

СОВЕЩАНИЯ И КОНФЕРЕНЦИИ

53(048)

**НАУЧНАЯ СЕССИЯ ОТДЕЛЕНИЯ ОБЩЕЙ ФИЗИКИ
И АСТРОНОМИИ АКАДЕМИИ НАУК СССР
(27 сентября 1973 г.)**

27 сентября 1973 г. в конференц-зале Института физических проблем АН СССР состоялась научная сессия Отделения общей физики и астрономии АН СССР. На сессии были заслушаны доклады:

1. Т. П. Беликова, Э. А. Свириденков, А. Ф. Сучков. Суперчувствительная скоростная лазерная спектроскопия радикалов и молекул.

2. И. М. Подгорный, Э. М. Дубинин, Ю. Н. Потанин. Исследование высыпания частиц и образования радиационного пояса в экспериментах с терреллой.

Ниже публикуется краткое содержание прочитанных докладов.

535.34(048)

Т. П. Беликова, Э. А. Свириденков, А. Ф. Сучков. Суперчувствительная скоростная лазерная спектроскопия радикалов и молекул. Применение лазеров в спектроскопии позволило резко повысить разрешающую способность по частоте и по времени, достижимую в спектральных исследованиях. В докладе сообщается о новом методе лазерной спектроскопии, позволяющем резко (на 5—6 порядков) повысить чувствительность абсорбционной спектроскопии.

Экспериментально удается получать спектры поглощения (усиления) газов с коэффициентами поглощения $\leq 10^{-7}$ см⁻¹. В абсорбционной спектроскопии для исследования слабых поглощений применяются многоходовые кюветы с длиной оптического пути в несколько километров. Ограничение на оптическую длину пути света в таких кюветах накладывают сложность конструкции кювет с большими линейными размерами и потери при отражении на зеркалах. Реально достигнута длина оптического пути ~ 50 км при длине кюветы ≈ 1 км.

Предлагаемый метод позволит достигать длины оптического пути $\sim 10^6$ км при длине кюветы в несколько десятков сантиметров. В этом случае в качестве многоходовой кюветы используется резонатор оптического квантового генератора. Усиление активного вещества внутри резонатора компенсирует потери на зеркалах резонатора и позволяет свету генерации, многократно отражаясь, проходить большой эффективный путь в исследуемом веществе. При этом в спектре генерации проявятся даже чрезвычайно слабые линии поглощения. Активная среда генератора в этом случае является источником света и служит для компенсации потерь. Для того чтобы спектр поглощения вещества, помещенного внутрь резонатора, не искажался свойствами генератора, необходимо, чтобы усиление активной среды на всех частотах генерации оставалось постоянным, а в отсутствие вещества была бы постоянной интенсивность излучения на всех частотах.

Теоретическое рассмотрение ¹ показывает, что постоянным по частоте коэффициентом усиления в процессе генерации обладают активные вещества с неоднородно уширенной полосой усиления. Если в резонаторе такого генератора находится среда, имеющая на частоте ω_0 линию поглощения с коэффициентом поглощения $\Delta k(\omega)$ и шириной $\Delta\omega$, то относительное изменение интенсивности генерации $\frac{\Delta I(\omega)}{I_{cp}}$ на частоте ω_0 составит величину

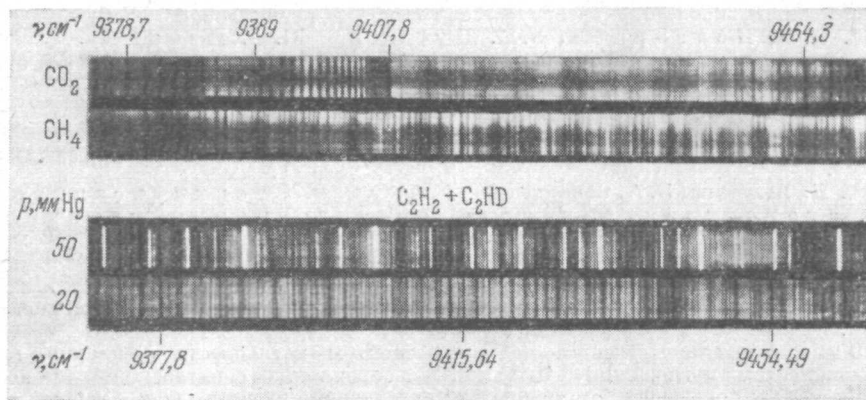
$$\frac{\Delta I(\omega)}{I_{cp}} \sim \frac{\Delta k(\omega) L}{\alpha} (\beta + \eta e^{-2\pi\gamma/\Delta\omega})^{-1}, \quad (1)$$

где L — длина резонатора, α — не зависящие от частоты потери излучения в резонаторе на один проход, β — отношение мощности спонтанного излучения к мощности генерируемого излучения в один тип колебаний резонатора лазера, η — превышение мощности накачки над порогом, γ — величина однородного уширения рабочего перехода в активной среде лазера.

Наиболее типичным лазером с неоднородно уширенной полосой усиления является лазер, в котором активной средой служит стекло с примесью Nd^{3+} . Если в выражение (1) подставить обычные параметры такого лазера ($L \sim 10^2$ см, $\alpha \approx 0,1$, $\beta \sim 10^{-4}$ — 10^{-6} , $\eta \sim 1$, $\gamma \approx 20$ см $^{-1}$), то видно, что с его помощью можно зарегистрировать линии поглощения газа, помещенного в резонатор с коэффициентом поглощения $\Delta k \sim 10^{-7}$ — 10^{-9} см $^{-1}$, если ширина линии поглощения $\Delta\omega \sim 0,1$ см $^{-1}$.

Такая высокая чувствительность позволяет обнаруживать очень слабые линии поглощения, но в то же время требует особой тщательности в проведении экспериментов. В спектре генерации лазера могут появляться линии, обусловленные поглощением не только в исследуемом веществе, но и в неконтролируемых примесях, а также интерференционными эффектами при отражении в рассеянии света элементами резонатора. Именно эти эффекты приводят к тому, что спектр генерации неодимового лазера обычно обладает случайной, невоспроизводимой структурой. В работах некоторых авторов указывалось, что линейчатая структура спектров генерации является принципиальным свойством лазеров на стекле с Nd^{3+} .

Нам удалось получить бесструктурный спектр генерации при тщательном устранении неконтролируемых частотно-зависимых потерь в резонаторе. Для достижения



гладкого спектра необходимо, чтобы в резонатор за счет дифракции на микронеоднородностях, пылинках или при отражении от задних поверхностей попадало не более $\approx 10^{-8}$ части падающей энергии.

Из резонатора были устранены все селективирующие элементы, зеркала нанесены на подложки толщиной 3 см со скосом задней поверхности 10° . Стержень из стекла с Nd^{3+} был срезан под углом Брюстера, один его торец являлся окном кюветы, вторым окном служило выходное зеркало резонатора. При введении в кювету исследуемых газов были получены их спектры поглощения в области генерации Nd^{3+} (9360—9460 см $^{-1}$) с коэффициентами поглощения 10^{-3} — 10^{-7} см $^{-1}$. Примеры некоторых спектров поглощения приведены на рисунке.

Высокая чувствительность предлагаемого метода позволяет обходиться микроколичествами исследуемых веществ, что важно при изучении изотопозамещенных соединений (на рисунке приведен спектр $\text{C}_2\text{H}_2 + \text{C}_2\text{HD}$).

Предложенный метод найдет применение для моделирования оптических свойств атмосфер планет и межзвездного газа, для исследования загрязнений атмосферы, в аналитической химии газов. Предельная достижимая чувствительность составляет 10^{-11} см $^{-1}$, что соответствует концентрации молекул ~ 10 см $^{-3}$.

Высокая интенсивность излучения лазера позволяет получать спектры поглощения за очень короткие времена. Быстродействие метода ограничивается скоростью распространения света, т. е. временем, за которое свет проходит эффективную толщину поглощающего слоя $\tau = L_{\text{эфф}}/c$. Для исследования спектров поглощения с $\Delta k \sim 10^{-3}$ — 10^{-7} см $^{-1}$ необходимо время $\tau \sim 10^{-7}$ — 10^{-3} сек. Это позволяет использовать метод при изучении нестационарных процессов в химии, промежуточных продуктов химических реакций: радикалов, возбужденных состояний молекул.

Интересно отметить, что имеется возможность регистрировать не только слабые линии поглощения, но и усиление в возбужденных молекулах. На рисунке видны линии усиления радикалов CN , образованных при фотолизе смеси $\text{C}_2\text{H}_2 + \text{C}_2\text{HD}$.

Применение лазеров на органических красителях позволяет использовать этот метод практически во всей области видимого и ближнего инфракрасного света.

ЛИТЕРАТУРА

1. Т. П. Беликова, Э. А. Свириденков, А. Ф. Сучков, Л. В. Титова, С. С. Чурилов, ЖЭТФ 62, 2060 (1972).
2. В. С. Машкевич, ЖЭТФ 53, 1008 (1977); В. И. Малышев, А. В. Масалов, А. А. Сычев, Письма ЖЭТФ 11, 324 (1970).

550.388(048)

И. М. Подгорный, Э. М. Дубинин, Ю. Н. Потанин. Исследование высыпания частиц и образования радиационного пояса в экспериментах с терреллой. Ранее было показано ^{1, 2}, что, несмотря на невозможность воспроизвести в лаборатории полную картину взаимодействия солнечного ветра с магнитным полем Земли, ряд наиболее важных явлений может быть исследован в модельных экспериментах. Для выбора условий эксперимента использовался принцип ограниченного моделирования: хотя безразмерные параметры, определяющие протекание исследуемого явления, несколько отличались от их значений в космосе, это не могло привести к существенным различиям. При скорости искусственного солнечного ветра $v = 3 \cdot 10^7$ см/сек, концентрации $n = 10^{13}$ см⁻³, температуре электронов $T_e = 15-20$ эв и в замороженном в плазму поле $B = 30$ гс взаимодействие потока плазмы с магнитным полем диполя привело к образованию

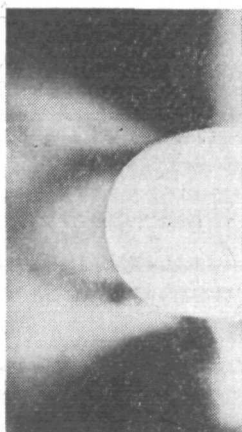


Рис. 1. Почернение пленки, помещенной в меридианальной плоскости на дневной стороне. Отчетливо видны прорывы частиц через полярные щели и радиационный пояс.

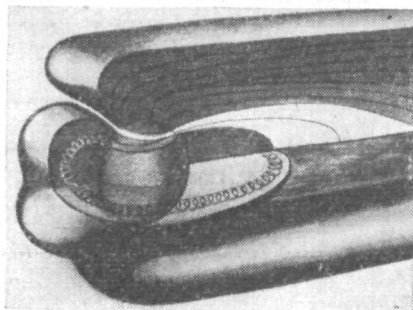


Рис. 2. Модель магнитосферы.

магнитосферы с магнитным хвостом и другими особенностями, присущими магнитосфере Земли. На дневной стороне была зарегистрирована бесстолкновительная ударная волна, спектр микрофлуктуаций в которой совпадает со спектром, измеренным в условиях космоса ².

Полученная в модельном эксперименте магнитосфера была использована для изучения внедрения быстрых частиц в магнитное поле Земли и их высыпания в верхние слои атмосферы. В искусственный солнечный ветер было введено небольшое количество ($n \cdot 10^{-4}$) быстрых электронов; пути их внедрения в магнитосферу и попадания на поверхность терреллы исследовались в основном рентгеновскими фотопленками. При экспонировании пленки, помещенной в плоскости оси диполя и скорости невозмущенного потока плазмы, отчетливо видно проникновение плазмы в районе так называемых нейтральных точек на дневной стороне. Внедрение на ночной стороне происходит на более низких широтах. Измерения показали, что области внедрения на дневной и ночной сторонах связаны между собой. Они представляют собой щель, опоясывающую терреллу и заключенную между силовыми линиями замкнутой магнитосферы

и линиями, уходящими в магнитный хвост. Имеются две такие полярные щели — северная и южная. Внедрение быстрых частиц в эти щели обеспечивает их высыпание на поверхность терреллы, именно в том месте, где согласно данным Брайса и Хартца должна наблюдаться высокоширотная зона полярных сияний. Другая, низкоширотная зона высыпания также наблюдается в модельном эксперименте. Ее происхождение связано с частицами, захваченными в магнитном поле и дрейфующими вокруг осп терреллы. Иными словами, в модельном эксперименте был обнаружен радиационный пояс и показано, что уход из него частиц и является тем механизмом, который образует низкоширотную зону полярных сияний (рис. 1).

Эксперименты, проведенные с перегородками, показали, что наполнение радиационного пояса происходит на ночной стороне. Силовые линии на границе магнитосферы увлекаются потоком плазмы и конвектируют на ночную сторону. Аномальная проводимость, возникающая из-за взаимодействия встречных потоков, по-видимому, позволяет силовым линиям погружаться в магнитосферу; при этом захватывается некоторое количество быстрых частиц, питающих радиационный пояс.

Свидетельством сильного взаимодействия, приводящего к конвекции силовых линий, является также образование на дневной стороне экваториальной щели, которая на ночной стороне переходит в плазменный слой хвоста магнитосферы. Модель магнитосферы, вытекающая из данных лабораторных экспериментов, показана на рис. 2. Результаты исследования содержатся в работах ³.

ЛИТЕРАТУРА

1. И. М. Подгорный, Р. З. Сагдеев, УФН 98, 109 (1969); I. M. Podgorny, Y. V. Andrianov, E. M. Dubinin, *Astrophys. and Space Sci.* 12, 31 (1973).
2. Э. М. Дубинин, Г. Г. Манагадзе, И. М. Подгорный, *Косм. исслед.* 9, 91 (1971).
3. И. М. Подгорный, Э. М. Дубинин, Ю. Н. Потанин, V Ленинградский международный семинар. Материалы международного семинара «Солнечные космические лучи и их проникновение в магнитосферу Земли» (26-29 июня 1973 г.), Л., Изд. ФТИ АН СССР, 1973, стр. 327; E. M. Dubinin, I. M. Podgorny, *J. Geophys. Res.* (1974).