

*Nadprzewodniki w urządzeniach o
skrajnie różniących się gradientach
pola magnetycznego*

NJCADAYS 2015
Warszawa 03-07. 11. 2015

Nadprzewodniki w fizyce wysokich energii

- Dzięki fizyce wysokich energii nadprzewodnictwo znalazło praktyczne zastosowanie

w latach 60-tych 20 wieku. Okres wdrażania sc jest stosunkowo krótki, ale można powiedzieć ze wszedł w okres dojrzały. Zastosowanie w fizyce wysokich energii (jak np. JINR Dubna; czy CERN) jest powszechnie znane. Jeżeli chodzi o inne kierunki nauki, często nie zdajemy sobie sprawy z wykorzystaniu w nich nadprzewodników. Ciągłe odkrywamy nowe zastosowania nadprzewodnictwa. Zjawisko to nie zestarzeje się bo w nim tkwi pierwiastek idealnego procesu – procesu bezstratnego przepływu prądu. Jedyne, tego typu (idealnego) zjawiska, które daje się uzyskać. Mamy jednak dzisiaj wyróżnione nadprzewodniki LTS oraz HTS. Każde z nich opisuje sc po swojemu.

- Nie opracowano do dzisiaj jednolitej teorii nadprzewodnictwa.

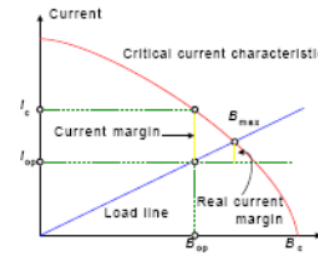
Nie przeszkadza to jednak w odkrywaniu coraz nowych możliwości ich wykorzystania. Tworzona z ich pomocą nowa rzeczywistość (generacja silnych pól w dużych objętościach), stwarza nie tylko możliwości budowy nowych urządzeń, ale również zmusza do badania wpływu tych pól na organizmy żywe. Organizmy, które przez tysiące lat rozwijały w polu magnetycznym ziemskim, słabszym o kilka rzędów wielkości w porównaniu do tego z jakim mamy dzisiaj do czynienia.

Ze względu na swoje unikalne właściwości, nadprzewodniki możemy wykorzystywać do generacji skrajnie różniących się pól – od pól z bardzo dużymi gradientami, do pól o bardzo dużych jednorodnościach.

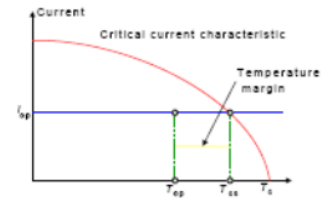
Co to są nadprzewodniki

Otrzymywanie pól magnetycznych o ekstremalnie dużych gradientach jak i ekstremalnie dużych jednorodnościach, można osiągnąć dzięki unikalnym właściwościom nadprzewodnika, który w stanie nadprzewodnictwa staje się idealnym diamagnetykiem (efekt Maisnera), a jednocześnie ma zerową rezystancję i jest w stanie przepuszczać bezstratnie prąd o wartości rzędu 10^9 A/m^2 .

Nadprzewodniki to zwykle materiały, które stan nadprzewodnictwa uzyskują w pewnych warunkach (poniżej $T_c; B_c; I_c$)

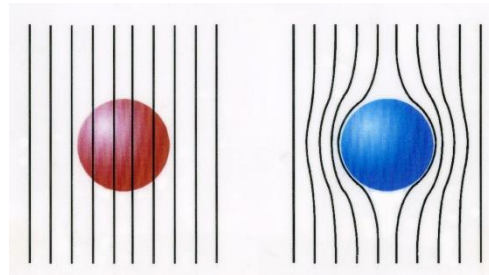


- I_c Critical current
- B_{op} Max B directed to coil at I_{op}
- B_c Upper critical B at given temperature
- T_{cs} Current sharing temperature



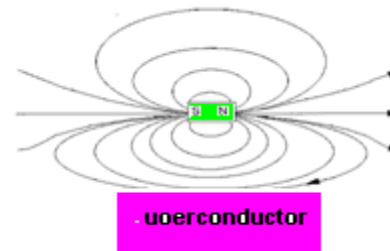
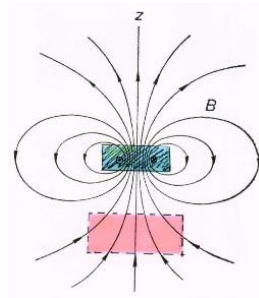
- I_{op} Operation current
- B_{max} Max B directed to coil at coil's I_c
- T_{op} Operation temperature
- T_c Critical temperature at given B

Otrzymywanie pól magnetycznych o ekstremalnie dużych gradientach jak i ekstremalnie dużych jednorodnościach, można osiągnąć dzięki unikalnym właściwościom nadprzewodnika, który w stanie nadprzewodnictwa staje się idealnym diamagnetykiem (efekt Maisnera), a jednocześnie ma zerową rezystancję i jest w stanie przepuszczać bezstratnie prąd o wartości rzędu 10^9 A/m^2 .



W stanie normalnym

W stanie nadprzewodnictwa



Podstawowe własności nadprzewodników

Istnieją dwa typy nadprzewodników LTS

Dla nadprzewodników 1 rodzaju (stanowią je czyste materiały)

– głębokość przenikania pola magnetycznego wynosi ok. $\lambda = 5 \times 10^{-8}$ m

Dla nadprzewodników 2 rodzaju (techniczne materiały)

– mag. pole po osiągnięciu λ , przenika na głębokość ξ , ($\chi = \lambda / \xi$ gdzie χ - parametr Ginzburga Landaua.

Punkty zamocowania prądów wirowych (tkzw. punkty piningu) są charakterystyczne dla tego rodzaju nadprzewodników.

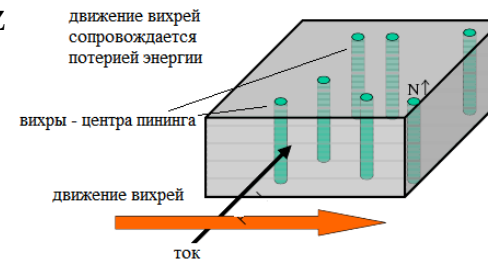
Im większe pole, tym większa ilość punktów piningu wnikająca na coraz większą głębokość w przewód. Po osiągnięciu głębokości ξ , prądy wirowe łączą się i zaczynają przemieszczać się zgodnie z kierunkiem płynącego prądu – nadprzewodnictwo w przewodzie znika.

Krytyczna wielkość prądu zależy od sił zamocowania wirów w strukturze materiału, które przeciwdziałają sile Lorentza

$$I_c \times B = -F_z$$

Gęstość prądu określa się zależnością

$$I = \text{rot}H$$



Nadprzewodniki HTS

To nadprzewodniki uzyskujące stan nadprzewodnictwa w temperaturze **powyżej 29 K**.

(ceramiki **YBCO;BSCCO**)

$\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ (YBCO)

Bi-Sr-Ca-Cu-O system (BSCCO)

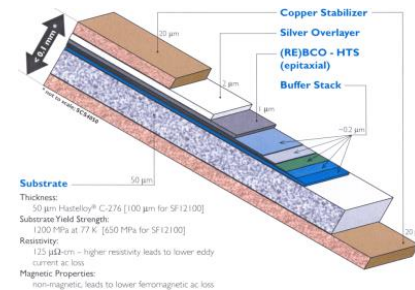
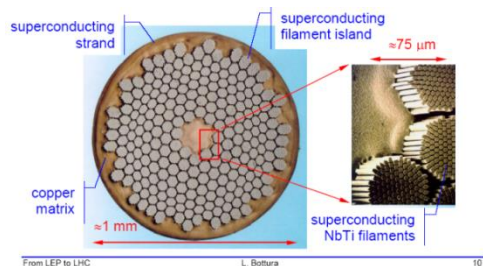
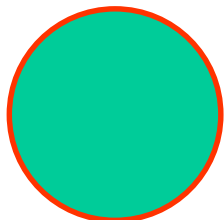
Tl-Ba-Ca-Cu-O system (TBCCO)

$\text{HgBa}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_8$

Perovskite crystal structure

Oxides of Cu + other elements

Struktura nadprzewodnika:



-pojedynczy
kompozytowy
przewód

-wielowłoknowy,
kompozytowy
przewód

przewód HTS
w matrycy Ag
(I generacja –
Ceramika w
osłonie Ag)

- przewód HTS
II generacji

Rola nadprzewodnictwa w planach rozwoju badań jądrowych

1. Nadprzewodnikowe sys magnetyczne
2. Ekranowanie magnetyczne
3. Źródła jonów; system chłodzenia wiązki jonowej

N	Spektrometr MPD
	Buster
I	Źródło jonów KRION
C	Chłodzenie wiązki jonowej
A	System zasilania multipolnych korektorów - przepusty prądowe HTS

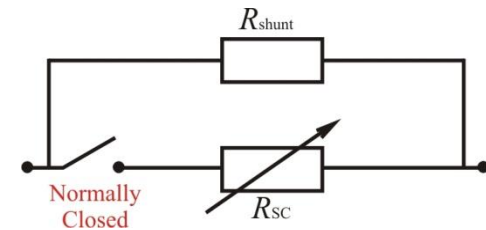
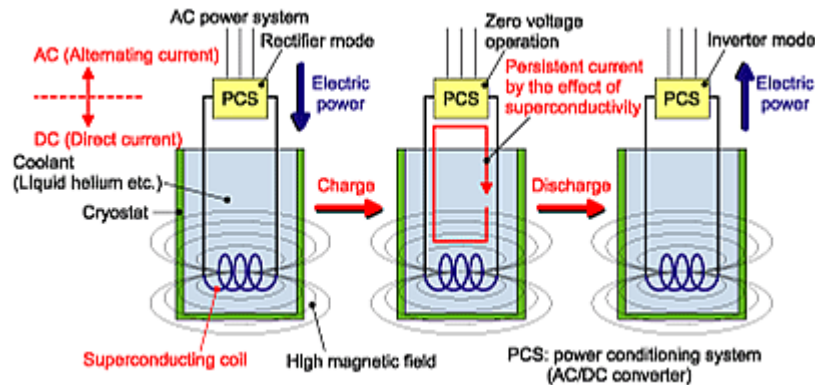
Źródło jonów DECRISEsc

Uzupełnieniem wymienionych systemów, będzie kolejno:

- SMES (dla zabezpieczenia sieci elektrycznych przed wpływem obciążeń zasilania)
- ograniczniki prądowe nadprzewodnikowe

Inne zastosowania w NICA

- możliwości zastosowania SMESa w sys zasilania NICA . Zabezpieczy przed przekazywaniu zakłóceń/tętnień/ do sys zasilania og
- zastosowania sc ogranicznika prądu w systemie zasilania LFWE (szybkie wyłączenie zasilania w przypadku zwarc



Silne Pola Magnetyczne

Przykłady zastosowań

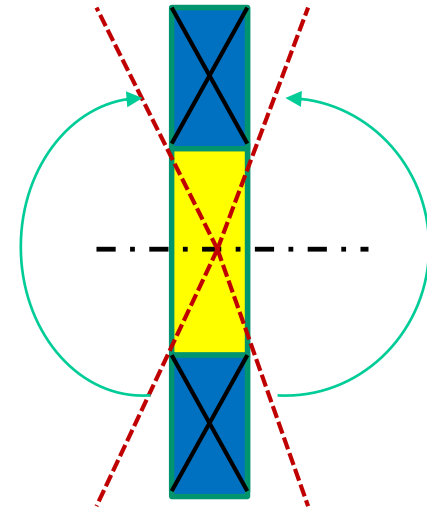
Źródła silnego pola magnetycznego

SPHERE

The Superconducting Magnetic System for the Spectrometer SPHERE of Relativistic Nuclei

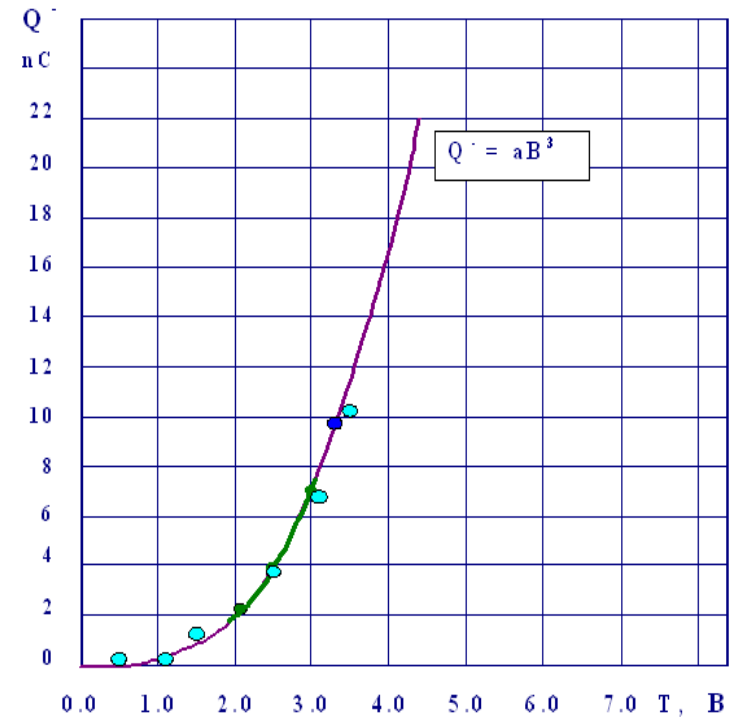
- **Main parameters of the solenoid magnet**

• Cryostat diameter: inner/ external	0.72 m/1.50 m
• Cryostat length	0.35 m
• Winding diameter: inner/external	0.94 m/1.10 m
• Winding length	0.24 m
• Cooling to 4.5 K masses	620 kg
• Nominal current	1.2 kA
• Central magnetic field	2.64 T
• Maximum field on the winding	6.25 T
• Conductor current density	$1.7 \times 10^4 \text{ A/cm}^2$
• Inductance	4.3 H
• Stored energy	3.1 MJ
• Conductor (NbTi+Cu):	cross section $2 \times 3.5 \text{ mm}^2$
• full length	4600 m ratio of cross sections NbTi/(NbTi+Cu) 0.42
• number of NbTi filaments	2970
• critical current (4.5K; 6T)	2.1 kA

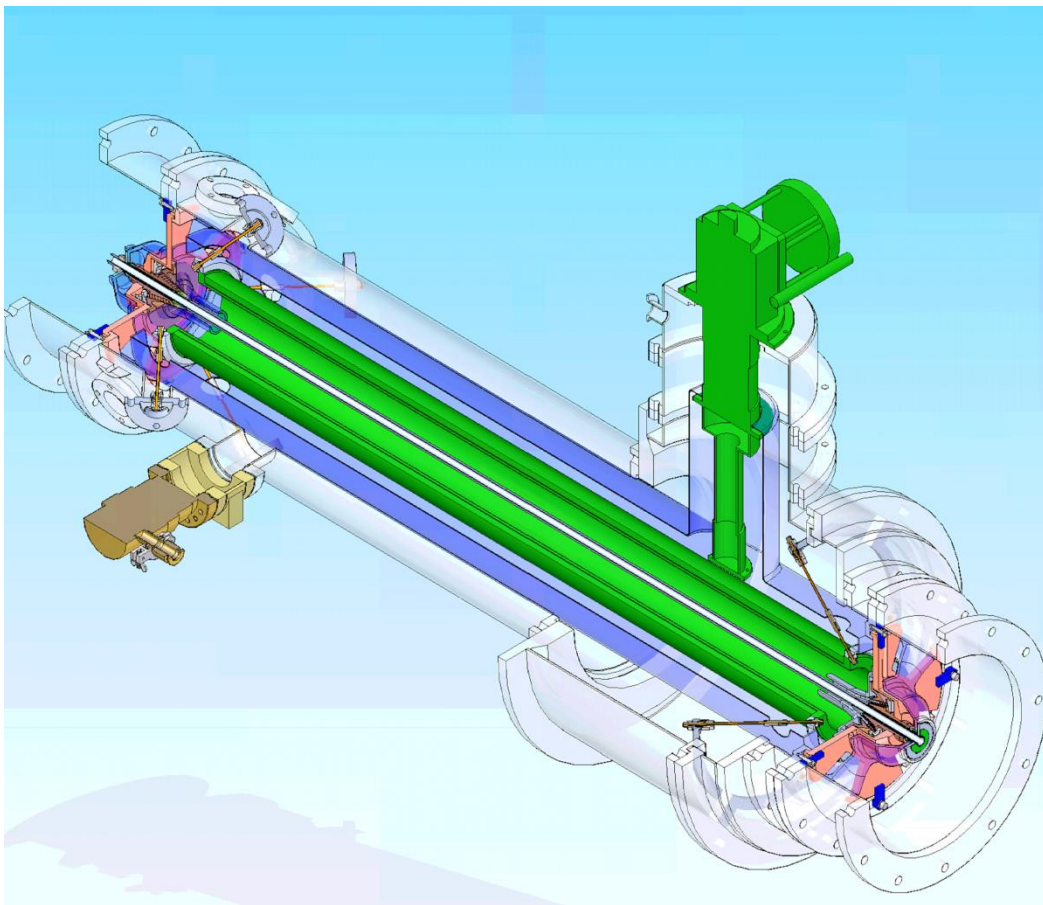


Źródło silnego pola magnetycznego (źródło jonów KRION6)

Parameter/ field, T1	Solenoid	3.0	6.0	12.0
Ion		$^{238}\text{U}^{30+}$		
Ion number per pulse		$1 \cdot 10^9$	$8 \cdot 10^9$	$6 \cdot 10^{10}$
Emittance, $\pi\text{-mm}\cdot\text{mrad}$		1.0	1.0	1.0
Pulse duration, μs		10.0	10.0	10.0
Repetition rate, Hz		50	250	2500

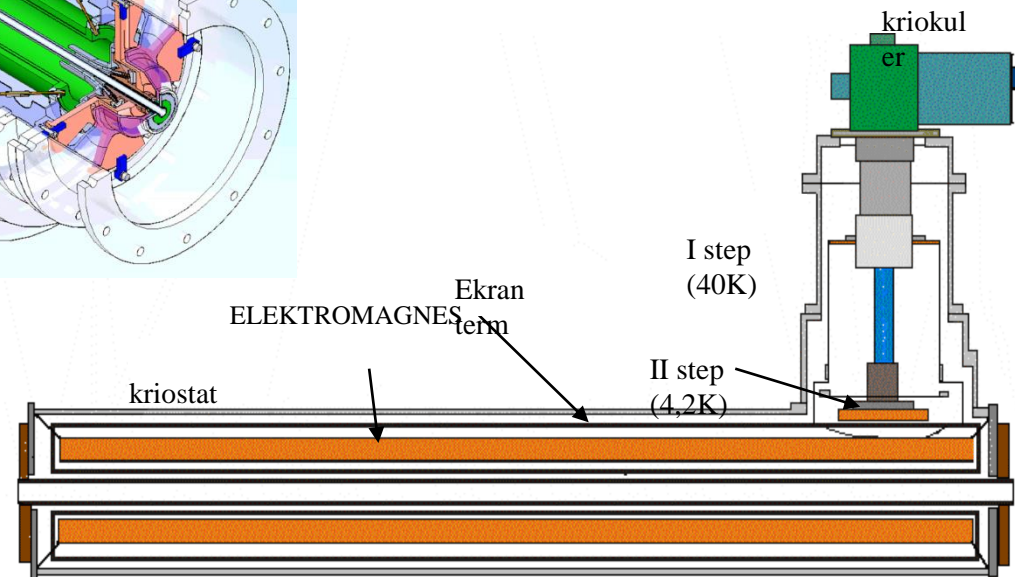


[w modelu elektromagnesu sc KRION6 osiągnięto pole mag o wartości 8T]



**Konstrukcja elektromagnesu
KRION6 z wysoką
jednorodnością pola mag**

Na uwagę zasługuje kriokulerowy
(autonomiczny)
układ chłodzenia elektromagnesu
z HTS przepustami prądowymi w układzie
Zasilania elektrycznego



Planowane jest zwiększenie jednorodności pola magnetycznego
Przez dodanie niezamkniętego ekranu nadprzewodnikowego

Urządzenia o skrajnie wysokich gradientach

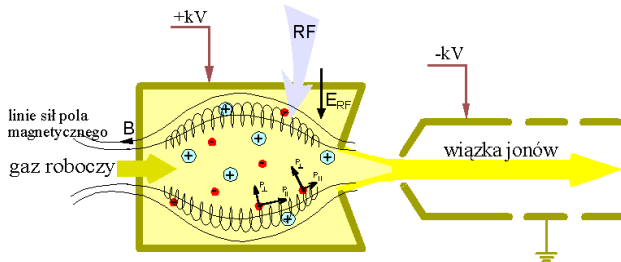
W fizyce wysokich energii

- **Źródła jonów** –
DECRISE

W przemyśle i ekologii

- Separatory sc

Ogólny widok źródła jonów DECRIS-SC1



Dla stabilizacji plazmy, przy wysokich Poziomach mocy HF wprowadzanych do źródła, niezbędna polem na osi o wartości 3T (skrajne cewki zasilane są zgodnie; środkowa przeciwsobnie)

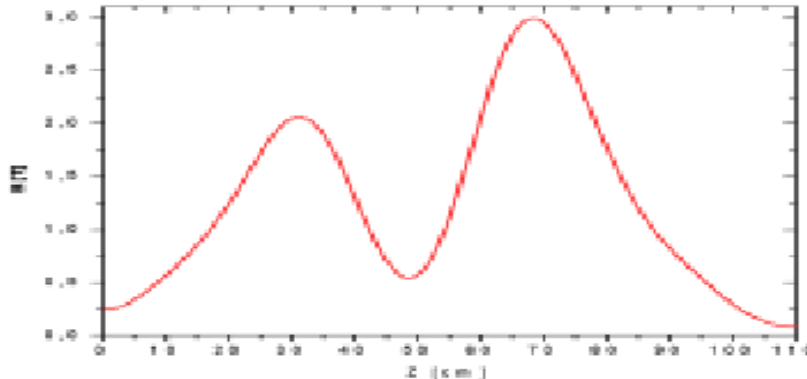
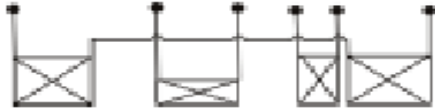
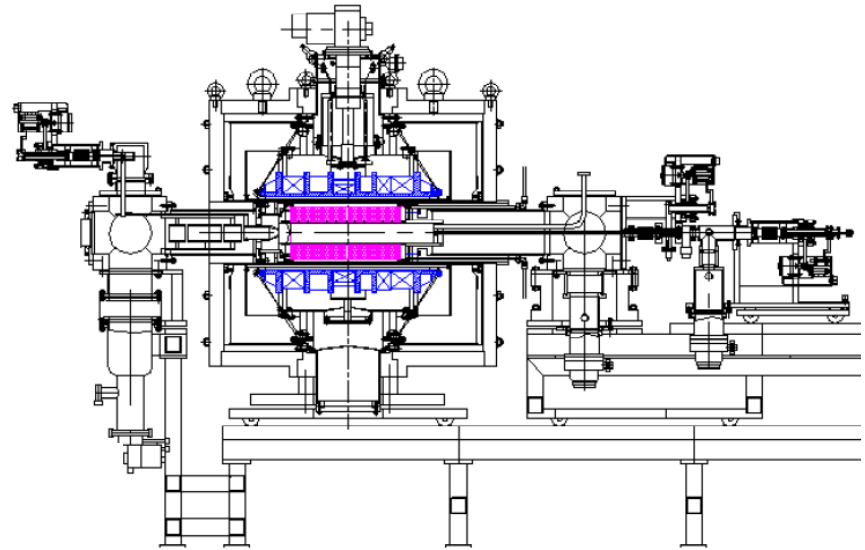


Figure 2: The axial magnetic field distribution and electrical coil connection.



Składowa osiowa pola magnetycznego tworzy na osi jonów pułpkę magnetyczną w kształcie siodła

- 1. Po zainstalowaniu nowego źródła z nadprzewodnikowym elektromagnesem, niezależnie od podniesienia intensywności wiązki i kilkakrotnego wzrostu energii cząstek akceleratora, moc potrzebna do jego pracy obniżyła się z 200 kW do 20 kW.

Schemat elektromagnesu DECRIS-SC2

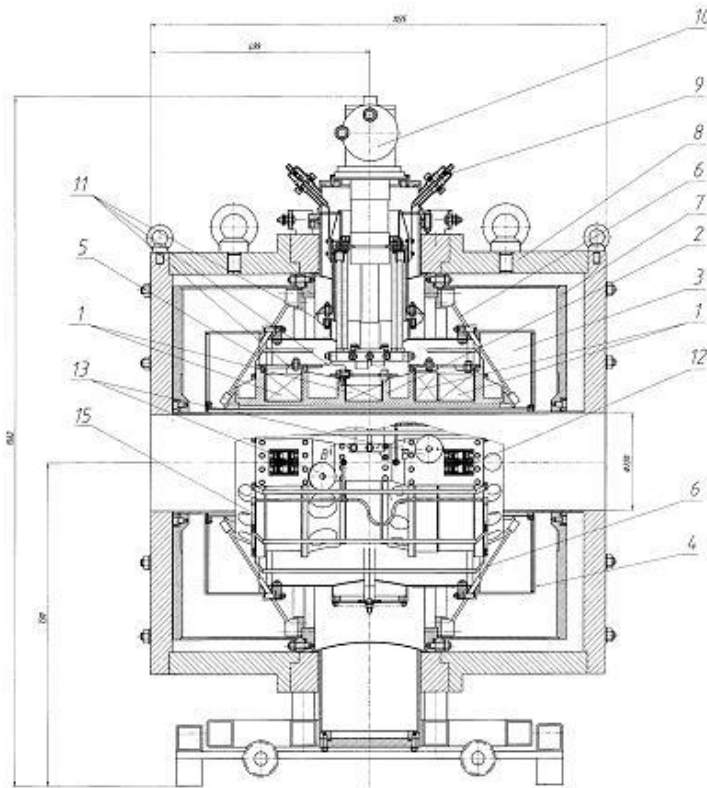


Table 1: Design parameters of DECRIS-SC

UHF frequency	14 GHz or 18 GHz
Mirror field on the axis:	
Extraction side	2 T
Injection side	3 T
Mirror to mirror space	390 mm
Max. coil current	60 A
Radial field at the wall	1.2 T
Plasma chamber internal diameter	74 mm
Max. extraction voltage	30 kV

1 – uzwojenie nadprzewodnikowe; 2 – solenoidy; 3 – ekran cieplny; 4 – wielowarstwowy ekran próżniowy; 6 – elementy zawieszenia zimnej masy; 7 – obudowa próżniowa; 8 – ekran magnetyczny; 9 – przepusty prądowe; 10 - cryocooler; 11 – rura ‘ciepła’, 12 - „zimne” diody; 13 – rezystor rozładowania; 15 – azotowy wymiennik ciepła

Separatory odchylające i matrycowe

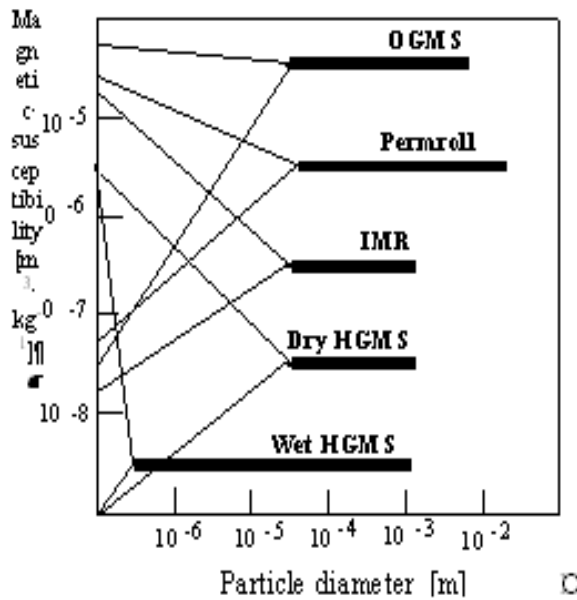


Fig. 1. Particle size ranges of high-intensity magnetic separators

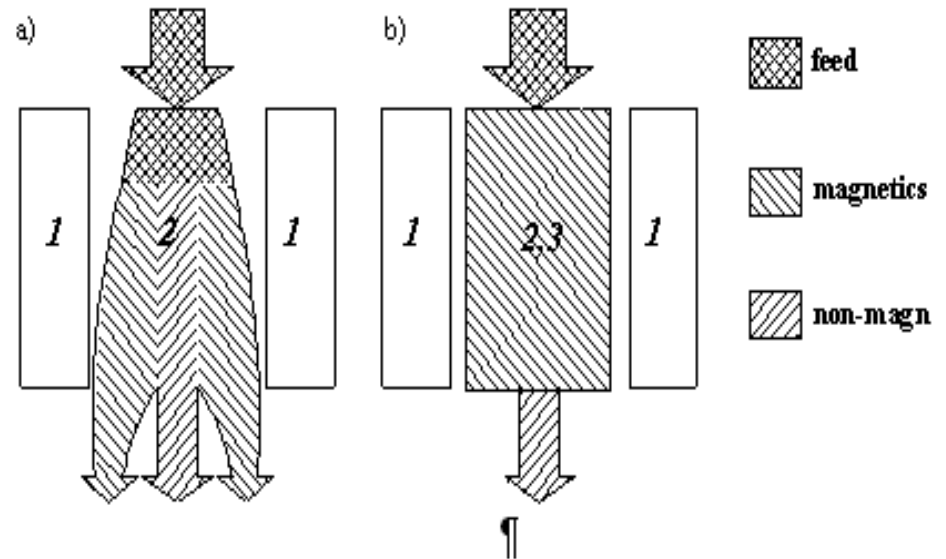


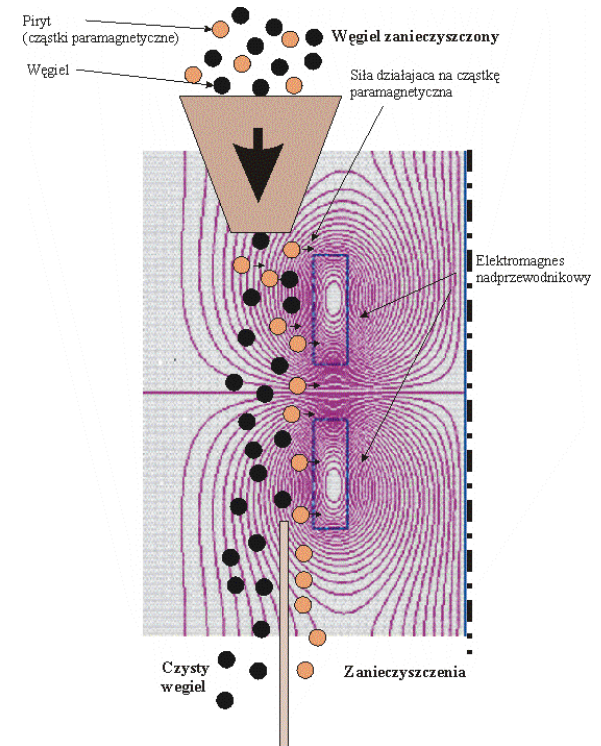
Fig. 2. High Gradient Magnetic Separators:
 a) deflecting separator, b) matrix separator
 1 - source of magnetic field, 2 - separation zone, 3 - matrix of the separator

Siła działająca na cząstkę

$$F_m = S^3 \chi B \frac{dB}{dx}$$

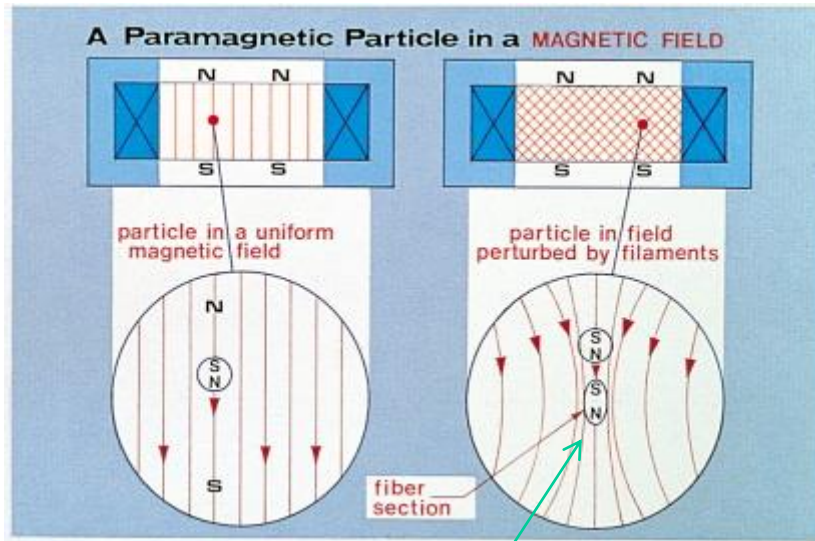
Gdzie :
S – średnica cząstki;
 χ – podatność magnetyczna cząstki
B – indukcja magnetyczna
 dB/dx - gradient indukcji

- **Wzbogacanie rud uranu; niklu;**
- separacja minerałów ferro i paramagnetycznych.
- Separacja cennych metali (Au, Ag, Pt), **oczyszczanie ziemi z odpadów promieniotwórczych.**
- Wykorzystanie cieczy magnetycznych dla separacji

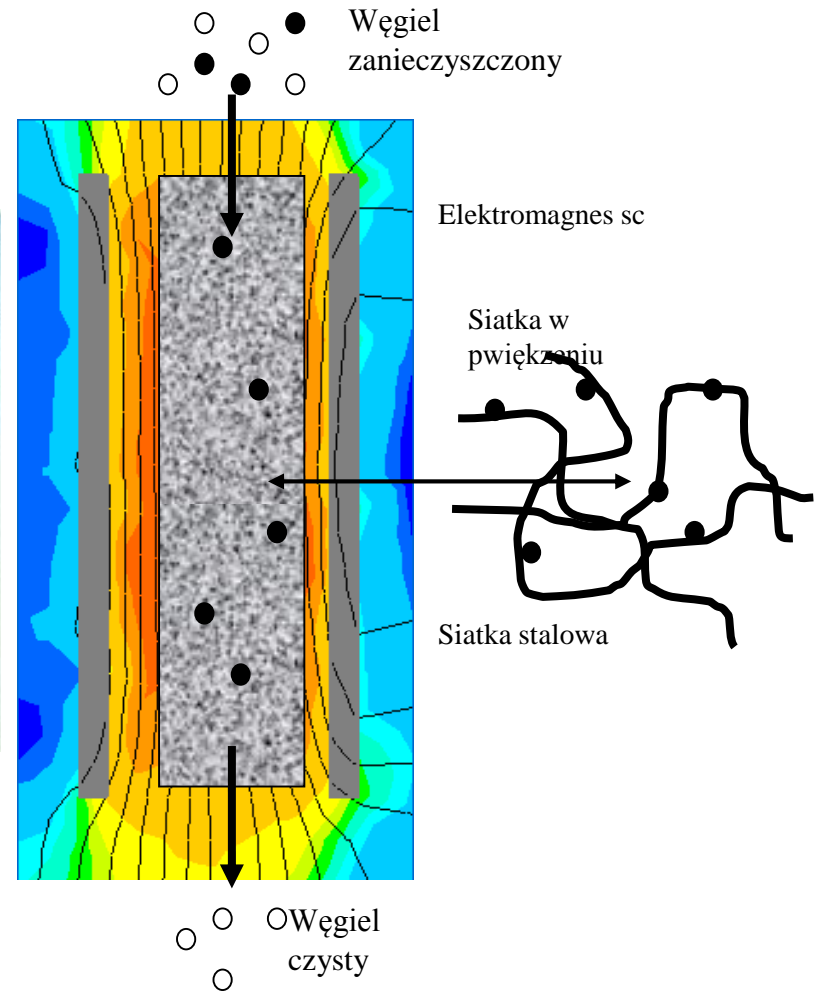


Separatory HGMS

Zasada pracy separatora matrycowego



dB/dx może sięgać 5000 T/m

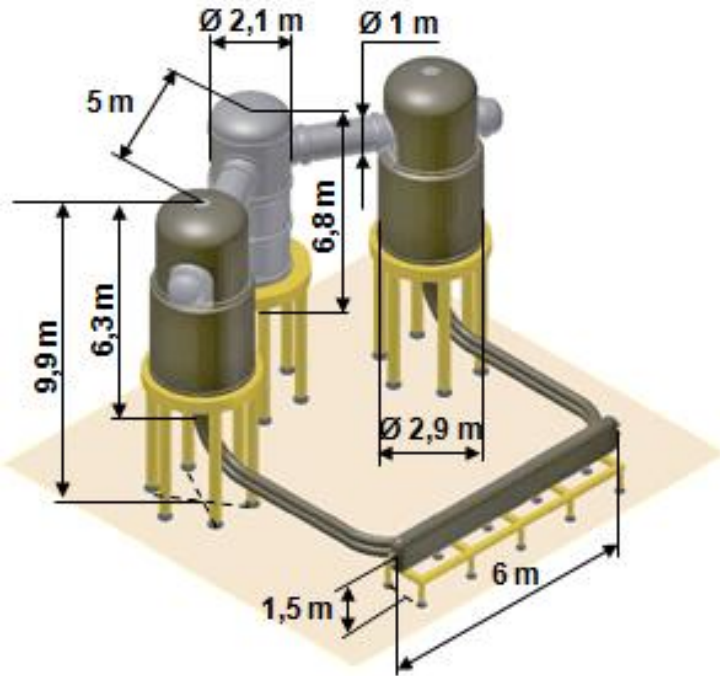


Urządzenia o dużych jednorodnościach pola magnetycznego

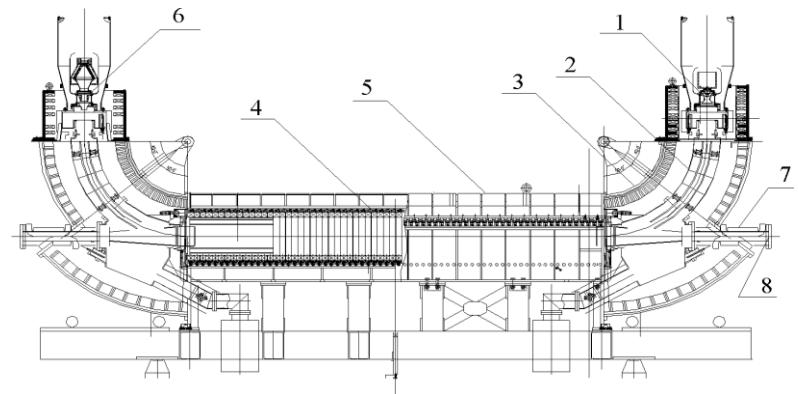
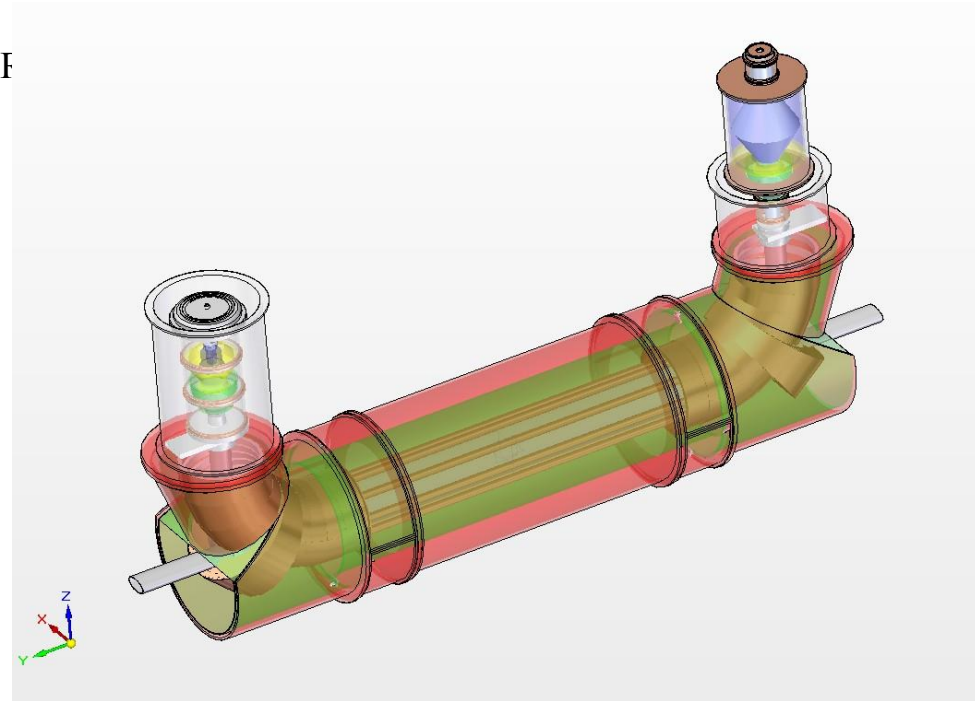
Elektronowe chłodzenie wiązki
jonowej

- Zwiększenie jednorodności pola magnetycznego w tomografach

Sposoby ogniskowania wiązki w akceleratorach: CEF



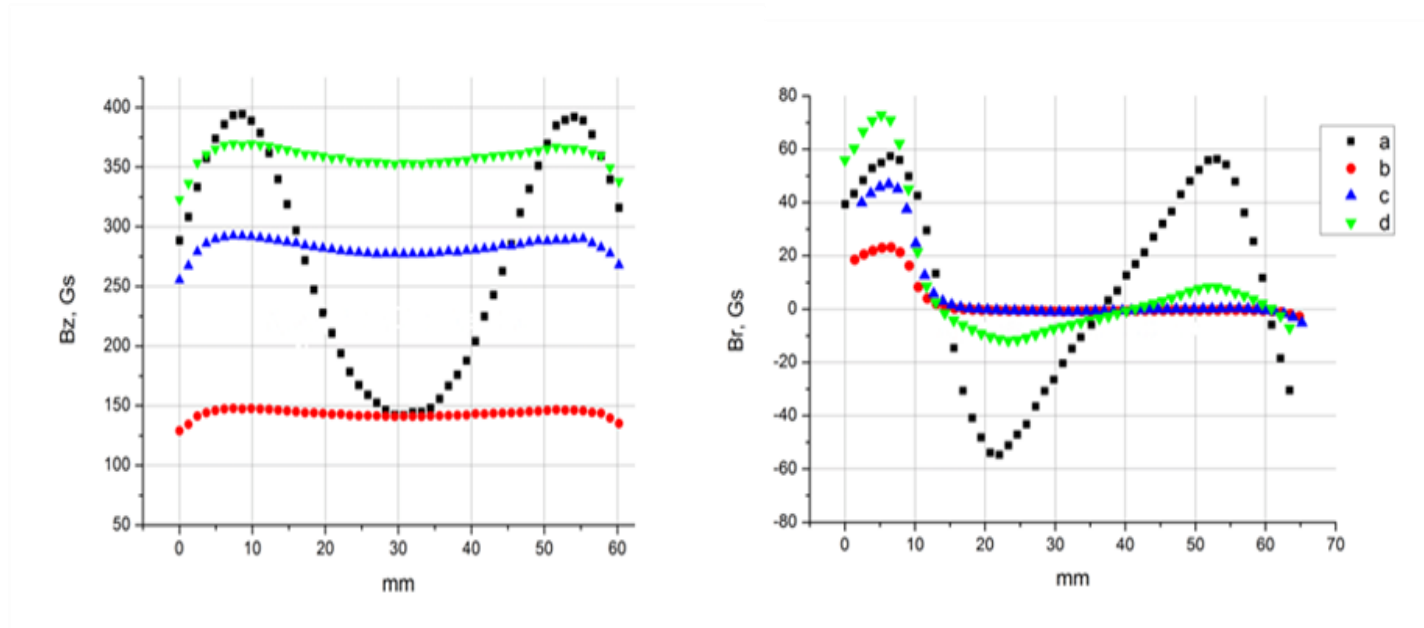
Schemat elektronowego układu chłodzenia wiązki jonowej NICA.



Schemat klasycznego elektronowego układu chłodzenia wiązki jonowej.

Efektywność ekranowania P_m w zależności od ilości warstw nadprzewodnika

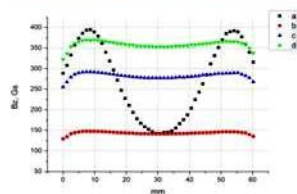
- Za pomocą niezamkniętych ekranów nadprzewodnikowych możliwa będzie też korekcja (kształtowanie) pola magnetycznego dla sys prowadzenia wiązki elektronów z anody do katody w sys elektro chłodzenia wiązki.



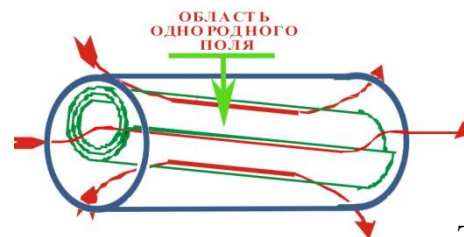
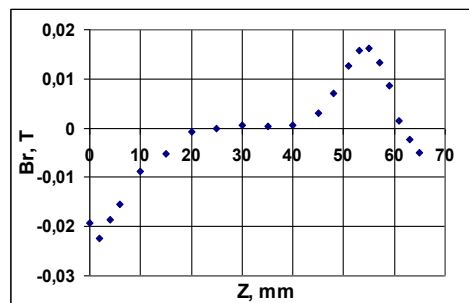
Longitudinal magnetic field vs. z- coordinate for different currents in the coils: a- without shield, 1A; b- 4 layer shield, 0.5A; c- 4 layer shield, 1 A; d- 4 layer shield, 1.5A

Radial magnetic field vs. z- coordinate for different currents in the coils: a- without shield, 1A; b- 4 layer shield, 0.5A; c- 4 layer shield, 1 A; d- 4 layer shield, 1.5A

Możliwości niezamkniętych nadprzewodnikowych ekranów



Składowa radialna pola B_r w pobliżu wewnętrznej powłoki ekranu w zależności od współrzędnej Z wzdłuż osi solenoidu.



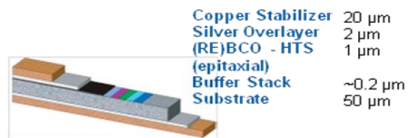
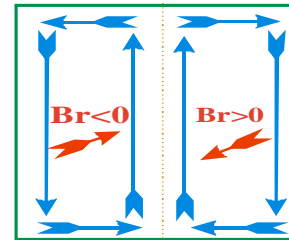
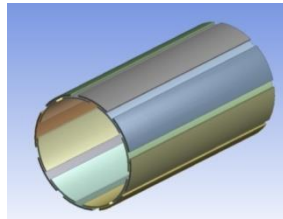
Zmiana nachylenia osi strumienia magnetycznego solenoidu, za pomocą niezamkniętego ekranu sc

Zmiana osi pola za pomocą ekranu sc

Możliwe zastosowania

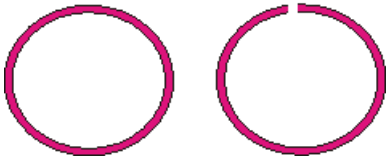
1. Zwiększenie jednorodności pola solenoidu
2. Kierowanie polem solenoidu (zmiany osi pola)
3. Komutacja strumieni magnetycznych dipoli (ekran, lustrzane odbicie...)
4. Zabezpieczenie nadprzewodnikowych przepustów,...

- The unclosed HTS shield in the form of the lengthwise winding.



nadprzewodnikowe ekrany magnetyczne

dwa typy nadprzewodnikowych ekranów magnetycznych
ekrany magnetyczne zamknięte i
ekrany magnetyczne niezamknięte



Metody wykonania ekranu:

Ceramiczne elementy

Nadprzewodnikowe folie;

Nadprzewodnikowe pokrycia (napylenie; elektrolitycznym sposobem)

Zastosowanie

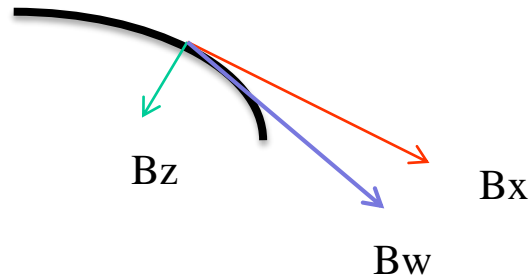
Ekranowanie obiektów fizycznych

Tworzenie próżni magnetycznej (publikacja 2007r – otrzymano próżnię magnetyczną o wartości poniżej $0,8 \times 10^{-5}$ A/m)

Ogranicznik prądu typu indukcyjnego – szybkość ograniczania – kA/us

Niezamknięte Ekrany nadprzewodnikowe

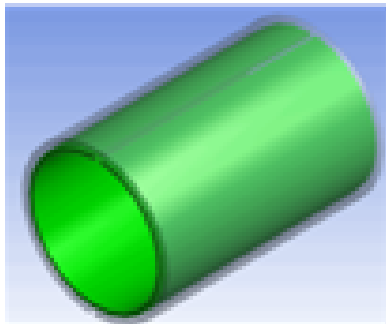
Dla wielu systemów magnetycznych jednym z istotnych parametrów pola magnetycznego jest jednorodność pola magnetycznego



Jak wyeliminować z obszaru roboczego, jedną ze składowych pola magnetycznego ?

W nadprzewodnikowym ekranie magnetycznym, każda zmiana zewnętrznego pola magnetycznego będzie powodować generację prądów w ekranie (prądów ekranujących), które uniemożliwią wnikanie pola do wnętrza ekranu (przykład z ogran prądu typ indukcyjnego)
 Dla zwiększenia jednorodności wystarczy eliminacja składowej promieniowej B.
 W tym celu wyk trzeba ekran niezamknięty

- Materiały LTS i HTS w konstrukcji ekranów magnetycznych



➤ The LTS shield is a multilayer unclosed winding made of the superconducting foil.

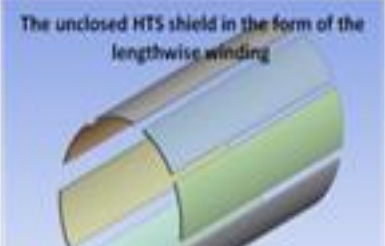
LTS shield

Material

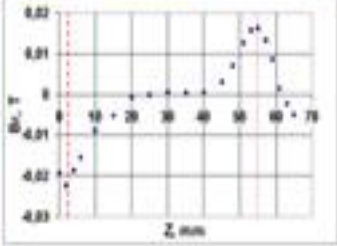
superconductor - HTS
 foil thickness 20µm

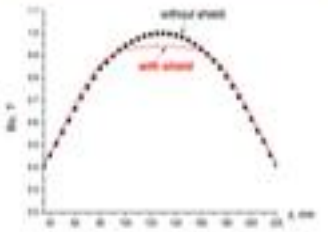
Unclosed shield: what is it ?

The unclosed HTS shield in the form of the lengthwise winding



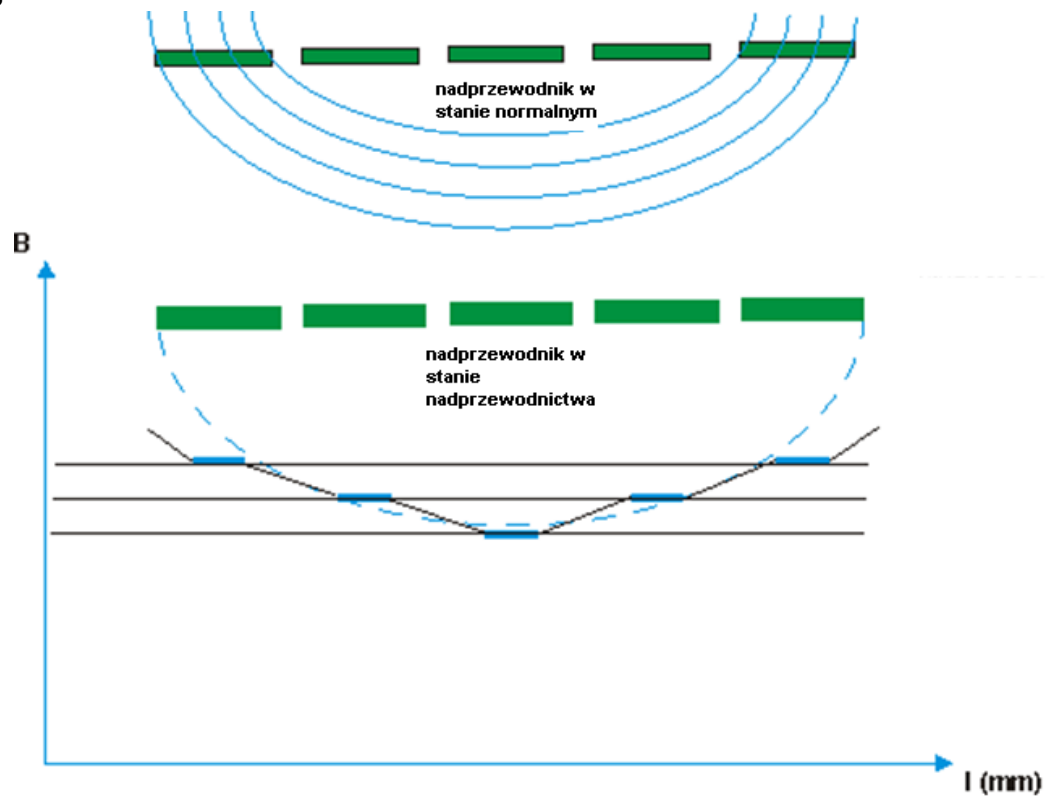
➤ The unclosed shield screens only magnetic field perpendicular component at the centre and transmits the longitudinal component.

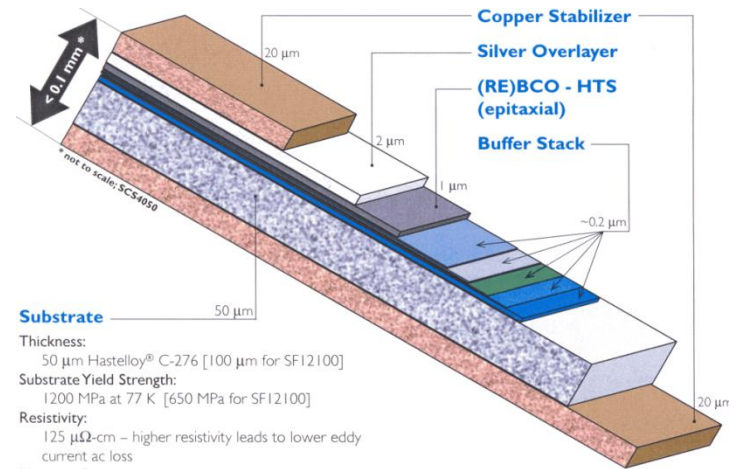
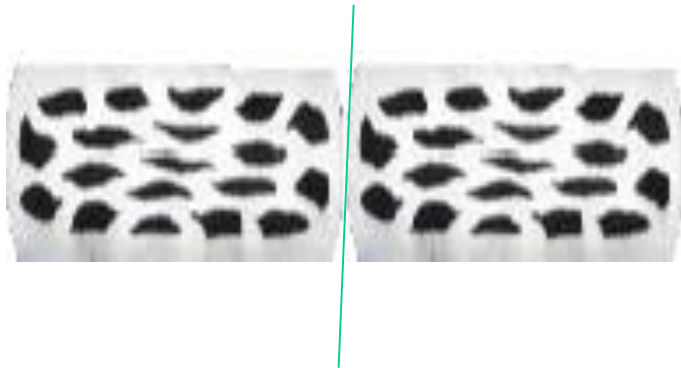




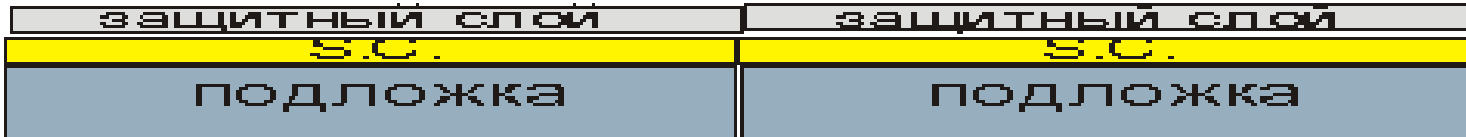
Taśma HTS w polu magnetycznym

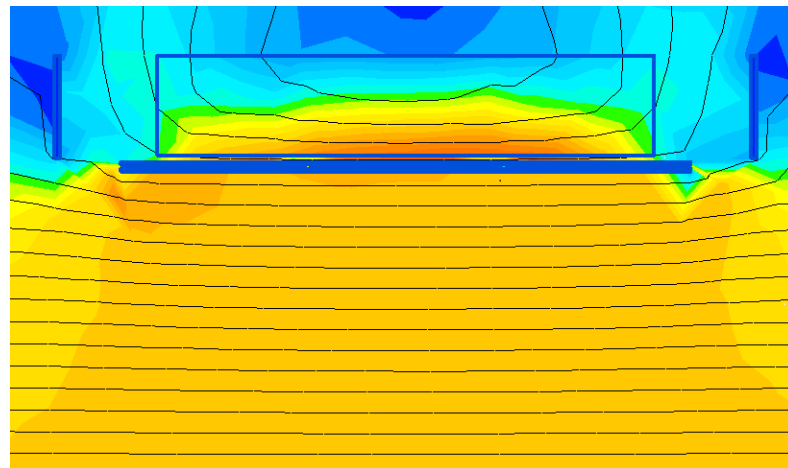
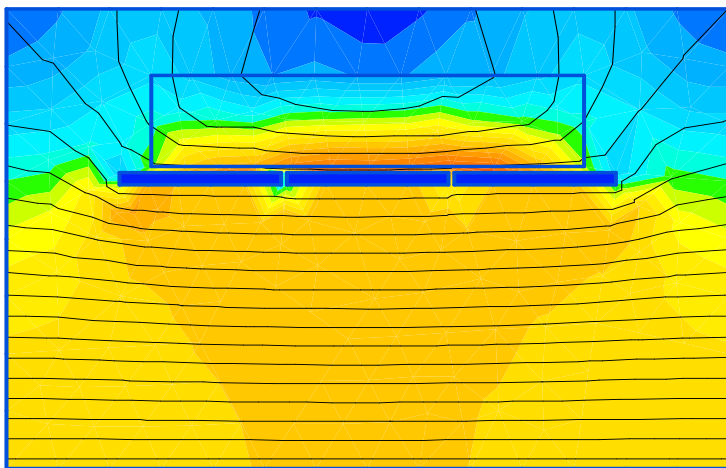
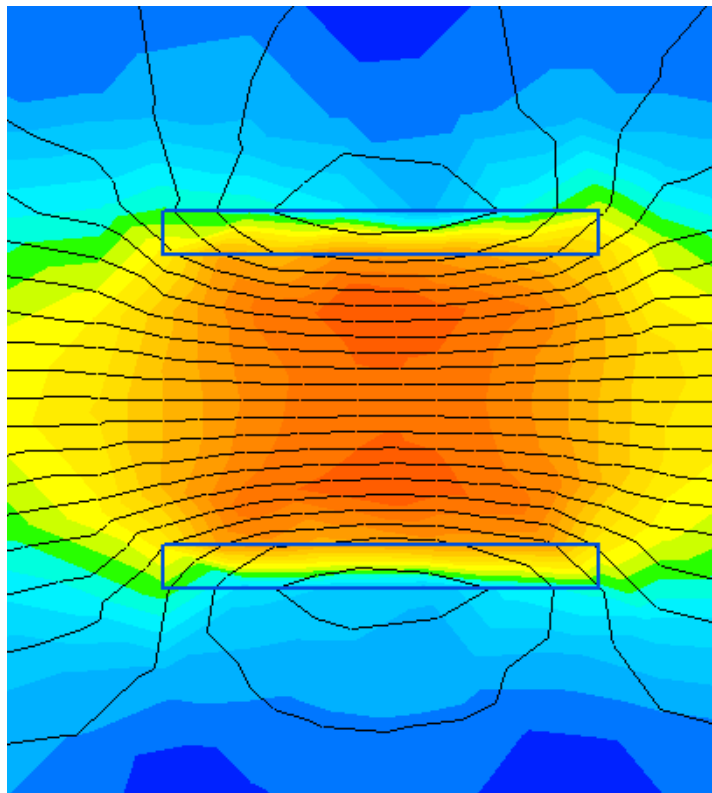
Taśma HTS
I generacji



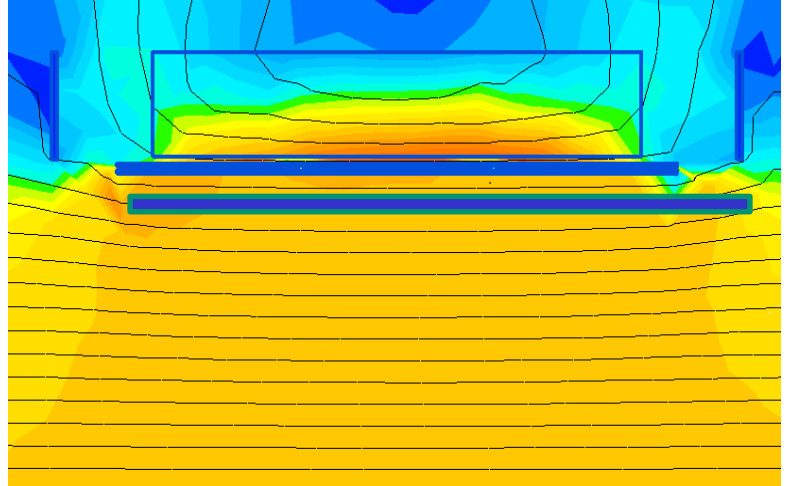
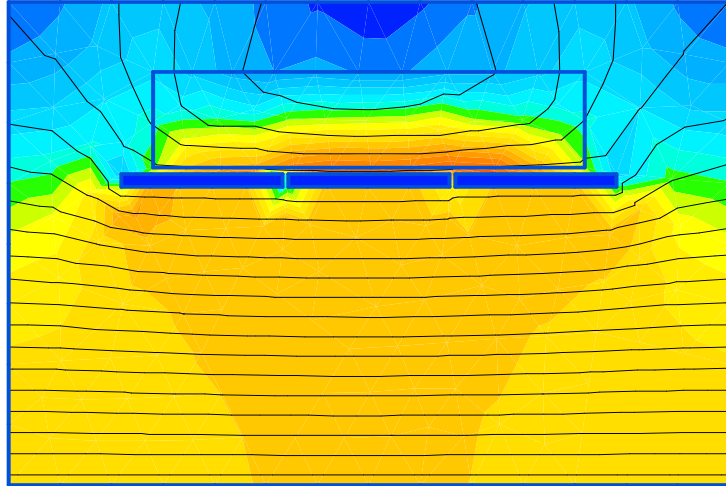


Substrate
 Thickness:
 50 μm Hastelloy® C-276 [100 μm for SF12100]
 Substrate Yield Strength:
 1200 MPa at 77 K [650 MPa for SF12100]
 Resistivity:
 125 $\mu\Omega\text{-cm}$ – higher resistivity leads to lower eddy current ac loss
 Magnetic Properties:
 non-magnetic, leads to lower ferromagnetic ac loss

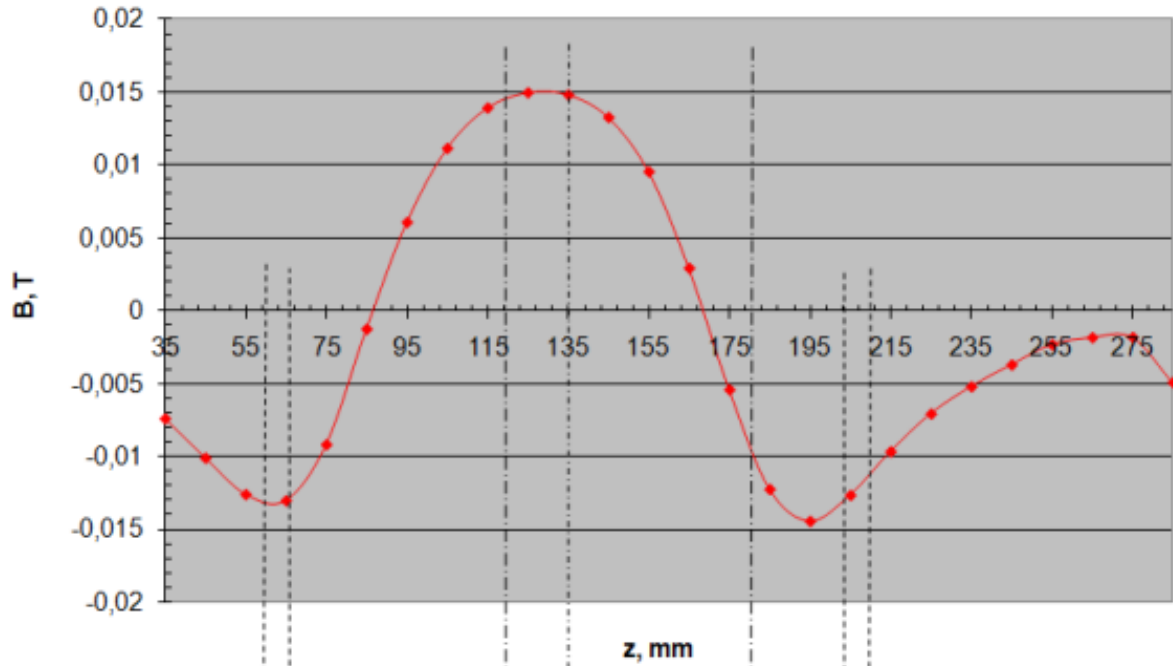




Вид магнитного поля: сверху - без экрана, снизу – расчетные поля (лента, сплошной св)



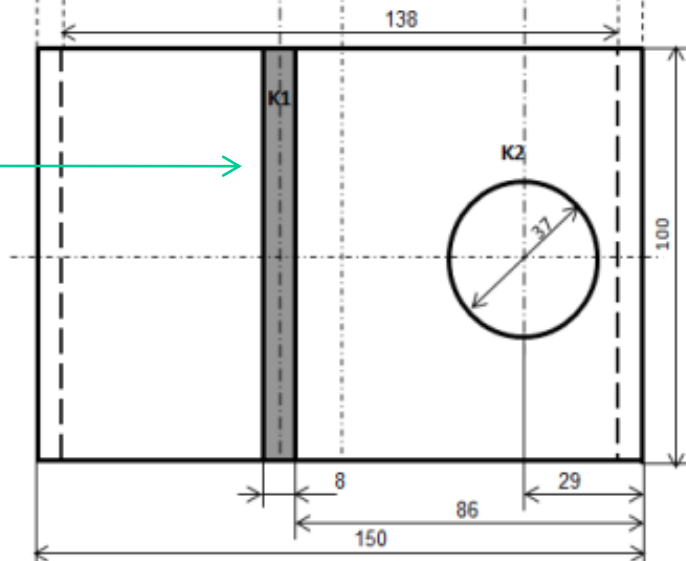
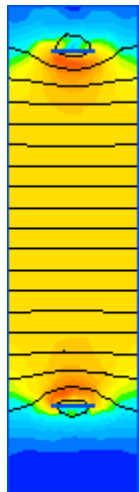
Остаточное поле в СП-состоянии



—●— 0 А

На поверхности сверхпроводящего экрана, для оценки влияния внешнего магнитного поля, на поле внутри экрана, установлены 2 катушки.

Одна катушка имеет **20 витков** проводника и была соосна с соленоидом. Вторая катушка имела **10 витков**, ось катушки перпендикулярна оси соленоида. Катушки питались током **10 А** последовательно и создавали магнитное поле **0.15 кЭ** и **0.018 кЭ** соответственно.



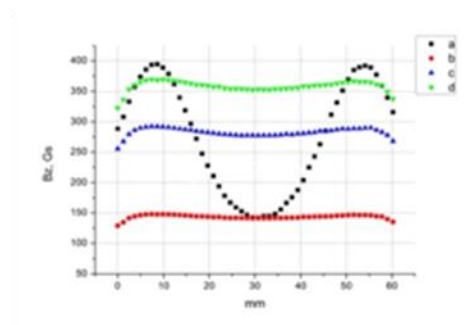
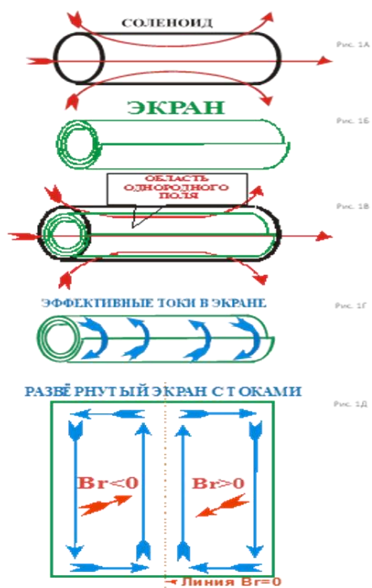
K1: 20 витков

K2: 10 витков

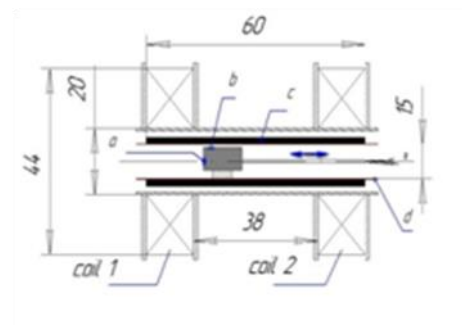
На рис. представлено влияние дополнительных катушек на распределение поля внутри экрана.

Максимальное поле в центре соленоида увеличилось на 10 %, а область однородного поля уменьшилась на 27 %.

Pierwsze niezamknięte ekrany nadprzewodnikowe wykonane były na bazie nadprzewodników HTS (spiek sc w matrycy miedzianej). (rys pierwszych badań). Widać było, że pole mag było bardziej jednorodne na odcinkach szerokości ścieżki sc w przewodzie scHTS. Kilka warstw eliminowało tę niedogodność, a wpływ ekranowania na jednorodność był widoczny przy 1,4T nawet na krótkiej cewce sc (1:2,5 ?)



Longitudinal magnetic field vs. z-coordinate for different currents in the coils: a- without shield, 1A; b- 4 layer shield, 0.5A; c- 4 layer shield, 1 A; d- 4 layer shield, 1.5A

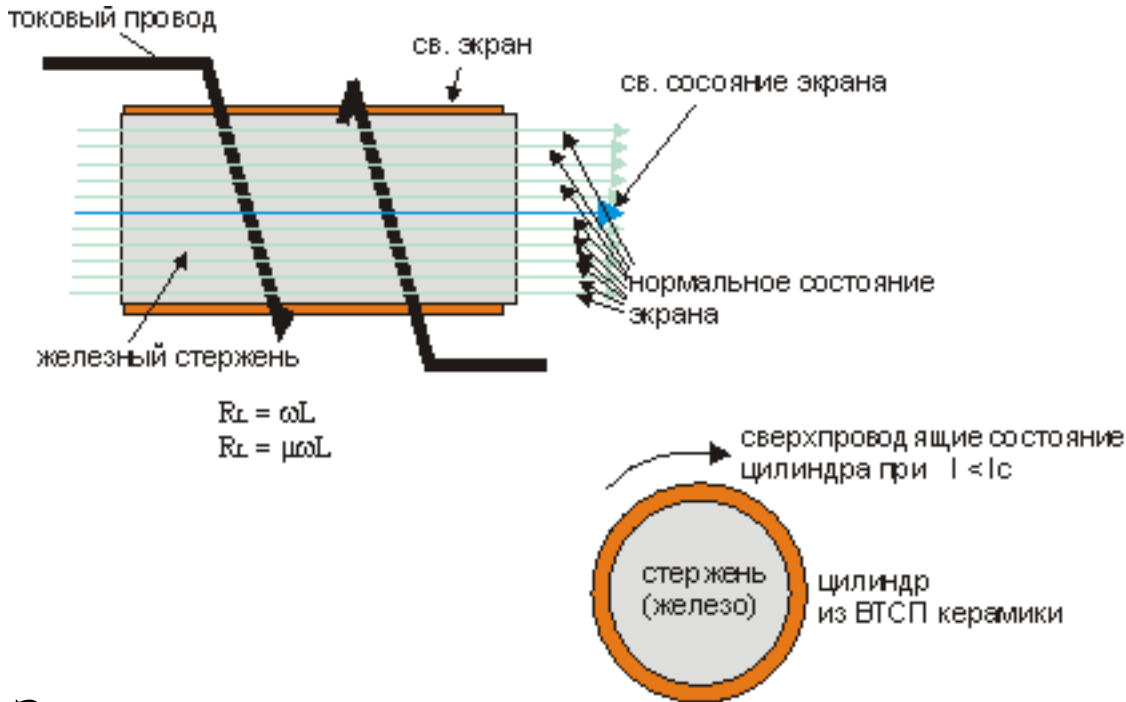


Experimental set-up. a- Hall sensor to measure the longitudinal field component, b- Hall sensor to measure the radial field component, c- HTS shield, d- non-magnetic steel tube

Urządzenia pomiarowe jednorodności B

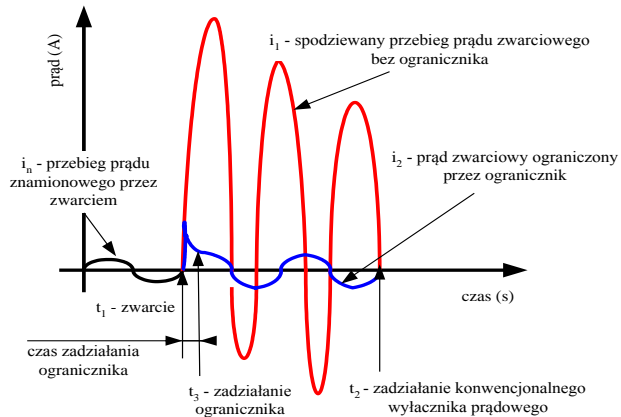
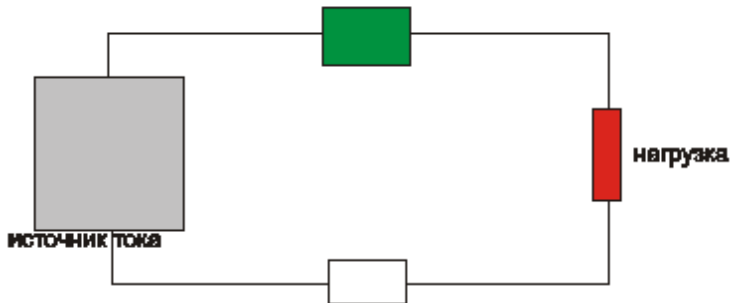
Dziękuję za uwagę

Zastosowanie ekranow sc zamknietych



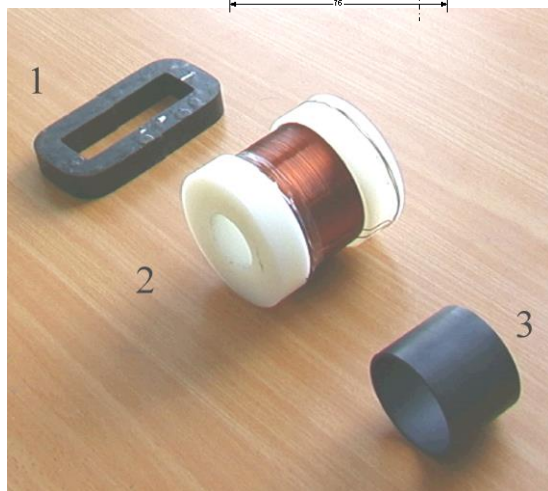
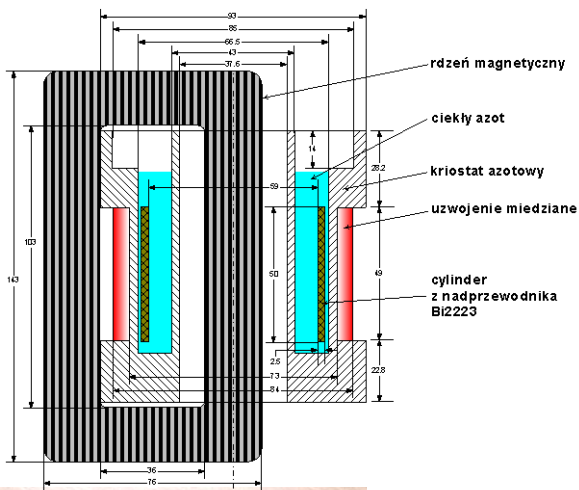
Зависимость по времени

св. ограничитель тока

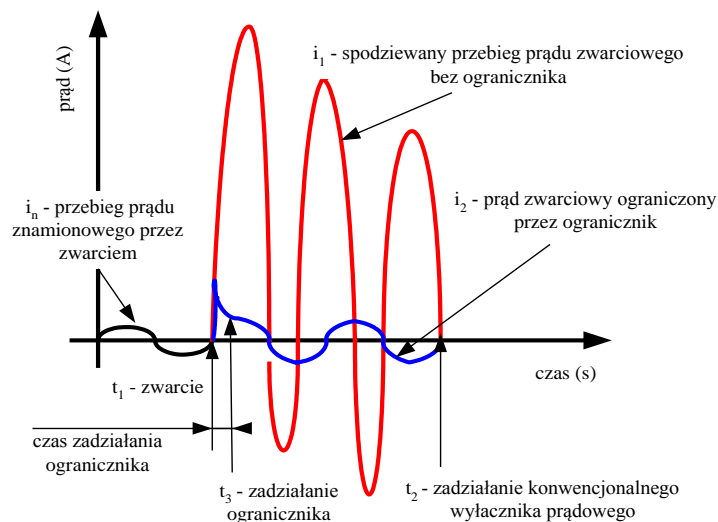
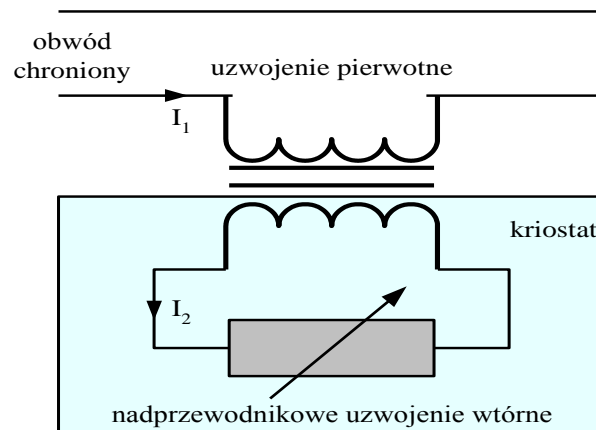


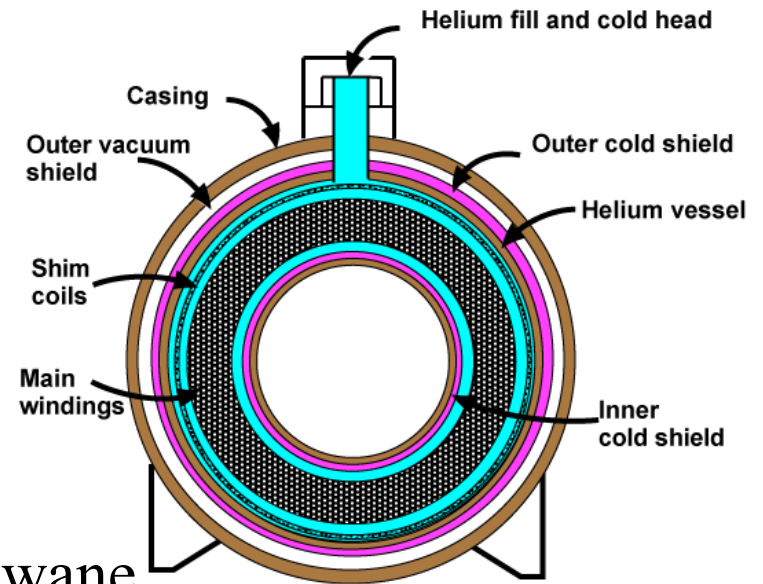
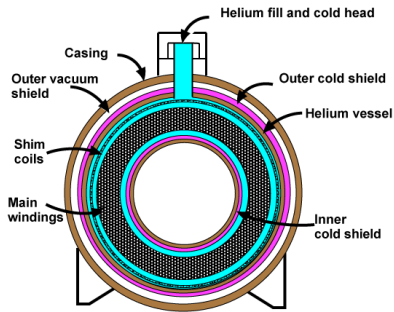
Замкнутые сверхпроводящие магнитные экраны на практике

**Пример использования:
Ограничитель тока, индукционного
типа**



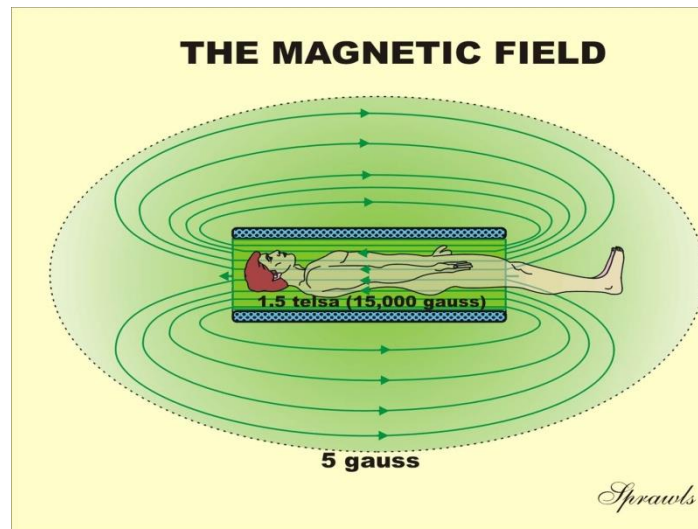
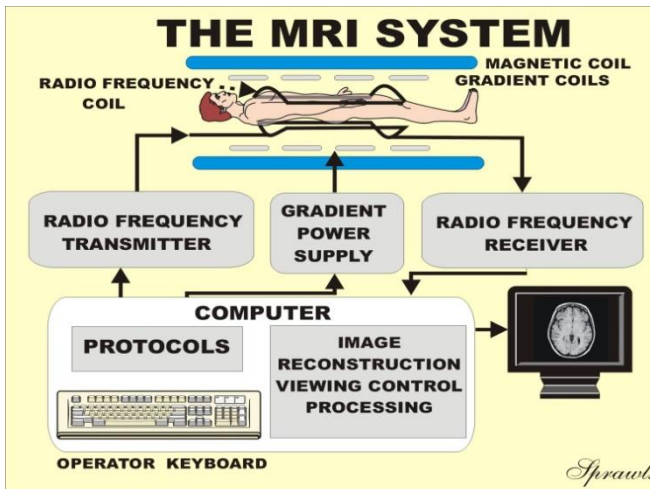
Электрическая схема и итоги действия (защиты)

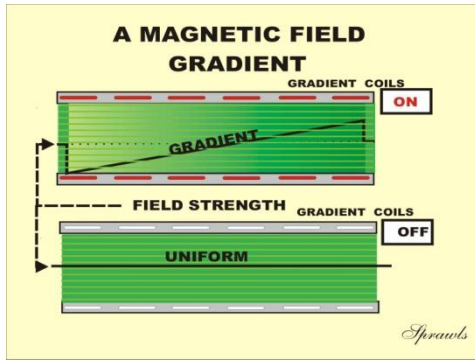
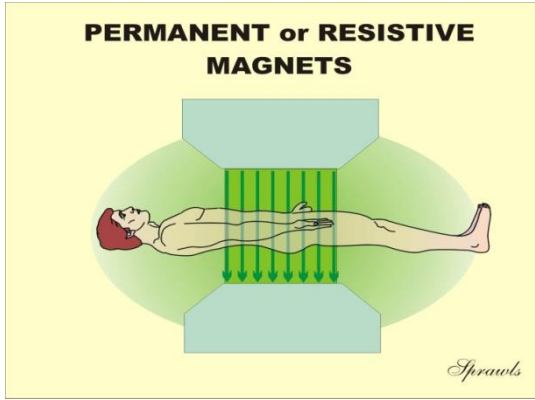




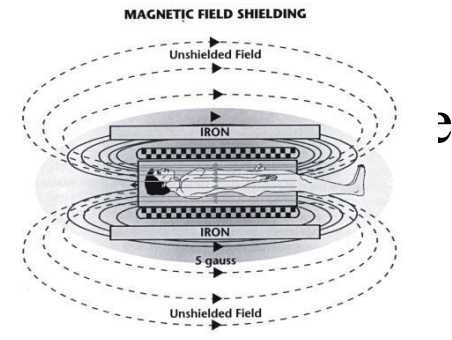
Ekrany magnetyczne

Do czego służą; gdzie sa stosowane

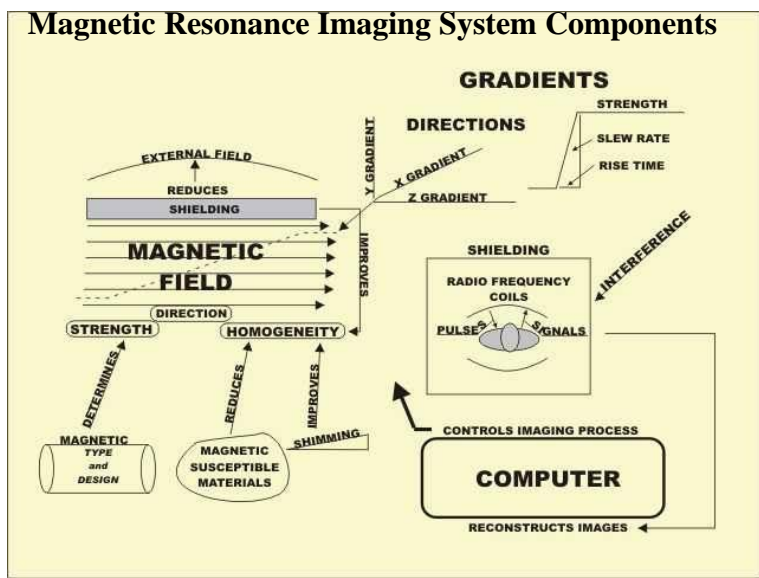
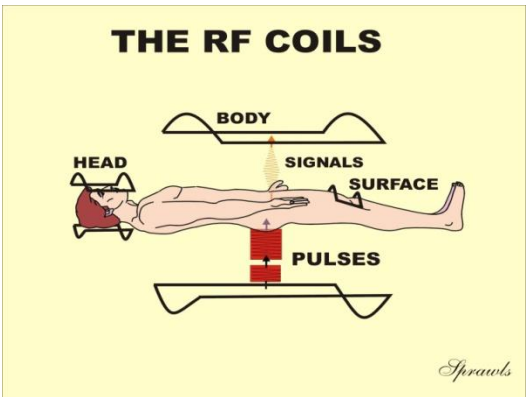




ere ek



Mind Map Summary



Problem chłodzenia elektromagnesów z kriochłodziarką w układzie chłodzenia

Szybkość chłodzenia zależy od efektywności wymiany ciepła kriochłodziarki z obiektem chłodzonym

Wymiana ciepła zależy min od materiału karkasu i mostków cieplnych elektromagnes-kriochłodziarka. Materiał karkasu przyjmuje się w zależności od wymogów technicznych

Экраны могут быть использованы для увеличения степени однородности магнитного поля в соленоиде

обозначив:

$\Delta H_{II} = 2l H_{\perp} / R$ где ΔH_{II} – изменение напряжения магнитного поля на длину экрана l.

коэффициент однородности ϕ определяется

$$\phi = \Delta H / H$$

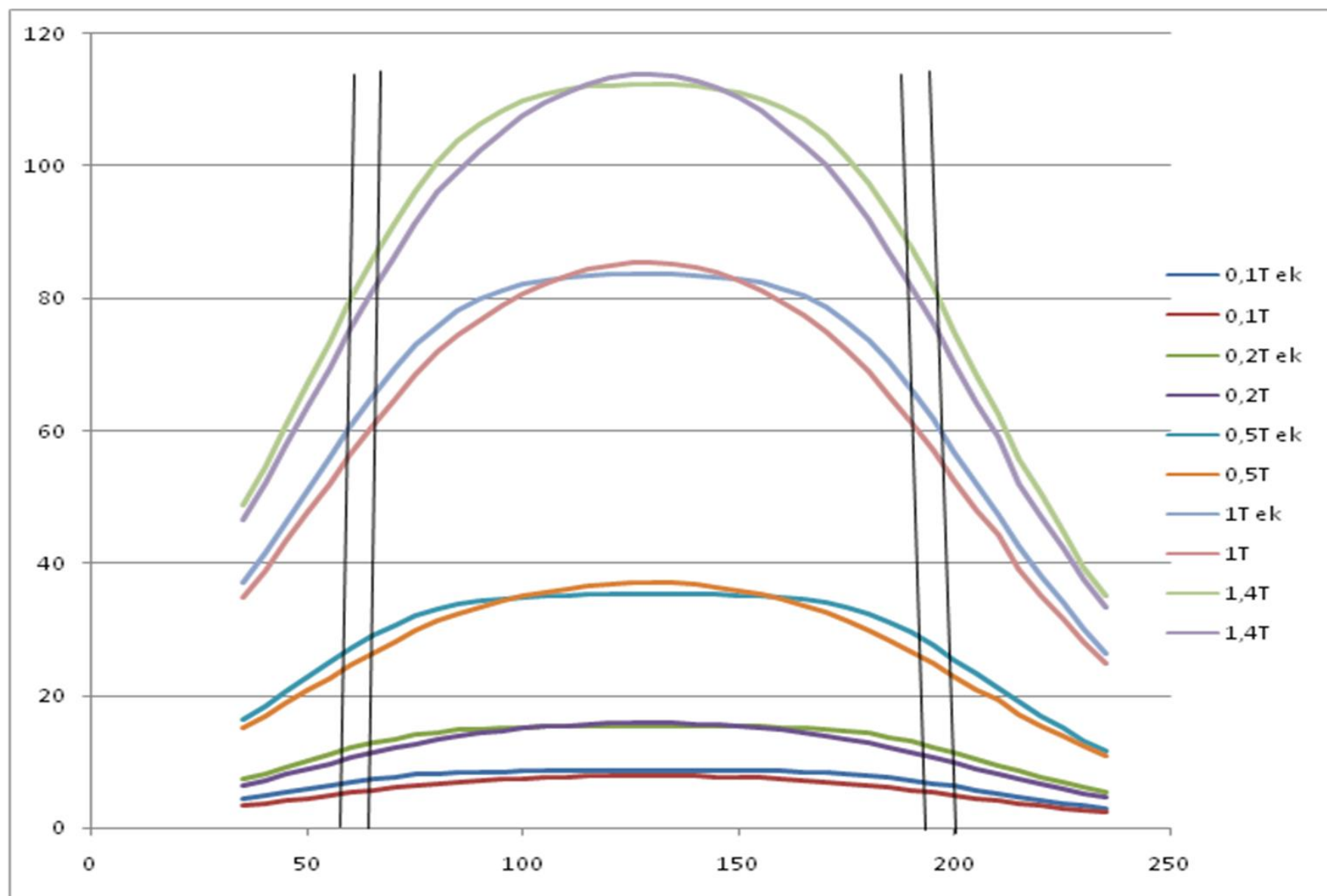
В конечном итоге $\phi = 2l/R (H_{\perp}/H_{II})$

Przykłady urządzeń o skrajnie różniących się parametrach magnetycznych

- Technologia nadprzewodnikowa umożliwia konstrukcję urządzeń o niespotykanych parametrach:
- - wielkości pól magnetycznych
- - wielkości gradientów pól magnetycznych
- - wielkości próżni magnetycznej
- - wielkości jednorodności pól magnetycznych
- - wielkości 'siły magnetycznej' ($B \times dB/dx$)
- konfiguracja określona pola magnetycznego możliwa jedynie przy zastosowaniu nadprzewodnictwa

Przykładem urządzenia o dużym gradiencie B jest źródło jonów typu DECRISE

Urządzeniem o b dużej jednorodności pola jest układ do 'elektronowego chłodzenia wiązki jonowej'



Podsumowanie

- Chłodzenie elektromagnesu nadprzewodnikowego o masie ok 300 kg za pomocą kriołodziarki o wydajności cieplnej 1 W (4,2K) przebiegło pomyślnie. Zapas mocy (ok 0,5 W przy 4,2 K) wskazuje na to, że nawet bez zmiany technologii budowy systemu magnetycznego, można chłodzić elektromagnes o masie co najmniej 600 kg.
- system chłodzenia okazał się niezawodny – nie zarejestrowano ani jednego quenchu elektromagnesu
- zmiana konstrukcji w zawieszeniu elektromagnesu i chłodzeniu przepustów prądowych, umożliwi poprawienie parametrów systemu.
- planowane jest uzupełnienie systemu zasilania przez zwoję nadprzewodnikową w przyszłości
- zmiana konstrukcji i materiału karkasu umożliwiłoby szybsze chłodzenie uzwojeń elektromagnesu do temperatury nadprzewodnictwa

Flux lines in superconductors

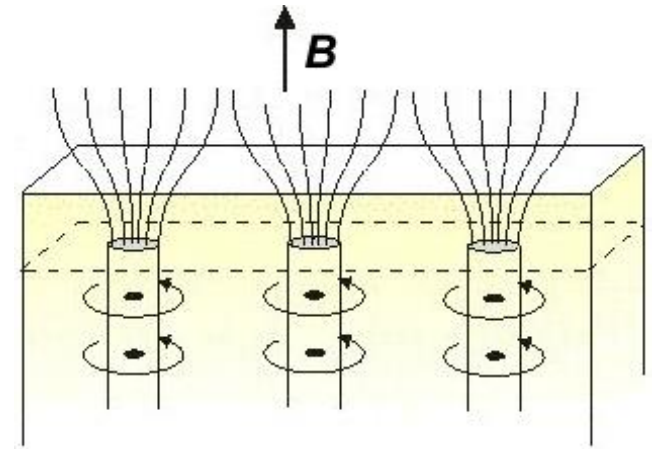
For some superconductors, called "Type II", the Meissner effect is not complete, and high enough magnetic fields can enter

://www.fys.uio.no/super/levitation/



field lines run from a magnet into a disk of superconductor which is suspended swinging under the magnet

as "flux lines" ...



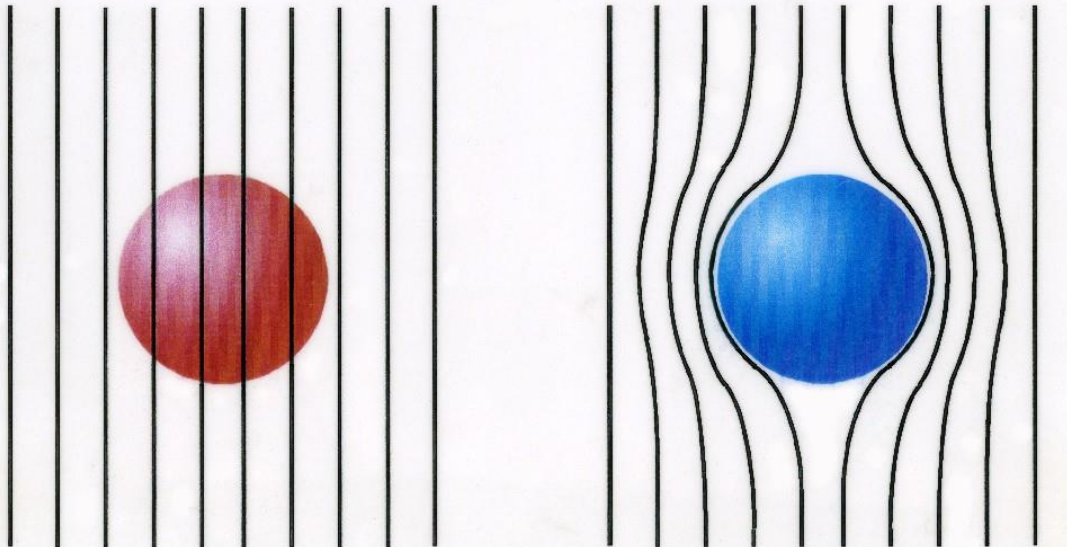
each carries a flux of $\Phi_0 = h / 2e$

The Meissner (and Ochsensfeld) Effect

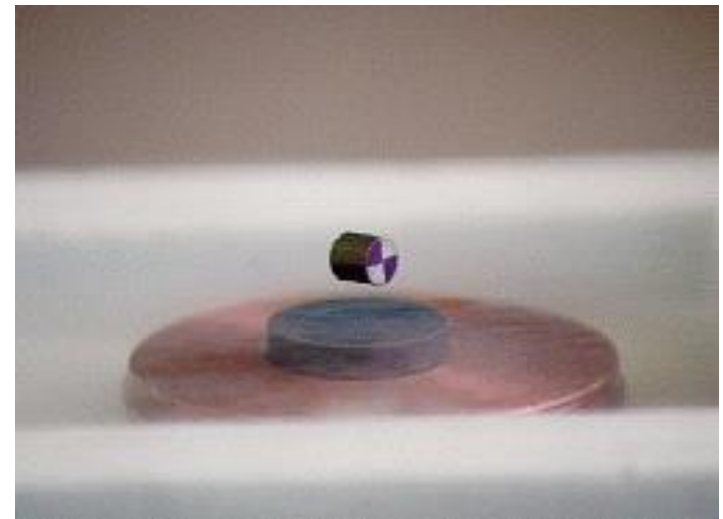
superconductors push out magnetic fields

$$T > T_c$$

$$T < T_c$$



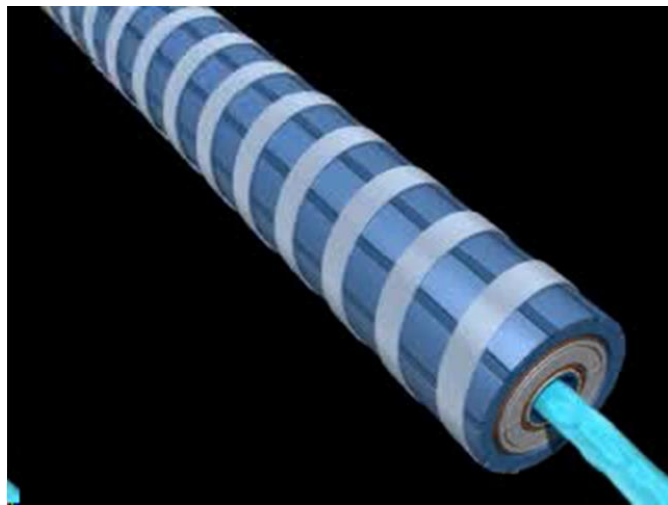
- and keep them out with constantly-flowing resistance-less currents



this 'diamagnetic' property is more fundamental than zero resistance

Some of these dreams are already reality...

SQUID
measure-
ment of
neuro-
magnetic
signals



Superconducting power cable
installed in Denmark

<http://www.bestofjesse.com/projects/indust/project1.html>



Japanese levitating train has
superconducting magnets onboard



(nuclear) magnetic
resonance imaging of the
brain, in the field from a
superconducting magnet

Superconductor Types

- Type I

Exhibits perfect diamagnetism below transition temperature T_c and has only one critical magnetic field B_c .

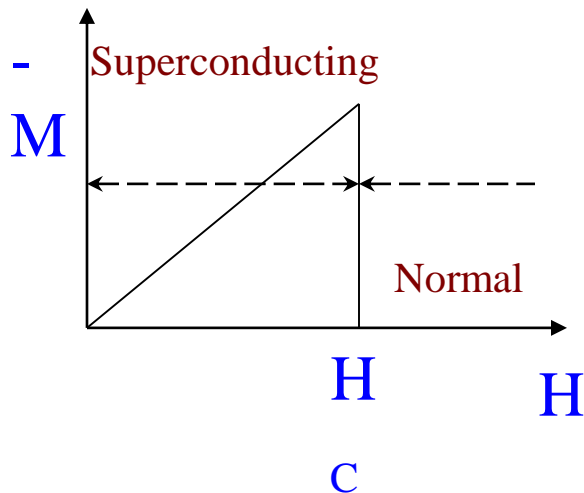
- Type II

Totally expels and excludes magnetic flux below lower critical field B_{c1} and partially does so between B_{c1} and upper critical field B_{c2} ; all superconductors except elements are Type II. This type has a larger T_c than that of a Type I superconductor.

Types of Superconductors

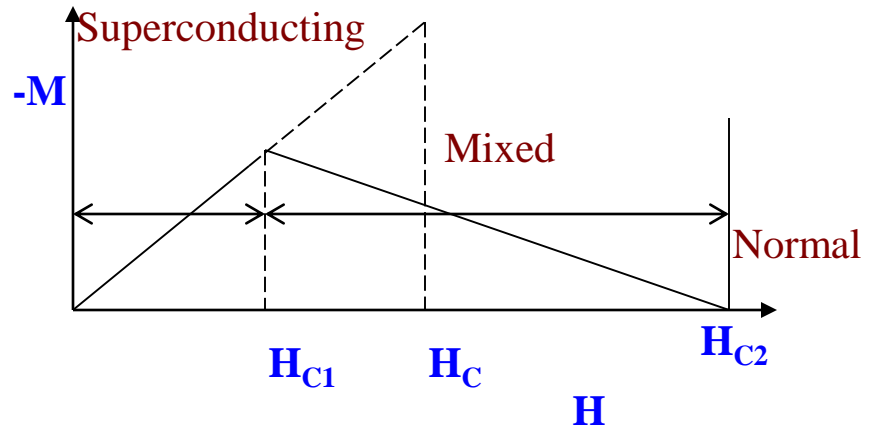
Type I

- Sudden loss of magnetisation
- Exhibit Meissner Effect
- One $H_C = 0.1$ tesla
- No mixed state
- Soft superconductor
- Eg.s – Pb, Sn, Hg



Type II

- Gradual loss of magnetisation
- Does not exhibit complete Meissner Effect
- Two H_C s – H_{C1} & H_{C2} (≈ 30 tesla)
- Mixed state present
- Hard superconductor
- Eg.s – Nb-Sn, Nb-Ti



High Temperature Superconductors

Characteristics

- High T_C
- 1-2-3 Compound
- Perovskite crystal structure
- Direction dependent
- Reactive, brittle
- Oxides of Cu + other elements

- **MAGNETIC FORCE**

- □
- The following link is a YouTube video of the
- strength of a magnet. This is a 4 Tesla MRI unit. At
- the University, we have a 3 Tesla and a 9 tesla unit.
- (you must copy and paste the link on your internet
- browser)
- <http://www.youtube.com/watch?v=6BBx8BwLhgg&feature=related>
- =related

- **RF HAZARDS**

- –
- **SURFACE BURNS**
- □
- Metal objects such as monitoring leads and
- electrodes and medication patches can absorb RF
- energy as heat and burn the patient's skin.
- First, second, and third degree burns have resulted
- A few patients with tattoos or tattooed eye
- -
- liner
- containing ferromagnetic material have suffered
- minor burns

- NMR UNIT
-
- On the NMR research units, the safe levels of
- 0.0005 T are at the legs of the unit.
-
- The interior of this unit is extremely well shielded
- so the magnetic levels above the safe limit are
- contained within a couple of feet from the unit
- itself