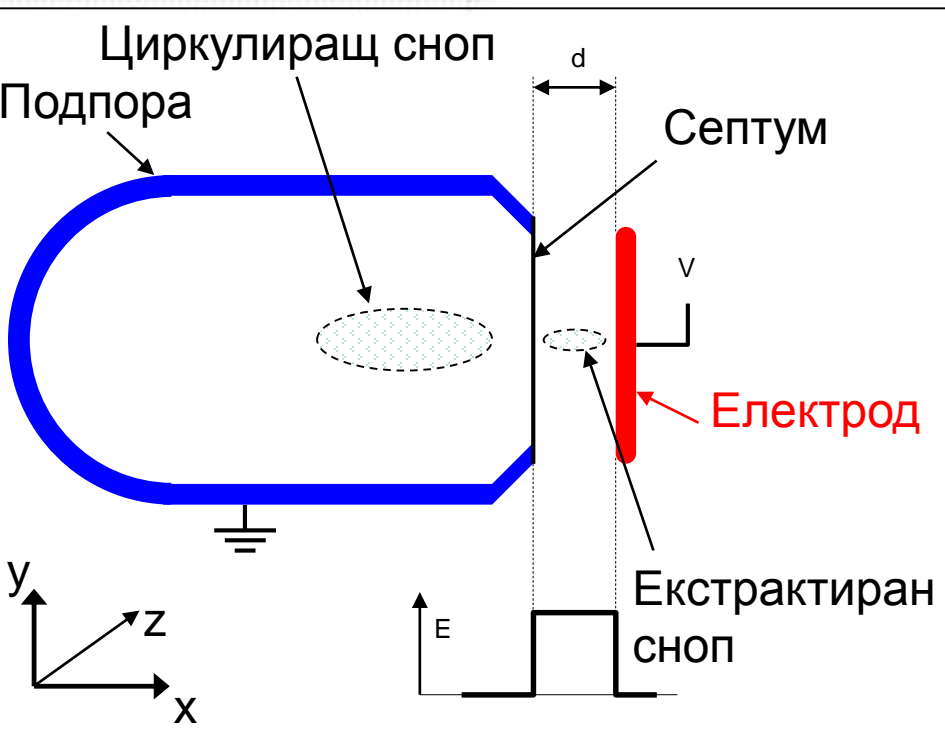


Важна характеристика на “септа” устройствата е отсъствието на поле в региона на циркулиращия сноп, и хомогенно поле във въздушната междина. Дебелината на септума трябва да е възможно най-малка за намаляване на силата на кикъра



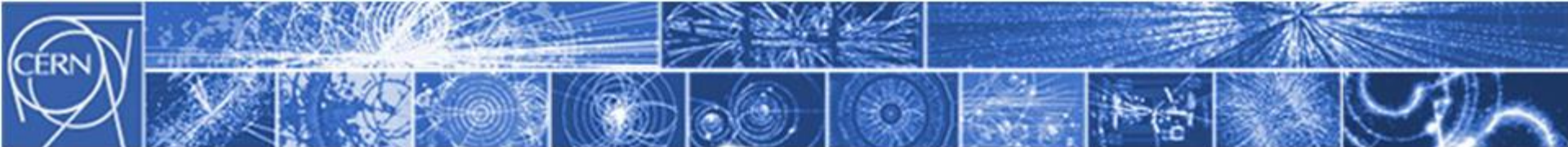
Technology
Department

Електростатичен септум



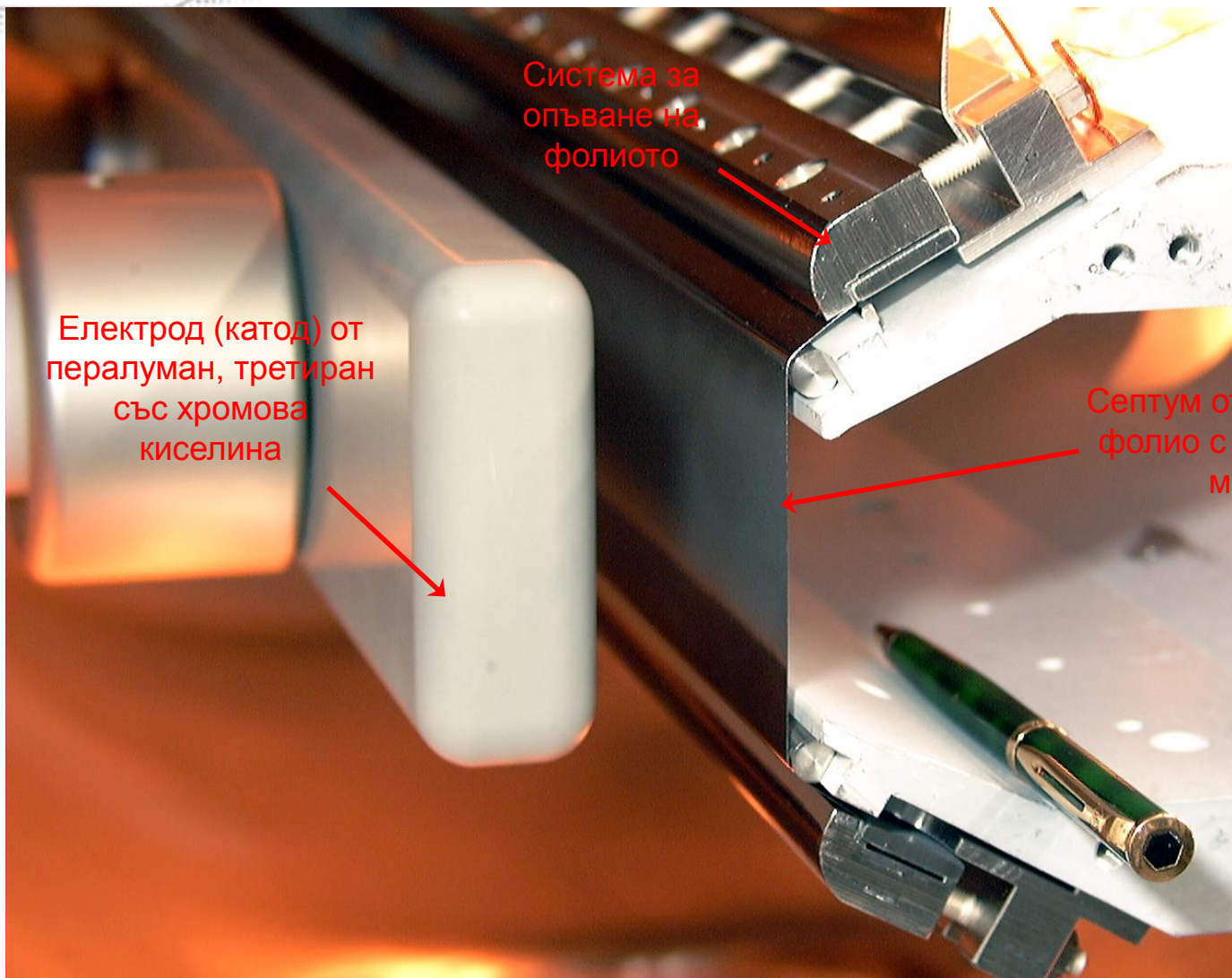
Типични параметри:

- 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 волфрам-рениеви 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

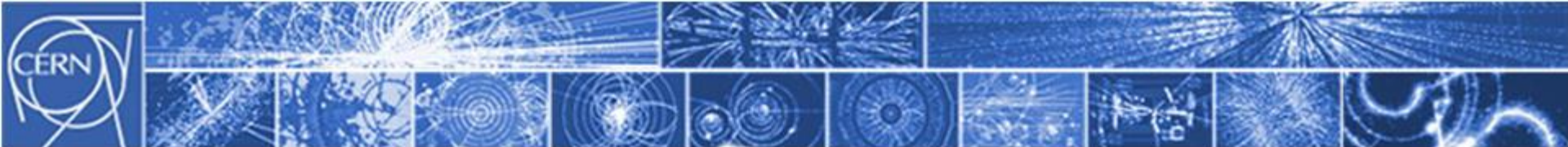
Електростатичен септум



Електрод (катод) от пералуман, третиран със хромова киселина

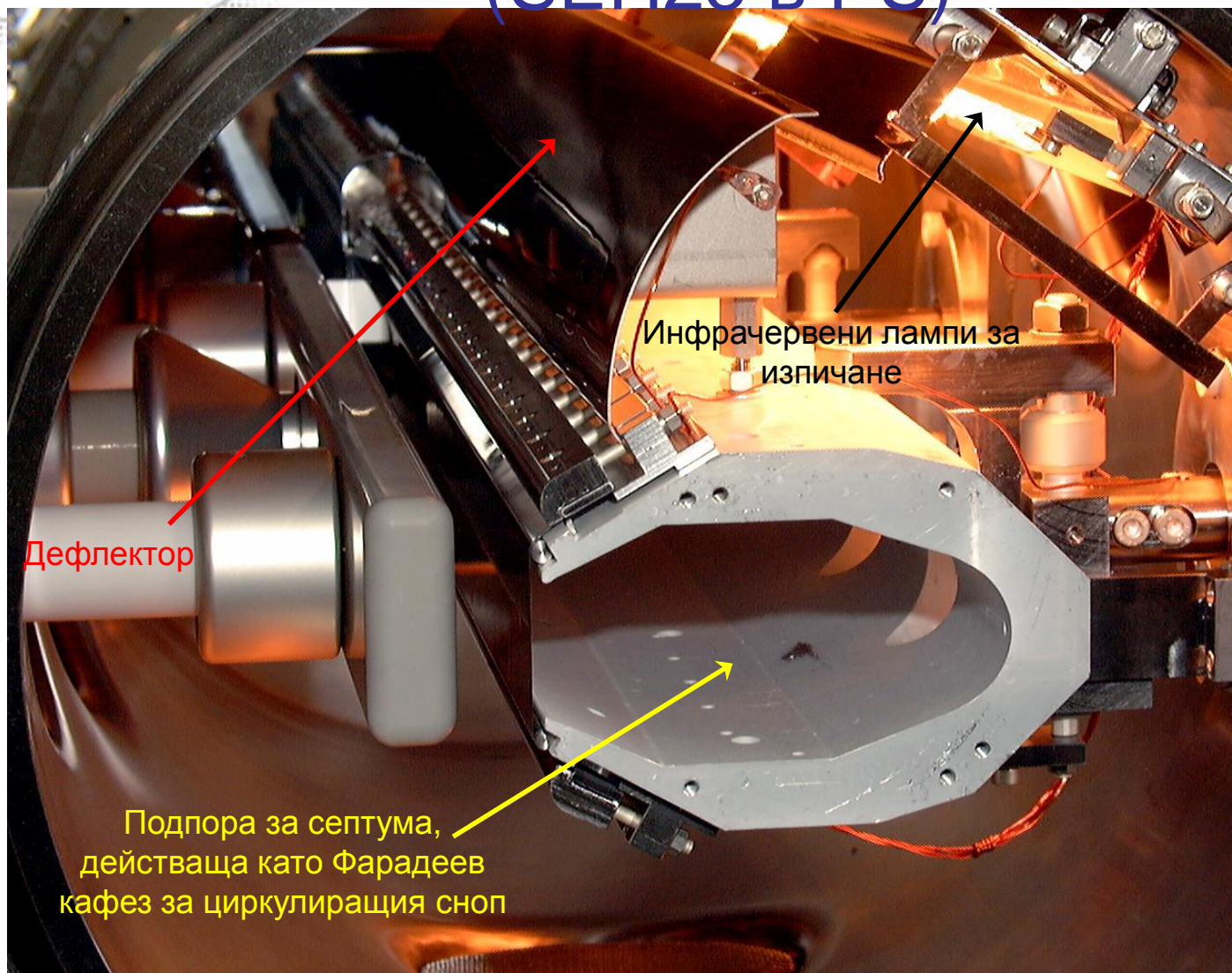
Система за опъване на фолиото

Септум от молибденово фолио с дебелина 100 микрона



Technology
Department

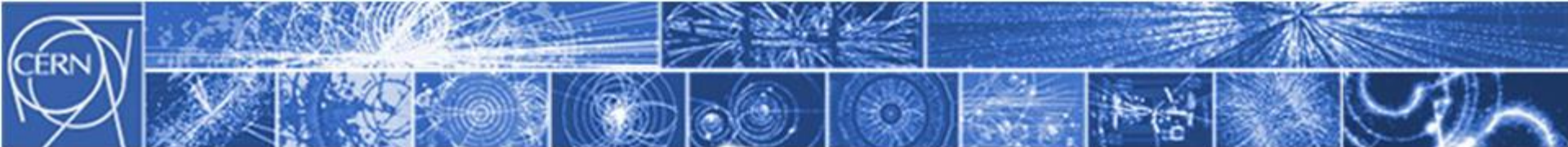
Електростатичен септум (SEH23 в PS)



Дефлектор

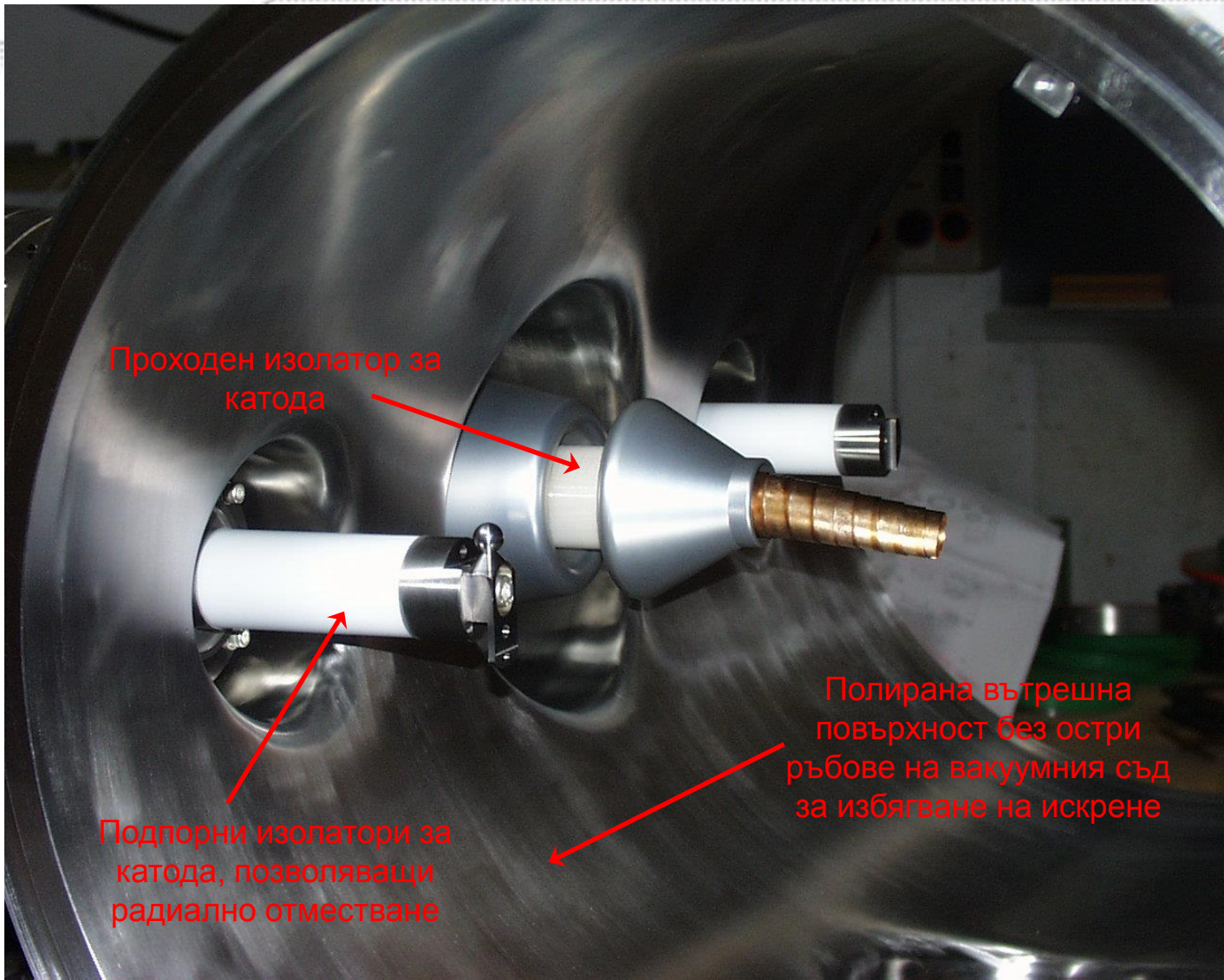
Инфрочервени лампи за
изпичане

Подпора за септума,
действаща като Фарадеев
кафез за циркулиращия сноп



Technology
Department

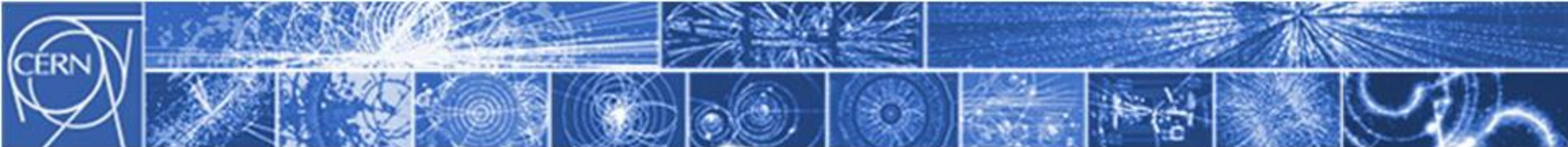
Електростатичен септум



Проходен изолатор за катода

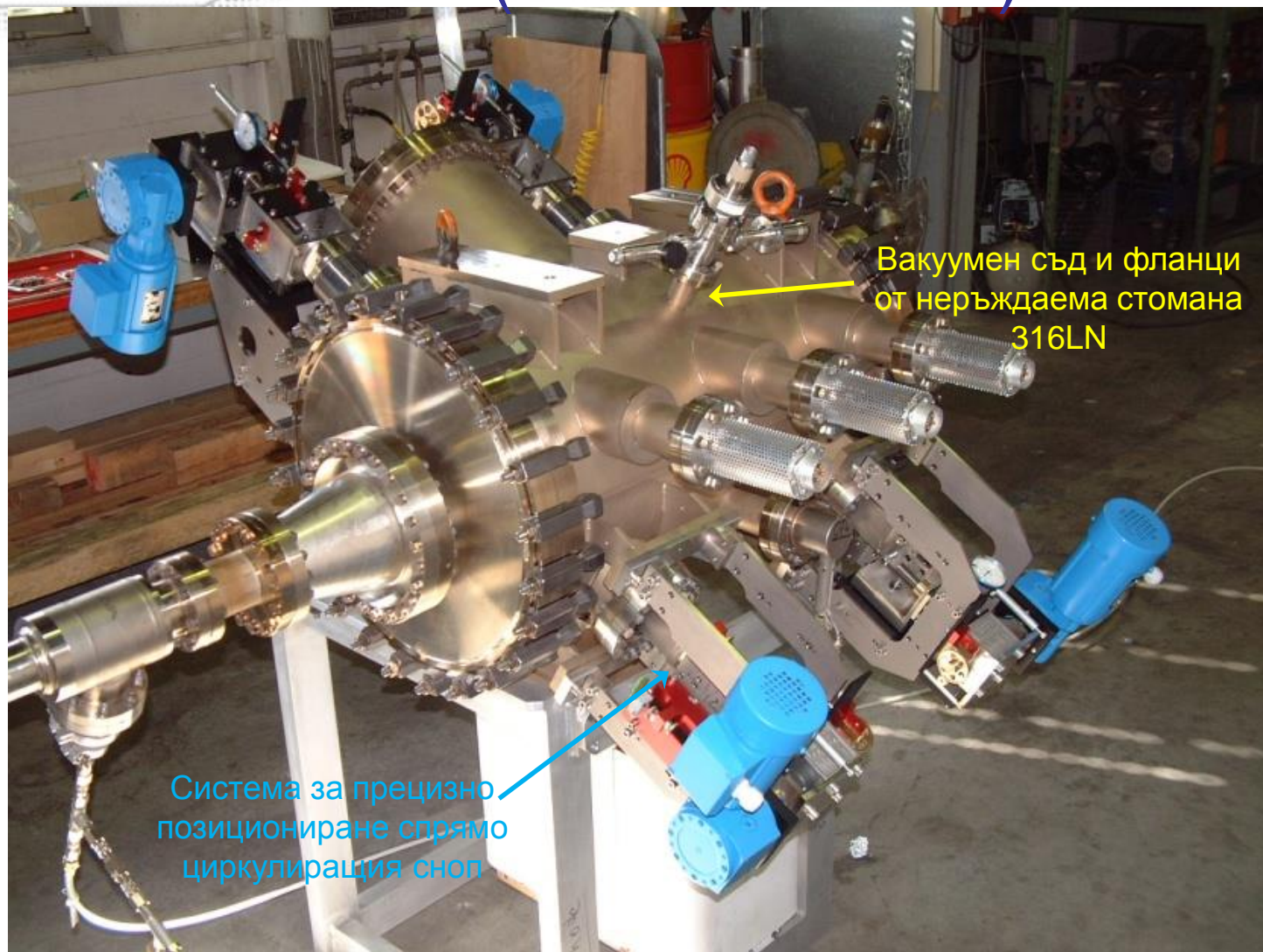
Подпорни изолатори за катода, позволяващи радиално отместване

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



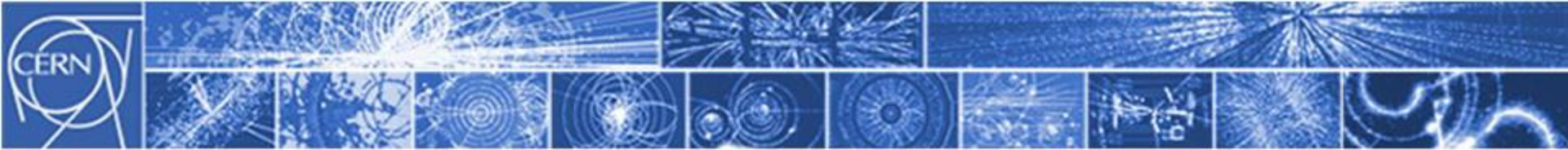
Technology
Department

Електростатичен септум (SEH10 в LEIR)



Вакуумен съд и фланци
от неръждаема стомана
316LN

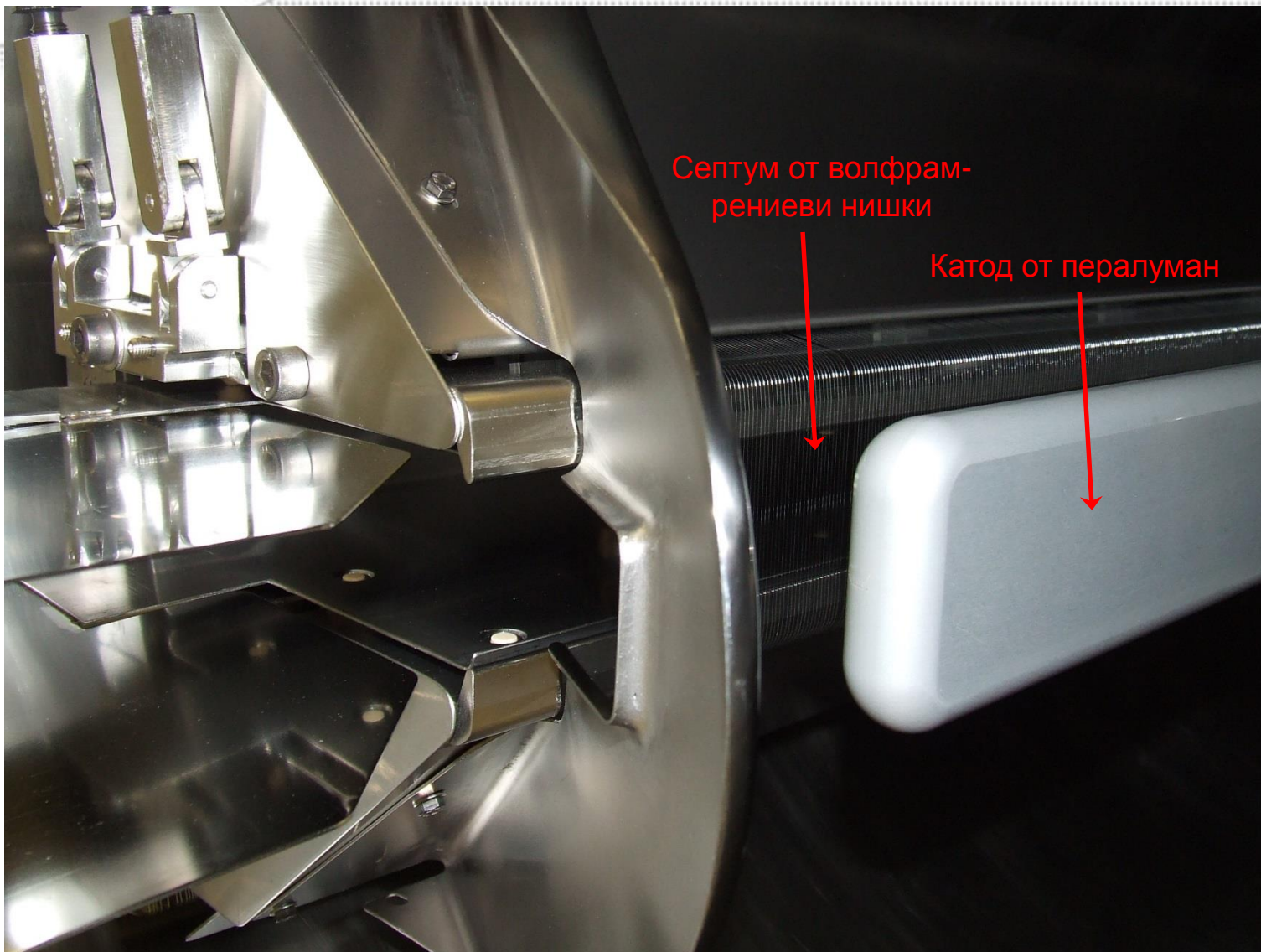
Система за прецизно
позициониране спрямо
циркуляцията сноп

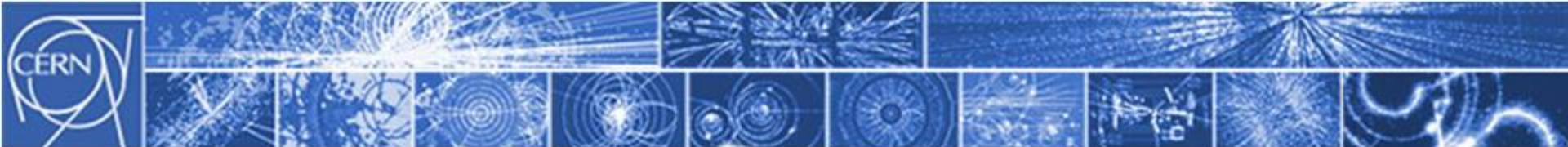


TE

Technology
Department

Електростатичен септум (ZS в SPS)

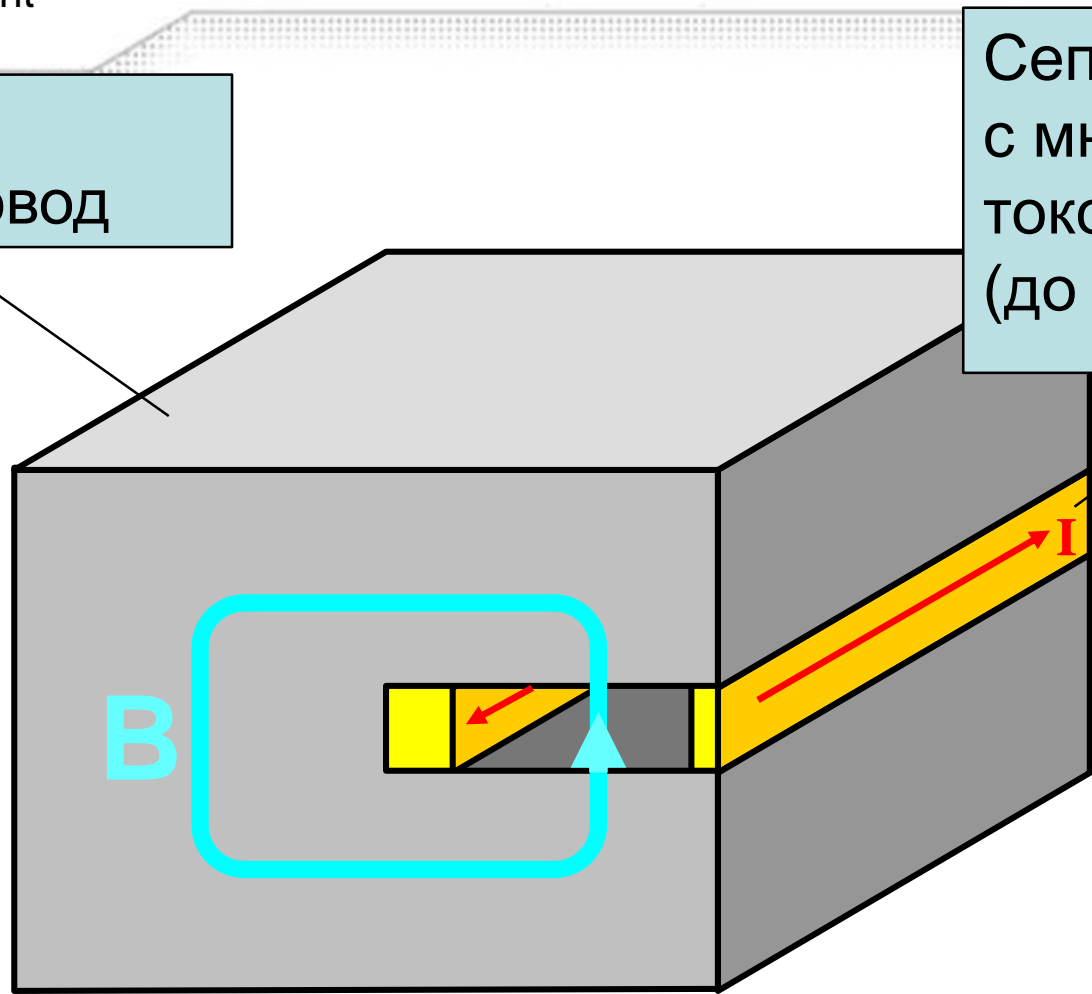


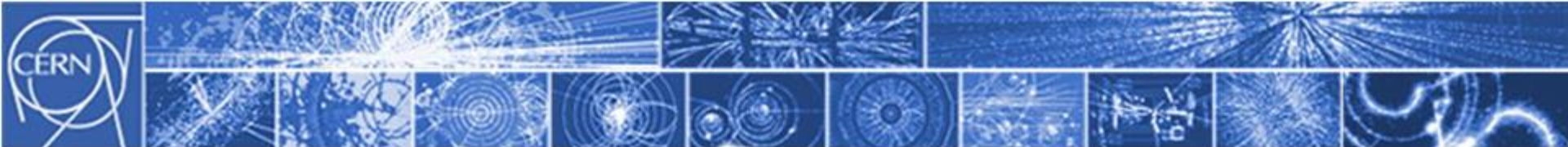


Магнитен септум

С-образен магнитопровод

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

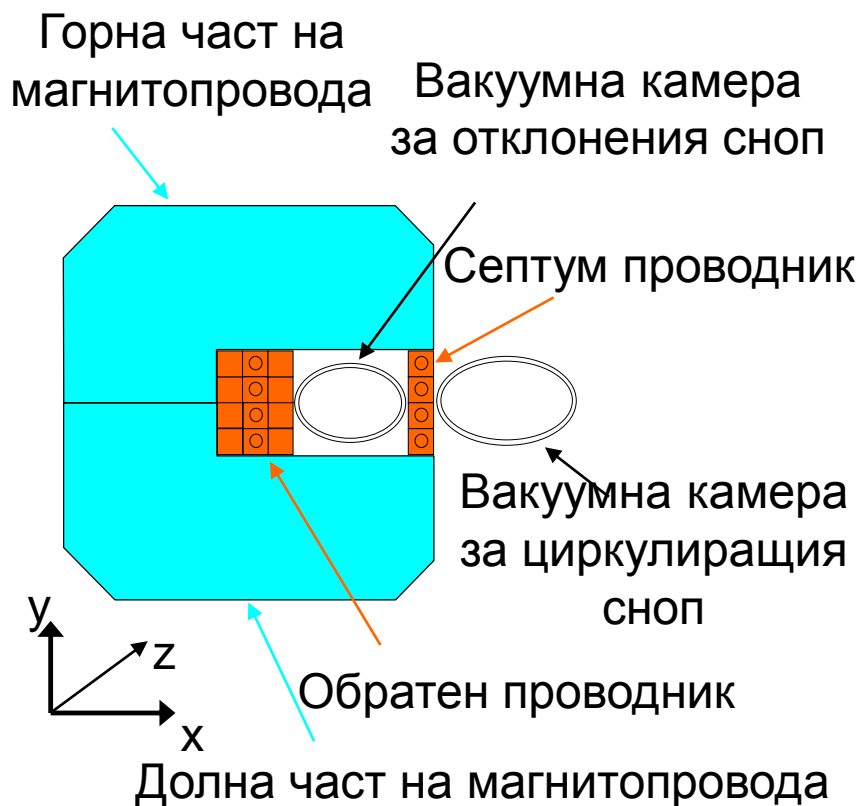




TE

Technology
Department

Постояннотоков електромагнитен септум

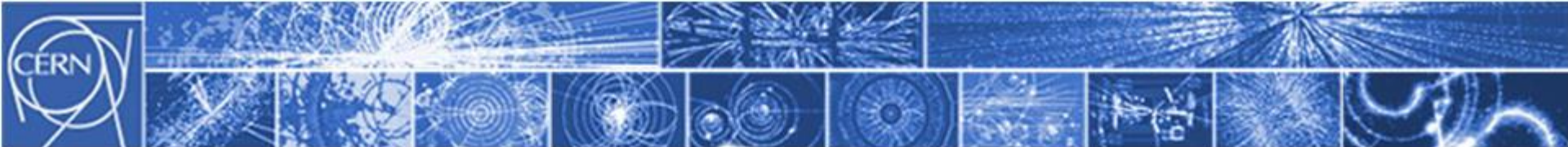


Захранван с постоянен ток (до 10 кА).

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 (SMH61 в PS)



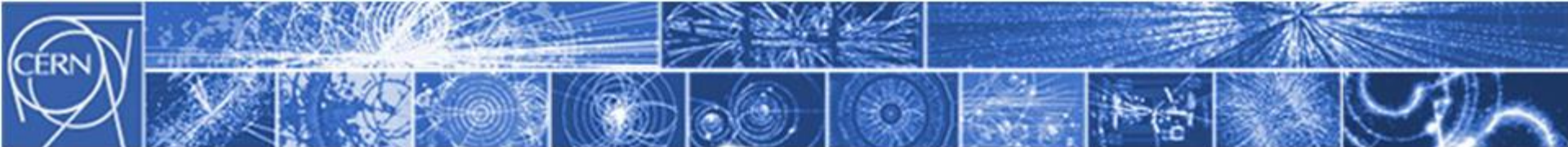
Циркулиращ сноп

Водно охлаждане

Електрически
връзки

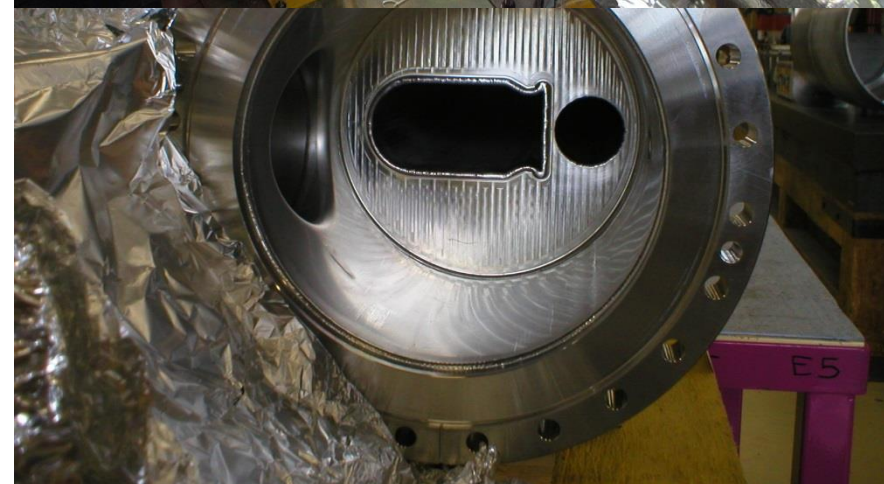
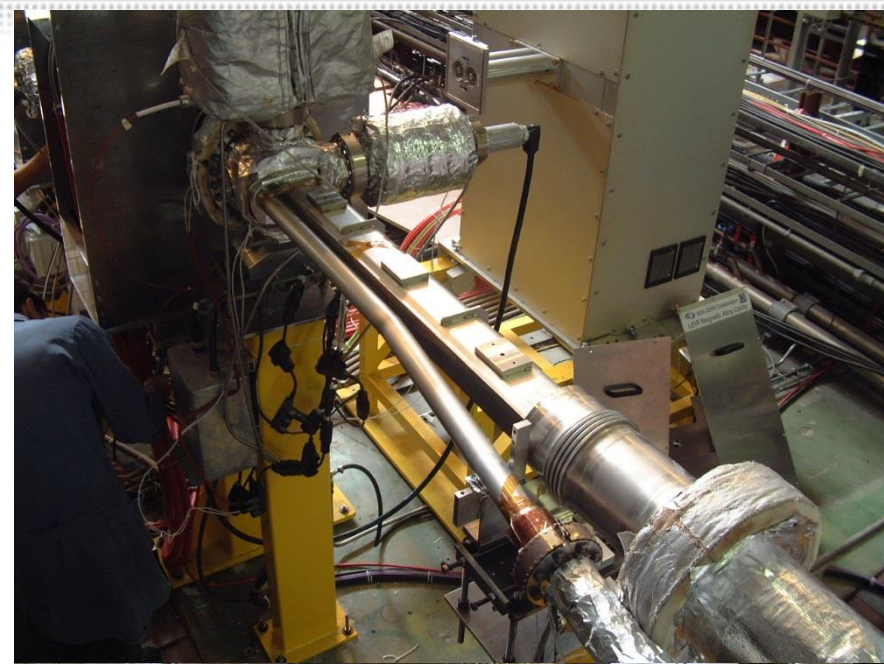
Типични характеристики:

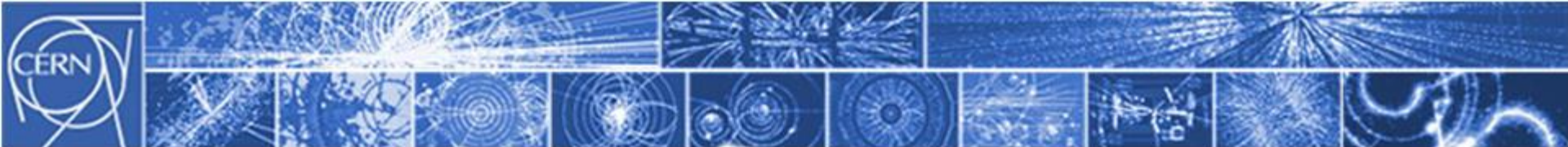
- Дължина на магнитопровода: 400 - 1200 mm;
- Въздушна междина: 25 - 60 mm;
- Дебелина на септума: 6 - 20 mm;
- Извън вакуум;
- Шихтован магнитопровод;
- Многонавивкова намотка с водно охлаждане(12 - 60 l/min.);
- Ток: 1 - 10 kA;
- Захранван от управляем изправител;
- Консумация: 10 - 100 kW !.



Technology
Department

Вакуумна камера (SMH40 в LEIR)



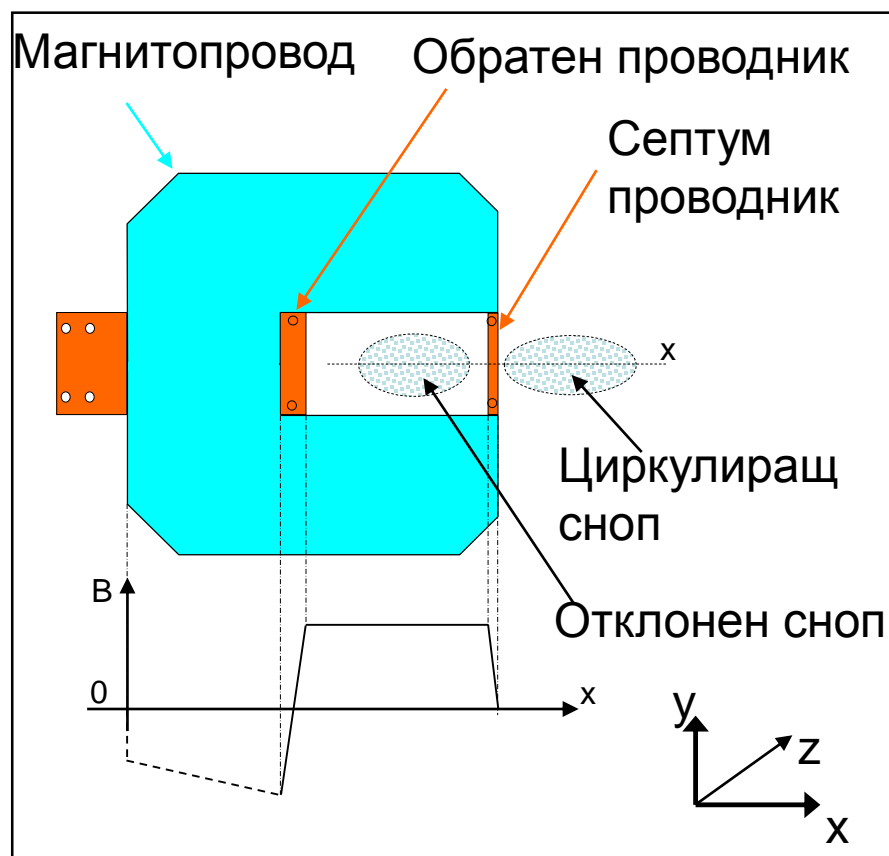


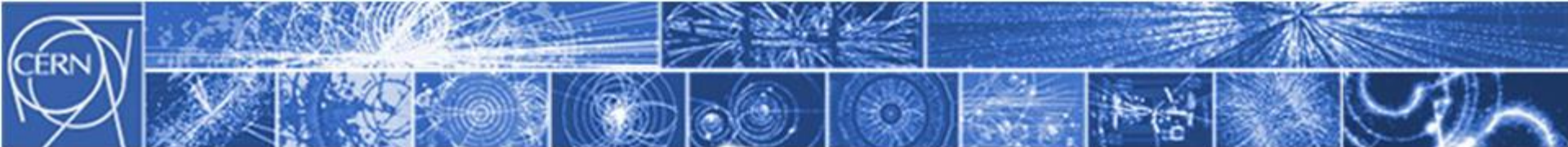
TE

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



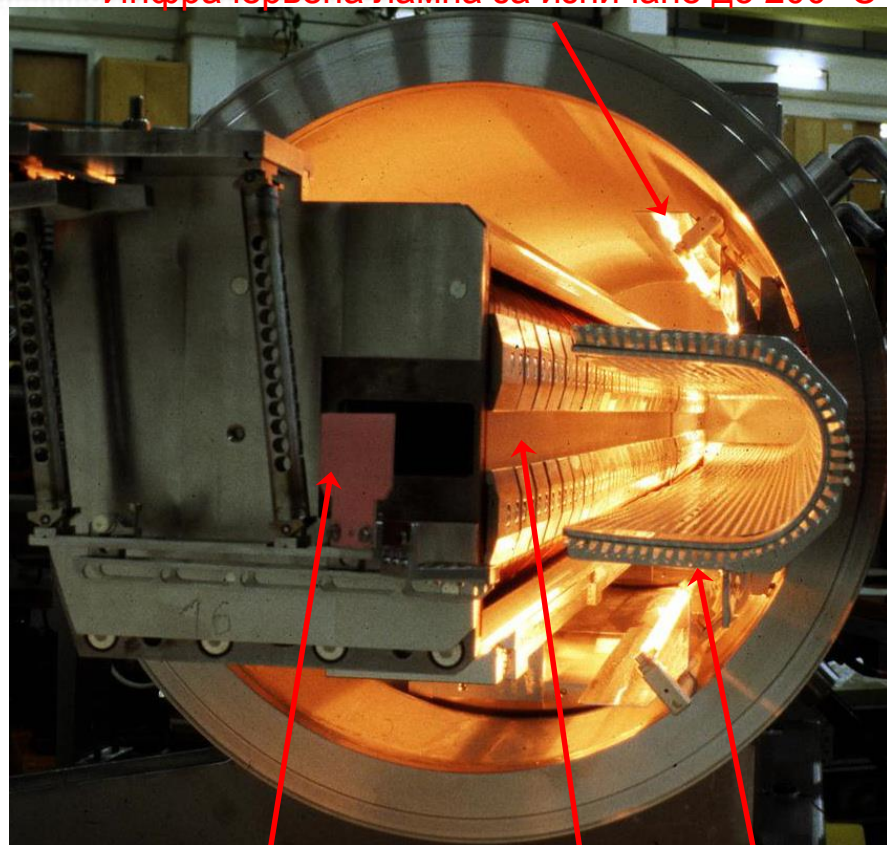


TE

Technology
Department

Пулсиращ електромагнитен септум (SMH16 в PS)

Инфрочервена лампа за изпичане до 200 °C



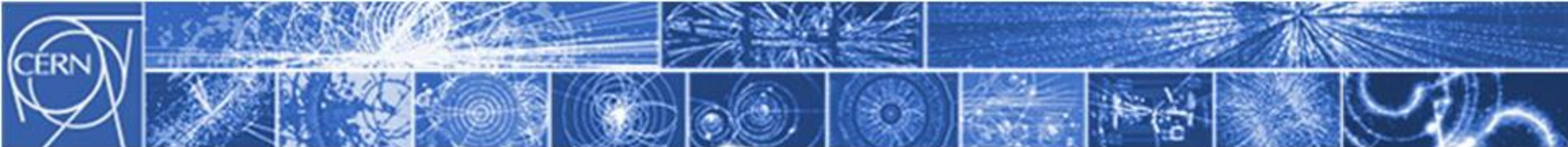
Сензор за определяне
положението на
снопа

Септум

Екран за
циркулиращия
сноп частици

Типични характеристики:

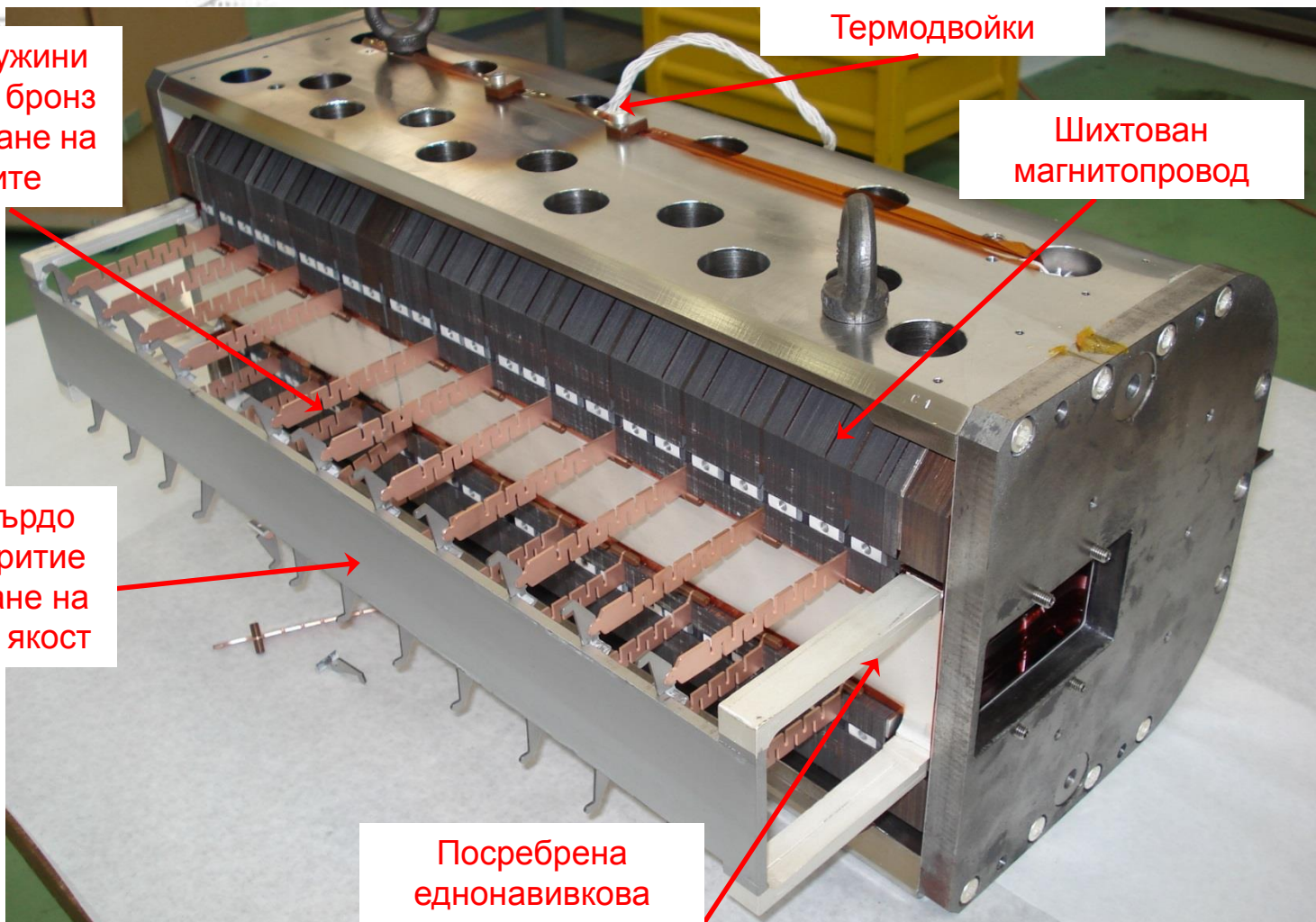
- Дължина на магнитопровода: 300 – 1200 mm;
- Въздушна междина: 18 - 60 mm;
- Дебелина на септума: 3 - 20 mm;
- Вакуум ($\sim 10^{-9}$ mbar);
- Шихтован магнитопровод (0.35 - 1.5 mm);
- Еднонавивкова намотка с водно охлаждане (1 - 80 l/min.);
- Ток (полу-синусоида): 7 - 40 kA;
- Захранван с разряд на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



TE

Technology Department

Пулсиращ електромагнитен септум (SMH42 в PS)



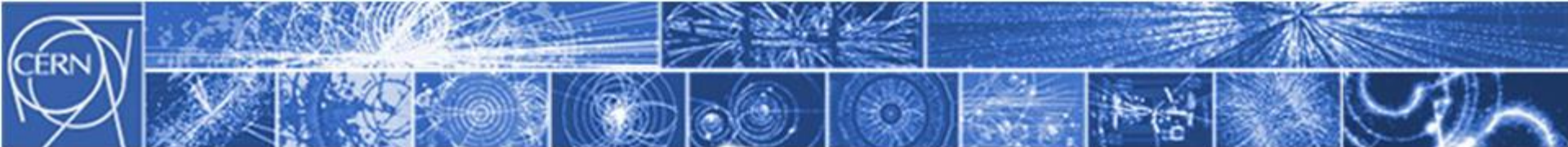
Система пружини от берилиев бронз за абсорбиране на вибрациите

Термодвойки

Шихтован магнитопровод

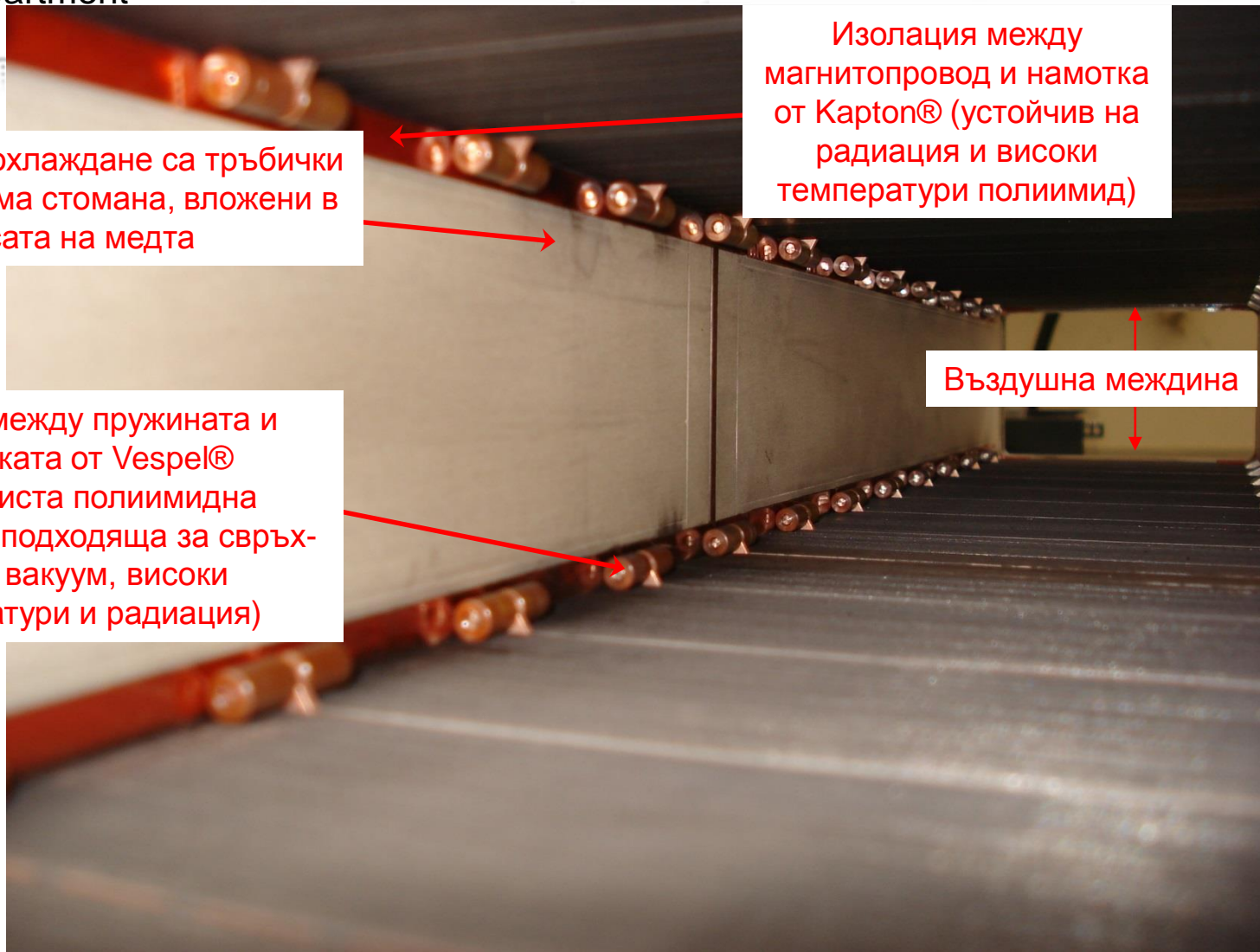
Септум с твърдо хромово покритие за увеличаване на механичната якост

Посребрена едनावивкова медна намотка с водно охлаждане



Technology
Department

Пулсиращ електромагнитен септум

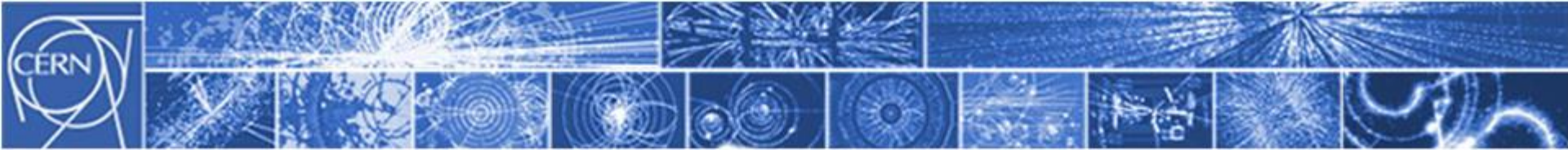


Изоляция между магнитопровод и намотка от Kapton® (устойчив на радиация и високи температури полиимид)

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

Въздушна междина

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



Technology
Department

Пулсиращ електромагнитен септум

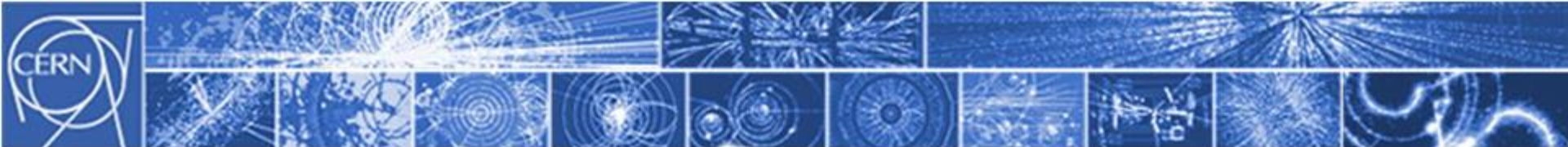


Тръбички от неръждаема стомана,
вложени в масата на медта

Лист електротехническа
стомана за магнитопровода

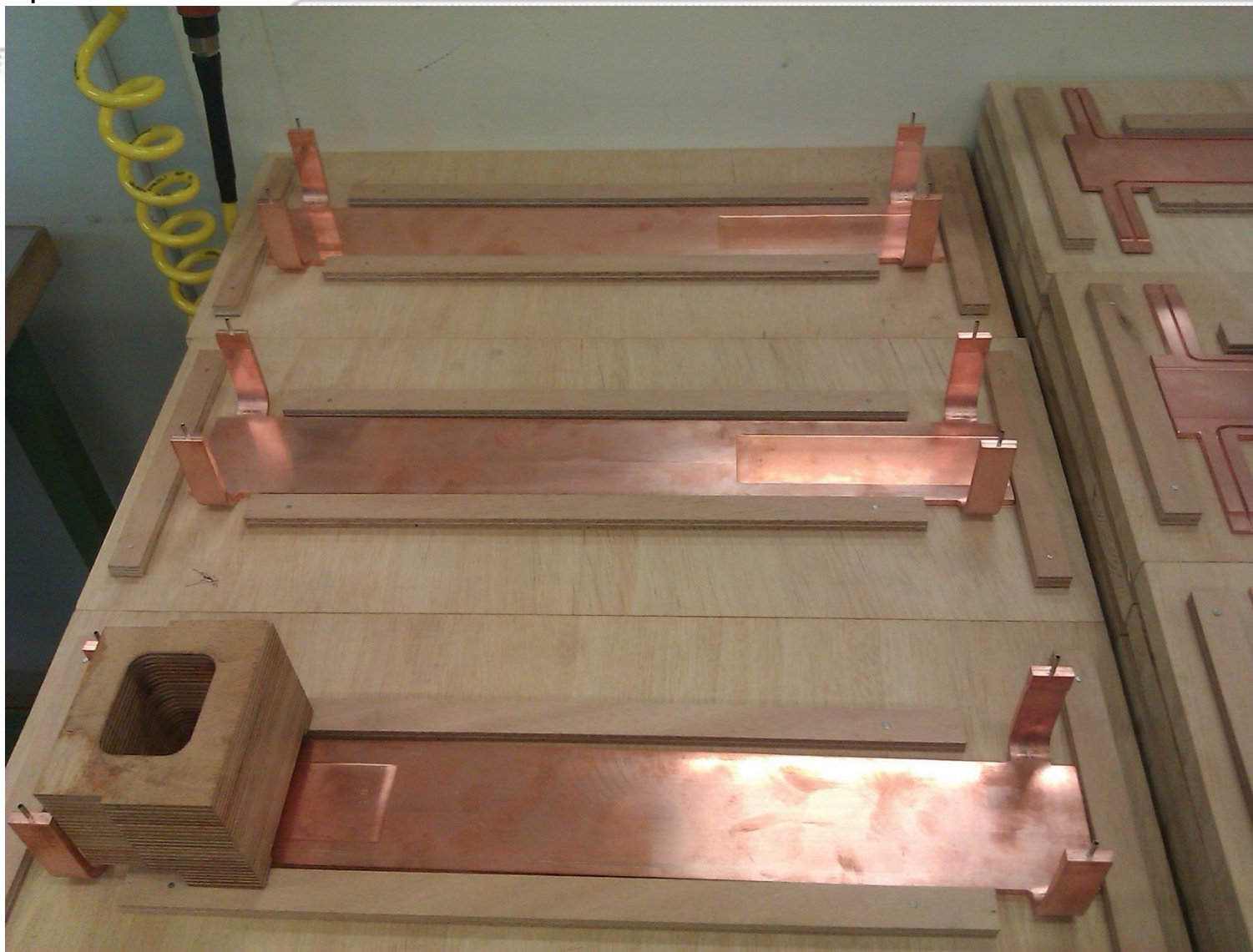
Септум проводник

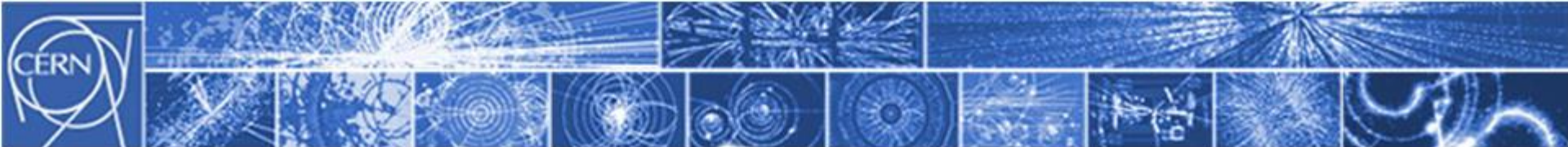
Канали за
поставяне на
стоманените
тръбички за
охлаждането



Technology
Department

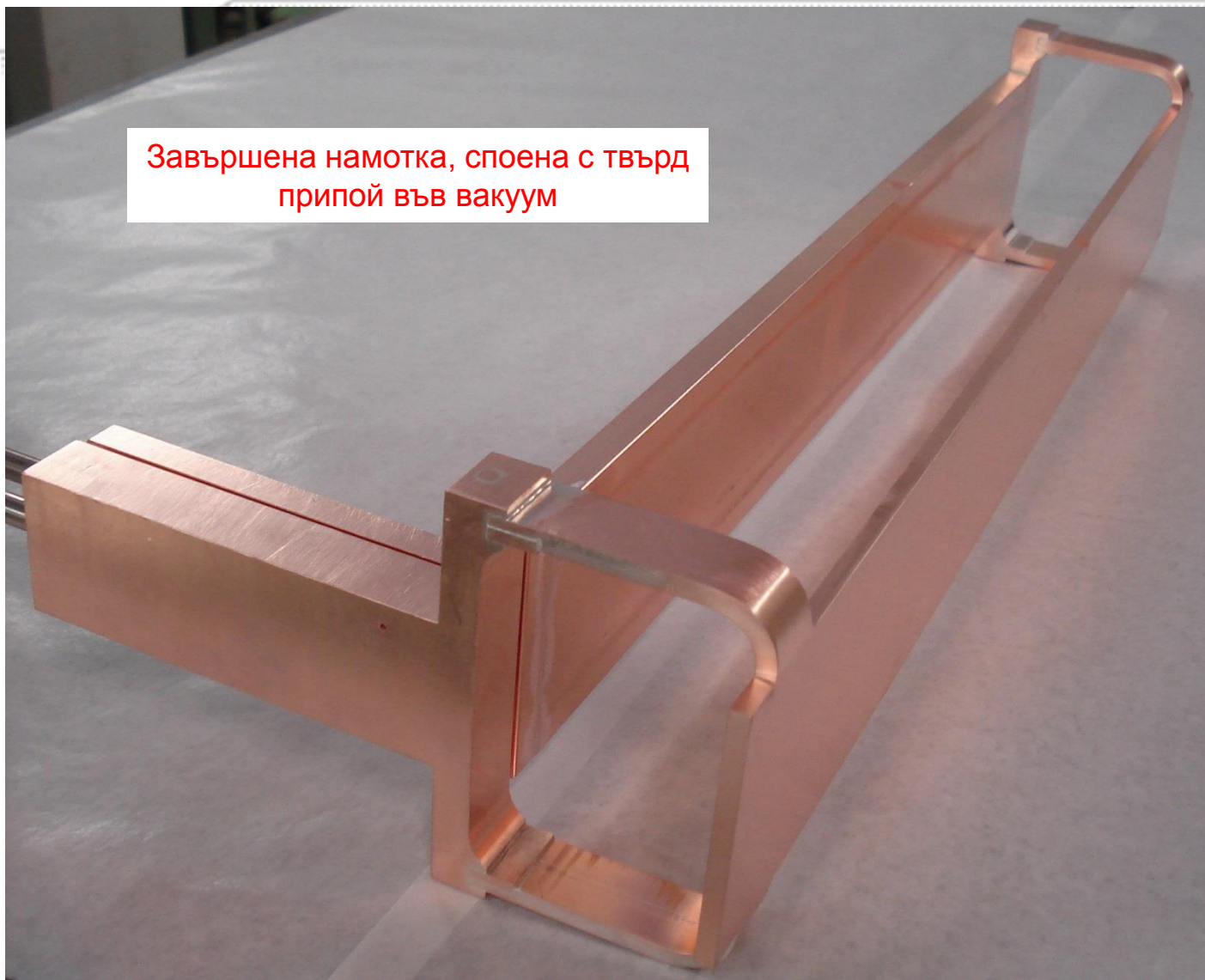
Пулсирац електромагнитен септум



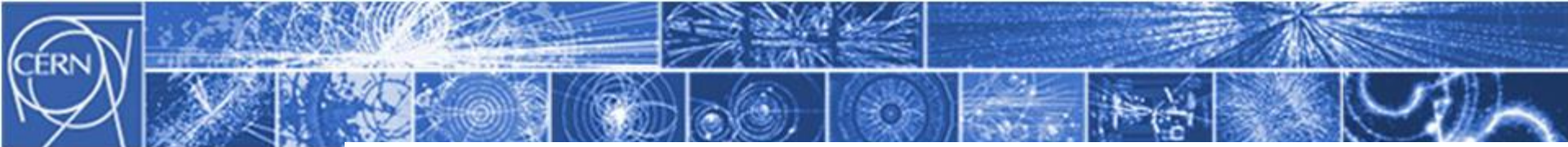


Technology
Department

Пулсиращ електромагнитен септум

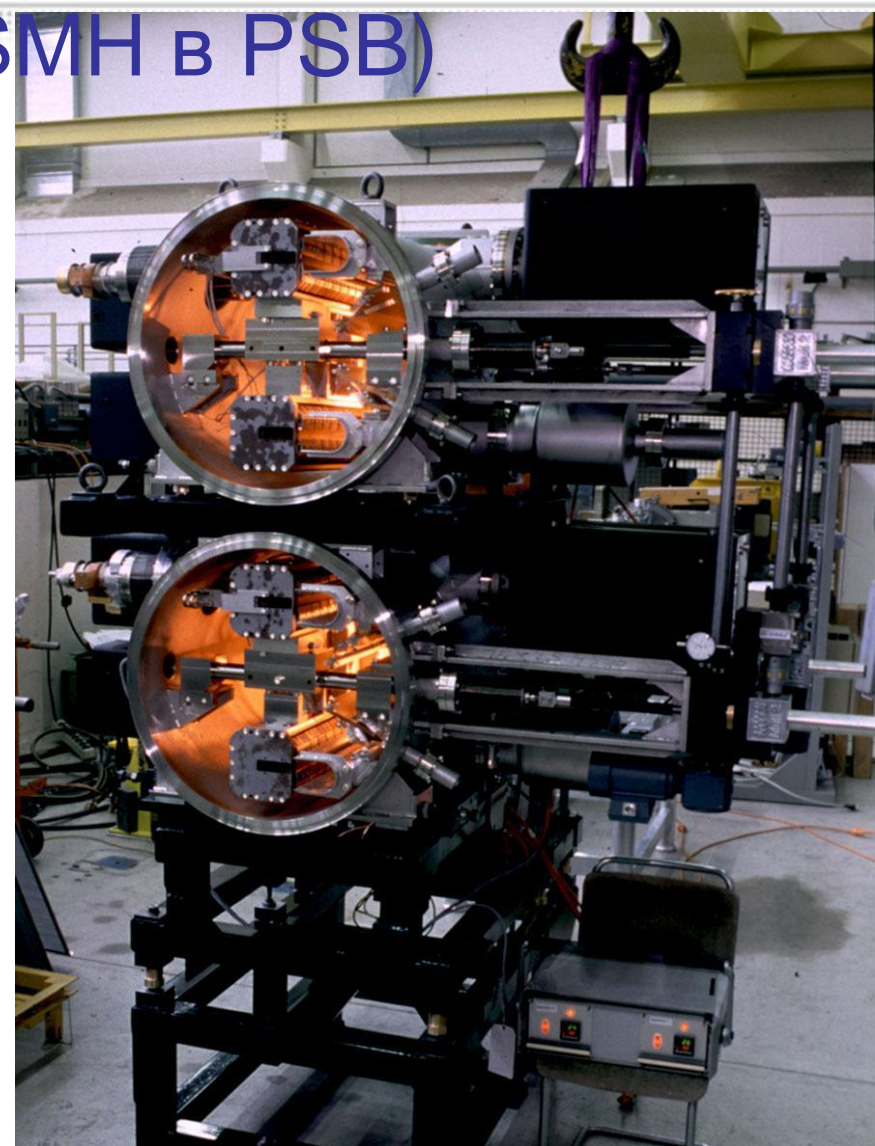
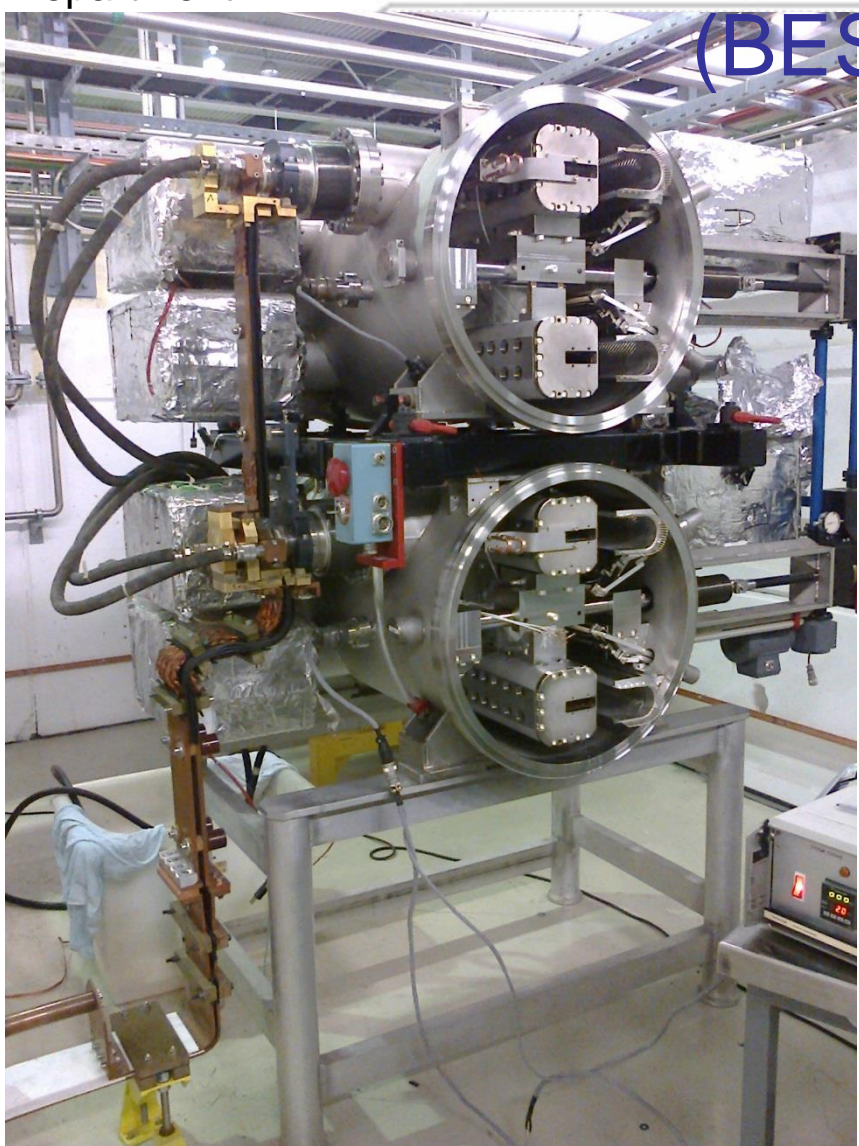


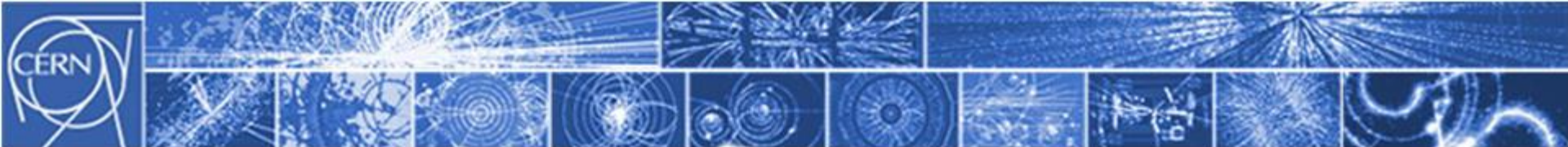
Завършена намотка, споена с твърд припой във вакуум



Technology
Department

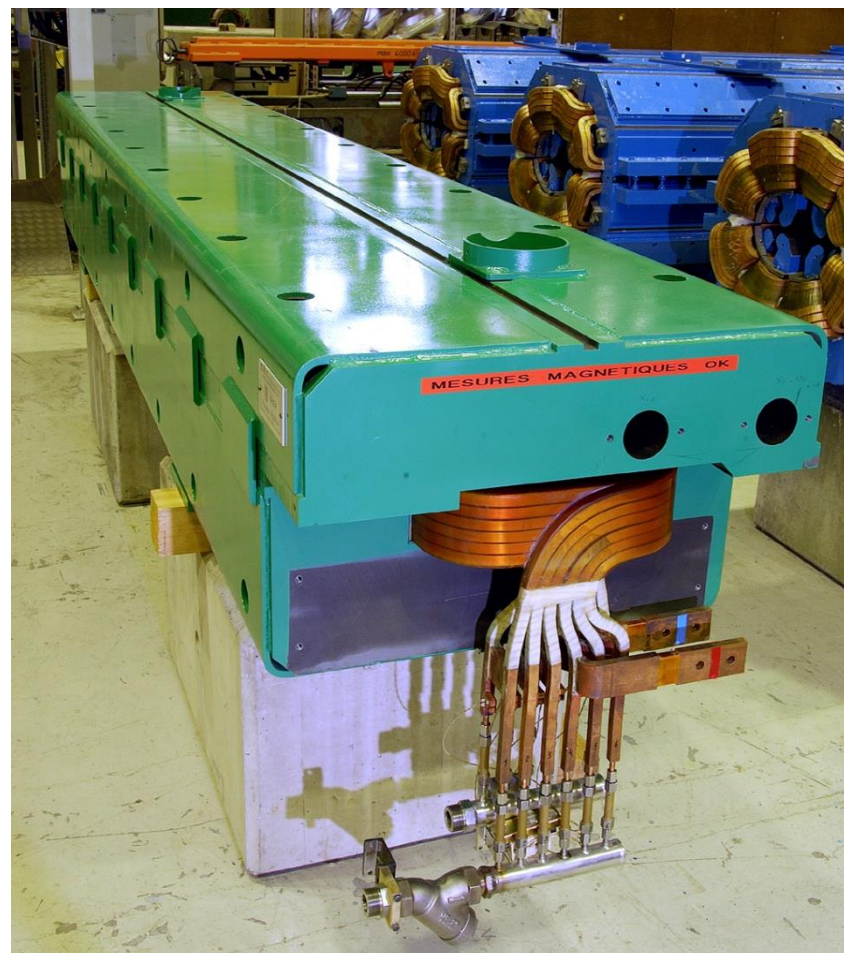
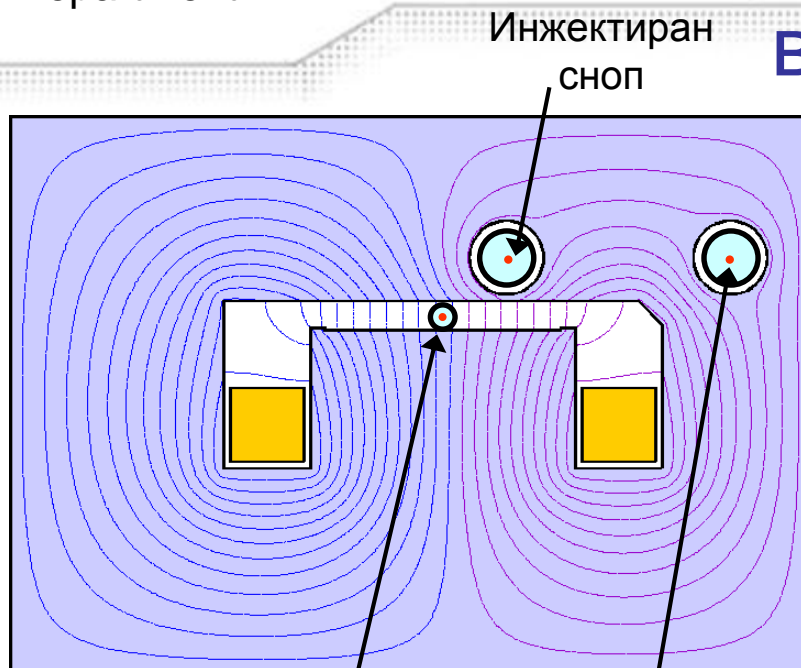
Пулсирац електромагнитен септум (BESMН в PSB)



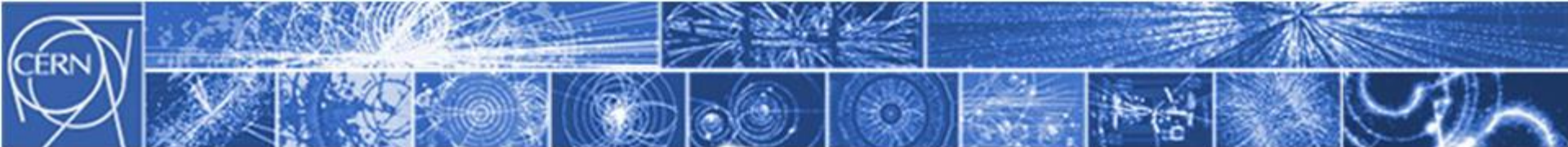


Technology
Department

“Lambertson” септум за инжектиране в LHC (MSI)

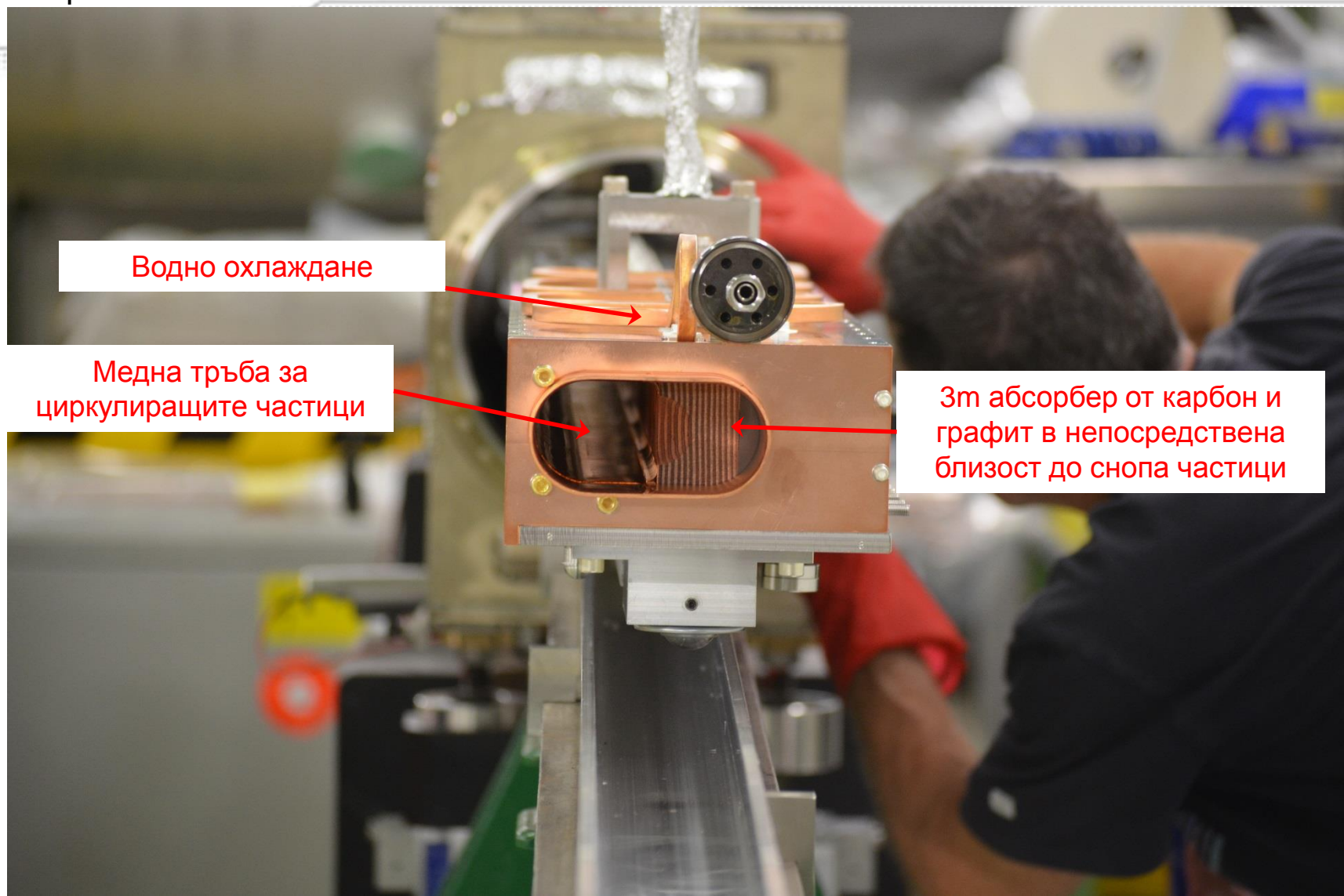


1. Септумът дефлектира снопа хоризонтално надясно;
2. Кикърът дефлектира вертикално върху централната орбита на LHC.



Technology
Department

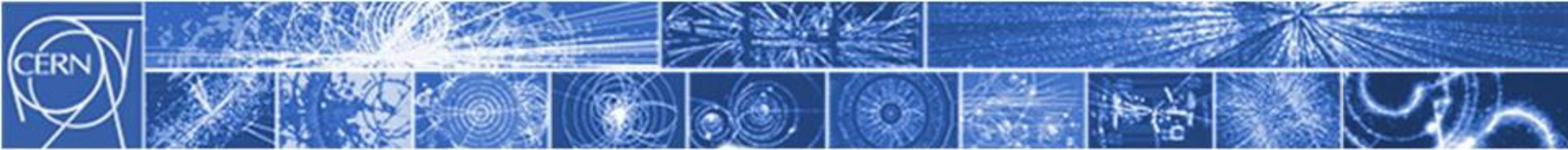
Защитни абсорбери



Водно охлаждане

Медна тръба за
циркулиращите частици

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



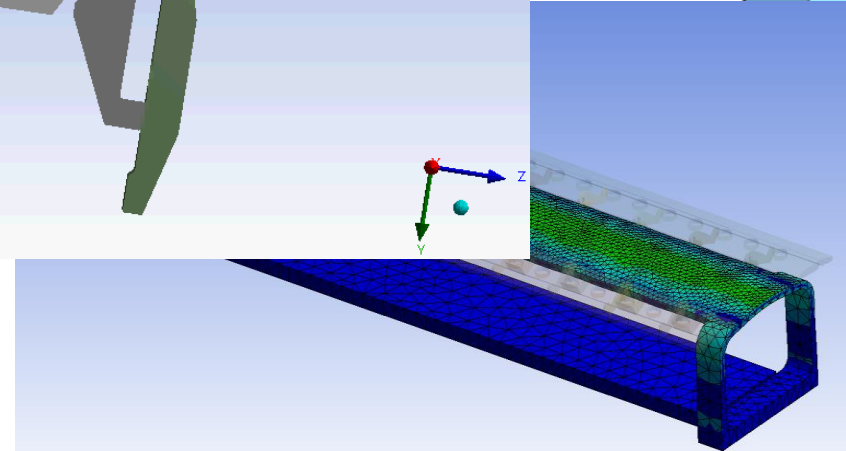
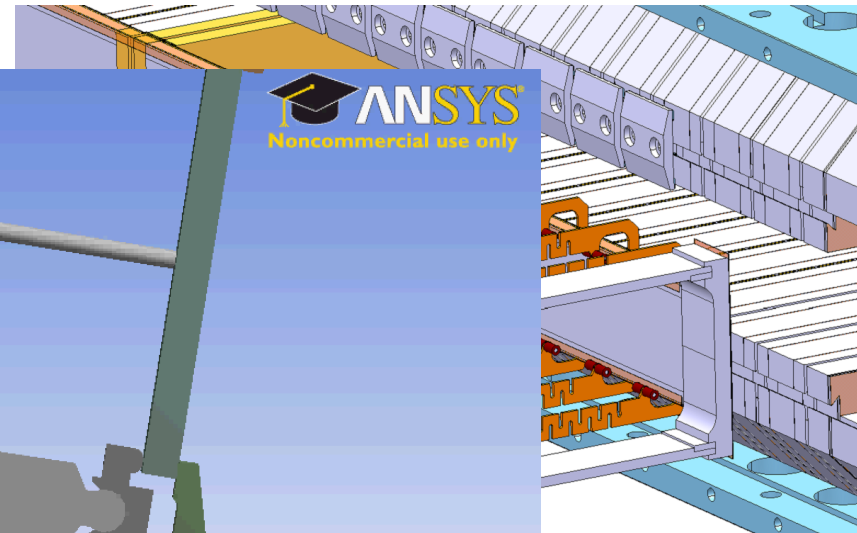
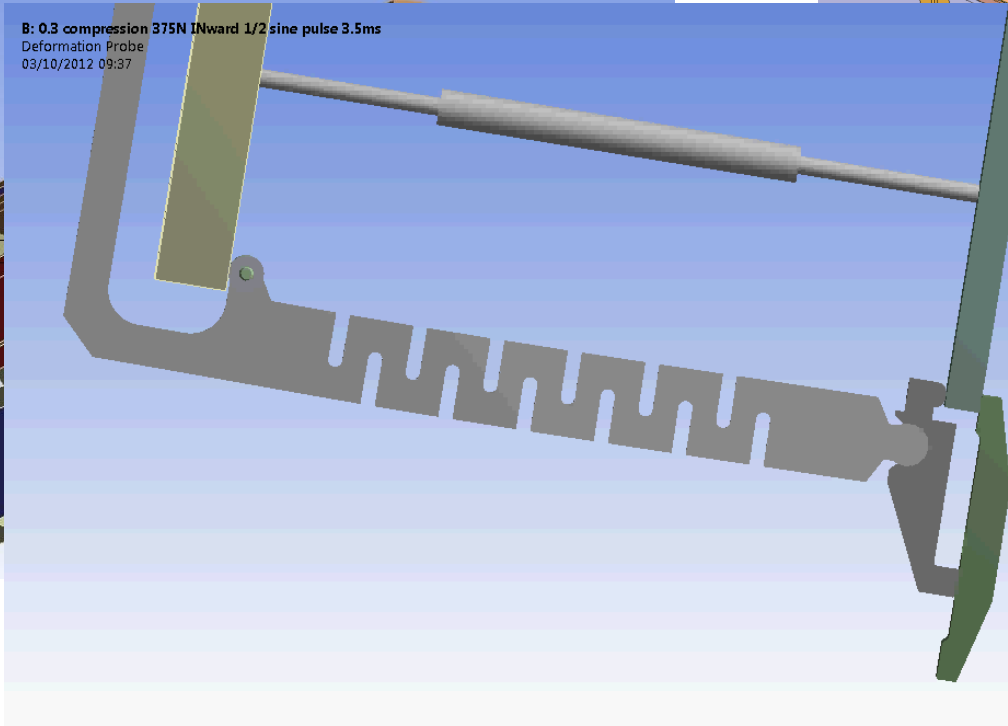
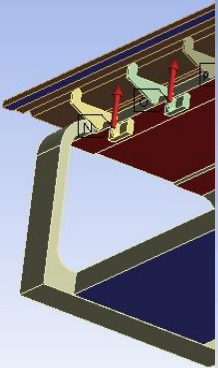
Technology
Department

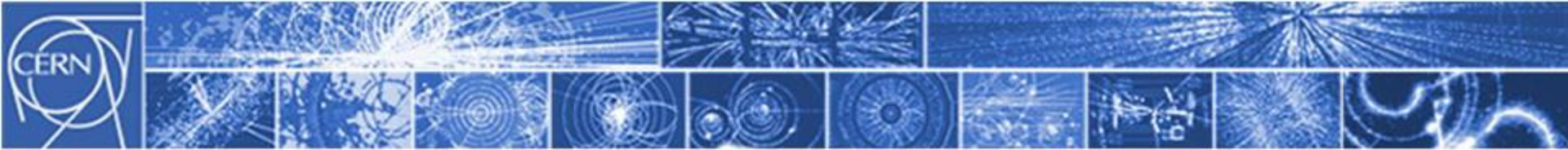
Механичен и електромагнитен дизайн

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

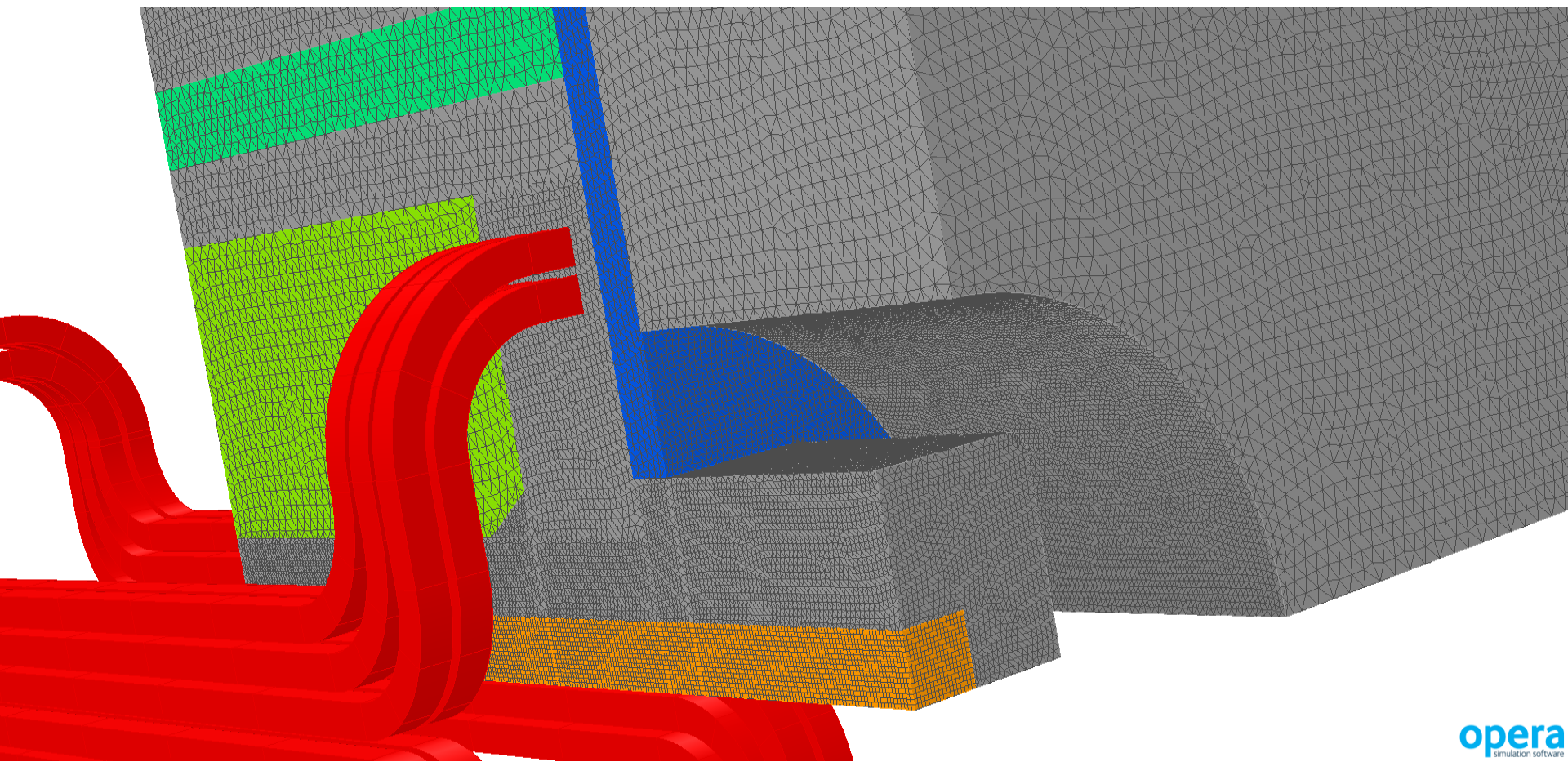
B: 0.3 compression 375N INward 1/2 sine pulse 3.5ms
Deformation Probe
03/10/2012 09:37

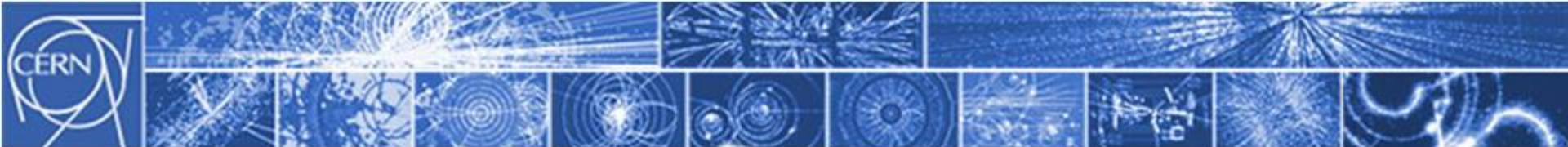




Technology
Department

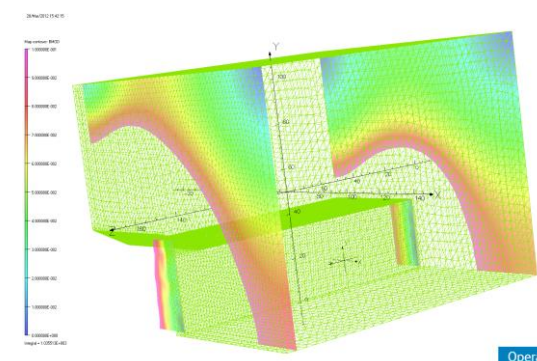
Механичен и електромагнитен дизайн



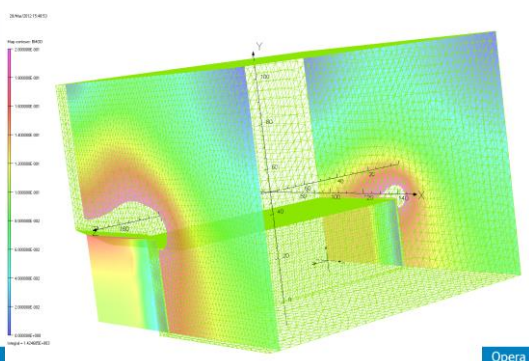


Technology
Department

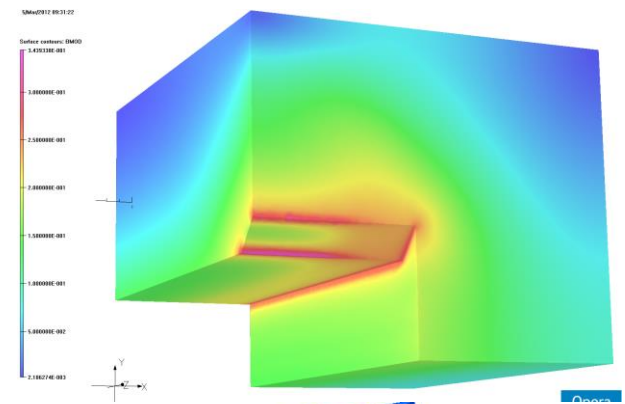
Механичен и електромагнитен дизайн



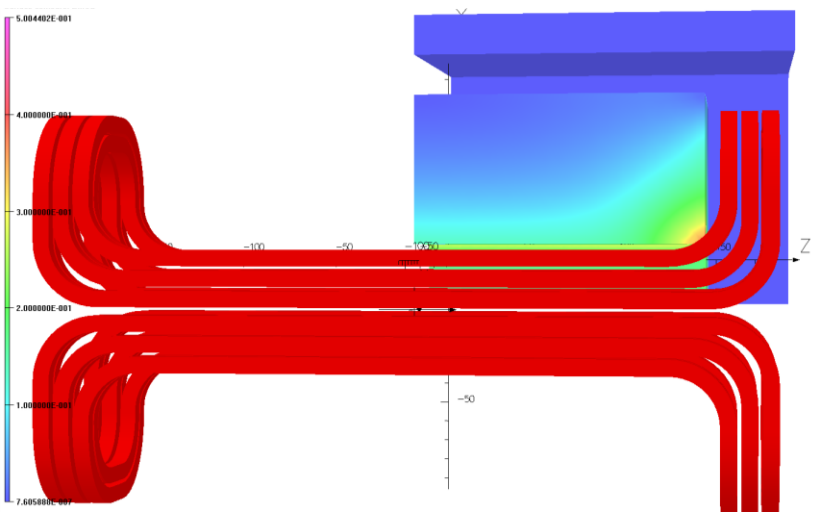
Opera



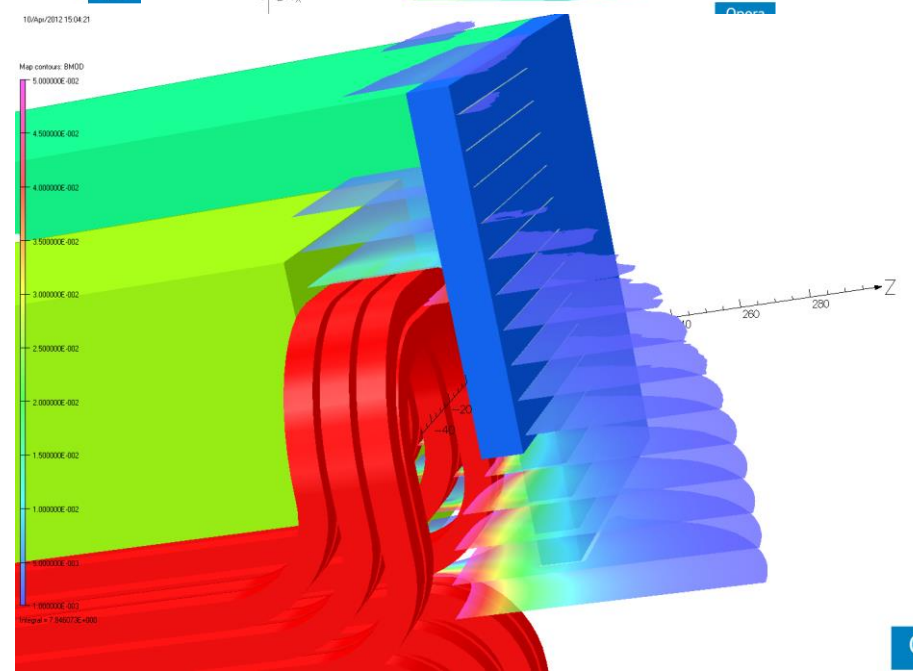
Opera



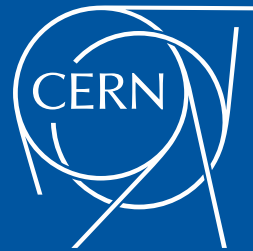
Opera



Opera



Opera



www.cern.ch

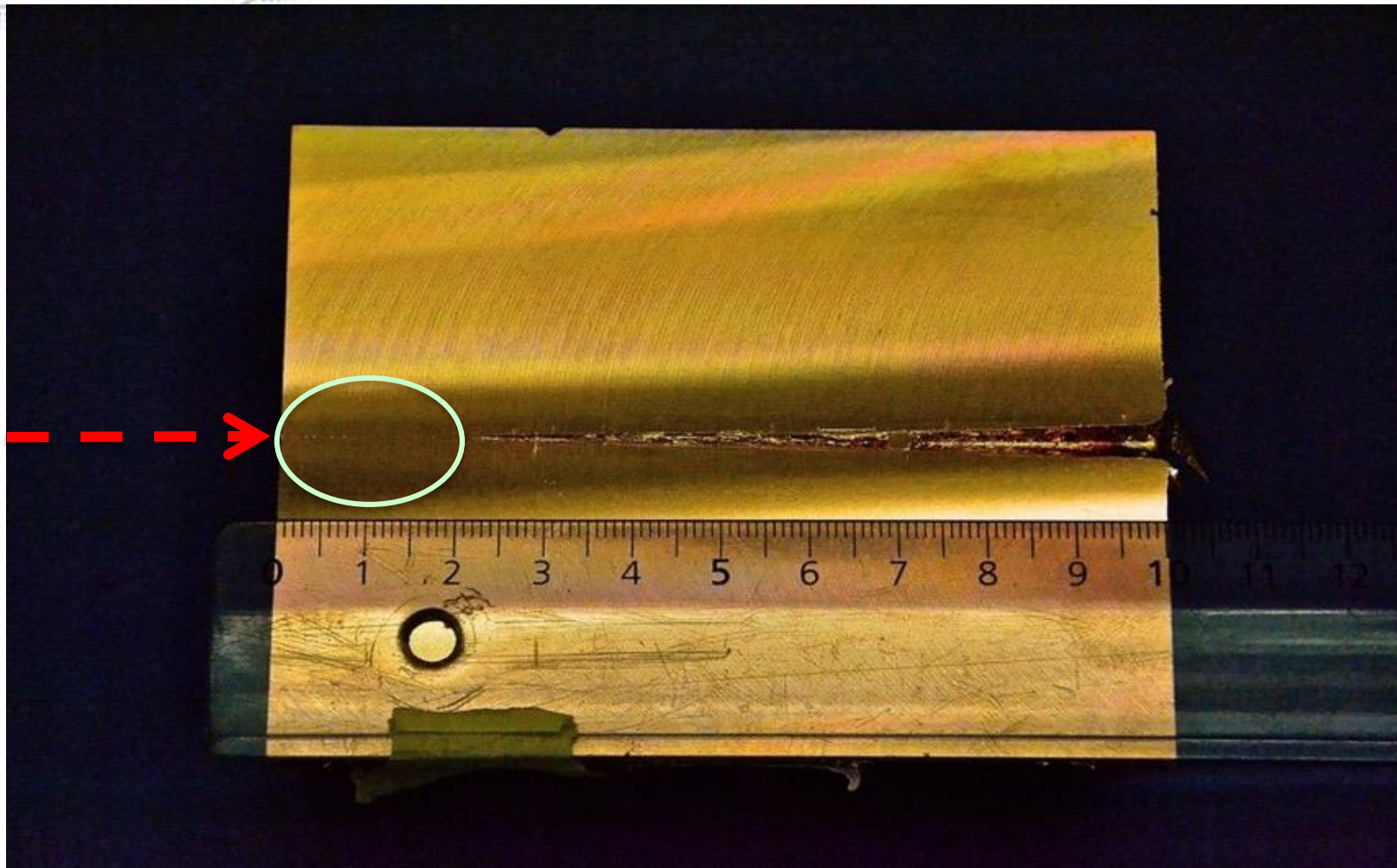


Допълнителни слайдове

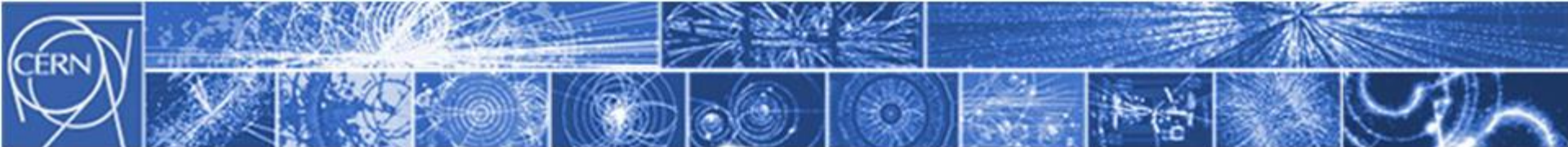


Technology Department

Хидродинамично тунелиране в мед на сноп от SPS*



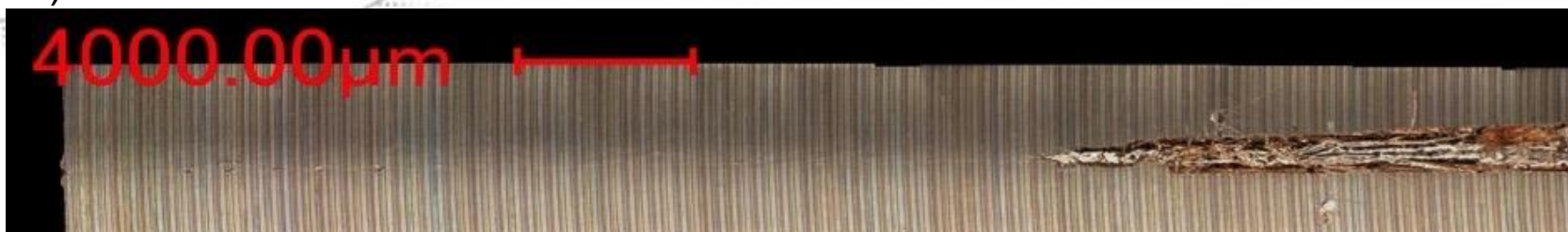
*Експеримент HiRadMat в SPS, снимки F. Burkart



Technology
Department

Хидродинамично тунелиране в мед на сноп от SPS*

a)



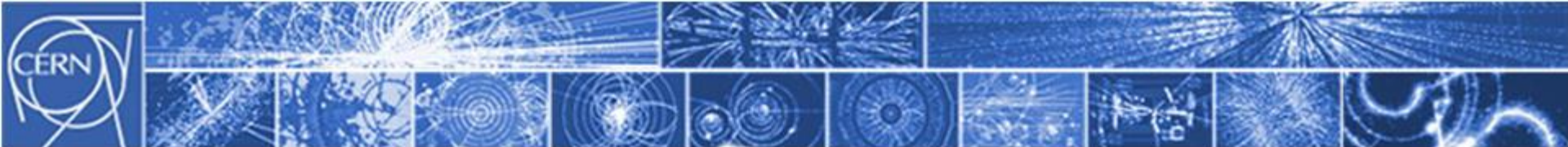
b)



c)

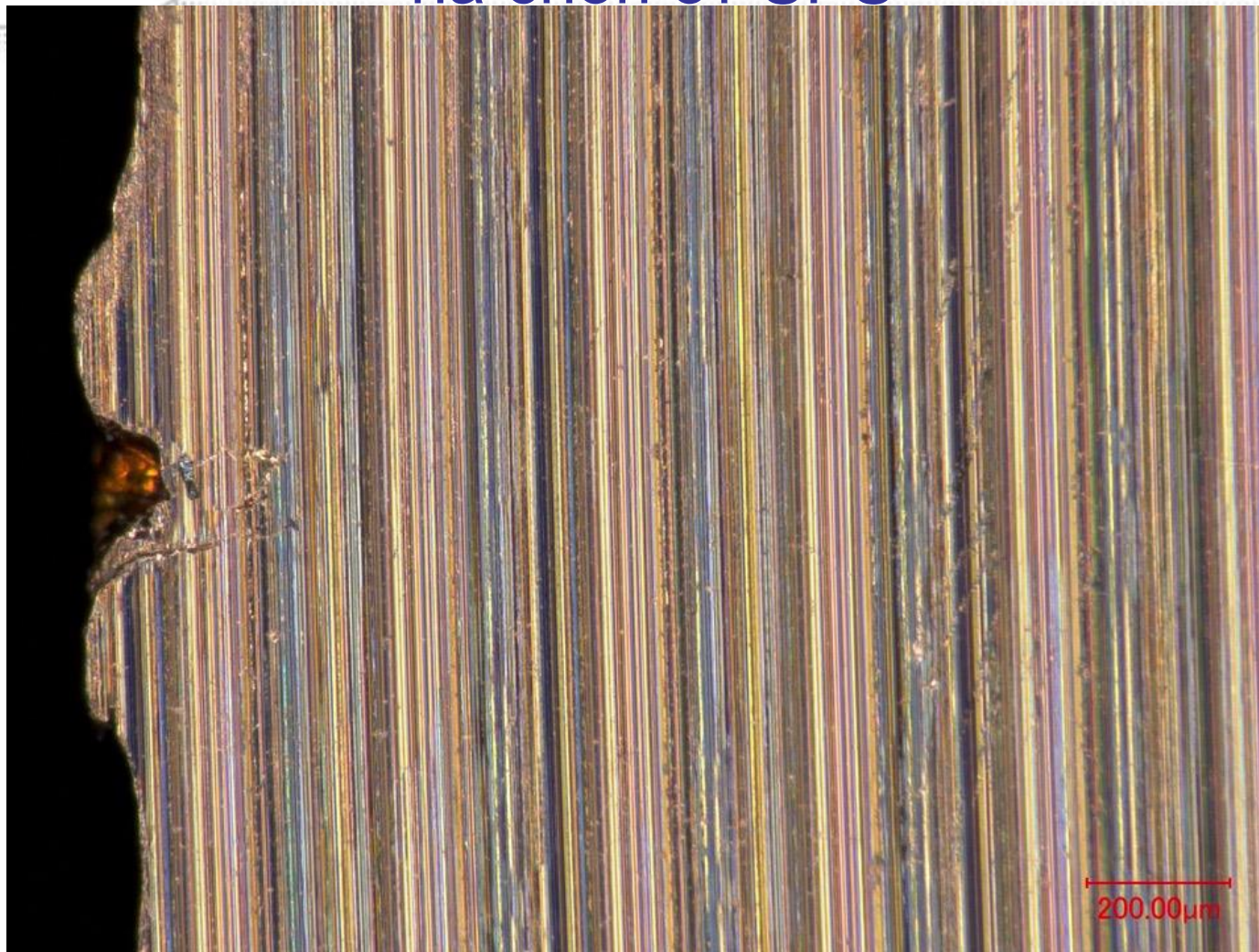


*Експеримент HiRadMat в SPS, снимки F. Burkart



Technology
Department

Хидродинамично тунелиране в мед на сноп от SPS*



*Експеримент HiRadMat в SPS, снимки F. Burkart