

Моделирование и экспериментальное исследование неколлинеарной компоненты намагниченности в инвертированных опалах

И. С. Дубицкий*, А. В. Сыромятников, Н. А. Григорьева, А. А. Мистонов, И. С. Шишкин, С. В. Григорьев

Физический факультет СПбГУ
НИИ КИ ФГБУ Петербургский институт ядерной физики
* i.dubitsky@phys.spbu.ru

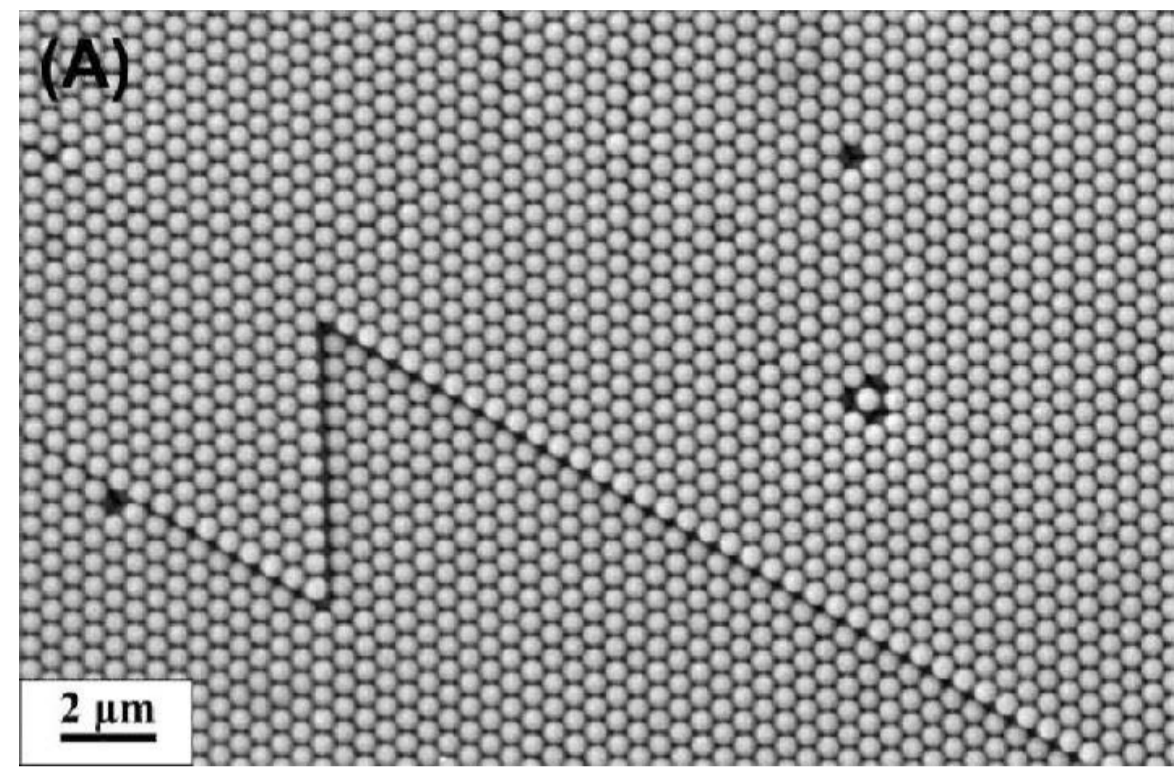


(1) Постановка задачи

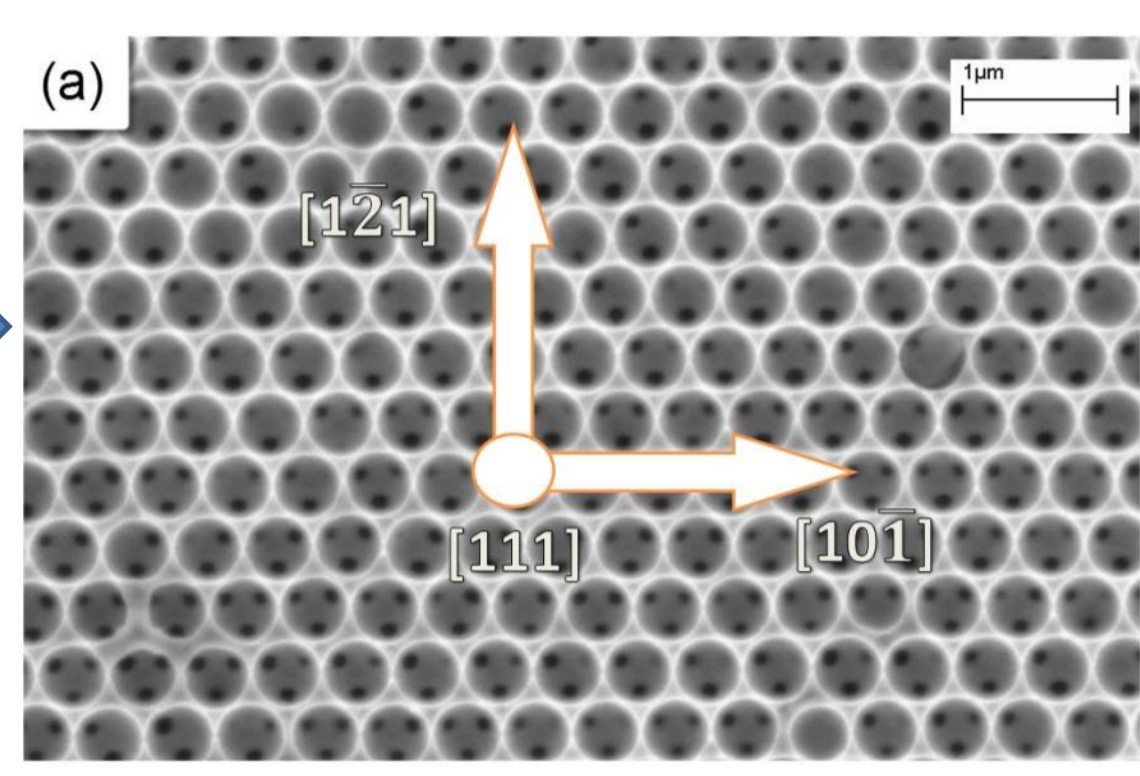
Магнитные наноструктуры, в которых реализуется состояние спинового льда, проявляют неожиданные свойства вследствие вырожденности основного состояния и наличия в таких структурах хорошо локализованных объемных магнитных зарядов. Недавно была высказана гипотеза о принадлежности инвертированных опалов к классу искусственных трехмерных спиновых льдов [1]. Справедливость правила спинового льда в инвертированных опалах приводит к ряду необычных свойств. Например, при приложении внешнего магнитного поля вдоль кристаллографического направления $[121]$ должна возникнуть компонента намагниченности перпендикулярная внешнему полю. Мы проверили данное утверждение с помощью микромагнитного моделирования и магнитно-силовой микроскопии

(2) Синтез и геометрические свойства инвертированных опалов

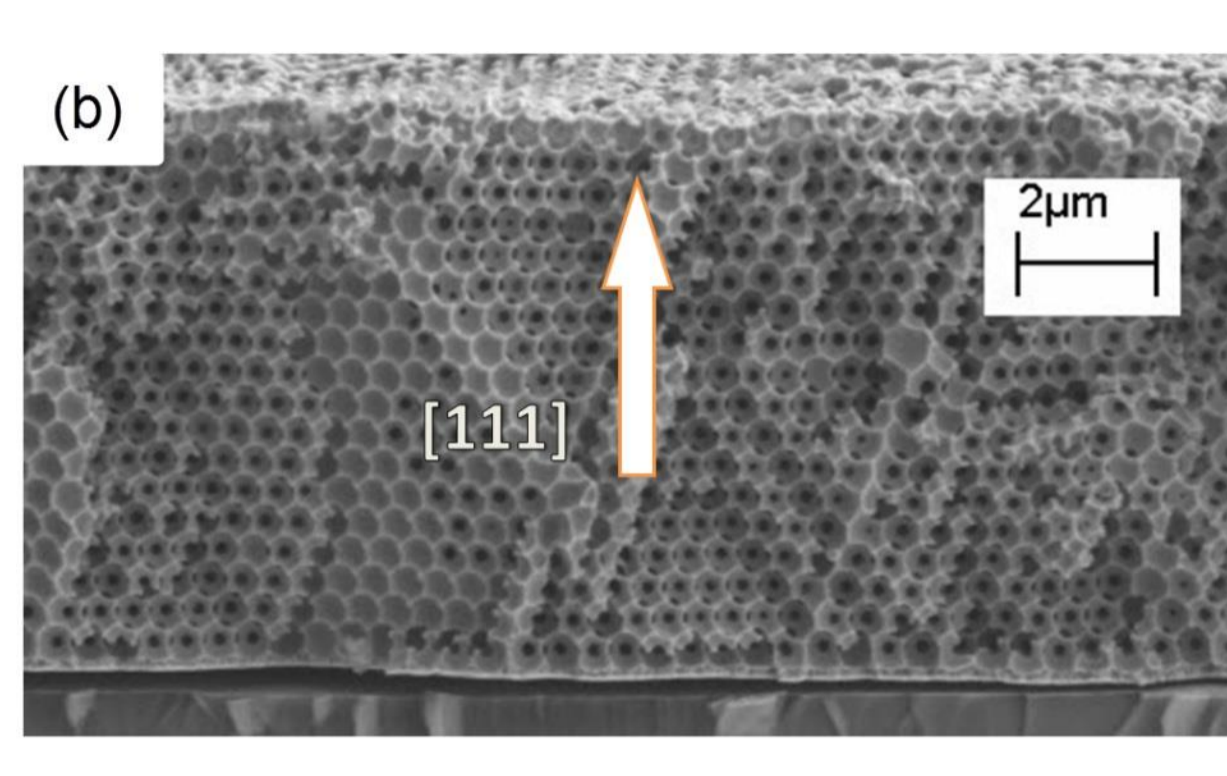
- 1) Коллоидный кристалл был сформирован посредством вертикального осаждения сфер, выполненных из полистирола (диаметр сфер составлял порядка 500 нм).
- 2) Пустоты между сферами были заполнены никелем или кобальтом с помощью электрохимического осаждения [2]
- 3) Сферы были растворены в толуоле



Коллоидный кристалл

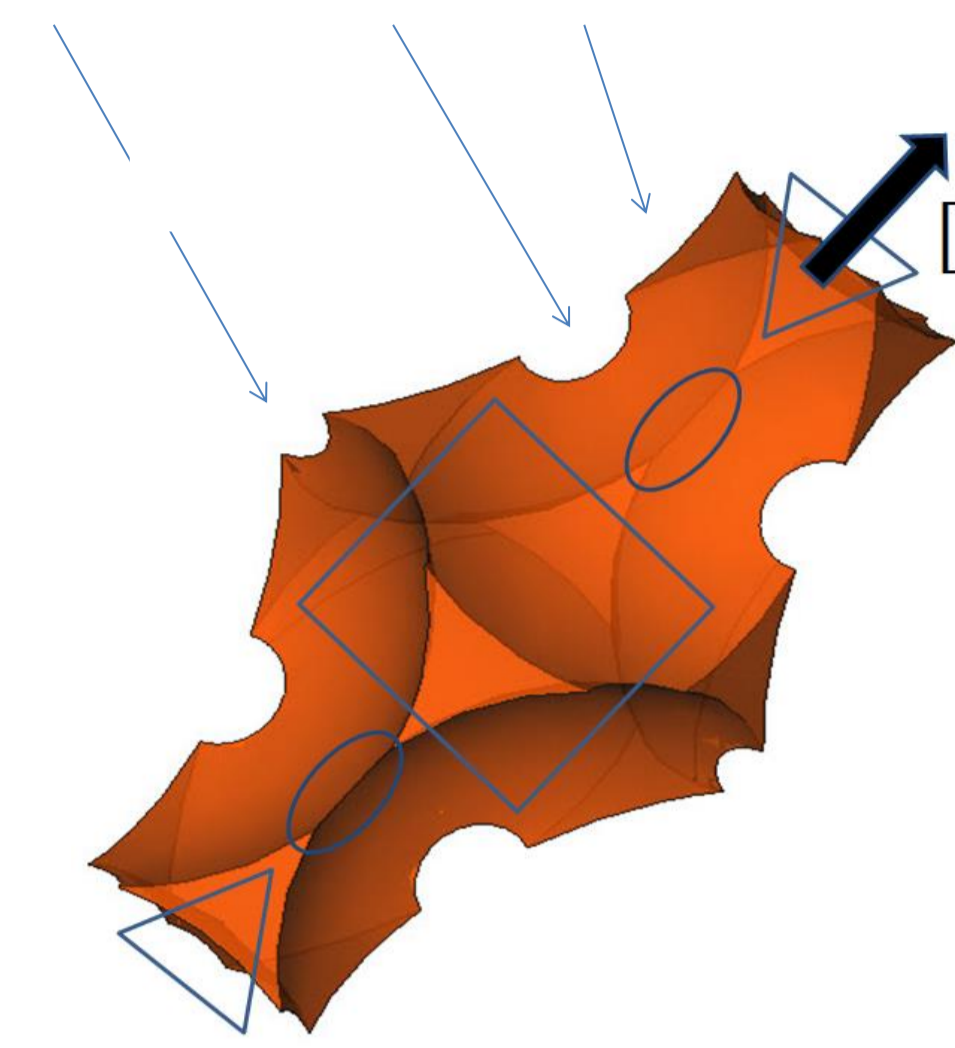


Поверхность инвертированного опала

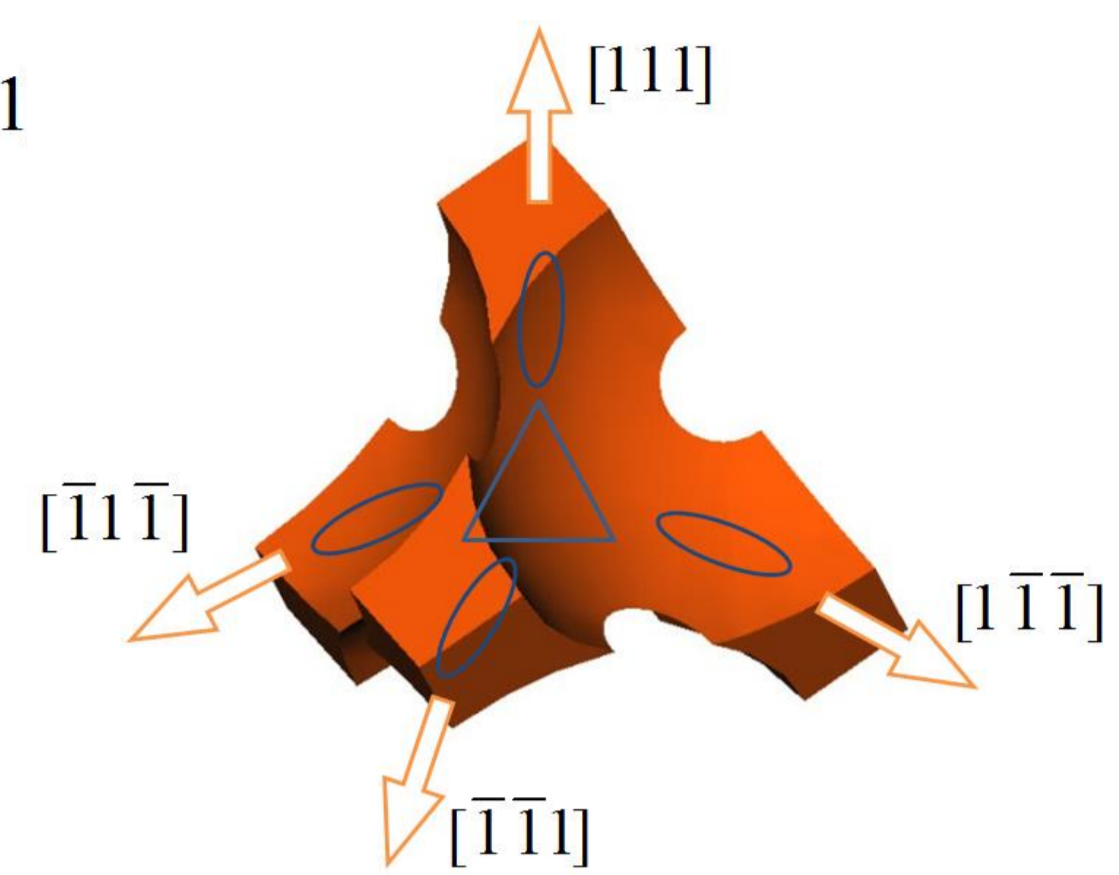


Скол инвертированного опала

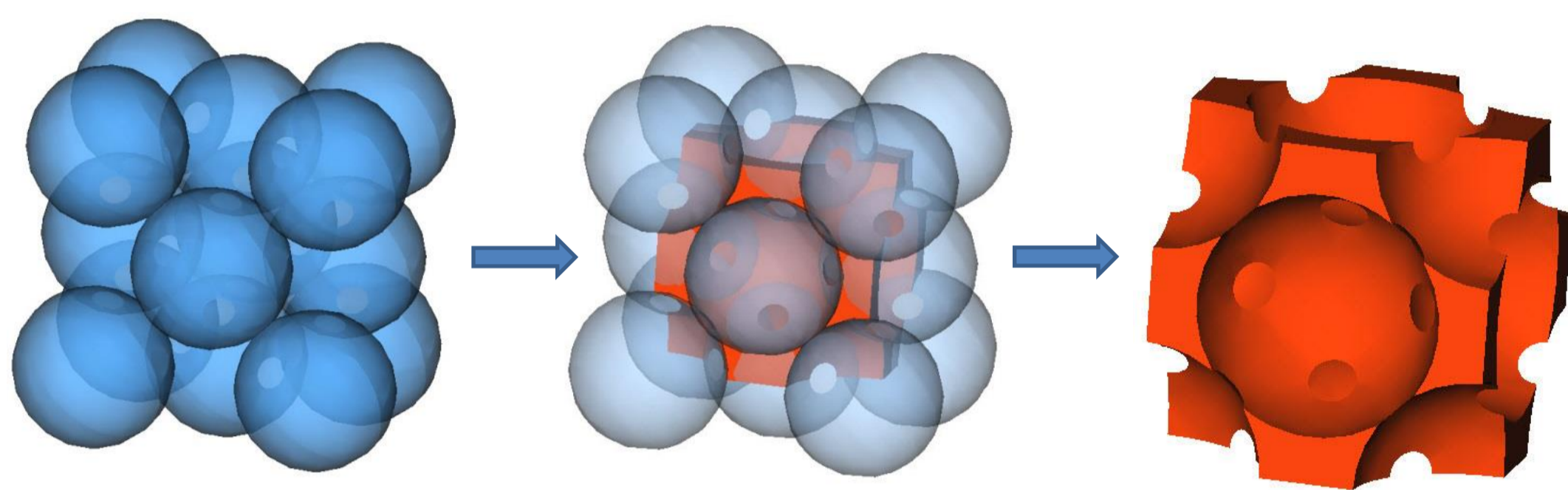
Два типа пустот ГЦК структуры:
октаэдрическая + ножка + тетраэдрическая



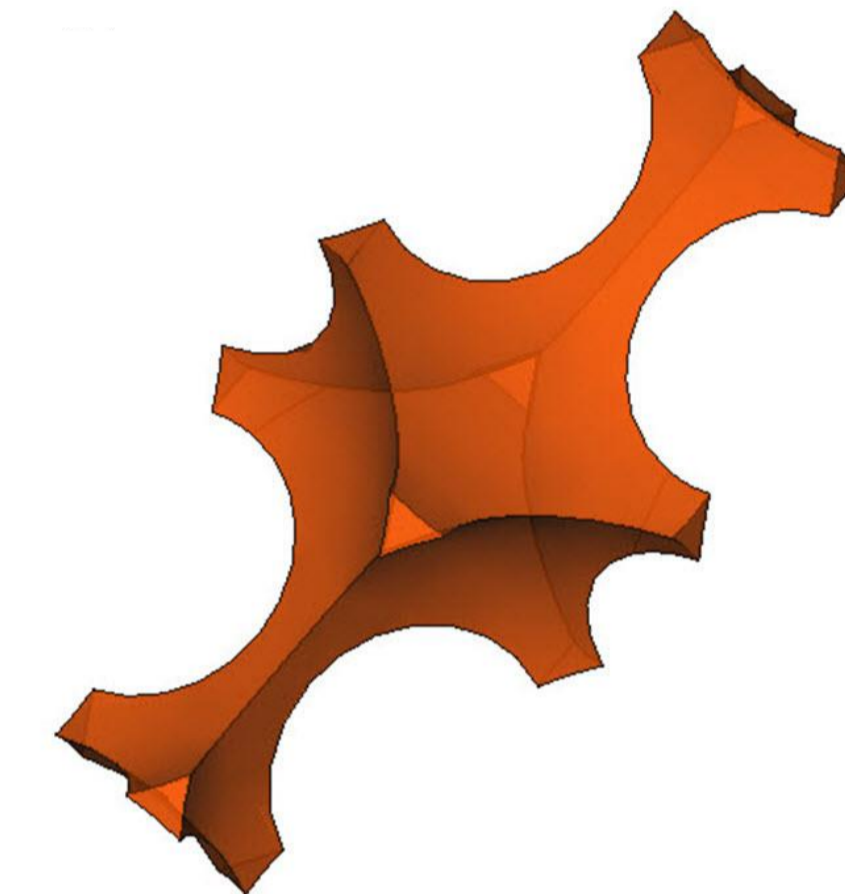
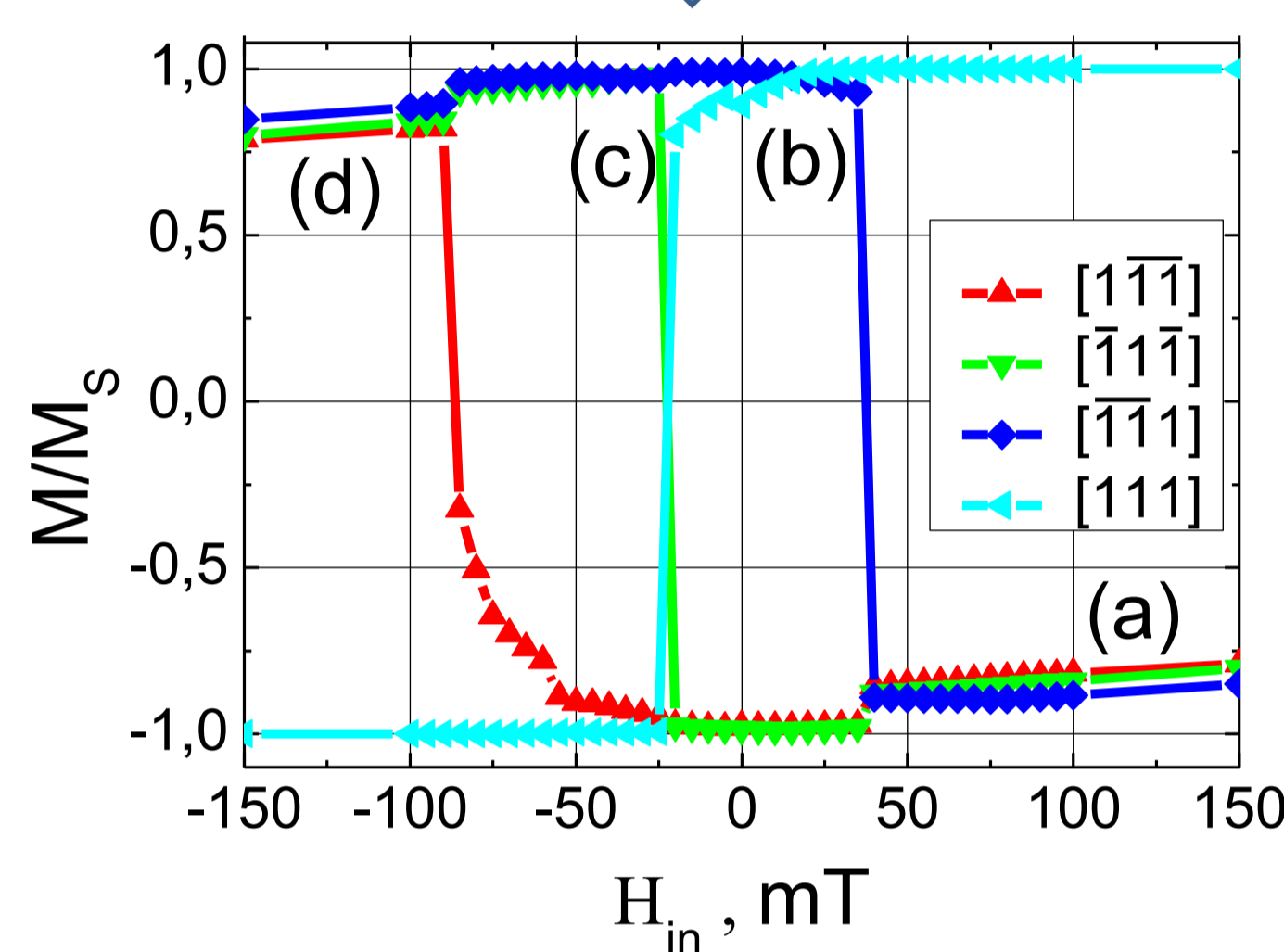
Примитивная ячейка



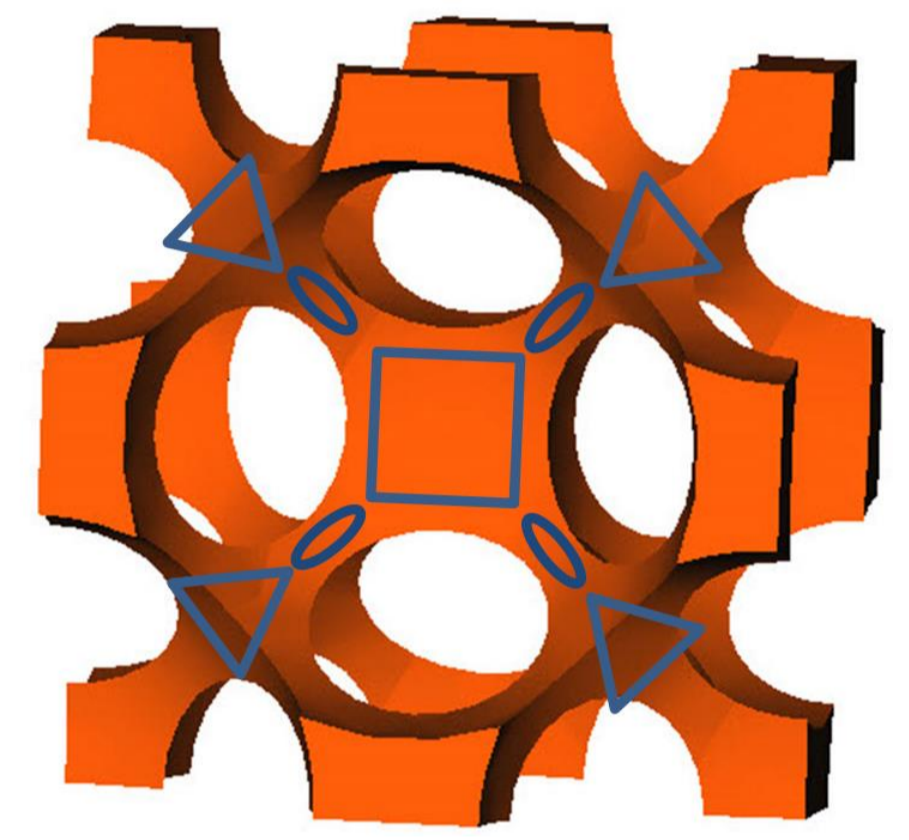
Квазитетраэдр



Ножки однородно намагничены в широком диапазоне полей. Их магнитные моменты можно рассматривать как изинговские.

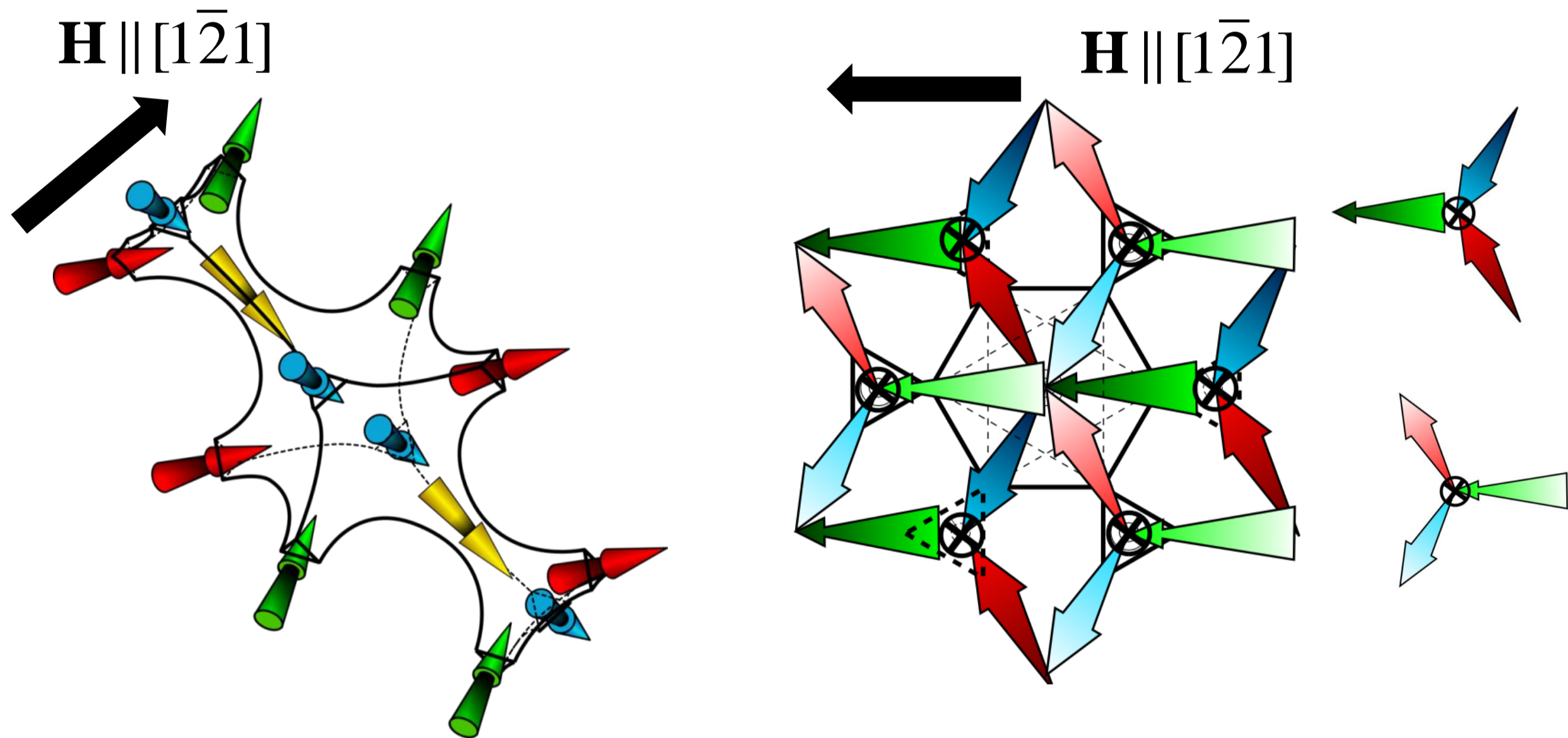


Примитивная ячейка, высокая степень спекания микросфер



Элементарная ячейка, высокая степень спекания микросфер

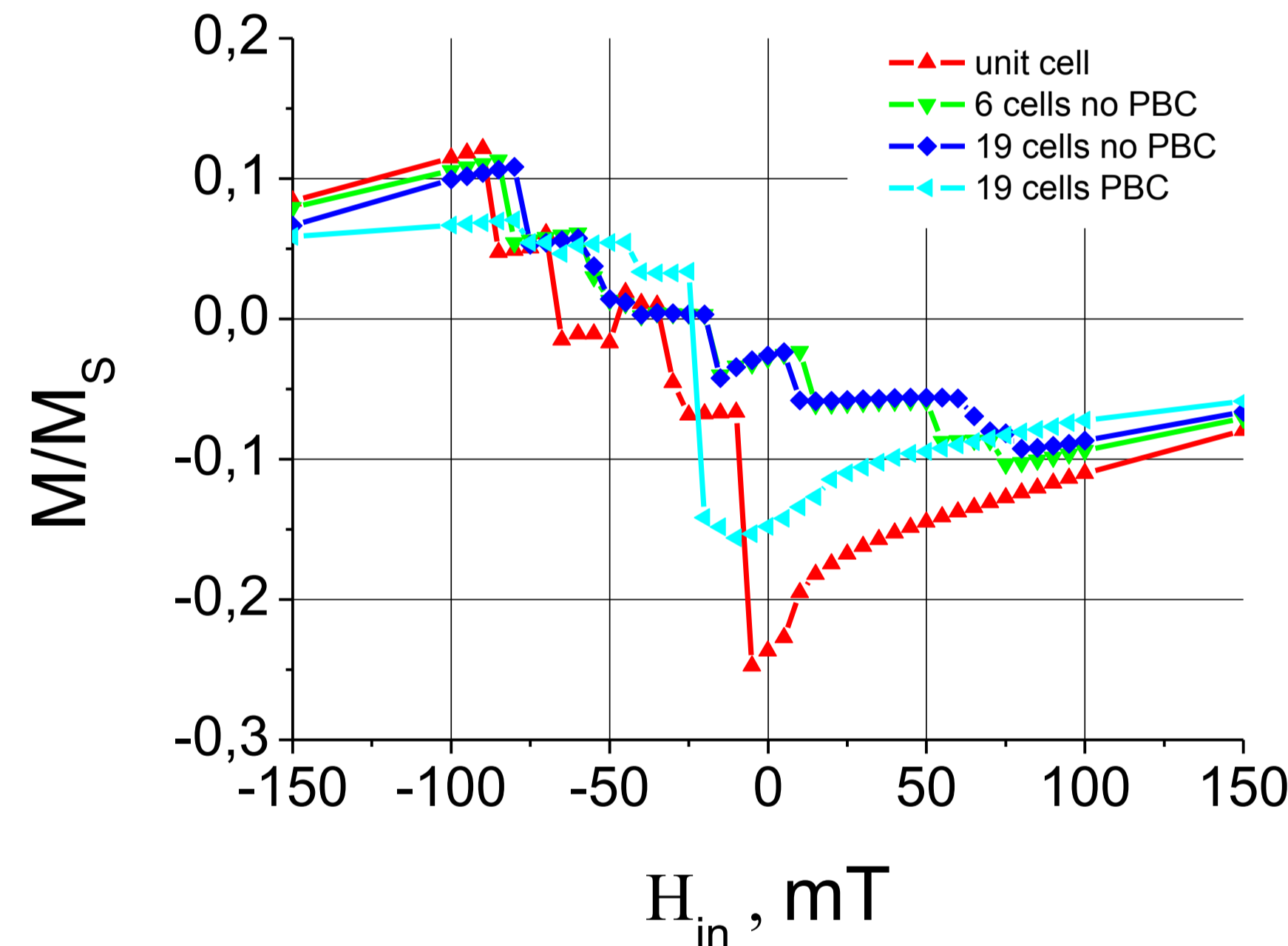
(3) Перпендикулярная компонента намагниченности



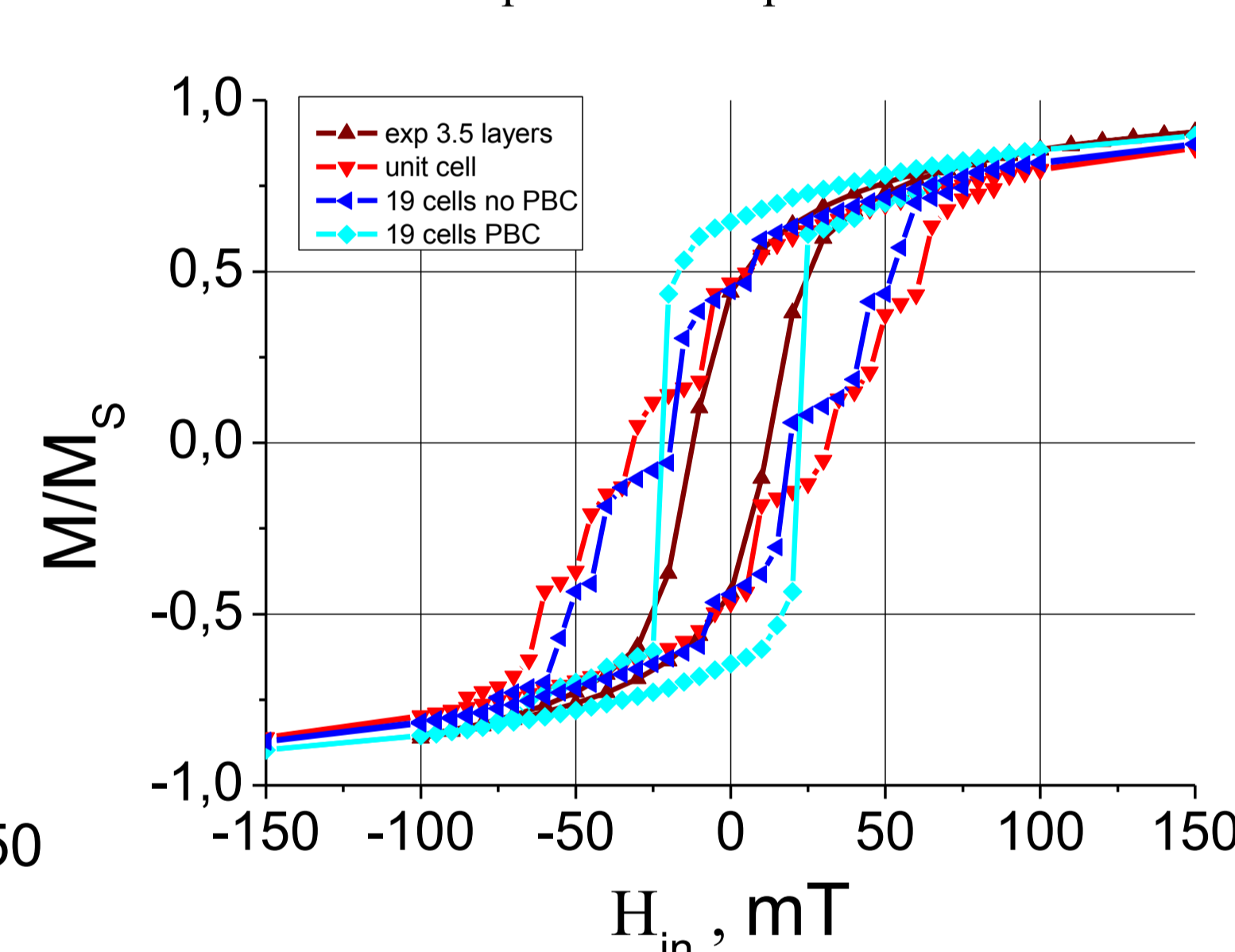
При приложении магнитного поля вдоль направления $[1\bar{2}1]$ должна появиться компонента намагниченности перпендикулярная полю.

(4) Микромагнитные вычисления

Компонента намагниченности перпендикулярная внешнему полю



Кривые гистерезиса



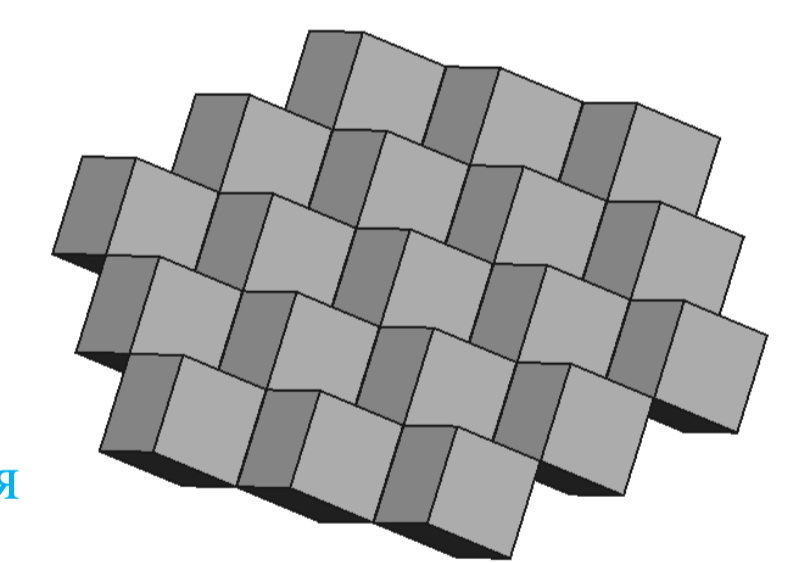
Граничные условия:

Элементарная ячейка, стандартные граничные условия

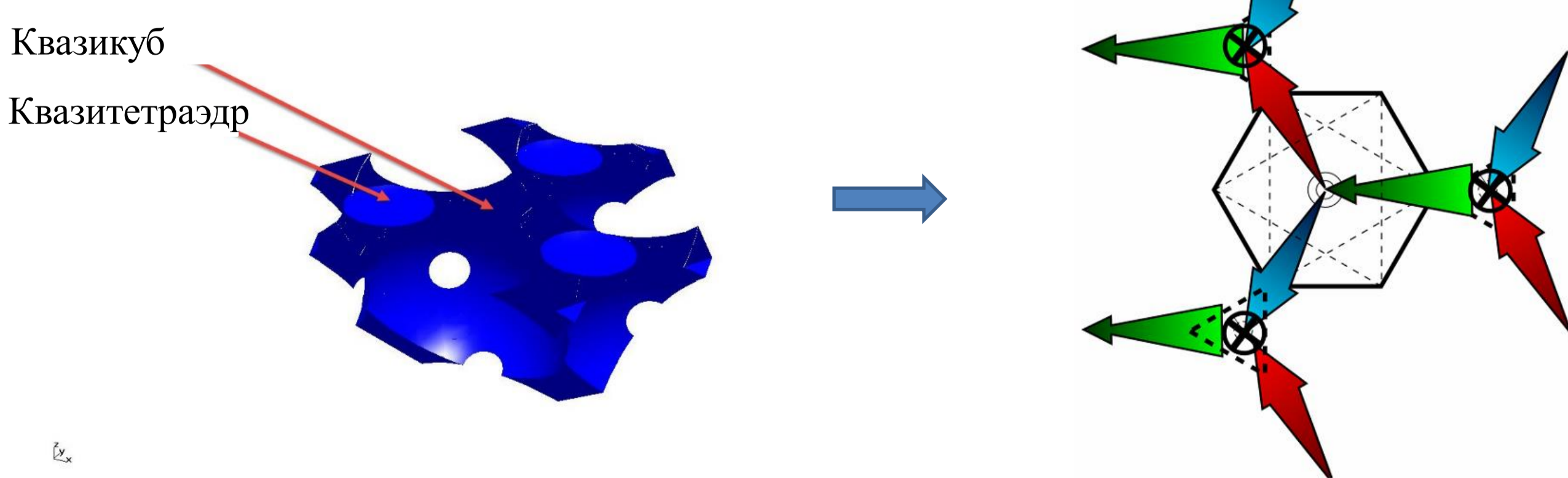
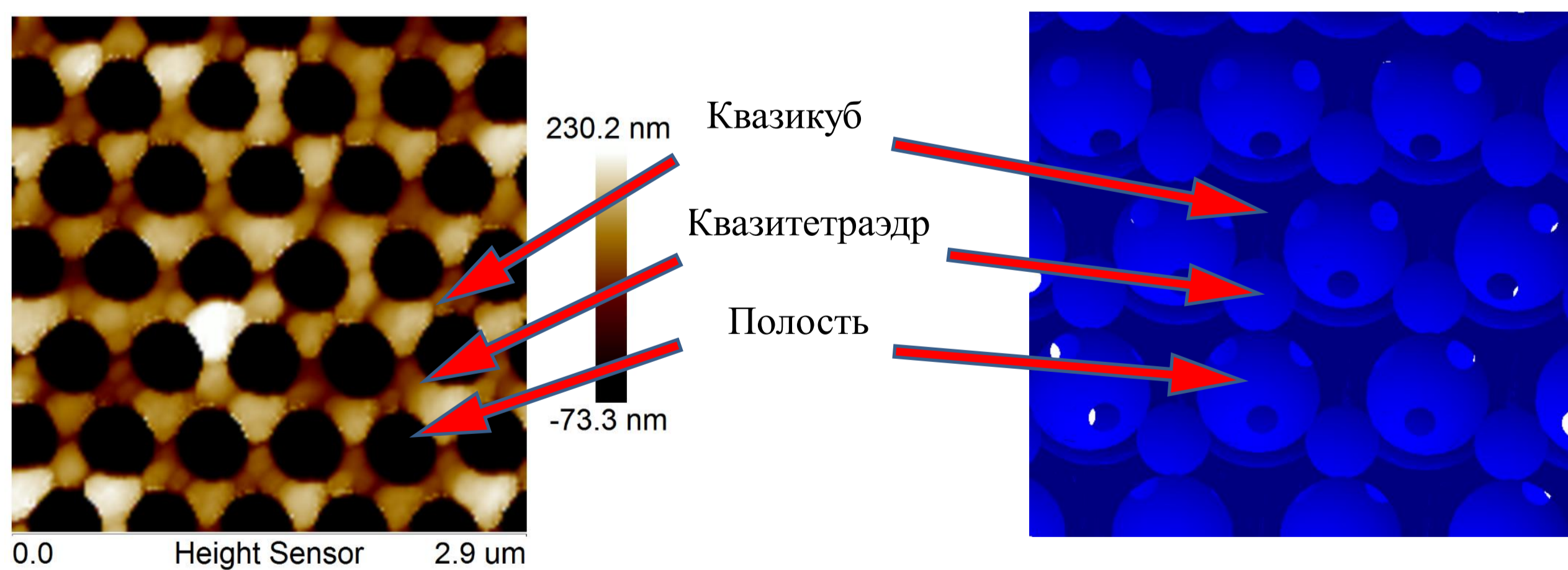
Макрогеометрический подход (6 ячеек), с.у.

Макрогеометрический подход (19 ячеек), с.у.

Макрогеометрический подход (19 ячеек), периодические граничные условия

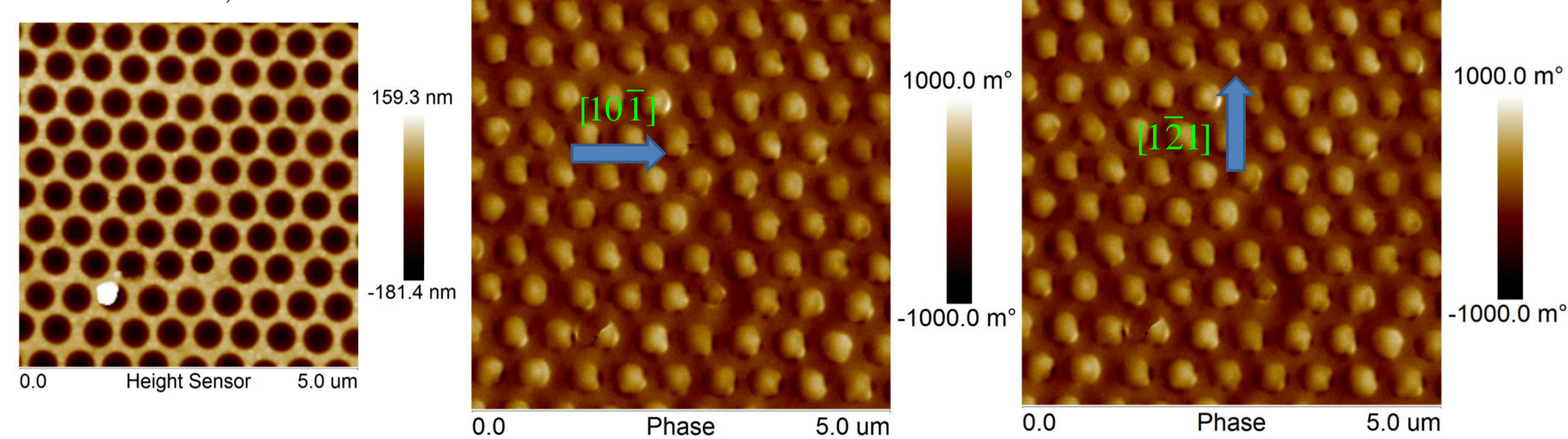


(5) Поверхность инвертированного опала (толщина 3.5 монослоя)

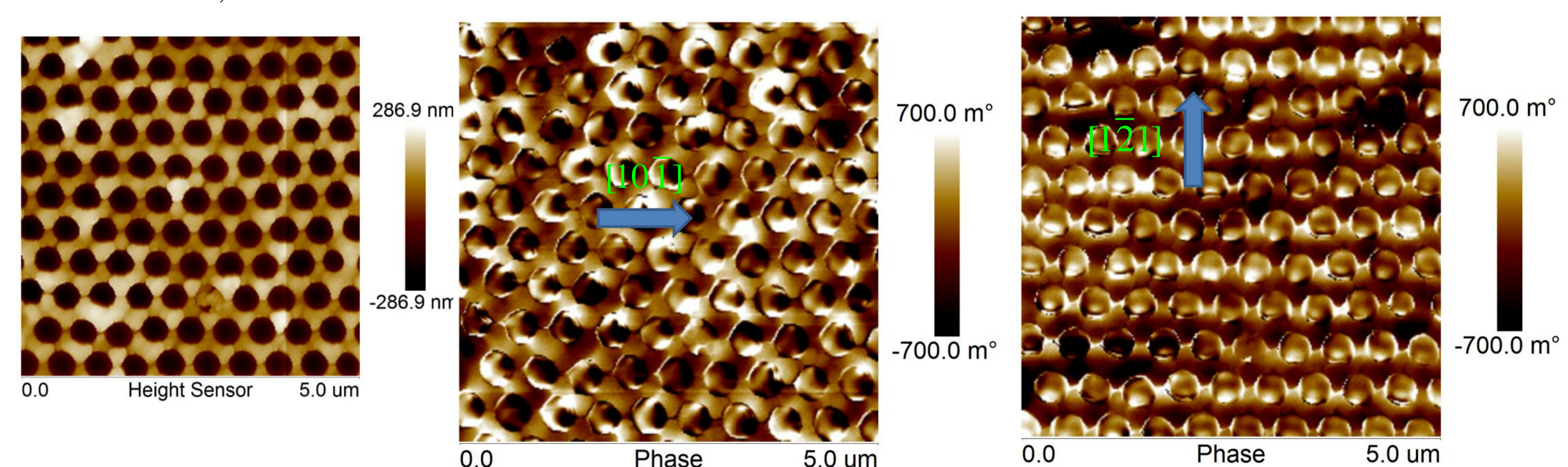


(6) МСМ изображение образцов толщиной 0.5 и 3.5 монослоев

ИОПС на основе Ni, 0.5 монослоя



ИОПС на основе Ni, 3.5 монослоя



Упорядочение МСМ контраста наблюдается только в случае образцов толщиной 3.5 монослоев при приложении внешнего поля вдоль направления $[121]$. Данный эффект может быть объяснен в рамках модели спинового льда.

Список литературы

- [1] Misonov, et al., Phys. Rev. B, 87(22), 220408.
- [2] Sapozhnikova, et al., Phys. Chem. Chem. Phys., 12(47), 15414-15422, (2010)
- [3] A.A. Eliseev, D.F. Gorozhankin, K.S. Napolskii et al., JETP Letters, 90, 297-303 (2009)
- [4] A.V. Vasilieva, S.V. Grigoriev et al., Journal of Physics: Conference Series, 247, No. 1, 012029, IOP Publishing, 2010.

i.dubitsky@phys.spbu.ru

Выводы

1. В рамках микромагнитных расчетов установлена справедливость правила спинового льда в инвертированных опалах. Вычислена перпендикулярная компонента намагниченности.
2. Данные МСМ измерений могут быть интерпретированы в рамках модели спинового льда.