

Индукционная полем фаза Гриффитса в $Mn_{1-x}Fe_xSi$

Самарин А.Н.^{1,2}, Junwei Huang³, J. Vanacken³, Демишев С.В.²

¹Московский физико-технический институт, Россия

²Институт общей физики им. А.М.Прохорова РАН, Россия

³Левенский католический университет, Бельгия

JETP Letters **104**, 116 (2016)

arXiv:1605.05519 [cond-mat.str-el] (2016)

<http://arxiv.org/abs/1605.05519>



Magnetization of the $\text{Mn}_{1-x}\text{Fe}_x\text{Si}$ in high magnetic field up to 50 T: possible evidence of a field-induced Griffiths phase¹⁾

S. V. Demishev^{a,b,2)}, A. N. Samarin^{a,c}, J. Huang^d, V. V. Glushkov^{a,c}, I. I. Lobanova^{a,c}, N. E. Sluchanko^{a,c}, N. M. Chubova^e, V. A. Dyadkin^{e,f}, S. V. Grigoriev^{e,g}, M. Yu. Kagan^{b,h}, J. Vanacken^d, V. V. Moshchalkov^d

ISSN 0021-3640, *JETP Letters*, 2016, Vol. 104, No. 2, pp. 116–123. © Pleiades Publishing, Inc., 2016.

CONDENSED
MATTER

Magnetization of $\text{Mn}_{1-x}\text{Fe}_x\text{Si}$ in High Magnetic Fields up to 50 T: Possible Evidence of a Field-Induced Griffiths Phase¹

S. V. Demishev^{a, b, *}, A. N. Samarin^{a, c}, J. Huang^d, V. V. Glushkov^{a, c}, I. I. Lobanova^{a, c},
N. E. Sluchanko^{a, c}, N. M. Chubova^e, V. A. Dyadkin^{e,f}, S. V. Grigoriev^{e, g},
M. Yu. Kagan^{b, h}, J. Vanacken^d, and V. V. Moshchalkov^d

^aProkhorov General Physics Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, 119991 Russia

^bNational Research University Higher School of Economics, Moscow, 101000 Russia

^cMoscow Institute of Physics and Technology (State University), Dolgoprudnyi, Moscow region, 141700 Russia

^dDepartment of Physics and Astronomy, KU Leuven, B-3001 Leuven, Belgium

^ePetersburg Nuclear Physics Institute, Gatchina, 188300 Russia

^fSwiss–Norwegian Beamlines at the European Synchrotron Radiation Facility, 38000 Grenoble, France

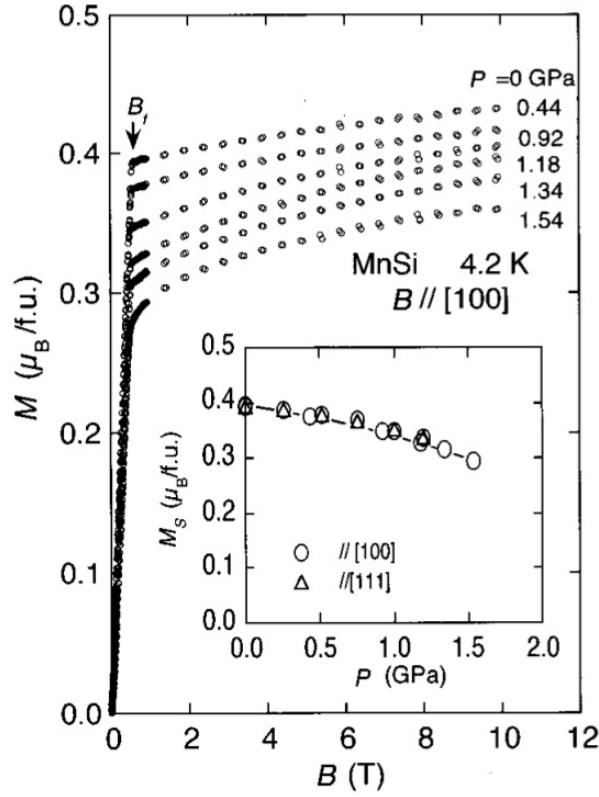
^gSt. Petersburg State University, St. Petersburg, 198504 Russia

^hKapitza Institute for Physical Problems, Russian Academy of Sciences, Moscow, 119334 Russia

* e-mail: demis@lt.gpi.ru

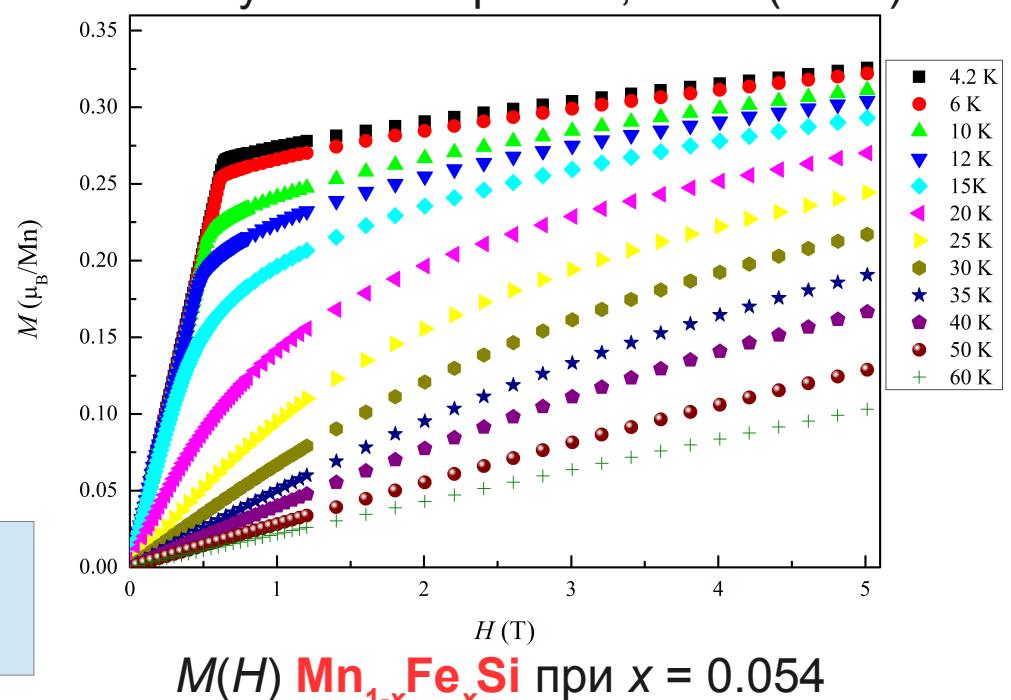
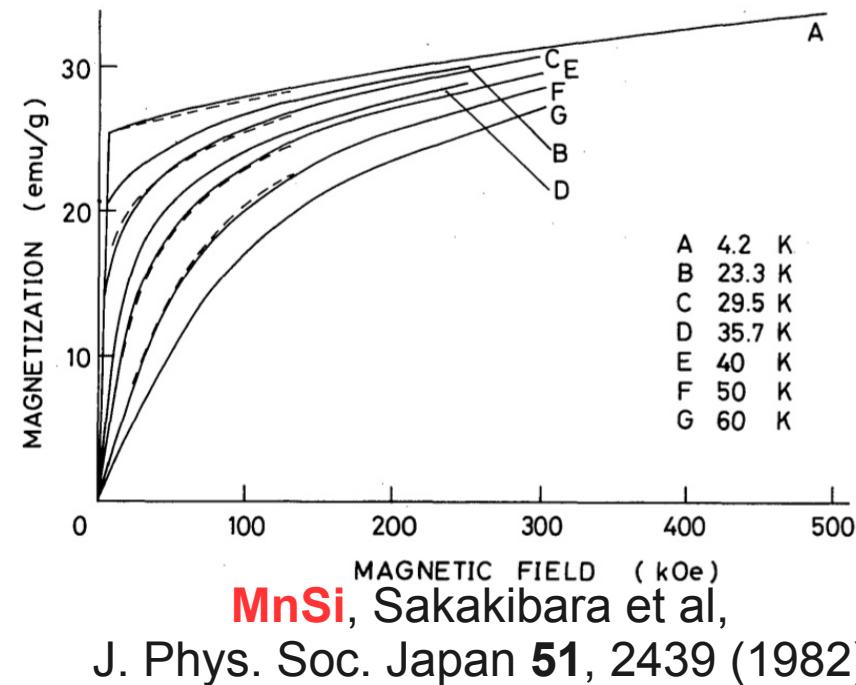
Received May 18, 2016; in final form, June 6, 2016

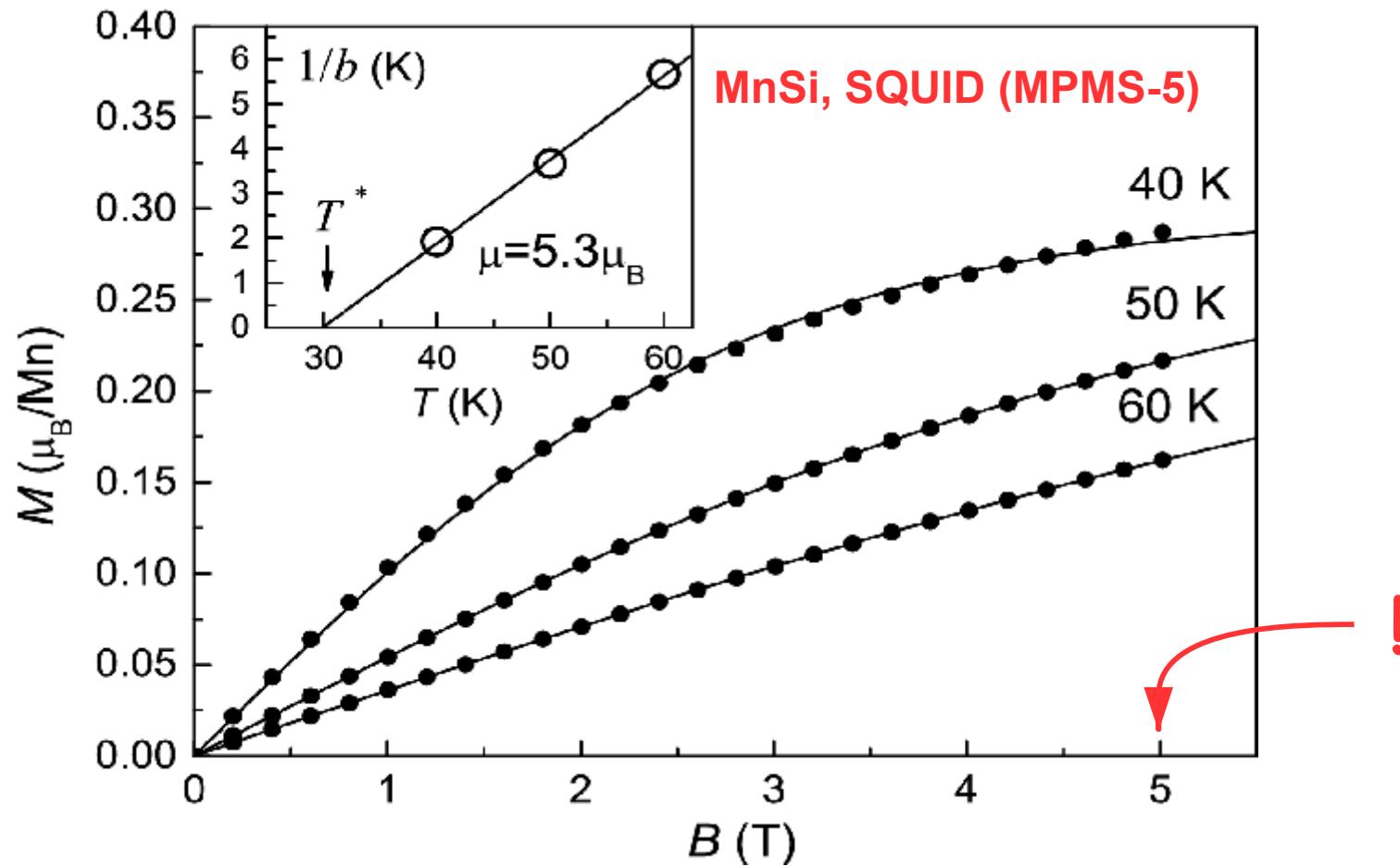




MnSi, $M(B, P)$,
Koyama et al, PRB **62**, 986 (2000)

Проблема #1: нет насыщения





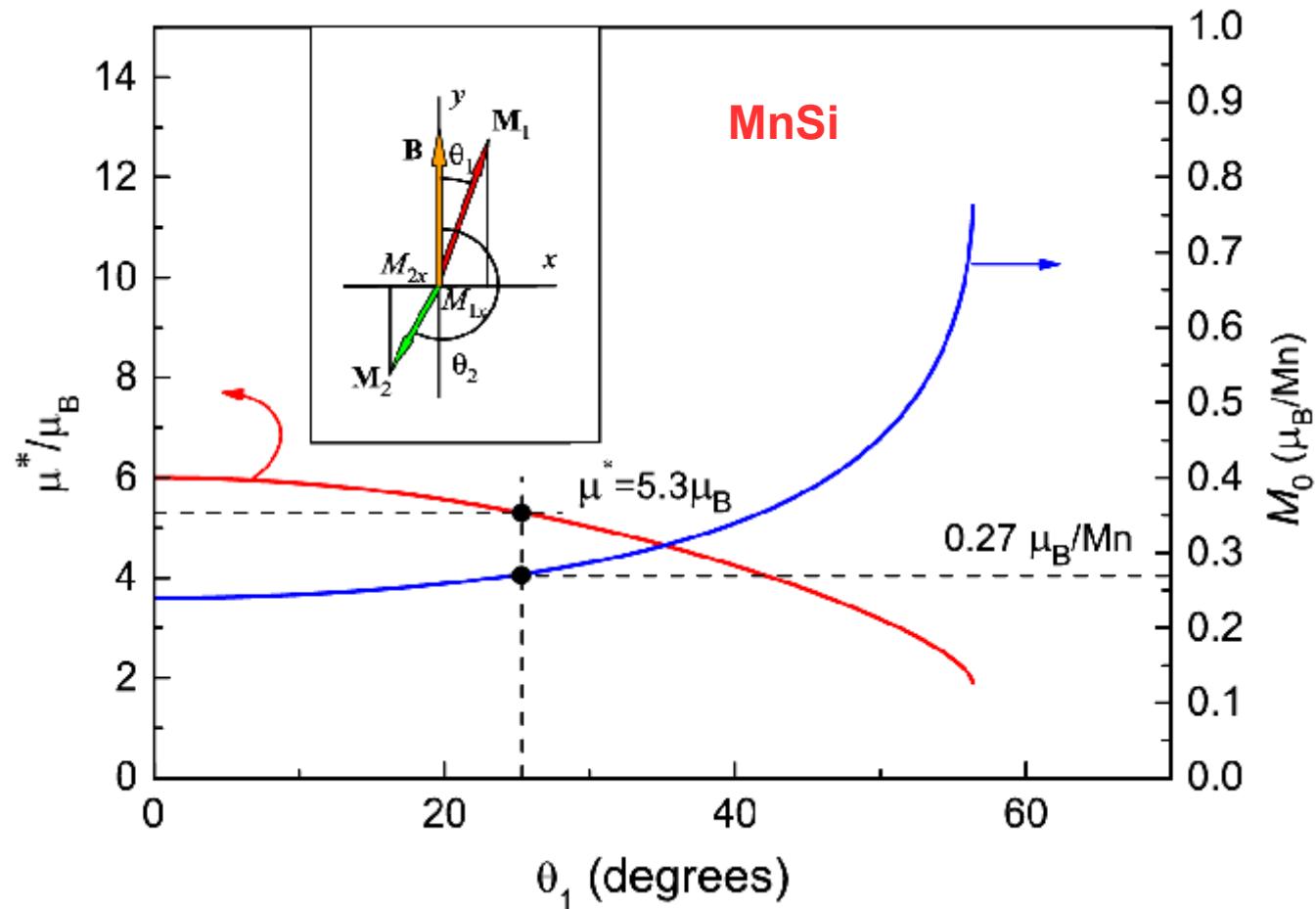
$$\varphi(x) = B_J(x)$$

$$M(B) = M_0 \varphi(\mu^* B / k_B (T - T^*))$$

Проблема #2:

$$M_0 \approx 0.3 \mu_B, \mu^* \approx 5.3 \mu_B \quad (J = 1/2, \varphi(x) = \text{th}(x))$$

$$M_0 \approx 0.4 \mu_B, \mu^* \approx 11.6 \mu_B \quad (J \rightarrow \infty, \varphi(x) = L(x))$$



$$\begin{cases} B_{loc1} = B + w_{11}M_1 + w_{12}M_2 \\ B_{loc2} = B + w_{21}M_1 + w_{22}M_2 \end{cases} \quad w_{12} = w_{21} \quad w_{12}(M_{1y} + M_{2y}) + B = 0$$

$$M_{1,2} = M_{10,20} \varphi(\mu_{1,2} B_{loc1,2} / k_B T)$$

$$\begin{cases} \varphi(x \rightarrow 0) = \beta x \\ \varphi(x \rightarrow \infty) = 1 \\ \partial \varphi / \partial x > 0 \end{cases}$$

Demishev *et al*,
Low Temp. Phys. 41, 1243
(2015)

Измерительная установка

Измерения производились на установке импульсных магнитных полей [1] Левенского католического университета (Бельгия).

Вставка помещена в проточный гелиевый криостат. Во внешнем (азотном) объеме криостата – электромагнит. Работа идет в импульсном режиме: после зарядки массива конденсаторов (запас энергии до 2 МДж) и охлаждения магнита конденсаторы замыкаются на магнит.

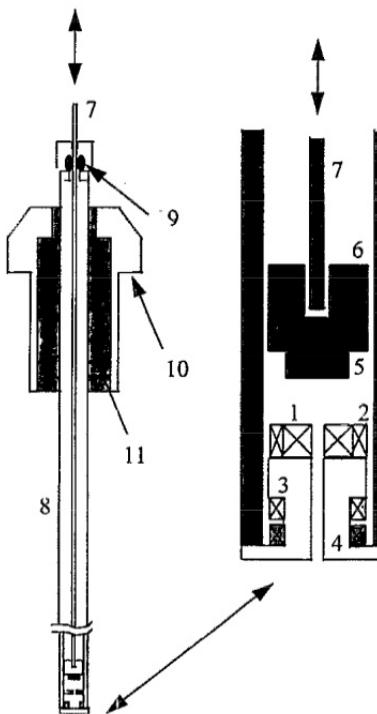
Максимальное поле – **50 Тл.**

Время подготовки (охлаждение магнита)
– ок. **2 ч.**

Время измерений – **0.1 с.**

[1] J. Vanacken *et al.*,
J. Low Temp. Phys. **170**, 553–561 (2013)

Конструкция вставки

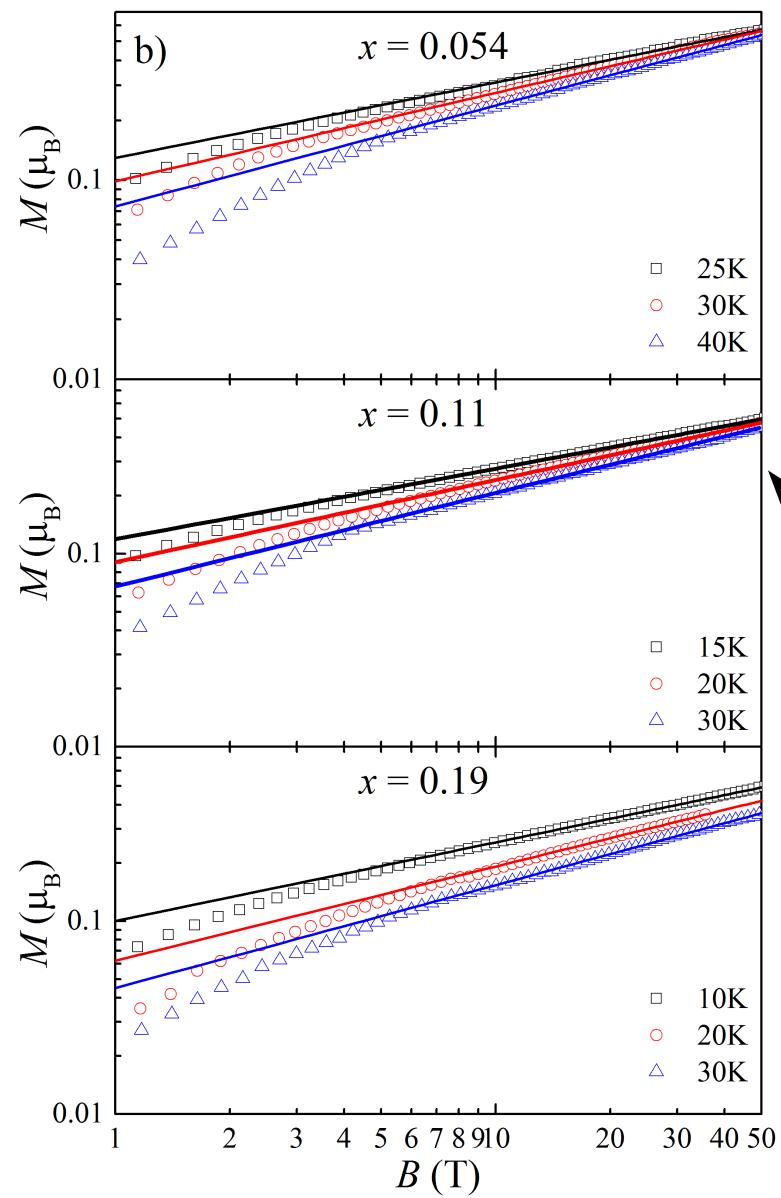
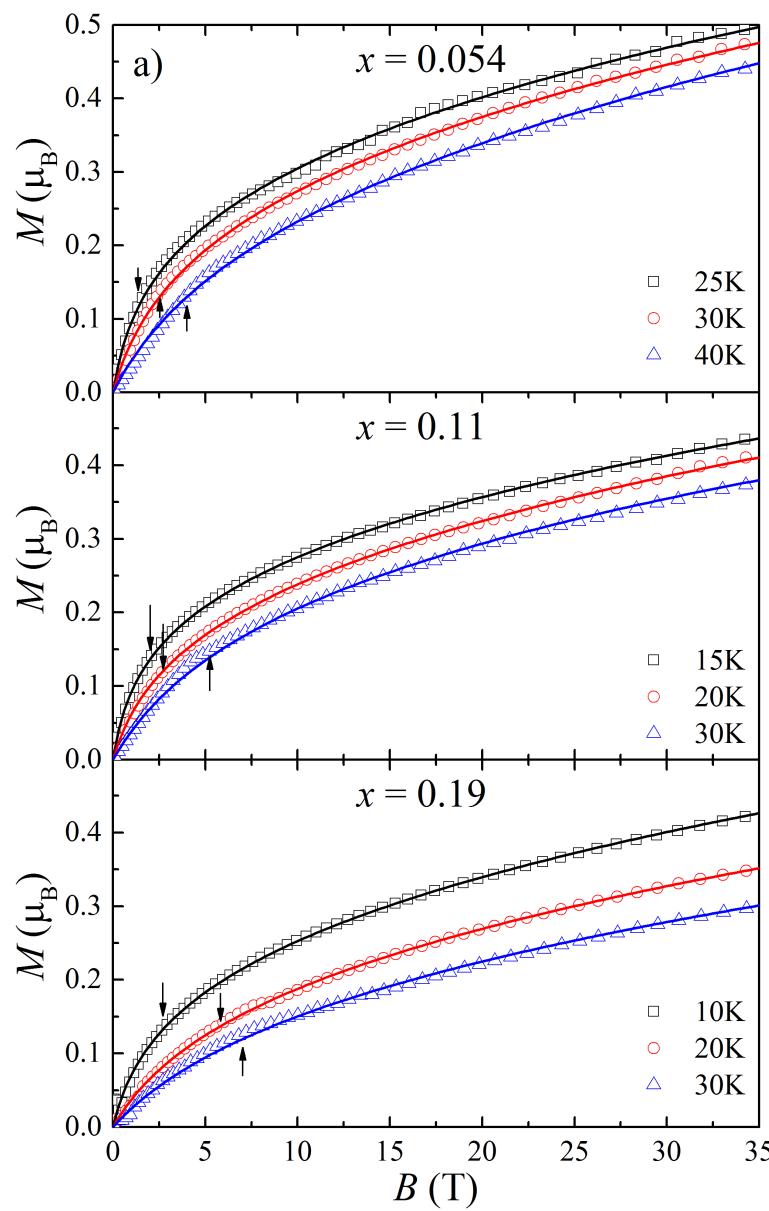


- 1 – измерительная катушка
- 2 – компенсационная катушка
- 3 – катушка датчика поля
- 4 – вспомог. компенс. катушка
- 5 – образец
- 6 – держатель образца
- 7 – кварцевый стержень
- 8 – кварцевая трубка
- 9 – уплотнительное кольцо
- 10 – виброизоляция

Измеряются напряжения на катушках 1 и 3:
дискретизация **1-2 мкс**, **~128 тыс.** точек.

A.S. Lagutin *et al.*,
Rev. Sci. Instrum. **66**, 4267 (1995)

MnSi – магнитокалорический эффект \rightarrow $Mn_{1-x}Fe_xSi$



Насыщения в поле **50 Тл** нет!
Зависимость – степенная.

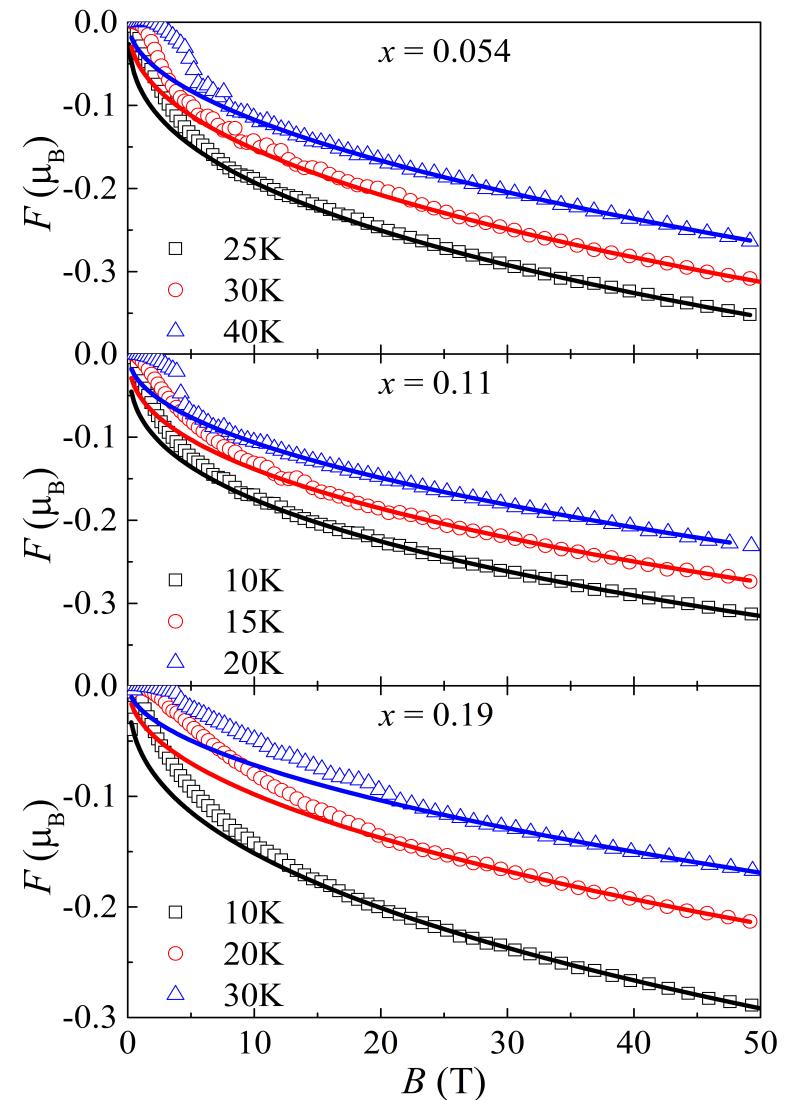
Предположение: $M(B) = M_0 \varphi(B) + \chi_c B$

$$\begin{aligned} B \rightarrow \infty: \quad & \varphi(B) \rightarrow 1, \varphi'(B) \rightarrow 0 \\ B \rightarrow 0: \quad & \varphi(B) = \chi_0 B \end{aligned}$$

$$F(B) = B^2 \cdot \frac{\partial(M/B)}{\partial B} = B \cdot M'(B) - M(B)$$

$$\begin{aligned} M(B) = \varphi(B), B \rightarrow \infty: \quad & F(B) \rightarrow -1 \\ M(B) = B^\alpha: \quad & F(B) = (\alpha - 1)B^\alpha \end{aligned}$$

- 1) кривые $F(B)$ не выходят на насыщение и
- 2) степенная зависимость B^α в сильном поле сохраняется.



Вывод: линейного вклада в намагниченность нет

Для описания перехода от линейной кюри-вейсовской зависимости $M \sim B$ в слабом поле к степенной зависимости $M \sim B^\alpha$ в сильном поле предложена следующая интерполяционная формула:

$$M(B) = \frac{C}{T - \theta} \cdot \frac{B}{[B/B_c + 1]^{1-\alpha}}$$

где B_c – поле перехода между асимптотиками, C и θ получены из анализа намагниченности в слабом поле, B_c и α – параметры аппроксимации.

При $B \ll B_c$ формула дает закон Кюри-Вейсса
 $M(B) = C / (T - \theta)$.

При $B \gg B_c$ формула дает степенной закон
 $M(B) = C B^\alpha B_c^{1-\alpha} / (T - \theta) = A(T) B^\alpha$.

R. B. Griffiths, Phys. Rev. Lett. **23**, 17 (1969)

A. J. Bray, Phys. Rev. Lett. **59**, 586 (1987)

S. V. Demishev, Phys. Status Solidi B **247**, 676 (2010)

C. Dasgupta and S. Ma, Phys. Rev. B **22**, 1305 (1985)
 $(0.2 < \alpha < 0.6)$

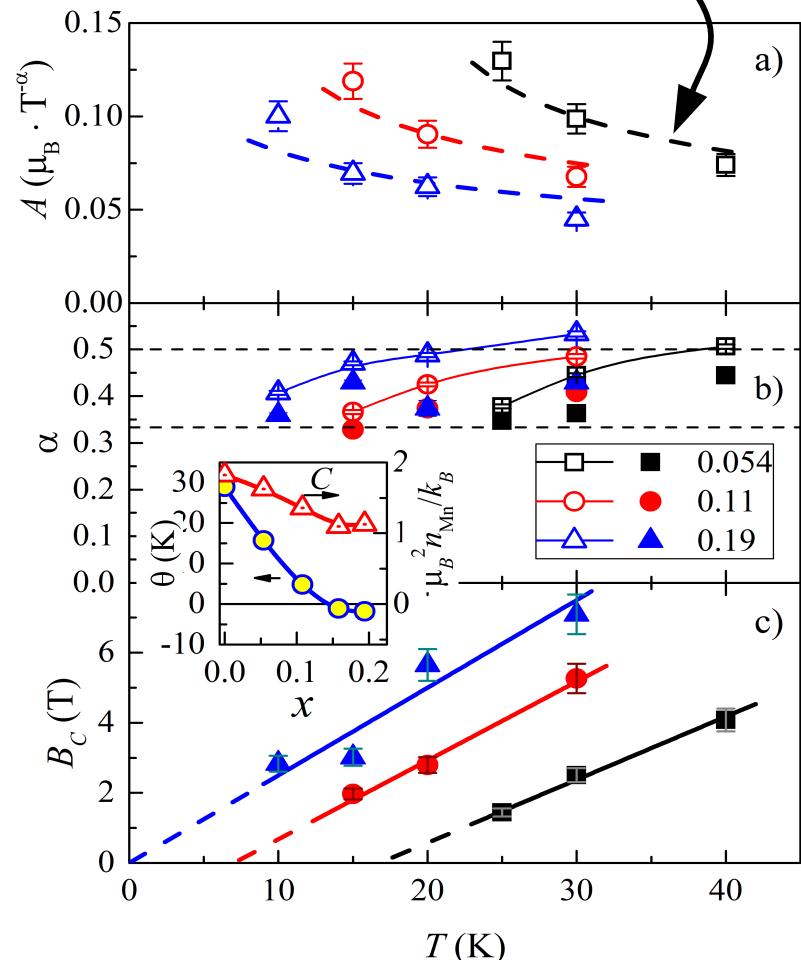
D. S. Fisher, Phys. Rev. Lett. **69**, 534 (1992)

D. S. Fisher, Phys. Rev. B **51**, 6411 (1995)
 $(1/3 < \alpha < 1/2)$

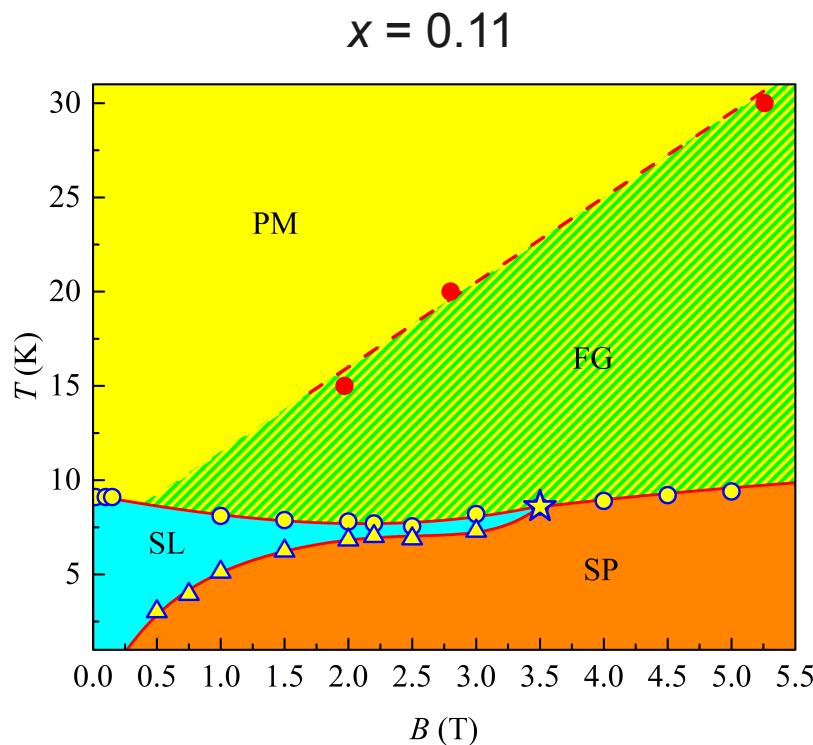
Bulaevskii *et al*, Sov. Phys. JETP **35**, 384 (1972)

$$M(B) \sim B \rightarrow M(B) \sim B^\alpha$$

$$M(B) = A(T) B^\alpha, \langle \alpha \rangle = 0.38 \pm 0.04$$



Пустые символы – аппроксимация в сильных полях (A – своб. параметр), сплошные – аппроксимация всей кривой.

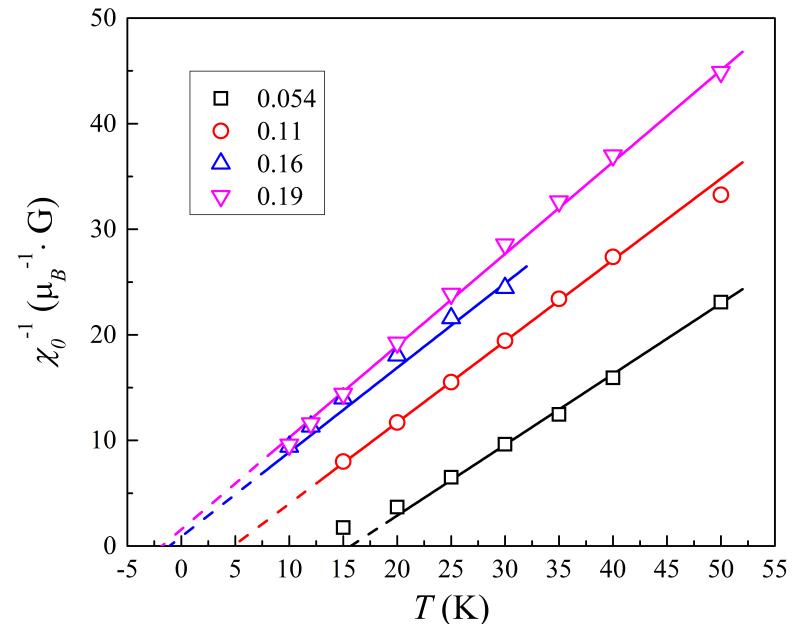
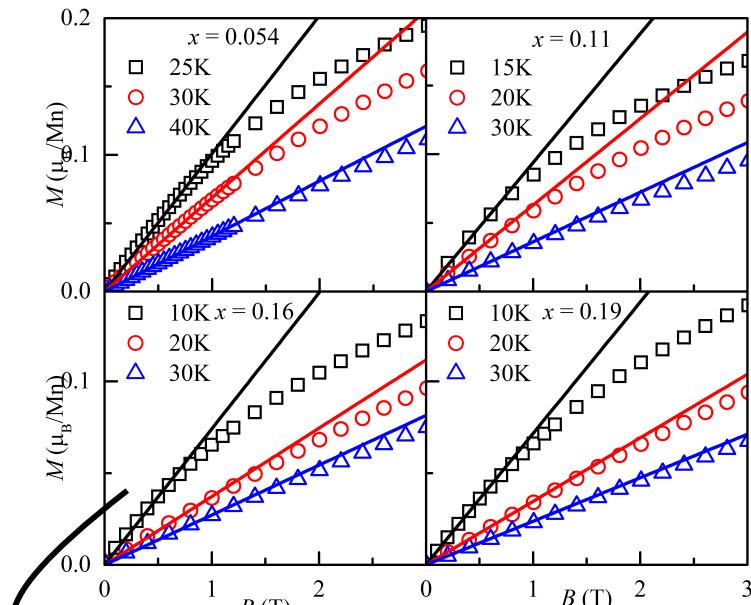


PM — парамагнитная фаза,
 SL — спиновая жидкость,
 SP — спин-поляризованный,
 FG — индуцированная полем фаза Гриффитса.

S.V. Demishev *et al.*, JETP Letters 103, 365 – 371 (2016)

Поле B_c растет практически линейно с температурой, причем экстраполяция к $B = 0$ дает температуру близкую к температуре Кюри. Предполагается, что при $B > B_c$ формируется новая магнитная фаза и параметр B_c связан с амплитудой спиновых флуктуаций. При $B < B_c$ в $Mn_{1-x}Fe_xSi$ спиновые флуктуации сильны и система находится в ПМ фазе. При $B > B_c$ магнитное поле ослабляет спиновые флуктуации и возникает фаза Гриффитса, которая характеризуется степенной зависимостью $M(B)$.

Слабое поле + спиновый полярон



$$C = n_{Mn} \mu_{Mn}^2 / k_B$$

$$n_e / n_{Mn} < (\mu_{Mn} / \mu_e)^2$$

$$\mu_{Mn} = (1.1 - 1.3) \mu_B$$

Спин-поляронная модель MnSi,
Demishev *et al*,
Low Temp. Phys. **41**, 1243 (2015)

$$n_e / n_{Mn} = 0.9$$

Hall effect,
Glushkov *et al*, PRL **115**, 256601
(2015)

LDA,
Corti *et al*, PRB **75**, 115111 (2007)

$$\mu_{Mn} = 1.2 \mu_B$$