



Возможность проявления сегнетоэлектрических льдов при дистанционном зондировании

Бордонский Г.С.

Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН
(lgc255@mail.ru)

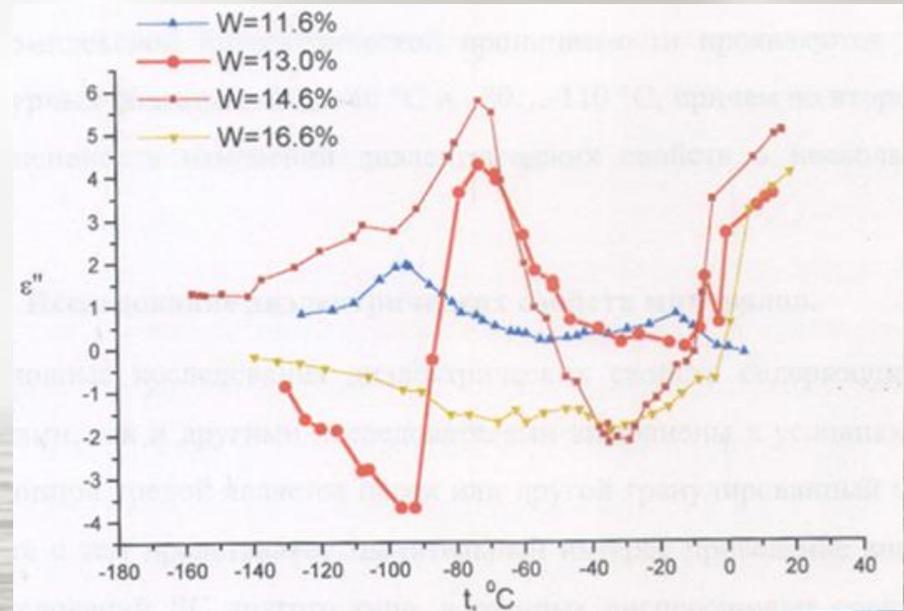
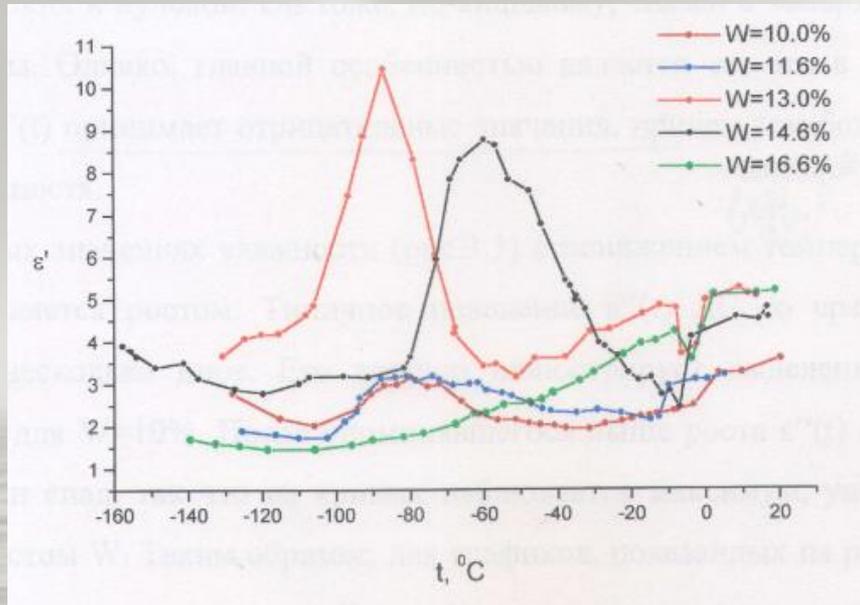
Цель доклада:

- Показать возможное проявление сегнетоэлектрических льдов при дистанционном зондировании земных оболочек

Вопросы: лед 0, лед XI, нецентросимметричные
ледяные структуры

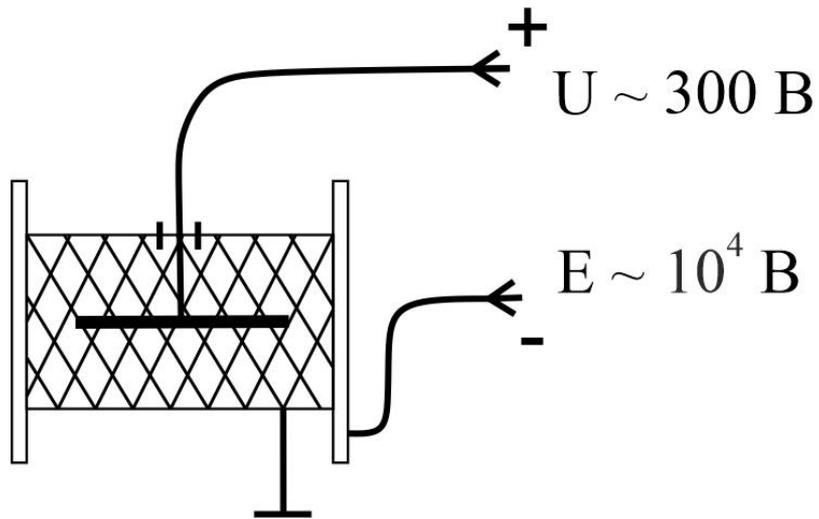
Из истории вопроса

1. 90-е годы – работы группы В.А. Ильина – аномалии ϵ' мерзлого песка на СВЧ
→ обнаружение сегнетоэлектрических свойств пленок воды при -40°C ... – 100°C ?!



Из истории вопроса

2. Наши измерения резонансных кривых при наложении электрического поля \vec{E} - эффект отсутствует



3. Измерения коэффициента отражения и потерь в мерзлом силикагеле

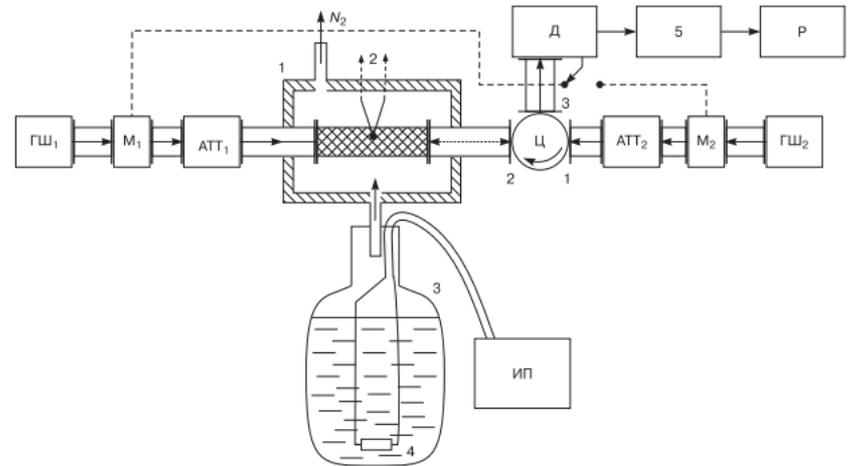
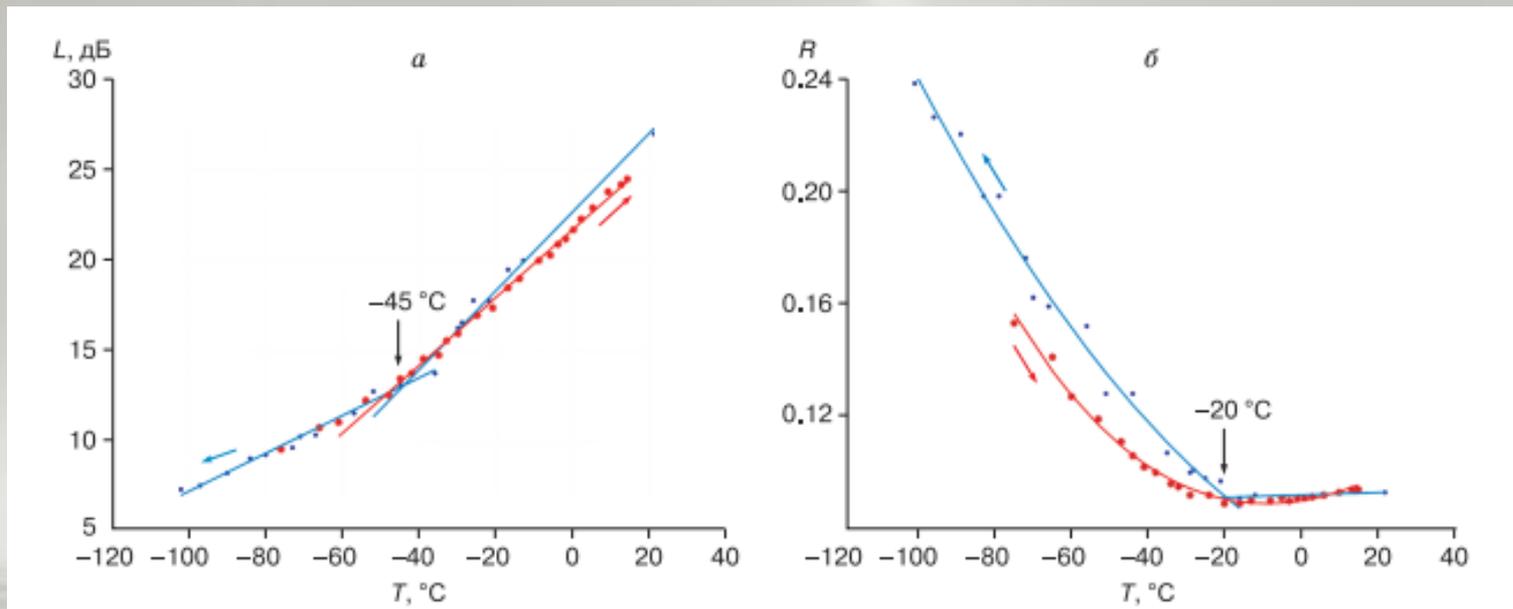


Рис. 1. Блок-схема измерительной установки.

ГШ_{1,2} – источники шумового микроволнового излучения; М_{1,2} – модуляторы; АТТ_{1,2} – аттенуаторы для регулировки сигналов; Ц – трехлучный циркулятор; ИП – источник питания для нагрева резистора-испарителя; Д – детектор микроволнового излучения; Р – регистратор; 1 – термокамера с образцом, помещенным в волновод, охлаждаемый парами холодного азота; 2 – термопара; 3 – сосуд Дьюара; 4 – резистор-испаритель; 5 – система сбора информации фирмы Agilent.

Результаты измерений мерзлой дисперсной среды – выраженные аномалии потерь пропускания и коэффициента отражения от температуры



Результаты измерений затухания L микроволнового излучения в волноводе, заполненном силикагелем Acros с размером пор 6 нм (а) и графики коэффициента отражения R по мощности (б) в зависимости от температуры. Стрелки рядом с графиками – направления изменения температуры среды; указаны температуры изменения наклона графиков. Весовая влажность 3.5 %.

Лед XI

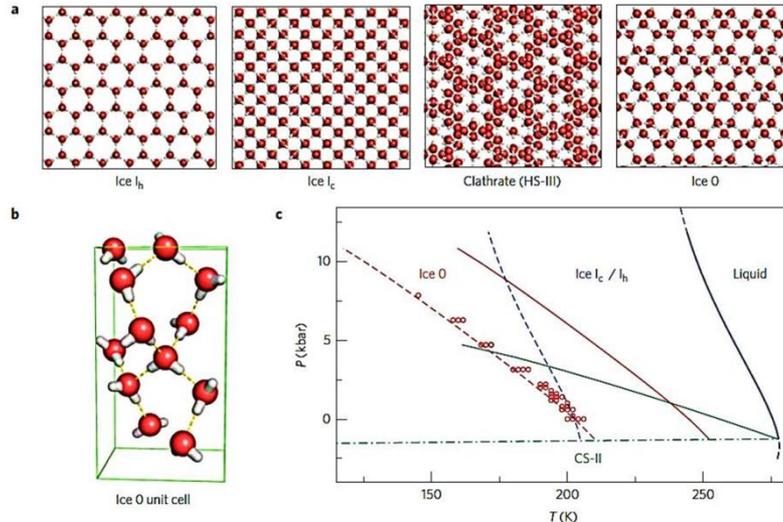
1. Сегнетоэлектрик Лед XI существует при $57...72\text{ К}$.
2. Его домены сохраняются до 150 К (-120°C), но их концентрация мала $<1\%$.
3. Предполагается, что он может образовываться в Антарктиде при $T \sim -36^\circ\text{C}$ ~ за 3000 лет из льда Ih.
4. Имеет место «эффект памяти» – при нагревании до -162°C при последующем охлаждении лед XI образовывался при более высокой температуре.
5. В работе [Su et al., Phys.Rev.Lett. 1998.No.7] сегнетоэлектрическую пленку льда наблюдали при осаждении воды из пара на платиновую пластинку при -136°C .

Открытие льда 0

1. Открытие (при температурах ниже -23°C).
2. Важное свойство – лед 0 – сегнетоэлектрик.

ARTICLES

NATURE MATERIALS DOI: 10.1038/NMAT3977



Russo J., Romano F., Tanaka Y. New metastable form of ice and its role in the homogeneous crystallization of water // Nature Materials. - 2014. - V. 13, № 7. - P. 733-739.

Особые свойства льда 0

1. Свойства льда 0:

- a) температура образования из переохлаждённой воды:
 $T < -23^{\circ}\text{C}$;
- b) лёд 0 – сегнетоэлектрик, имеет высокое значение статической диэлектрической проницаемости ϵ_s .

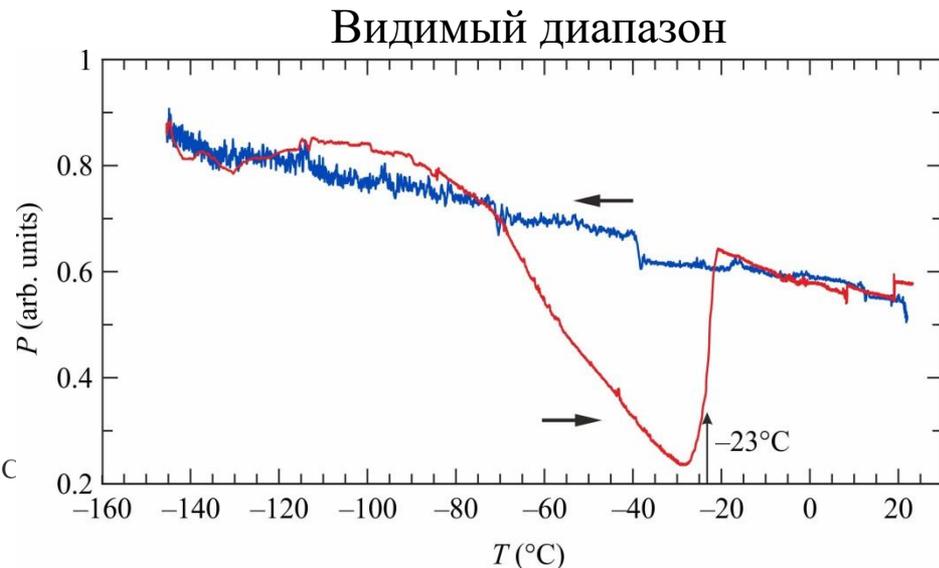
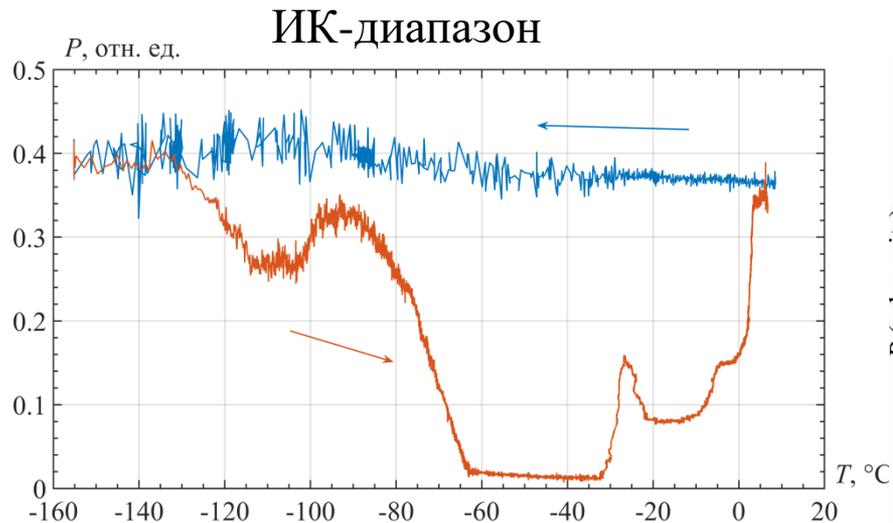
2. На контакте двух диэлектриков возникает тонкий слой с высокой электропроводностью (примерно на 6 порядков выше, чем у контактирующих сред).



$$\epsilon_s \gg 1; \epsilon_s \gg \epsilon_1; \sigma_3 \gg \sigma_1, \sigma_2.$$

Эксперименты в ИПРЭК СО РАН

Мощность излучения, прошедшего через образец в виде слоя льда 0 на подложке из кварцевого стекла

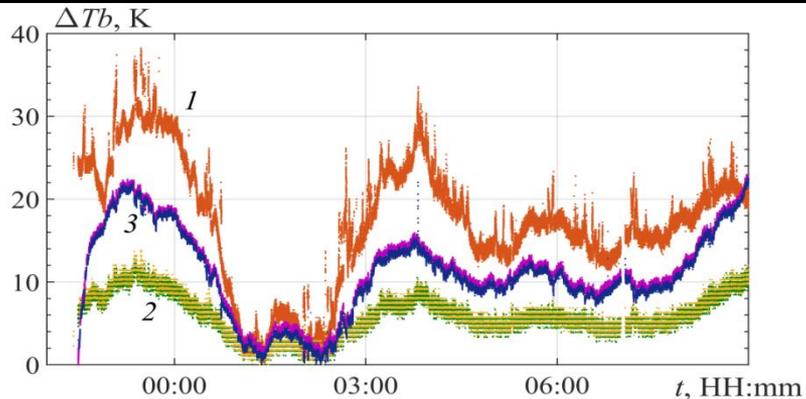


Существенное усиление экстинкции для малых концентраций льда 0 из-за **резонанса поверхностных плазмонных мод** [Борен, Хафмен].

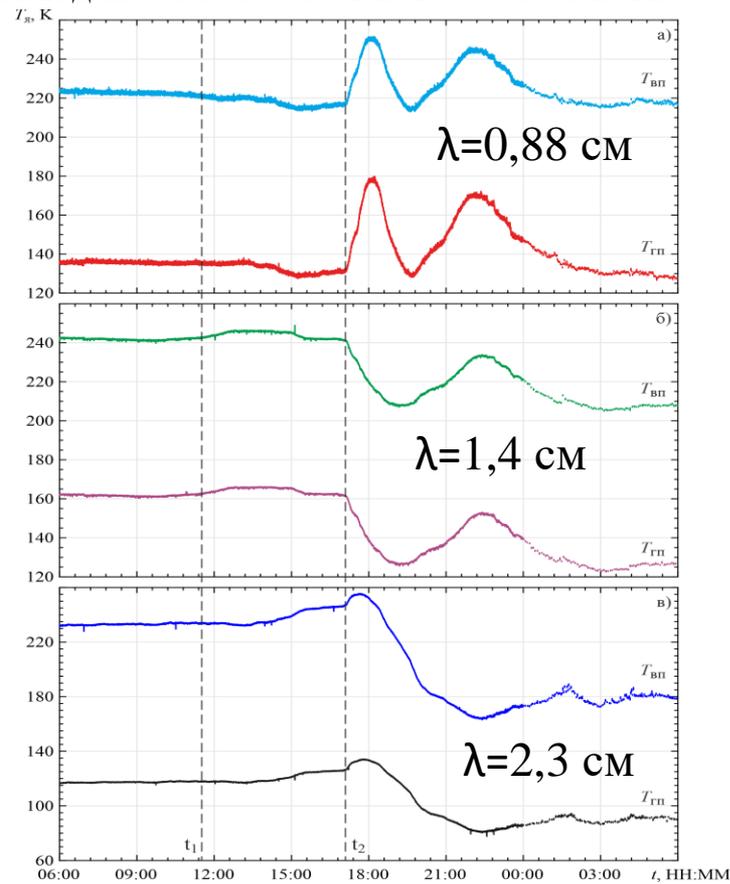
Бордонский Г.С., Гурулев А.А., Орлов А.О. Пропускание электромагнитного излучения видимого диапазона тонким слоем льда 0, конденсированного на диэлектрическую подложку // Письма в Журнал экспериментальной и теоретической физики. - 2020. - Т. 111, № 5-6 (3). С. 311-315.

Поиски льда 0 в природной среде

Серебристые мезосферные облака



Аномалии радиояркой температуры ледяного покрова во время повышения влажности и температуры на разных длинах волн 31.12.2021. – 01.01.2022



Г.С. Бордонский и др. Предполагаемый механизм свечения мезосферных облаков // Радиотехника и электроника. – 2024. – Т. 69, № 4. – С. 307-315. 1 – 3 мм, 2 – 0,88 см, 3 – 1,4 см.

Туманы, дымовые выбросы, алмазная пыль, световые столбы

Волноводные измерения – обнаружены следы льдов 0 и XI

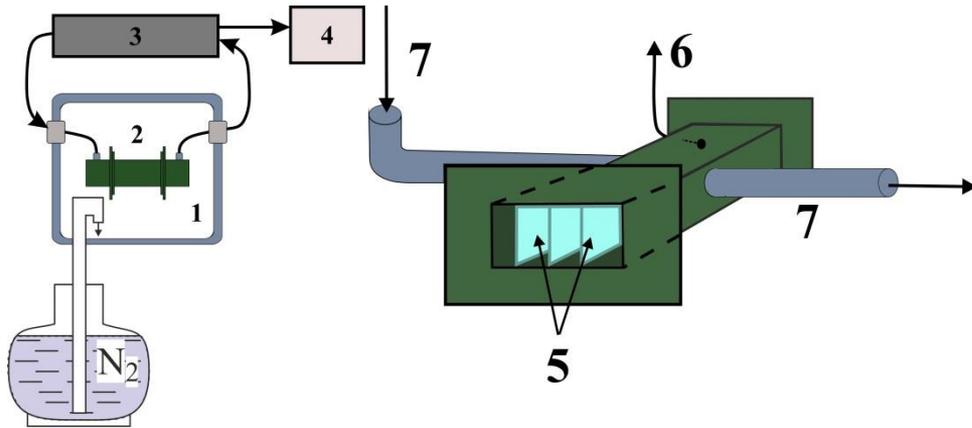
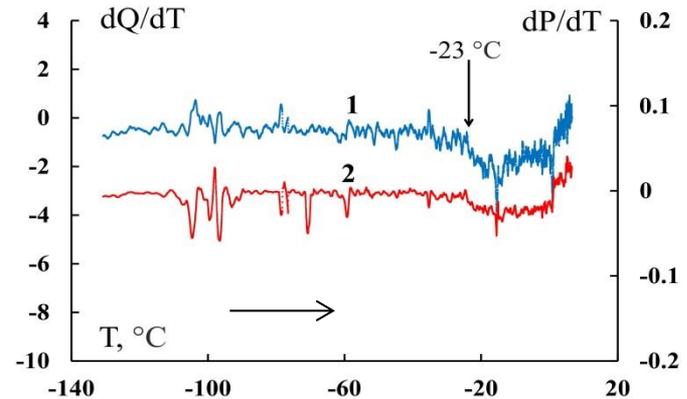
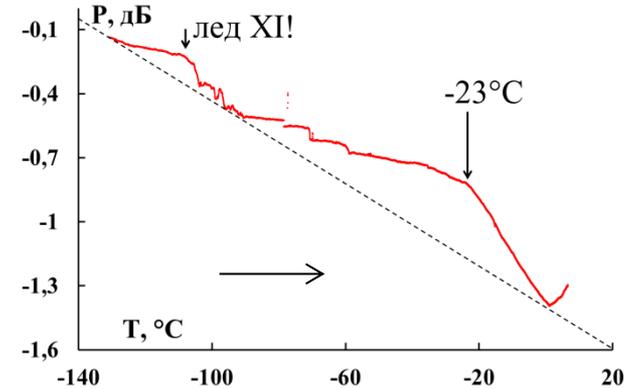


Схема установки для поисков пленок льда 0 при его образовании в микроволновом резонаторе: 1- холодильная камера, 2 – резонатор, 3 – скалярный анализатор радиочастотных цепей Р4-18, 4 – система сбора данных; б) схема резонатора типа H_{101} , где 5 – тонкие пластинки из кварцевого стекла, 6 – выход термомпары, 7 – трубки для прокачки воздуха.



Зависимость производных добротности (1) и мощности (2) пропускания резонатора.

Общий подход

Сегнетоэлектричество и нецентросимметричные среды

1. Сегнетоэлектричество возникает в нецентросимметричных средах.
2. Оно должно, следовательно, возникать на поверхности кристаллов льда.
3. Проявляться во флексоэлектричестве – возникновении разности потенциалов при анизотропии механических напряжений в среде.
4. А также наблюдаться в необычных результатах измерений диэлектрической проницаемости в увлажненных мелкодисперсных средах при отрицательных температурах.

Выводы

1. В атмосфере и приповерхностных слоях земной коры возможно возникновение сегнетоэлектрического льда 0 ($T < -23^{\circ}\text{C}$), льда XI ($T < -100^{\circ}\text{C}$) – в холодных облаках (мезосфера, стратосфера, тропосфера), туманах, на поверхности снежно-ледяных покровов и т.д. и их проявление при дистанционном зондировании Земли.
2. В зависимости от расположения антенн (при наземной ориентации в верхнюю полусферу или при установке аппаратуры на самолет и ИСЗ) возможны различные знаки приращения яркости от облачных образований с сегнетоэлектрическим льдом.
3. Особенности электромагнитных характеристик среды со льдом 0 – резкое усиление экстинкции и отражения от частиц малых размеров из-за плазмонного резонанса в сверхтонких проводящих слоях на их поверхности. В особых конфигурациях (нанокapли, нанопоры и др.) возможно возникновение сегнетоэлектричества воды и при температурах от -23 до 0°C .

Благодарю за внимание!