

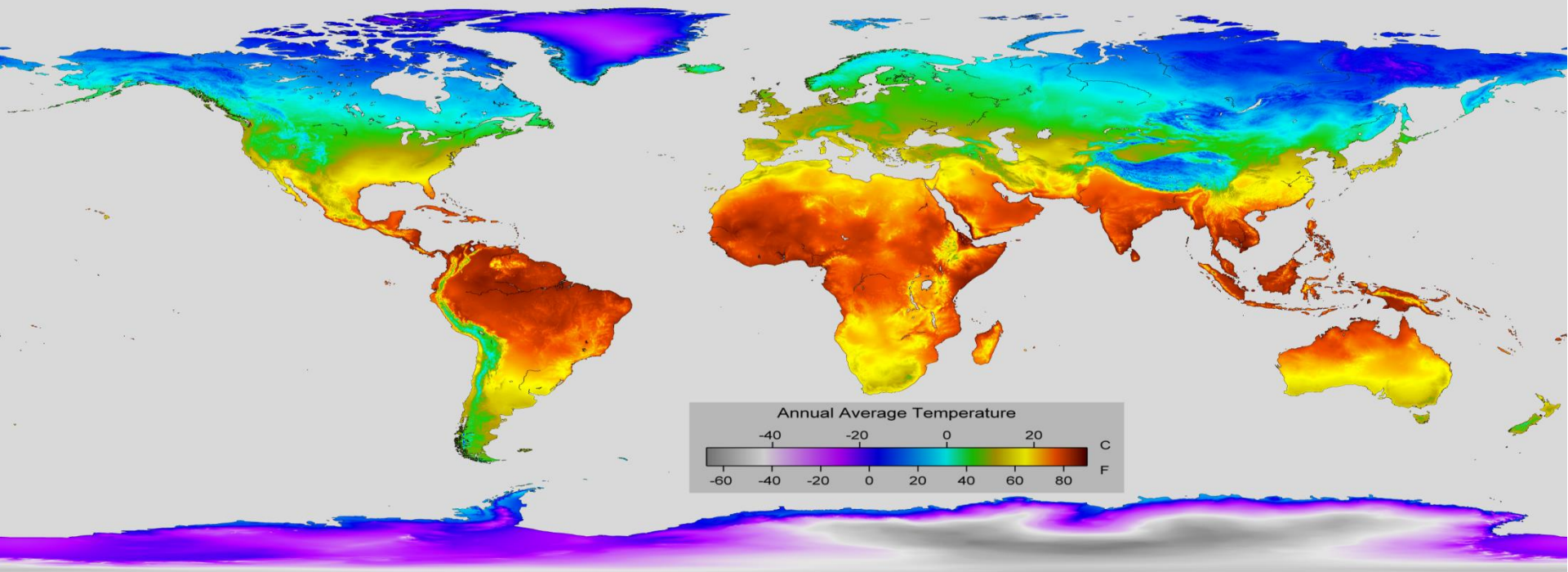


Диэлектрические характеристики льда вблизи температуры фазового перехода в широком интервале частот

Казанцев В.А., Козлов А.К.

email: lgc255@mail.ru

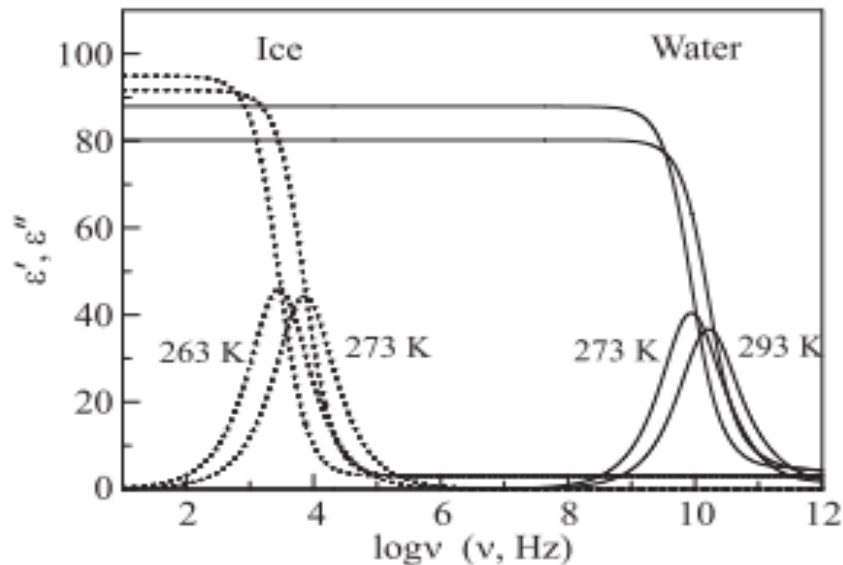
Актуальность



Среднегодовая температура поверхности

*https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/92/Annual_Average_Temperature_Map.png

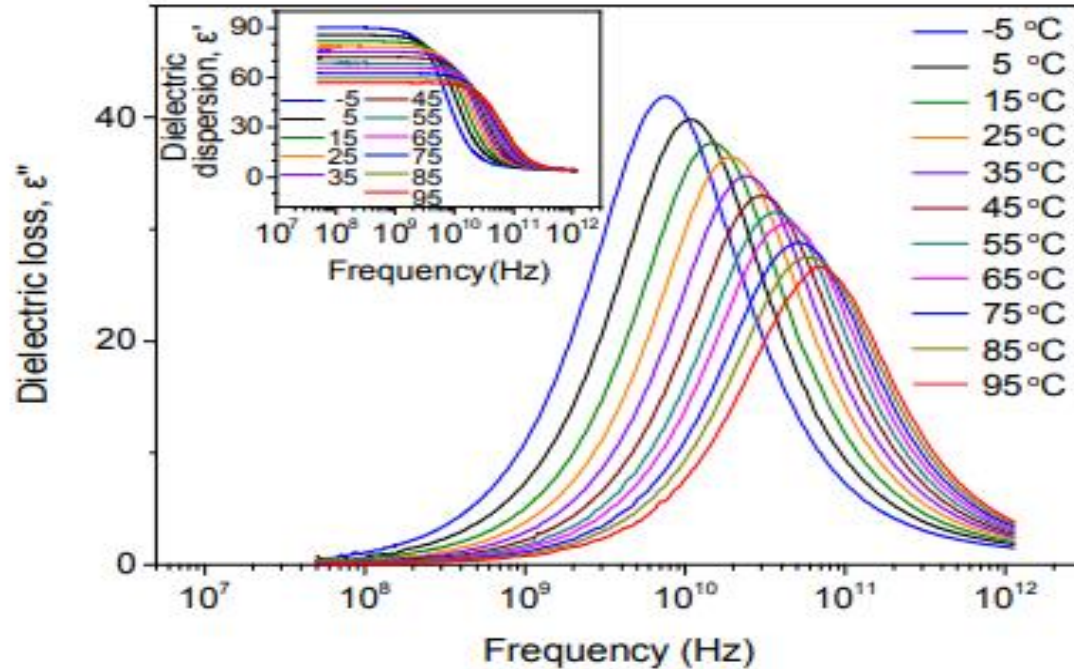
Диэлектрическая проницаемость льда и воды



Диэлектрические
спектры воды
(сплошные линии)
и льда (пунктирные
линии)

*Артемов, В. Г. Подobie процессов диэлектрической релаксации и транспортных характеристик воды и льда / В. Г. Артемов, И. А. Рыжкин, В. В. Синицын // Письма в Журнал экспериментальной и теоретической физики. – 2015. – Т. 102, № 1-2. – С. 45-49.

Диэлектрическая проницаемость воды

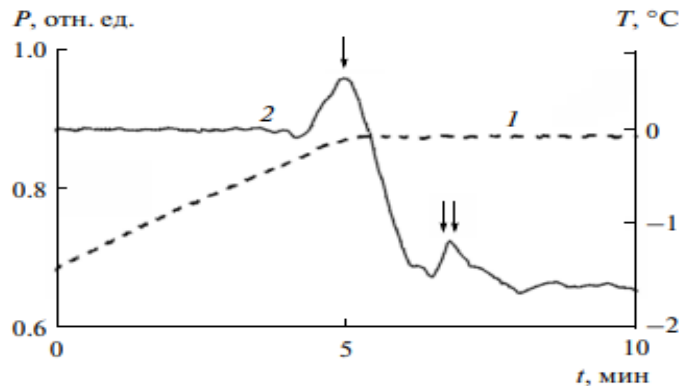


Диэлектрические спектры воды при различных температурах

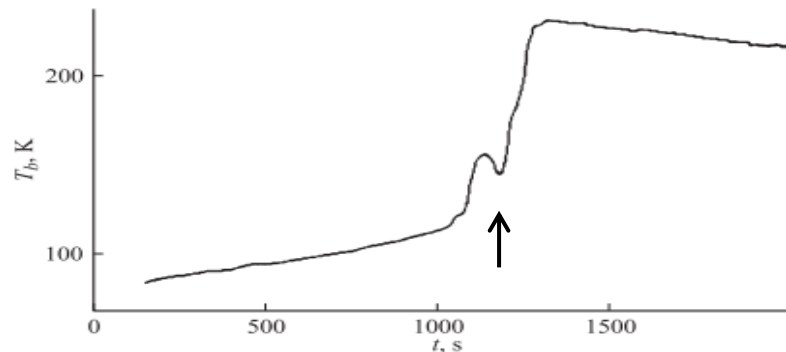
Vinh, Nguyen & Doan, Luan & Hoang, Ngoc & Cui, Jiarong & Sindler, Benjamin. (2023). Correlation between Macroscopic and Microscopic Relaxation Dynamics of Water: Evidence for Two Liquid Forms. Journal of Chemical Physics 158, 204507 (2023). <https://doi.org/10.1063/5.0142818>

Диэлектрические особенности льда

(микроволновый диапазон)



Зависимости изменения температуры блока льда (кривая 1) и проходящей мощности излучения (кривая 2) при его нагревании от времени. Частота измерений 90 ГГц, толщина блока 15 см.*



Зависимость радиояростной температуры тающего блока льда при измерениях на просвет от времени. Частота измерений 34 ГГц, толщина блока 5 см. **

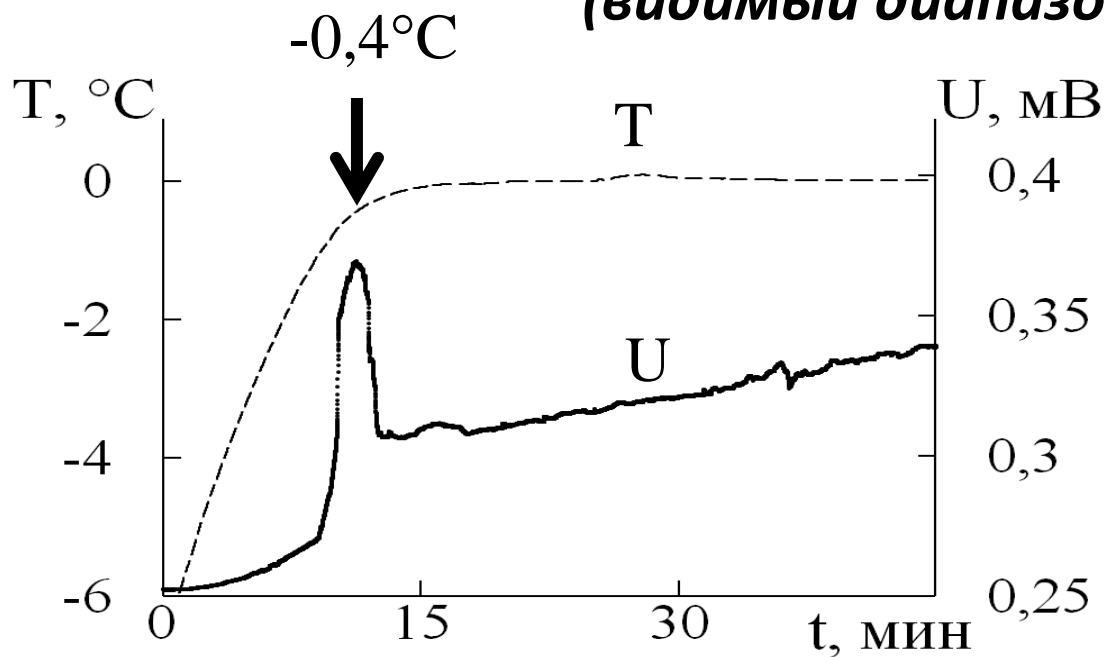
(стрелками отмечены аномалии пропускания образцов льда вблизи 0°C)

* Бордонский Г. С. Гурулева А.А., Крылов С.Д. "Просветление" льда в микроволновом диапазоне при текучести // Письма в Журнал технической физики. 2009. Т. 35, № 22. С. 46-54.

** Бордонский Г.С., Гурулев А.А., Крылов С.Д. Электромагнитные потери пресного льда в микроволновом диапазоне при 0°C // Радиотехника и электроника. 2014. Т. 59. № 6. С. 587. DOI: 10.7868/S0033849414060060.

Диэлектрические особенности льда

(видимый диапазон)



Температура льда (штриховая линия) и мощность проходящего линейно поляризованного видимого излучения через образец в зависимости от времени на длине волны 535 нм. Регистрируемая мощность представлена в единицах напряжения фотодетектора (U).

*Бордонский Г.С., Гурулев А.А., Казанцев В.А., Середин Д.В. Экспериментальное обнаружение просветления пресного льда в оптическом диапазоне вблизи 0°C // Оптика и спектроскопия. – 2023. – Т. 131, № 10. – С. 1374-1379.

Задачи исследования

- Экспериментальное установление спектральных особенностей эффекта понижения диэлектрических потерь во льду в широком интервале частот;
- Разработка соответствующих методик исследования диэлектрических характеристик льда вблизи температуры фазового перехода.

Резонаторные измерения (лед)

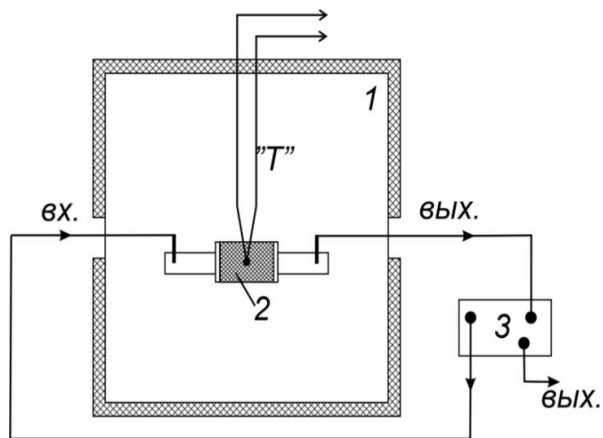
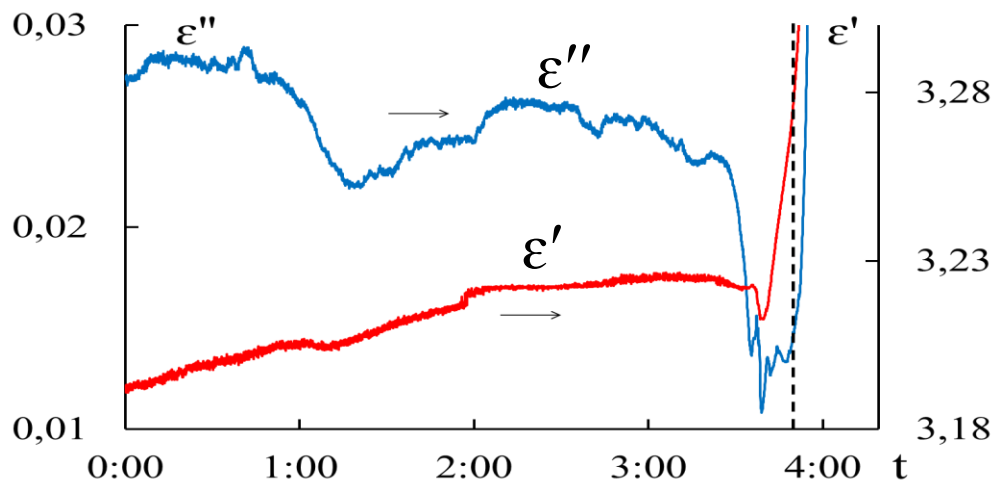
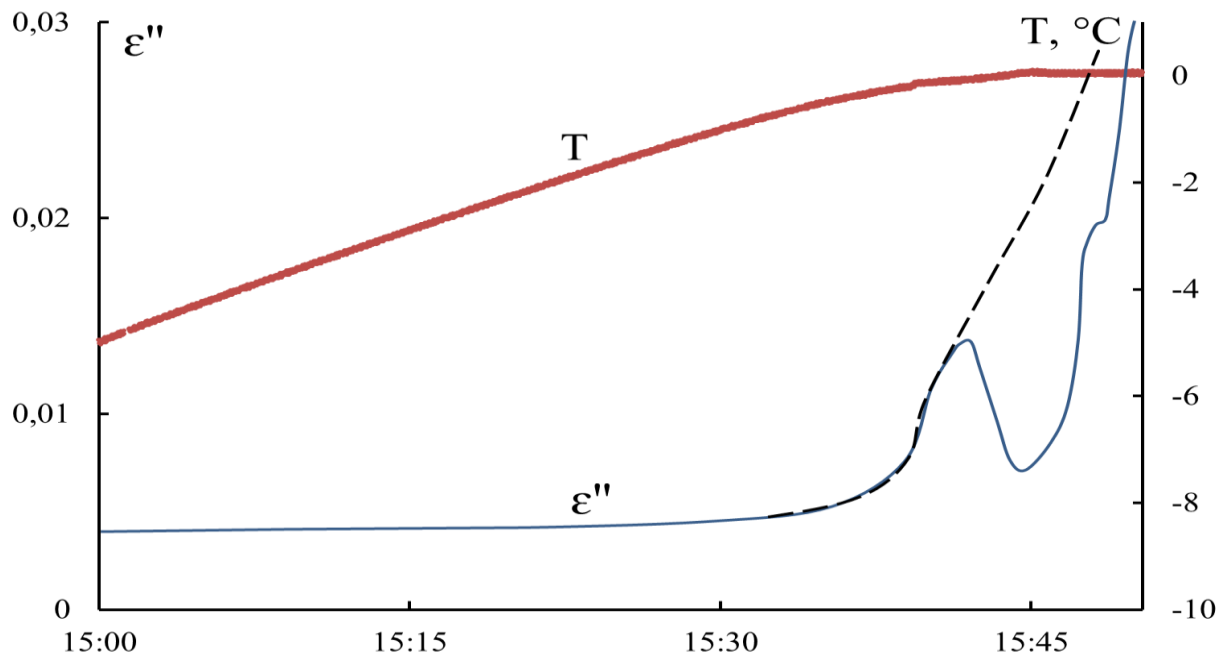


Схема экспериментальной установки для исследования диэлектрических характеристик льда. 1 – климатическая камера, 2 – резонатор типа Н₁₀₁ с внутренними размерами 58 мм×26 мм×25 мм, 3 – скалярный анализатор, «Т» – датчик температуры.



Зависимость ϵ' и ϵ'' льда при его нагревании от времени (t); измерения вблизи 3,4 ГГц; штриховая линия – начало таяния образца льда при 0 °С. Вектор \vec{E} направлен перпендикулярно базисным плоскостям кристаллов льда.

Диэлектрические характеристики снега



Зависимость мнимой части относительной комплексной диэлектрической проницаемости (ϵ'') и температуры (T) от времени при нагревании образца от -5°C. Частота 5,6 ГГц.

Радиометрические измерения

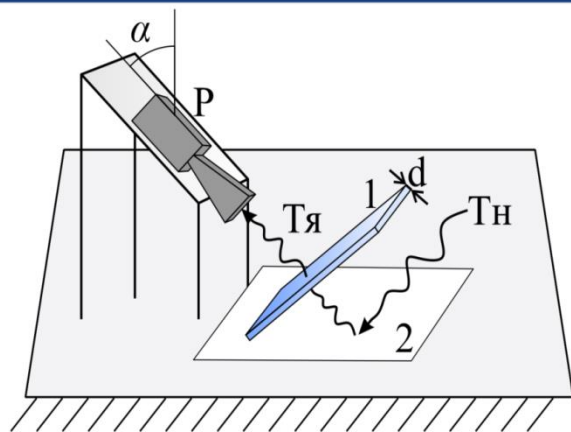
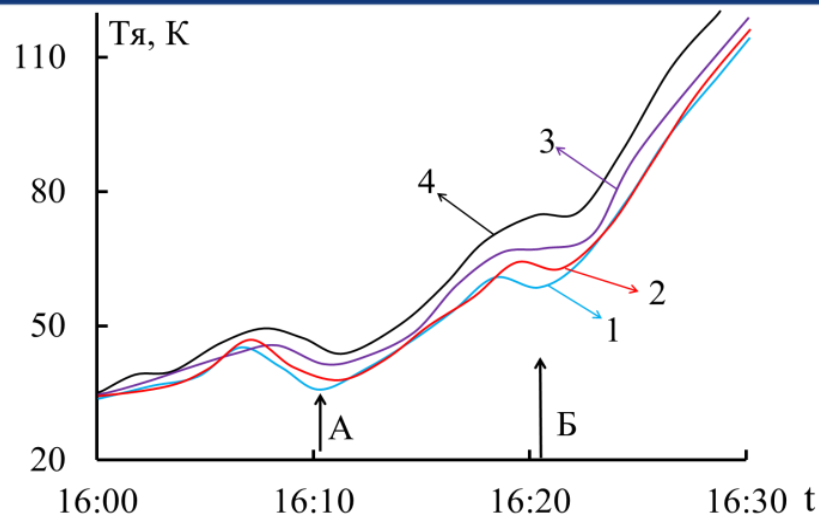


Схема экспериментальной установки для исследования теплового излучения образцов льда на фоне холодного неба. Р – поляризационный микроволновый радиометр, 1 – плоскопараллельная пластина льда размерами $1000 \times 400 \times 100$ мм, 2 – металлический лист, T_n – радиояркость температура неба, $T_{я}$ – радиояркость температура исследуемого объекта, α – угол наблюдения, d – толщина образца льда



Результаты изменение радиояркости температуры образца льда со временем (для 1 – «ГП», 2 – «+45°», 3 – «-45°», 4 – «ВП»). Стрелками отмечены области просветления льда. Частота 34 ГГц.

Измерения мощности проходящего и отраженного излучения

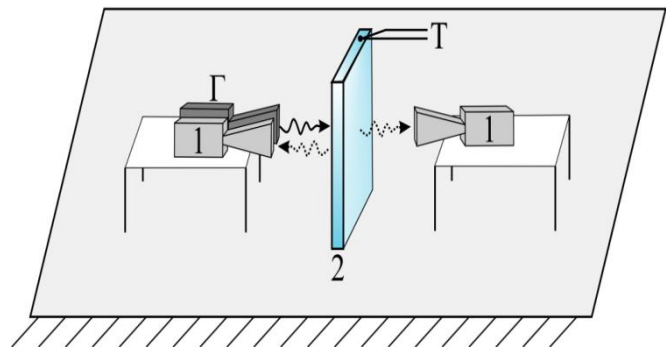
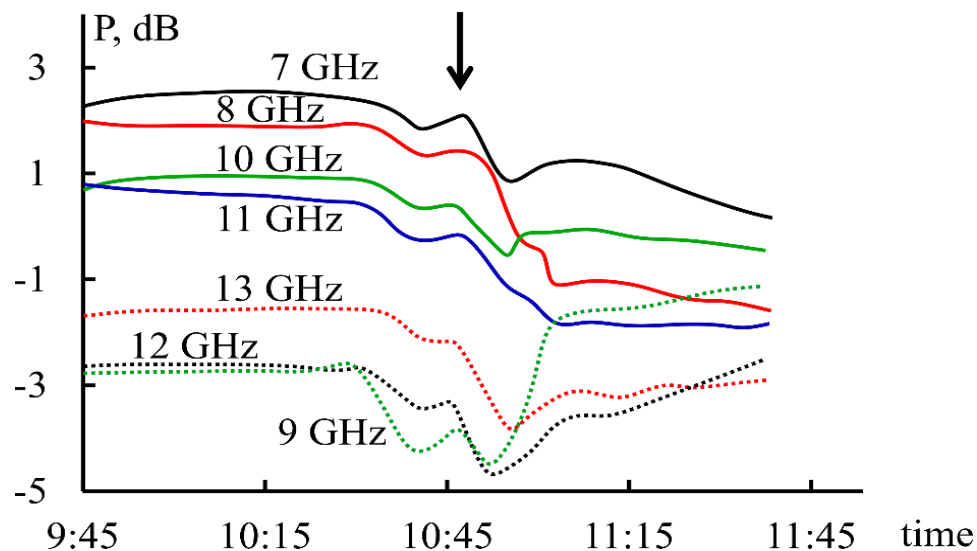
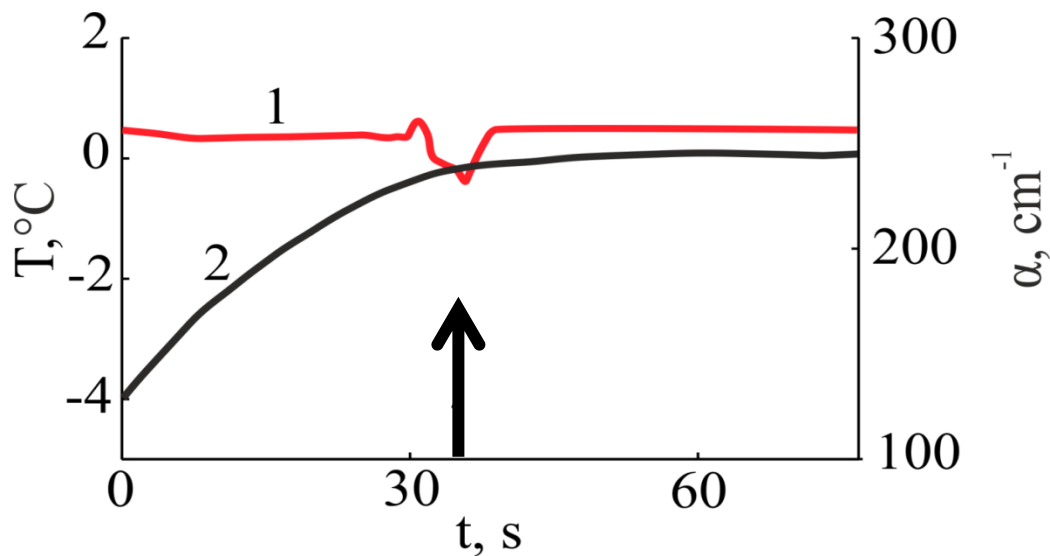


Схема установки для измерения мощности проходящего и отраженного излучения в микроволновом диапазоне вблизи температуры фазового перехода. 1 – приемник излучения, 2 – образец – блок льда, «Т» – термопара, «Г» – генератор

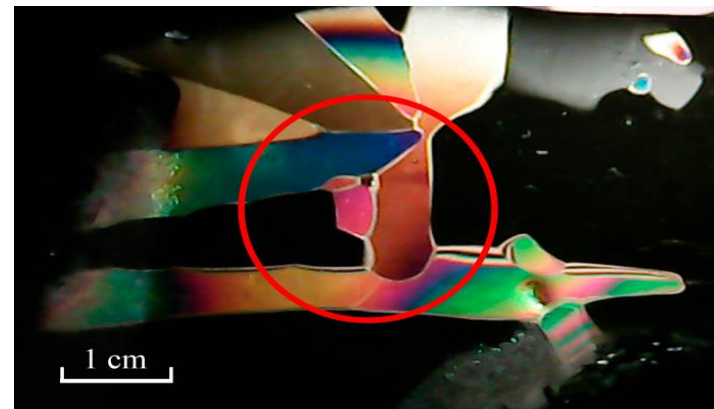


Зависимость мощность прошедшего излучения через блок льда на различных частотах от времени.

Измерения мощности проходящего и отраженного излучения ИК диапазон (3.8–4.2 мкм)

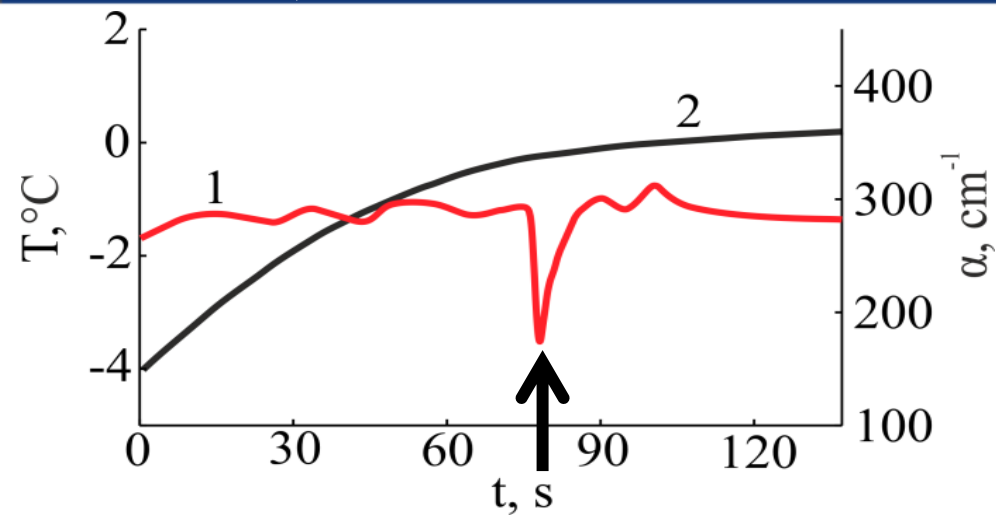


Результаты измерения коэффициента поглощения в диапазоне 3,8–4,2 мкм (1) и температура (2) в образце льда толщиной 0,1 мм в зависимости от времени нагревания; стрелочкой отмечен эффект «просветления»

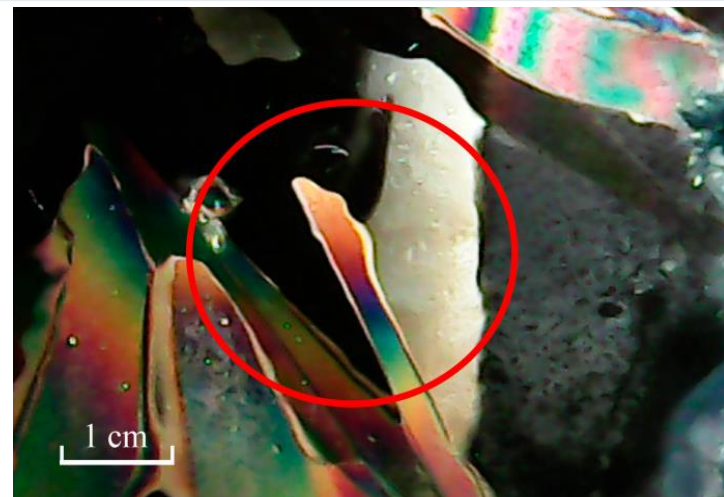


Фотография образца льда в микроскоп при скрещенных поляризаторе и анализаторе. Окружностью отмечена область просвечивания

Измерения мощности проходящего и отраженного излучения ИК диапазон (10–16 мкм)



Результаты измерения коэффициента поглощения в диапазоне 10–16 мкм (1) и температура (2) в образце льда толщиной 0,1 мм в зависимости от времени нагревания; стрелочкой отмечен эффект «просветления»




Фотография образца льда в микроскоп при скрещенных поляризаторе и анализаторе. Окружностью отмечена область просвечивания



Фотография образца льда в микроскоп при скрещенных поляризаторе и анализаторе. Окружностью отмечена область просвечивания

Выводы

- Обнаружено уменьшение значений действительной и мнимой частей относительной комплексной диэлектрической проницаемости льда вблизи температуры фазового перехода лед-вода в широком интервале частот.
- Необходимо учитывать эффект «просветления» при радиометрических измерениях криогенных образований вблизи температуры 0°C .
- Необходимы дальнейшие исследования диэлектрических особенностей льда вблизи температуры фазового перехода лед-вода.
- Возможной причиной эффекта может являться плазмонный резонанс, который возникает при текучести льда на возникающих квазижидких проводящих пленках воды.

The background is a close-up, abstract image featuring several irregular, layered shapes in shades of white, cream, and light brown. These shapes are covered in numerous small, glistening water droplets, giving them a wet, organic appearance. Interspersed among these light-colored forms are smaller, more vibrant patches of color, including bright green, magenta, and red, which appear to be part of the underlying structure or perhaps reflections. The overall lighting is soft, highlighting the textures and the play of light on the water droplets.

Благодарю за внимание!

lgc255@mail.ru