

НАУЧНАЯ СЕССИЯ ОТДЕЛЕНИЯ ОБЩЕЙ ФИЗИКИ И АСТРОНОМИИ АКАДЕМИИ НАУК СССР (19 — 20 декабря 1973 г.)

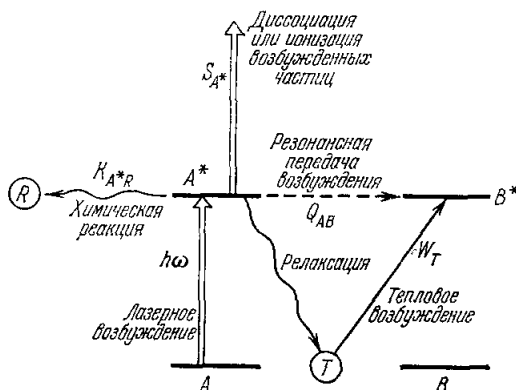
19 и 20 декабря 1973 г. в конференц-зале Физического института им. П. Н. Лебедева АН СССР состоялась научная сессия Отделения общей физики и астрономии АН СССР. На заседании были заслушаны доклады:

1. З. Р. Мустель. Вспышки сверхновых звезд и преобразования элементов.
2. Ю. Н. Ефремов, С. Б. Новиков, П. В. Щеглов. Развитие наземной оптической астрономии и ее перспективы *).
3. В. С. Летохов. Селективное воздействие лазерным излучением на вещество.
4. Д. Н. Мирлин. Оптические исследования поверхностных колебаний в ионных диэлектриках и полупроводниках.
5. Г. А. Аскарьян, В. А. Намиот, М. С. Рабинович. Использование сверхсжатия вещества светореактивным давлением для получения микрокритических масс делящихся элементов, сверхсильных магнитных полей и ускорения частиц.

Ниже публикуется краткое содержание трех докладов.

541.124.2(048)

В. С. Летохов. Селективное воздействие лазерным излучением на вещество. Достигнутый в последние годы прогресс в расширении области длин волн лазеров, в развитии методов перестройки и контроля частоты генерации лазеров позволил приступить к систематическому исследованию возможности управления селективными химическими реакциями лазерным излучением. Эта



Классификация процессов, вызывающих сохранение селективности (быстрая химическая реакция, фотодиссоциация или фотоионизация возбужденных частиц) и потерю селективности (тепловое возбуждение и резонансная передача возбуждения).

молекул А и В имеют хотя бы одну несовпадающую линию поглощения, принадлежащую молекуле А, ее можно использовать для селективного возбуждения только молекул А лазерным излучением соответствующей длины волны (см. рисунок). Селективно возбужденные молекулы А* могут, во-первых, вступить в химическую реакцию с некоторым акцептором R с большей скоростью, чем невозбужденные молекулы А и В. Во-вторых, возбужденные молекулы обладают меньшей, чем невозбужденные молекулы А и В, энергией диссоциации или ионизации, что также может быть использовано для селективного воздействия лазерным излучением на вещество.

проблема имеет фундаментальное значение для использования когерентного света в химии, особенно в фотохимии, и ядерной химии и, возможно, в биологии, медицине и др. областях. Общая идея заключается в том, чтобы использовать различие в спектрах поглощения веществ не для анализа их состава и структуры, а для селективного воздействия на них с целью изменения их состава и свойств. Общая постановка проблемы дана в работе ¹.

Рассматривается смесь молекул (атомов) А и В с очень близкими химическими свойствами, и задача состоит в том, чтобы достигнуть преимущественного участия, скажем, молекул А в химической реакции. В качестве коэффициента селективности можно взять отношение числа прореагировавших молекул А к числу молекул В при равных их исходных концентрациях: $S = (N_A)/(N_B)$ — 1. При отсутствии селективности $S = 0$, высокой селективности отвечает $S \gg 1$. Если спектры поглощения

*) В одном из следующих номеров УФН редакция предполагает опубликовать статью данных авторов, отражающую текст прочитанного доклада.

Имеются два механизма потери селективности возбуждения. Во-первых, из-за релаксации возбуждения может происходить нагрев смеси газов и последующее тепловое (неселективное) возбуждение молекул обоих сортов. Этот механизм проявляется, в частности, при возбуждении колебательных уровней молекул. Во-вторых, происходит довольно быстрая резонансная передача возбуждения между молекулами (атомами) A^* и B . Для осуществления селективного воздействия на молекулы A необходимо, чтобы скорость процессов сохранения селективности (быстрая химическая реакция, диссоциация возбужденных молекул) значительно превышала скорость процессов потери селективности. Идея о возможности селективных реакций при возбуждении частиц определенного сорта монохроматическим излучением была высказана 50 лет назад ². В 30-х годах было выполнено несколько успешных экспериментов ³. С появлением лазеров эта идея, естественно, снова возродилась ⁴. Однако высокая интенсивность лазерного излучения позволяет осуществить селективную фотоионизацию возбужденных атомов ^{5, 6} или фотодиссоциацию возбужденных молекул ^{5, 6} гораздо быстрее, чем происходит потеря селективности из-за столкновительных процессов. В ряде случаев это принципиально важно для сохранения селективности, так как скорость химической реакции возбужденных частиц, как и скорость различных процессов потери селективности, пропорциональна числу столкновений.

В докладе приведены результаты экспериментального исследования теплового механизма потери селективности при возбуждении колебательных уровней молекулы NH_3 излучением CO_2 -лазера в непрерывном и импульсном режимах ⁷, а также скорости колебательно-колебательного обмена возбуждением в смеси молекул $^{14}NH_3$ и $^{15}NH_3$ и буферного газа ⁸. Метод измерения основан на прямом наблюдении кинетики заселения колебательных уровней NH_3 по интенсивности линий поглощения в области 2200 \AA ⁹. Экспериментально обнаружен ⁸ эффект «узкого горла» при возбуждении колебательных уровней молекулы коротким лазерным импульсом, обусловленный релаксацией молекул по вращательным уровням ¹⁰, и приведены результаты измерения фактора населенности одного подуровня на молекуле C_2F_3Cl ¹¹.

Исследование кинетики селективного возбуждения колебаний молекул $^{15}NH_3$ в смеси с $^{14}NH_3$ позволило выбрать условия для экспериментального осуществления селективной двухступенчатой фотодиссоциации молекул под действием импульса излучения CO_2 -лазера и импульса источника УФ излучения ¹². Селективность диссоциации измерялась по разделению изотопов ^{14}N и ^{15}N . Конечные продукты (H_2 и N_2) селективной фотодиссоциации содержали около 80% ^{15}N и 20% ^{14}N при равных исходных концентрациях ¹³, что соответствует селективности $S = 4$. В экспериментах при специальных условиях получено предельное обогащение с коэффициентом $S \approx 10-50$ ¹³.

Процесс селективной двухступенчатой фотодиссоциации является практически универсальным способом разделения изотопов лазерным излучением. Однако при использовании предиссоциационных линий поглощения селективная диссоциация может достигаться при возбуждении одночастотным излучением ^{13, 14}. В докладе приведены результаты эксперимента по селективной предиссоциации молекул ортоиода излучением аргонного лазера на $\lambda = 5145,3 \text{ \AA}$ ¹⁵. Таким методом осуществлено сильное смещение равновесия орто- I_2 — пара- I_2 в сторону пара- I_2 , измерена вероятность предиссоциации и скорость релаксации орто- и параконпонент йода. Этот метод применим для разделения изотопов ^{127}I и ^{129}I .

В заключение рассмотрены возможности получения селективности на перекрывающихся линиях поглощения при одноквантовом ⁶ и двухквантовом ¹⁶ возбуждениях газа низкого давления в поле стоячей волны, а также возможность исключения химического связывания продуктов диссоциации в газовой смеси за счет вылета осколков молекулы из облучаемой газовой струи.

ЛИТЕРАТУРА

1. V. S. Letokhov, Science 180 (4085), 451 (1973).
2. E. Hartley, A. O. Pender, E. J. Bowen, T. R. Merton, Phil. Mag. 43, 430 (1922).
3. W. Kuhn, H. Martin, Zs. phys. Chem. B21, 93 (1933); W. Kuhn, H. Martin, K. H. Eldau, ibid. B50, 213 (1941).
4. W. B. Tuffany, W. Moos, A. L. Schawlow, Science 157, 40 (1967).
5. Р. В. Амбарцумян, В. П. Калинин, В. С. Летохов, Письма ЖЭТФ 13, 305 (1971).
6. R. V. Ambartzumian, V. S. Letokhov, IEEE J. Quantum Electron. QE-7, 305 (1971); Appl. Optics 11, 354 (1972).
7. Р. В. Амбарцумян, В. С. Летохов, Г. Н. Макаров, А. Г. Платова, А. А. Пурецкий, О. А. Туманов, ЖЭТФ 64, 770 (1973).
8. R. V. Ambartzumian, V. S. Letokhov, G. N. Makarov, A. A. Puzretskii, Proc. of the Laser Spectroscopy Conference, Vail, Colorado, USA, 1973.
9. R. V. Ambartzumian, V. S. Letokhov, G. N. Makarov, A. A. Puzretskii, Chem. Phys. Lett. 16, 252 (1972).

10. В. С. Летохов, А. А. Макаров, ЖЭТФ 63, 2064 (1972).
11. В. С. Летохов, А. А. Макаров, Е. А. Рябов, ДАН СССР 212, 75 (1973).
12. Р. В. Амбарцумян, В. С. Летохов, Г. Н. Макаров, А. А. Пурецкий, Письма ЖЭТФ 17, 91 (1973); ДАН СССР 211, 365 (1973).
13. V. S. Letokhov, Chem. Phys. Lett. 15, 221 (1972).
14. E. S. Yeung, C. B. Moore, Appl. Phys. Lett. 21, 109 (1972).
15. В. С. Летохов, А. А. Макаров, В. А. Семчишен, Письма ЖЭТФ 18, 515 (1973).
16. Л. С. Василенко, В. П. Чеботаев, А. В. Шишаев, *ibid.* 12, 161 (1970).

537.311.33(048)

Д. Н. Мирлин. Оптические исследования поверхностных колебаний в ионных диэлектриках и полупроводниках. Доклад посвящен изложению результатов работы, выполненной совместно с В. В. Брыксиным, Ю. М. Гербштейном и И. И. Решинной. Спектроскопическим методом обнаружены и детально исследованы поверхностные оптические колебания в кристаллах. В соответствии с феноменологическим рассмотрением такие колебания возникают в области частот между ω_{TO} и ω_{LO} — предельными частотами поперечных и продольных оптических фононов, где диэлектрическая проницаемость отрицательна (область «остаточных лучей»). Объектами исследования явился ряд ионных диэлектриков и полупроводников со структурой NaCl, CaF₂, TiO₂, а также InSb, α -SiO₂. Экспериментальная часть работы выполнена с помощью модифицированной методики нарушенного полного внутреннего отражения (НПВО), позволившей исследовать поглощение в нерадикационной области спектра, т. е. при $k_x > \omega/c$ (где k_x — волновой вектор поверхностных колебаний). Произведен расчет спектров НПВО применительно к постановке эксперимента. Впервые экспериментально получены дисперсионные зависимости для поверхностных колебаний, исследовано влияние ангармонизма на их характеристики. Показано, что для удовлетворительного совпадения расчетных значений частот с экспериментальными необходим последовательный учет ангармонического вклада в диэлектрическую проницаемость кристалла. Обнаружено расщепление частот поверхностных колебаний в тонких пленках: в этом случае наблюдались две ветви поверхностных фононов. Проведено исследование смешанных поверхностных плазмон-фононных мод в вырожденных полупроводниках, сняты дисперсионные и концентрационные зависимости частот, измерено затухание поверхностных плазмонов. (В InSb оно оказалось в 2—3 раза больше затухания объемных мод.)

Исследовано влияние анизотропии на условия возникновения и характеристики поверхностных колебаний. Экспериментально установлено существование двух типов ветвей поверхностных колебаний в одноосных кристаллах: один из них существует лишь в поляритонной области спектра и не имеет аналога в изотропных кристаллах. При увеличении k_x таких «аномальных» поверхностных возбуждений они смешиваются с объемным спектром и затухают.

Проведено также исследование поверхностных волн на границе двух диэлектриков, обнаружено их гашение на границе с металлом. Исследованы «пограничные» плазмон-фононные моды на границе металл (полупроводник) — диэлектрик. Разнообразные проявления поверхностных фононов можно ожидать при исследовании явлений переноса в тонких пленках, приповерхностных слоях монокристаллов, в многослойных структурах, в туннельной спектроскопии и т. д. В частности, проявления поверхностных фононов можно ожидать в спектроскопии КРС в полупроводниках при возбуждении за краем фундаментальной полосы, где глубина проникновения света мала.

Основные результаты работы, освещенные в докладе, изложены в статьях: В. В. Брыксин, Ю. М. Гербштейн, Д. Н. Мирлин, ФТТ 13, 2125 (1971); 14, 1280 (1972); Phys. Stat. Sol. b51, 901 (1972); В. В. Брыксин, Д. Н. Мирлин, И. И. Решина, Письма ЖЭТФ 16, 445 (1972); ФТТ 15, 1119 (1973); Sol. State Comm. 11, 695 (1972); И. И. Решина, Ю. М. Гербштейн, Д. Н. Мирлин, ФТТ 14, 1280 (1972).

535.214(048)

Г. А. Аскаръян, В. А. Нампот, М. С. Рабинович. Использование сверхсжатия вещества светореактивным давлением для получения микрокритических масс деполяризуемых элементов, сверхсильных магнитных полей и ускорения частиц. Возможность получения очень больших давлений при испарении вещества¹ под действием мощного потока света или заряженных частиц ($p \approx I/v$, где I — плотность падающей мощности излучения, вызывающего испарение, v — скорость истечения

ния вещества) в последнее время используется для получения сверхсжатия вещества ² — увеличения его плотности в сотни и тысячи раз при квазиравновесном (без образования ударных волн) всестороннем сжатии вещества давлением испарения $p \approx 10^{11} - 10^{12} \text{ атм.}$ При таких плотностях и давлениях вещество ведет себя как вырожденный электронный газ, давление которого определяется квантовым движением электронов: $p \sim n_e \epsilon$, где из принципа неопределенности: $\epsilon \approx (\Delta P)^2/2m \approx \hbar^2/2m (\Delta x)^2 \approx \hbar^2 n_e^{2/3}/2m$ и давление $p \approx \hbar^2 n_e^{5/3}/2m$, т. е. эффективный показатель адиабаты $\gamma \approx 5/3$, если заметно не меняется полное число электронов.

В работе ² было предложено использовать сверхсжатие вещества для уменьшения порога создания условий управляемого термоядерного синтеза и увеличения его выхода. Мы рассмотрим другие применения сверхсжатия — получение микрокритических масс делящихся элементов ³, сверхсильных магнитных полей ³ и ускорение частиц ³.

1. Микрокритические массы сверхсжатых делящихся элементов. Еще в 1943 г. Неддермейер указал (на работу Неддермейера появилась ссылка лишь недавно, в работе ⁴) на возможность уменьшения критических масс делящихся элементов при взрывном поджатии, однако умеренные давления не позволяли достичь тех возможностей, которые сулит сверхсжатие, обеспечивающее столь малые критические размеры и массы, что они укладываются в малые размеры областей концентрации излучения большой плотности.

Действительно, критический размер $R_{кр} \approx l_f \sim 1/n_i$, а критическая масса $M_{кр} \sim n_i R_{кр}^3 \sim 1/n_i^2$, откуда следует, что уже при увеличении плотности в сотни раз критическая масса уменьшается в десятки тысяч раз. При этом концентрация ядер достигает $n_i \approx 10^{25} \text{ см}^{-3}$, что соответствует кратности ионизации $Z_{эфф} \approx 10$. Сверхсжатие позволяет использовать отражающий сверхплотный слой для дальнейшего уменьшения критических размеров. Уравнение развития нейтронной лавины:

$$\frac{4\pi}{3} R^3 \frac{dn_n}{dt} \approx \frac{4\pi}{3} R^3 n_n n_i \sigma_f (v-1) v_n - 4\pi R^2 n_n v_n (1-\alpha),$$

где α — коэффициент отражения назад от отражающего слоя.

Можно обеспечить $\alpha \approx 1 - e^{-n'_i \sigma'_s l'}$, так как концентрация легких атомов отражающего слоя может быть при тех же давлениях на порядок больше концентрации сверхсжатого тяжелого элемента, что при $\sigma'_s \approx 1 \text{ бн}$ дает $n'_i \sigma'_s l' \sim 1$ уже при $l' \approx 10^{-2} \text{ см.}$ Рассеяние назад и создание стартовой вспышки нейтронов может быть обеспечено, например, путем использования дейтерия или LiD. Отметим, что $\langle \sigma_f v \rangle$ уменьшается очень мало при уменьшении скорости нейтрона, но оно нежелательно из-за затягивания процесса размножения во времени. Из приведенного уравнения получим

$$R_{кр} \approx \frac{3(1-\alpha)}{\sigma_f n_i (v-1)},$$

$$M_{кр} \approx 10^2 \frac{(1-\alpha)^3 m_i}{[\sigma_f (v-1)]^3 n_i^2}.$$

Столь сильная зависимость критической массы от параметров размножения и отражения облегчает подбор условий, при которых можно обеспечить малые критические величины. Оценки показывают, что возможно получение $R_{кр} \approx 10^{-2} \text{ см}$ и $M_{кр} \approx 10^{-2} \text{ г.}$ Энергия, необходимая на осуществление этого сжатия, может превосходить энергию сжатия такой массы:

$$\int p dV \approx \frac{p_{\max} V_{\min}}{\gamma - 1},$$

так как основная энергия идет на испарение при реализации давления достаточной длительности. Оценки дают величину необходимой энергии $\mathcal{E}_0 \approx 10^2 \text{ кдж}$ для наиболее эффективного из доступных рабочих веществ. Отметим, что испаряющаяся облицовка может быть сделана из любого вещества (например, Pb), что уменьшает расход и необходимые количества делящегося вещества.

Поскольку основное энерговыделение происходит за несколько последних поколений лавины нейтронного размножения (напомним, что время воспроизводства поколения $t_1 \approx 10^{-11} \text{ сек}$), радиус сверхсжатого вещества не успевает заметно измениться и эффективность развития лавины не успевает ослабиться (разлетное время $\sim 10^{-10} \text{ сек}$ из-за большой плотности сверхсжатого вещества). Например, даже при однопроцентном числе прореагировавших ядер получим энерговыделение $\sim 10^4 \text{ кдж}$ и излучение $\sim 10^{18}$ нейтронов за 10^{-11} сек . Такие нейтронные потоки большой плотности представляют большой интерес для ряда физических экспериментов и прикладных целей. Такая вспышка может обеспечить также создание мощного источника нейтрино.

2. Получение сверхсильных магнитных полей при сверхсжатии вещества и ускорение частиц. Большие величины достижимых давлений могут быть использованы для получения сверхсильных магнитных полей $H \approx \sqrt{8\pi p} \approx 5 \cdot 10^9$ э при $p \approx 10^{12}$ атм, при сжатии плотного высокопроводящего вещества, в который захвачен или заморожен магнитный поток. (При сжатии полого тела возможны максимальные коэффициенты трансформации сечения. Поскольку время сжатия $t \sim R/c_s \sim 10^{-9}$ сек меньше скин-времени $t_{\text{скин}} \approx 4\pi R^2/c^2 \gtrsim 10^{-7} - 10^{-6}$ сек, сжимается весь захваченный поток и $H \approx H_0 R_0^2/R^2$. Резкое изменение очень большого поля вызовет появление сильных индукционных полей $E \approx RH/2c \approx 3 \cdot 10^9$ в/см при $R \approx 10^{-2}$ см, $H \approx 5 \cdot 10^9$ э, $\tau \approx 10^{-10}$ сек, которые можно использовать для ускорения заряженных частиц. Используя инвариант $P^2/H \approx \text{const}$ в изменяющемся магнитном поле (P — импульс частицы любой энергии), получим, что конечная релятивистская энергия частицы

$$\mathcal{E} \approx Pc \approx ZeHR \approx Z \cdot 10 \text{ Гэв.}$$

Ускорение электронов и ионов наиболее просто осуществляется в полости сжимаемого вещества, которое может быть любым.

В случае веществ, в которых используются реакции на заряженных частицах, индукционные поля могут повысить температурные или надтемпературные процессы и выход.

Изложенные выше вопросы рассмотрены в нашей работе, посланной в «Письма в редакцию ЖЭТФ» в августе 1972 г. Через полгода после этого появилась независимо статья Винтерберга⁵, посвященная только микрокритическим массам делящегося вещества.

ЛИТЕРАТУРА

1. Г. А. Аскарьян, Е. М. Мороз, ЖЭТФ 43, 2349 (1962).
2. J. Nuckolls, L. Wood, A. Thiessen, G. Zimmerman, Nature 239 (5368), 139 (1972) (см. перевод: Атомная техника за рубежом, № 3, 21 (1972)).
3. Г. А. Аскарьян, В. А. Намиот, М. С. Рабинович, Письма ЖЭТФ 17, 597 (1973).
4. J. Clarke, H. Fisher, R. Mason, Phys. Rev. Lett. 30, 89 (1973).
5. F. Winterberg, Lett. Nuovo Cimento 6, 407 (1973).