

# СВЕРХПРОВОДИМОСТЬ И ТЕОРИЯ ГИНЗБУРГА- ЛАНДАУ

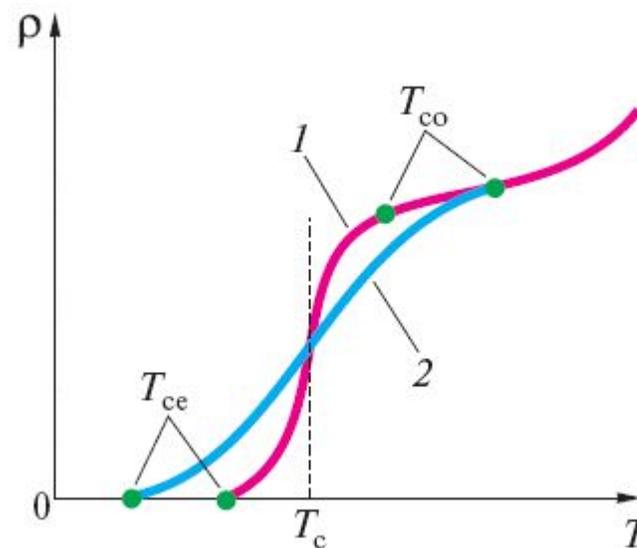
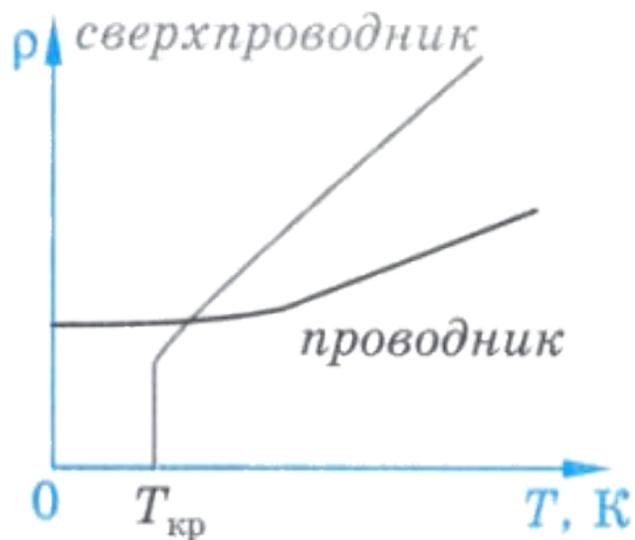
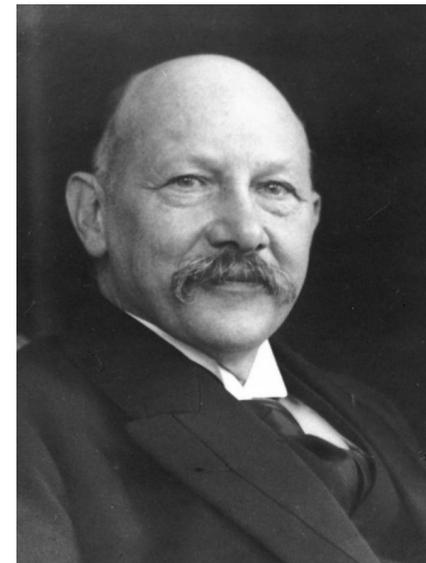
# ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОТКРЫТИЕ

1908 год – получен жидкий гелий

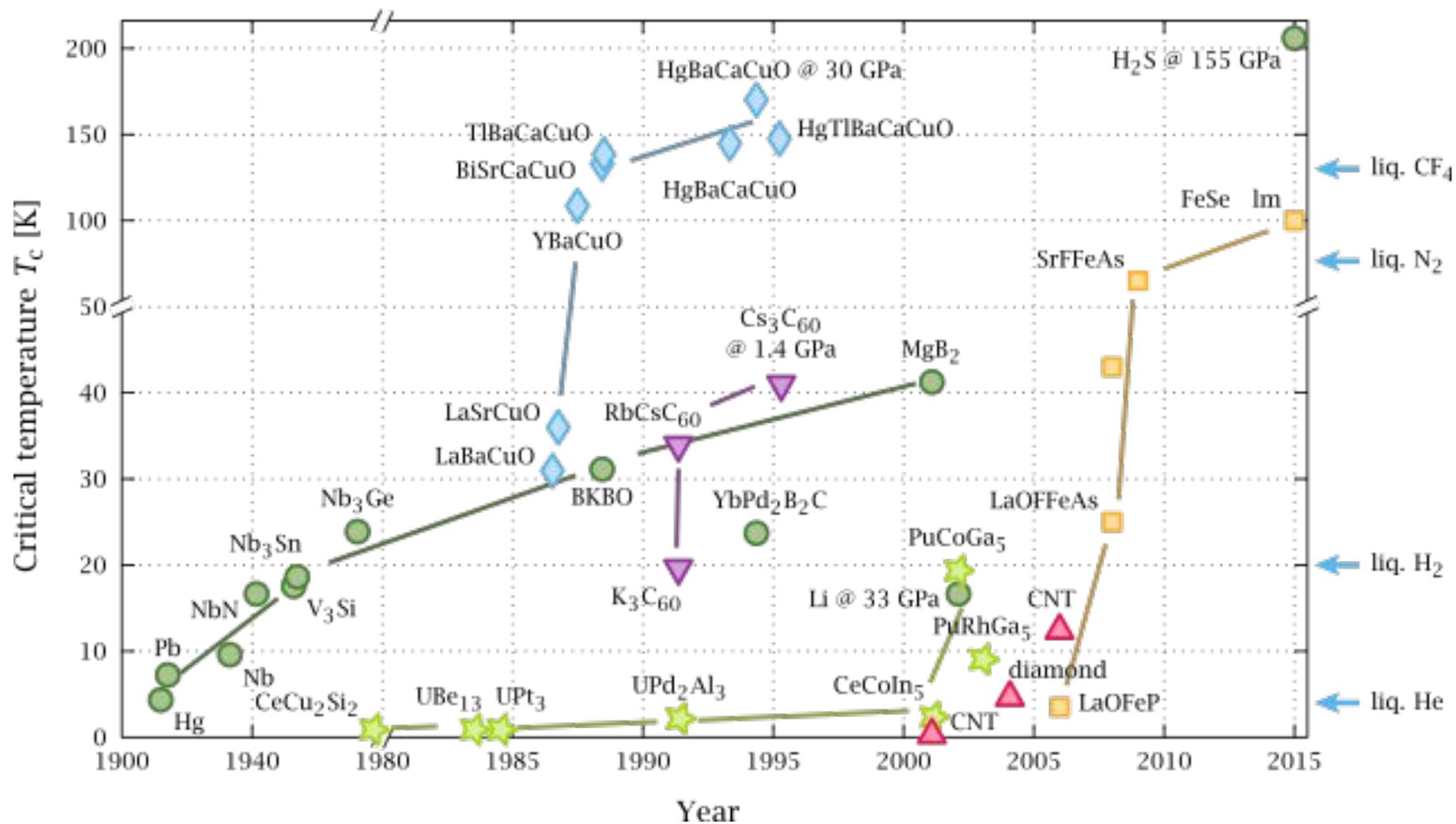
В 1911 году голландский физик Хейке Камерлинг-Оннес открыл явление сверхпроводимости ртути при температуре 4,15 К

Ожидание: при понижении температуры сопротивление плавно падает

Реальность: резкий спад до нуля при охлаждении до критической температуры

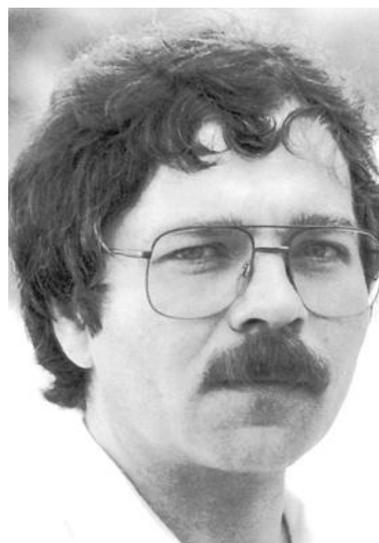
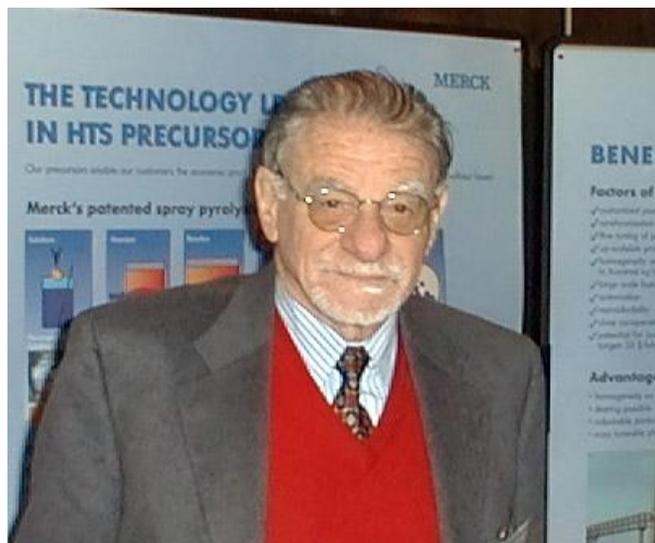


# ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОТКРЫТИЕ



# ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНАЯ СВЕРХПРОВОДИМОСТЬ

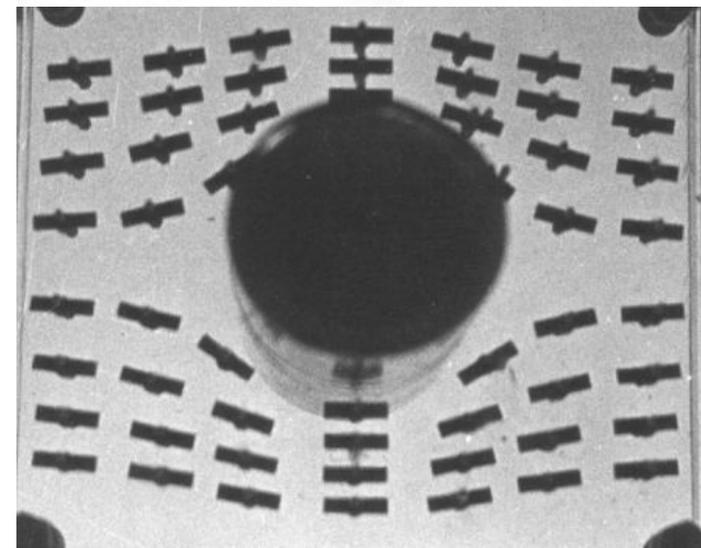
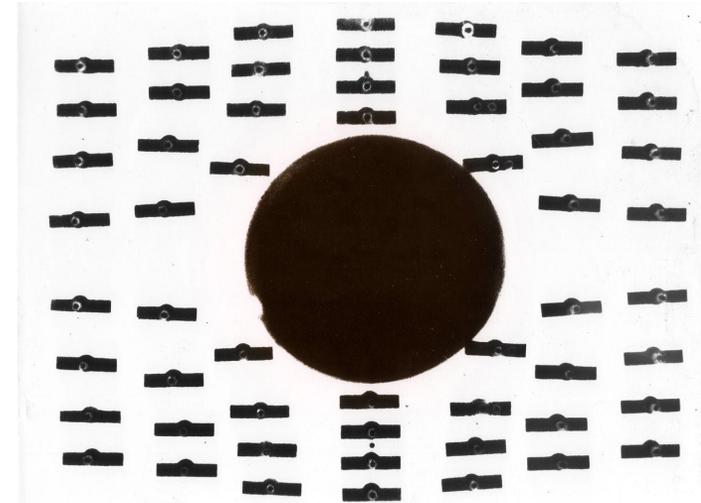
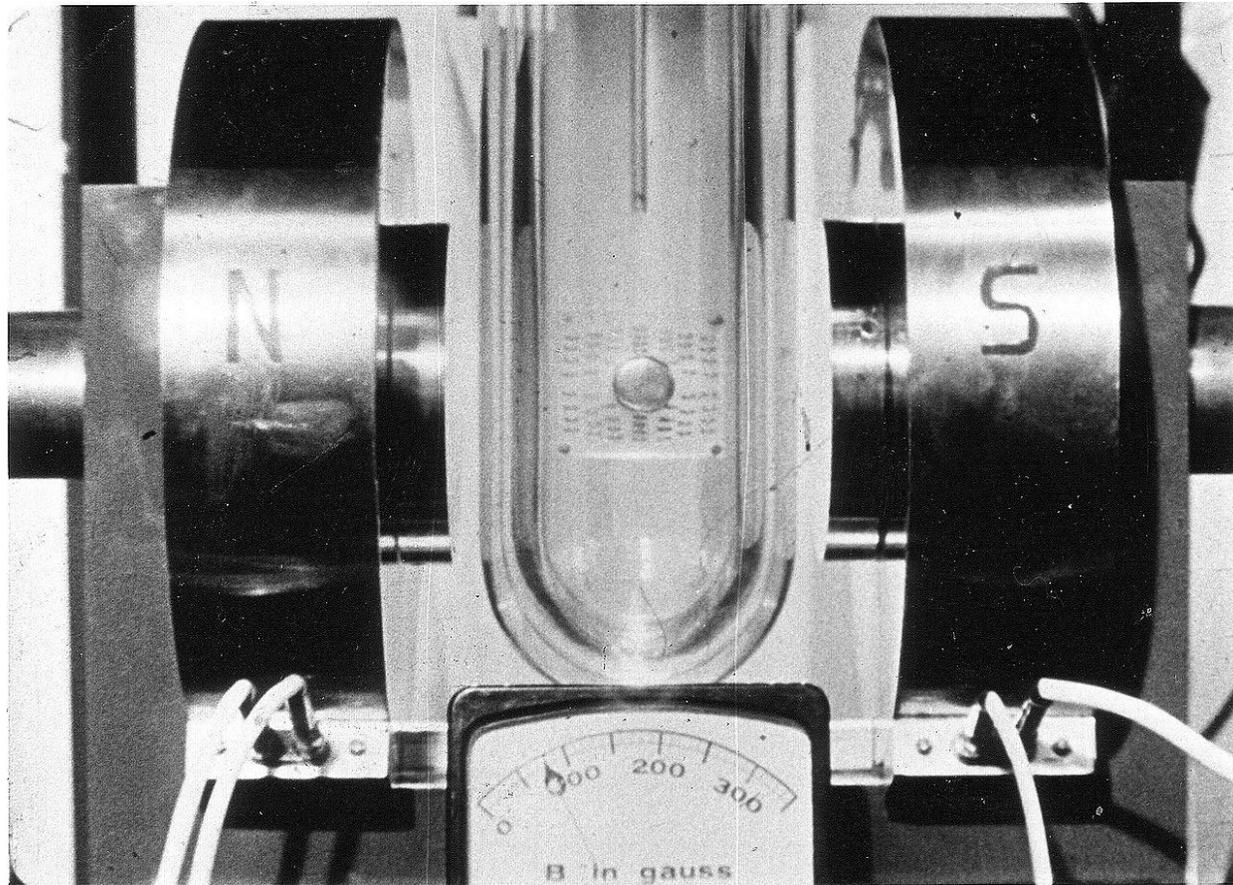
Первое соединение из класса высокотемпературных сверхпроводящих купратов  $\text{La}_{2-x}\text{Ba}_x\text{CuO}_4$  открыли Карл Мюллер и Георг Беднорц в 1986 г. За это открытие в 1987 г. им была немедленно присуждена Нобелевская премия.



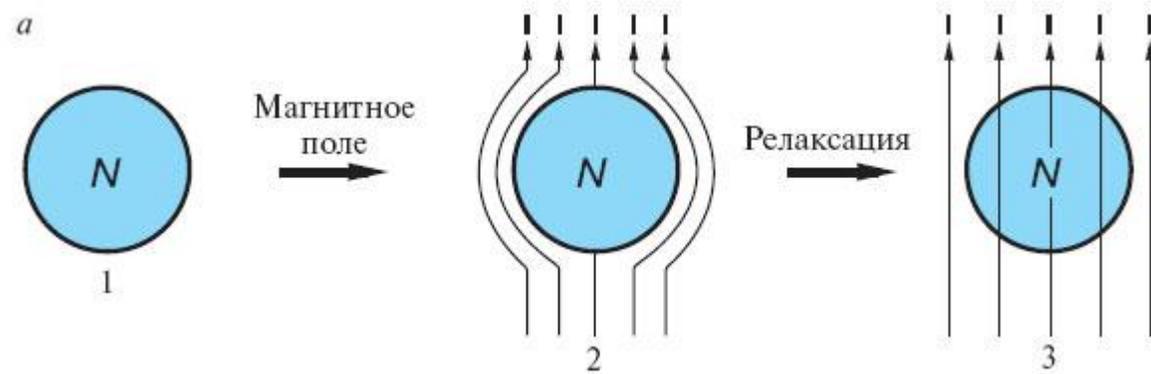
В настоящее время рекордным значением критической температуры  $T_c = 135$  К (под давлением  $T_c = 165$  К,  $-109$  °С) обладает вещество  $\text{HgBa}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{8+x}$ , открытое в 1993 г. С. Н. Путилиным и Е. В. Антиповым из МГУ.

# ЭФФЕКТ МЕЙСНЕРА

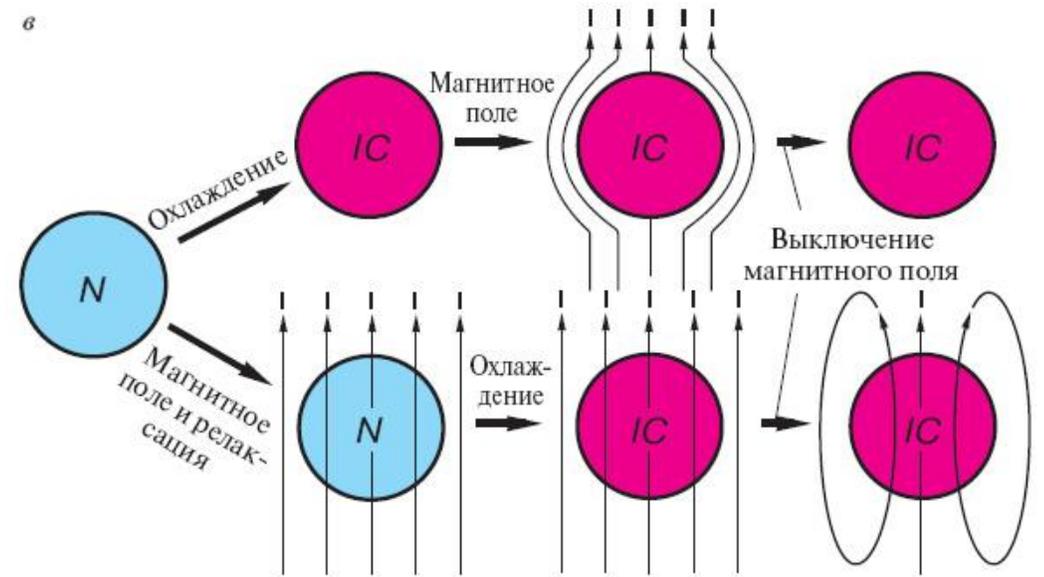
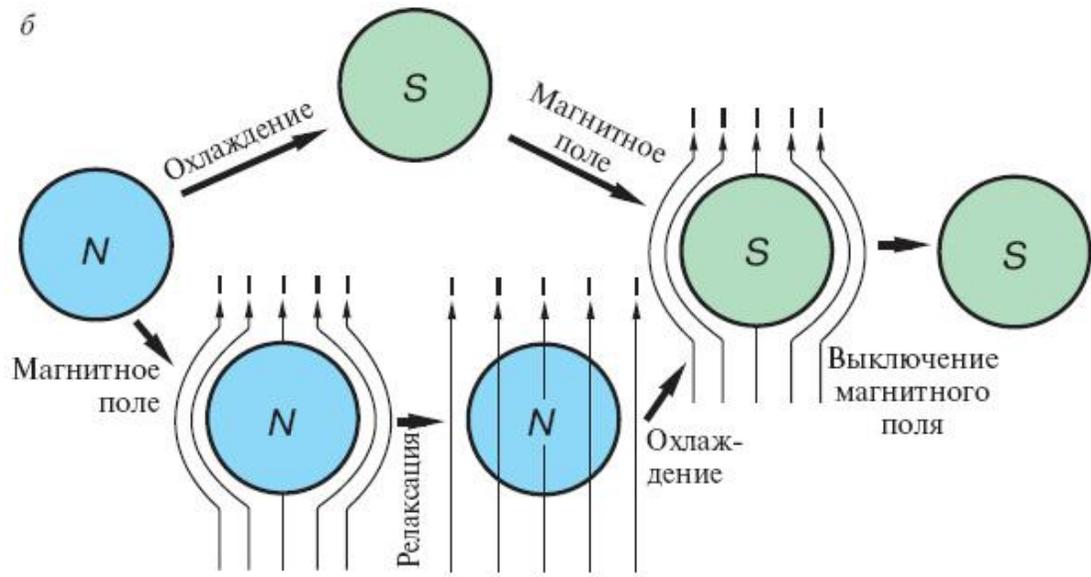
В. Мейснер и Р. Оксенфельд, 1933 год



# ЭФФЕКТ МЕЙСНЕРА



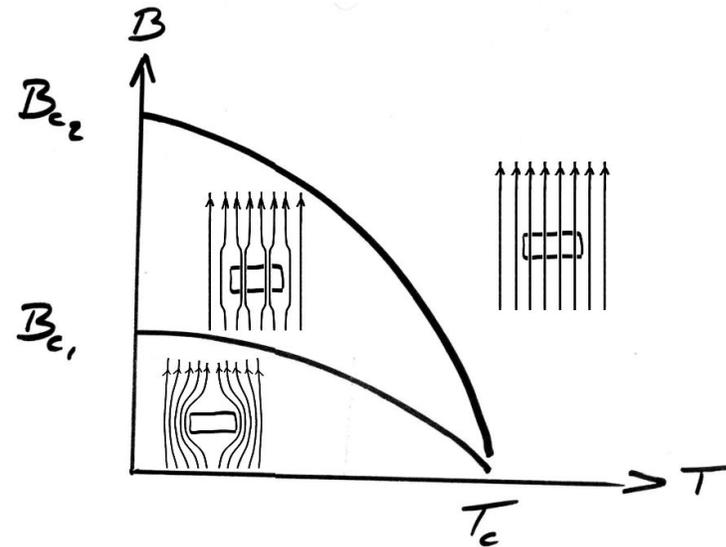
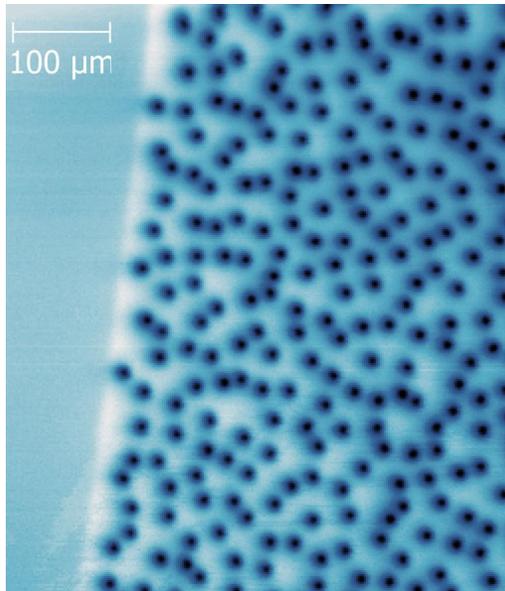
N – нормальный проводник  
S - сверхпроводник  
IC – идеальный проводник



# СВЕРХПРОВОДНИКИ II РОДА

В январе 1914 года было показано, что сверхпроводимость разрушается сильным магнитным полем.

1935 – Лев Шубников открыл сверхпроводники II рода



# ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ

1935 – уравнение Лондонов

1950 – теория Гинзбурга-Ландау

1957 – квантовая теория БКШ, теория Бардина-Купера-Шриффера,  
Нобелевская премия 1972 года

1958 – Н.Н. Боголюбов, канонические преобразования

1962 – эффект Джосефсона, Нобелевская премия 1973 года

Вихри Абрикосова - В.Л. Гинзбург, А.А. Абрикосов, Нобелевская премия 2003 года.

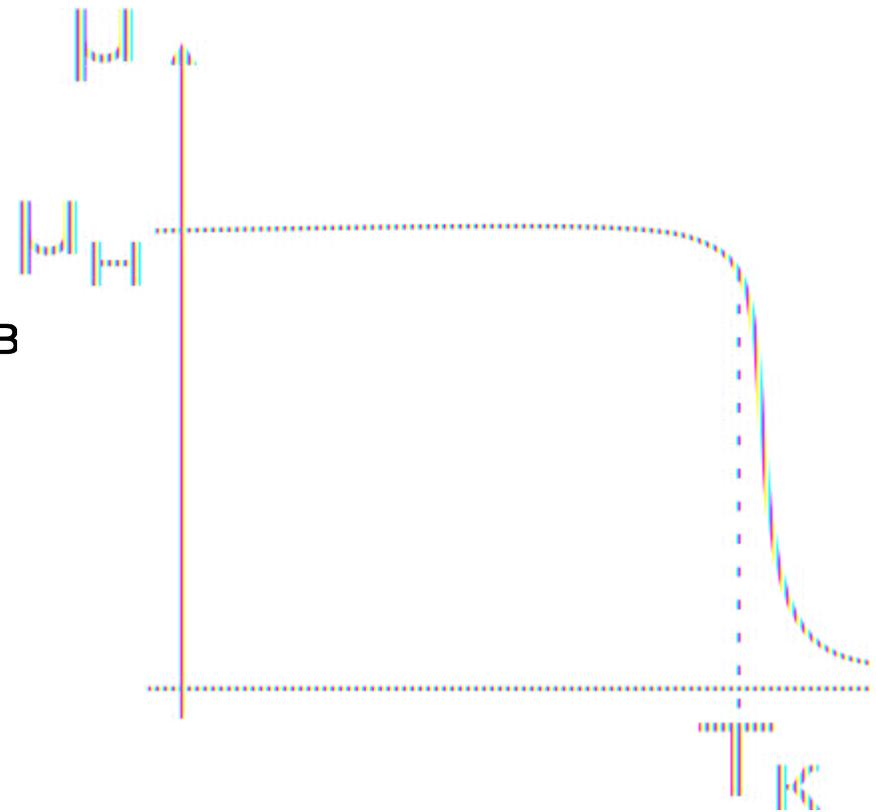
# ТЕОРИЯ КРИТИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ ГИНЗБУРГА-ЛАНДАУ

Фазовые переходы второго рода сопровождаются изменением симметрии вещества. Например у ферромагнетиков при низких температурах нарушается вращательная инвариантность – появляется намагниченность.

Статсумма:  $Z = \text{tr} (e^{-\beta H})$

Гладкая по  $T$  (кроме, возможно, нуля).

Бесконечная сумма аналитических членов  
не обязательно аналитична!



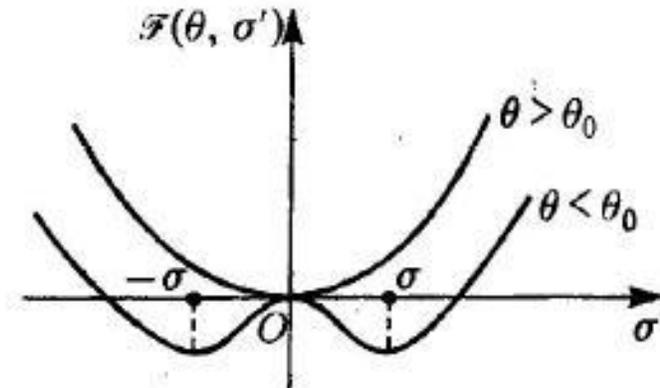
# ФЕНОМЕНОЛОГИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ

Ландау и Гинзбург предположили общий вид свободной энергии в виде полинома

$$G = V [a\vec{M}^2 + b(\vec{M}^2)^2 + \dots]$$

где  $a, b$  – гладкие функции от  $T$ , и можно ожидать  $a = a(T - T_0)$ .

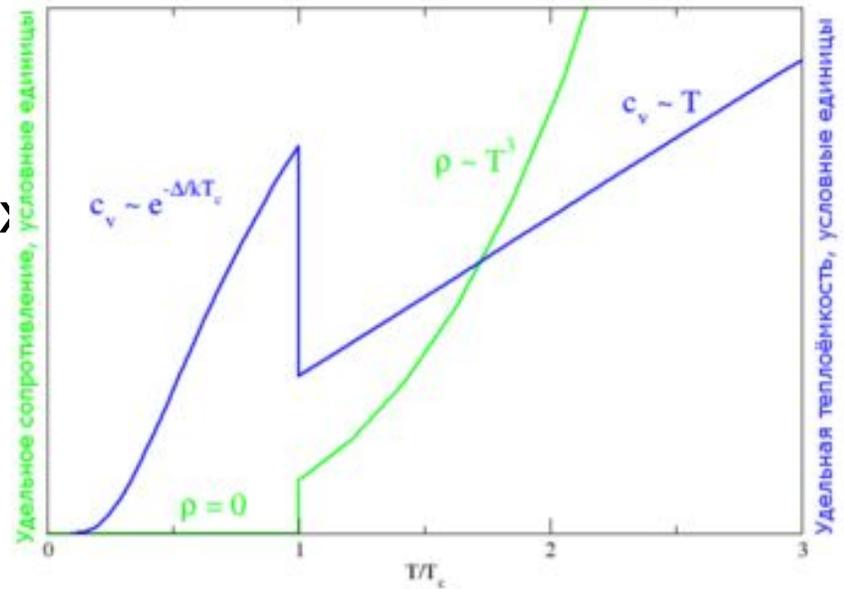
Спонтанное нарушение симметрии –  
причина успеха нашей вселенной!  
(см. поле Хиггса)



# ТЕОРИЯ ГИНЗБУРГА-ЛАНДАУ ДЛЯ СВЕРХПРОВОДИМОСТИ

Переход в сверхпроводящее состояние – фазовый переход второго рода.

Не раскрывая детального механизма образования Бозе-подобных электронных комплексов, можем получить явление сверхпроводимости из следующего вида свободной энергии:



$$F = F_n + \alpha|\psi|^2 + \frac{\beta}{2}|\psi|^4 + \frac{1}{2m}|(-i\hbar\nabla - 2e\mathbf{A})\psi|^2 + \frac{|\mathbf{H}|^2}{2\mu_0},$$

# ТЕОРИЯ ГИНЗБУРГА-ЛАНДАУ ДЛЯ СВЕРХПРОВОДИМОСТИ

Из условия минимума свободной энергии следуют уравнения Гинзбурга-Ландау

для бозонного  $\psi$  и электромагнитного поля :

$$\alpha\psi + \beta|\psi|^2\psi + \frac{1}{2m}(-i\hbar\nabla - 2e\mathbf{A})^2\psi = 0$$

$$\nabla \times \mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{j} ; \quad \mathbf{j} = \frac{2e}{m} \operatorname{Re}\{\psi^* (-i\hbar\nabla - 2e\mathbf{A}) \psi\}$$

Из них находятся лондонская длина проникновения магнитного поля и длина когерентности.

# ТЕОРИЯ ГИНЗБУРГА-ЛАНДАУ ДЛЯ СВЕРХПРОВОДИМЫХ

Длина когерентности:  $\xi = \sqrt{\frac{\hbar^2}{2m|\alpha|}}$  «размер куперовской пары»

Длина проникновения магнитного поля  $\lambda = \sqrt{\frac{m}{4\mu_0 e^2 \psi_0^2}}$   $B(x) = B_0 \exp\left(-\frac{x}{\lambda_L}\right)$

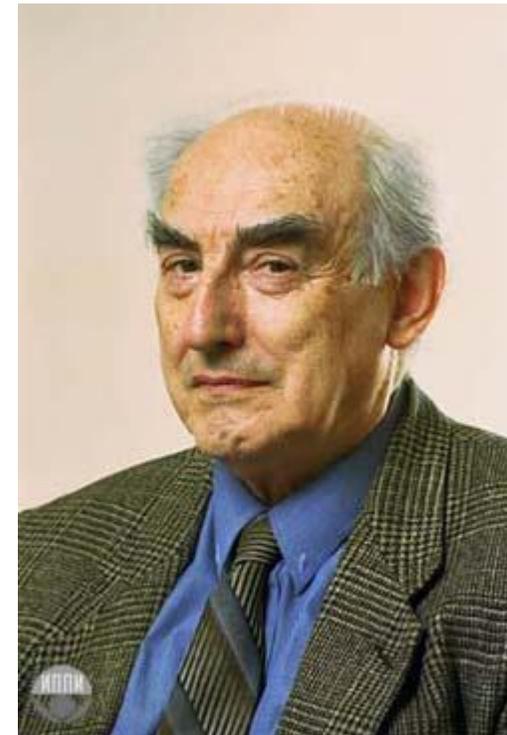
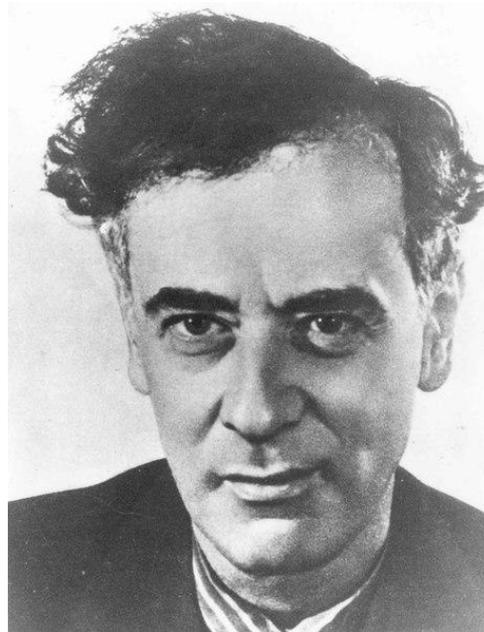
Олово	$\lambda_L = 510 \text{ \AA}$	Ртуть	$\lambda_L = 410 \text{ \AA}$
Алюминий	$\lambda_L = 500 \text{ \AA}$	Ниобий	$\lambda_L = 470 \text{ \AA}$
Свинец	$\lambda_L = 390 \text{ \AA}$	Таллий	$\lambda_L = 920 \text{ \AA}$

Параметр Гинзбурга-Ландау  $\kappa = \lambda/\xi$ , для сверхпроводников II типа  $\kappa > 1/\sqrt{2}$ .

# ТЕОРИЯ ГИНЗБУРГА-ЛАНДАУ

Из общего вида свободной энергии рассчитали Лондоновскую длину, длину когерентности, получили, что сверхпроводники бывают первого и второго рода (с неполным эффектом Мейснера) и получили как следствие вихри Абрикосова во вторых.

Есть повод для гордости!



# СОЗДАНИЕ КВАНТОВОЙ ТЕОРИИ

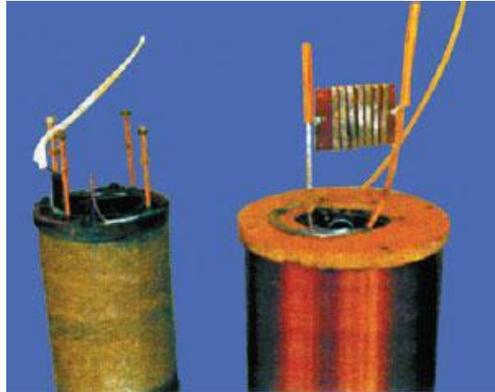
Поиски устойчивых бозе-подобных комплексов для описания сверхпроводимости –

1956 – Куперовская пара

1957 – БКШ, квантовая теория.

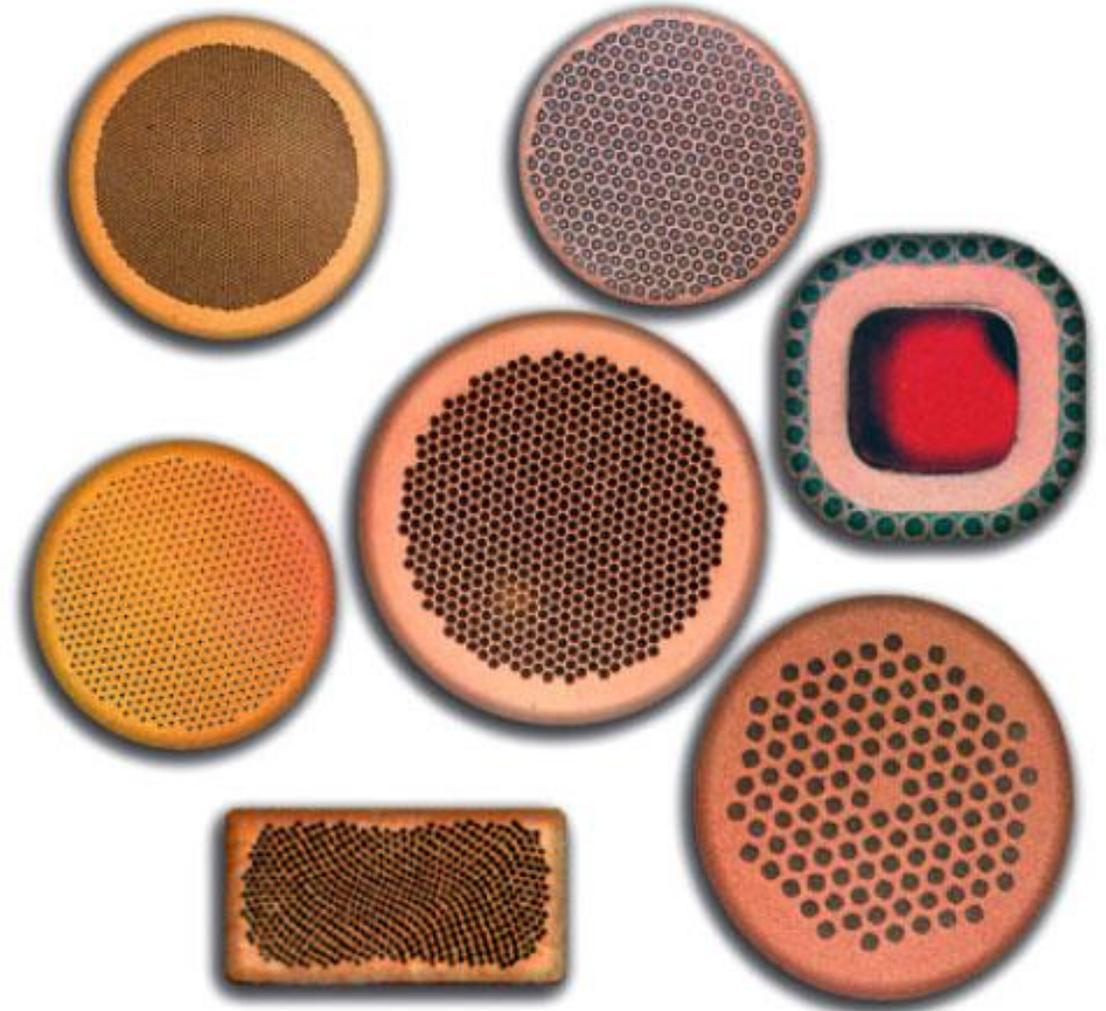
# ПРИМЕНЕНИЕ СВЕРХПРОВОДИМОСТИ

Магниты:

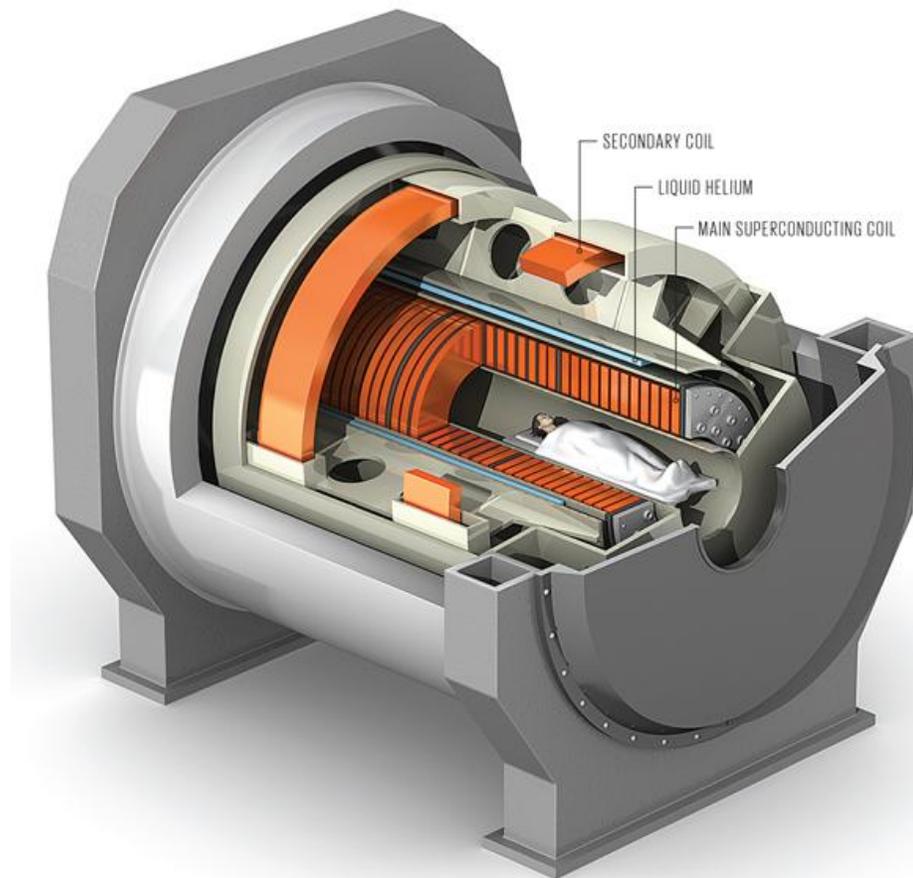
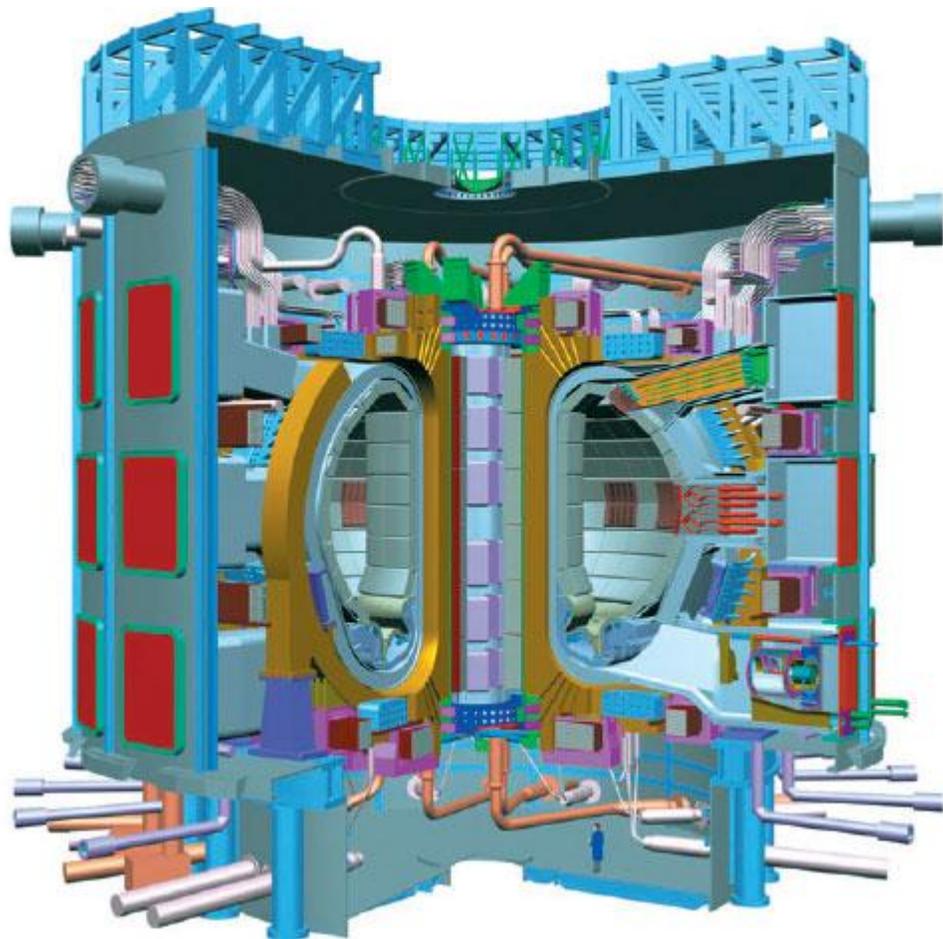


Сверхпроводящие провода:

<b>外層2導体 (G III Conductor)</b>		<p>種類: A0 安定化NbTi複合導体 A0 Stabilized NbTi Composite Cable 寸法: 6.0mm×13.8mm フィラメント: 30 μm φ×708本×19本 電流量: 7,800A at 8T, 4.2K 日立電線株式会社製</p>
<b>外層1導体 (G II Conductor)</b>		<p>種類: A0 安定化(Nb,Ti)・Sn複合導体 A0 Stabilized (Nb,Ti)・Sn Composite Cable 寸法: 8.15mm×13.4mm フィラメント: 5 μm φ×19,855本×11本 電流量: 5,570A at 14T, 4.2K 日立電線株式会社製</p>
<b>中層導体 (G I Conductor)</b>		<p>種類: (Nb,Ti)・Sn平角線 (Nb,Ti)・Sn Flat wire 寸法: 2.0mm×6.0mm—0.5° フィラメント: 5 μm φ×77,976本 電流量: 950A at 16T, 4.2K 日立電線株式会社製</p>
<b>内層導体 (G0 Conductor)</b>		<p>種類: ガラス絶縁(Nb,Ti)・Sn平角線 Glass Insulated (Nb,Ti)・Sn Flat wire 3種類で構成 最内層導体 寸法: 3.44mm×1.37mm—0.3° フィラメント: 6.5 μm φ×30,000本 電流量: 440A at 19T, 4.2K 住神戸製鋼所製</p>



# ПРИМЕНЕНИЕ СВЕРХПРОВОДИМОСТИ



БКШ НЕ БУДЕТ

**Спасибо за внимание!**