



# Влияние радиационного разупорядочения на структурное и магнитное состояния мультиферроика $\text{BiFe}_{0,95}\text{Mn}_{0,05}\text{O}_3$



*М. А. Сёмкин<sup>1\*</sup>, А. П. Носов<sup>2</sup>, С. Г. Богданов<sup>2</sup>,  
А. Е. Теплых<sup>2</sup>, В. Д. Пархоменко<sup>2</sup>, А. Н. Пирогов<sup>1, 2</sup>*

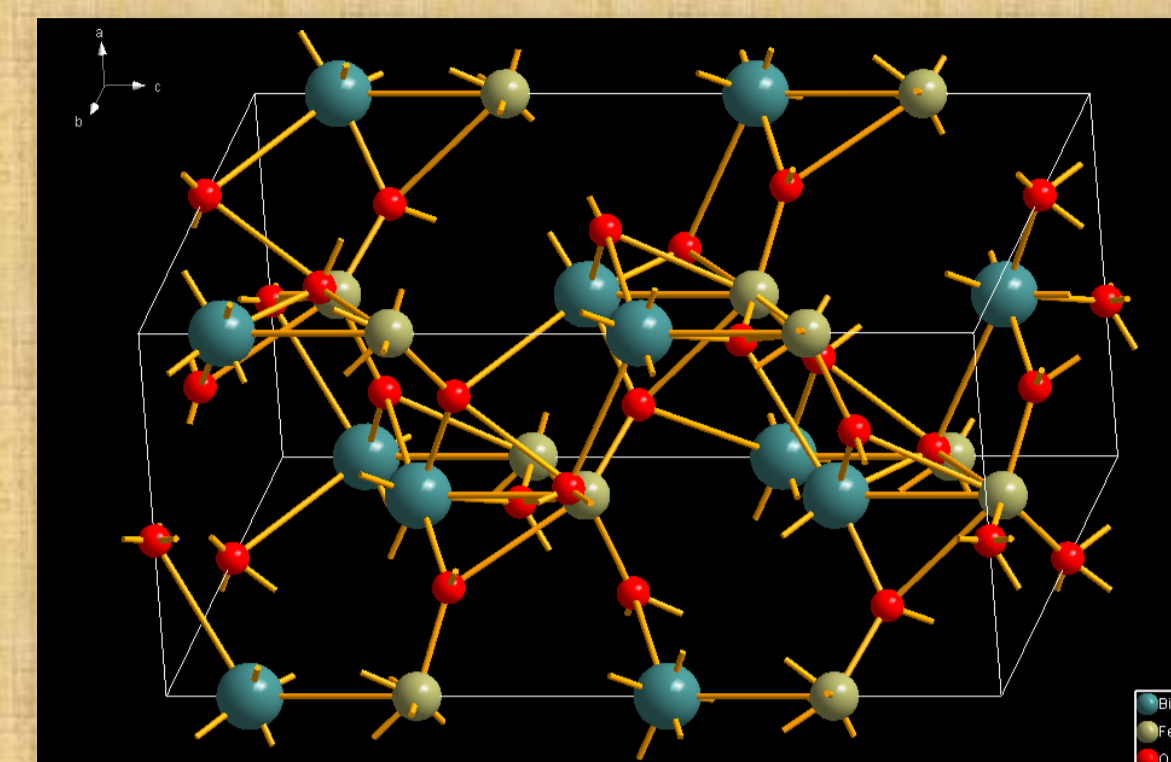
Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина  
Институт естественных наук



<sup>1</sup> Институт естественных наук УрФУ, Екатеринбург

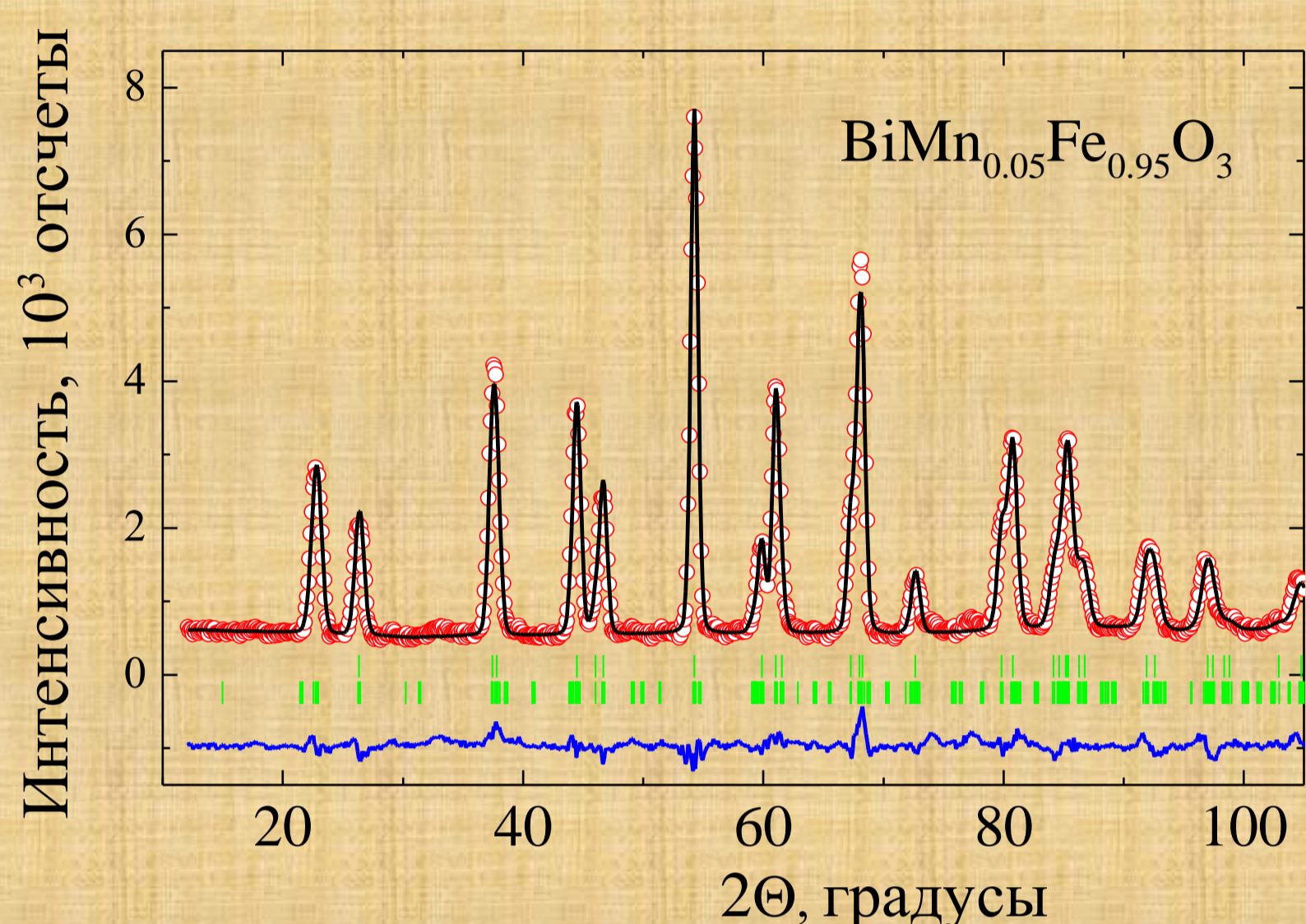
<sup>2</sup> Институт физики металлов УрО РАН, Екатеринбург

\*Email: [m.a.semkin@urfu.ru](mailto:m.a.semkin@urfu.ru)

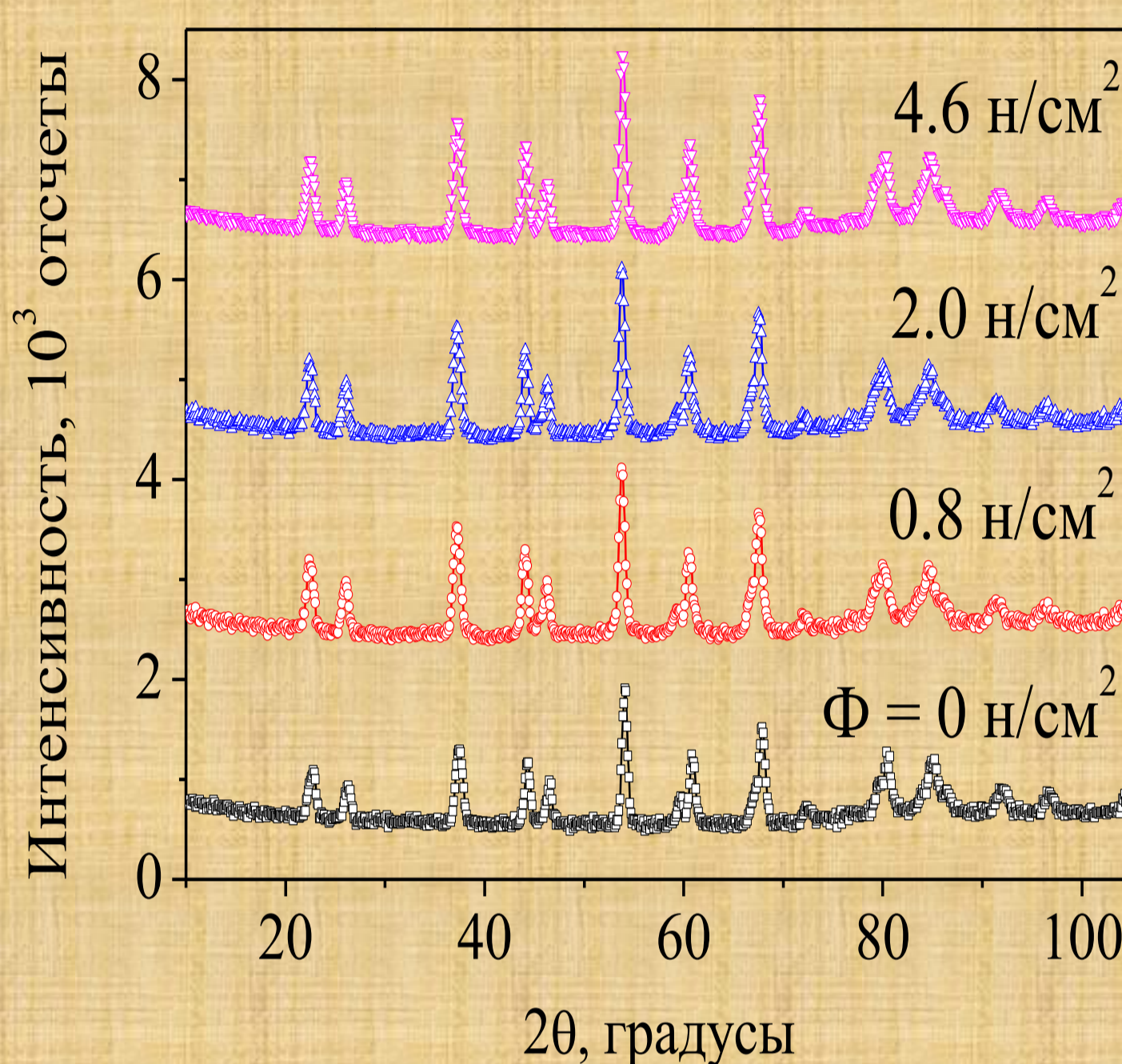


Элементарная ячейка, облученного  $\text{BiFe}_{0,95}\text{Mn}_{0,05}\text{O}_3$  до флюенса  $4,6 \cdot 10^{19}$  н/см<sup>2</sup>.

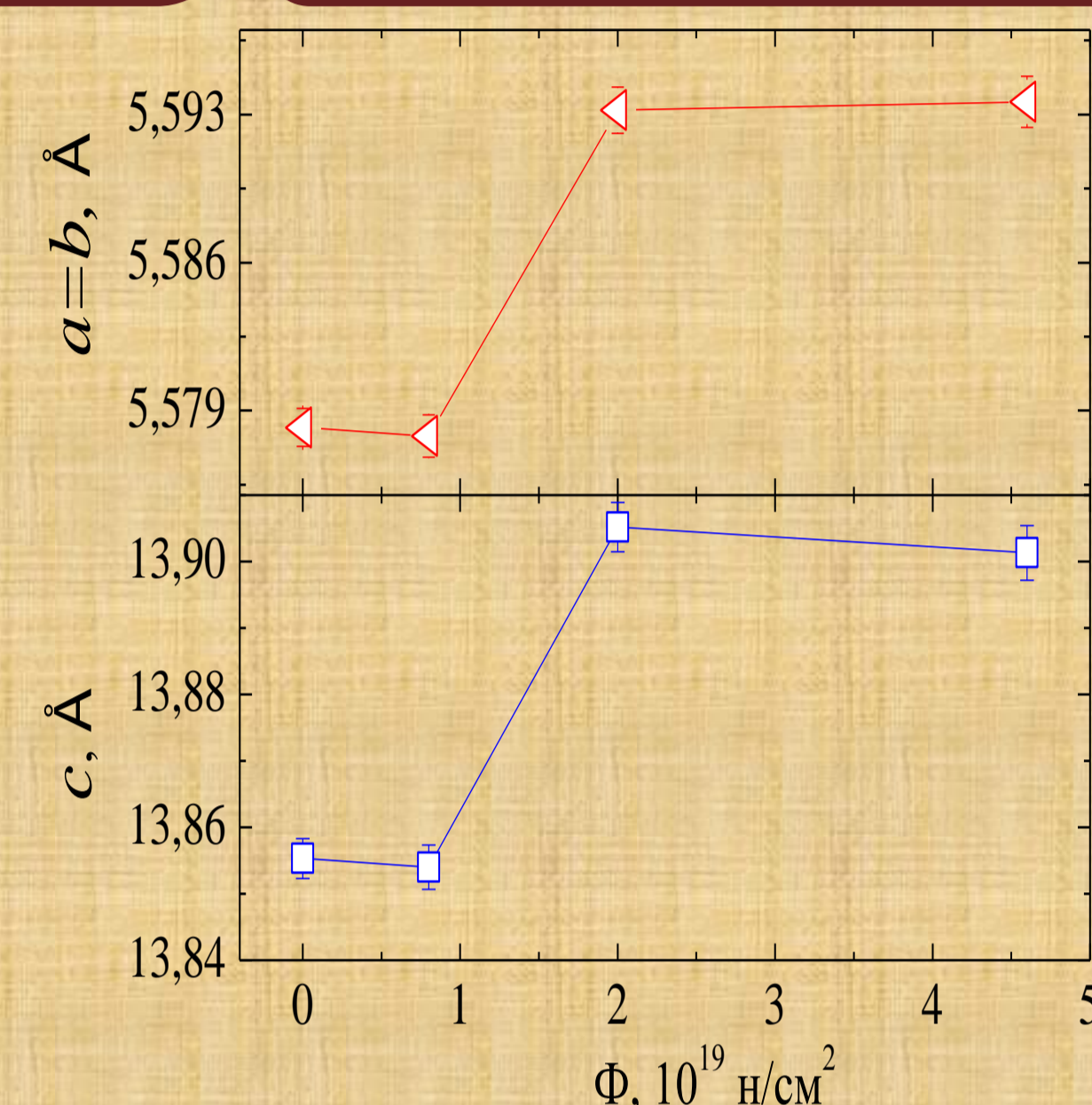
Цель работы состояла в изучении влияния радиационного разупорядочения на структурное и магнитное состояния мультиферроика  $\text{BiFe}_{0,95}\text{Mn}_{0,05}\text{O}_3$  при облучении быстрыми нейтронами с флюенсом порядка  $(10^{19} - 10^{20})$  н/см<sup>2</sup>



**Рис. 1.** Экспериментальная нейтронограмма необлученного образца  $\text{BiFe}_{0,95}\text{Mn}_{0,05}\text{O}_3$  (красные точки), рассчитанная (черная линия), угловые позиции ядерных и магнитных Брэгговских рефлексов (зеленые черточки), дифференциальная разница между рассчитанными и экспериментальными данными (синяя линия).



**Рис. 2.** Экспериментальные нейтронограммы образцов  $\text{BiFe}_{0,95}\text{Mn}_{0,05}\text{O}_3$  до облучения и после облучения быстрыми нейтронами до флюенсов:  $0,8 \cdot 10^{19}$ ,  $2,0 \cdot 10^{19}$  и  $4,6 \cdot 10^{19}$  н/см<sup>2</sup>.



**Рис. 3.** Параметры  $a$ ,  $b$  и  $c$  кристаллической решетки образцов  $\text{BiFe}_{0,95}\text{Mn}_{0,05}\text{O}_3$ , в зависимости от флюенса облучения.

**Табл. 1.** Структурные параметры, облученного до флюенса  $4,6 \cdot 10^{19}$  н/см<sup>2</sup>, образца  $\text{BiFe}_{0,95}\text{Mn}_{0,05}\text{O}_3$

Параметр	Значение
<b>Bi (6a), z</b>	0,1304(4)
<b>Fe/Mn (6a), z</b>	0,260(1)
<b>O (18b), x</b>	0,447(1)
<b>y</b>	0,017(1)
<b>z</b>	0,989(1)
<b>a, Å</b>	5,594(1)
<b>b, Å</b>	5,594(1)
<b>c, Å</b>	13,901(1)
<b>μ, μ<sub>B</sub></b>	4,7(2)
<b>δ, ед. обр. реш.</b>	0,00324(1)
<b>Тепловой фактор, Å<sup>-1</sup></b>	
<b>Bi</b>	0,15(2)
<b>Fe/Mn</b>	0,35(2)
<b>O</b>	0,51(0)
<b>Фактор соответствия</b>	
<b>R<sub>wp</sub>, %</b>	8,3
<b>R<sub>p</sub>, %</b>	5,7
<b>R<sub>mag</sub>, %</b>	4,8

## Введение

Мы провели нейтронографические измерения на образце  $\text{BiFe}_{0,95}\text{Mn}_{0,05}\text{O}_3$ . Облучение было проведено в реакторе ИВВ-2М (Свердловская обл., гор. Заречный) при энергии нейтронов выше 0,2 МэВ. Обработка нейтронограмм проведена с помощью пакета программ Fullprof [1].

## Синтез и аттестация

При синтезировании  $\text{BiFe}_{0,95}\text{Mn}_{0,05}\text{O}_3$  мы применяли цитратно-нитратный синтез с допированием марганца в подрешетку железа. Рентгенографический анализ показал, что в образце находится помимо основной фазы, примесная фаза силленита  $\text{Bi}_{12,5}\text{Fe}_{0,5}\text{O}_{19,48}$ . Кристаллическая структура образца хорошо описывается в рамках ромбоэдрической элементарной ячейки (пространственная группа  $R3c$ ), примесные фазы составляли не более 7 %.

## Результаты

Расчет нейтронограмм (рис. 1 и 2), облученных образцов  $\text{BiFe}_{0,95}\text{Mn}_{0,05}\text{O}_3$ , показал, что помимо роста параметров решетки, заметных изменений других структурных параметров не наблюдается (см. Табл. 1). В основной фазе параметры решетки  $a$  и  $c$  возрастают на 0,2 % и 0,4 %, когда флюенс достигает,  $\sim 2,0 \cdot 10^{19}$  н/см<sup>2</sup> (рис. 3). Магнитная структура соединения описывается вектором  $\mathbf{k} = (\delta; \delta; 0)$ , где  $\delta = 0,0032$ .

Рост параметров решетки обусловлен накоплением радиационных дефектов. Наиболее вероятным типом дефектов, по нашему мнению, являются межузельные дефекты. Принимая во внимание результаты наших измерений полевых зависимостей намагниченности (рис. 4), можно предположить, что накопление дефектов вызывает появление ферромагнитной компоненты магнитного момента Fe/Mn ионов. Исходный (необлученный) феррит показывает полевую зависимость намагниченности, типичную для антиферромагнетика. Облучение быстрыми нейтронами и соответствующий рост параметров решетки приводит к возникновению намагниченности. Полевая зависимость намагниченности для этого образца имеет вид характерный для ферромагнетика.

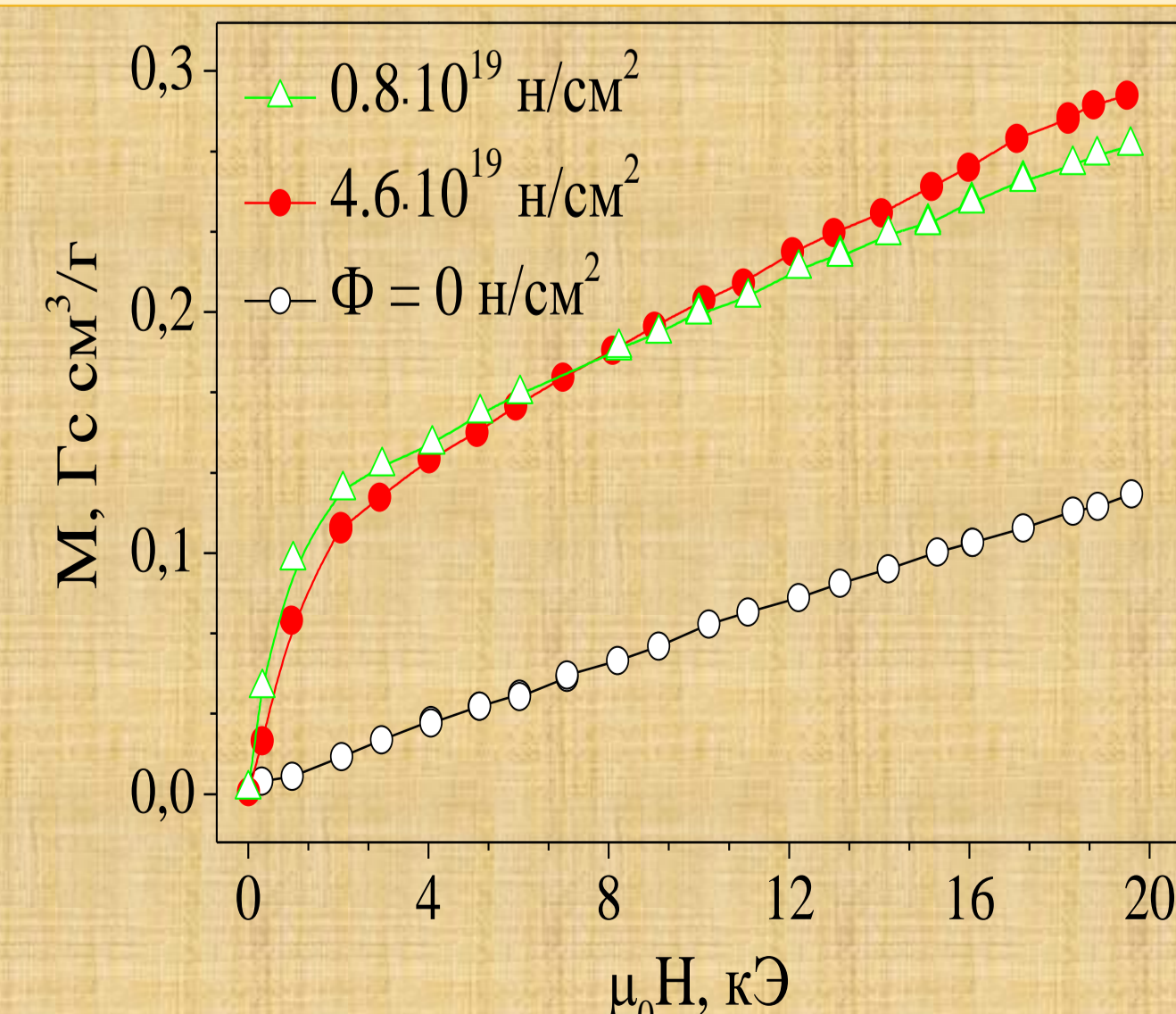
## Заключение

Результаты, следует рассматривать как предварительные данные. Тем не менее, они дают порядок флюенса ( $10^{19} - 10^{20}$  н/см<sup>2</sup>) быстрых нейтронов, при котором можно ожидать возникновение спонтанной намагниченности мультиферроика  $\text{BiFe}_{0,95}\text{Mn}_{0,05}\text{O}_3$ .

## Поддержка

Работа частично поддержана программой «Поток» № 01201463334 и Министерством образования и науки РФ (госконтракт с УрФУ № 1362).

[1] J. Rodriguez-Carvajal, Phys. B. 192, 55 (1993).



**Рис. 4.** Кривые намагничивания образца  $\text{BiFe}_{0,95}\text{Mn}_{0,05}\text{O}_3$  до облучения и после облучения быстрыми нейтронами до флюенсов:  $0,8 \cdot 10^{19}$  и  $4,6 \cdot 10^{19}$  н/см<sup>2</sup>.