

## ФАЗОВЫЕ ПЕРЕХОДЫ В АМОРФНОМ ЛЬДЕ.

В.Б. Ефимов, О.Г. Рыбченко, В.В. Сеницын

### КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ПРИМЕСЬ-ГЕЛИЕВЫЕ ГЕЛИ, АМОРФНЫЙ ЛЕД, ФАЗОВЫЕ ПЕРЕХОДЫ

### PHASE TRANSITION IN AMORPHOUS ICE.

V.B. Efimov, O.G. Rybchenko, V.V. Sinitsyn

### KEYWORDS

IMPURITY-HELIUM GELS, AMORPHOUS ICE, PHASE TRANSITIONS

Вопросы формирования льда при низких температурах, аморфный лед разных модификаций, фазовые переходы в аморфных образцах льда и процессы его кристаллизации имеют большой интерес с учетом определяющей зависимости белковой формы жизни от воды в ее разных проявлениях, а также важной роли воды и льда во многих геологических процессах на нашей Земле. В данной работе мы приводим результаты исследований фазовых переходов в аморфных нанобразцах льда, полученных после распада примесь-гелиевых гелей. Особенности методики связаны с конденсацией смеси малой концентрации примеси в большом количестве газообразного гелия на поверхность сверхтекучего гелия. Это позволяет достигать скорость охлаждения смеси  $\sim 10^3$  К/с от комнатной температуры до  $\approx 1.6$  К. В данной работе в качестве примеси использовались водяные пары.

Рентгеноструктурный анализ аморфных ледяных нанобразцов (*NPA*), полученных после распада гелиевого геля, показал, что аморфное гало для таких образцов может быть описано существованием двух аморфных фаз – фазы малой плотности (*LDA*, примерно 15%) и фазы средней плотности (*MDA*, остальное). Существование *MDA* фазы было недавно впервые получено экспериментально [1] и приводимые нами результаты также подтверждают существование такой аморфной фазы льда. Причем попытка подгонки данных наших измерений с помощью известных ранее аморфных фаз льда *LDA* и *HDA* (аморфной фазы высокой плотности) дала неудовлетворительные результаты.

Установлено, что в процессе отжига имеет место многоступенчатый процесс структурных превращений исходного *LDA+MDA* образца: от начальных изменений аморфного состояния при 110К через кристаллизацию кубической фазы льда  $I_c$  с ее интенсивным ростом при температуре 130К до превращения кубического льда в гексагональную фазу  $I_h$  в температурном интервале  $T=135\div 230$ К. Как и в работе [1] *MDA* фаза в процессе отжига переходит не в *LDA* фазу, как это было обнаружено для аморфной фазы высокой плотности, а в кристаллическую фазу ( $I_c$ ) и ( $I_h$ ).

Стоит отметить, что применяемую нами методику распада примесь-гелиевого геля можно сравнивать с формированием льда в процессе развития нашей Вселенной (при малых концентрациях молекул воды и достаточно большого количества атомов легких элементов таких как водород, дейтерий, гелий и при низких температурах реликтового излучения), а также с конденсацией паров воды в верхних слоях атмосферы.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Alexander Rosu-Finsen, Michael B Davies, Alfred Amon, Han Wu, Andrea Sella, Angelos Michaelides, Christoph G Salzmann, SCIENCE 379, 474 (2023)

## **СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ**

Ефимов Виктор Борисович – доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник (ORCID: 0000-0002-9195-2458). Институт физики твердого тела, г. Черноголовка Московской обл. e-mail: efimov@issp.ac.ru

Рыбченко Оксана Геннадьевна – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник (ORCID: 0000-0002-6802-0337). Институт физики твердого тела, г. Черноголовка Московской обл. e-mail: orybch@issp.ac.ru

Синицын Виталий Витальевич – доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник (ORCID:0000-0002-2077-2687). Институт физики твердого тела, г. Черноголовка Московской обл. e-mail: sinitsyn@issp.ac.ru