

Природа некоторых фиксируемых ИСЗ источников ИК излучения

Татарченко В.А. *Saint-Gobain Crystals, France.*

Содержание:

1. Предмет обсуждения
2. История вопроса.
3. Традиционный подход.
4. Новый механизм
5. Эксперименты по кристаллизации.
6. Эксперименты с водой.
7. ИК источники в атмосфере
8. Теория.
9. Обсуждение экспериментальных результатов.
10. Перспективы.
11. Предложения по экспериментам.
12. Заключение.

1.1. Предмет обсуждения

Цель работы: Показать, что некоторые источники ИК излучения в земной атмосфере являются результатом инфракрасного характеристического излучения (ИКХИ) фазовых переходов первого рода (конденсации и кристаллизации) воды.

- 1. Приводятся экспериментальные доказательства существования ИКХИ при кристаллизации и конденсации некоторых веществ.**

1.2. Предмет обсуждения

- 2. Обсуждаются теоретические модели, объясняющие существование ИКХИ.**
- 3. Обсуждается роль ИКХИ в атмосферных явлениях:**
 - 3.1. Излучение может быть использовано для аккумуляции энергии в атмосфере.**

1.3. Предмет обсуждения

3.2. Фактически это будет означать, что к трём существующим источникам экологически чистой энергии (энергии солнца, ветра и падающей воды) добавляется четвёртый – энергия ИК-излучения при образовании тумана и облаков в атмосфере.

1.4. Предмет обсуждения

3.3. ИКХИ, зарегистрированное при образовании облаков и в особенности штормовых облаков, может быть использовано для определения особенностей процесса и штормовых предупреждений.

1.5. Предмет обсуждения

3.4. Это один из возможных каналов охлаждения земной атмосферы;

3.5. Это излучение может объяснить инфракрасную радиацию и красный цвет некоторых планет, например Юпитера.

2. История вопроса

В период 1979 – 1984 в советском журнале “Кристаллография” были напечатаны три статьи, представляющие необычные экспериментальные данные: Появление инфракрасного характеристического излучения, в процессе кристаллизации из расплава некоторых прозрачных в инфракрасной области веществ – щелочно-галлоидных солей и сапфира. Эти результаты не были случайными. Им предшествовала многолетняя целенаправленная работа по поиску этого излучения, которое должно было быть следствием нового механизма выделения скрытой теплоты кристаллизации .

3.1. Традиционный подход

В многочисленных работах по анализу распределения температуры при кристаллизации из расплава (Задача Стефана) на границе кристалл – расплав записывается следующее уравнение :

$$-\mu_S G_S(h) + \mu_L GL(h) = \zeta V_C \quad (1)$$

Из уравнения (1) следует, что отвод скрытой теплоты кристаллизации производится от границы кристалл – расплав за счёт теплопроводности.

3.2. Традиционный подход

На микроскопическом уровне это означает, что каждая частица (атом, молекула или кластер) в процессе перехода с метастабильного более высокого энергетического уровня (расплав) на более низкий уровень (кристалл) испускает несколько фононов и таким образом освобождается от избыточной энергии.

4.1. Новый механизм

В начале 60-х автор этого сообщения предположил, что при кристаллизации из расплава **по аналогии с лазером** каждая частица (атом, молекула или кластер) в процессе перехода с метастабильного более высокого энергетического уровня (расплав) на более низкий уровень (кристалл) может испустить один или нескольких фотонов и таким образом освободиться от избыточной энергии.

4.2. Новый механизм

При испускании n фотонов длина волны излучения находится из следующих соотношений:

$$h\nu/n = \xi/N; \quad \lambda [\text{mkm}] = n120/\xi [\text{kJ/mole}] \quad (2)$$

Если этот подход справедлив для кристаллизации, логично было постулировать его справедливость и для других переходов первого рода, в частности, для конденсации пара. Мы назвали это излучение инфракрасным характеристическим излучением (ИКХИ) фазовых переходов первого рода.

4.3. Новый механизм

Оказалось, что для кристаллизации и конденсации всех веществ ИКХИ лежит в инфракрасной области. Мы пока не нашли ни одного исключения. Вот несколько примеров расчёта λ для однофотонного процесса по уравнению (2):

Конденсация воды: $\lambda = 2.9$ мкм

Кристаллизация воды: $\lambda = 19.6$ мкм

Кристаллизация сапфира: $\lambda = 1.1$ мкм

Кристаллизация *KBr*: $\lambda = 4.5$ мкм

5.1. Кристаллизация

В ЛФТИ им Иоффе в 1966 году на базе этих предположений автор начал эксперименты по кристаллизации веществ, **прозрачных в области рассчитанных ИКХИ**. Были выбраны ЩГК и сапфир. Первые положительные результаты были получены в 1970 году, в 1972 году эксперименты были продолжены в ГОИ и начиная с 1973 года – в ИФТТ. Наличие ИКХИ было удивительным явлением, и поэтому первая работа была принята к публикации только в 1977 году.

5.2. Кристаллизация

К настоящему времени имеются данные по регистрации ИКХИ при кристаллизации нескольких веществ и при конденсации водяного пара. В разделе 5 мы приводим данные для кристаллизации ЩГК, сапфира (Al_2O_3) и пентагидрата тиосульфата натрия $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$.

5.3. ИКХИ при кристаллизация LiF в Ar

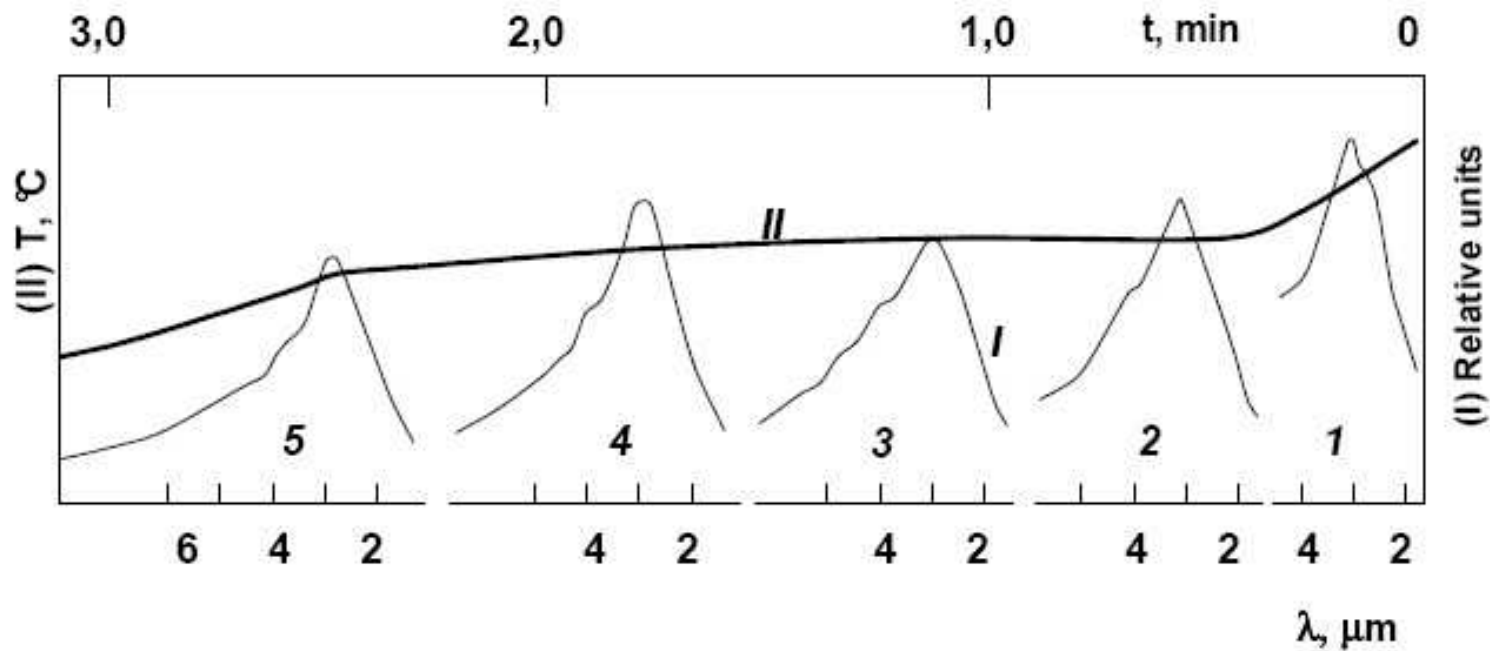
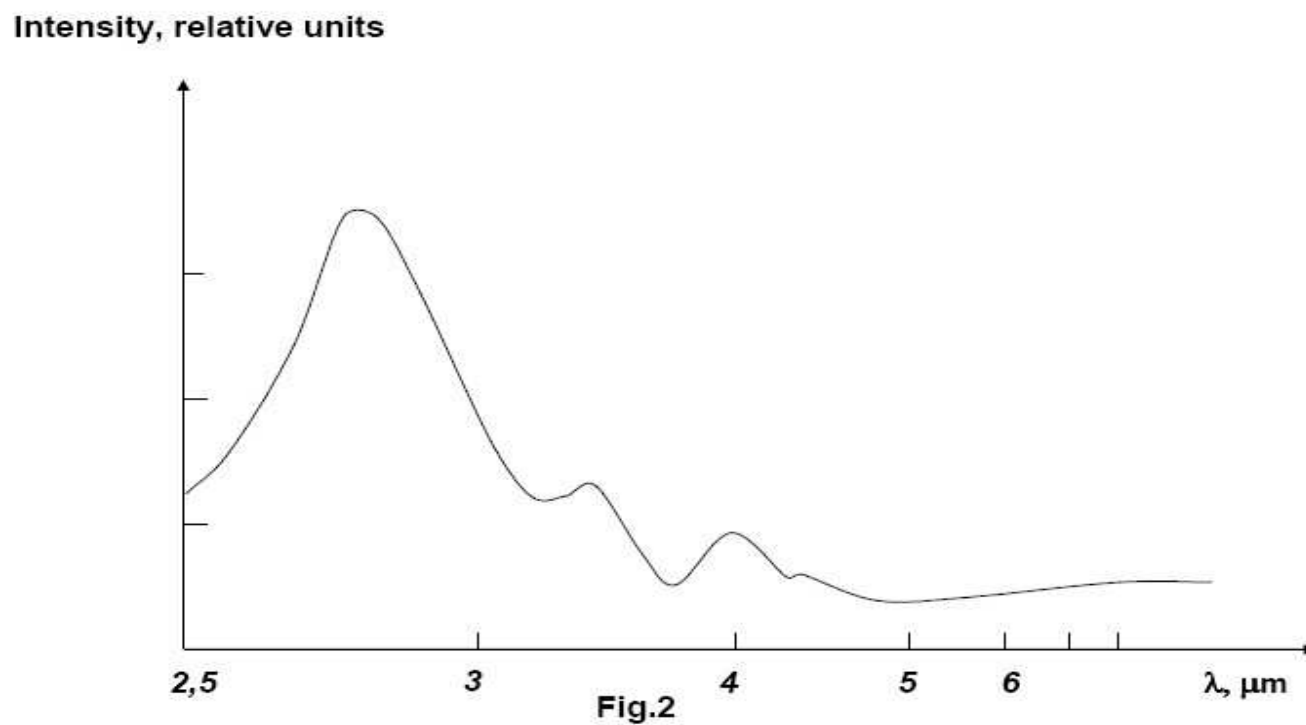


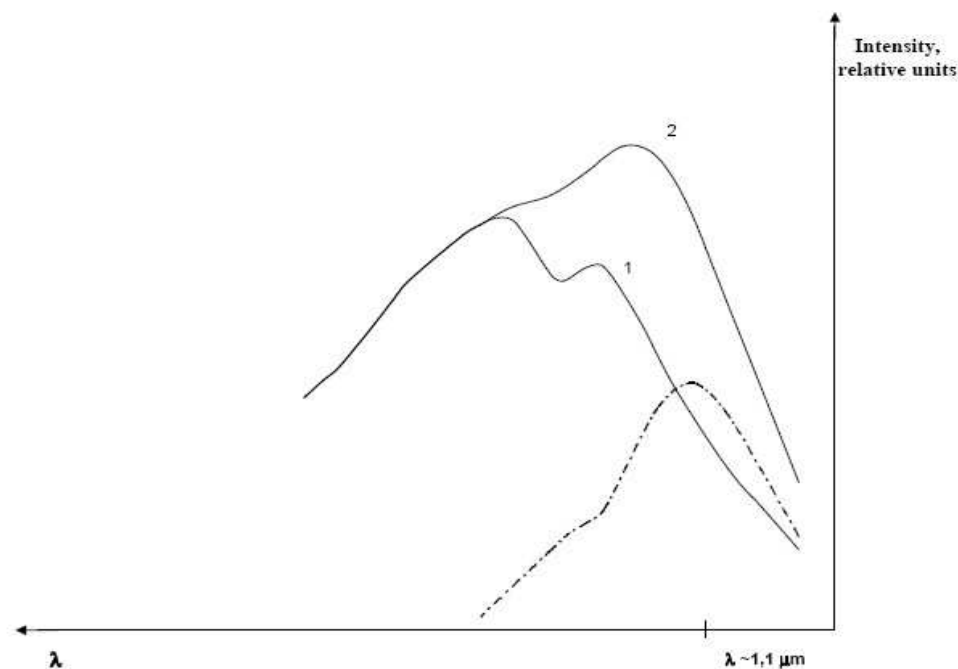
Fig. 1b

5.4. ИКХИ при кристаллизации *LiF*



$$\lambda_1 = 2.80\mu\text{m}; \lambda_2 = 3.45\mu\text{m}; \lambda_3 = 4.05\mu\text{m}; \lambda_4 = 4.35\mu\text{m}.$$

5.5. ИКХИ при кристаллизации сапфира

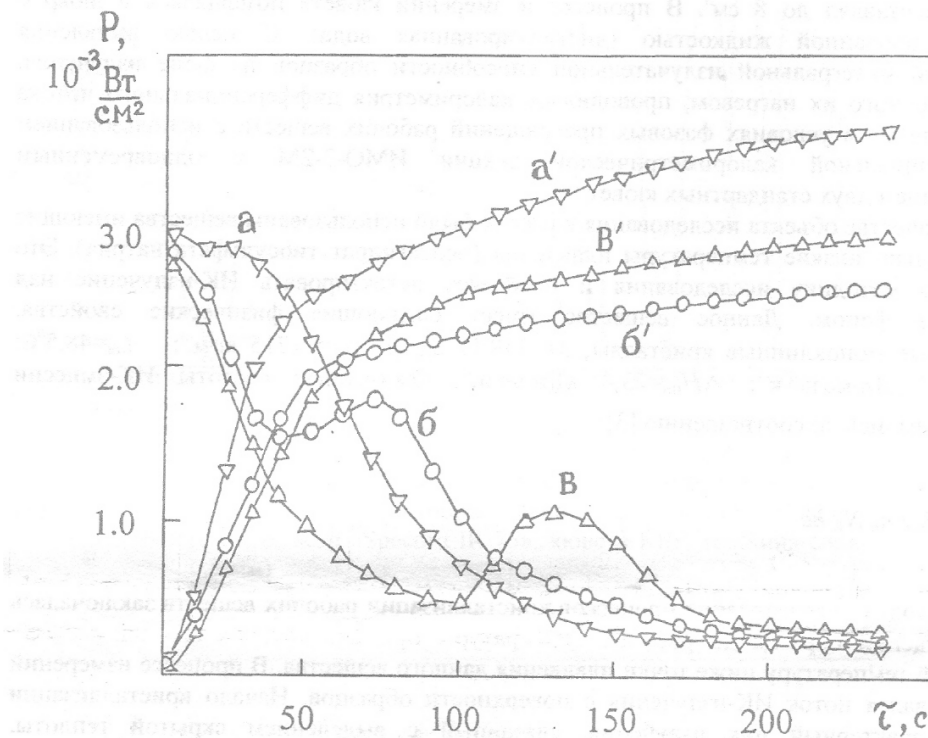


Дифференциальный спектр (штрих-пунктирная кривая).

1. Эмиссионный спектр при охлаждении сапфира, нагретого до температуры 2050°C.

2. Эмиссионный спектр кристаллизующегося расплава.

5.6. ИКХИ при кристаллизации пентагидрата тиосульфата натрия $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$



Интегральный поток ИК-излучения с поверхности образца в процессе:

a – нагрев и охлаждение с 7°C до 63°C ; б – то же с 13°C до 60°C ;

В - нагрев до 61°C переохлаждение на 15°C

6.1. ИКХИ при конденсации и кристаллизации воды

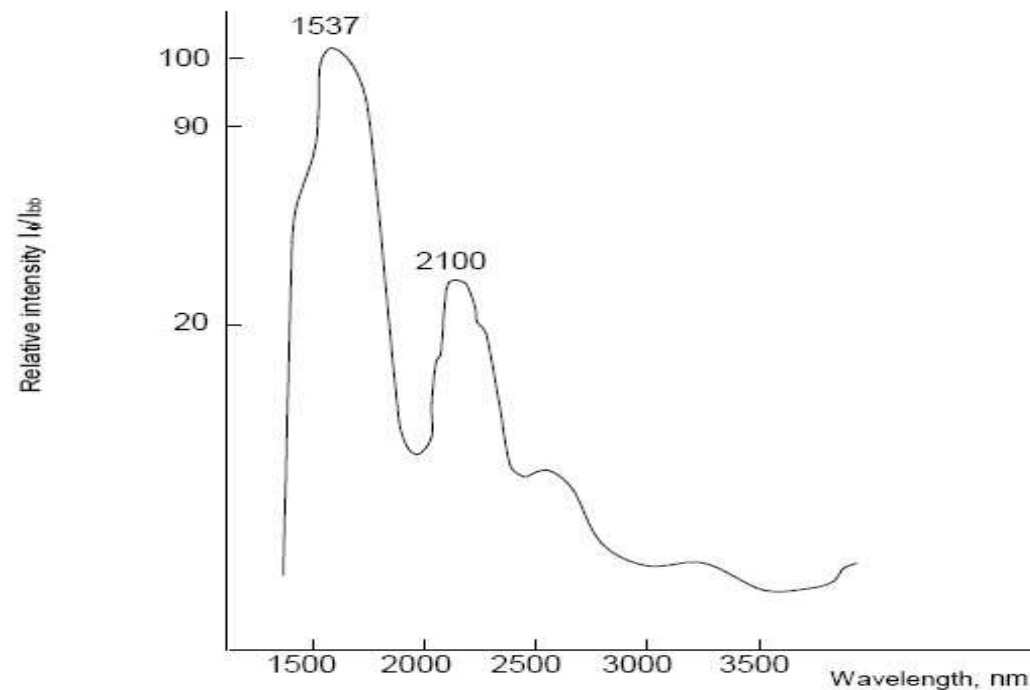
В разделе 6 мы приводим данные по регистрации ИКХИ при конденсации водяного пара и кристаллизации воды.

В 1977 году Местрешвили с соавторами наблюдал ИК – излучение при конденсации водяного пара и замерзании воды в замкнутой камере.

6.2. ИКХИ при конденсации и кристаллизации воды

С помощью набора фильтров выделялся определённый диапазон излучения. Интенсивность излучения измерялась болометром. Авторы зафиксировали в области 4 - 8 μm для первого процесса и 28 - 40 μm – для второго многократное увеличение интенсивности по сравнению с Планковским излучением, соответствующим температуре камеры.

6.3. ИКХИ при конденсации водяного пара.

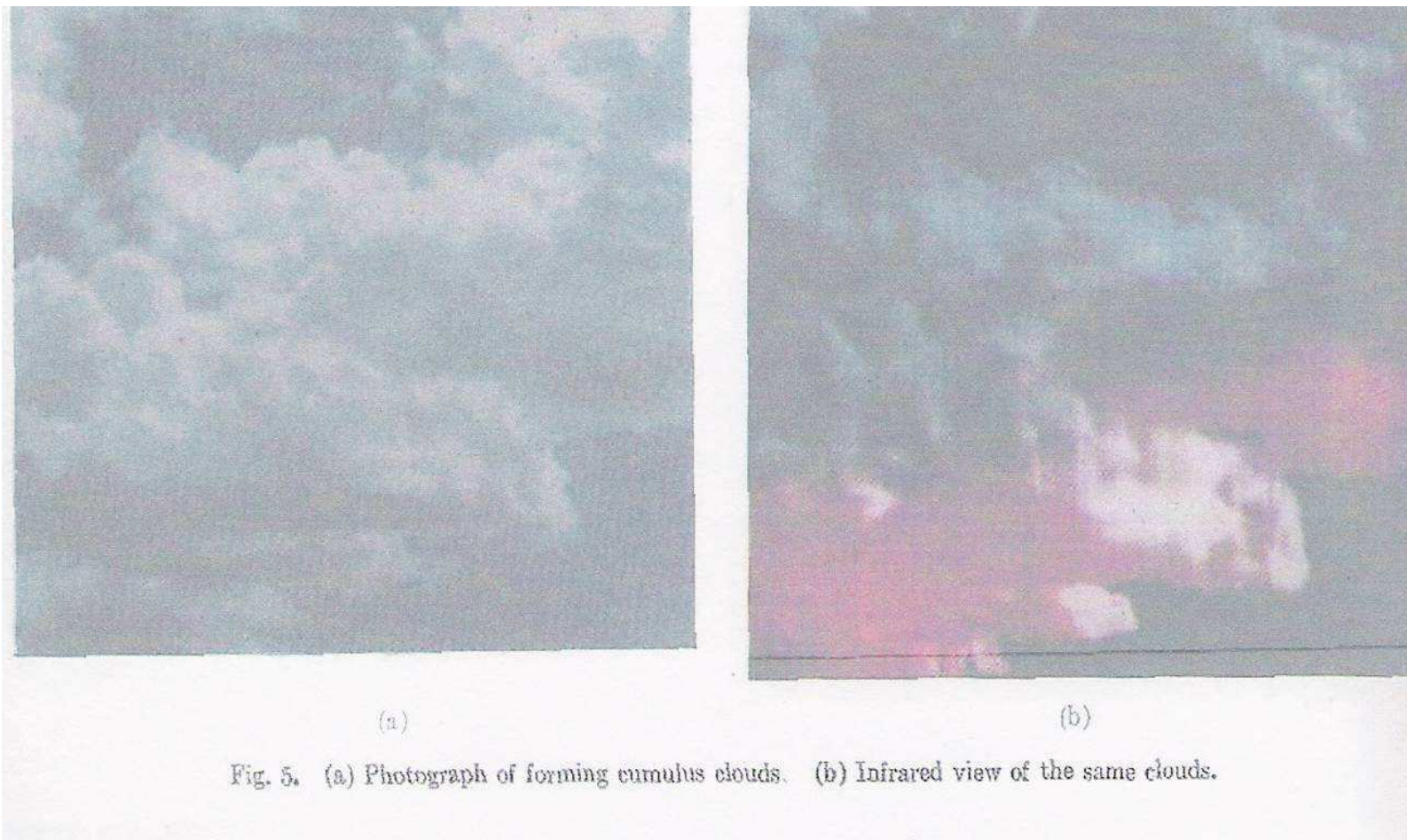


Potter W.R. and Hoffman J.G. 1968: В диапазоне 1 - 4μm интегральная интенсивность была в 4 раза выше равновесной. Интенсивность пиков 2.10μm и 1.54μm превышала равновесную в сто - двести раз.

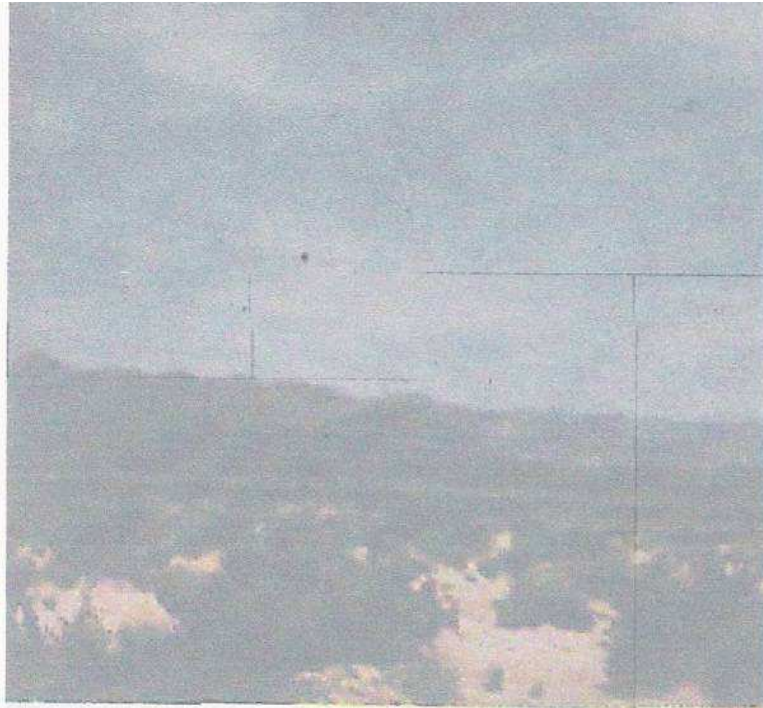
7.1. Регистрация ИК излучения в атмосфере

В разделе 7 мы приводим данные по регистрации ИК излучения в атмосфере. По нашему мнению это излучение является ИКХИ при конденсации водяного пара и замерзания воды в процессе образования облаков или тумана.

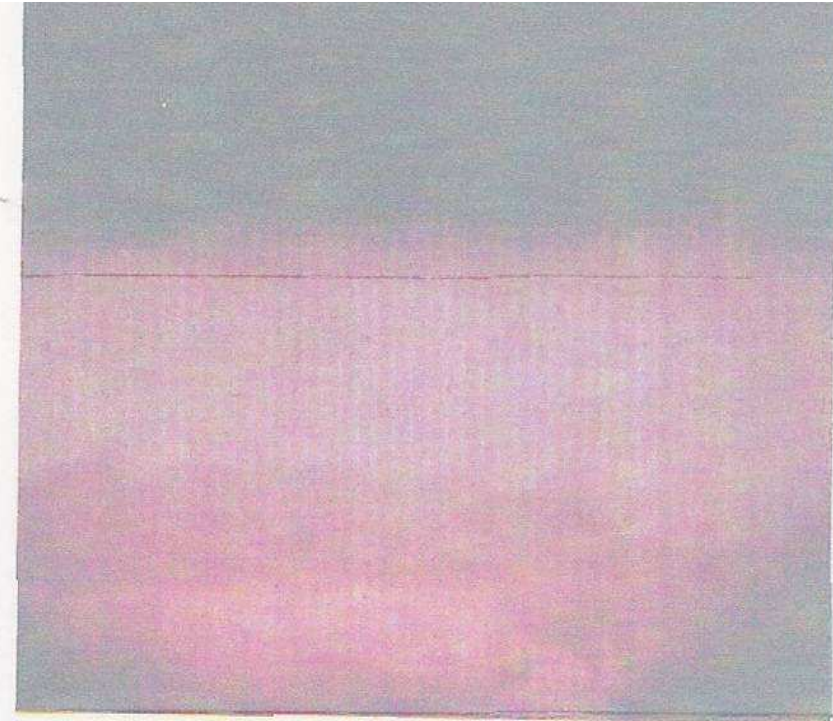
7.2. Образование кучевых облаков



7.3. Охлаждение воздуха



(a)



(b)

8. (a) Photograph taken across the desert floor on a warm and somewhat humid day. (b) The air glows incandescent in the 8-14- μ band.

7.4. ИК-излучение атмосферы.

Г.М. Бордонский с соавторами приводит 2 факта фиксации инфракрасного излучения широкополосным радиометром в диапазоне длин волн 7 – 14мкм в районе села Преображенка Читинской области на высоте порядка 1 км над уровнем моря: 1. Во время существования слабой грозовой облачности 14 июля 1987 года прибор зафиксировал импульс излучения, превышающий по мощности все возможные помехи (одна из статей).

2. 14 декабря 2006 года (сообщение 22 апреля 2008 года в докладе на XIV Международном Симпозиуме по Оптике Атмосферы и Океана).

7.5. ИК-излучение атмосферы.

Нами найдено 10 работ Н.В. Вилора с соавторами по аномальному распределению интенсивности инфракрасного излучения. В одной из наиболее интересных работ использованы данные, полученные спутниковым радиометром AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) в пяти инфракрасных каналах излучения с длинами волн в диапазонах: 1) 0.58 – 0.68 мкм, 2) 0.725 – 1.1 мкм, 3) 1.6 мкм или 3.55 – 3.95 мкм, 4) 10.3 – 11.3 мкм, 5) 11.5 – 12.5 мкм. Анализировалось изображение западной окраины Североамериканского континента. При этом сухой климат тихоокеанского побережья и низкая плотность растительности позволил исключить влияние индекса вегетации на результаты определения яркостей.

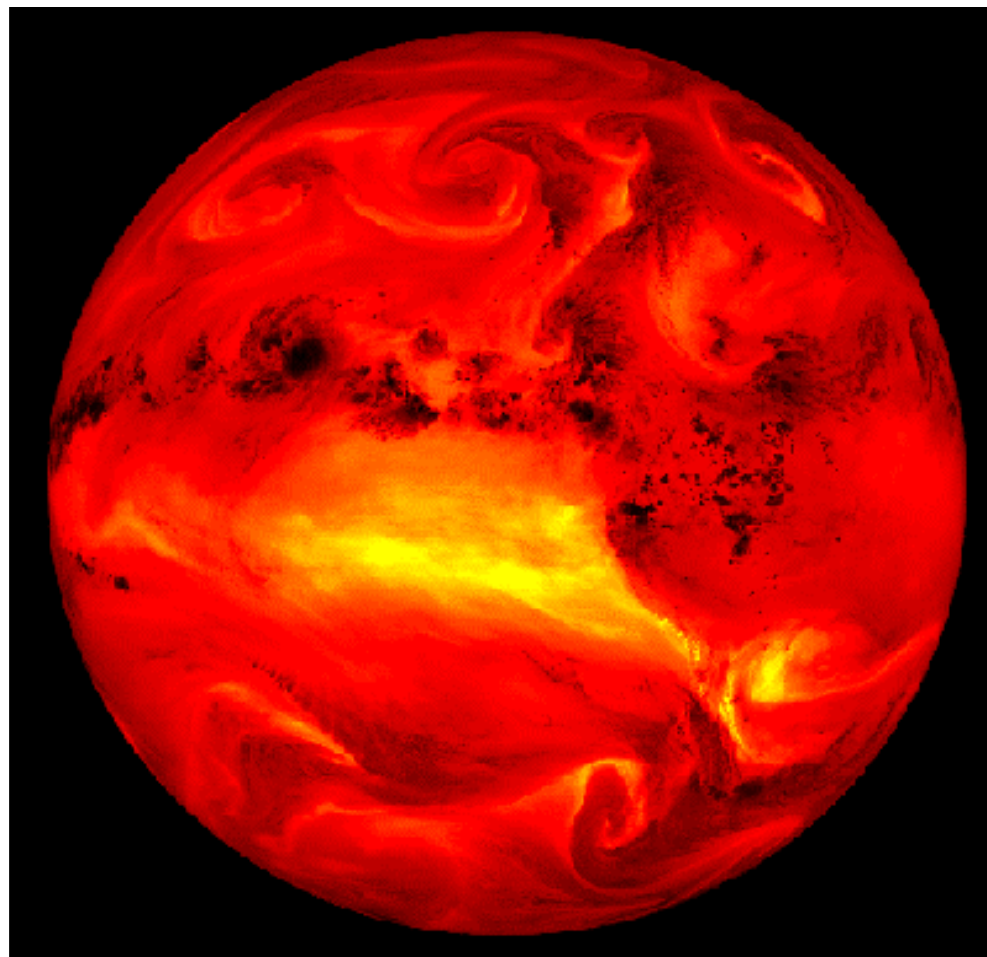
7.6. ИК-излучение атмосферы.

Оказалось, что в этом регионе зонами постоянной повышенной интенсивности являются: 1. Береговая линия океанского побережья и побережья озер, 2. Склоны хребтов с высотой более 2500м, при этом инфракрасное излучение наиболее контрастно распределяется на чередующихся хребтах и впадинах, 3. Ареальное инфракрасное излучение впадины Грейт-Велли, которое наиболее заметно в сезон выпадения атмосферных осадков.

Очень похожие картины распределения инфракрасного излучения земли, полученные ИСЗ, приводятся в других работах для южной части Восточной Сибири, для Таримской впадины в Китае, для Рейнского грабена в Западной Германии и для зон спрединга и рифтогенеза афарской депрессии в северо – восточной Африке.

7.7. Вид Земли из космоса в ИК-диапазоне

Инфракрасное изображение Земли (в искусственных) цветах передаются многоканальными камерами орбитальных геостационарных спутников контроля окружающей среды (GOES). Эти приборы получают изображение в инфракрасном излучении с длиной волны 6.7 микрон. На этом изображении яркие области на планете соответствуют высоким концентрациям водяного пара над циклонами и высокими облаками, а в тёмных областях воздух сравнительно сухой. Наиболее заметная яркая деталь - это постоянная область нисходящего потока сухого воздуха, протянувшаяся на запад в Тихий океан от побережья Перу.



8.1. Теория ИКХИ

Существование ИКХП, как неоднократно нами отмечалось, не следует из общепринятых концепций фазовых переходов. Как правило, высокотемпературная люминесценция отвергается в пользу безизлучательного фононного механизма отвода скрытой энергии фазового перехода. Приведем пример рассуждений сторонников этой точки зрения для случая кристаллизации расплава:

*Рассмотрим возбуждённую частицу вблизи границы раздела фаз. Для реализации излучательного фазового перехода необходимо, чтобы вероятность **излучения энергии** возбуждения частицей была равна или больше вероятности **преобразования этой энергии в тепло**. Но эта вероятность пренебрежительно мала.*

8.2. Теория ИКХИ

Действительно, для свободной частицы в возбуждённом состоянии оптическое время жизни (время продольной релаксации) $t_1 = 10^{-7} - 10^{-8}$ с. Для переходов в ближней инфракрасной области при температуре $T \approx 1000$ К время безизлучательной многофононной релаксации в твёрдых телах равно $t_2 \leq 10^{-9}$ с. Поэтому вероятность световой эмиссии очень мала $p \sim t_2/t_1 \ll 1$, и должен реализоваться безизлучательный переход. А для излучательного фазового перехода с вероятностью $p \sim 1$, время t_1 оптического перехода между расплавом и кристаллическим состоянием должно быть меньше или сравнимо со временем t_2 безизлучательной релаксации. По этой причине никто из оптиков даже и слышать не хотел о высокотемпературной люминесценции. Первые работы Перельмана (1971 – 2) годы об открытии новых каналов отвода энергии не изменили этого мнения.

8.3. Теория ИКХИ

Оказалось однако, что ситуация в корне меняется, если рассматривается не отдельная частица, а частица, взаимодействующая с ансамблем других частиц (по некоторым оценкам в количестве больше чем 10^5). Тогда время t_1 становится сравнимым с t_2 и возможен излучательный переход. К настоящему времени это показано в нескольких работах (Саль - Смирнов 2000год, Перельман – Татарченко 2007, 2008). В первой работе использована недавно разработанная теория сверхизлучения. Мы использовали теорию переходных излучений, разработанную Гинзбургом – книга Гинзбурга и Цитовича « Переходное излучение и переходное рассеяние». Кстати, излучение Вавилова – Черенкова также относится к классу переходных излучений.

8.4. Теория ИКХИ

В наших работах для энергии ИКХИ получено выражение, которое эквивалентно универсальному выражению для скрытой энергии образования конденсированной фазы: $\xi/T = 3\pi R = 78.2 \text{ J/mol K}$ (3)

Здесь ξ есть скрытая энергия образования одного моля конденсированной фазы, T – температура фазового перехода, R – универсальная газовая постоянная. Формула (3) доказывает универсальность корреляции между энергией образования конденсированной фазы для дипольных частиц и температурой фазового перехода.

8.5. Теория ИКХИ

Этот результат является теоретическим обоснованием правила Трутона, связывающего температуру и скрытую теплоту фазового перехода. Правило Трутона, полученное эмпирически много лет назад, с успехом использовалось с тех пор. Формула (3), применимость которой подтверждена для многих сотен веществ, может служить доказательством существования ИКХИ даже без прямой проверки.

9.1. Обсуждение

Проанализируем основные типы фазовых переходов для воды, обратив основное внимание на переходы, реализуемые в атмосфере. Во-первых, это конденсация водяного пара; во-вторых, замерзание образовавшихся капель; в-третьих, прямое осаждение водяного пара с образованием кристаллов.

9.2. Обсуждение

Очевидно, что первый процесс связан с образованием дождевых облаков, второй – с образованием града и третий – снега. Каждый из этих трёх фазовых переходов должен дать свой характеристический спектр. Обозначим $\lambda^{(C)}$ длину волны излучения, испускаемого при конденсации, $\lambda^{(F)}$ – при замерзании и $\lambda^{(D)}$ – при осаждении.

9.3. Обсуждение

При нормальном давлении длины волн характеристического излучения для однофотонного процесса в соответствии с формулой (2), будут следующими:

$$\lambda_1^{(C)} = 2.90 \text{ мкм};$$

$$\lambda_1^{(F)} = 19.62 \text{ мкм};$$

$$\lambda_1^{(D)} = 2.53 \text{ мкм}.$$

9.4. Обсуждение

Аналогично, при нормальном давлении длины волн характеристического излучения для двухфотонного процесса в соответствии с формулой (2), будут следующими:

$$\lambda_2^{(C)} = 5.80 \text{ мкм};$$

$$\lambda_2^{(F)} = 39.24 \text{ мкм};$$

$$\lambda_2^{(D)} = 5.06 \text{ мкм}.$$

9.5. Обсуждение

Для двухфотонных процессов Допплеровский эффект даёт следующее уширение линий:

$$\lambda_2^{(C)} = 5.2 - 6.4 \text{ мкм};$$

$$\lambda_2^{(F)} = 34 - 42 \text{ мкм};$$

$$\lambda_2^{(D)} = 4.5 - 5.7 \text{ мкм}.$$

Образование кластеров в прцессе фазового перехода должно сопровождаться появлением соответствующих гармоник в ИКХИ.

9.6. Обсуждение

При конденсации водяного пара на большой высоте (с понижением давления) излучение должно смещаться в длинноволновую область. Поэтому нам представляется естественным, что наблюдения из космоса позволяют фиксировать конденсацию пара на больших высотах при $\lambda_2 = 6.7$ мкм. Наблюдения с земли (и из космоса – конденсации на небольшой высоте) в окне прозрачности атмосферы (8 – 14 мкм) не позволяют фиксировать максимум излучения а только его хвост.

9.7. Обсуждение

Из теории и из прямых экспериментов по конденсации следует, что спектр ИКХИ может быть сложным и содержать как основную частоту так и гармоники. Появлению гармоник соответствует предварительное образование кластеров.

Все экспериментальные данные находят своё объяснение в теории. Что касается источников ИК-излучения в атмосфере, многие из них могут быть сопоставлены с образованием тумана или облачности. **Очень важным нам представляется соображение о том, что пересыщенная среда (расплав или пар) может усиливать ИКХИ и быть для него прозрачной.**

К сожалению, из опубликованных теоретических работ не следует, какая часть энергии фазового перехода будет выделяться в виде излучения. Это требует проведения экспериментов.

10.1. Перспективы

10.1. Излучение может быть использовано для аккумуляции энергии в атмосфере. Фактически это будет означать, что к трём существующим источникам экологически чистой энергии (энергии солнца, ветра и падающей воды) добавляется четвёртый – энергия ИК-излучения при образовании тумана и облаков в атмосфере.

10.2. Перспективы

10.2. ИКХИ, зарегистрированное при образовании облаков и в особенности штормовых облаков, может быть использовано для определения особенностей процесса и штормовых предупреждений.

10.3. Это один из возможных каналов охлаждения земной атмосферы, поэтому его следует учитывать при всех энергетических расчётах в атмосфере;

10.3. Перспективы

10.4. Это излучение может объяснить инфракрасную радиацию и красный цвет некоторых планет, например Юпитера.

11.1. Предложения по экспериментам

По нашему мнению, в первую очередь следует провести лабораторные эксперименты по анализу спектрального состава ИКХИ конденсации водяного пара и кристаллизации воды при разных давлениях и температурах, реализуемых в атмосфере. Существующие данные говорят о том, что ИКХИ должно быть довольно сложным по составу. Это не исключает, однако, возможности проведения экспериментов по усилению ИКХИ в пересыщенном паре а также попыток создания лазера на этой основе.

12.1. Заключение

ИКХИ фазовых переходов первого рода существует, и его следует учитывать при анализе атмосферных процессов .