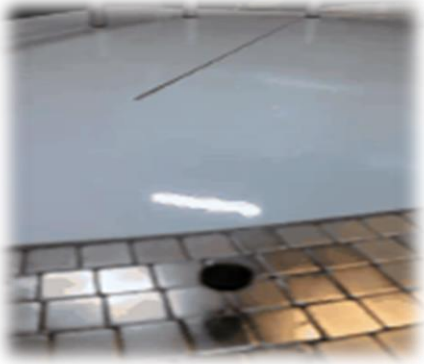


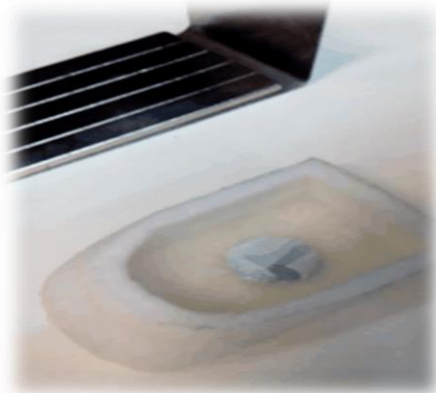
بسم الله الرحمن الرحيم



ابررسانایی

و چالش اساسی در آن؟

حمیده شاکری

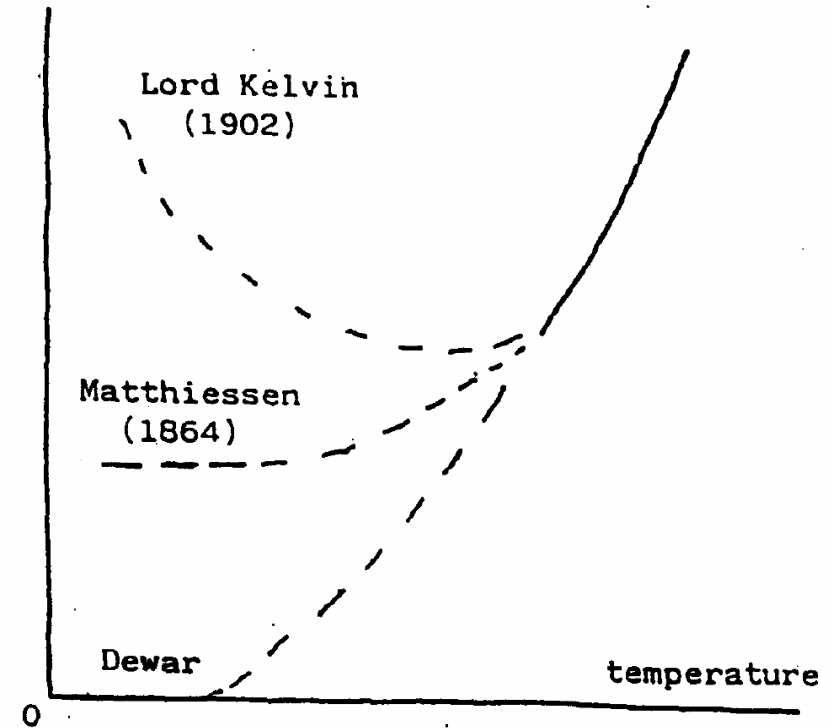


Discovery

مقاومت الکتریکی یک فلز؟



resistance





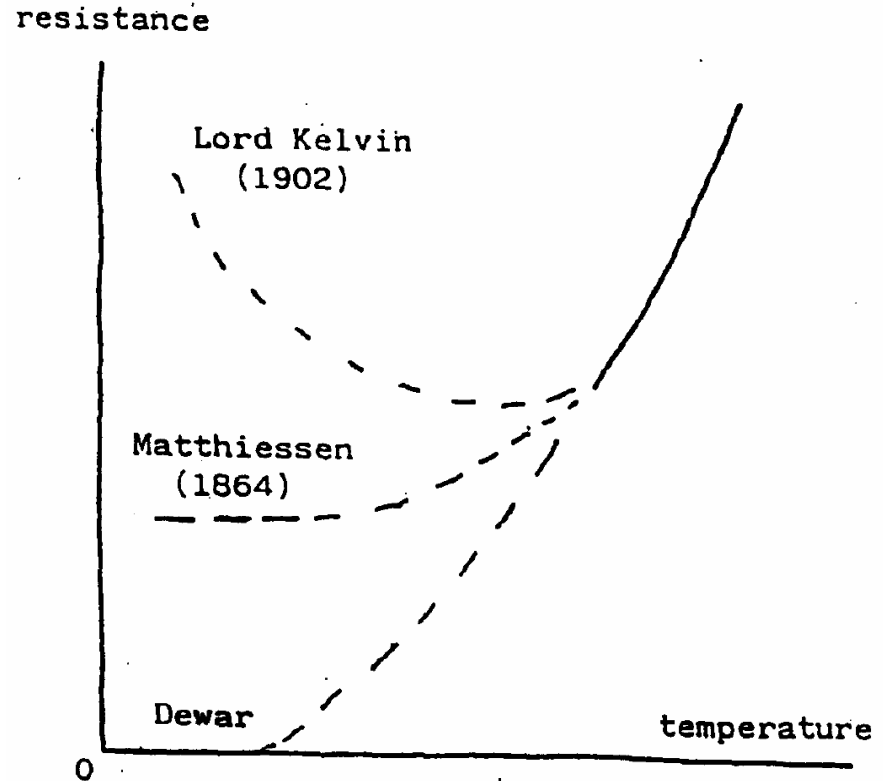
Discovery



Heike Kamerlingh Onnes
1853-1926

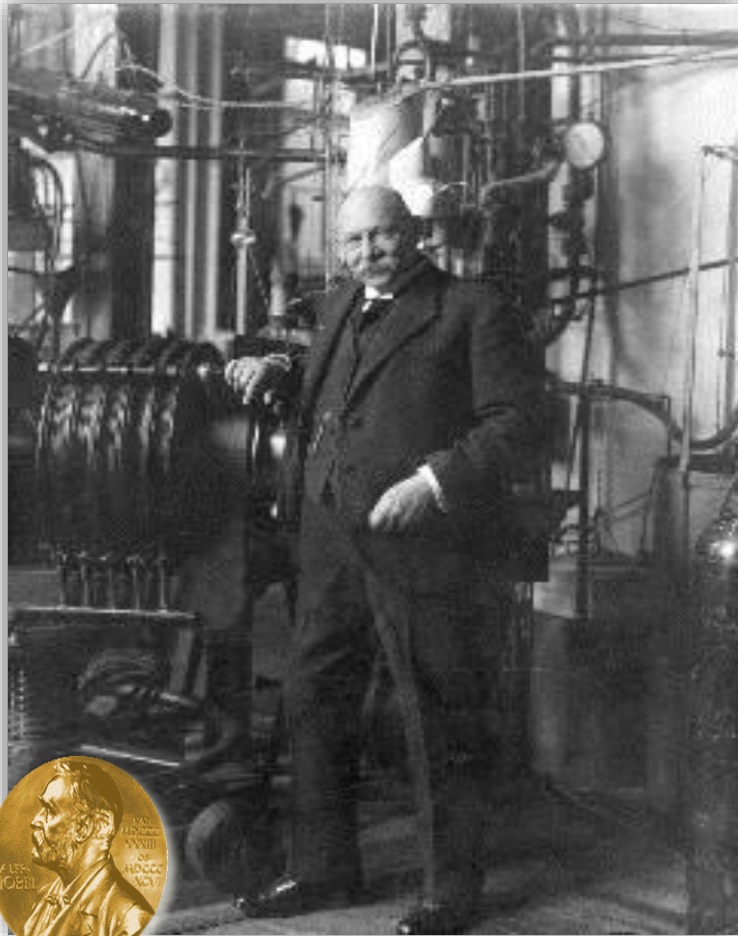
He was investigating the electrical properties of pure metals at low temperatures. The question was: will the resistance increase, or decrease or remain constant when cooling the sample? He decided to work with Hg which can be repeatedly distilled at room temperature in order to obtain a pure sample.

مقاومت الکتریکی یک فلز؟

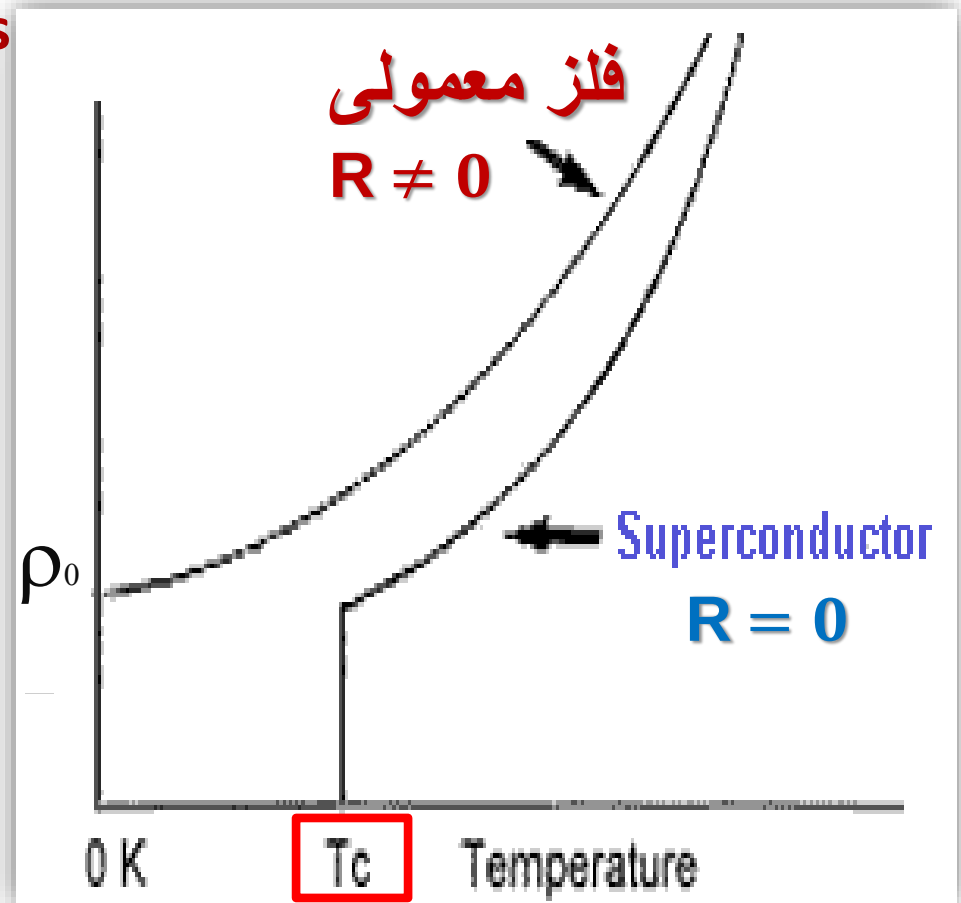


۱. کشف ابررسانایی: مقاومت صفر!!!

1911 Kamerlingh Onnes



1913

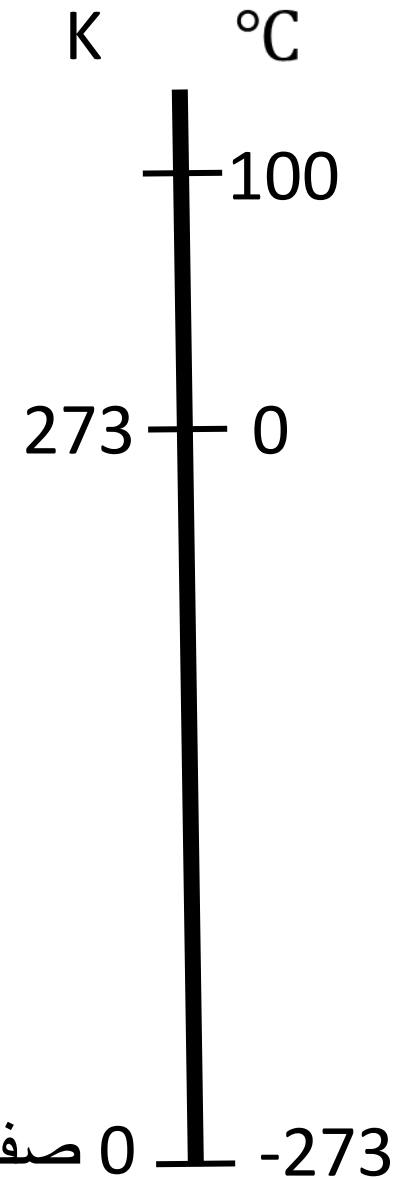


2

Reach to the low temperatures

1877 :	مایع کربن هوا	90.2 K
1884 :	نیتروژن مایع	77.3 K
1898 :	هیدروژن مایع	20.4 K
1908 :	هلیوم مایع	4.2 K

تولد فیزیک جدید گویند



R = 0



ابرسانایی پدیده ای نادر نیست!

KNOWN SUPERCONDUCTIVE ELEMENTS															
1	2													10	18
1	2													10	18
3	4													10	18
11	12													10	18
19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52
55	56	57	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84
87	88	89	104	105	106	107	108	109	110	111	112				

■ BLUE = AT AMBIENT PRESSURE
■ GREEN = ONLY UNDER HIGH PRESSURE

SUPERCONDUCTORS.ORG

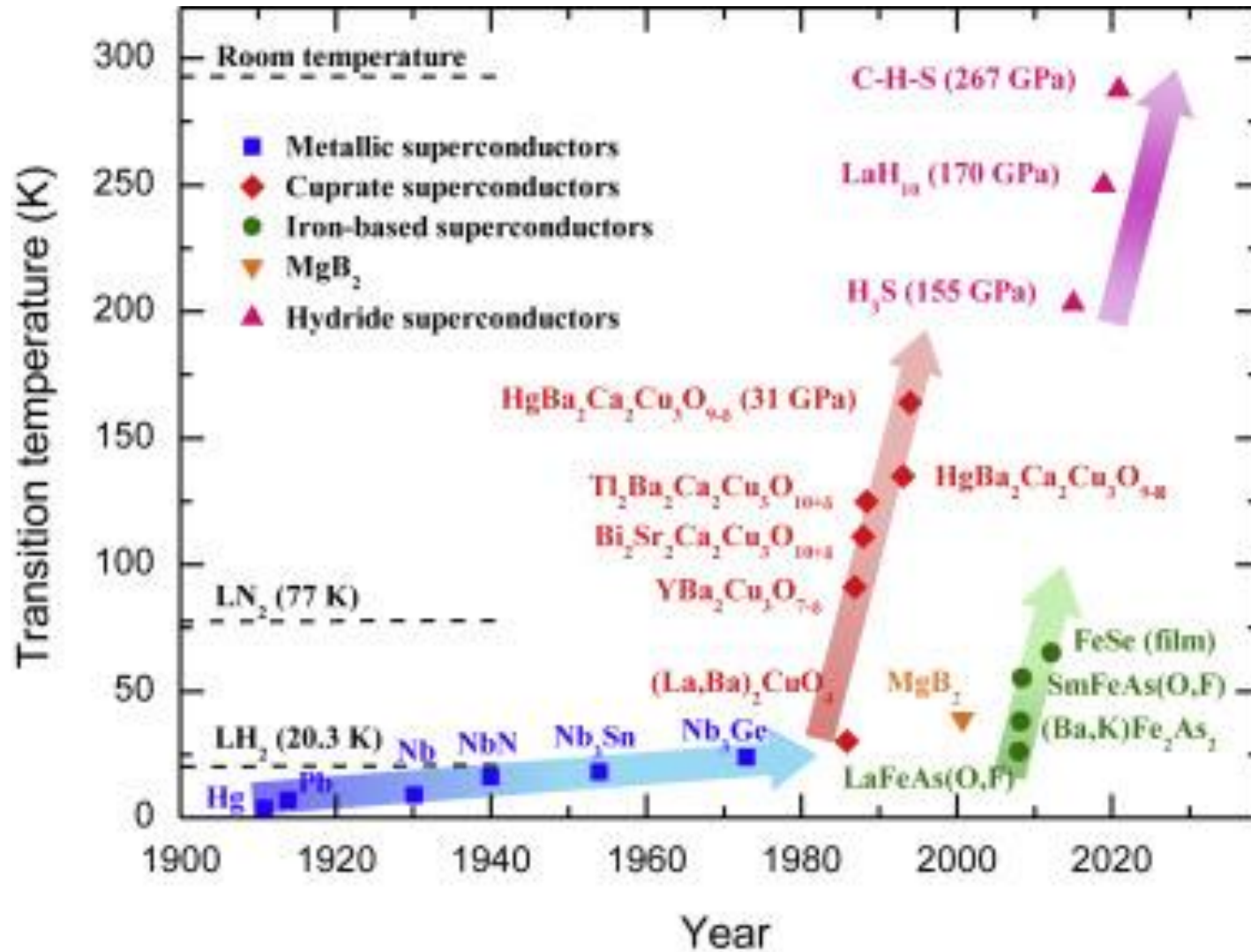
* Lanthanide Series

+ Actinide Series

58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103
Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr



مسیر کشف !



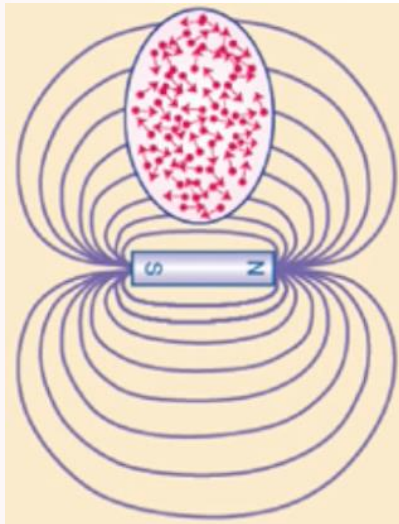
به دنبال ترکیبی
با دمای بالاتر؟



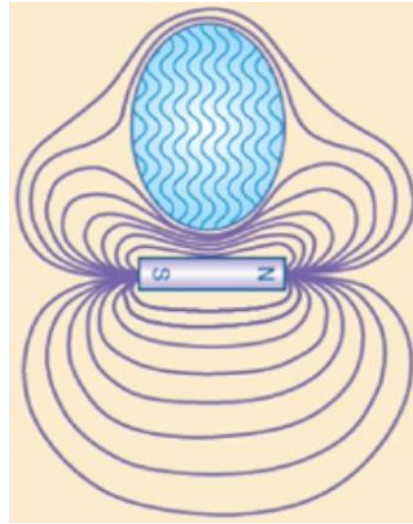
۲. طرد شار مغناطیسی!



Meissner and Ochsenfeld
1933

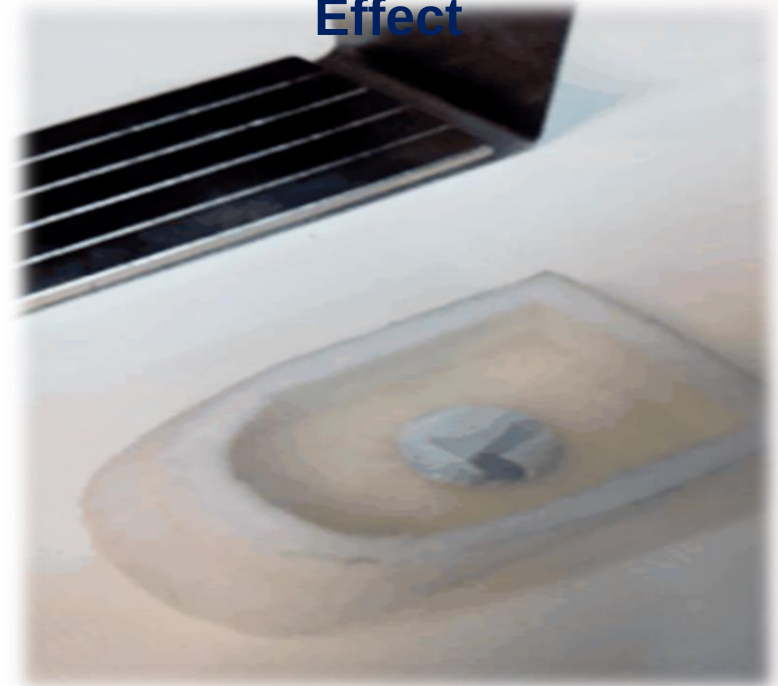


فلز معمولی



ابررسانا

The Meissner (and Ochsenfeld) Effect



آزمایشگاه ماده چگال تجربی،
دانشگاه صنعتی اصفهان



نظریه کوانتومی BCS

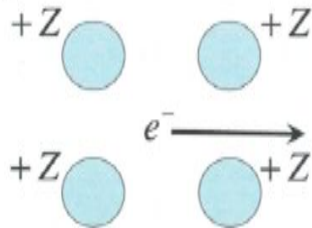
electron-phonon coupling (BCS theory) - 1957



1957

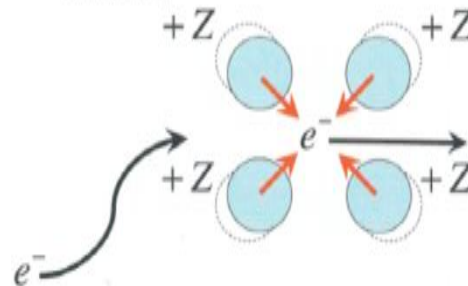
The Electron-Lattice Interaction

How to achieve attraction between two electrons:



The Electron-Lattice Interaction

How to achieve attraction between two electrons:



(ابریسانهای متعارف)



1972

7

$$\Psi(\vec{r}_1, \sigma_1, \vec{r}_2, \sigma_2) = \varphi(\vec{r}_1 - \vec{r}_2) \varphi_{\sigma_1, \sigma_2}^{spin}$$

رابطه ی بین پارامتر نظم نمونه (گاف ابرسانی) و پتانسیل برهمکنش بین جفت الکترون ها (V):

$$\Delta_0 = 2\hbar\omega_D e^{-\frac{1}{N(E_F)V}}$$

$N(E_F)$: چگالی حالات در سطح فرمی

$$\hbar\omega_D \sim 100 - 300 \text{ K}, \text{ but } N(E_F)V \ll 1 \rightarrow$$

بالاترین دمای پیش بینی شده: ۲۵ کلوین

(ابرساناهای متعارف)

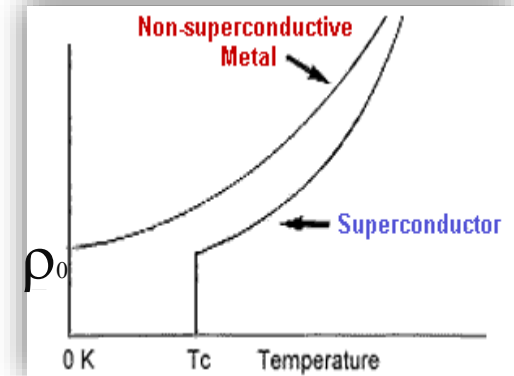
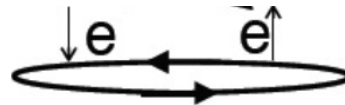


مسیر کشف !

ابرساناهای با پایه آهن!!!! (2008) $T_c = 57 \text{ K}$

SmFeAsF

.....



موادی که از تئوری BCS تبعیت نمی کنند.
به عبارتی جفت شدگی بین الکترون ها با واسطه گری فونون نیست
(ابرساناهای نامتعارف)

جنس چسب جدید بین الکترونها از چیست؟
هنوز سوال، باقی است!

مواد تحت فشار خارجی

از ۲۵ سال پیش تا کنون: $T_c = 133 \text{ K } (-140^\circ\text{C})$

Superconductivity $T_c=203 \text{ K } (-70^\circ\text{C})$ at $P=150 \text{ GPa!}$ H_3S (2015)

Superconductivity $T_c=250 \text{ K } (-23^\circ\text{C})$ at $P=170 \text{ GPa!}$ LaH_{10} (2019)

Superconductivity $T_c=262 \text{ K } (-11^\circ\text{C})$ at $P=182 \text{ GPa!}$ YH_9 (2021)

فشار در هسته زمین: ۳۳۰ گیگاپاسکال

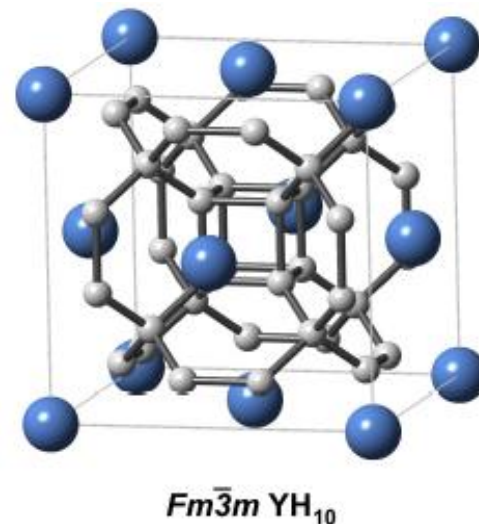
$1 \text{ GPa} = 10^{+9} \text{ pascal}$

$1 \text{ GPa} = 10000 \text{ atmosphere}$

Eremets, Nature 525, 73 (2015)

Eremets, Nature 569, 528 (2019)

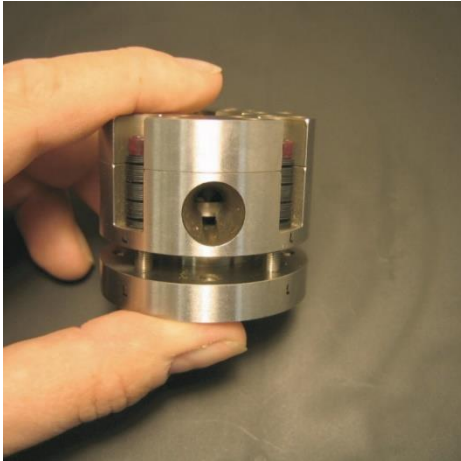
E. Snider et al, PRL 126, 117003 (2021)



سلول فشار: جهت اعمال فشار هیدروستاتیک

1 GPa = 10^{+9} pascal

1 GPa = 10000 atmosphere



LaH₁₀



سلول فشار بریدجمن
فشار تا حدود ۲ گیگاپاسکال
(سلول فشار دانشکده فیزیک)

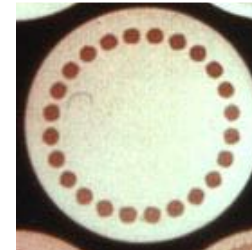
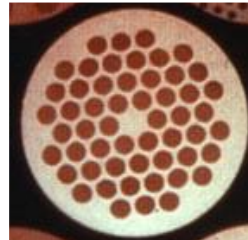
14

سلول فشار الماس
فشار تا حدود ۵۰۰ گیگاپاسکال

کابل ابرسانا

ابرساناهای فلزی

Nb Ti	$T_c=9\text{ K}$
Nb ₃ Sn	$T_c=18\text{ K}$
Nb ₃ Ge	$T_c=23.2\text{ K}$

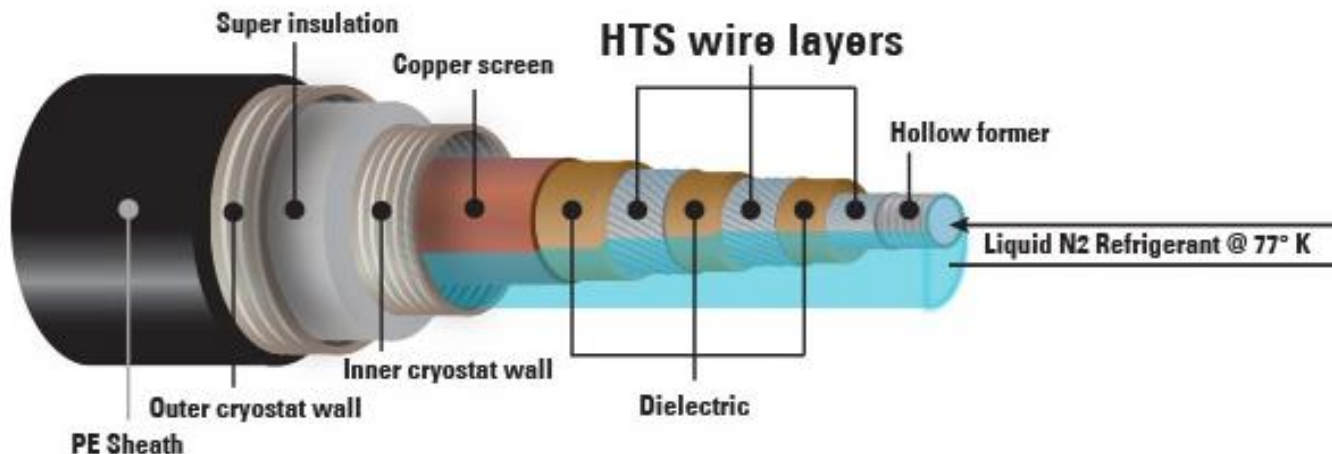


BSCCO conductors $T_c=100\text{ K}$

YBa₂Cu₃O₇ (YBCO)

ابرساناهای دما بالای کوپراتی

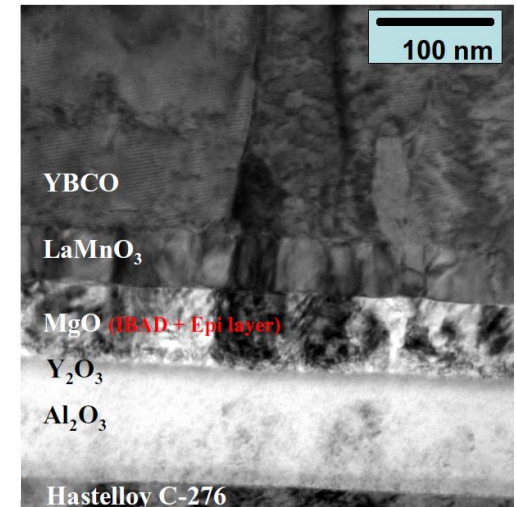
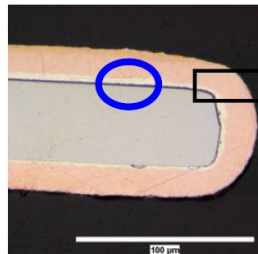
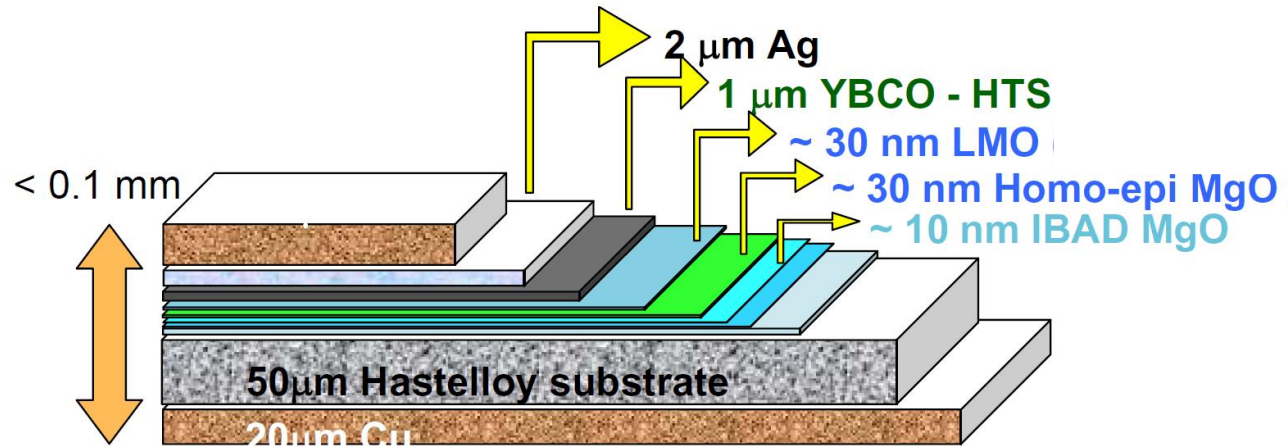
Typical HTS Cable Configuration



Coated YBCO tape

نسل سوم: لایه نازک- دما بالا

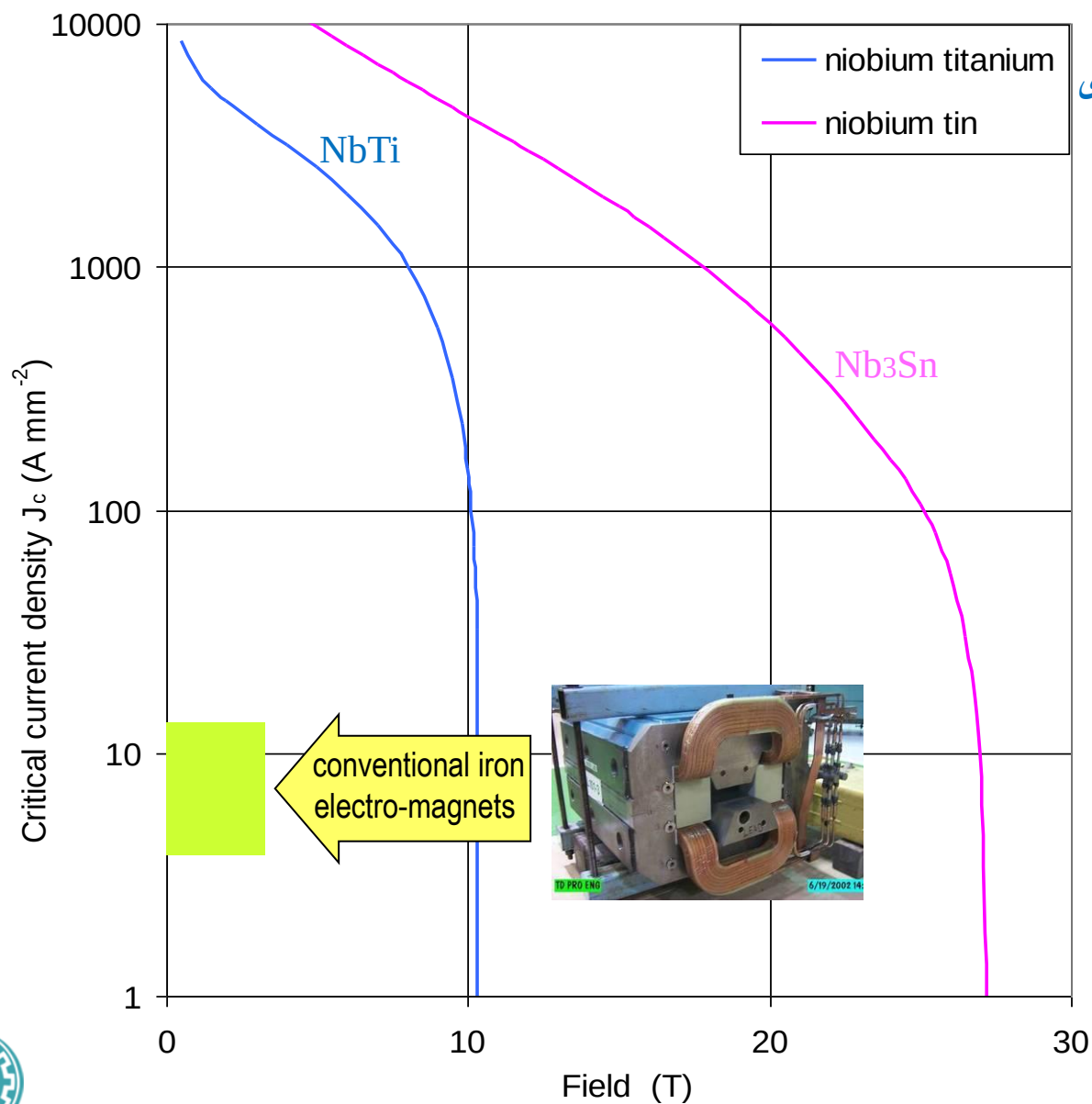
- YBCO is very sensitive to grain boundary misalignment
- the grains do not line up naturally - they must be persuaded
- deposit YBCO on a substrate where the grains are aligned and the lattice roughly matches YBCO



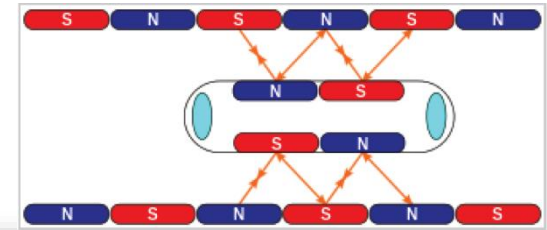
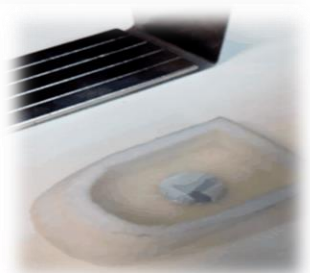
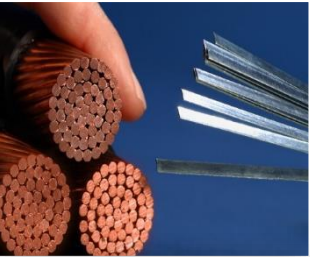
PHILIPS

سیم ابررسانا

ابررسانای فلزی



قطارهای سریع السیر



The Yamanashi MLX01 Maglev train

speed: **581 Km/h**

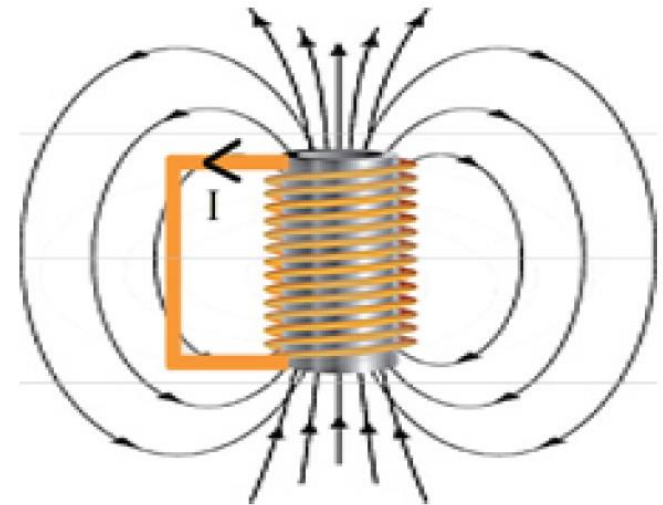
April 21, 2015



ذخیره سازی مقادیر بزرگ انرژی

Superconducting Magnetic Energy Storage (SMES)

ذخیره سازی مقادیر بزرگ انرژی : تا در هنگام نیاز مورد استفاده قرار گیرد



$$B = \mu_0 \frac{I}{2\pi R}$$

Example: The first superconducting magnetic energy storage (SMES) system used by industry was built by General Atomics in 1983.

بسیار سبک، دقت خیلی بالا، ذخیره مقدار انرژی خیلی زیاد در حجم کم.
برعکس باتری ها که پس از چند بار شارژ تخریب می شوند، طول عمر بالایی دارند و نیز شارژ و دشارژشان خیلی سریع انجام شود.

کاربردهای اسکویید ...MEG, MCG

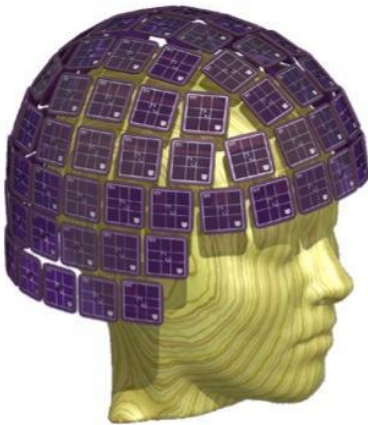
Superconducting Quantum Interference Device (SQUID)

بیومغناطش سنج اسکویید

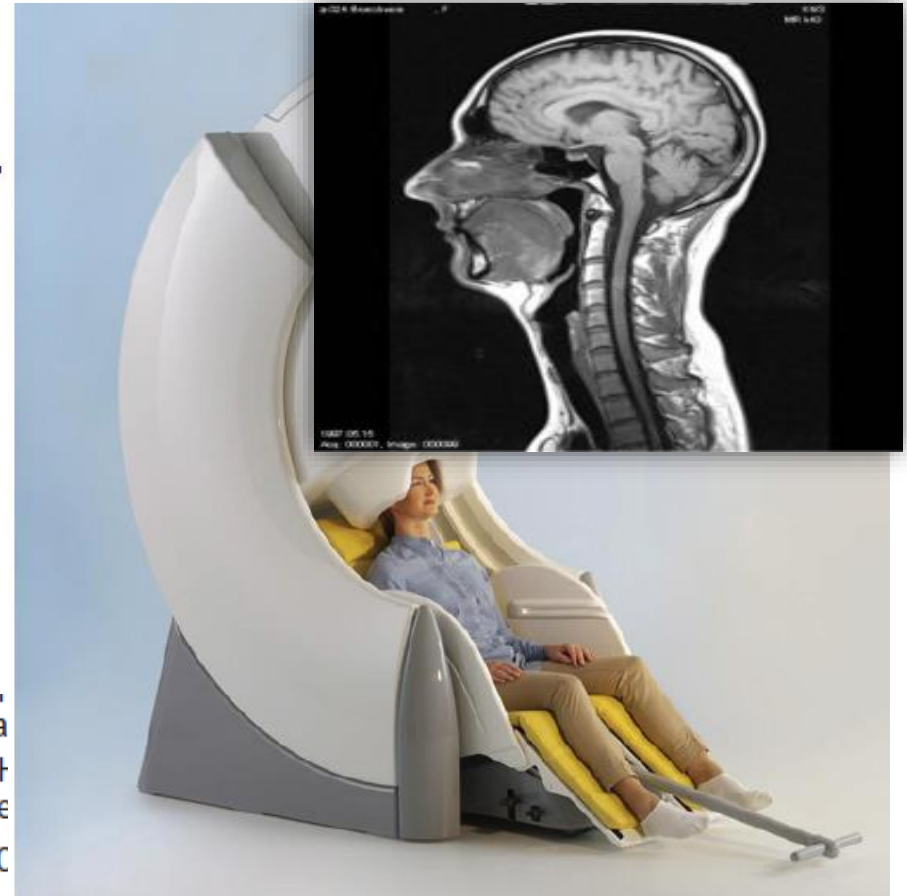
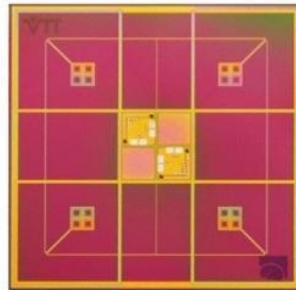
سنسور و آشکارکننده ی فوق حساس میدان مغناطیسی های بسیار ضعیف در حد فمتوتسلا!

10^{-3}

SQUID Sensors



- 306 independent measurement channels.
- Organized in channel-triplets on 102 silicon chips:
 - Two planar gradiometers
 - One radial magnetometer



SQUID can measure tiny fields, such as those due to currents flowing in your heart muscle

www.lanl.gov/quarterly/q_spring03/meg_helmet.shtml

فیلترهای ابررسانا

فیلترهای الکترونیکی (ابررسانا): فوق حساس و دقیق برای انتخاب فرکانس مورد نظر، مخابرات بدون سیم، ...



ابرسانایی و سازمان دفاع آمریکا !

گروه تحقیقات ابرسانایی
دفاعی
(Defence superconducting research group)

کارهای گسترده ای در مورد کاربردهای نظامی ابرساناها با عنوان

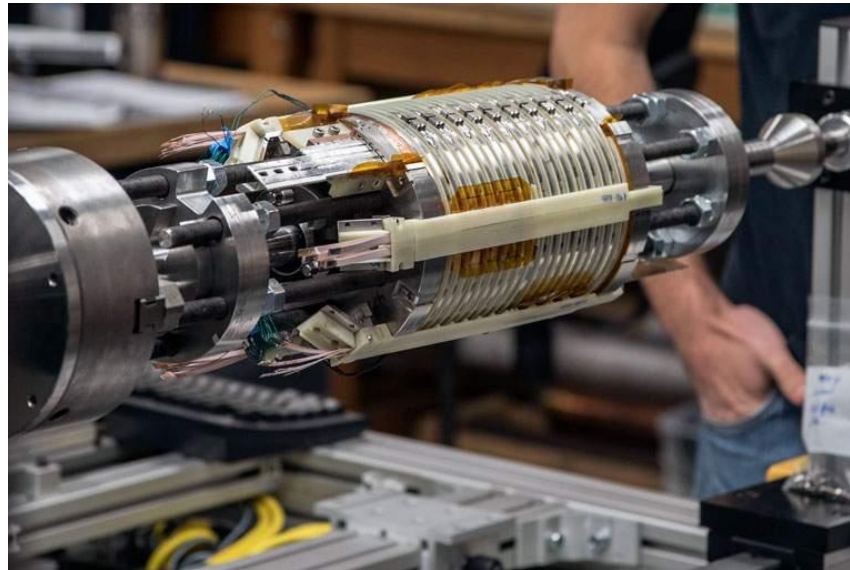
Military systems application of superconductors

انجام داده و در حال انجام دادن است.

تولید میدان مغناطیسی ۳۲ تسلا

NATIONAL HIGH
MAGNETIC
FIELD LABORATORY

تولید میدان مغناطیسی توسط سیم ابررسانا (شروع ساخت: ۲۰۰۹ اتمام: ۲۰۱۶)

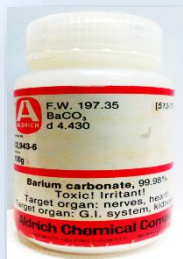


Superconductors YBCO (2 coils), Niobium-Tin (3 coils), and
Niobium-Titanium (2 coils)

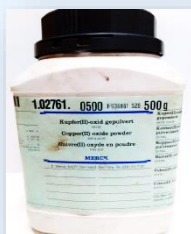
ای ن همه، نتیجه ی:

تفکر، تمرکز، کار گروهی، مداوم و شبانه روزی و صبوری است

هنوز جای کار فراوان هست.....



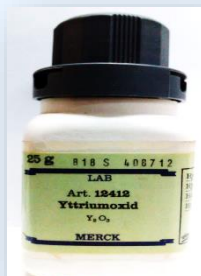
BaCO_3



CuO



NiO



Y_2O_3



توزین پودر



آسیاب و سایش



تکلیس



تهیه قرص



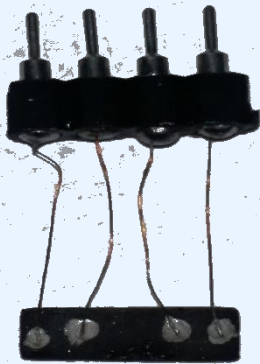
کلوخه سازی

اندازه گیری مقاومت الکتریکی

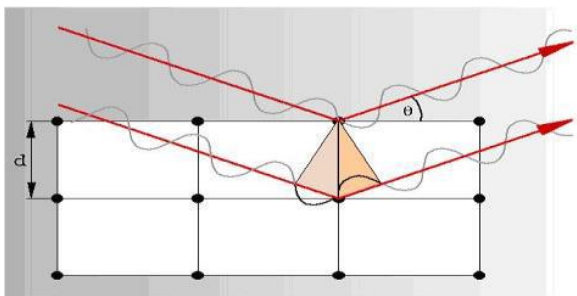
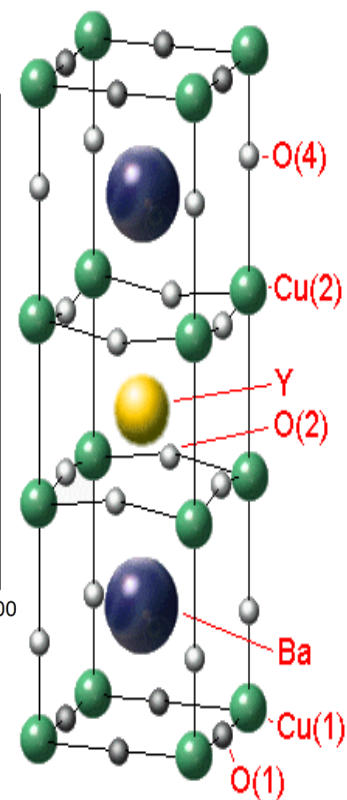
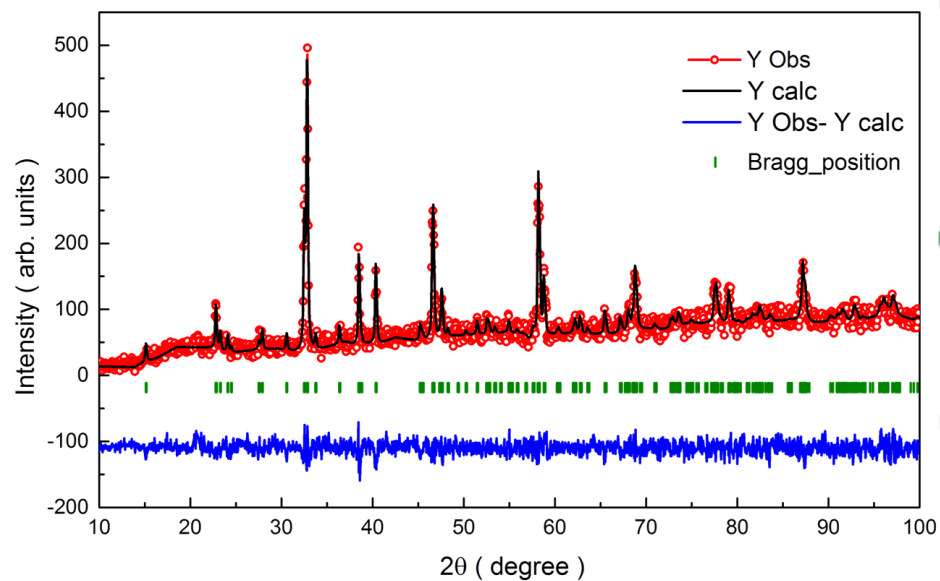


به روش چهار میله (4-
prob)

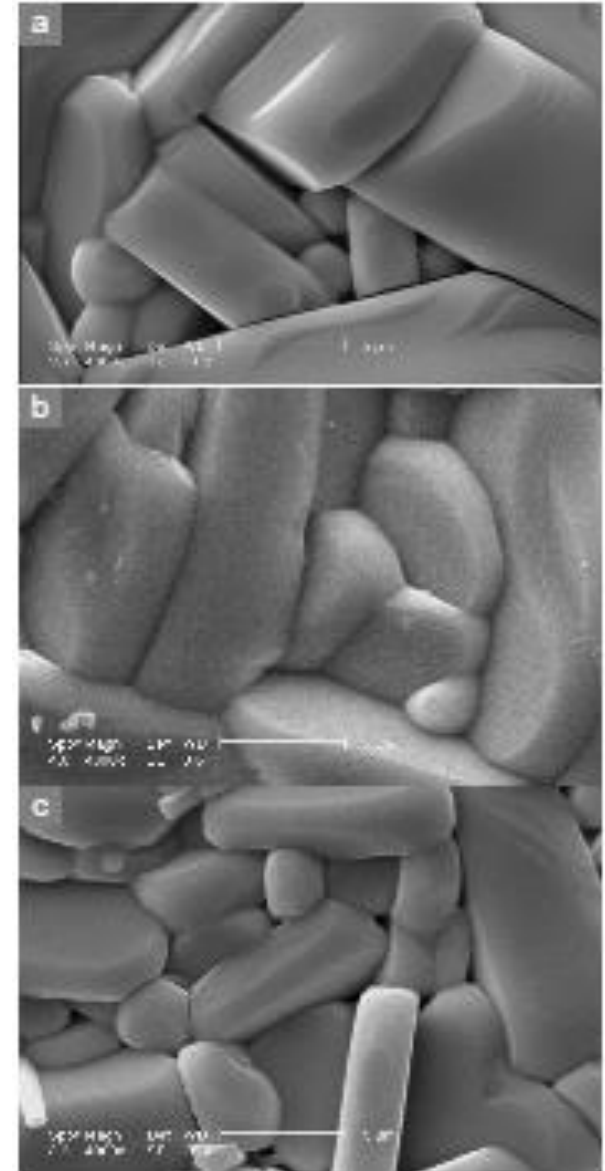
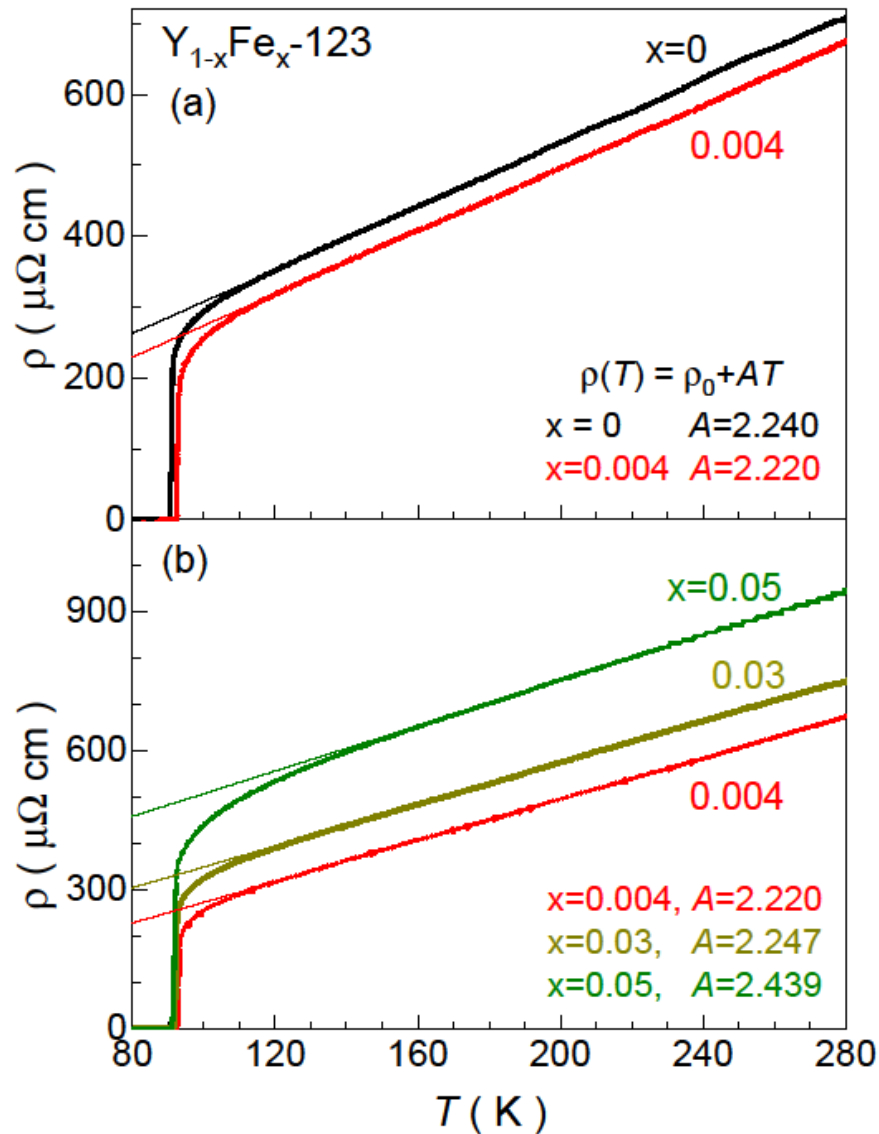
$$R = \rho \frac{L}{A}$$



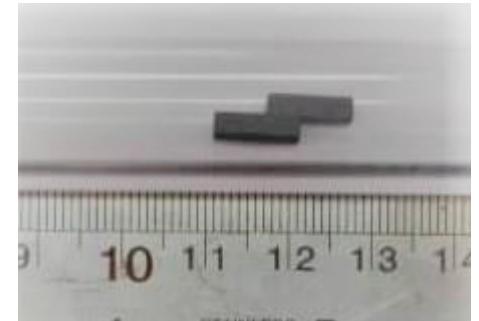
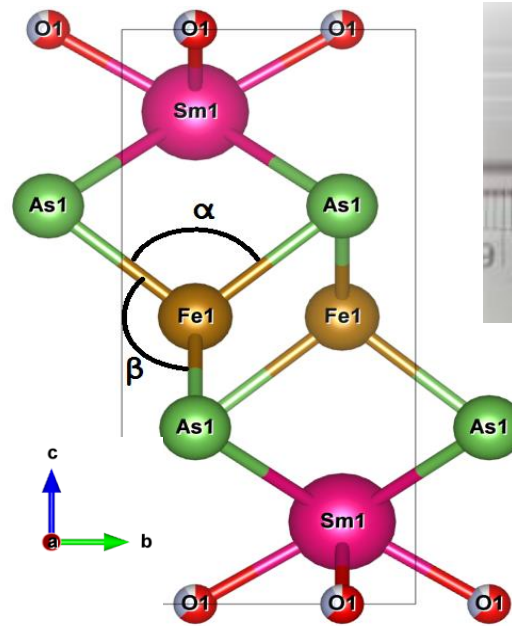
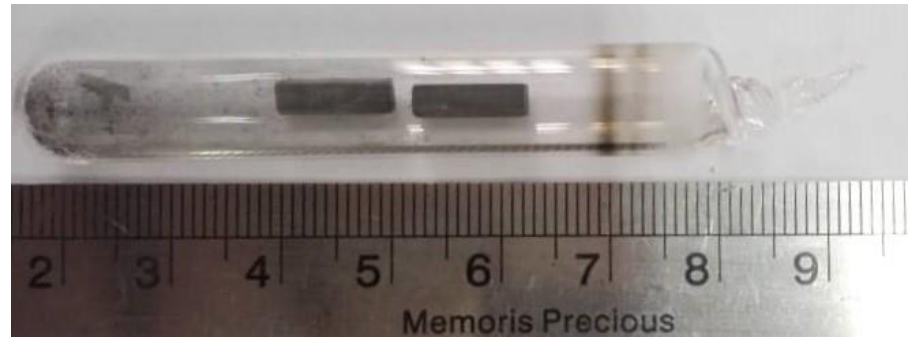
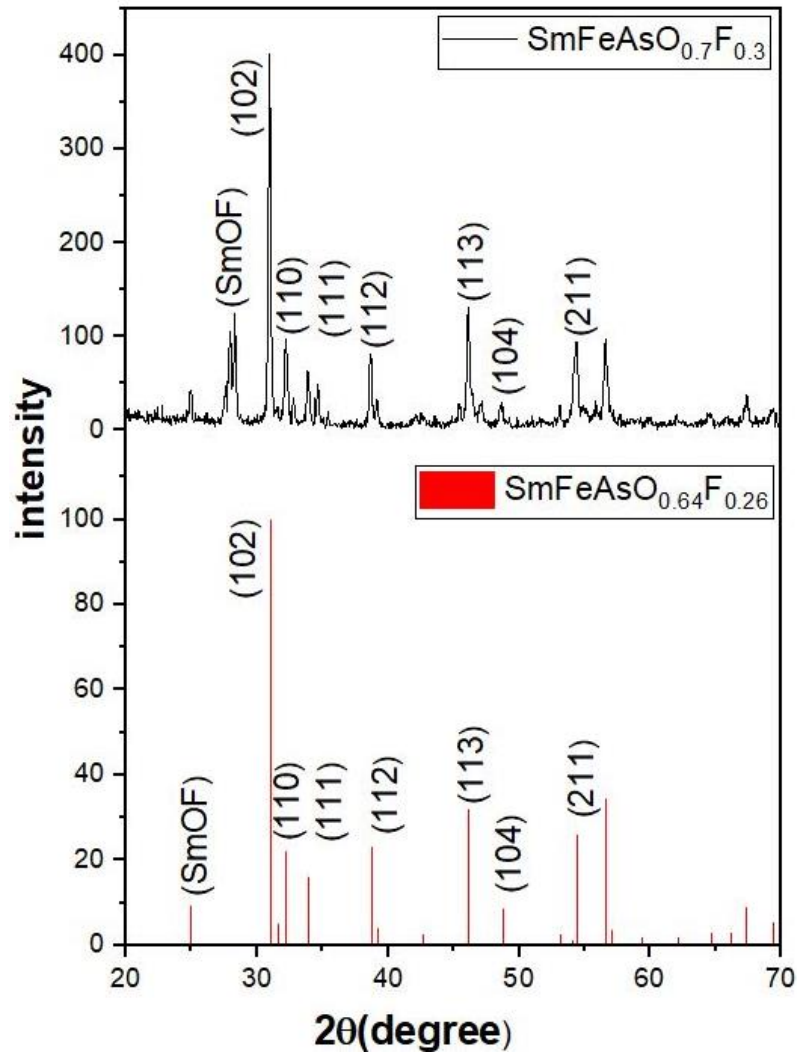
اندازه گیری آنالیز پرتو ایکس (X)



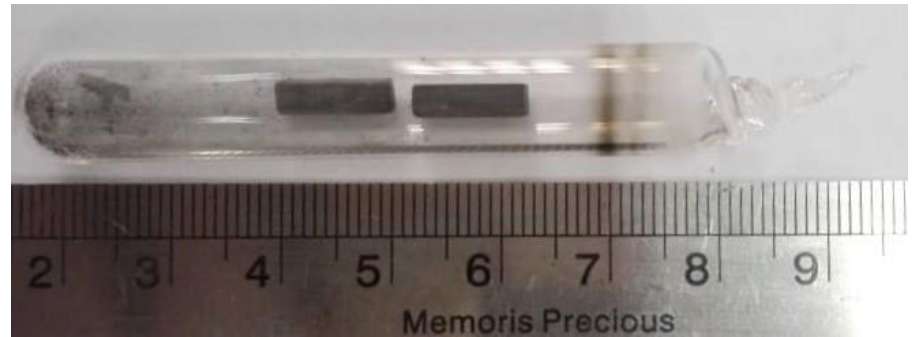
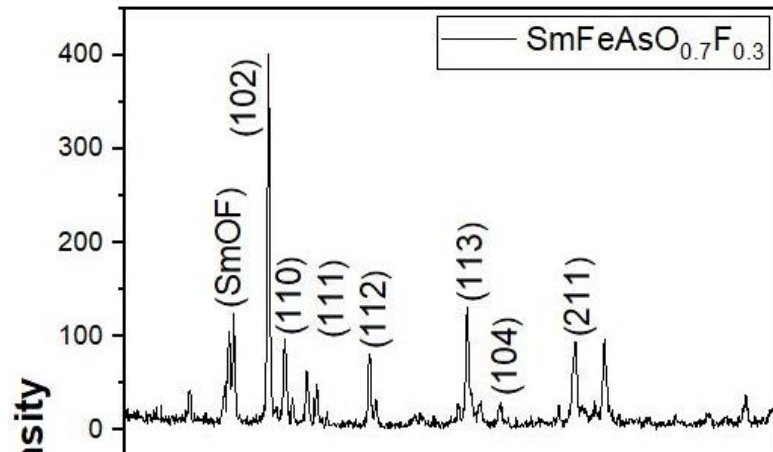
آنالیز الکتريکی و مغناطیسی



ابرساناهای با پایه آهن



ابرساناهای با پایه آهن



از صبرتان متشکرم

