

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

الحمد لله رب العالمين



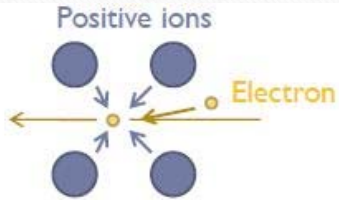
بررسی نظریه افت و خیزهای اسپینی در ترکیبات ابررسانای دمای بالای پایه آهن



فاطمه شهبازطهرانی؛ وحید دادمهر*

آزمایشگاه پژوهشی مغناطیس و ابررسانا، دانشکده فیزیک و شیمی، دانشگاه الزهراء تهران، ایران

*daadmehr@alzahra.ac.ir



A picture of an attractive interaction (phonon interaction).

مقدمه

❖ کشف ابرسانایی در سال ۱۹۱۱ توسط اونز

❖ تا قبل از سال ۱۹۸۶ تصور می شد که وجود هر اتم مغناطیسی در شبکه ابرسانایی باعث شکسته شدن جفت های کوپر می شود و خاصیت مغناطیسی برای ابرسانایی مخرب است.

❖ در سال ۱۹۸۶ گروهی از ابرساناهای دمای بالا با لایه های Cu-O (کوپرات ها) شناخته شدند که در آن ها یون های مس دارای گشتاور مغناطیسی بودند.

❖ کشف اولین ابرسانای بر پایه آهن (LaFePO) در سال ۲۰۰۶ توسط Kamihara

Structural, Magnetic, and Optical Properties of Zinc- and Copper-Substituted Nickel Ferrite Nanocrystals

F. Shahbaz Tehrani · V. Daadmehr · A.T. Rezakhani · R. Hosseini Akbarnejad · S. Gholipour

Received: 15 April 2012 / Accepted: 17 May 2012 / Published online: 3 June 2012
© Springer Science+Business Media, LLC 2012

Abstract Ferrite nanocrystals are an interesting material due to their rich physical properties. Here we add non-magnetic dopants Zn and Cu to nickel ferrite nanocrystals, $Ni_{1-x}M_xFe_2O_4$ ($0 \leq x \leq 1$, $M = Cu, Zn$), and study how relevant properties of the samples are modified accordingly. Basically, these dopings cause a rearrangement of Fe^{+3} ions into the two preexisting octahedral and tetrahedral sites. In fact, this, we show, induces pertinent magnetic properties of the doped samples. In the case of the Cu-doping, the Jahn-Teller effect also emerges, which we identify through the Fourier Transform Infra-Red Spectroscopy of the samples. Moreover, we show an increase in the lattice parameters of the doped samples, as well a superparamagnetic behavior

Keywords Ferrites · Sol-gel processing · Nanocrystalline magnetic materials · Superparamagnetic · Magnetic anisotropy · Jahn-Teller effect

1 Introduction

Spinel ferrites, with common formula of MFe_2O_4 , have wide technological applications, e.g., in multilayer chip inductor (MLCI), ferrofluids, high-speed digital tape or recording disks, rod antenna, and humidity sensor [1–9]. Ferrite nanocrystals are also of interest in various applications, such as inter-body drug delivery [10–12] biosen-



مقدمه

Structural Phase of Y358 Superconductor Comparison with Y123

S. Gholipour · V. Daadmehr · A.T. Rezakhani · H. Khosroabadi · F. Shahbaz Tehrani · R. Hosseini Akbarnejad

Received: 11 April 2012 / Accepted: 6 May 2012 / Published online: 18 May 2012
© Springer Science+Business Media, LLC 2012

Abstract We analyze an experiment in which two distinct superconducting phases $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ (Y123) and $Y_3Ba_2Cu_8O_{18-\delta}$ (Y358) coexisted. This experiment enabled us to characterize the recently introduced Y358 phase in contrast to the Y123 phase, thus to resolve some discrepancies reported in associated properties of Y358. Specifically, our experiment indicates the transition temperature $T_C^{mid} = 105$ K and 94 K for Y358 and Y123, respectively, and that Y358 has five CuO_2 planes and three CuO chains, with D_{4h} symmetry and lattice parameter $(a, b, c) =$

In the YBCO family, the structural differences, the number of CuO_2 planes and CuO chains lead to various physical properties and critical temperatures. For example, Y123 compounds have two CuO_2 planes and one CuO chain, exhibiting a T_C in the 92–94 K range; whereas, Y124 compounds have two CuO_2 planes and one double CuO chain, featuring a $T_C \approx 80$ K [4].

Recently, a new member of the YBCO family, Y358, has been found to feature a $T_C \geq 100$ K [5]. Y358 has five CuO_2 planes and three CuO chains, grouped in two sets: three



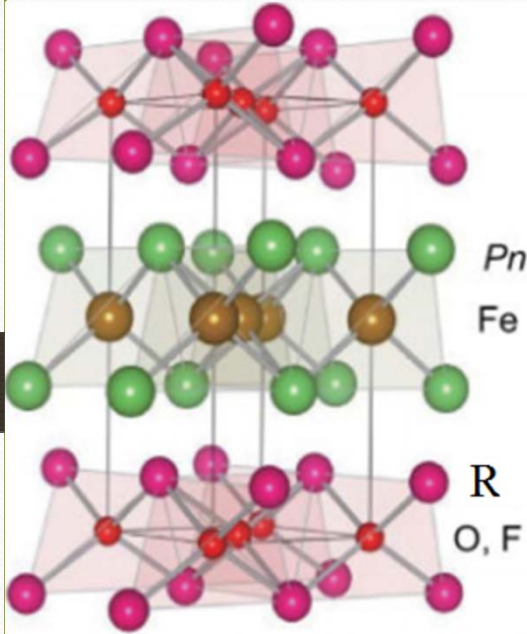
مقدمه

- ابرساناهای برپایه آهن به عنوان گروهی از ابرساناهای دمای بالا، به علت دارا بودن خصوصیات مغناطیسی و ابرسانایی، به طور همزمان، از اهمیت بسیار بالایی برخوردار می باشند (همزیستی مغناطیس و ابرسانایی)
- ابرساناهای برپایه آهن دارای چهار نوع اصلی می باشند:

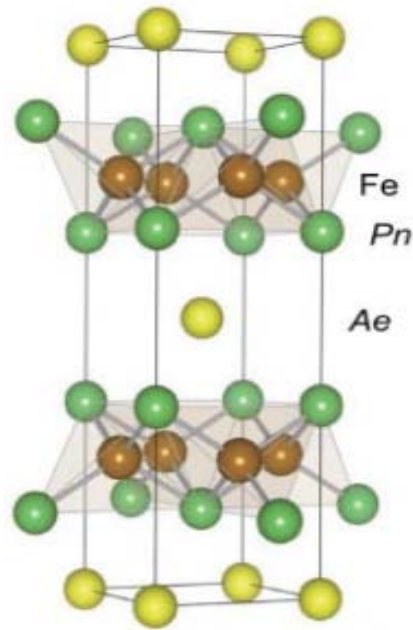
1. $RFeAsO$ (R= Rare-earth elements) \longrightarrow گروه-۱۱۱۱ $\longrightarrow NdFeAsO_{1-y}F_y$
2. AFe_2As_2 (A= Alkaline-earth elements) \longrightarrow گروه-۱۲۲
3. $AFeAs$ (A=Li, Na) \longrightarrow گروه-۱۱۱
4. $Fe(Te,Se)$ \longrightarrow گروه-۱۱



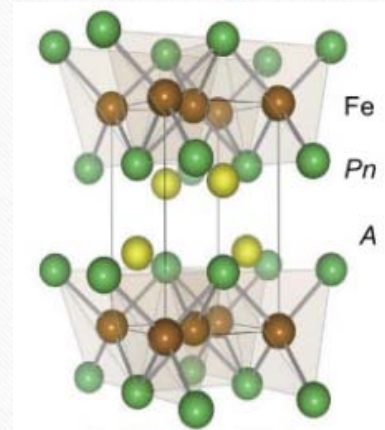
ساختار بلوری ابررساناهای بر پایه آهن



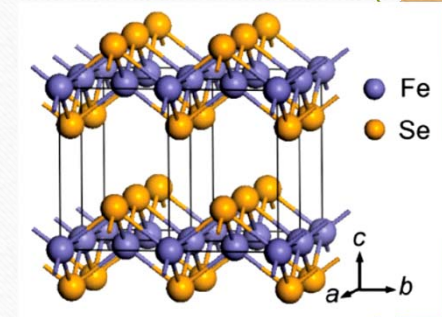
گروه ۱۱۱



گروه ۱۲۲



گروه ۱۱۱



گروه ۱۱



مقدمه

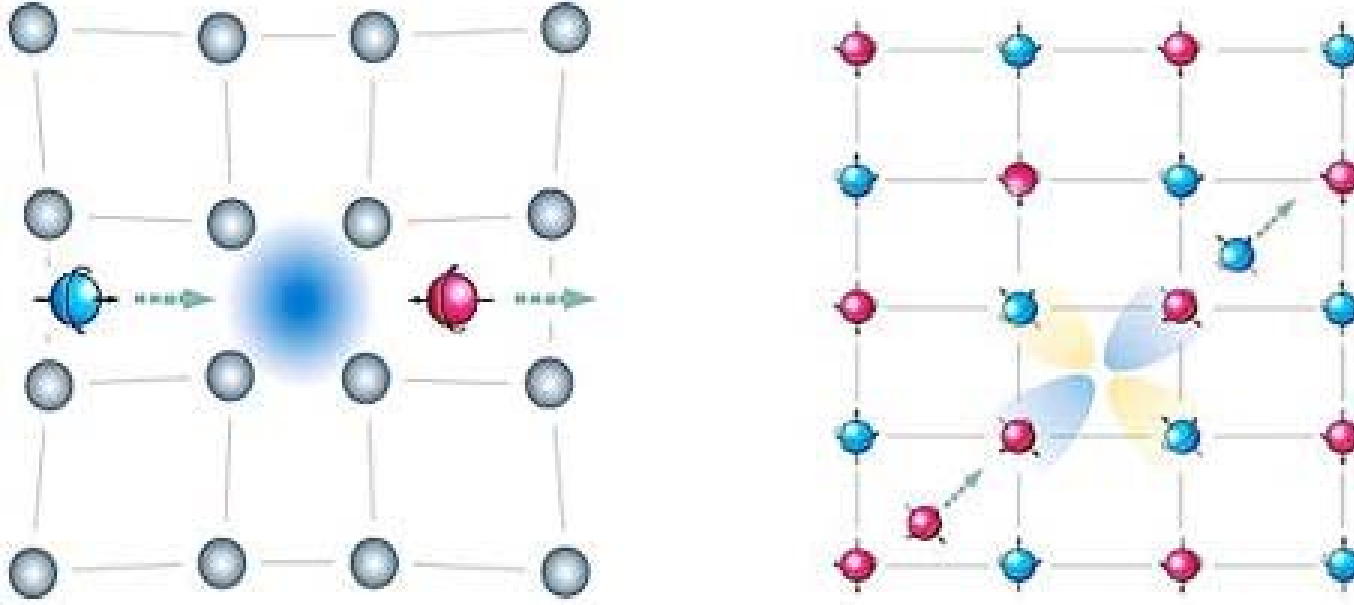
مکانیسم ابررسانایی در ابررساناهای دمای بالا یکی از مهمترین موضوعات حل نشده در فیزیک ماده چگال است. براساس مطالعات تئوری و پژوهش های تجربی انجام شده، تاکنون دو نوع مکانیسم ابررسانایی برای ابررساناهای برپایه آهن گزارش شده است: ۱- **افت و خیزهای اسپینی ۲- افت و خیزهای اوربیتالی.**

بر اساس محاسبات نوار انرژی و برطبق تئوری افت و خیزهای اسپینی، **حالت موج S با تغییر علامت در گاف انرژی^۱ (حالت S_{\pm})** برای ابررساناهای برپایه آهن پیش بینی شده و منشاء این افت و خیزها، برهم کنش کولنی و درهم تنیدگی درون اوربیتالی است.

افت و خیزهای اوربیتالی از درهم تنیدگی بین اوربیتالی^۲ و برهمکنش های الکترون فونون ناشی از فونون های یون های آهن وتبه گنی اوربیتالی این یون ها سرچشمه می گیرد و علامت گاف انرژی بین بسته های موج الکترونی و حفره ای یکسان باقی می ماند و **حالت S_{++} تشکیل می شود.**

¹ fully-gapped sign-reversing S-wave

² intra-orbital nesting



تصویر شماتیکی از برهم کنش الکترون های ابررسانشی از طریق فونون ها (شکل سمت چپ) و از طریق مگنون ها براساس نظریه افت و خیزهای اسپینی (شکل سمت راست)



Superconductivity Versus Structural Parameters in Calcium-Doped $\text{Nd}_{1-x}\text{Ca}_x\text{FeAsO}_{0.8}\text{F}_{0.2}$ Superconductors

F. Shahbaz Tehrani¹ · V. Daadmehr¹ 

Received: 26 May 2019 / Accepted: 20 June 2019
© Springer Science+Business Media, LLC, part of Springer Nature 2019

Abstract

We have investigated experimentally how properties of $\text{NdFeAsO}_{0.8}\text{F}_{0.2}$ superconductor affected due to the substitution of the $\text{Ca}^{2+}/\text{Nd}^{3+}$ doping. Based on the XRD data refinement, various structural parameters such as lattice parameters, bond angles, and bond length were studied. We have determined the upper limit of the calcium solubility in the $\text{NdFeAsO}_{0.8}\text{F}_{0.2}$ phase and it is restricted to $x < 0.05$. Also, we have found that the lattice parameters and the cell volume decreased by increasing the calcium content. According to the XRD data analysis, we have argued that these reductions are due to the variations in the bond lengths and the bond angles of (O/F)-Nd-(O/F) and As-Fe-As, i.e., “ α , β ” upon increasing the calcium dopant. So, we have expected that the superconducting transition temperature (T_C) will be sensitive to the calcium doping values. Experimentally, the T_C of our samples was reduced from 53 K (for $x = 0$) to 48 K (for $x = 0.01$) and 27 K (for $x = 0.025$) and disappeared for our other sample. Then, we have studied the dependence of T_C and bond angles, bond length, the pnictogen height, and the lattice parameter to examine the available theories from an empirical point of view. The consistency of our experimental results and the theoretical reports based on the spin and the orbital fluctuation theories shows that these models play an important role in the pairing mechanism of the iron-based superconductors.

مقدمه



روش ساخت ترکیبات $\text{Nd}_{1-x}\text{Ca}_x\text{FeAsO}_{0.8}\text{F}_{0.2}$ ($x=0, 0.01, 0.025, 0.05$)

روش ساخت: واکنش حالت جامد تک مرحله ای



مراحل ساخت

استوکیومتری

وزن
کردن

ساییدن

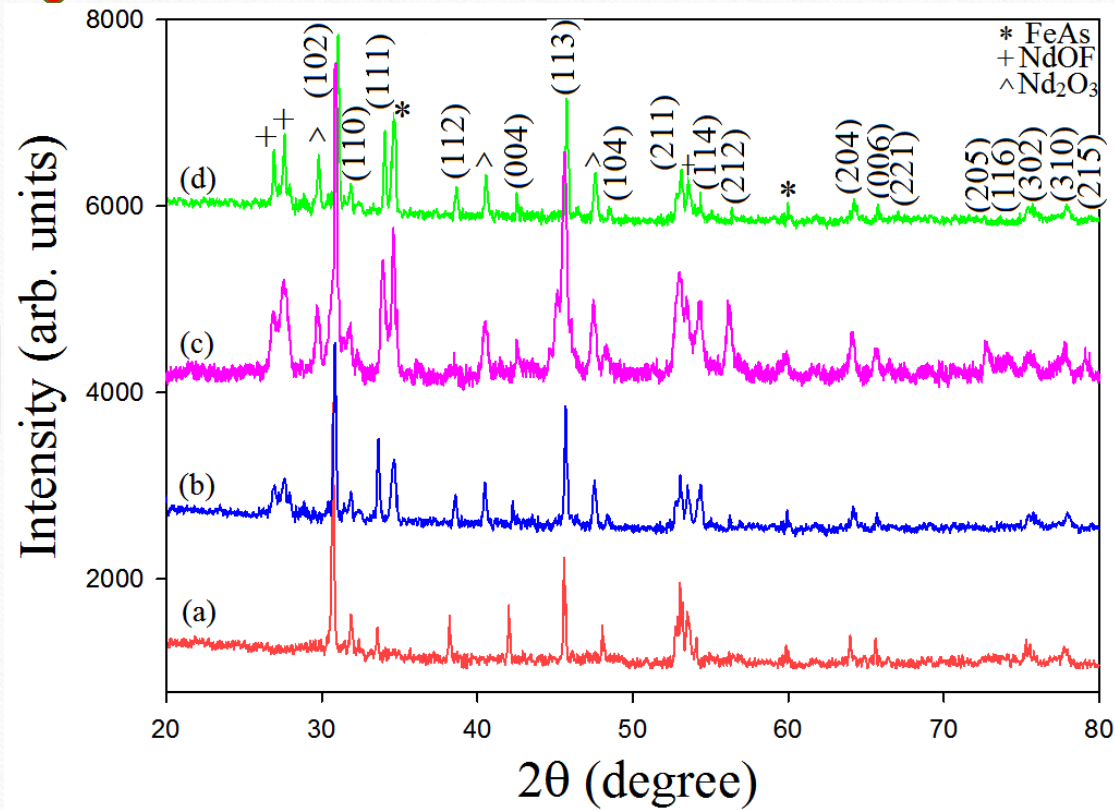
قرص
کردن

حرارت
دهی





تحلیل XRD ابررساناهای $\text{Nd}_{1-x}\text{Ca}_x\text{FeAsO}_{0.8}\text{F}_{0.2}$

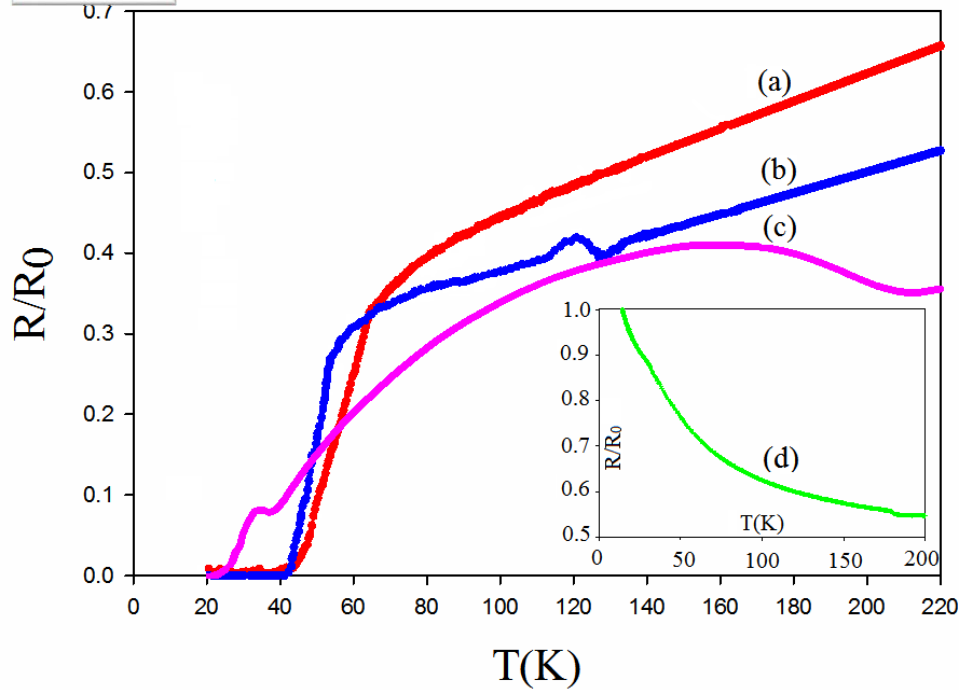


- تحلیل XRD با استفاده از نرم افزار MAUD و آنالیز ریتولد

- ساختار بلوری تتراگونال با گروه تقارنی $P4/nmm:2$



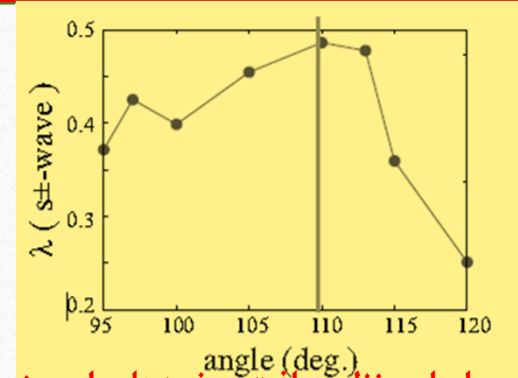
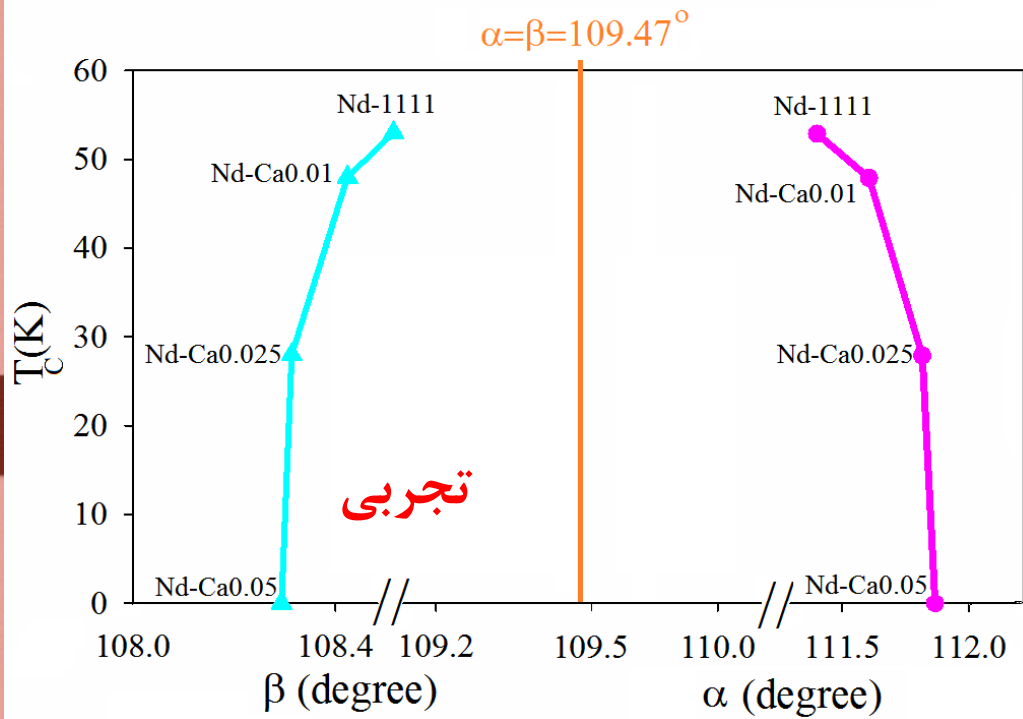
اندازه گیری مقاومت ترکیبات $\text{Nd}_{1-x}\text{Ca}_x\text{FeAsO}_{0.8}\text{F}_{0.2}$



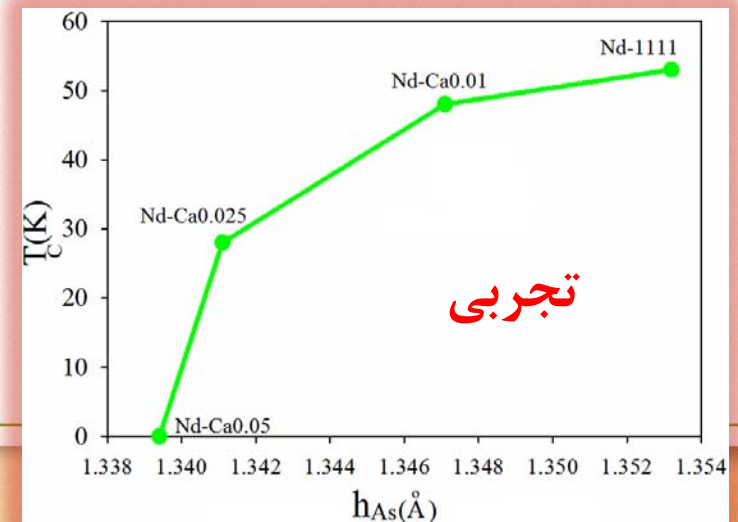
- با افزایش آلایش کلسیم، دمای گذار ابرسانایی در نمونه های سنتز شده کاهش می یابد.
- ابرسانایی در نمونه Nd-Ca0.05 ، از بین رفته و این نمونه به صورت یک ماده نیمرسانا رفتار می کند.

مقدار آلایش	T_C^{onset} (K)	T_C^{mid} (K)	T_C^{offset} (K)	ΔT_C (K)
کلسیم (x)				
x=0 (a)	62	53	44	18
x=0.01 (b)	53	48	43	10
x=0.025 (c)	32	27	23	9

وابستگی دمای گذار به زوایای پیوندی As-Fe-As و ضخامت لایه Fe-As



تئوری - براساس نظریه افت و خیزهای اسپینی [1,2] و اوربیتالی [3] و فرمالیسم الیاشبرگ



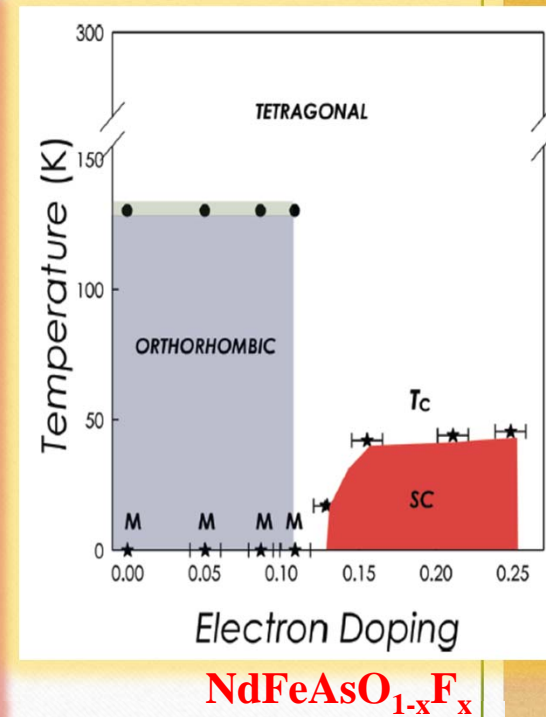
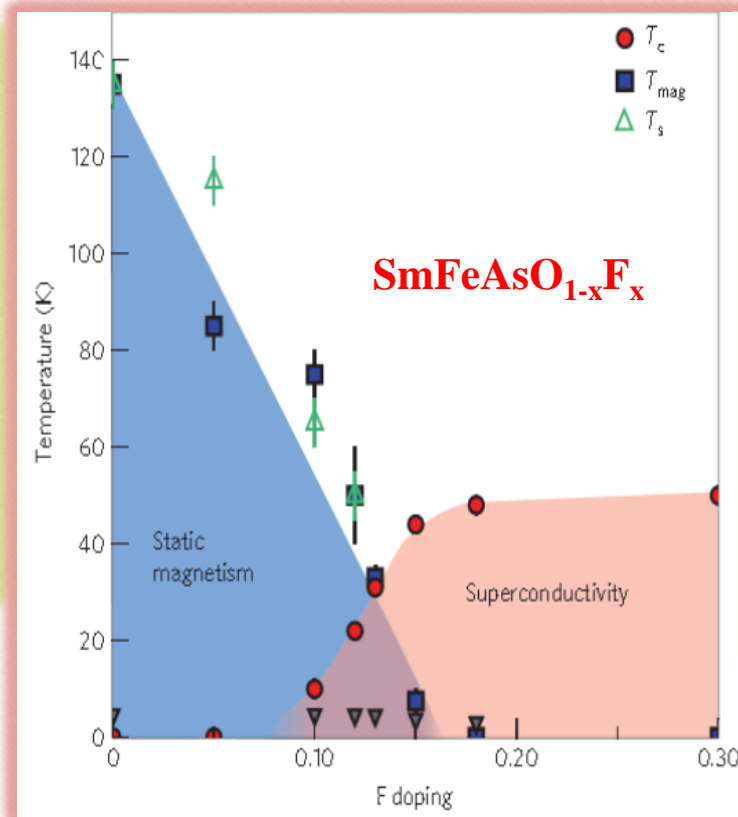
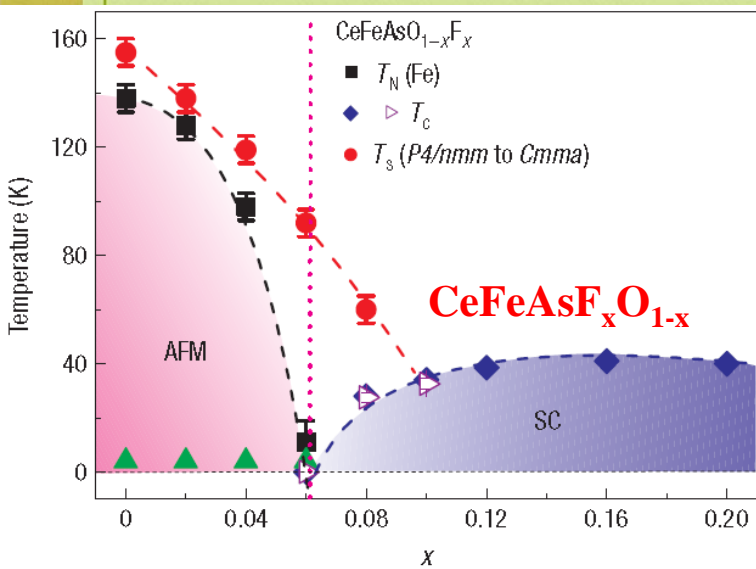
[1] H. Usui, K. Kuroki, phys. Rev. B **84**, (2011) 024505.

[2] H. Usui, K. Kuroki, Journal of Physics: Conference Series **400**, 022129 (2012).

[3] T. Saito, S. Onari, H. Kontani, phys. Rev. B **82**, 144510 (2010).



دیagram فاز ترکیبات بر پایه آهن



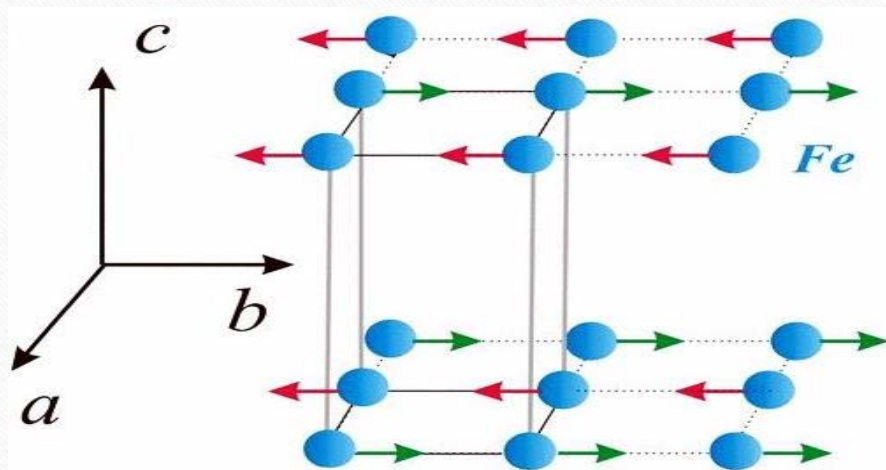
[1] S.V.Chong, G.V.M. Williams, S. Sambale, Physica C **507**, 35 (2014).

[2] A. J. Drew, C. Niedermayer, Nat. mater. **8**, 310 (2009).

[3] L. Malavasi et al. J. Am. Chem. Soc. **132**, 2417 (2010).

درباره دیاگرام فاز ترکیبات برپایه آهن چندین نکته مهم وجود دارد: اول اینکه سه نوع فاز در هر یک از دو شکل وجود دارد که عبارتند از **۱- فاز نرمال ۲- فاز ابررسانشی و ۳- فاز آنتی فرومغناطیسی (AFM)**.

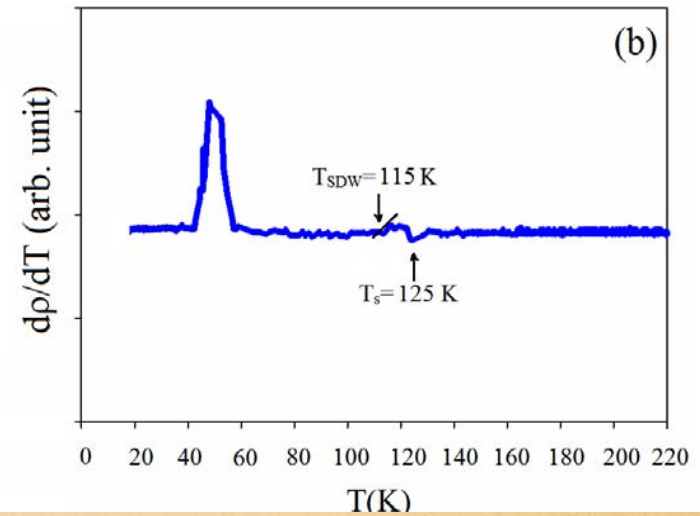
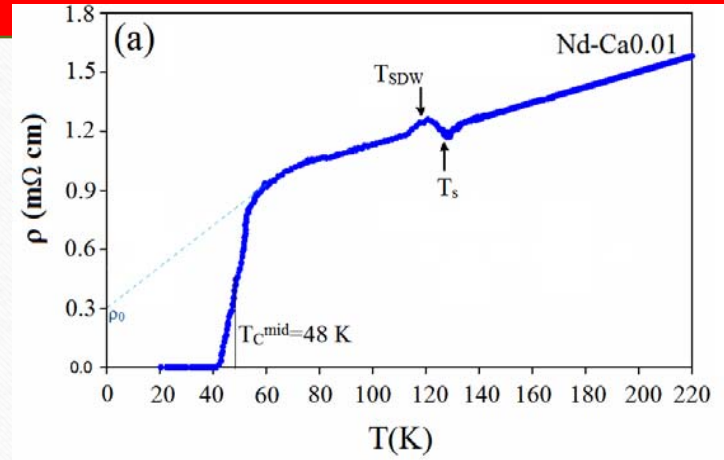
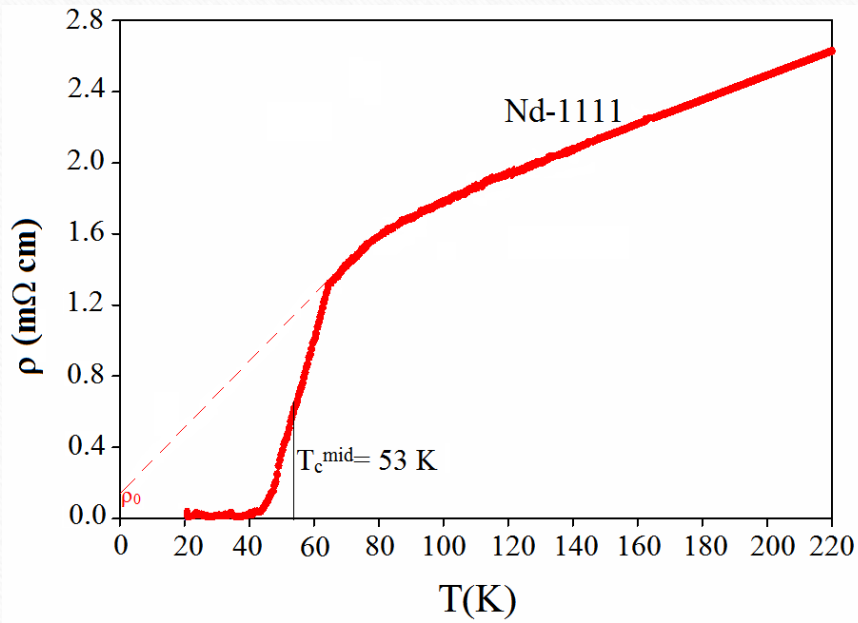
بیشتر ابررساناهای برپایه آهن ها دارای یک نمودار فاز مشترک و متداول هستند که غالباً یک گذار ساختاری از ساختار تتراگونال به اورتورمبیک، و یک گذار چگالی موج اسپینی (SDW) همراه با آرایش آنتی فرومغناطیسی خطی شده اسپین ها، را در بر می گیرد.



از این موضوع می توان نتیجه گرفت که گذار ساختاری و مغناطیسی نقش مهمی را در سازوکار ابررسانایی ابررساناهای برپایه آهن بازی می کنند.

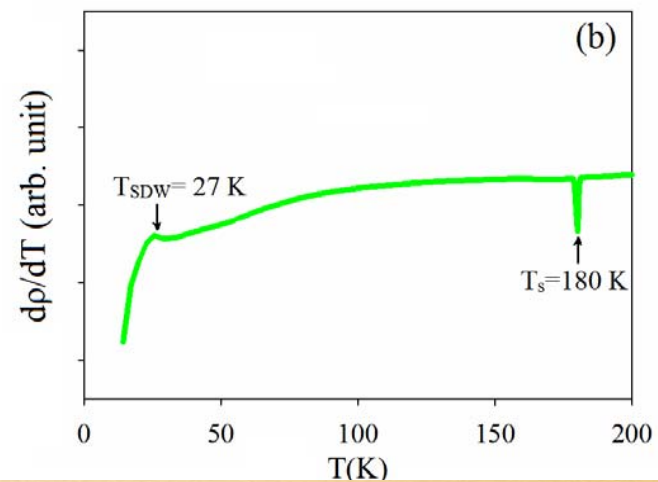
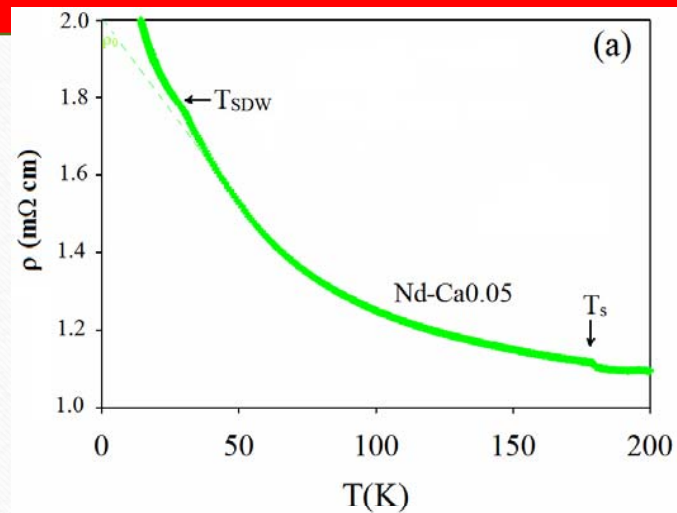
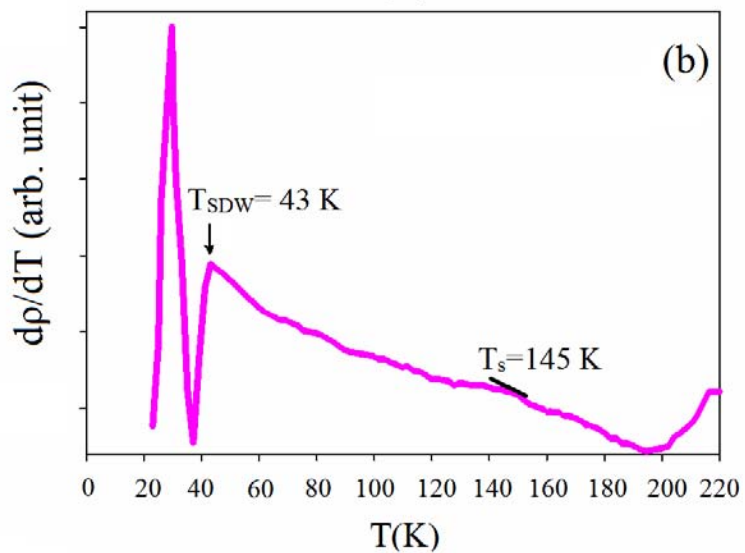
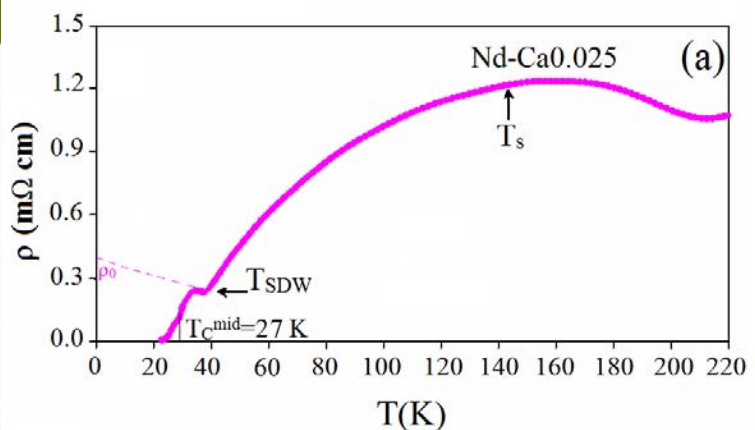


دیاگرام فاز ترکیبات $\text{Nd}_{1-x}\text{Ca}_x\text{FeAsO}_{0.8}\text{F}_{0.2}$

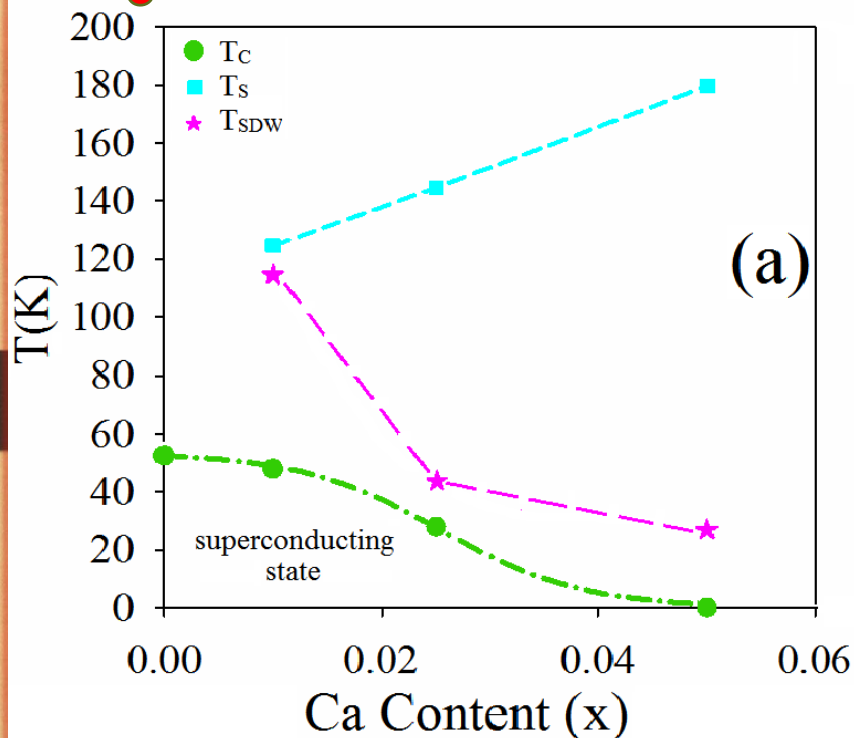




دیاگرام فاز ترکیبات $\text{Nd}_{1-x}\text{Ca}_x\text{FeAsO}_{0.8}\text{F}_{0.2}$



دیاگرام فاز ترکیبات $Nd_{1-x}Ca_xFeAsO_{0.8}F_{0.2}$



جدول ۴-۱۱- دماهای گذار ساختاری T_s ، گذار آنتی فرومغناطیسی T_{SDW} ، اختلاف این دو دما و دمای گذار ابررسانایی T_c در نمونه های سنتز شده

نام ترکیب	T_c (K)	T_{SDW} (K)	T_s (K)	$T_s - T_{SDW}$ (K)
Nd-1111	53	-	-	-
Nd-Ca0.01	48	115	125	10
Nd-Ca0.025	27	43	145	102
Nd-Ca0.05	-	27	180	153

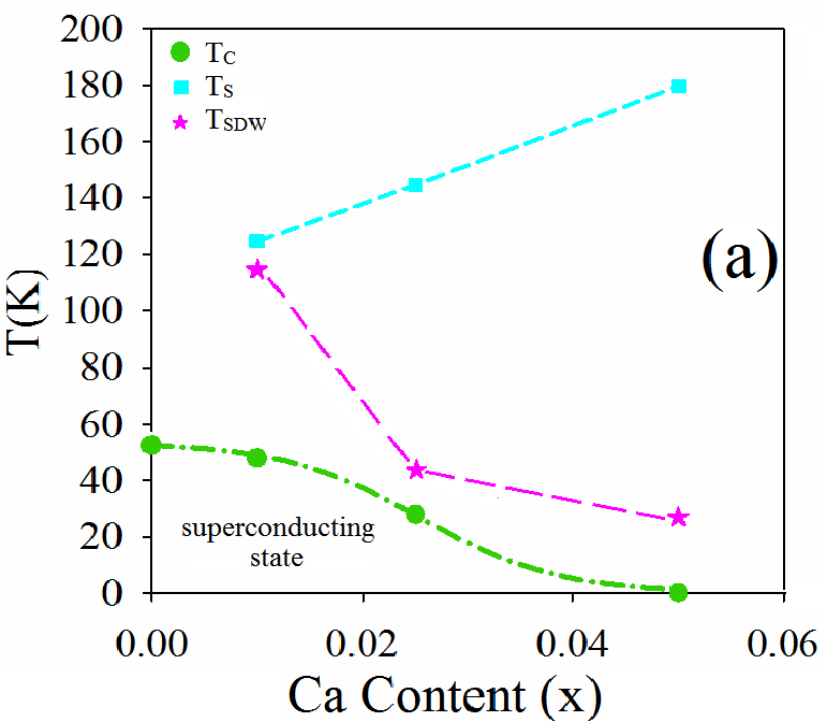
- این شکل، فرونشانی حالت ابررسانایی و حالت SDW را با افزایش ناخالصی های کلسیم نشان می دهد، در حالی که T_s افزایش می یابد.
- چنین رفتاری در ترکیبات دیگری از ابررسانای برپایه آهن نیز مشاهده شده است.
- همچنین می توان گفت که به علت افزایش یون کلسیم به عنوان مراکز پراکندگی در نمونه ها، دمای گذار ساختاری افزایش یافته و از طرف دیگر دمای گذار آنتی فرومغناطیسی و ابررسانایی کاهش می یابد.

علت گذار ساختاری هنوز به صورت کامل مشخص نیست.

دیاگرام فاز ترکیبات $\text{Nd}_{1-x}\text{Ca}_x\text{FeAsO}_{0.8}\text{F}_{0.2}$

جدول ۱۱-۴- دماهای گذار ساختاری T_s ، گذار آنتی فرومغناطیسی T_{SDW} ، اختلاف این دو دما و دمای گذار ابررسانایی T_c در نمونه های سنتز شده

نام ترکیب	T_c (K)	T_{SDW} (K)	T_s (K)	$T_s - T_{SDW}$ (K)
Nd-1111	53	-	-	-
Nd-Ca0.01	48	115	125	10
Nd-Ca0.025	27	43	145	102
Nd-Ca0.05	-	27	180	153



در نمونه های ما، با توجه به کاهش دمای گذار آنتی فرومغناطیسی یعنی T_{SDW} با افزایش ناخالصی های کلسیم، می توان توصیف کرد که یون های آهن در دماهای پایین تری به صورت خطی آنتی فرومغناطیسی آرایش یافته و منظم می شوند و بنابراین دمای گذار ابررسانایی یعنی T_c کاهش می یابد.

دمای منظم شدن مغناطیسی ← دمای گذار ابررسانایی

بنابراین، به عنوان یک نتیجه مهم، افت وخیزهای اسپینی تأثیر مستقیمی در سازوکار ابررسانایی نمونه های ما دارد.



بررسی سازوکار ابررسانایی در نمونه های سنتز شده

- مطالعات و مدل های تئوری توصیف می کنند که حالت S_{\pm} نسبت به ناخالصی های غیر مغناطیسی بسیار شکننده است، و فقط ۱٪ از ناخالصی های غیر مغناطیسی می تواند ابررسانایی و حالت جفت شدگی S_{\pm} را کاملاً سرکوب کند، در حالی که برای تقارن و حالت S_{++} ، دمای گذار ابررسانایی تغییرات قابل توجهی را با افزودن ناخالصیهای غیر مغناطیسی نشان نمی دهد [1-3].
- بر اساس مدل پنج مداری، اوناری و همکاران [4] از نظر تئوری، اثر موضعی ناخالصی های غیرمغناطیسی (در مقادیر کم آلیش) را در ابررساناهای برپایه آهن بررسی کرده اند و دریافتند که حالت S_{\pm} که به تئوری افت و خیزهای اسپینی نسبت داده می شود، در برابر ناخالصی ها بسیار شکننده است، در حالی که حالت S_{++} که دلالت بر وجود افت و خیزهای اوربیتالی دارد، نسبت به همه مقادیر ناخالصی ها ثابت و بدون تغییر بوده و بر آن تأثیر نمی گذارد.

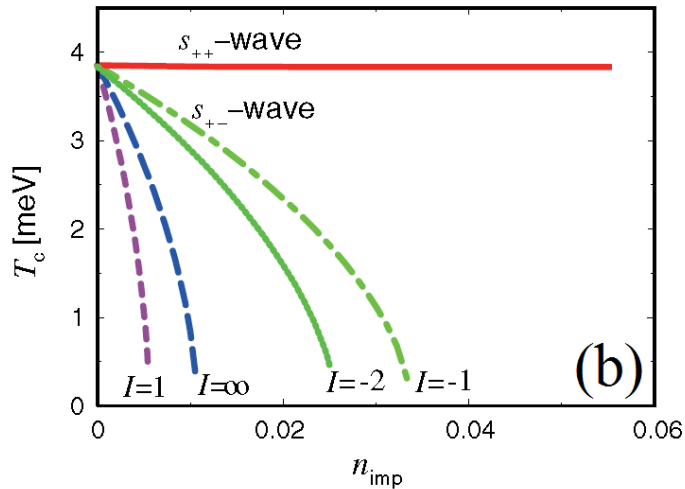
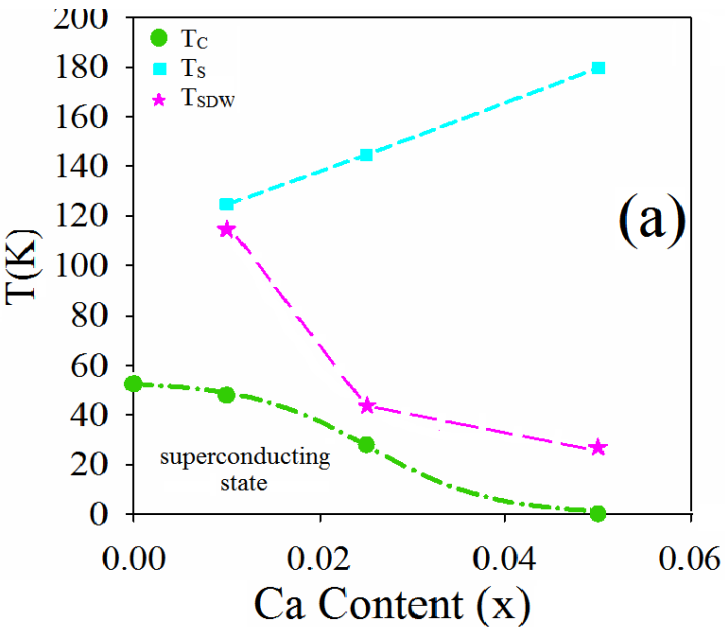
[1] D. Parker et al., Phys. Rev. B **78**, 134524 (2008).

[2] Y. Bang, H. Choi, H. Won, Phys. Rev. B **79**, 054529 (2009).

[3] T. Kariyado, M. Ogata, J. Phys. Soc. Jpn. **79**, 083704 (2010).

[4] S. Onari, H. Kontani, Phys. Rev. Lett. **103**, 177001 (2009).

بررسی سازوکار ابرسانی در نمونه های سنتز شده

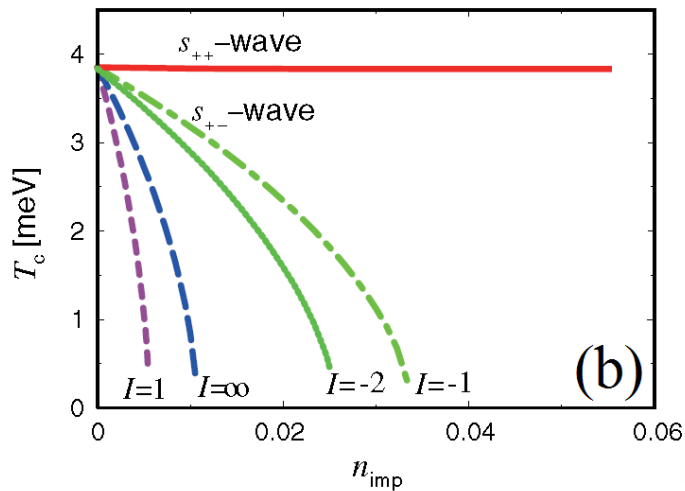
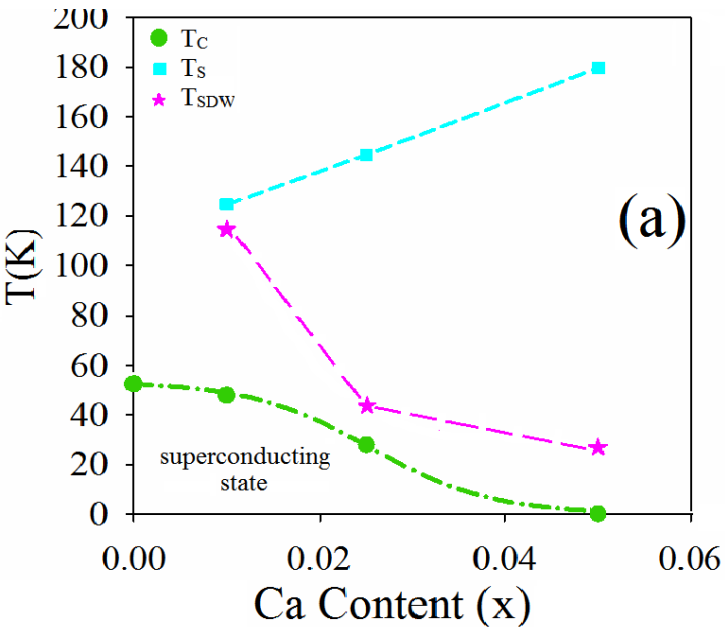


- مطابقت نمودار فازی تجربی نمونه های ما و نتایج حاصل از مدل نظری فوق، نقش افت و خیزهای اسپینی را به عنوان یک سازوکار جفت شدگی غالب در نمونه های سنتز شده ی ما، تأیید می کند.
- به عبارت دیگر، با آلاینده مقدار کم ناخالصی غیر مغناطیسی یون های کلسیم ($x \leq 0.05$) در نمونه های ما، خاصیت ابرسانی کاملاً سرکوب می شود. در نتیجه و طبق تئوری مذکور، تقارن S_{\pm} و افت و خیزهای اسپینی در مقایسه با افت و خیزهای اوربیتالی در نمونه های ما غالب هستند.
- همچنین، شواهد اندازه گیری ARPES برای تقارن S_{\pm} ، این موضوع را تأیید می کند که حالت های ابرسانی و SDW را می توان با ناخالصی های یکسانی سرکوب کرد (بر خلاف حالت S_{++}).
- این رفتار، توسط اندازه گیری های مقاومت ویژه در نمونه های ما براساس مقادیر T_C و T_{SDW} دیده شده و تأیید می شود.

بررسی سازوکار ابررسانایی در نمونه های سنتز شده

نتیجه گیری و جمع بندی:

- از آن جایی که افزایش ناخالصی در نمونه های $\text{Nd}_{1-x}\text{Ca}_x\text{FeAsO}_{0.8}\text{F}_{0.2}$ در حالت S_{\pm} که به سازوکار افت و خیزهای اسپینی نسبت داده می شود، باعث سرکوب ابررسانایی برای مقادیر کم ناخالصی در نمونه های سنتز شده ی ما شده است، می توان نتیجه گرفت که سازوکار ابررسانایی حاکم بر نمونه های ما، می تواند از نوع افت و خیزهای اسپینی باشد.



باتشکر از
توجه شما



- [1] H. Nakaoka, Y. Yamakawa, and H. Kontani, *Phys. Rev. B* **98**, 125107 (2018).
- [2] A. Kreisel, B. M. Andersen, P. O. Sprau, A. Kostin, J. C. Seamus Davis, and P. J. Hirschfeld, *Phys. Rev. B* **95**, (2017) 174504.
- [3] T. Urata, Y. Tanabe, K. K. Huynh, Y. Yamakawa, H. Kontani, and K. Tanigaki, *Phys. Rev. B* **93**, (2016) 014507.
- [4] H. Usui and K. Kuroki, *phys. Rev. B* **84**, (2011) 024505.
- [5] H. Usui and K. Kuroki, *Journal of Physics: Conference Series* **400**, (2012) 022129.
- [6] K. Kuroki, H. Usui, S. Onari, R. Arita, and H. Aoki, *Phys. Rev. B* **79**, (2009) 224511.
- [7] K. Kuroki, *Physica C* **470**, (2010) S267–S272.
- [8] K. Kuroki, *J. Phys. Chem. Solids* **72**, (2011) 307-311.
- [9] T. Nomura, Y. Inoue, S. Matsuishi, M. Hirano, J. E. Kim, K. Kato, M. Takata, and H. Hosono, *Supercond. Sci. Technol.* **22**, (2009) 055016-1-055016-7.
- [10] T. Saito, S. Onari, H. Kontani, *phys. Rev. B* **82**, 144510 (2010).

Various types of pairing mechanisms in FeSCs

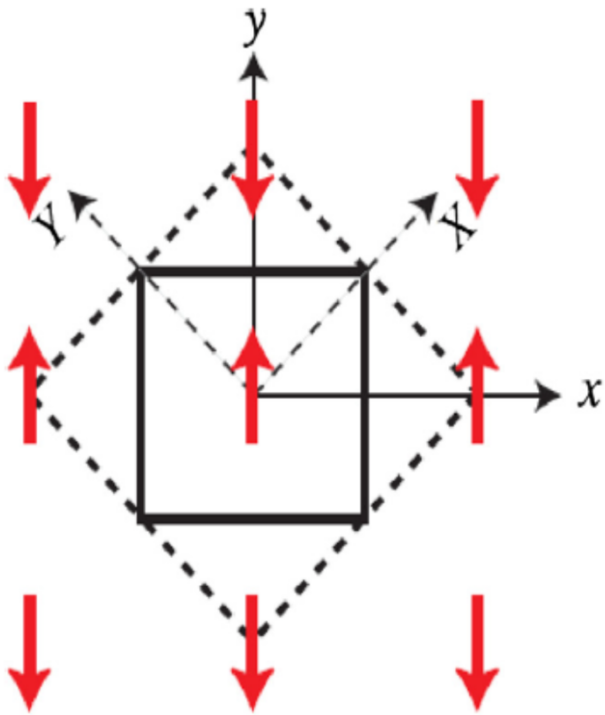
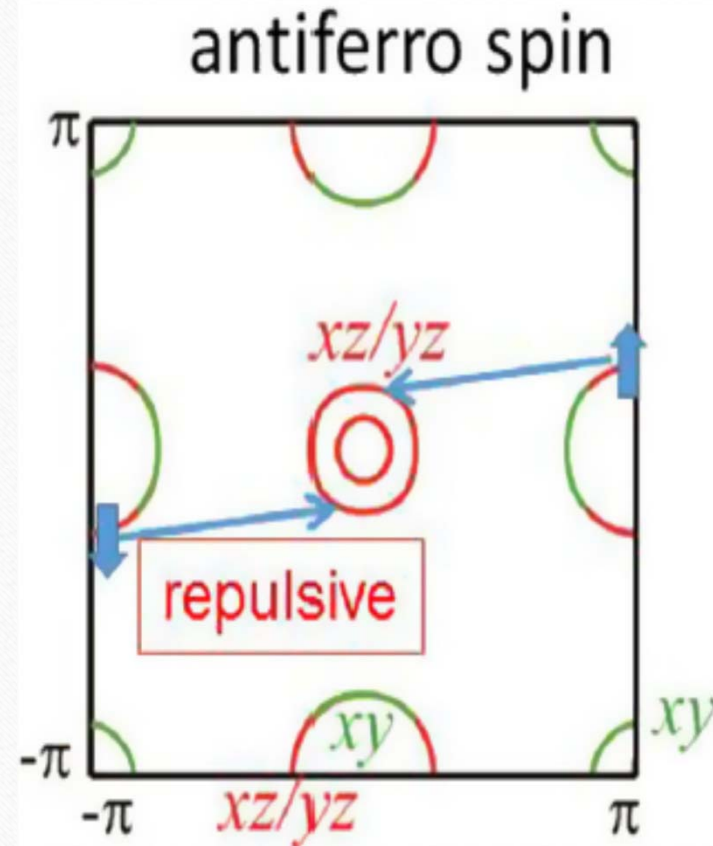


Fig. 16. Left: stripe-type antiferromagnetic state



Various types of pairing mechanisms in FeSCs

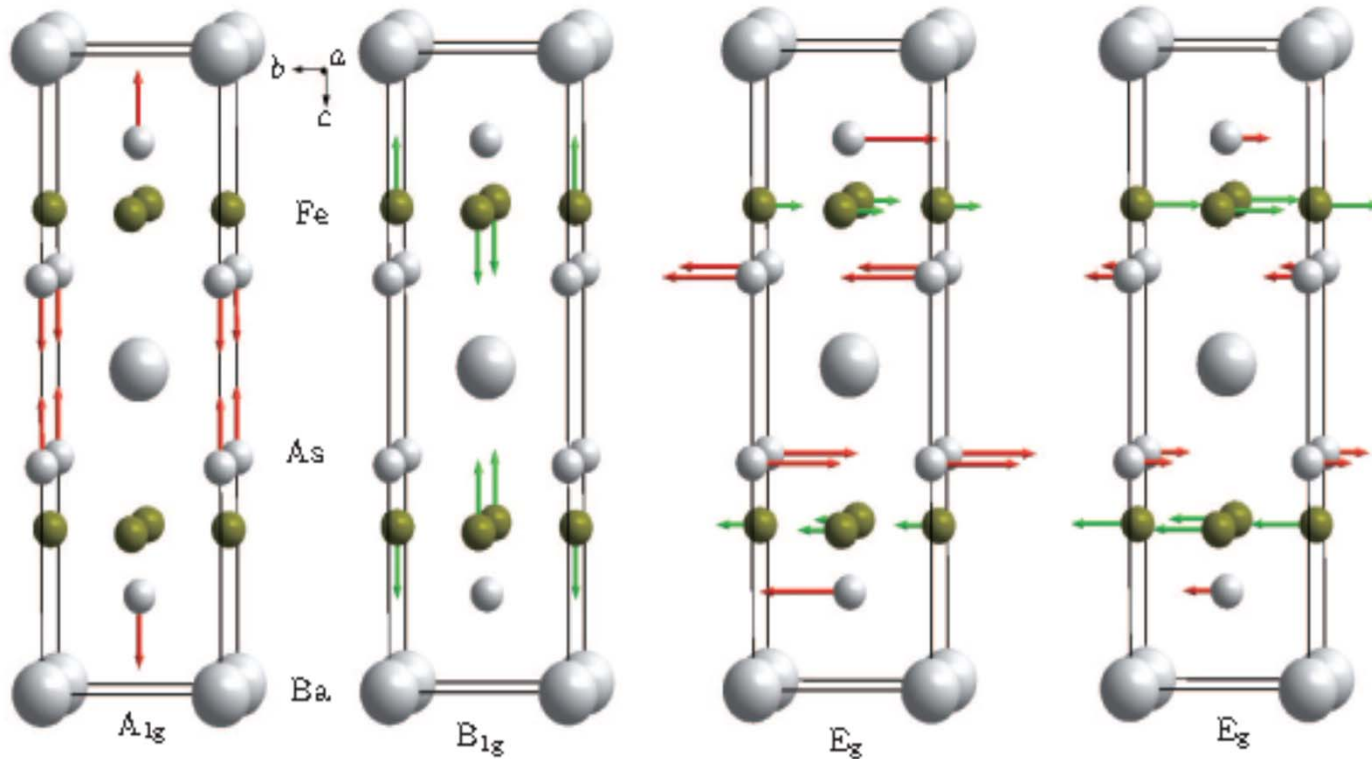


Fig. 3. Crystal structure of BaFe_2As_2 and its Raman modes.

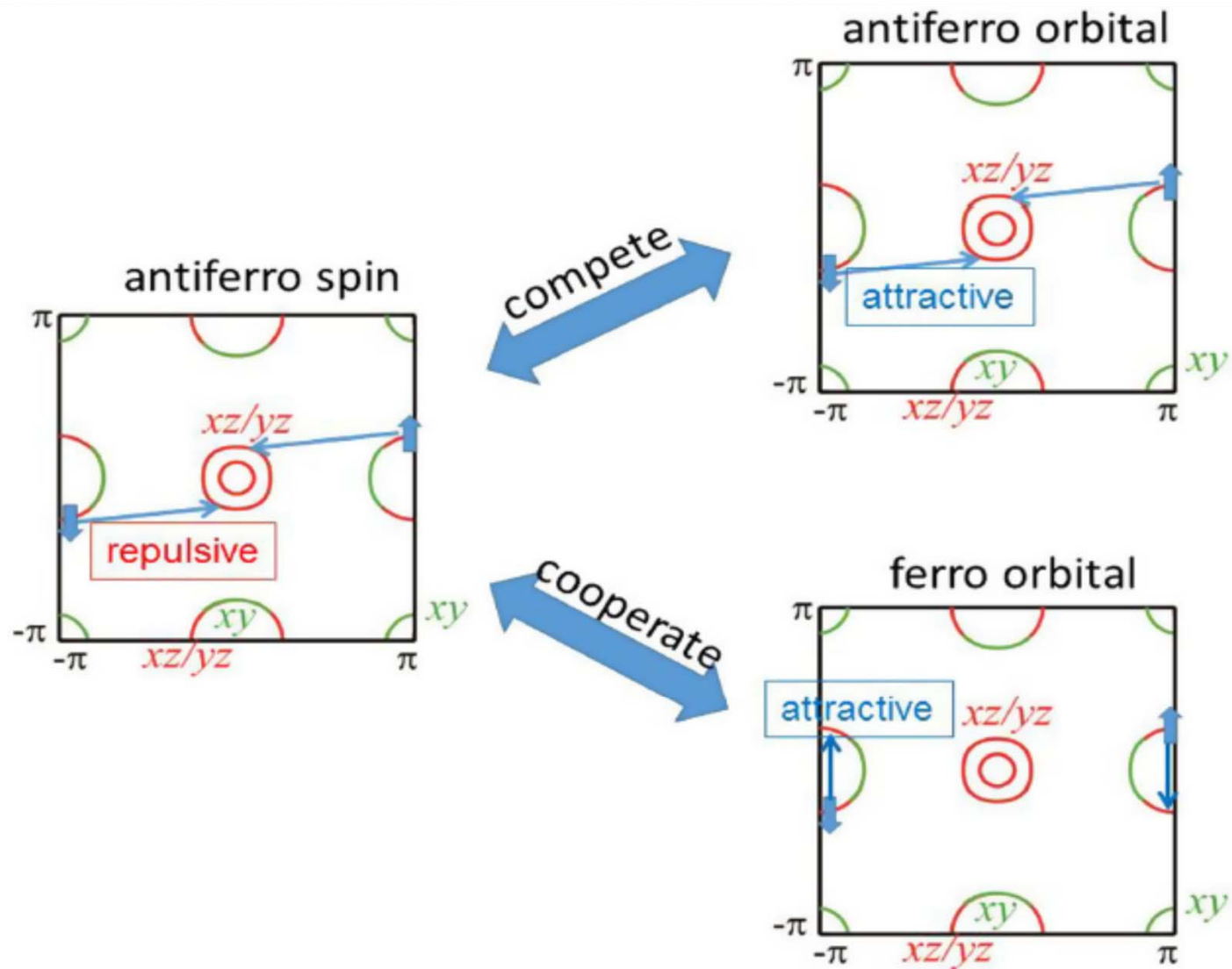


Fig. 17. The relation among pairing interactions mediated by spin or orbital fluctuations.

مقدمه

مقایسه دیاگرام فاز ابررساناهای کوپراتی و برپایه آهن □

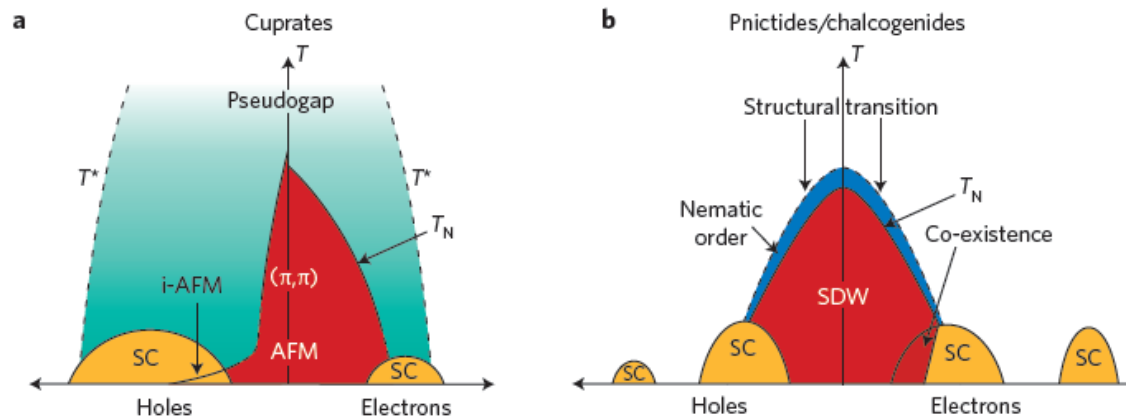


Figure 1 | Schematic phase diagrams of the cuprates and pnictides on hole- or electron-doping²⁻⁴. At relatively small dopings, superconductivity and antiferromagnetism co-exist. Not all details/phases are shown. Superconductivity in Fe-based systems can be initiated not only by doping but also by applying pressure and/or replacing one isovalent pnictide element by another⁴⁹. The nematic phase in pnictides at $T > T_N$ is a subject of much debate. Superconductors at large doping are KFe_2As_2 for hole doping and AFe_2As_2 ($A = K, Rb, Cs$) for electron doping. Whether superconductivity in pnictides exists at all intermediate dopings is not yet clear. An additional superconducting dome in very strongly hole-doped cuprates has also been reported⁵⁰.