

Нижегородские физики поняли причину избыточного поглощения энергии водяным паром



Впервые предложен и обоснован физический механизм, объясняющий суперлоренцево поведение крыльев молекулярных спектральных линий при больших отстройках от центра. Предложенный механизм дополняет традиционные бимолекулярные механизмы поглощения излучения в газах и, в частности, позволяет непротиворечиво интерпретировать наблюдаемый континуум водяного пара в спектральных областях, соответствующих чисто вращательным переходам и фундаментальным колебаниям молекулы H₂O.
Авторы: Семенов В.Е., Третьяков М.Ю., Серов Е.А., Одинцова Т.А.

Водяной пар сильно поглощает электромагнитные волны в диапазоне от радио до ультрафиолета. Это делает его основным парниковым газом атмосферы, а значит фактором, оказывающим значительное влияние на климат Земли.

Энергия излучения, поглощаемая молекулами воды, расходуется в основном на возбуждение колебаний в молекулярной структуре и на ее вращение. Поглощение происходит на строго определенных частотах, густо рассеянных по всему спектральному диапазону. Это резонансные линии поглощения. Они видны даже в спектре солнечного света. Еще в начале прошлого века было обнаружено, что в водяном паре кроме дискретных резонансных линий наблюдается непрерывное, плавно меняющееся с частотой поглощение, которое выглядит как подставка под линиями. Его назвали континуумом. Величина и физическая природа континуума продолжают активно дискутироваться научным сообществом. Вплоть до настоящего времени «противоборствуют» два подхода. Сторонники первого подхода относят континуум к поглощению одновременно в двух молекулах воды «слипшихся» при столкновении (в димерах воды). Последователи второго считают, что никаких димеров нет, а дело в том, что форма линий одиночных молекул (мономеров) при больших отстройках от центра резонанса не соответствует существующим моделям, и континуум возникает, как совокупный вклад дальних крыльев линий.

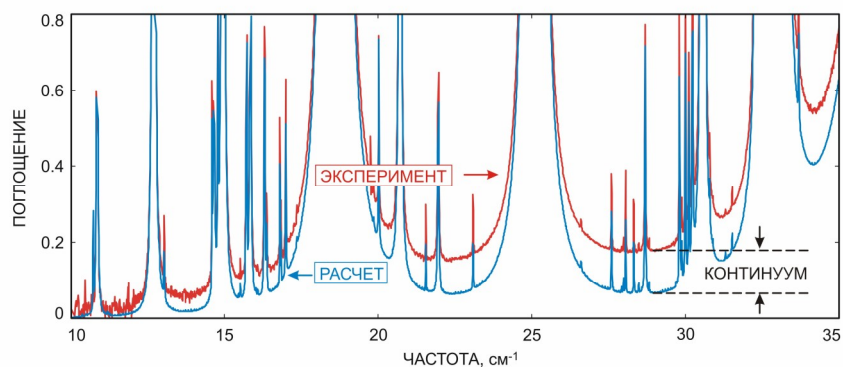
В пользу первого подхода свидетельствует прямое экспериментальное обнаружение димеров по их характерному спектру. Раскручивание двойных молекул воды при поглощении миллиметровых волн приводит к тому, что в спектре наблюдается *эквилибриальная последовательность пиков*, продолжением которой является широкий пик в диапазоне длин волн около 0.5 мм, который тоже был недавно нами обнаружен.

На основе второго подхода построены эмпирические модели, которые продолжают совершенствоваться и более-менее правдоподобно описывать экспериментальные данные о континууме. Их используют во всех современных моделях распространения излучения в атмосфере. Поглощение в крыльях линий приходится при этом увеличивать до 10 раз по сравнению с классическими моделями. Авторы моделей признают, что физический механизм, объясняющий такое поведение крыльев, неизвестен.

Проблема сдвинулась с «мертвой точки», когда мы решили проанализировать спектр континуума в диапазоне наиболее интенсивной спектральной полосы водяного пара, соответствующей вращательным резонансным линиям. Этот спектр ранее не изучался, поскольку он расположен в труднодоступном для спектроскопии дальнем ИК диапазоне. Исследование удалось осуществить в лаборатории при синхротроне SOLEIL, мощное излучение которого пропускалось через водяной пар на трассе длиной более 150 метров, что и позволило зарегистрировать слабое континуальное поглощение в широком диапазоне частот. Анализ полученного спектра, показал, что ни один из подходов сам по себе не позволяет объяснить наблюдаемый континуум. Крылья линий мономеров не складываются в нужную форму спектра, а максимально возможного количества димеров, которые могли образоваться в условиях нашего эксперимента, не хватает, чтобы объяснить его амплитуду. Это подтолкнуло нас к необходимости «примирения противоборствующих сторон» - к разработке нового подхода, в котором и димеры, и дальние крылья линий мономеров вносят свои вклады. Нашелся и физический механизм, позволяющий обосновать «завышенное» поглощение в области дальних крыльев линий. Он связан с вращением молекул. Если считать, что вращение при столкновении обрывается мгновенно, как было бы для молекул-шариков идеального газа, то дальше крыло линии спадает квадратично с ростом частоты отстройки. Очевидно, что при столкновении реальных молекул, имеющих определенную структуру, окруженную электрическим полем, вращение будет тормозиться плавно (монотонно), в течение некоторого конечного времени. Это приведет к более быстрому

(экспоненциальному) спаданию дальнего крыла линии. Но если за время торможения молекула успеет сделать несколько оборотов, то торможение получается уже немонотонным. Это приводит к возникновению небольшого пика в крыле линии на отстройке от центра, равной характерной частоте этой немонотонности. Ширина пика обратно пропорциональна времени торможения. Соответствующего подъема крыла линии оказывается достаточным для объяснения избыточного поглощения.

Полученный результат свидетельствует о необходимости переработки существующих моделей распространения излучения в атмосфере, что позволит продвигаться к правильному пониманию и предсказанию происходящих климатических изменений.



М.Ю. Третьяков, зав. отделом микроволновой спектроскопии ИПФ РАН (<http://www.mwl.sci-nnov.ru/tretyakov.html>);

Т. А. Одинцова, мл. научный сотрудник отдела (<http://www.mwl.sci-nnov.ru/odintsova.html>)