

тием электронов в качестве третьих частиц. Устанавливается новое квазиравновесное состояние, в котором имеется приближенное равновесие между свободными электронами и возбужденными атомами, но нет равновесия между возбужденными и невозбужденными атомами. В этом новом состоянии концентрация возбужденных атомов, которые и являются главными поглотителями света, становится меньше начальной, что и приводит к уменьшению поглощения света.

Исчезновению возбужденных атомов способствует и процесс фотоэлектрического поглощения световых квантов. В самом начале области просветления он играет второстепенную роль. Однако при дальнейшем увеличении интенсивности света роль его становится значительной. Заметим, что наряду с фотоионизацией под действием света быстро протекает процесс вынужденной фоторекомбинации, при котором в поле лазерного света происходит захват электронов ионами с испусканием квантов тех же частот и направлений.

При больших интенсивностях начинается другой эффект — потемнение плазмы. В этой области интенсивностей света электронный газ нагревается весьма сильно, что способствует росту скорости возбуждения (и ионизации) атомов из основного состояния. Это приводит к нарастанию степени ионизации и плотности свободных электронов и в результате к увеличению поглощательной способности плазмы.

Интересно, что в отличие от случая пробоя холодного газа, когда поглощения сначала просто нет, а потом оно нарастает очень резко при росте интенсивности света (см. кривую 2 на фиг. 3), в случае плазмы поглощательная способность нарастает постепенно. Это различие можно объяснить на основе представлений о лавинообразном механизме пробоя холодного газа.

Нелинейные эффекты при поглощении света плазмой могут существенно изменить экранировку лазерного излучения ионизованными парами при облучении твердых мишеней. Их необходимо также учитывать в тех методах лазерной диагностики плазмы, в которых используется интенсивное излучение, так как при больших интенсивностях свет существенно воздействует на плазму и меняет ее состояние.

Авторы благодарят В. А. Масюкова и А. Э. Абалиева за участие в проведении опытов.

Поступила 18 VIII 1969

ЛИТЕРАТУРА

1. Генералов Н. А., Козлов Г. И., Райзер Ю. П. Эффект сильного увеличения поглощательной способности частично ионизованного газа при больших интенсивностях света. Письма ЖЭТФ, 1968, т. 8, вып. 3.
2. Генералов Н. А., Козлов Г. И., Райзер Ю. П. Эффект «просветления» плазмы под действием лазерных импульсов. ЖЭТФ, 1969, т. 56, вып. 3.
3. Tomlinson R. G., Damon E. K., Buscher H. T. The breakdown of noble and atmospheric gases by ruby and neodymium laser pulses. Phys. Quantum Electronics. Conf. Proc., New York, Mc Graw — Hill, 1966.

ОБ ИЗМЕРЕНИИ КОНЦЕНТРАЦИИ АТОМАРНЫХ ЧАСТИЦ КИСЛОРОДА В ДИССОЦИИРОВАННЫХ ГАЗАХ

С. Ж. Токтомышев

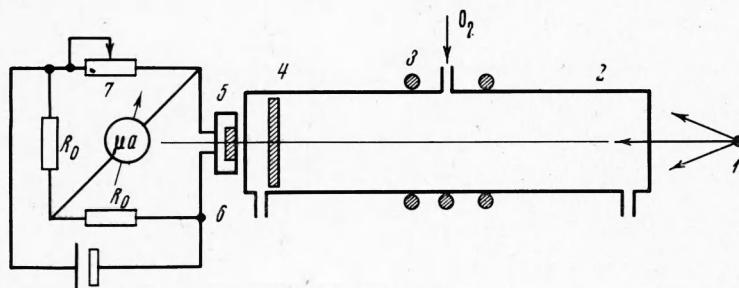
(Фрунзе)

В сообщении [1] были описаны эффекты взаимодействия атомарного кислорода с химическими детекторами. Степень почернения химического детектора (измеряемая фотоэлектрическим методом) позволяла судить об относительных содержаниях концентрации О в среде. В данной работе излагаются результаты экспериментов по исследованию возможности применения химических детекторов для измерения абсолютной концентрации атомарных частиц кислорода в диссоциированных газах.

В экспериментах использовалась установка, описанная в работах [1,2]. Атомарный кислород получался с помощью безэлектродного высокочастотного разряда. Расположение измерительной системы для измерения степени почернения химических детекторов позволяло в отличие от экспериментов [1,2] непрерывно регистрировать изменение степени прозрачности их во время экспериментов; схема представлена на фиг. 1: свет от стабилизированного источника освещения 1, проходя через химический детектор 4, установленный на торце разрядной трубки, попадает на фотосопротивление 5 ФСК-1:

фотосопротивление включено в одно из плеч моста 6; изменение прозрачности химического детектора во время разряда от ВЧ-генератора в молекулярном кислороде фиксируется микроамперметром 7, включенным в диагональ моста (2—разрядный объем, 3 — разрядная катушка).

По величинам тока, протекающего через диагональ моста, можно судить об изменении прозрачности химического детектора вследствие взаимодействия с атомарными частицами кислорода.



Фиг. 1

Опыты проводились при начальных давлениях молекулярного кислорода $P_0 = 10^{-2} - 10^{-3}$ мм рт. ст. в разрядном объеме. Снималась зависимость степени изменения прозрачности химических детекторов (при неизменном напряжении, подаваемом на ВЧ-генератор, $U = 5\text{ в}$) от времени экспозиции при различных давлениях, т. е. для различных плотностей. Последняя определялась из степени диссоциации молекулярного кислорода и начального давления молекулярного кислорода в разрядном объеме.

Измерение степени диссоциации α в молекулярном кислороде в разрядном объеме производилось методом, описанным в работах [3-6], для чего использовались две термопарные лампы, припаянные к разрядной трубке.

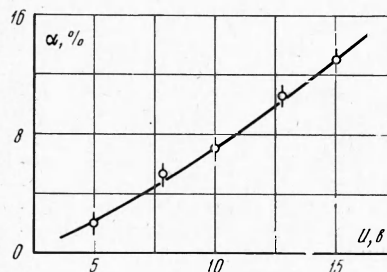
Во входное отверстие одной из термопарных ламп к разрядному объему располагалась плотная серебряная сетка, что практически преграждало доступ атомарного кислорода к нити термопарной лампы вследствие их гибели на поверхности серебра [3,5,6]. Расстояние от разрядной плазмы до нитей термопарных ламп подбиралось таким, что практически ВЧ-поле высокочастотного генератора не влияло на измерения. После включения ВЧ-разряда возникает разность температур нити термопарных ламп, которая определяется по э.д.с. термопары. Температура нити термопарной лампы, у которой нет вставки из серебра, возрастает вследствие рекомбинации атомарных частиц кислорода из разрядного объема, с адсорбированными частицами атомарного кислорода на поверхности (т. е. $O + O$ [адсорб] $\rightarrow O_2 + q$, где q — теплота единичного акта рекомбинации).

Учитывая уравнение теплового баланса нити и соотношение $\alpha = n/N$ (где N — общее число частиц в объеме, n — концентрация атомов), можно перейти от разности температур нагрева к степени диссоциации

$$\alpha = \frac{2aK\Delta T}{q}$$

Здесь ΔT — разность температур нагрева нити термопарных ламп, K — постоянная Больцмана, a — коэффициент аккомодации O на поверхности нити термопарных ламп. Величина коэффициента аккомодации $a \sim 1$ [7], а q можно определить из литературных данных, например из работы [8]. Таким образом, экспериментально измеряя ΔT , можно определить степень диссоциации O_2 в разрядном объеме. Оцениваемая в данном методе погрешность измерений составляет порядка 15—20% измеряемой величины [3,5,6].

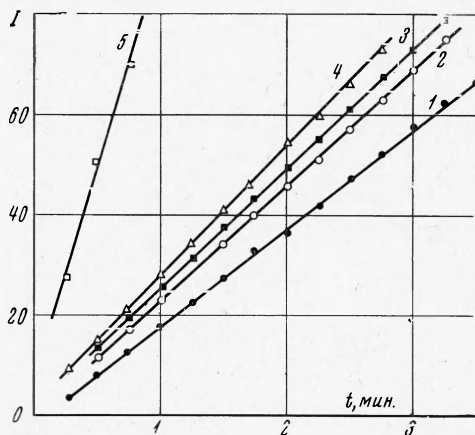
На фиг. 2 приведена зависимость, полученная в результате измерений степени диссоциации молекулярного кислорода в разрядном объеме от величины подаваемого напряжения на ВЧ-генератор при давлении O_2 , равном $P_0 = 2 \cdot 10^{-3}$ мм рт. ст. С увеличением напряжения, подаваемого на ВЧ-генератор, есть тенденция к повышению степени диссоциации O_2 в разрядном объеме.



Фиг. 2

На фиг. 3 приведены результаты измерений степени почернения химических детекторов в зависимости от времени экспозиции; кривые 1, 2, 3, 4, 5 соответствуют следующим значениям плотности: $n = 3,0, 3,5, 4,0, 5,0, 15 \text{ ч} \cdot \text{см}^{-3} \cdot 10^{12}$.

На фиг. 4. приведена полученная зависимость dI/dt от концентрации атомов. Как видно из фиг. 3 и 4, в области измеряемых давлений и плотностей за время проведения



Фиг. 3

экспериментов степень почернения химических детекторов растет линейно с увеличением времени экспозиции, а скорость почернения dI/dt прямо пропорциональна плотности атомарных частиц.

Отсюда следует, что по углу наклона кривых $\tan \beta = dI/dt$ можно оценивать концентрацию атомарных частиц кислорода

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{(dI/dt)_1}{(dI/dt)_2}$$

а при определении dI/dt для какой-нибудь концентрации другими независимыми методами (например, исходя из измеренных значений степени диссоциации и начального давления), можно определить и абсолютную концентрацию атомарных частиц.

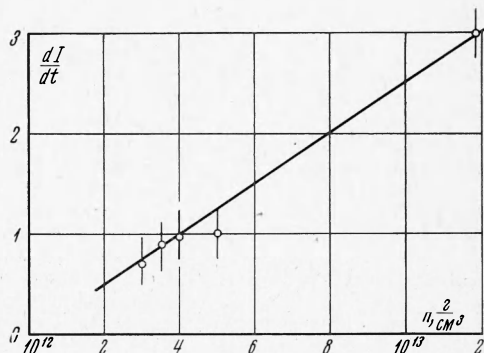
Погрешность измерения по описанному методу в основном определяется погрешностью градуировки и измерения степени почернения химических детекторов. Согласно [1] ошибка в измерении степени изменения прозрачности химических детекторов составляет порядка 10–15%. Так как погрешность градуировки составляет 15–20%, то максимальный разброс данных о концентрации, полученных описываемым методом, следует оценить величиной порядка 20–30%. Однако применение точных методов градуировки позволит снизить ошибку в измерении концентрации атомарного кислорода.

С помощью химических детекторов возможно определение относительной концентрации атомарных частиц и другим способом. Так как степень почернения линейно зависит от количества частиц, попавших на детектор, то, определяя изменение степени почернения для разных давлений при одинаковом времени измерения, можно определить отношение

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{I_1(t)}{I_2(t)}$$

а при тарировке и абсолютную концентрацию атомарных частиц.

В заключение отметим, что результаты описанных выше экспериментов подтверждают возможность применения химических детекторов для измерения концентрации атомарных частиц кислорода в разреженных диссоциированных средах. Несмотря на ряд недостатков (ограничение в точности времени измерения, определяемое плотностью среды и т.д.), описываемый метод измерения концентрации O обладает рядом преимуществ: а) имеет самостоятельный интерес при исследованиях взаимодействия атомарных частиц с твердыми поверхностями, б) в отличие от большинства спектроскопических методов позволяет измерить концентрацию атомов в термодинамически неравновесном потоке диссоциированного газа, в) в отличие от методов, основанных на применении тепловых датчиков, обладает избирательностью, т.е. регистрирует определенный сорт частиц, например O; кроме того, здесь исключаются погрешности, вносимые за счет измерения коэффициентов гибели на чувствительных элементах теплового датчика. При дальнейшем усовершенствовании (способы приготовления химических детекторов, способы градуировки, методы регистрации степени почернения и т.д.) описываемой методики способность химических детекторов менять свою прозрачность при взаимодействии их с O может стать основой для создания ракетного прибора для измерения концентрации атомарных частиц в верхних слоях атмосферы.



Фиг. 4

Автор благодарит Ю. А. Брагина, И. К. Конкашбаева, В. Н. Кихтенко за помощь в работе.

Поступила 27 XII 1968

ЛИТЕРАТУРА

1. Кихтенко В. Н., Токтомышев С. Ж. О химических детекторах атомарного кислорода в разреженных газах. Тр. Центр. аэрол. обсерв., 1969, вып. 91.
2. Брагин Ю. А., Токтомышев С. Ж., Кихтенко В. Н. Методы измерения коэффициента гибели атомарных частиц кислорода на твердых поверхностях. Тр. Центр. аэрол. обсерв. 1969, вып. 91.
3. Wrede E. Konzentrationsmessungen an einatomigen Wasserstoff, Stickstoff und Sauerstoff. Z. Phys., 1929, Bd. 54, H. 1, S. 53.
4. Федынский А. В., Перов С. П., Чижев А. Ф. Опыт прямого измерения концентраций водяного пара и атомарного кислорода в мезосфере. Изв. АН СССР, Сер. физ. атмосферы и океана, 1967, № 5.
5. Greaves I. G., Linnett I. W., Recombination of atoms at surfaces, pt. 4. Trans. Faraday Soc., 1959, vol. 55, No. 8.
6. Linnett I. W., Marsden D. G. H. The kinetics of the recombination of oxygen atoms at a glass surface. Proc. Roy. Soc., 1956, vol. 234, No. 1199.
7. Леонес В. Б. Отражение молекулярного потока от твердой стенки. Геомагнетизм и аэронавтика, 1962, т. 2, вып. 1.
8. Лавровская Г. К., Воеводский В. В. Реакция атомов водорода и кислорода на твердых поверхностях. Ж. физ. хим., 1951, т. 25, вып. 9.

ИЗМЕРЕНИЕ АКУСТИЧЕСКОЙ ПРОВОДИМОСТИ ГОРЯЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ПОРОХА

А. Д. Марголин, И. Б. Светличный, П. Ф. Похил, А. С. Цирульников

(Москва)

Разработаны и применены два метода измерения акустической проводимости горячей поверхности пороха: метод критических условий и метод переменной поверхности.

Метод критических условий основан на измерении предела самовозбуждения неустойчивого горения в резонаторах простой формы, акустические потери которых надежно рассчитываются.

Метод переменной поверхности состоит в измерении скорости нарастания или убывания амплитуды колебаний в T -камере при сжигании образца пороха с горячей поверхностью, площадь которой изменяется во времени.

Исследованы зависимости акустической проводимости от частоты колебаний и давления. Методы применимы в широком диапазоне частот и давлений.

Акустическая проводимость горячей поверхности является основной физической величиной, характеризующей склонность пороха к акустической неустойчивости горения. При акустической неустойчивости горения конденсированных систем усиление волн давления обычно происходит на горячей поверхности пороха, в узкой зоне интенсивных химических реакций. Характерные размеры этой зоны малы по сравнению с размерами резонансного объема и длиной волны. Изменение параметров акустической волны в результате взаимодействия с процессом горения характеризуется коэффициентом отражения волны от горячей поверхности пороха. Акустическая проводимость горячей поверхности определяется как отношение изменения скорости оттока продуктов сгорания от поверхности пороха $\delta\dot{p}$ к давлению в звуковой волне у горячей поверхности δp

$$\zeta = \delta\dot{p} / \delta p$$

Действительная часть акустической проводимости $\text{Re } \zeta$ характеризует модуль коэффициента отражения, а мнимая $\text{Im } \zeta$ — сдвиг фазы при отражении.

В данной работе акустическая проводимость горячей поверхности пороха исследована экспериментально. Разработаны и применены два метода измерения акустической проводимости горячей поверхности: метод критических условий и метод переменной поверхности.

Известно, что самовозбуждение автоколебательной системы происходит, когда приток энергии в систему превышает ее потери. Учитывая баланс акустической энергии для резонатора простейшей формы, когда имеется возможность надежного расчета